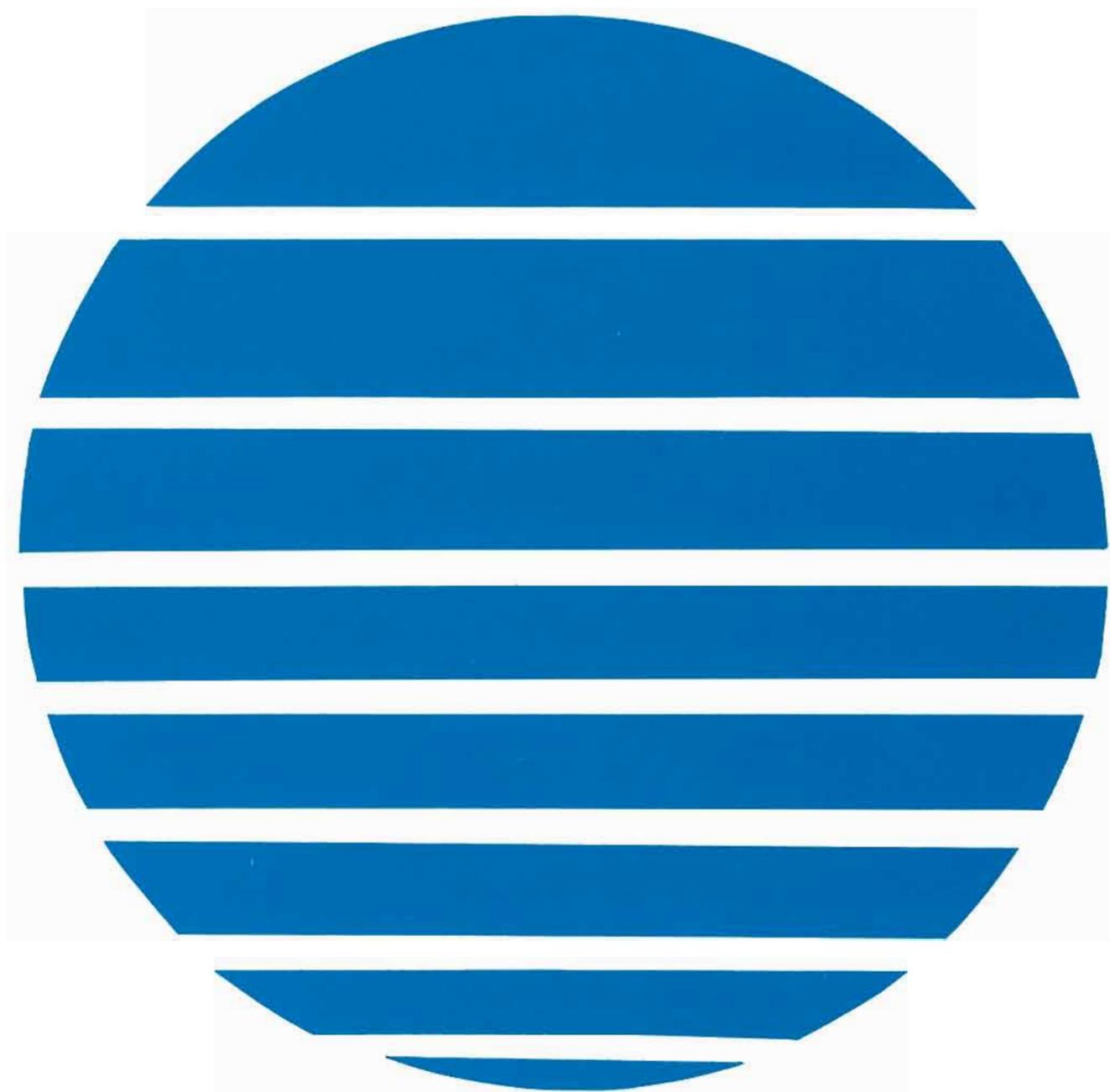


ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5^{ème} Série - Vol. 13 - 1985

N° 760



Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine - Paris

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

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages |
|---|-------|
| L'Ingénieur Hydrographe Général (CR) Pierre COVILLAULT (1905-1983), par M. J. BOURGOIN, Ingénieur Général de l'Armement (Hydrographe), Directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine | 5 |
| Première partie | |
| Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. Deuxième partie (B) : triangulation des données de Cauchy; étude qualitative des courbes et surfaces caractéristiques, par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO, Université Scientifique et Médicale, Grenoble | 7 |
| Géodésie de la Martinique, par M. G. BESSERO, Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe) | 27 |
| Deuxième partie | |
| Mission Hydrographique de l'Atlantique (29 février 1980 — 30 avril 1983), par M. J.C. GUYON, Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe) | 41 |



PREMIÈRE PARTIE



L'INGÉNIEUR HYDROGRAPHE GÉNÉRAL (CR) PIERRE COVILLAUT (1905-1983)

par

M. Jean BOURGOIN

Ingénieur Général de l'Armement (Hydrographe)
Directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

L'Ingénieur hydrographe général (CR) Pierre Covillault s'est éteint le 4 février 1983 dans sa soixante dix-huitième année, après une longue maladie.

Il était né à Blois le 26 septembre 1905. Entré à l'École Navale avec la promotion 1923, il avait brillamment commencé une carrière d'officier de marine. C'est au cours d'une campagne de 2 ans en Indochine, en 1930-1932, comme enseigne de vaisseau à bord de l'avis hydrographe *Lapérouse* qu'il prit son premier contact avec l'hydrographie. Il avait semble-t-il trouvé sa voie puisque 3 ans plus tard, en 1935, il était nommé ingénieur hydro-

graphe de 1^{re} classe, profitant d'une disposition alors toute nouvelle, des règles d'accès au Corps. Il fut ainsi le premier ingénieur hydrographe non recruté à l'École Polytechnique depuis la création du Corps. Il est indéniable que ses qualités professionnelles et humaines ont largement contribué à confirmer l'intérêt de ce recrutement et à assurer sa pérennité.

La carrière d'hydrographe à la mer de M. Covillault fut courte : une campagne en 1936 sur les côtes de France, et une campagne de un an en Indochine (1937-1938), car la seconde guerre mondiale était là. Elle trouva M. Covillault affecté



dès la mobilisation à une division de dragueurs à Lorient puis dans l'estuaire de la Loire (où il participa ainsi au sauvetage du *Jean Bart*), devant La Pallice et en Gironde, puis à Casablanca. Il regagna Paris en 1941 et y resta confiné jusqu'à la fin du conflit par la mise en sommeil du Service Hydrographique. Lorsque les missions hydrographiques reprirent leur activité, M. Covillault était trop ancien pour embarquer de nouveau et dût se satisfaire bien malgré lui d'un poste sédentaire.

Il occupa pendant très longtemps des fonctions de responsable des « cartes originales » à la section de cartographie, puis de chef de la section des instruments scientifiques, chargée du choix et de l'approvisionnement des matériels. Il eut la charge, pendant de longues années, de promouvoir les méthodes nouvelles, par exemple la localisation radioélectrique en géodésie marine, et l'utilisation à terre de la mesure électronique de distance où il joua un rôle essentiel au Service Hydrographique.

M. Covillault était membre du Comité National Français de Géodésie et Géophysique depuis le 7

février 1961. Il était commandeur de la Légion d'honneur, officier du Mérite Maritime et officier dans l'Ordre des Palmes Académiques. Ses campagnes outre-mer lui avaient valu d'être nommé commandeur de l'Etoile d'Anjouan, et chevalier du Dragon d'Annam et de l'Ordre Royal du Cambodge.

M. Covillault, aidé par une curiosité infatigable et par une mémoire surprenante que l'âge n'avait pas altérée, était féru de recherches d'archives et d'études historiques. Il connaissait à fond l'histoire du Service. Après sa retraite, et pendant plus de dix ans, M. Covillault avait été chargé d'inventorier la vaste bibliothèque du Service Hydrographique, qui ne pouvait être déménagée à Brest avec le reste du Service, et de préparer les versements correspondants aux divers centres d'archives qui allaient accueillir les documents.

M. Covillault a laissé à tous ceux qui l'ont connu le souvenir d'un homme exceptionnellement affable et chaleureux, en même temps que d'un professionnel de haute valeur.

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

DEUXIÈME PARTIE (B) TRIANGULATION DES DONNÉES DE CAUCHY ÉTUDE QUALITATIVE DES COURBES ET SURFACES CARACTÉRISTIQUES

par

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

RÉSUMÉ

La matière traitée ici concerne l'aspect géométrique des surfaces bicaractéristiques ainsi que la triangulation du domaine choisi et le maillage fixé a priori. Elle forme la suite de l'étude qualitative abordée dans le second paragraphe, dont la première partie a paru précédemment (cf. [II]).

ABSTRACT

The follow treated topic concerns the geometric aspect of the characteristic surfaces, as the triangulation of the choosed domain and the a pirori fixed meshed network. It forms the continuation of the qualitative study which was approached in the second paragraph (the first part of this section has been published in [II]).

Notice préliminaire

Les notations utilisées ci-après restent les mêmes que celles introduites dans [I] et [II]. Récrivons, en particulier, le système hyperbolique (E) étudié, qui est défini par les équations aux dérivées partielles suivantes, où u, v, ζ , fonctions de x, y, t , sont inconnus :

$$\zeta_t + (\zeta + h) u_x + (\zeta + h) v_y + u(\zeta + h)_x + v(\zeta + h)_y = 0$$

$$u_t + uu_x + vu_y + g_{sx}^c - 2\Omega_n v + c(\zeta + h)^{-1} u\sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$v_t + uv_x + vv_y + g_{sy}^c + 2\Omega_n u + c(\zeta + h)^{-1} v\sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

Ces équations sont valables dans D, domaine formé par un demi-cylindre infini [voir (§ 1.5)_I]. Rappelons, à ce propos, que toute référence à l'une ou l'autre des parties déjà parues porte, selon les cas, les chiffres I ou II en indice.

2.3.4. Rappel de la méthode d'intégration de Cauchy des équations (2.18)_{II} quadratiques en p et q ; application au problème des marées

Dans cet alinéa, nous noterons $u, v, \zeta(x, y, t)$ une solution de (E), définie et régulière $R^{(2)}$ dans D, et (1.1)_I — avec $\partial(x, y, t)/\partial(\alpha, \beta, \gamma) \neq 0$ — une solution de (2.4)_I définie et régulière $R^{(2)}$ dans \mathcal{S} , où $x, y, t(\alpha, \beta, \gamma)$ sont des fonctions réalisant une application bijective $D \leftrightarrow \mathcal{S}$. D'après (1.6)_I et (2.4)_I, l'hypothèse de régularité $R^{(2)}$ des solutions de ces systèmes entraîne que la donnée $h(x, y)$ doit également être régulière $R^{(2)}$.

Rappelons que si S_α , surface bicaractéristique de (E) [ou de (2.4)_I], ne possède pas la propriété (π), la forme $F(x, y, t, p, q)$ [cf. (2.18)_{II}] est quadratique en p et q . Par conséquent, nous nous limiterons à l'étude du cas où

$$F = F_2 + F_1 + F_0 = 0 \quad (2.34)$$

F, étant des formes homogènes en p et q de degrés

égaux à leur indice, à coefficients dépendant de x, y, t et réguliers $R^{(2)}$ par rapport à x, y, t . Il découle de (2.34) que

$$\underline{p} \cdot \frac{\partial F}{\partial \underline{p}} + \underline{q} \cdot \frac{\partial F}{\partial \underline{q}} = 2F_2 + F_1 = F_2 - F_0 \quad (2.35)$$

Nous poserons — suivant l'usage —

$$\underline{P} = \frac{\partial F}{\partial \underline{p}}, \quad \underline{Q} = \frac{\partial F}{\partial \underline{q}}, \quad \underline{X} = \frac{\partial F}{\partial x}, \\ \underline{Y} = \frac{\partial F}{\partial y}, \quad \underline{Z} = \frac{\partial F}{\partial t} \quad (2.36)$$

Associés à (2.34) le système différentiel ordinaire en t suivant :

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = \frac{\underline{P}}{\underline{G}}, \quad \frac{d\underline{y}}{dt} = \frac{\underline{Q}}{\underline{G}}, \quad \frac{d\underline{p}}{dt} = -\frac{\underline{X} + \underline{p}\underline{Z}}{\underline{G}}, \quad \frac{d\underline{q}}{dt} = -\frac{\underline{Y} + \underline{q}\underline{Z}}{\underline{G}} \quad (2.37)$$

où $\underline{P} = \underline{P}(\underline{x}, \underline{y}, t, \underline{p}, \underline{q})$, etc., et $\underline{G} = \underline{P}\underline{p} + \underline{Q}\underline{q}$.

Lorsque F est de la forme (2.11)_{II}, on trouve alors :

$$\underline{P} = 2\underline{u}(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q} - 1) - 2g(\underline{\zeta} + h)\underline{p} \\ \underline{Q} = 2\underline{v}(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q} - 1) - 2g(\underline{\zeta} + h)\underline{q} \\ \underline{X} + \underline{p}\underline{Z} = 2(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q} - 1) \cdot [\underline{p}(\underline{u}_x + \underline{p}\underline{u}_t) + \underline{q}(\underline{v}_x + \underline{p}\underline{v}_t)] \\ - g(\underline{\zeta}_x + \underline{p}\underline{\zeta}_t + h_x)(\underline{p}^2 + \underline{q}^2) \quad (2.38) \\ \underline{Y} + \underline{q}\underline{Z} = 2(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q} - 1) \cdot [\underline{p}(\underline{u}_y + \underline{q}\underline{u}_t) + \underline{q}(\underline{v}_y + \underline{q}\underline{v}_t)] \\ - g(\underline{\zeta}_y + \underline{q}\underline{\zeta}_t + h_y)(\underline{p}^2 + \underline{q}^2)$$

et l'on a, par (2.35) :

$$\underline{G} = (\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q})^2 - g(\underline{\zeta} + h)(\underline{p}^2 + \underline{q}^2) - 1 \\ = 2(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q} - 1) \quad (2.38')$$

Enfin, nous adopterons, pour l'étude de (2.37), la seule hypothèse physiquement acceptable pour la Manche [cf. (2.3.3)_I], traduite par :

$$g(\underline{\zeta} + h) = H^2 > V^2 = u^2 + v^2 \quad (2.39)$$

Or, puisque $(\underline{u}\underline{p} + \underline{v}\underline{q})^2 \leq V^2(\underline{p}^2 + \underline{q}^2)$, il découle de (2.38), que

$$\underline{G} \leq (V^2 - H^2)(\underline{p}^2 + \underline{q}^2) - 1 < 0 \quad (2.40)$$

Nous supposerons alors, dans toute la suite, que l'on a :

$$\underline{G} = \underline{P}\underline{p} + \underline{Q}\underline{q} \neq 0 \quad \text{sur } D \times \varepsilon \quad (2.41)$$

où ε est la boule $p^2 + q^2 < r^2$, r borné.

Comme $F(x, y, t, p, q)$ est régulière $R^{(2)}$ $\forall (x, y, t) \in D$ et holomorphe en p et $q \forall (p, q) \in \varepsilon$, il s'ensuit que \underline{P} et \underline{Q} sont régulières $R^{(2)}$ et $\underline{X}, \underline{Y}, \underline{Z}$ régulières $R^{(1)}$ sur $D \times \varepsilon$. Compte tenu de (2.40), on en conclut que tous les seconds membres de (2.37) sont des fonctions, régulières $R^{(1)}$,

$\forall (x, y, t, p, q) \in D \times \varepsilon$. C'est pour justifier cette dernière propriété que nous avons imposé à toutes les données la régularité $R^{(2)}$.

Donnons-nous à présent 4 valeurs initiales des inconnues de (2.37) astreintes à vérifier la condition :

$$F(x_0, y_0, t_0, p_0, q_0) = 0, \\ (x_0, y_0, t_0, p_0, q_0) = \underline{z}_0 \in D \times \varepsilon \quad (2.42)$$

On peut alors établir, à l'aide de la théorie classique d'intégration de (2.18)_{II}, le théorème suivant (cf. p. ex. [10]_{II}) :

Théorème 1 :

Supposons de classe $R^{(2)}$ la fonction F , figurant dans les conditions initiales (2.42), et les données relatives au système (2.37). Alors, il existe localement une seule solution de ce dernier :

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}(t) &= x(t, x_0, y_0, t_0, p_0, q_0) = x(t, \underline{z}_0), \\ \underline{y}(t) &= y(t, \underline{z}_0) \\ \underline{p}(t) &= p(t, \underline{z}_0), \quad \underline{q}(t) = q(t, \underline{z}_0) \end{aligned} \right\} \quad (2.43)$$

telle que $\underline{x}(t_0) = x_0, \dots, \underline{q}(t_0) = q_0$.

$\underline{x}, \underline{y}$, resp. \underline{p} et \underline{q} , sont régulières $R^{(2)}$, resp. $R^{(1)}$, par rapport à t et aux paramètres x_0, y_0, t_0, p_0, q_0 . Ces solutions locales sont prolongeables jusqu'à \bar{D} .

D'autre part, l'hypothèse de régularité des données de (2.37) permet de montrer que les courbes caractéristiques définies paramétriquement par les 2 premières équations de (2.43), et passant par le point $M_0 = (x_0, y_0, t_0) \in D$, possèdent les mêmes propriétés géométriques qualitatives que les courbes caractéristiques Γ attachées à (2.21)_{II} (mais rappelons que, dans ce cas, il suffit pour qu'il en soit ainsi que les seconds membres de (2.23)_{II} soient de classe $R^{(1)}$).

Supposons maintenant, comme au § (2.3.3)_{II}, que les données initiales soient des fonctions régulières $R^{(2)}$ du paramètre λ :

$$\underline{z}_0 = \underline{z}_0(\lambda), \quad \lambda \in [\lambda_0, \lambda_1] \quad (2.44)$$

Notons $K \subset D$ la courbe, supposée simple, définie par les trois premières équations de (2.44) et $\underline{M}_0(\lambda)$ un point courant de K . Admettons encore que les coordonnées de K vérifient les deux relations suivantes :

$$F(\underline{z}_0) = 0 \quad (2.45)$$

$$\underline{t}'_0 = \underline{p}_0 \underline{x}'_0 + \underline{q}_0 \underline{y}'_0 \quad (2.46)$$

L'équation (2.45) traduit le fait que le plan $t - \underline{t}_0 = \underline{p}_0(x - x_0) + \underline{q}_0(y - y_0)$ est tangent en M_0 au cône caractéristique $C(\underline{M}_0)$, de sommet \underline{M}_0 , attaché à (2.18)_{II}. D'après (2.46), ce plan tangent contient la tangente $\tau(\underline{M}_0)$ à K en \underline{M}_0 . Enfin, nous admettrons que $\forall \underline{M}_0$ on puisse mener par $\tau(\underline{M}_0)$ des plans tangents à $C(\underline{M}_0)$. Plus précisément, si $C(\underline{M}_0)$ se réduit à la droite $\delta(\underline{M}_0)$, le plan tangent est unique et bien défini si $\tau(\underline{M}_0)$ et $\delta(\underline{M}_0)$ ne sont pas confondus. Si, au contraire, F est de la forme

(2.18)_{II}, il existera 2 plans tangents si $\tau(M_0)$ est extérieur à $C(M_0)$. En particulier, pour F donnée par (2.11)_{II}, l'existence de ces deux plans est assurée par l'inégalité :

$$(\underline{x}'_0 - \underline{u}_0 \underline{t}'_0)^2 + (\underline{y}'_0 - \underline{v}_0 \underline{t}'_0)^2 - g(\underline{\zeta}_0 + \underline{h}_0) \underline{t}'_0{}^2 > 0 \quad \forall \lambda \in [\lambda_0, \lambda_1] \quad (2.47)$$

où l'on a posé $\underline{u}_0 = u(x_0, y_0, t_0)$, etc.

Introduisons alors (2.44) dans (2.43); on obtient un système de solutions dépendant de t et λ :

$$\begin{aligned} x(t, \lambda) &= \underline{x}(t, \lambda), \quad y(t, \lambda) = \underline{y}(t, \lambda), \\ p &= \underline{p}(t, \lambda), \quad q = \underline{q}(t, \lambda) \end{aligned} \quad (2.48)$$

($\underline{x}, \underline{y}$ de classe $R^{(2)}$,
 $\underline{p}, \underline{q}$ de classe $R^{(1)}$) et l'on a le résultat classique :

Théorème 2 :

La condition nécessaire et suffisante pour qu'une surface régulière S soit intégrale de (2.18)_{II}, lorsque F est quadratique en \underline{p} et \underline{q} , est que S admette la représentation paramétrique (2.48)_{1,2} où \underline{x} et \underline{y} sont déduits de l'intégrale générale (2.43) de (2.37) et des données initiales (2.44), assujetties à vérifier (2.45) et (2.46). De surcroît, si F est de la forme (2.11)_{II}, l'inégalité (2.47) doit être satisfaite.

La surface S possède des éléments différentiels du second ordre continus et les composantes de la normale à S au point $M \in S$, paramétrées par t et λ sont ($\underline{p}, \underline{q}, -1$) où \underline{p} et \underline{q} sont donnés par (2.48)_{3,4}.

Notons $\Gamma(M_0, \underline{p}_0, \underline{q}_0)$ la courbe définie par (2.48)_{1,2}; elle est dite caractéristique de (2.11)_{II} et est génératrice de S . On voit ainsi que S est l'enveloppe :

a) de la famille des plans

$$T - t = \underline{p}(X - \underline{x}) + \underline{q}(Y - \underline{y})$$

où $\underline{x}, \underline{y}, \underline{p}$ et \underline{q} dépendent de t et λ [cf. (2.48)];

b) de la famille des cônes $C(M)$

$$\begin{aligned} [X - \underline{x} - \underline{u}(T - t)]^2 + [Y - \underline{y} - \underline{v}(T - t)]^2 \\ = g(\underline{\zeta} + h)(T - t)^2; \end{aligned}$$

c) de la famille des développables à un paramètre λ : $\sigma[\Gamma(M_0, \underline{p}_0, \underline{q}_0)]$, passant par Γ , enveloppe des plans définis en a) où on fait décrire Γ à $\underline{x}, \underline{y}, t$, et dont le plan tangent en M_0 a pour paramètres directeurs ($\underline{p}_0, \underline{q}_0, -1$). Γ est par conséquent la courbe de contact de S et σ .

En particulier, il résulte des théorèmes 1 et 2 que si deux surfaces porteuses de multiplicités bicaractéristiques, correspondant à la même solution du système (E) (et à la même équation $F = 0$), sont tangentes en un point M_0 , elles le seront encore le long de la caractéristique Γ passant par ce point.

Appliquons maintenant les résultats généraux qui précèdent au cas concret lorsque F est de la forme (2.11)_{II}. Remarquons tout d'abord que l'hypothèse (2.41) élimine a priori l'éventualité où la surface S posséderait des plans tangents parallèles

à Ot . Par ailleurs, on a vu que S n'admet pas de plans tangents perpendiculaires à cet axe [cf. la remarque (II) du § (2.2)_I]. Précisons ces deux points à partir des données nature, en reprenant les notations de (2.3.3)_I.

Soient $H_1 (> 0)$ et H_2 le minimum et le maximum de H , et m le maximum de $V = (u^2 + v^2)^{1/2}$ sur D . Admettons qu'on puisse évaluer H_1, H_2 et m à partir de mesures *in situ*. Or, puisque dans la Manche, $H > m$, on a $H_1 > m$; ainsi,

$$0 < -m + H_1 \leq u \cos \varphi + v \sin \varphi + H \leq m + H_2$$

$$\frac{H_1}{H_2 + m} \leq \left| \frac{H}{u \cos \varphi + v \sin \varphi + H} \right| \leq \frac{H_2}{H_1 - m}$$

c'est-à-dire, avec (2.26)_I :

$$\frac{H_1}{H_2 + m} \leq |up + vq - 1| \leq \frac{H_2}{H_1 - m}$$

d'où, en tenant compte de (2.25)_I :

$$\left[\frac{H_1}{H_2(H_2 + m)} \right]^2 \leq p^2 + q^2 \leq \left[\frac{H_2}{H_1(H_1 - m)} \right]^2 \quad (2.49)$$

Ces dernières inégalités, bien que comportant des valeurs empiriques, donnent quelques indications concernant les zones d'influence (voir pour cette notion le § 2.3.6.) des conditions initiales sur les solutions de (E). En particulier, aucune surface S , intégrale de (2.11)_{II}, ne peut présenter de branche infinie : la frontière ∂S de S ne peut donc se composer que d'arcs $\subset \partial D = \bar{D}$ ou de bicaractéristiques passant par les extrémités de K si celles-ci ne font pas partie de ∂D .

Soulignons également, en vue des applications, quelques différences entre les cas (2.10)_{II} et (2.11)_{II}. Pour (2.10)_{II}, il existe une seule caractéristique $\Gamma(A)$ issue d'un point $A \in D$; par contre, pour (2.11)_{II}, il existe une infinité de courbes Γ dépendant d'un paramètre (p , par exemple, si l'équation considérée est soluble en q) et passant par A .

Supposons satisfaites toutes les restrictions imposées à K (cf. après (2.44)). Alors, il existe une seule surface S intégrale de (2.10)_{II} passant par K ; si S admet deux nappes S_1 et S_2 , on a $S_1 \equiv S_2$ lorsque K est une courbe simple et plane, sinon $S_1 \cap S_2 = \Gamma$.

Au contraire, S , intégrale de (2.11)_{II} passant par K , se compose de deux nappes S_1 et S_2 telles que $S_1 \cap S_2 = K$ est arbitraire, qu'elle soit simple, plane ou non. Chacune des nappes S_i peut présenter des points coniques ou des arêtes le long desquelles le plan tangent à la surface subit une discontinuité (cf. 2.3.6.). Il s'ensuit aussi que, quel que soit le degré de régularité de la solution considérée u, v, ζ de (E), il existe une infinité de surfaces S , intégrales de (2.11)_{II} présentant de telles singularités en un point arbitraire, ce qui est exclu si S est surface intégrale de (2.10)_{II}.

Notons, pour terminer, qu'à notre connaissance, les numériciens semblent surtout traiter directement, par des méthodes approchées, les équations aux dérivées partielles (2.34); or, comme on vient de le montrer, le problème posé est équivalent à l'intégration du système différentiel ordinaire (2.37) dont l'emploi pourrait se révéler plus avantageux au point de vue pratique — à certains égards, tout au moins —.

Remarques bibliographiques

Nous avons introduit à l'alinéa (1.2)_i la notion de multiplicité bicaractéristique de (E) en spécifiant que nous nous écartions, ce faisant, de la terminologie classique. Rappelons qu'il est d'usage d'appeler bicaractéristiques attachées à (E) les courbes $\Gamma(M_0)$ ou $\Gamma(M_0, p_0, q_0)$ — cf. § 2.3.3. ou 2.3.4. respectivement — (Voir sur ce point, par exemple, [11]_{ii} p. 268-272 et [14]_{ii} p. 42-53). On trouvera dans [11]_{ii} un exposé consacré à la signification physique de ces courbes qui jouent en optique et en acoustique le rôle des rayons le long desquels se propagent les ondes lumineuses et sonores. Notons également que dans d'autres problèmes de la Physique mathématique on rencontre des surfaces S porteuses d'une multiplicité bicaractéristique présentant un point conique : S est alors appelé conoïde caractéristique (cf. [12]_{ii} p. 115-123 et le § 3).

Enfin, l'emploi des variables caractéristiques conduit à la description a priori, analytique et locale, d'une classe de singularités — dites régularisables — des solutions de (E). De telles situations peuvent se présenter dans d'autres domaines : citons, à titre d'exemple, les singularités de Prandtl et de von Karman (cf. [7]_i) qui apparaissent dans la théorie de l'équilibre limite plan des milieux pulvérulents, obéissant à la loi de Coulomb.

A notre connaissance, les propriétés des courbes caractéristiques de (2.10)_{ii} et (2.11)_{ii} n'ont pas encore été exploitées en vue du traitement numérique des problèmes aux limites, posés relativement aux systèmes hyperboliques. On trouvera en 2.4. ci-après, quelques suggestions concernant l'éventuelle application des courbes Γ à la résolution approchée du système (E). Mais cette méthode a été souvent utilisée dans la théorie analytique des problèmes hyperboliques. Outre les ouvrages précités de J. Hadamard et T. Levi-Civita, on peut consulter à cet égard ceux de S.L. Sobolev [19] et S.K. Godounov [20].

2.3.5. Remarques concernant la triangulation des données de Cauchy portées par $d+\bar{d}$

Il existe une infinité de triplets de fonctions $F(x, y) = \alpha, G(x, y) = \beta, H(x, y) = \gamma$ (2.50) de classe $R^{(2)}$, possédant la propriété suivante : F, G, H réalisent deux à deux la correspondance biunivoque entre $(x, y) \in d$ et chacun des couples

de variables $(\alpha, \beta) \in d_\alpha, (\beta, \gamma) \in d_\beta$ ou $(\gamma, \alpha) \in d_\gamma$, où $d_i \subset Ojk, i, j, k = \alpha, \beta, \gamma$, sont des domaines de même ordre de connexion que d . Alors, il s'ensuit, par exemple, que sur d , on a :

$$\frac{\partial(F, G)}{\partial(x, y)} \neq 0, \text{ etc.} \tag{2.51}$$

On peut, par conséquent, inverser les relations (2.50) et écrire sur d_γ

$$x = x(\alpha, \beta), y = y(\alpha, \beta) \tag{2.52}$$

et des formules analogues sur d_α et d_β .

Notons $s \subset O\alpha\beta\gamma$ la surface définie paramétriquement par (2.52) (de classe $R^{(2)}$) et $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ les courbes définies sur d par :

$F = \alpha \equiv \text{const}, G = \beta \equiv \text{const}, H = \gamma \equiv \text{const}$ respectivement : ce sont les images dans d des sections de s par les plans $\alpha = \text{const}, \dots, \gamma = \text{const}$. Chacun des couples $(K_\alpha, K_\beta), (K_\beta, K_\gamma), (K_\gamma, K_\alpha)$ constitue un système de coordonnées curvilignes sur d ; lorsque $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ (ou F, G, H) vérifient les conditions précédentes, nous dirons que le domaine d est triangulé. (Par exemple, le système $F = x, G = y, H = x - y$ ou $x + y$ définit une triangulation très couramment utilisée par les numériciens). Rappelons qu'en vertu de (2.51), deux lignes coordonnées de familles différentes ne peuvent être tangentes en leur unique point commun.

Une fois réalisée une triangulation de d , les numériciens effectuent souvent un changement supplémentaire de variables $(\alpha, \beta) \leftrightarrow (\alpha_1, \beta_1)$ de manière à réaliser l'application bijective de d_γ (supposé simplement connexe) sur un domaine canonique du plan auxiliaire $O_1\alpha_1\beta_1$, domaine qui est, en général, un rectangle de côtés parallèles aux axes du repère rectangulaire $O_1\alpha_1\beta_1\gamma_1$ (cf. [22], p. 132-133). On trouvera dans cet ouvrage une revue exhaustive des méthodes approchées, utilisées pour traiter numériquement divers types de problèmes aux limites posés relativement à (E), ainsi qu'une abondante bibliographie du sujet. On notera que les Auteurs de la monographie précitée décrivent non seulement les procédés de calcul fondés sur les formules des accroissements finis, mais aussi sur les approximations polynomiales, non linéaires, des inconnues. Mais on ne perdra pas de vue, en général, que les variables $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ ne seront plus caractéristiques.

Nous allons établir brièvement l'existence, dans un voisinage suffisamment petit de d , d'une représentation paramétrique (1,1), de u, v, ζ satisfaisant à (1.2), au moyen des variables α, β, γ qui seront les variables caractéristiques attachées à (E): ainsi, à toute triangulation arbitraire de d , on peut associer seulement deux systèmes de surfaces coordonnées $S_\alpha, S_\beta, S_{\gamma_i}, i = 1, 2$, porteuses de multiplicités bicaractéristiques [S_α et S_β sont des surfaces possédant la propriété (π) , S_{γ_i} est surface intégrale de (2.11)_{ii}]. Ces considérations précisent le sens géométrique des variables caractéristiques attachées à (E).

Supposons donc que d soit triangulé au moyen des courbes $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ et soient S_α, S_β les 2 familles de surfaces intégrales de (2.10)_{II} passant par K_α, K_β respectivement, et S_γ , une des deux familles de surfaces intégrales de (2.11)_{II} passant par K_γ . Notons $M(x_0, y_0) \in d + \bar{d}$ un point courant. Eu égard à (2.50), on peut écrire :

$$\alpha = F(x_0, y_0), \beta = G(x_0, y_0), \gamma = H(x_0, y_0). \quad (2.52)'$$

l'application $d + \bar{d} \leftrightarrow s + \bar{s}$ ainsi définie étant, par hypothèse, globalement bijective.

On peut alors représenter chaque courbe de la famille K_α (ou K_β) par (2.52) :

$$\underline{x}_0 = \underline{x}_0(\alpha, \beta), \underline{y}_0 = \underline{y}_0(\alpha, \beta)$$

en y posant $\alpha = \alpha_0 = \text{const}$

(ou $\beta = \beta_0 = \text{const}$) et en faisant varier β (ou α).

Soit $\beta = \beta(\gamma, \alpha)$ la relation tirée de (2.50) en éliminant x, y entre ces trois équations. De la définition de K_γ , on déduit que ces courbes sont représentées paramétriquement au moyen de α en faisant $\gamma = \gamma_0 = \text{const}$ dans les formules

$$\begin{aligned} \underline{x}_0 &= \underline{x}_0[\alpha, \beta(\gamma, \alpha)] = \underline{x}_{00}(\gamma, \alpha), \\ \underline{y}_0 &= \underline{y}_0[\alpha, \beta(\gamma, \alpha)] = \underline{y}_{00}(\gamma, \alpha) \end{aligned} \quad (2.52)''$$

(\underline{x}_{00} et \underline{y}_{00} sont, d'après les hypothèses, de classe $R^{(2)}$ sur $s + \bar{s}$).

Donc, il résulte du (§ 2.3.3.)_{II} que la surface S_{α_0} (resp. S_{β_0}), intégrale de (2.10)_{II} et passant par K_{α_0} (resp. K_{β_0}) admet une représentation paramétrique en t, β (resp. t, α) donnée par [cf. (2.23)_{II}] :

$$\begin{aligned} \underline{x} &= f[t, \underline{x}_0(\alpha_0, \beta), \underline{y}_0(\alpha_0, \beta), t_0 = 0] \\ \underline{y} &= g[t, \underline{x}_0(\alpha_0, \beta), \underline{y}_0(\alpha_0, \beta), t_0 = 0] \end{aligned} \quad (2.53)$$

Les seconds membres de (2.53) se déduisent de l'intégrale générale du système (2.22)_{II}, et l'on peut écrire, en permutant x et $\underline{x}_0, \dots, t$ et t_0 (cf. [10]_{II} fascicule I, p. 80-84) :

$$\begin{aligned} \underline{x}_0(\alpha, \beta) &= \underline{x}_0 = f(0, \underline{x}, \underline{y}, t), \\ \underline{y}_0(\alpha, \beta) &= \underline{y}_0 = g(0, \underline{x}, \underline{y}, t). \end{aligned} \quad (2.53)'$$

En portant (2.53)' dans (2.52)', on obtient l'équation cartésienne implicite de la famille S_α , résolue par rapport à α_0, α_0 étant arbitraire :

$$\alpha = \alpha[f(0, \underline{x}, \underline{y}, t), g] = a(x, y, t). \quad (2.54)'$$

De même, l'équation de la famille S_β sera de la forme :

$$\beta = \beta(\underline{x}_{00}, \underline{y}_{00}) = \beta(f, g) = b(x, y, t). \quad (2.54)''$$

De façon analogue, en utilisant l'intégrale générale (2.43) du système (2.38), (2.38)', on obtient l'équation de chaque S_γ , que l'on peut exprimer par

$$\gamma = c_i(x, y, t), \quad i = 1, 2 \quad (2.55)$$

Soit alors $P(x, y, t)$ un point commun à $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$: les plans tangents à ces surfaces en P forment un trièdre non dégénéré. En effet, si S_α et S_β se touchaient en P , il en serait de même le long de la caractéristique de (2.10)_{II} : $S_\alpha \cap S_\beta = \Gamma(P)$ (cf. § 2.3.4) et en particulier au point $P = K_\alpha \cap K_\beta$ d'où $\Gamma(P)$ est issue, ce qui est exclu à cause de (2.51).

D'autre part, le plan tangent en P à S_γ (et à $C(P)$) ne peut toucher en ce point S_α ou S_β . Sinon, ce plan contiendrait la droite $\delta(P)$, ce qui est impossible. Il s'ensuit qu'on peut trouver un voisinage $\underline{\Delta} \subset D$, de frontière $\bar{\Delta}$, tel que $\forall P(x, y, t) \in \underline{\Delta} + \bar{\Delta}$, il passe par P une seule surface de chacune des 4 familles $S_\alpha, S_\beta, S_{\gamma_i}$, de classe $R^{(2)}$, définies à partir de la triangulation $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ choisie dans $d + \bar{d}$, telles que S_α et S_β forment avec chaque S_{γ_i} un système de surfaces coordonnées réalisant une correspondance bijective $(x, y, t) \leftrightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$ entre $\underline{\Delta} + \bar{\Delta}$ et un domaine de l'espace $0\alpha\beta\gamma$ pour autant que $\underline{\Delta}$ soit suffisamment petit.

Cette dernière restriction, imposée à $\underline{\Delta}$, tient à ce que les hypothèses de régularité énoncées ci-dessus ne garantissent l'unicité et la continuité du plan tangent à S_{γ_i} que dans le voisinage assez petit de la courbe donnée $K_\gamma \subset S$, supposée régulière $R^{(2)}$. Car, comme on l'a déjà annoncé à maintes reprises (cf. § 3 ci-après pour la démonstration de ce fait), on peut associer à toute solution (u, v, ζ) de (E), régulière $R^{(2)}$ dans le domaine D , une infinité de surfaces S_{γ_i} (porteuses de multiplicités bicaractéristiques attachées à cette solution) présentant des points coniques et des lignes-arêtes, le long desquelles le plan tangent à S_{γ_i} subit une discontinuité. Considérons alors une triangulation $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ de $(d + \bar{d})$ et un des deux systèmes $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ de surfaces coordonnées correspondantes, régulières $R^{(2)}$ dans $(\underline{\Delta} + \bar{\Delta})$. On a vu qu'on peut prolonger à l'extérieur de ce domaine, et ce jusqu'à la frontière \bar{D} , toutes les caractéristiques $\Gamma(M_0, p_0, q_0)$ de (2.11)_{II}, issues de $M_0 \in \{d + \bar{d}\}$ et génératrices de toute surface S_{γ_i} . Il en est donc de même de ces surfaces. Mais d'après ce qui précède, on n'est pas assuré que les nappes de celles-ci, ainsi prolongées, soient dépourvues de points singuliers et susceptibles de servir de coordonnées curvilignes au-delà de $(\underline{\Delta} + \bar{\Delta})$. En d'autres termes, il n'est pas certain qu'il soit possible de construire, par prolongement, à partir d'une triangulation donnée de $(d + \bar{d})$ une représentation paramétrique (1.1)_I de (u, v, ζ) , en variables caractéristiques, définie et régulière dans tout $(D + \bar{D})$. C'est là une difficulté spécifique de la théorie. Mais il est possible de justifier dans cet ordre d'idées un résultat partiel, que nous nous bornons à énoncer, la démonstration étant destinée à une publication ultérieure.

Soient :

$[d(t_0) + \bar{d}(t_0)]$ la section de $(D + \bar{D})$ par le plan $t = t_0 = \text{const}$; $K_\alpha(t_0), K_\beta(t_0), K_\gamma(t_0)$ une triangulation de $[d(t_0) + \bar{d}(t_0)]$; (u, v, ζ) une solution donnée de (E), définie et régulière dans $(D + \bar{D})$, vérifiant les conditions frontières sur $[d(t_0) + \bar{d}(t_0)]$; t^+ une constante positive (strictement) dont nous précisons le sens ci-après; $[\underline{\Delta}(t_0) + \bar{\Delta}(t_0)]$ la portion de $(D + \bar{D})$ comprise entre les plans $t = t_0 - t^+$ et $t = t_0 + t^+$. Alors, on en tire (au prix de raisonnements élémentaires, mais longs) le théorème suivant :

A toute solution (u, v, ζ) de (E), définie et régulière sur $(D + \bar{D})$, on peut associer la constante t^+ , ne dépendant que de (u, v, ζ) , de la borne supérieure de l'ensemble des courbures de toutes les courbes $K_\gamma(t_0)$, $\forall t_0$, et un domaine $\mathcal{D}(t_0) \subset \Omega\alpha\beta\gamma$, ne dépendant que de t_0 , tels qu'on puisse construire dans $[\Delta(t_0) + \bar{\Delta}(t_0)]$, $\forall t_0$, une solution de (e) en variables (α, β, γ) , caractéristiques attachées à (E), de façon que :

1) la solution (1.1)_i de (e) en cause soit régulière $R^{(2)}$ sur $\mathcal{D}(t_0)$; les seconds membres des trois premières équations (1.1)_i réalisent l'application bijective $[\Delta(t_0) + \bar{\Delta}(t_0)] \leftrightarrow [\mathcal{D}(t_0) + \bar{\mathcal{D}}(t_0)]$, en sorte que (1.2)_i soit vérifié $\forall (\alpha, \beta, \gamma) \in [\mathcal{D}(t_0) + \bar{\mathcal{D}}(t_0)]$;

2) l'ensemble des surfaces coordonnées $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$, définies dans $[\Delta(t_0) + \bar{\Delta}(t_0)]$ par (1.1)_i, comprend l'ensemble des surfaces coordonnées définies par la triangulation $K_\alpha(t_0), K_\beta(t_0), K_\gamma(t_0)$.

On trouvera à l'alinéa 2.3.6. ci-après l'essentiel des raisonnements utilisés pour justifier l'énoncé précédent. En particulier, on y verra que la donnée de la multiplicité de Cauchy $m[d(t_0), u, v, \zeta]$ ne détermine pas l'ensemble des surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ sur $[\Delta(t_0) + \bar{\Delta}(t_0)]$ d'une part, et on indiquera un procédé d'extension à tout ce domaine du réseau de ces coordonnées curvilignes, d'autre part. Mais, tel quel, le théorème ci-dessus suffit pour justifier un algorithme usuel du calcul numérique d'une solution $R^{(2)}$ de (E). Ce procédé sera décrit en 2.5.2 sous le nom de « construction fondamentale ». Toutefois, il convient de noter qu'en pratique, cet algorithme est — à notre connaissance — souvent utilisé avec succès même lorsque les hypothèses de régularité des surfaces coordonnées ne sont pas remplies.

Enfin, on ne perdra pas de vue que le domaine $d \subset Oxy$ est multiplement connexe lorsqu'il existe des îles dans l'étendue de la mer littorale considérée. Dans ce cas, $(D + \bar{D})$ est constitué par un cylindre droit de base $(d + \bar{d})$ (infini ou semi-infini, selon qu'on cherche la solution pour $t \in]-\infty, +\infty[$ ou pour $t \in [0, +\infty[$), creusé de canaux cylindriques droits, de bases $(d_{2j} + \bar{d}_{2j})$, $j = 1, 2, \dots, n$, n étant le nombre d'îles dont la frontière terrestre $\bar{d}_{2j} \subset \bar{d}_2$ (frontière terrestre de d). Il en est donc de même de $\Delta(t_0)$.

2.3.6. Quelques propriétés globales des courbes caractéristiques de (2.10)_{ii} et (2.11)_{ii}. Zones d'influences. Extension aux données de Cauchy portées par une surface courbe

Considérons une solution (u, v, ζ) de (E), régulière $R^{(2)}$ dans le cylindre D infini $(t \in]-\infty, +\infty[)$ et sur sa frontière \bar{D} . Nous nous proposons, d'abord, d'indiquer quelques propriétés globales des courbes $\Gamma(M_0)$ et $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ correspondantes, caractéristiques de (2.10)_{ii} et (2.11)_{ii} respectivement, et d'en déduire ensuite quelques appli-

cations utiles. Notons qu'il est aisé d'adapter les raisonnements qui suivent à d'autres domaines, par exemple, aux cylindres $\Delta(t_0)$, introduits en (2.3.5).

Les propriétés énoncées ci-après seront réparties en deux classes. Nous dirons qu'une propriété est « a » si elle est la conséquence de la seule hypothèse de régularité $R^{(2)}$ de la solution considérée. Nous désignerons par « b » une propriété qui n'est établie — ou seulement présumée exacte — que moyennant des hypothèses supplémentaires d'origine empirique. Par exemple, le fait que les courbes $\Gamma(M_0)$ et $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ sont prolongeables jusqu'à \bar{D} constitue une propriété a (cf. 2.3.4).

En revanche, certaines conclusions ci-dessous, fondées sur les observations in situ (généralement fort incomplètes : citons, dans cet ordre d'idées, le cas des cartes donnant la distribution approchée des roses de courant dans une mer littorale donnée) seront classées sous la rubrique b. Plusieurs résultats ci-après font l'objet d'une démonstration sommaire : l'exposé complet de la question paraîtra ailleurs.

1) Propriétés « a » des courbes $\Gamma(M_0)$.

Notons : $\bar{D}_1 \subset \bar{D}$, l'ensemble des surfaces dont les sections par la plan $t = 0 \subset \bar{d}_1$ (frontière libre de d) : \bar{D}_1 ne se réduit pas à une surface unique si \bar{d}_1 se compose d'arcs disjoints; $\bar{D}_2 \subset \bar{D}$, l'ensemble des surfaces dont les sections par ce plan $\subset \bar{d}_2$ (frontière terrestre de d). On a vu que chaque surface $\subset \bar{D}_2$ est porteuse d'une multiplicité bicaractéristique de (E) correspondant à la solution considérée (u, v, ζ) de ce système. Il s'en suit (cf.(2.3.3)_{ii}) qu'une telle surface admet la génération au moyen des courbes $\Gamma(M_0)$ caractéristiques de (2.10)_{ii}; $\forall M_0 \in \bar{D}_2$, il passe donc par M_0 une courbe $\Gamma(M_0)$ et une seule, tracée sur la surface correspondante $\subset \bar{D}_2$.

D'après (2.27)_{ii}, t varie d'une manière strictement monotone le long de $\Gamma(M_0)$, $\forall M_0 \in (D + \bar{D})$; nous orienterons alors chacune de ces courbes dans le sens des t croissants. En pratique, on prend pour \bar{d}_2 des courbes régulières $R^{(2)}$, après un lissage convenable de la frontière terrestre. Il s'en suit que u, v, ζ sont aussi régulières $R^{(2)}$, $\forall M_0 \in \bar{D}_2$. On peut donc prolonger toute courbe $\Gamma(M_0) \subset \bar{D}_2$ soit jusqu'à $t = \pm \infty$ soit jusqu'à son point de rencontre avec les droites parallèles à $0t$, et issues d'un point $\bar{d}_1 \cap \bar{d}_2$. On se rappellera que \bar{d}_2 peut, ainsi que \bar{d}_1 , se composer de plusieurs arcs disjoints lorsqu'il existe dans d des îles ou lorsque d est un détroit, comme la Manche.

On a vu ci-dessus, que $\Gamma(M_0)$, $\forall M_0 \in (D + \bar{D}_1)$ aboutit à \bar{D} . Il résulte alors de ce qui précède, que $P = [\Gamma(M_0) \cap \bar{D}] \notin \bar{D}_2$. Sinon, en effet, il passerait par P deux courbes $\Gamma(P)$; l'une serait tracée sur \bar{D}_2 et l'autre n'aurait avec cette surface en commun que son extrémité P . Or cette éventualité est à exclure en vertu du résultat d'unicité ci-dessus

rappelé : car alors, il y aurait deux courbes $\Gamma(P)$ issues de P. En d'autres termes, $P \in \overline{D}_2$, y compris, éventuellement, les points à l'infini de $(D + \overline{D})$.

Les résultats qualitatifs qui précèdent, quoique très partiels, permettent déjà d'énoncer quelques propriétés globales sur $(D + \overline{D})$ du réseau des surfaces S_α et S_β , engendrées par les $\Gamma(M_0)$ et susceptibles de servir de deux des trois familles de surfaces coordonnées bicaractéristiques, attachées à une solution (u, v, ζ) de (E), donnée et régulière $R^{(2)}$. Nous reprenons toutes les notations de 2.3.5.

1) S_α ne peut admettre de plan tangent parallèle à Oxy (cf. 2.3.3).

2) Il existe des points $M_1 \in (D + \overline{D})$ tels que $\Gamma(M_1)$ n'atteint pas $(d + \overline{d})$. Soient, en effet, $P(x_0, y_0, 0) \in \overline{d}_1$; \overline{V}_P , le vecteur vitesse en P. Supposons alors que la solution considérée de (E) ne se réduise pas au repos. On peut — quitte à changer l'origine des temps — affirmer que \overline{V}_P n'est tangent à \overline{d}_1 qu'en des points exceptionnels. Car, s'il en était autrement $\forall t$, \overline{d}_1 se comporterait comme une frontière terrestre, de sorte que d serait un lac et non plus une mer littorale. Ceci étant, notons S la surface engendrée par $\Gamma(P)$ quand P décrit \overline{d}_1 . Dans le voisinage de $\overline{d}_1 \subset (D + \overline{D})$, assez petit, S partage $(D + \overline{D})$ en deux régions. Par chaque point de l'une, il passe une courbe $\Gamma(M_0)$ et une seule, issue de $M_0 \in d$, qui ne peut traverser S en vertu de la propriété d'unicité. Et, pour cette raison, il ne passe aucune $\Gamma(M_0)$ de cette espèce par un point M_1 , appartenant au second voisinage de $\overline{d}_1 \subset (D + \overline{D})$ tel que t y est soit < 0 , soit > 0 . Cela justifie notre assertion.

3) Il résulte de ce qui précède que la donnée d'une triangulation $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ de $(d + \overline{d})$ ne permet de définir les surfaces coordonnées correspondantes S_α et S_β que sur une partie de $(D + \overline{D})$. Pour prolonger le réseau de ces deux familles de surfaces à tout ce domaine, on peut procéder comme il suit.

Notons : $\Delta_0 + \overline{\Delta}_0$, la portion de $(D + \overline{D})$, telle que $t \in [0, t_0]$, $t_0 = \text{Cte} > 0$ (pour fixer les idées); nous supposons t_0 assez petit pour que les surfaces S_α et S_β , définies par K_α et K_β atteignent la section $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$ de $(D + \overline{D})$ par le plan $t = t_0$; $K_\alpha(t_0), K_\beta(t_0)$, les courbes, sections des S_α et S_β par ce plan. Il résulte alors de 2.3.5 que ces lignes définissent un système de coordonnées curvilignes dans le domaine $[\sigma(t_0) + \overline{\sigma}(t_0)] \subset [d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$, constitué par les points d'intersection de $t = t_0$ avec toutes les courbes $\Gamma(M_0)$, issues de $M_0 \in (d + \overline{d})$, $\forall M_0$; mais, d'après ce que nous venons de voir, on peut avoir $\sigma(t_0) \neq d(t_0)$. La correspondance $[\sigma(t_0) + \overline{\sigma}(t_0)] \leftrightarrow (d + \overline{d})$ ainsi réalisée est bijective et régulière $R^{(2)}$; par suite $\sigma(t_0)$ et d sont du même ordre de connexion. Notons : $\overline{\sigma}_1(t_0)$ et $\overline{\sigma}_2(t_0)$ les homologues des \overline{d}_1 et \overline{d}_2 respectivement dans l'application précédente : $\overline{\sigma}_1(t_0)$ se compose d'arcs simples, soit intérieurs à $d(t_0)$, soit $\subset \overline{d}(t_0)$, alors que $\overline{\sigma}_2(t_0)$ se compose, d'une part, des courbes fermées $\overline{\sigma}_j(t_0) \subset \sigma(t_0)$, lorsqu'il existe $j=1,2,\dots,n$ îles dans d , et d'arcs $\subset \overline{d}(t_0)$, homologues des portions continentales de \overline{d} , d'autre part. Par exemple, dans le cas de la Manche, on a dans $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$ la disposition topologiquement équivalente — on suppose, pour simplifier, la Manche privée d'îles — à celle de la fig. 3 : les arcs \widehat{AD} et \widehat{BC} , $\subset \overline{d}(t_0)$ sont homologues des frontières marines de ce bassin littoral avec l'Océan Atlantique et la Mer du Nord respectivement; les arcs \widehat{AB} et \widehat{DC} , $\subset \overline{d}(t_0)$ sont les homologues des côtes anglaise et française respectivement. La fig. 3 a correspond à l'éventualité où les arcs \widehat{AD} et \widehat{BC} n'ont en commun avec $\overline{d}(t_0)$ que leurs extrémités A et D, B et C. Dans le cas de la fig. 3 b, on a : $\widehat{BC} \subset [\overline{\sigma}_1(t_0) \cap \overline{d}(t_0)]$. Alors la nappe de la surface S (définie comme S_α ou S_β ci-dessus) passant par un arc $\subset \overline{d}_1$ coupe \overline{D}_1 suivant une ligne le long de laquelle on a : $t \leq t_0$. Signalons qu'il peut arriver que l'on ait simultanément : $\widehat{AD} \subset \overline{d}(t_0)$ et

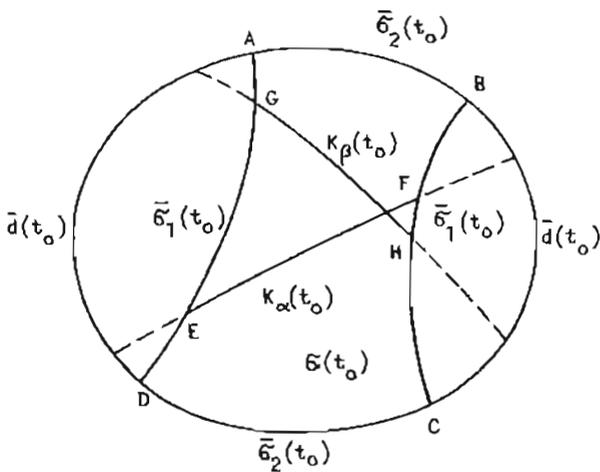


Figure 3a

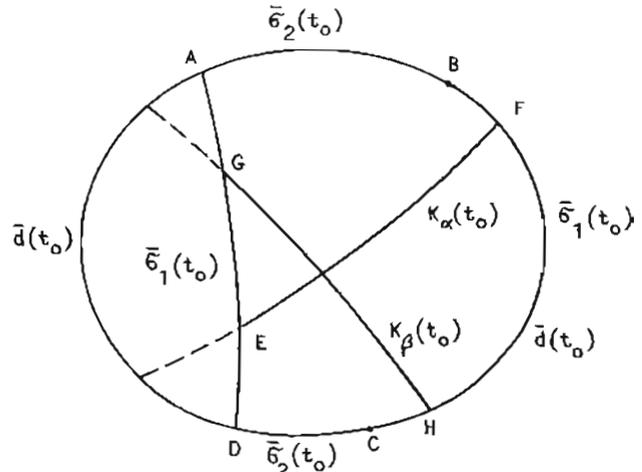


Figure 3b

$\widehat{BC} \subset \overline{d}(t_0)$, en sorte que $\overline{\sigma}(t_0) \equiv \overline{d}(t_0)$; mais, dans le cas des marées littorales, une telle circonstance est exceptionnelle.

Cela étant, nous admettrons comme intuitivement évident le lemme suivant : on peut prolonger dans tout $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$ — et cela d'une infinité de manières — chaque arc $\widehat{EF} \subset K_\alpha(t_0)$ et chaque arc $\widehat{GH} \subset K_\beta(t_0)$ (définis jusqu'ici sur $[\sigma(t_0) + \overline{\sigma}(t_0)]$ seulement) jusqu'à $\overline{d}(t_0)$, de façon que le réseau $K_\alpha(t_0)$ et $K_\beta(t_0)$, ainsi étendu à tout $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$, constitue sur ce domaine un système de coordonnées curvilignes, régulières $R^{(2)}$. Sur les figures 3 on a représenté en pointillé les prolongements hors de $\sigma(t_0)$ de \widehat{EF} et \widehat{GH} . On voit ainsi que les surfaces S_α et S_β , passant respectivement par les courbes $K_\alpha(t_0)$ et $K_\beta(t_0)$ qu'on vient d'introduire, contiennent les nappes de ces surfaces définies à partir du réseau $K_\alpha, K_\beta \subset d$, mais sont désormais déterminées dans un domaine $\subset \Delta_0$ plus étendu, où elles peuvent servir de surfaces coordonnées. Deux cas sont alors à considérer :

1) Il passe une et une seule surface de chaque famille S_α, S_β pour tout $M_1(x_1, y_1, t_1) \in \Delta_0$. Dans ce cas, le problème de la construction des surfaces coordonnées S_α et S_β dans Δ_0 est résolu.

2) Il existe $M_1 \in \Delta_0$ ne remplissant pas la propriété précédente. Cela entraîne — eu égard au procédé utilisé pour réaliser l'extension des $K_\alpha(t_0)$ et $K_\beta(t_0)$ — que la courbe $\Gamma(M_1)$ n'atteint pas $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$. Donc $\Gamma(M_1)$ se réduit, d'après ce qu'on a vu, à un arc $\widehat{M_2M_3} \subset \Delta_0$, dont les extrémités $M_i(x_i, y_i, t_i)$ $i = 2, 3$, sont telles que $t_i \in]0, t_0[$; sans restreindre la généralité, on peut supposer $t_2 < t_3$. Nous dirons alors que $M_1 \in \Delta_{01}$, domaine simplement connexe, dont la frontière $\overline{\Delta_{01}}$ est constituée par les portions de S et de \overline{D} , telle que $t \in [t_2, t_3]$; nous verrons ci-après que dans le cas des marées littorales il peut y avoir dans Δ_0 plusieurs creux tels que Δ_{01} . Soient alors $[d(t_4) + \overline{d}(t_4)]$ et $[\underline{s}(t_4) + \overline{s}(t_4)]$ les sections respectives de $(\Delta_0 + \overline{\Delta_0})$ et de $(\Delta_{01} + \overline{\Delta_{01}})$ par le plan $t = t_4 \in]t_2, t_3[$; $[\underline{s}(t_4) + \overline{s}(t_4)]$ est simplement connexe dont la frontière $\overline{s}(t_4) = \underline{s}_1(t_4) + \overline{s}_2(t_4)$ se compose d'arcs simples, sections de S et de \overline{D} , respectivement par le plan $t = t_4$. Notons encore $K_\alpha(t_4), K_\beta(t_4)$ les courbes sections des S_α, S_β par le plan $t = t_4$; on définit ainsi encore le système de lignes coordonnées dans le domaine $[d(t_4) + \overline{d}(t_4)]$ qu'atteignent toutes les courbes $\Gamma(M), \forall M \in [d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$. On peut alors, comme on l'a fait ci-dessus, prolonger les courbes K à travers $\overline{s}(t_4)$ dans tout $[\underline{s}(t_4) + \overline{s}(t_4)]$ et, par suite les S_α et S_β à tout le domaine $(\Delta_{01} + \overline{\Delta_{01}})$, de façon à obtenir dans celui-ci un système de deux sur trois de surfaces coordonnées, ce qui étend à la situation présente les conclusions de 1).

En procédant comme à partir de $[d(t_0) + \overline{d}(t_0)]$ pour $t > t_0$ et à partir de $(d + \overline{d})$ pour $t < 0$, on étend les conclusions précédentes à tout $(D + \overline{D})$.

Rappelons, enfin, que les résultats de (2.3.3)_{II} et de (2.3.4) sont du type a .

2) Une propriété « b » des courbes $\Gamma(M_0)$

L'étude théorique des solutions de (E) laisse prévoir l'existence dans les mers littorales des courants permanents, d'origine non linéaire (cf. par ex. [5]) d'une part et montre, d'autre part, que le vecteur vitesse $\overline{V}(x, y, t), \forall (x, y) \in (d + \overline{d})$, est une fonction multipériodique du temps. Toutes les composantes sinusoïdales de u, v sont de très faibles amplitudes vis à vis des dimensions du bassin d ; mais plusieurs d'entre elles sont grandes vis à vis de la vitesse du courant permanent. Les roses de courant sur d présentent grossièrement l'allure d'ovales allongés — mais non fermés — qui se déforment très lentement avec le temps. Les rares mesures « in situ », disponibles dans la littérature, confirment qualitativement ces résultats théoriques.

De ce qui précède, on peut déduire — au prix de raisonnements dépourvus de rigueur — quelques indications concernant la forme des courbes $\Gamma(M_0)$. Rappelons d'abord que les $\Gamma(M_0)$ sont des courbes intégrales de (2.27)_{II}, définies dans $(D + \overline{D})$ par (2.23)_{II}; mais envisagé comme déterminant paramétriquement dans $(d + \overline{d})$ une ligne, ce système définit les trajectoires des particules fluides dans ce domaine — qui sont, d'ailleurs les projections orthogonales des $\Gamma(M_0)$ sur Oxy —. De l'ensemble des résultats ci-dessus, il s'ensuivrait alors que $\Gamma(M_0)$ ressemblerait grossièrement à un ressort dont l'axe des spires serait recourbé. Adoptant la disposition de la figure 3 a, la trajectoire $\widehat{PP_1}$ serait — si $P = M_0, M_0 \in \widehat{AD} \subset \overline{\sigma}_1(t_0), M_0 \neq A$ et $M_0 \neq D$ — composée d'un très grand nombre de boucles dont l'allure globale serait représentée sur la figure 4 a, avec $P_1 = \Gamma(P) \cap \widehat{BC}$. Si, au contraire, $M_0 = P \in \widehat{AB}, P \neq A$ et $P \neq B$, ces boucles seraient réduites à des arcs $\subset \widehat{PB}$ (ou \widehat{PA}), selon le sens du courant permanent.

On a figuré en traits interrompus la portion de ces courbes situées en dehors du cylindre à génératrices parallèles à Ot et admettant $\overline{\sigma}_2(t_0)$ pour section droite.

Quant aux propriétés a et b des $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ nous n'utiliserons dans la suite que celles énoncées à l'alinéa 2.3.4. auquel on se reportera.

3) Une propriété commune aux surfaces S_α intégrales de (2.10)_{II} et S_γ , intégrales de (2.11)_{II}.

Faisant jusqu'à nouvel ordre abstraction de toutes les conventions antérieures, nous allons rappeler un lemme général, de caractère élémentaire et classique, mais présenté ci-dessous sous une forme adaptée aux applications à notre problème. Soient : Δ , un domaine $\subset Oxyt$, de frontière $\overline{\Delta}$; S une surface simple, régulière $R^{(2)}$ (pour simplifier) qui partage Δ en deux domaines Δ_1 et Δ_2 , et qui est dépourvue de plans tangents parallèles à Oxy ; $\theta(M_0)$, une famille de courbes, définies et régulières $R^{(2)}$ (pour fixer les idées), tracées sur $(\Delta + \overline{\Delta})$, telles que :

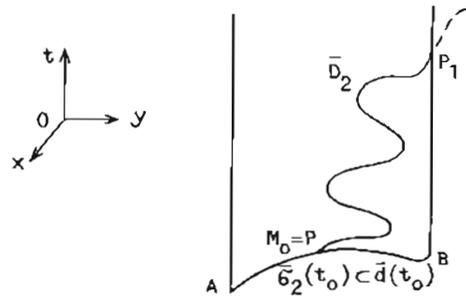
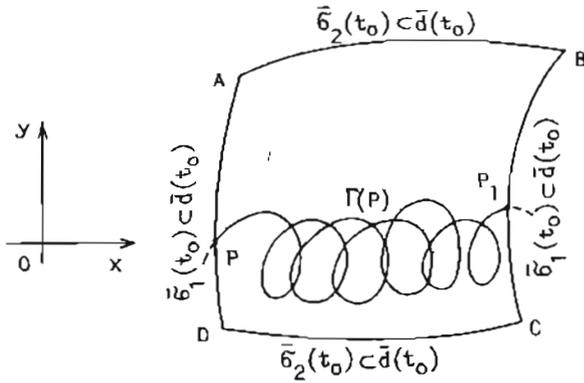


Figure 4b

- il passe une $\theta(M_0)$ et une seule par $M_0(x_0, y_0, t_0)$, $\forall M_0 \in (\Delta + \bar{\Delta})$;
- $\theta(M_0)$ est dépourvue de tangente parallèle à Oxy, de sorte qu'on peut orienter chaque $\theta(M_0)$ dans le sens des t croissants;
- aucune $\theta(M_0)$ n'est tangente à S. Alors, on a le :
Lemme : $\theta(M_0) \cap S$ se réduit au plus à un point unique.

D'après les hypothèses, S est orientable au moyen des courbes $\theta(P)$, issues de $P \in S$, orientées dans le sens des t croissants. On peut donc distinguer sur S deux faces : $S_i \subset \bar{D}_i$, $i = 1, 2$, de telle sorte qu'en traversant (au sens strict) S, $\theta(P)$ passe de Δ_2 à Δ_1 lorsque t croît. Soit alors $\theta(P_1)$, l'unique courbe de la famille considérée, issue de $P_1(x_1, y_1, t_1) \in S$. Raisonnons par l'absurde et supposons que $\exists P_2(x_2, y_2, t_2) \in S$, tel que $P_2 \in \theta(P_1) \cap S$, et $P_1 \neq P_2$. Sans restreindre la généralité on peut supposer que l'arc $\widehat{P_1 P_2} \subset \theta(P_1)$ est tel que $\widehat{P_1 P_2} \cap S$ soit vide. Il s'ensuivrait que $\theta(P_1)$ — qui, par construction, pénètre de Δ_2 dans Δ_1 en P_1 — pénétrerait en P_2 de Δ_1 en Δ_2 . Or, cela est impossible, car il passe par P_2 une et une seule courbe $\theta(P_2)$ orientée de Δ_2 vers Δ_1 .

Cela étant, reprenons les notations adoptées au début du présent alinéa et soit (u, v, ζ) , une solution régulière $R^{(2)}$ de (E), définie sur $(D + \bar{D})$. Alors les résultats des alinéas (2.3.3)_{iii}, (2.3.4) et de l'actuel permettent d'affirmer qu'on peut prendre pour S et $\theta(M_0)$ le couple S_γ (surface intégrale de (2.11)_{iii}) et $\Gamma(M_0)$ (caractéristiques de (2.10)_{iii}) d'une part et le couple S_α (surface intégrale de (2.10)_{iii}) et $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ (caractéristiques de (2.11)_{iii}), d'autre part; chacun de ces couples remplit, en effet, toutes les hypothèses du lemme.

En vue des applications à (E), il est utile de noter que la validité du lemme est assurée moyennant la seule hypothèse que la surface séparatrice S est orientable au moyen de la famille $\theta(M_0)$. Il est, dès lors, loisible de supposer que S soit se compose des nappes régulières $R^{(2)}$ séparées par les arêtes, soit qu'elle possède des points coniques, soit qu'elle possède ces deux singularités à la fois. Or, rappelons qu'une telle situation se présente, comme on l'a déjà annoncé à plusieurs reprises

(cf. par ex. 2.3.4), lorsque S est une surface intégrale de (2.11)_{iii}.

Voici quelques applications des résultats qui précèdent.

— Zones d'influence des données de Cauchy

Soient : $L \subset (d + \bar{d})$, une courbe fermée, simple, régulière $R^{(2)}$; $\Delta(L) \subset (d + \bar{d})$ le domaine — dont L est la frontière —; S_γ , une des deux surfaces intégrales de (2.11)_{iii} passant par L; $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$, la caractéristique de (2.11)_{iii}, génératrice de S_γ , quand M_0 décrit L. Proposons-nous d'abord de préciser la forme de S_γ . En vertu des propriétés « a » des Γ (cf. 2.3.4.), S_γ est régulière $R^{(2)}$ dans le voisinage de L; chacune de ses génératrices atteint \bar{D} qu'elle coupe en deux points $P_i(x_i, y_i, t_i)$, $i = 1, 2$; $t_2 > 0$; $t_1 < 0$. Admettons à présent — jusqu'à nouvel ordre — que la propriété b, traduite par (2.49), soit vérifiée. Il résulte alors de (2.49) que $\exists m(L)$, une valeur positive de t , ne dépendant que de L et de (u, v, ζ) mais indépendante de $M_0 \in L$, telle que $|t_i| < m(L)$. Comme $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ et L sont régulières $R^{(2)}$, S_γ se décompose, dans le domaine $|t| < m(L) \subset (D + \bar{D})$ où elle est définie, en nappes le long desquelles le plan tangent à S_γ varie continûment avec le point de contact (cf. la fig. 5a). Nous réduirons alors S_γ à une surface simple, partageant $(D + \bar{D})$ en deux régions. On sait, par ailleurs (cf. 2.3.4.), que S_γ ne peut avoir de plan tangent parallèle à Oxy. Il s'ensuit que S_γ , ainsi réduite, doit présenter des singularités telles que des lignes arêtes — le long desquelles le plan tangent à S_γ subit une discontinuité — et des points coniques. Au § 3 ci-après, on indiquera un procédé de construction des exemples de cette nature. Sur les figures 5b et 5c on se limite au cas — le plus simple, comme on le verra — où S_γ possède une ligne arête $\widehat{\lambda\mu}$ dont les extrémités λ et μ sont des points coniques. Comme cette surface est régulière $R^{(2)}$ dans le voisinage de L, on voit que $Oxy \cap \widehat{\lambda\mu}$ est vide. Sur la figure 5b, $\widehat{\lambda\mu} \subset (t > 0)$ et sur 5c, $\widehat{\lambda\mu} \subset (t < 0)$. Les nappes $\lambda\mu M_1 M_2$ et $\lambda\mu M_3 M_4$ de S_γ sont régulières $R^{(2)}$ car elles résolvent le problème de Cauchy posé relativement à (2.11)_{iii} et aux arcs $\widehat{M_1 M_2} \subset L$ et $\widehat{M_3 M_4} \subset L$, réguliers $R^{(2)}$ par hypothèse. Il s'en suit qu'il en est

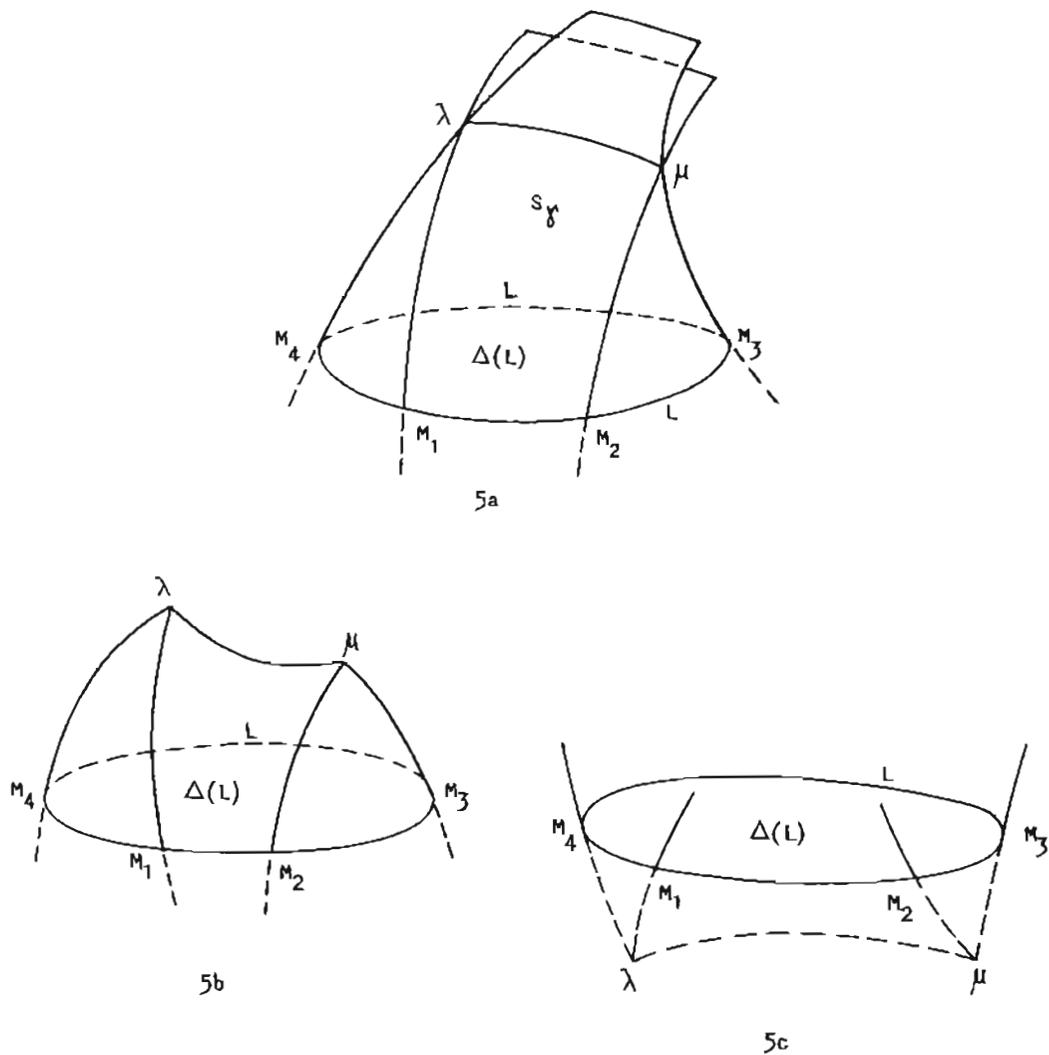


Figure 5

de même de l'intersection $\widehat{\lambda\mu}$ des deux nappes en cause. Par conséquent, on peut envisager celles-ci comme deux solutions S_{γ_i} du même problème de Cauchy posé relativement à l'arc $\widehat{\lambda\mu}$. Cette double interprétation de S_{γ} prouve que la distinction entre les S_{γ_i} n'a de sens que sur les portions régulières des surfaces intégrales de (2.11)_{ii}; car les deux nappes considérées le long de $\widehat{\lambda\mu}$ sont le prolongement d'une seule solution du problème de Cauchy posé pour l'arc régulier $R^{(2)}: \overline{M_1M_2M_3M_4} \subset L$ — solution régulière $R^{(2)}$ dans le voisinage de L —.

Les portions $\widehat{\mu M_2M_3}$ et $\widehat{\lambda M_1M_4}$ de S_{γ} sont régulières $R^{(2)}$, sauf en leurs singularités coniques en λ et μ .

Ceci étant, montrons que $\widehat{\lambda\mu}$ est la seule ligne singulière de S_{γ} , supposée prolongée jusqu'à \overline{D} au-delà de L , à partir de cette arête.

En effet, S_{γ} est engendrée par les courbes $\Gamma(P, \rho_0, q_0)$ lorsque P décrit $\widehat{\lambda\mu}$. Il en existe deux issues de P si $P \neq \lambda$ et $P \neq \mu$ et une infinité dans le cas contraire; ce sont des arcs $\widehat{PP_1}$, réguliers $R^{(2)}$ dont l'extrémité $P_1(x_1, y_1, t_1) \in \overline{D}$.

Ceci posé, raisonnons par l'absurde et admettons que \exists l'arc $\widehat{PP_1}$ ($P \in \widehat{\lambda\mu}$, $P_1 \in \overline{D}$) de $\Gamma(P, \rho_0, q_0) \subset S_{\gamma}$, qui traverse en Q (au sens strict) une portion $S_{\gamma_0} \subset S_{\gamma}$: $Q = \widehat{PP_1} \cap S_{\gamma_0}$, $Q \neq P$. Il est loisible de supposer que $\widehat{PQ} \cap S_{\gamma_0}$ se réduit à P et Q , ce qui exclut la situation représentée sur la figure 6a où \widehat{PQ} recoupe S_{γ_0} en $Q_1 \in \widehat{PQ}$. Comme t varie d'une manière strictement monotone le long de chaque génératrice Γ de (2.11)_{ii}, on voit que $\widehat{PQ} \subset \Delta_0$, domaine compris entre les plans parallèles à Oxy passant par P et Q et qu'il est possible de choisir pour $(S_{\gamma_0} + \overline{S_{\gamma_0}})$ une portion de $(S_{\gamma} + \overline{S_{\gamma}}) \subset (\Delta_0 + \overline{\Delta_0})$ telle que P et $Q \in S_{\gamma_0}$. Alors, nous admettrons comme évidente la proposition suivante (dont nous omettons de donner ici la démonstration élémentaire mais longue): on peut trouver un domaine $(\Delta + \overline{\Delta}) \subset (\Delta_0 + \overline{\Delta_0})$ tel que: $\overline{S_{\gamma_0}} \subset \overline{\Delta_0}$; S_{γ_0} partage $(\Delta + \overline{\Delta})$ en deux régions; $\widehat{PQ} \subset (\Delta + \overline{\Delta})$: de sorte que le cas de la figure 6c, où la courbe $\Gamma(P, \rho_0, q_0)$ (orientée) traverse en P et Q la surface orientée S_{γ_0} dans le même sens est à exclure.

Dès lors, le lemme s'applique: la situation de la figure 6b est impossible, en sorte que le point

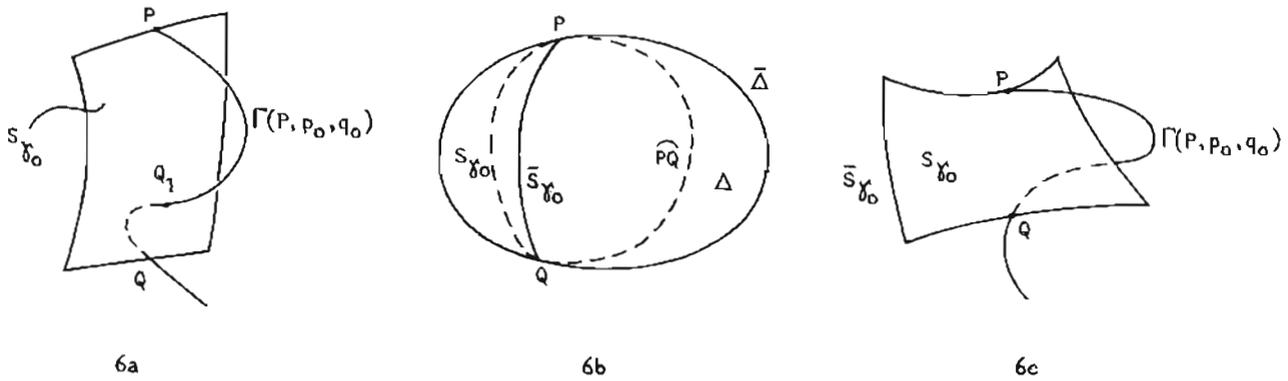


Figure 6

Q n'existe pas. Cela justifie la propriété que nous avons en vue.

Ainsi S_γ est simple et ne possède qu'une seule ligne singulière λ_μ . Notons maintenant : S_γ^+ , la portion de S_γ de la figure 5b, située dans le demi-espace $t \geq 0$; S_γ^- , la portion de S_γ de la figure 5b, située dans le demi-espace $t \leq 0$; $M_0(x_0, y_0, t_0)$ (ou $M_1(x_1, y_1, t_1)$) un point $\in [d(L) + L]$ (ou $\in [d + \bar{d}]$ mais extérieur à $d(L)$); $\Gamma^+(M_0, p_0, q_0)$ (ou $\Gamma^-(M_1, p_0, q_0)$) l'arc de courbe $\subset \Gamma(M_0, p_0, q_0)$ (ou $\Gamma(M_1, p_0, q_0)$) le long duquel $t > 0$ (ou $t < 0$); $\Delta^+(L)$ (ou $\Delta^-(L)$), le domaine limité par $d(L)$ d'une part et par S_γ^+ (ou S_γ^-), d'autre part.

Cela posé, rappelons que les figures 5b et 5c ne sont valables que moyennant (2.49), inégalités qui reposent sur l'hypothèse $H/V > 1$ (cf. (2.3.3)_{ii}, in fine). Alors ce qui précède entraîne dans le cas de la figure 5b les conséquences immédiates ci-après, que l'on adaptera sans peine au cas de la figure 5c.

1) Toute courbe $\Gamma(M_0, p_0, q_0)$ ne peut couper S_γ qu'en un seul point $\in S_\gamma^+$. Toute courbe $\Gamma(M_1, p_0, q_0)$ ne peut couper S_γ qu'en un seul point situé dans le demi-espace $t < 0$; sinon, en effet, $\Gamma(M_1, p_0, q_0) \cap S_\gamma$, supposé non vide, se composerait de deux points $\in S_\gamma^+$, ce qui est impossible.

2) Soit $P(x, y, t) \in [\Delta^+(L) + S_\gamma^+]$. Alors $\exists M_0 \in [d(L) + L]$ tel que $M_0 = \Gamma(P, p_0, q_0) \cap [d(L) + L]$.

3) En vertu du lemme, les deux propriétés ci-dessus s'appliquent aux courbes $\Gamma(M_0)$ et $\Gamma(M_1)$; les notations $\Gamma^+(M_0)$ et $\Gamma^-(M_1)$ auront le même sens que pour les caractéristiques de (2.11)_{iii}.

4) Donnons-nous une triangulation de $(d + \bar{d})$ et considérons les trois familles de surfaces coordonnées correspondantes, bicaractéristiques de (E). D'après 2) et 3), les portions de ces surfaces, situées dans $\Delta^+(L)$ sont engendrées par les courbes $\Gamma^+(M_0)$ et $\Gamma^+(M_0, p_0, q_0)$, donc issues des points $M_0 \in [d(L) + L]$. Or on verra en 2.5 que cela entraîne la conséquence suivante. Posons-nous le problème de Cauchy relativement à (E) et à la multiplicité $m[d(L), u, v, \zeta]$, qui est normale. Alors la solution dans $[\Delta^+(L) + S_\gamma^+]$ ne dépend que des données de Cauchy sur $[d(L) + L]$. En d'au-

tres termes, on peut modifier u, v, ζ d'une manière arbitraire sur $(d + \bar{d})$ à l'extérieur de $[d(L) + L]$ sans changer la solution dans $[\Delta^+(L) + S_\gamma^+]$. Nous dirons alors que $[\Delta^+(L) + S_\gamma^+]$ est la zone d'influence des données $m[d(L), u, v, \zeta]$ dans le demi-espace $t > 0$: la solution correspondante définit alors ce qu'on appelle « onde incidente ». On montre, de même, que $[\Delta^-(L) + S_\gamma^-]$ est zone d'influence des mêmes données dans le demi-espace $t < 0$. Enfin on appellera la zone d'influence des données en cause le domaine $[\Delta^+(L) + \Delta^-(L) + S_\gamma^+ + S_\gamma^-]$.

A part le terme de zone d'influence — qui ne semble pas universellement adopté — les notions précédentes et le vocabulaire utilisé sont classiques. A cet égard, nous nous sommes surtout inspirés de l'exposé de J. Hadamard [cf. [12]] où ces notions sont constamment mises en œuvres; on se reportera, en particulier, aux paragraphes 71-76]. Mais cet auteur se limite à l'examen des équations hyperboliques dont le cône caractéristique est indécomposable et traite surtout le cas où le domaine $d(L)$ se réduit à un point. C'est pourquoi, la discussion ci-dessus des propriétés des S_γ^+ et S_γ^- semble plus détaillée que celles qu'on trouve dans beaucoup d'ouvrages usuels.

Remarques : — Soulignons que les raisonnements qui précèdent demeurent valables dans les cas où la surface S_γ (passant par L) serait creusée de trous en raison de la présence des îles dans d .

— En second lieu, indiquons une interprétation de l'hypothèse $H/V > 1$, utilisée pour la construction des figures 5b et 5c. D'après (2.3.3)_{ii}, cette inégalité traduit le fait que la parallèle à Ot , menée par P est intérieure au cône caractéristique $C(P)$. Notons alors $\bar{D}(L)$, la surface cylindrique de base L et à génératrices parallèles à Ot et $D(L)$ le domaine $\subset (D + \bar{D})$ qu'elle limite. Alors l'hypothèse faite entraîne : $[\Delta^+(L) + \Delta^-(L) + S_\gamma^+ + S_\gamma^-] \subset [D(L) + \bar{D}(L)]$. Autrement dit, la zone d'influence de $m[d(L), u, v, \zeta]$ ne dépasse pas le domaine $d(L)$; ce fait est de grande importance dans la formulation des problèmes aux limites posés relativement à (E). Lorsque, au contraire, $H/V < 1$, on constate aisément que la zone d'in-

fluence de $m[d(L), \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}]$ dépasse $d(L)$ (cf. 3.2.3.).

Rappelons ici la signification physique de H : d'après la théorie classique de Hadamard, H est la norme du vecteur vitesse de propagation locale du front de l'onde de marée. Il s'ensuit que les deux situations ($H > V$ ou $H < V$) qu'on vient d'analyser, ne sont pas sans présenter quelques analogies avec les mouvements subsoniques et supersoniques plans des fluides parfaits compressibles. Mais il importe d'observer qu'en dynamique des gaz parfaits, les systèmes quasi-linéaires d'équations qui en décrivent les écoulements ne sont pas de même nature selon que $H < V$ ou $H > V$: le système en cause, hyperbolique dans le premier cas, est elliptique dans le second. Dans le cas des marées littorales, (E) est, au contraire, toujours hyperbolique, quel que soit le signe de $(H/V - 1)$. Mais rappelons, une fois de plus, que l'éventualité $H < V$ — qui n'est, a priori, réalisable qu'en eau peu profonde — est difficilement compatible avec l'hypothèse fondamentale de la théorie selon laquelle la vitesse \bar{V} du liquide est constante le long de toute verticale locale. Mais nous reviendrons ailleurs sur l'étude du système (E) lorsque $H < V$, en raison de son intérêt purement analytique. Peut-être aboutira-t-on ainsi à une interprétation théorique qualitative des faits observés in situ près des côtes.

Extension au cas où la multiplicité donnée $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ de Cauchy a pour porteuse une surface régulière $R^{(2)}$ courbe.

Nous supposons dans ce qui suit que m est une multiplicité normale. Rappelons alors deux définitions classiques des notions qui jouent un rôle capital dans la théorie des ondes (cf. par exemple [12]_{ii}, chapitre III et spécialement les pages 267-269).

Définitions : 1) Nous dirons que la surface porteuse \sum de $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ est orientée dans l'espace si, $\forall P \in \sum$, l'intersection $C(P) \cap \sum$ se réduit, dans le voisinage de P , au seul sommet P du cône caractéristique $C(P)$.

2) Nous dirons que \sum est orientée dans le temps si, $\forall P \in \sum$, le plan tangent à \sum en P coupe $C(P)$ suivant deux génératrices (distinctes, puisque m est normale, par hypothèse).

a) *Cas où \sum est orientée dans l'espace*

Le domaine plan $d(L) \subset Oxy$, considéré ci-dessus, fournit l'exemple le plus simple d'une surface porteuse d'une multiplicité m normale, orientée dans l'espace, et ceci quelles que soient les données qu'elle porte. Observons maintenant que la définition et les raisonnements, présentés lors de l'étude du cas où $\sum \equiv d(L) \subset Oxy$ s'adaptent immédiatement à la situation actuelle où \sum est courbe. En particulier, la définition d'une \sum courbe, triangulée au moyen du réseau des courbes $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$, tracées sur \sum , la construction des surfaces coordonnées correspondantes $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$, la définition des zones d'influence de \sum s'appli-

quent en l'espèce sans changement, ainsi que les justifications des conséquences qu'on en a tirées. Signalons, toutefois, que la démonstration des propriétés des zones d'influence doit subir de légères retouches. Observons enfin, que toutes les extensions des résultats qui précèdent au cas où \sum est courbe tiennent au fait que, $\forall K$, une courbe du réseau ci-dessus introduit, il existe toujours deux surfaces intégrales de (2.11)_{ii} passant par K , lorsque \sum est orientée dans l'espace. Dans la généralité des cas pratiques, le problème de Cauchy est posé pour $\sum \subset Oxy$; alors la donnée $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ est, à proprement parler, initiale. Cela suppose que l'on connaisse les données natures de $(\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ à un même instant dans toute l'étendue de la mer littorale $(d + \bar{d})$. Mais on peut imaginer qu'une campagne d'essais consécutifs en mer fournit ces données en des points $P_k(x_k, y_k, t_k) \in (D + \bar{D})$. Si le réseau des P_k est tel que $|t_k - t_{k+1}|/|P_k P_{k+1}|$ sont assez petits, on aurait une discrétisation de la multiplicité $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ dont le support \sum serait orienté dans l'espace : le problème de Cauchy correspondant serait posé pour une surface porteuse courbe. Si, au contraire, les différences $|t_k - t_{k+1}|$ sont grandes, il serait peut-être possible, pour se ramener au cas précédent, d'utiliser le fait que u, v, ζ sont des fonctions multipériodiques du temps.

b) *Cas où \sum est orientée dans le temps*

Lorsque $H/V > 1$ (cf. 2.3.3.)_i, toute surface cylindrique \sum , à génératrices parallèles à Ot est orientée dans le temps. Remarquons ensuite que, dans la situation actuelle, le choix du réseau $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$, à tracer sur \sum est soumis à une restriction : si on veut que la famille S_γ de surfaces coordonnées soit composée de surfaces intégrales de (2.11)_{ii}, il faut qu'en chacun de leurs points P , les K_γ soient extérieures au cône caractéristique $C(P)$. De plus, on vérifie aisément — et nous reviendrons sur ce point — qu'on peut choisir la donnée de Cauchy $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ portée par la surface \sum orientée dans le temps, de façon que les zones d'influence des différents morceaux disjoints de \sum empiètent les uns sur les autres dans $(D + \bar{D})$.

Il importe d'observer que la définition de la zone d'influence du domaine $d(L) \subset \sum$ (orientée dans le temps et limitée par une courbe $L \subset \sum$ simple et régulière) n'a de sens que si L est extérieure à $C(P)$, $\forall P \in L$. S'il en était autrement, il y aurait lieu de redéfinir cette notion : nous reviendrons sur ce point. Il s'ensuit que la solution du problème de Cauchy correspondant peut ne pas être uniforme sur $(D + \bar{D})$ et sera dépourvue, dès lors, de toute signification physique : la validité physique de (u, v, ζ) ne serait alors assurée que dans le voisinage assez petit de \sum — tout au moins dans le cas où la donnée $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ serait arbitraire. C'est pourquoi on dit que le problème de Cauchy posé relativement à (E) et à une multiplicité donnée $m(\sum, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$, dont le support \sum serait orienté dans le temps, est mal posé.

Ces particularités ne se présentent pas comme on l'a vu, dans le cas des surfaces Σ orientées dans l'espace. C'est là que réside la différence essentielle entre les deux éventualités qu'on vient d'examiner.

— Mais supposons, pour finir, que $\Sigma \equiv \bar{D}$ et admettons que les données correspondantes $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$ aient été déterminées sur \bar{D} par des mesures in situ, sans qu'une portion de \bar{D} porte des données bicaractéristiques. Alors la solution du problème de Cauchy ainsi posé relativement à (E) serait uniforme dans $(D + \bar{D})$ et par suite, physiquement acceptable. Si les données $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$ étaient connues sur la portion $\bar{D}_1 \subset \bar{D}$, telle que $t \in [t_1, t_2]$, la conclusion serait la même dans la zone d'influence de \bar{D}_1 dans D . Dans l'éventualité ci-dessus envisagée, on a admis que \bar{d} ne comporte pas de portion continentale \bar{d}_2 . S'il en était autrement, le problème aux limites correspondant serait d'une nature analytique différente, sur lequel nous reviendrons ultérieurement.

2.3.7. Détermination d'un maillage fixé a priori dans le repère $O\alpha\beta\gamma$

Comme on l'a déjà indiqué, les numériciens renoncent souvent, en pratique, à traiter les problèmes aux limites, posés relativement à (E), par les méthodes résolutive fondées sur l'emploi des multiplicités bicaractéristiques de ce système, définies dans le domaine $D \subset Oxyt$. Cela tient au fait [cf. (§ 1.4.)₁] que la discrétisation du domaine D au moyen d'un maillage de surfaces porteuses des multiplicités bicaractéristiques exige la détermination pas à pas de celles-ci, en sorte que les nœuds du maillage à réaliser, ainsi que les valeurs prises par u, v, ζ en ces points, sont inconnus a priori.

Montrons qu'en opérant dans un domaine $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$ convenablement choisi, on peut tourner cette difficulté. Bornons-nous d'abord au problème de Cauchy et reprenons les résultats du § 2.3.5., qui peuvent s'énoncer comme suit :

(A) Soient $\Sigma \subset Oxyt$ une surface, de classe $R^{(2)}$ avec sa frontière $\bar{\Sigma}$, et $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ trois familles de courbes données, de même classe, tracées sur Σ , définissant une triangulation paramétrée par α, β, γ . (Cela implique que α, β, γ , vérifient d'une part les trois relations telles que (2.50) — ou des relations analogues obtenues en remplaçant dans (2.50) les variables x, y par y, t ou t, x — et que, d'autre part, (2.51) soit satisfaite). Alors, la donnée des K détermine dans l'espace $O\alpha\beta\gamma$ une surface σ , de classe $R^{(2)}$ avec sa frontière $\bar{\sigma}$, et une application bijective $\Sigma + \bar{\Sigma} \leftrightarrow \sigma + \bar{\sigma}$, de telle sorte que les images des $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ soient des courbes $k_\alpha, k_\beta, k_\gamma$, intersections de σ par les plans $\alpha = \text{const}, \beta = \text{const}, \gamma = \text{const}$, et formant une triangulation sur σ .

La surface σ est dépourvue de plans tangents

parallèles à l'un, au moins, des axes du repère $O\alpha\beta\gamma$.

(B) Soient $m(\Sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}) \in Oxyt$ une multiplicité de classe $R^{(2)}$, normale par rapport à (E) et $u, v, \zeta(x, y, t)$ la solution du problème de Cauchy posé relativement à (E) et à m , univoquement définie dans une zone d'influence Δ_0 de m . Alors, il existe une solution de (e), donnée par (1.1)_i et vérifiant (1.2)_i, où α, β, γ sont les paramètres introduits dans (A), et de classe $R^{(2)}$ dans $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$. (1.1)_i définit l'unique représentation paramétrique de la solution u, v, ζ et réalise l'application bijective $\sigma \leftrightarrow \Sigma$ de telle sorte que les courbes $k \subset \sigma$ admettent pour images $K \subset \Sigma$.

Il suit de ces assertions qu'on peut, après avoir défini sur Σ une triangulation, représenter la donnée de Cauchy $m(\Sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}) \in Oxyt$ par une image bijective $\mu(\sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}) \in O\alpha\beta\gamma$, de sorte que le réseau de surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$, inconnu a priori, se transforme en un réseau de surfaces planes qui définissent ainsi un maillage fixe, donné a priori : c'est ce que l'on voulait montrer.

Dans le cas des problèmes mixtes posés relativement à (E) (que nous aborderons au § 3), le choix pratique des variables α, β, γ et de leur domaine de définition \mathcal{D} dépend de la nature des conditions aux limites imposées. Rappelons qu'en général la solution u, v, ζ de (E) d'un problème mixte n'est plus de classe $R^{(2)}$ dans \mathcal{D} et que $\text{grad } u$, par exemple, peut avoir des discontinuités : nous reviendrons en détail sur ce point au § 3. Donnons un exemple courant : supposons que la première étape de résolution d'un problème de Cauchy consiste à déterminer la zone d'influence $\Delta_0(d)$ des conditions définies par la donnée de la multiplicité $m(d, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$. Ensuite, on cherche à prolonger la solution ainsi obtenue à l'extérieur de Δ_0 , c-à-d. à travers la surface $S_\gamma \subset \bar{\Delta}_0$. A ce point, il faut tenir compte alors des conditions frontières imposées sur \mathcal{D} , ce qui entraîne, en général, l'apparition des discontinuités des dérivées premières des inconnues le long de la frontière $\bar{\Delta}(d)$.

Rappelons que, d'après la référence [22], une des difficultés que pourrait présenter la mise en œuvre de la méthode, décrite ci-dessous, consisterait en la recherche d'une triangulation de $(d + \bar{d})$ aussi simple que possible de la frontière $\bar{\sigma}$.

2.4. Aperçu sur les schémas résolutifs approchés du problème de Cauchy. Construction fondamentale et applications

2.4.1. Introduction

En 2.3. et 2.4, nous avons étudié les propriétés des représentations paramétriques (2.1)_i d'une solution de (E), supposée donnée et assez régulière. Dans ce qui suit nous appliquerons ces résultats pour décrire une méthode de calcul

approchée des solutions du problème de Cauchy, fondée sur l'approximation des accroissements finis. La première variante, très classique, consiste à utiliser directement les équations (2.21)_i de Daubert et Graffe : autrement dit, on représente approximativement une surface bicaractéristique S par une surface polyédrale dont chaque face polygonale est située dans le plan tangent à S . Il s'agit donc, au fond, de l'extension à (E) de la méthode classique du polygone de Cauchy, utilisée dans la théorie des équations différentielles ordinaires. Nous avons cru utile de reprendre ces calculs, classiques en grande partie. La seconde variante, fondée sur la réduction du problème de la construction d'une surface S à un système différentiel, exposée en 2.3.3._{ii} et 2.3.4., sera décrite en 2.4.3.

2.4.2. Schéma résolutif approché du problème de Cauchy : 1^{re} variante

Nous donnons dans ce qui suit un bref aperçu sur un modèle résolutif approché du problème de Cauchy inspiré par le système associé (e) défini au § (2.2).

Rappelons d'abord que nous avons postulé l'existence et l'unicité des solutions du problème régulier de Cauchy, posé relativement à (E). Notons également que les approximations utilisées ci-après peuvent être justifiées avec toute la rigueur voulue en considérant les ordres de grandeur des termes systématiquement négligés dans ce qui suit. Toutefois, une telle justification détaillée, d'ailleurs usuelle, sortirait du cadre de cet article. Nous nous bornerons donc à indiquer l'essentiel du développement qui conduit aux équations approchées.

Soient $P(x, y, t)$ et $P_i(x_i, y_i, t_i)$, $i, j = 1, 2, 3$, quatre points de D et $u(x, y, t) = u(P)$, $v(P)$, $\zeta(P)$ la solution cherchée de (E) que l'on suppose assez régulière. Nous admettrons $|P_i P_j| \leq \ell$, suffisamment petit, et poserons :

$$f(P) := f; \quad f(P_i) := f_i; \quad \Delta_i f := f - f_i; \quad \Delta_{ij} f := f_i - f_j. \quad (2.56)$$

Alors, si $\overrightarrow{\text{grad}} f$ est continu, on a :

$$\Delta_i f \approx \frac{\partial f}{\partial x} \cdot \Delta_i x + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \Delta_i y + \frac{\partial f}{\partial t} \cdot \Delta_i t \quad (2.57)$$

Il suit de là que : 1) si les f_i sont des données à priori, il en sera de même de Δ_{ij} ; 2) toute relation linéaire en $\Delta_i f$ sera aussi linéaire en f .

D'autre part, soit $f(x, y, t) = 0$ l'équation d'une surface $\Sigma \subset D$. Le plan tangent π_i à Σ en P_i est donné par : $\overrightarrow{\text{grad}} f(P_i) \cdot \overrightarrow{PP_i} = 0$; si $P_i \in \sigma \subset \Sigma$ où σ est un domaine de diamètre 2ℓ , on peut considérer π_i comme fixe, quel que soit $P_i \in \sigma$.

Envisageons maintenant un petit triangle curviligne σ , non dégénéré, de sommets P_1, P_2, P_3 dont les côtés $\widehat{P_1 P_2}$, $\widehat{P_2 P_3}$ sont des arcs élémentaires, « assez » réguliers. Par hypothèse $\sigma \subset D$; et on

admet dans D l'existence d'une solution « assez » régulière de (E) et telle que la multiplicité $m(\sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ soit normale. D'après cela, σ peut être interprété comme un élément de la triangulation du plan $P_1 P_2 P_3$ (cf. 2.3.5), de sorte qu'il existe trois surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$, bicaractéristiques de (E), passant respectivement par $\widehat{P_1 P_2}$, $\widehat{P_2 P_3}$, $\widehat{P_3 P_1}$ (cf. 2.3.3 et 2.3.4) qu'on choisira, pour rester dans le cas le plus simple, de manière que S_α et S_β vérifient (2.10)_{ii}, alors que S_γ vérifie (2.11)_{ii}; cela implique que :

1. conformément à la définition d'une surface triangulée (cf. 2.3.5, in fine) que σ ait été choisi de façon que l'un, au moins des arcs $\widehat{P_1 P_2}$, $\widehat{P_2 P_3}$, $\widehat{P_3 P_1}$ de σ — $\widehat{P_3 P_1}$ pour fixer les idées — soit extérieur aux cônes $C(P_3)$ et $C(P_1)$, moyennant quoi l'existence de S_γ est assurée; si la donnée $m(\sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ ne vérifie pas cette condition, on pourra toujours se ramener au cas où σ est triangulée en utilisant le procédé, décrit ci-après, de l'extrapolation linéaire.

2. pour assurer la validité des calculs approchés ci-dessous, il faut supposer qu'aucune des surfaces $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ passant par la frontière $\bar{\sigma}$ de σ n'admet de plan tangent parallèle à Ot .

Alors ces trois surfaces forment un trièdre curviligne non dégénéré, de sommet P' .

Cela étant, nous allons utiliser la méthode classique d'approximation des accroissements finis. A cet effet, nous assimilons, dans le voisinage de σ , $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ à leurs plans tangents, passant respectivement par les droites $P_1 P_2, P_2 P_3, P_3 P_1$ et nous notons : $P(x, y, t)$ le point commun à ces trois plans; τ le tétraèdre rectiligne $PP_1 P_2 P_3$, $u = u(P)$, $v = v(P)$, $\zeta = \zeta(P)$, $u_i = u(P_i)$, $v_i = v(P_i)$, $\zeta_i = \zeta(P_i)$.

Le diamètre de τ est de l'ordre de ℓ et on a $|PP'| \ll \ell$. Enfin, dans le cadre de l'approximation adoptée, les variations de toute fonction f , sont données par (2.57) dans toute l'étendue de τ . On en déduit classiquement que tous les résultats qui suivent sont valables à l'ordre $\ll \ell$ seulement. Enfin, il résulte des hypothèses faites qu'aucune des faces du tétraèdre τ de sommet P n'est parallèle à Ot . Ceci posé, discrétisons le problème de Cauchy posé relativement à (E) et $m(\Sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ et cherchons à calculer approximativement $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$ à partir des u_i, v_i, ζ_i , supposés connus.

Rappelons, avant d'aller plus loin, que les calculs qui suivent, effectués sur des modèles discrétisés, sont formellement valables quelle que soit la régularité de la solution et des données discrétisées. C'est pourquoi, on s'est contenté, dans l'énoncé des hypothèses du terme vague : « assez » régulier.

La solution comprend deux étapes :

A) Détermination de P à partir des P_i

La normale au plan $PP_i P_j$ ($i \neq j$) est parallèle au vecteur \vec{w}_{ij} défini par :

$$\vec{w}_{ij} = (\Delta_{ij} x, \Delta_{ij} y, \Delta_{ij} t) \times (\Delta_i x, \Delta_i y, \Delta_i t) \quad (2.58)$$

Soit $\vec{n}_{12} = (M_{12}, N_{12}, -1)$ le vecteur normal à PP_1P_2 . Comme on doit avoir par (2.10)_{II} : $(u\vec{t}_x + v\vec{t}_y - 1)|_{P_1} = 0$ et qu'on peut prendre, en première approximation $\vec{t}_x(P_1) \approx M_{12}, \vec{t}_y(P_1) \approx N_{12}$, il s'ensuit que $\vec{n}_{12} \cdot (u_1, v_1, -1) = 0$. Or, \vec{w}_{12} et \vec{n}_{12} sont parallèles : on obtient ainsi, en posant $w_{12}^{(m)}$ = m -ième composante de \vec{w}_{12} , la relation approchée :

$$w_{12}^{(1)}u_1 + w_{12}^{(2)}v_1 + w_{12}^{(3)} = 0 \quad (2.59)$$

qui est une équation linéaire par rapport aux inconnues x, y, t .

Un raisonnement analogue, appliqué aux plans PP_2P_3 et PP_3P_1 , nous conduit finalement au système non-linéaire en x, y, t suivant :

$$w_{ij}^{(1)}u_i + w_{ij}^{(2)}v_i + w_{ij}^{(3)} = k_i, \quad ij = 12, 23, 31$$

$$k_1 = k_2 = 0, \quad k_3 = \sqrt{g(\zeta_3 + h_3)[(w_{31}^{(1)})^2 + (w_{31}^{(2)})^2]} \quad (2.60)$$

qui se ramène à une équation du second degré. Les racines de celle-ci sont réelles et distinctes en vertu du fait que σ est triangulée. Le signe de la racine est choisi de telle sorte que le produit $P^*P \cdot (0,0,1) > 0$ (P^* = projection de P sur le plan $P_1P_2P_3$).

B) Détermination des valeurs approchées u, v, ζ .

Sur la surface S_u d'équation $t = \underline{t}(x, y)$, on doit avoir, par exemple, $u[x, y, \underline{t}(x, y)] = \underline{u}(x, y)$ connu, donc aussi $du = u_x dx + u_y dy$.

Ainsi, en première approximation, on peut écrire :

$$u - u_1 = u(P) - u(P_1) = u_x(P_1)(x - x_1) + u_y(P_1)(y - y_1)$$

ou encore

$$\Delta_1 u = u - u_1 = u_x(P_1)\Delta_1 x + u_y(P_1)\Delta_1 y;$$

$$\Delta_{21} u = u_2 - u_1 = u_x(P_1)\Delta_{21} x + u_y(P_1)\Delta_{21} y.$$

Rappelons que les grandeurs $\Delta_i f$, $f = x, y$ ou t , sont maintenant connues. On tire alors des équations précédentes :

$$u_x(P_1) = \frac{1}{D_{12}} (u\Delta_{12}y + \langle u\Delta y \rangle_{21}),$$

$$u_y(P_1) = \frac{1}{D_{12}} (u\Delta_{21}x + \langle u\Delta x \rangle_{12}) \quad (2.61)$$

$$\text{où l'on a posé } D_{12} := \begin{vmatrix} \Delta_{1x} & \Delta_{1y} \\ \Delta_{2x} & \Delta_{2y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta_{1x} & \Delta_{1y} \\ \Delta_{12x} & \Delta_{12y} \end{vmatrix}$$

$$\text{et } \langle g\Delta f \rangle_{ij} := g_i \Delta_j f - g_j \Delta_i f \quad (2.62)$$

D_{12} n'est pas nul; en effet, $D_{12} = 0$ impliquerait $\Delta_{1x}\Delta_{12}y - \Delta_{1y}\Delta_{12}x = 0$, ce qui est l'équation d'un plan passant par P, P_1 et P_2 . Ce plan serait donc parallèle à Ot et tangent à la surface S_u , cas que nous avons écarté.

L'équation associée à la première relation de (2.21)_i peut s'écrire :

$$(u u_x + v u_y + g \zeta_x + R u) \underline{t}_x - (u v_x + v v_y + g \zeta_y + R v) \underline{t}_y = 2\Omega_n,$$

égalité qui se déduit aisément de (2.13)_i. En introduisant dans cette équation (2.61) et les grandeurs connues :

$$M_{12} = -w_{12}^{(1)}/w_{12}^{(3)}, \quad N_{12} = -w_{12}^{(2)}/w_{12}^{(3)} \quad (2.63)$$

on trouve :

$$N_{12}(u_1\Delta_{12}y - v_1\Delta_{12}x)u - M_{12}(u_1\Delta_{12}y - v_1\Delta_{12}x)v + g(M_{12}\Delta_{12}x + N_{12}\Delta_{12}y)\zeta = F_{12} \quad (2.64)$$

$$\text{où } F_{12} = D_{12}[2\Omega_n + (M_{12}v_1 - N_{12}u_1)R_1] - N_{12}(u_1 \langle u\Delta y \rangle_{21} + v_1 \langle u\Delta x \rangle_{12}) - M_{12}(u_1 \langle v\Delta y \rangle_{21} + v_1 \langle v\Delta x \rangle_{12}) + g(N_{12} \langle \zeta\Delta y \rangle_{21} - M_{12} \langle \zeta\Delta x \rangle_{12})$$

Or, $M_{12}\Delta_{12}x + N_{12}\Delta_{12}y = \Delta_{12}t$ puisque les vecteurs $(M_{12}, N_{12}, -1)$ et $(\Delta_{12}x, \Delta_{12}y, \Delta_{12}t)$ sont orthogonaux; par suite, en introduisant la relation $M_{12}u_1 + N_{12}v_1 - 1 = 0$, (2.64) peut s'écrire :

$$(u_1\Delta_{12}t - \Delta_{12}x)u + (v_1\Delta_{12}t - \Delta_{12}y)v + g\zeta\Delta_{12}t = F_{12} \quad (2.65)$$

En effectuant des transformations du même genre sur l'équation associée à la troisième relation de (2.21)_i; on arrive à :

$$(-v_3\Delta_{31}t + \Delta_{31}y)u + (u_3\Delta_{31}t - \Delta_{31}x)v + \frac{g}{Q_{31}} [(M_{31}v_3 - N_{31}u_3)\Delta_{31}t + N_{31}\Delta_{31}x - M_{31}\Delta_{31}y]\zeta = \frac{G_{31}}{\zeta_3 + h_3} \quad (2.66)$$

avec $Q_{31} = M_{31}u_3 + N_{31}v_3 - 1$

$$\text{et } G_{31} = [u_3 \langle \zeta\Delta y \rangle_{13} + v_3 \langle \zeta\Delta x \rangle_{31} + (\zeta_3 + h_3) \langle u\Delta y \rangle_{13} + \langle v\Delta x \rangle_{31}] D_{31} Q_{31} + (u_3 \partial h / \partial x)_3 + v_3 \partial h / \partial y)_3] D_{31} Q_{31} - [u_3 \langle u\Delta y \rangle_{13} + v_3 \langle u\Delta x \rangle_{31} + g \langle \zeta\Delta y \rangle_{13} + (R_3 u_3 - 2\Omega_n v_3) D_{31}] (\zeta_3 + h_3) M_{31} - [u_3 \langle v\Delta y \rangle_{13} + v_3 \langle v\Delta x \rangle_{31} + g \langle \zeta\Delta y \rangle_{31} + (R_3 v_3 + 2\Omega_n u_3) D_{31}] (\zeta_3 + h_3) N_{31}.$$

Les équations (2.65) et (2.66) se simplifient beaucoup si les points P_i se trouvent dans un plan horizontal ($t = \text{const.}$, d'où $\Delta_{ij}t = 0$). On obtient dans ce cas le système linéaire en u, v, ζ suivant :

$$(\Delta_{12}x)u + (\Delta_{12}y)v = -F_{12}$$

$$(\Delta_{23}x)u + (\Delta_{23}y)v = -F_{23} \quad (2.67)$$

$$(\zeta_3 + h_3)(\Delta_{31}y)u - (\zeta_3 + h_3)(\Delta_{31}x)v + \frac{Q_{31}}{N_{31}} (\Delta_{31}x)\zeta = G_{31}$$

La dernière équation se déduit de (2.66) et des relations :

$$M_{31}\Delta_{31}x + N_{31}\Delta_{31}y = 0 \quad \text{et} \quad Q_{31}^2 = g(\zeta_3 + h_3)(M_{31}^2 + N_{31}^2).$$

Le système précédent est utilisable quand on part de conditions initiales données dans $t = 0$. Mais il est clair que les valeurs $t_p^{(i,k)}$, obtenues pour chacun des tétraèdres τ_k dont les bases forment le réseau triangulé, ne sont pas égales en général. Si l'on veut continuer l'itération en conservant (2.67),

il faudra choisir une valeur moyenne $t^{(m)}$ parmi les $t^{(k)}$ et déterminer par interpolation, en chacun des points intermédiaires, les grandeurs u, v, ζ . Sinon, il sera nécessaire d'avoir recours aux équations (2.65) et (2.66). (Voir à ce sujet le paragraphe 1.4 de la première partie). Dans la suite, nous appellerons : *construction fondamentale* tout algorithme qui permet de résoudre le problème discrétisé de Cauchy qu'on vient de traiter.

2.4.3. Compléments au schéma résolutif du problème discrétisé de Cauchy : 2^e variante

Dans cet alinéa, nous nous proposons de compléter les résultats de 2.4.2. relatifs à la construction fondamentale, en utilisant les propriétés des caractéristiques Γ attachées à (2.10)_{ii} et à (2.11)_{ii}. Il est clair, a priori, que la théorie de ces courbes ne peut fournir à elle seule de solution approchée du problème de Cauchy; car elle suppose connues a priori, les gradients de u, v, ζ en un point $P_i - P_2$, par exemple, — ce qui exige le calcul de ces fonctions en P alors qu'il s'agit, au contraire, d'en construire les expressions approchées [cf. (2.37) et (2.38)]. En d'autres termes, on ne peut, connaissant les données en un seul point P_i , en déduire les dénominateurs des fractions qui figurent dans le système (2.37) [cf. en particulier, (2.38)]. Mais les propriétés des Γ permettent d'étudier le cas où une ou deux surfaces S_α, S_β , possédant la propriété (π) , présentent en une, au moins, des données P_i un plan tangent parallèle à Ot (éventualité écartée en 2.4.2.) d'une part et d'accroître dans tous les cas, la précision des calculs de 2.4.2 d'autre part.

Nous reprenons les notations de cet alinéa (cf. les formules (2.56) et (2.57) à cela près que :

1. nous notons $(p_{ij}, q_{ij} - 1)$ les paramètres directeurs de la normale à la face PP_iP_j de τ , qui porte le vecteur \vec{w}_{ij} (cf. (2.58));
2. nous introduisons ci-après le point $P_4(x_4, y_4, t_4)$ en sorte que dans la suite les indices i, j peuvent prendre les valeurs 1, 2, 3, 4 lorsque cela sera mentionné expressément.

Enfin, rappelons que les relations utilisables ci-dessous ne sont encore valables qu'à l'ordre d'approximation adopté en 2.4.2.

Cela posé, observons que l'arête PP_2 de τ est portée par la droite δ_{P_2} : car les faces PP_1P_2 et PP_2P_3 sont les approximations locales des surfaces S_α, S_β , intégrales de (2.10)_{ii}. On tire alors de (2.36) en prenant pour F le premier membre de (2.10)_{ii} :

$$\frac{\Delta_2 x}{u_2} = \frac{\Delta_2 y}{v_2} = - \Delta_2 t$$

On a vu que $\Delta_2 t \neq 0$, puisque δ_{P_2} ne peut être parallèle à Oxy . Il en résulte que $u_2 = 0 \Leftrightarrow \Delta_2 x = 0$ et $v_2 = 0 \Leftrightarrow \Delta_2 y = 0$. Soit alors \vec{w}_{31} , défini par (2.59). On a vu qu'il est de module borné, parallèle au vecteur $(p_{31}, q_{31}, -1)$, et orthogonal à l'arête

PP_3 . On a donc :

$$p_{31}\Delta_3 x + q_{31}\Delta_3 y = \Delta_3 t$$

Les trois relations précédentes constituent un système linéaire en x, y, t qui est résoluble. Car la face PP_3P_1 , étant tangente en P_3 au cône $C(P_3)$, ne peut être parallèle à l'axe δ_{P_3} de celui-ci. Or, δ_{P_3} est voisin en direction de δ_{P_2} . Ainsi $P(x, y, t)$ peut être déterminé en utilisant les propriétés différentielles (2.36) de la courbe $\Gamma(P_2)$.

Les données déterminent donc $P(x, y, t)$ sans ambiguïté, que δ_{P_2} soit parallèle ou non à Ot . Dès lors, deux cas sont à distinguer.

a) Cas où $(p_{12}^2 + q_{12}^2) < \infty$ et $(p_{23}^2 + q_{23}^2) < \infty$

Alors aucun des plans PP_1P_2 et PP_2P_3 n'est parallèle à Ot ; rappelons par ailleurs qu'on a toujours $(p_{31}^2 + q_{31}^2) < \infty$. Moyennant cette hypothèse, les calculs de (2.4.2) restent valables, de sorte que les valeurs de u, v, ζ en P peuvent être considérées comme déterminées. Dès lors, il est aisé de calculer les composantes de chacun des vecteurs $(\vec{\text{grad}} u)_i, (\vec{\text{grad}} v)_i, (\vec{\text{grad}} \zeta)_i$. Prenant, pour fixer les idées, $i = 2$, on déduit de (2.56) et de (2.57) les trois équations linéaires que vérifient les composantes de $(\vec{\text{grad}} u)_2$:

$$\begin{aligned} \Delta_{12} u &= \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_2 \Delta_{12} x + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_2 \Delta_{12} y + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_2 \Delta_{12} t \\ \Delta_{23} u &= \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_2 \Delta_{23} x + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_2 \Delta_{23} y + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_2 \Delta_{23} t \\ \Delta_2 u &= \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_2 \Delta_2 x + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_2 \Delta_2 y + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_2 \Delta_2 t \end{aligned} \quad (2.68)$$

Or (2.68) est résoluble, car les arêtes P_2P_3, P_3P_1, P_1P_2 de τ forment un triangle non dégénéré. Le calcul de $(\vec{\text{grad}} v)_2$ et $(\vec{\text{grad}} \zeta)_2$ se fait évidemment, d'une manière analogue. Le résultat précédent fournit donc le moyen de calculer $u(M), v(M), \zeta(M)$ en tout point de la boule : $|P_2M| \leq \ell$ au moyen des formules telles que :

$$u(M) - u_2 = \vec{\text{grad}} u(P_2) \cdot \vec{P_2M}$$

ce qui peut avoir son prix dans les applications pratiques.

Montrons maintenant que l'on peut suivre la variation de (p_{12}, q_{12}) — ou de (p_{23}, q_{23}) —, le long du segment P_2P_3 , considéré comme approximation de l'arc élémentaire de $\Gamma(P_2)$, d'extrémité P_2 . Prenant pour F le premier membre de (2.10)_{ii}, on a donc (cf. (2.36)) :

$$X + pZ = p \left(\frac{\partial u}{\partial x} + p \frac{\partial u}{\partial t} + q \frac{\partial v}{\partial x} \right) + q \frac{\partial v}{\partial x} \quad (2.69)$$

$$Y + qZ = p \frac{\partial u}{\partial y} + q \left(\frac{\partial v}{\partial y} + p \frac{\partial u}{\partial t} + q \frac{\partial v}{\partial t} \right)$$

$$G = Pp + Qq$$

en sorte que $(X + pZ)$, et $(Y + qZ)$, sont connus en $P_i, i = 1, 2, 3$. (2.70)

Cela étant, soient, d'une manière générale : $S,$

une surface régulière $R^{(2)}$, solution de (2.10)_{ii}, représentable par l'équation $t = \underline{t}(x, y)$, où \underline{t} est donc une fonction régulière $R^{(2)}$ de ses arguments, de sorte que les composantes \underline{p} et \underline{q} du $\text{grad } \underline{t}$ sont régulières $R^{(1)}$; $M_o(x_o, y_o, t_o)$, un point $\in S$; $\Gamma(M_o)$ une caractéristique de (2.10)_{ii}, issue de M_o , de telle sorte que $\Gamma(M_o)$ est tracée sur S .

Supposons que u, v et leurs gradients soient connus en M_o ; nous affecterons de l'indice o ces valeurs, ainsi que celles des seconds membres de (2.69) qui sont aussi connus, d'après ce qui précède. On tire alors de (2.36) les deux relations :

$$\Delta \underline{p} = - (X + \underline{p}Z)_o \Delta t ; \Delta \underline{q} = - (Y + \underline{q}Z)_o \Delta t \quad (2.70)$$

qui déterminent les variations de \underline{p} et \underline{q} le long de l'arc élémentaire $\overline{M_oM} \subset \Gamma(M_o)$ de composantes $\Delta x, \Delta y, \Delta t$. Si donc on approche $\Gamma(M_o)$ au moyen d'une ligne polygonale dont les sommets sont déterminés de proche en proche ainsi que les valeurs correspondantes de $u, v, \text{grad } u, \text{grad } v$, on peut construire la développable discrétisée $\sigma\{\Gamma(M_o), p_o, q_o\}$, tangente à S le long de chaque côté du polygone (cf. 2.3.4). La bande de σ , dont $\Gamma(M_o)$ est la ligne médiane et dont la largeur est assez petite sera donc une approximation polyédrale, locale, de S . Cette construction semble intéresser les numériciens. On notera que $\text{grad } \underline{t}$ n'intervient pas dans les calculs ci-dessus.

Il suit de là que les données de Cauchy en $P_i (i = 1, 2, 3)$ permettent de construire les bandes correspondantes pour chacune des surfaces S_α et S_β , puisque les valeurs de $(X + pZ), (Y + qZ)$, pour chacune d'elle, peuvent être déterminées, de proche en proche, en les sommets de la ligne polygonale qui approche $\Gamma(M_o)$.

Il reste maintenant à étendre à S_γ les conclusions précédentes. A cet effet, remarquons que u, v, ζ et les gradients de ces fonctions étant déterminés en $P_i (i = 1, 2, 3, 4)$, il en est de même des seconds membres de (2.36), dont nous noterons les valeurs $(P)_i, (Q)_i, (G)_i$, etc. Supposons alors, pour fixer les idées, que ρ_{31} et q_{13} (cf. 2.4.2) aient été déterminés de façon que le plan passant par P_3P_1 et tangent en P_3 au cône $C(P_3)$ admette pour paramètres directeurs $(\rho_{31}, q_{31}, -1)$. D'après cela, on peut considérer — à l'ordre d'approximation adopté près — le triangle PP_3P_1 comme engendré par des segments de droites parallèles à la tangente en P_3 à $\Gamma(P_3, \rho_{31}, q_{31})$. D'après (2.37), les paramètres directeurs de ces segments sont $(P)_3, (Q)_3, (G)_3$. Nous noterons alors $P_4(x_4, y_4, t_4)$, le point $\in P_3P_1$, tel que PP_4 soit un de ces segments. Il s'en suit qu'on peut appliquer (2.70) pour calculer en P les variations $\Delta \rho_{31}$ et Δq_{31} , le long de PP_4 , en observant que le procédé décrit reste valable en vertu de la condition $(\rho_{31}^2 + q_{31}^2) < \infty$, toujours remplie.

Avant d'aller plus loin observons que — toujours à l'ordre d'approximation adopté près — il est loisible de remplacer P_3 par P_1 dans les raison-

nements qui précèdent; on vérifie aisément que le point P_4 ainsi déterminé serait tel que $P_4P_4 \leq 0$ ($l^{(2)}$) (cf. 2.4.2). De plus, on peut écrire les relations approchées $(P)_1 = (P)_3, (Q)_1 = (Q)_3$ etc. Enfin, remarquons que, si on le désire, on accroîtra la précision des calculs en évaluant u_4, v_4, ζ_4 et les gradients de ces inconnues en P_4 au moyen des extrapolations linéaires entre P_3 et P_1 . On en déduirait alors successivement l'équation de $C(P_4)$, puis (ρ_{43}, q_{43}) — ou (ρ_{41}, q_{41}) — et finalement $(P)_4, (Q)_4$ etc, en sorte que le segment P_4P est une approximation de l'arc élémentaire correspondant de $\Gamma(P_4, \rho_{43}, q_{43})$, les seconds membres de (2.36) ayant des valeurs connues en P_4 . Il est donc possible d'appliquer à P_4P les formules analogues à (2.70) et de construire ainsi une approximation polyédrale de la bande de la surface S_γ , passant par P_1 et P_3 .

Revenons, à présent, au problème de Cauchy posé relativement à (E) et à la multiplicité normale $m(\sum, u, v, \zeta)$, dont le support \sum est supposé triangulé. Les résultats qui précèdent permettent de construire dans le voisinage assez petit de \sum (où S_α et S_β sont dépourvues de plans tangents extrapolés à Ot et où S_γ est dépourvue de points coniques et de lignes doubles) les surfaces polyédrales qui constituent des approximations des surfaces coordonnées bicaractéristiques correspondant à la triangulation choisie de \sum .

b) Cas où l'une ou les deux données $(\rho_{12}^2 + q_{12}^2)$ et $(\rho_{23}^2 + q_{23}^2)$ sont infinies

Il est clair que les formules (2.70) ne s'appliquent plus le long d'un arc élémentaire $\overline{M_oM}$ de $\Gamma(M_o)$ si l'un, au moins, des paramètres ρ et q devient infini, en M_o (cf. l'analyse du cas précédent). Mais alors la surface S , intégrale régulière $R^{(2)}$ de (2.10)_{ii}, admet dans le voisinage de ce point l'une, au moins des représentations analytiques : $x = x(y, t)$ et $y = y(x, t)$ — soit $x = x(y, t)$, pour fixer les idées —, x étant une fonction régulière $R^{(2)}$ de ses arguments. En effectuant alors dans (2.10)_{ii} le changement de variables et d'inconnues : $(x, y) \Rightarrow (y, t)$ et $t \Rightarrow x$, on vérifie immédiatement que \underline{x} est solution de l'équation quasi-linéaire :

$$v \underline{p}_1 + \underline{q}_1 = u \quad (2.71)$$

où on a posé : $\underline{p}_1 = \partial \underline{x} / \partial y, \underline{q}_1 = \partial \underline{x} / \partial t$; (2.71) admet, évidemment, les mêmes courbes caractéristiques que (2.10)_{ii}. En adaptant les notations de (2.36) et (2.37) aux écritures précédentes, on obtiendra sans peine les deux relations analogues à (2.70) qui décrivent les variations $\Delta \underline{p}_1$ et $\Delta \underline{q}_1$, le long de l'arc élémentaire $\overline{M_oM} \subset \Gamma(M_o)$.

2.4.4. Construction fondamentale en variables caractéristiques

Nous reprenons les notations et les hypothèses de 2.4.2. et 2.4.3. et nous admettons encore l'existence d'une représentation paramétrique (1.1)_i, vérifiant (1.2)_i, régulière $R^{(2)}$, d'une solution u, v, ζ

du problème de Cauchy, α, β, γ étant les variables caractéristiques. Passant alors au problème discrétisé en 2.4.2. et supposant que $P(x, y, t)$ soit déterminé, nous nous proposons de calculer la solution u, v, ζ de (E) en P, en utilisant exclusivement le système (e) associé à (E) et les variables caractéristiques. A cet effet, rappelons que

1. Le choix de α, β, γ est, dans une large mesure, arbitraire, les seules limitations imposées étant celles de 2.3.5;
2. Le système (e) est invariant par la transformation du groupe introduit au (§ 3)_i (cf. 2.27)_i.

En 2.4.2. on a adopté les conventions suivantes dans le voisinage de P :

1. les faces PP_1P_2 et PP_2P_3 du tétraèdre τ sont respectivement des approximations de S_α et S_β , surfaces intégrales de (2.10)₀;
2. la face PP_3P_1 est une approximation de S_γ , intégrale de (2.11)₀.

Il s'ensuit que l'arête PP_2 de τ est l'approximation locale de $\Gamma(P_2)$ qu'on définit paramétriquement dans $Oxyt$ en posant dans les trois premières relations de (1.1)_i : $\alpha = \alpha_0 = \text{const}, \beta = \beta_0 = \text{const}$ et en faisant varier γ seul. De même, on définit analytiquement PP_1 (ou PP_3) en posant dans (1.1)_i : $\gamma = \text{const}, \alpha = \text{const}$ — ou $\beta = \text{const}, \gamma = \text{const}$ — et en faisant varier β (ou α) seul. On peut donc choisir pour repère local (oblique) le trièdre $PP_1P_2P_3$, de sommet P, dont les arêtes sont tangentes en P aux lignes coordonnées issues de ce point et constituées par les axes $P_\alpha, P_\beta, P_\gamma$, orientées positivement dans le sens PP_3, PP_1 et PP_2 respectivement. Il passe une surface coordonnée de chaque famille : $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ et une seule par chaque point $M(x, y, t)$, image de $m(\alpha, \beta, \gamma)$ par (1.1)_i. Par suite, dans le voisinage de P, ces surfaces sont approximativement définies par : $\alpha = \text{const}, \beta = \text{const}, \gamma = \text{const}$, respectivement, de telle sorte que le long de l'axe P_α , par exemple, α varie d'une manière monotone. Dès lors, la propriété d'invariance de (e), ci-dessus rappelée, permet de choisir pour α l'abscisse du point courant sur P_α . Les conclusions analogues valent, évidemment, pour P_β et P_γ . Nous poserons à présent $\Delta\alpha_1 = |PP_3| > 0, \Delta\beta_1 = |PP_1| > 0, \Delta\gamma_1 = |PP_2| > 0$, les inégalités précédentes étant entendues au sens strict (puisque τ est un tétraèdre non dégénéré) et leurs premiers membres étant des données a priori; nous n'affecterons ensuite d'aucun indice les valeurs prises en P, de coordonnées $\alpha = \beta = \gamma = 0$ dans $O\alpha\beta\gamma$, par une fonction $f(x, y, t) = F(\alpha, \beta, \gamma)$ ou x, y, t et α, β, γ sont liées par (1.1)_i. Si on prend $f \equiv x(\alpha, \beta, \gamma)$, on a (cf. (2.56)), les relations approchées :

$$\frac{\partial x}{\partial \alpha} = -\frac{\Delta_3 x}{\Delta \alpha_1}, \quad \frac{\partial y}{\partial \alpha} = -\frac{\Delta_3 y}{\Delta \alpha_1}, \quad \frac{\partial t}{\partial \alpha} = -\frac{\Delta_3 t}{\Delta \alpha_1} \quad (2.72)$$

puisque β, γ restent constants le long de P_α , et deux autres systèmes de trois relations qu'on déduit de (2.72) en γ remplaçant successivement

α_1 par β_1 et γ_1 , α par β et γ et $\Delta_3 x$ par $\Delta_1 x$ et $\Delta_2 x$ etc. Observons que les formules (2.72) ont un sens puisque $\Delta\alpha_1 > 0$ (strictement), alors que leurs seconds membres se calculent à partir des données de Cauchy. Il en est donc de même des neuf dérivées premières en α, β, γ des seconds membres des trois premières relations (1.1)_i et des jacobiens, tels que $D_{\alpha\beta}^{\alpha\gamma}$ qui figurent dans le système (e) (cf. (2.2)_i). Les hypothèses faites entraînent que chaque déterminant tel que $D_{\alpha\beta}^{\alpha\gamma}$ est une fonction régulière $R^{(1)}$ de α, β, γ dans le voisinage de P. Il en résulte que $\Delta_i(D_{\alpha\beta}^{\alpha\gamma})$ et $\Delta_{ij}(D_{\alpha\beta}^{\alpha\gamma})$ (cf. (2.56) et (2.57)) sont de l'ordre de ℓ au moins; comme u, v, ζ sont régulières $R^{(2)}$ sur ce voisinage il en est a fortiori de même des Δ_i et Δ_{ij} de ces trois fonctions. Si donc une relation entre les $D_{\alpha\beta}^{\alpha\gamma}$ d'une part et les u, v, ζ d'autre part (mais pas leurs dérivées) est vérifiée en P_i , il en sera de même en P — à l'ordre d'approximation adopté près —. Or, le système (e) considéré comprend trois équations de ce type (2.16)_i : celle qu'on en déduit en γ remplaçant (β, γ) par (γ, α) et (2.17)_i où on a remplacé (γ, α) par (α, β) . Par suite, les deux premières sont satisfaites en P_2 , alors que la dernière l'est en P_1 : ceci résulte de la construction même de τ . D'après ce qui précède, il en est donc de même en P. Il reste donc trois équations de (e) à satisfaire : (2.13)_i, celle qu'on déduit en γ changeant (β, γ) en (γ, α) et (2.14)_i où on aura changé (γ, α) en (α, β) . On obtient ainsi trois relations linéaires entre les neuf dérivées premières des u, v, ζ en α, β, γ (en P). Cela étant, observons que les formules (2.72) s'appliquent à une fonction quelconque $f(\alpha, \beta, \gamma)$ mais régulière $R^{(1)}$ dans le voisinage de $\alpha = \beta = \gamma = 0$. On peut donc écrire les relations approchées telles que (cf. (2.56) et (2.57)) :

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = -\frac{\Delta_3 f}{\Delta \alpha_1}, \text{ etc} \quad (2.73)$$

qui ont toutes un sens, puisque $\Delta\alpha_1 > 0, \Delta\beta_1 > 0, \Delta\gamma_1 > 0$ (strictement). Montrons alors qu'en utilisant les données de Cauchy en $P_i (i = 1, 2, 3)$ on, peut exprimer $\partial u/\partial \beta, \partial u/\partial \gamma$ au moyen des fonctions linéaires de $\partial u/\partial \alpha$, à coefficients connus. Il en est évidemment, de même des dérivées de v et ζ . En effet, on a par exemple, (cf. (2.56))

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \beta} &= -\frac{\Delta_1 u}{\Delta \beta_1} = -\frac{(u - u_3 + u_3 - u_1)}{\Delta \beta_1} = \\ &= -\frac{\Delta_3 u}{\Delta \alpha_1} \frac{\Delta \alpha_1}{\Delta \beta_1} - \frac{\Delta_3 u}{\Delta \beta_1} = -\frac{\partial u}{\partial \alpha} \frac{\Delta \alpha_1}{\Delta \beta_1} - \frac{\Delta_3 u}{\Delta \beta_1} \end{aligned} \quad (2.74)$$

où $\Delta\alpha_1, \Delta\beta_1, \Delta\gamma_1$ sont des données telles que $\Delta\alpha_1/\Delta\beta_1 > 0$ (strictement). Portant alors les expressions des six dérivées premières de u, v, ζ en β et γ ainsi obtenues dans les équations déduites ci-dessus de (2.13)_i et (2.14)_i, on forme un système (e_1) des trois relations linéaires en $\partial u/\partial \alpha, \partial v/\partial \alpha$ et $\partial \zeta/\partial \alpha$, à coefficients fonctions de u, v, ζ — mais indépendantes des dérivées premières de ces inconnues —.

Dès lors, il est loisible — toujours à l'ordre d'approximation adopté près — de substituer, comme on l'a vu, dans (\mathcal{E}_1) à ces coefficients leurs valeurs en l'un des P_i , calculées à partir des données; on reviendra ci-après sur ce point. On voit donc que (\mathcal{E}_1) est un système de trois équations linéaires en $\partial u/\partial\alpha$, $\partial v/\partial\alpha$, $\partial\zeta/\partial\alpha$ dont les coefficients sont connus. De plus, (\mathcal{E}_1) est résoluble; car la multiplicité discrétisée, constituée par les données de Cauchy en trois points P_i est, par hypothèse normale. Une fois résolu (\mathcal{E}_1) , on achèvera en calculant $\Delta_3 u$, $\Delta_3 v$, $\Delta_3 \zeta$ à partir de (2.73) et en tirant des résultats u , v , ζ .

Le procédé qu'on vient de décrire offre l'avantage d'être très symétrique par rapport aux données P_i . Mais en renonçant à cet avantage, on peut accroître la précision du calcul. Prenons par exemple, pour repère \mathcal{R} le trièdre $P_2 P P_1 P_3$ de sommet P_2 . La méthode utilisée ci-dessus pour former le système (\mathcal{E}_1) s'adapte aisément à ce choix de \mathcal{R} . Mais cette fois, u_1 , v_1 , ζ_1 étant connus a priori, on fait l'économie de l'approximation consentie précédemment — en posant $u = u_1$, $v = v_1$, $\zeta = \zeta_1$ — en vue d'explicitier les coefficients du système (\mathcal{E}_1) .

2.4.5. Remarques finales

Comparons les méthodes résolutive du problème discrétisé de Cauchy décrites en 2.4.3, 2.4.4. et 2.4.5. Celles de 2.4.3. et 2.4.4. utilisent x , y , t comme variables indépendantes. Mais dans le premier alinéa on exploite directement le système (E) ainsi que les propriétés des surfaces caractéristiques qui lui sont attachées. Il s'ensuit que le cas où l'une ou les deux surfaces coordonnées S_α et S_β (possédant la propriété (π)) et qui présentent des plans tangents parallèles à Ot échappe à cette analyse. A cet égard l'emploi des courbes caractéristique de (2.10)_{ii} est plus avantageux, parce que plus général. Mais, sous cette réserve, les résultats de 2.4.2. fournissent la solution en P de (E) à partir des données de Cauchy en P_i , sans exiger le calcul préalable des gradients des inconnues u , v , ζ en ces points, ce qui est nécessaire en 2.4.3. et 2.4.4. En revanche, si l'emploi des caractéristiques de (2.10)_{ii} et (2.11)_{ii} présente l'inconvénient de supposer résolu le problème traité en 2.4.2., il offre l'avantage de fournir le moyen d'aller plus loin et de construire les approximations polyédrales des surfaces coordonnées S_α , S_β , S_γ .

La méthode résolutive de 2.4.4. est, évidemment, la plus générale parce qu'elle englobe en un formalisme unique tous les cas qui ont dû être en 2.4.2. et 2.4.3. l'objet d'un examen particulier. Mais, en revanche, les calculs en variables caractéristiques sont un peu plus compliqués que ceux de 2.4.2. Voici quelques remarques susceptibles de les simplifier. Observons que dans les axes $Oxyt$, les vecteurs \vec{w}_{ij} (cf. (2.58)), $(p_{ij}, q_{ij}, -1)$ (cf. 2.4.4.), perpendiculaires à la face PP_i de τ sont coli-

néaires aux vecteurs dont les composantes sont les jacobiens figurant dans les équations (2.16)_i et (2.17)_i. Adaptant encore les conventions de 2.4.3. et 2.4.4. on voit que les composantes du vecteur \vec{w}_{12} , perpendiculaire à la face $PP_1 P_2$ de τ , sont proportionnelles à $D_{\beta\gamma}^\alpha$, $D_{\beta\gamma}^\alpha$, $D_{\beta\gamma}^\alpha$. Dès lors, supposons qu'on ait déterminé préalablement les composantes de \vec{w}_{12} ; il suffira ensuite de calculer un seul des trois jacobiens ci-dessus pour obtenir l'expression des deux autres. On en tire élémentairement les valeurs de p_{12} et q_{12} lorsque celles-ci sont finies et lorsque l'une, du moins, de ces valeurs est infinie, celle de leur quotient. Ainsi, l'étude des éléments différentiels de S_α , S_β , S_γ et de leurs génératrices $\Gamma(M_0)$ et $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ au premier ordre ne présente que des difficultés à peu près équivalentes, quel que soit le système: (x, y, t) ou (α, β, γ) des variables indépendantes. Mais il n'en est plus de même pour les éléments différentiels du second ordre, en raison de la forme relativement compliquée du système différentiel qu'on obtient en effectuant sur (2.37) le passage $(x, y, t) \rightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$.

A notre connaissance, les numériciens n'ont pas encore utilisé le fait que toute surface S , porteuse d'une multiplicité bicaractéristique de (E) est susceptible d'être engendrée par les courbes caractéristiques de (2.10)_{ii} ou de (2.11)_{ii}. Nous n'avons exploré que partiellement l'immense littérature consacrée aux méthodes numériques utilisées dans les résolutions approchées des problèmes aux limites posés relativement aux équations hyperboliques. Mais nous avons consulté plusieurs collègues spécialisés en la matière et exploité les analyses des travaux publiés sur ce sujet, relativement au système (E), dans des monographies de synthèse — notamment dans le très remarquable ouvrage de MM. G.I. Martchouk et B.A. Kagane (cf. [21]) où on trouve plusieurs références aux articles spécialement consacrés aux marées littorales; au terme de cette enquête rapide — dont nous regrettons le caractère sommaire — nous n'avons eu connaissance d'aucun travail consacré à l'application de la théorie des caractéristiques $\Gamma(M_0)$ et $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ soit à l'étude qualitative des surfaces coordonnées S_α , S_β , S_γ , porteuses des multiplicités bicaractéristiques de (E), soit au traitement numérique des problèmes posés relativement à ce système; cf. [22] sur ce point.

En revanche, les analystes ont souvent recours à cette méthode au cours de leurs recherches théoriques. Rappelons à cet égard les monographies précitées de Hadamard et de Levi-Civita (citées dans la remarque bibliographique de l'alinéa 2.3.4 in fine) et ensuite, à titre d'exemple, celles plus récentes de L.S. Sobolev (cf. [19]) et S.K. Godounov (cf. [20]).

Nos remarques ci-dessus présentées ne sont que d'immédiates applications des résultats classiques qu'on vient de rappeler; d'après les avis de quelques collègues, ils sont susceptibles d'être utiles aux numériciens.

BIBLIOGRAPHIE

- [I] Y. BIOLLAY et J. KRAVTCHENKO. — Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. 1^{re} partie. Annales Hydrographiques. Volume 11, 1983, fascicule 758, pp. 1-12.
- [II] Y. BIOLLAY et J. KRAVTCHENKO. — Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. 2^e partie. Annales Hydrographiques, Volume 12, 1984, fascicule 759, pp. 5-14.
- [19] S.L. SOBOLEV. — Sur certaines applications de l'analyse fonctionnelle en Physique Mathématiques. 255 pages (en russe). 1962. Editions de la filiale de Sibérie de l'Académie des Sciences de l'URSS (cf. chapitre III, pp. 149-255 et spécialement le § 19, pp. 168-177).
- [20] S.K. GODOUNOV. — Les équations de la Physique Mathématiques. 1979. Editions Science, Moscou : 391 pages (en russe) (cf. pp. 57-91, et le chapitre II, pp. 168-180).
- [21] G.I. MARTCHOUCK et B.A. KAGANE. — Dynamique des marées océaniques. Editions de l'hydrométéorologie. Leningrad, 1983, 359 pages (en russe).
- [22] N.E. VOLTZINGER et P.V. PIASKOVSKY. — Théorie des ondes en eau peu profondes. Editions de l'hydrométéorologie, Leningrad, 1977. 203 pages (cf. en particulier, chap. II, pp. 57-111).

GÉODÉSIE DE LA MARTINIQUE

par

M. G. BESSERO
Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe)
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ

Un nouveau levé hydrographique complet de la Martinique a été effectué de 1976 à 1983 par la Mission Océanographique de l'Atlantique. La mise en place des moyens de localisation appropriés a nécessité l'établissement d'un réseau géodésique couvrant l'ensemble de l'île, auquel ont été rattachées les deux îles voisines de Sainte-Lucie et de la Dominique. Ce rapport présente les résultats de la compensation définitive du réseau qui définissent le système SHOM 1984 de la Martinique.

ABSTRACT

A new thorough hydrographic survey round Martinique was conducted from 1976 to 1983 by the "Mission Océanographique de l'Atlantique". To set up the appropriate positioning systems, it was necessary to establish a geodetic network covering the whole island and to which were connected Saint-Lucia and Dominica. This report presents the results of the final adjustment which defines the SHOM 1984 datum of Martinique.

1. INTRODUCTION

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a entrepris en 1976 un nouveau levé hydrographique complet de la Martinique. Le système géodésique en service à l'époque était le système « IGN 1953 » résultant des travaux effectués successivement par

— le Service Hydrographique :

Mission Hydrographique de la Martinique (IHP Legrand, 1938-1939)

(Géodésie primordiale et complémentaire de la moitié Sud de l'île)

— l'Institut Géographique National (IGN) :

Mission de triangulation (IG Dubor, 1952)

(Géodésie primordiale de la moitié Nord et géodésie complémentaire de l'ensemble de l'île).

Il est décrit dans le répertoire correspondant (IGN, 1959).

Lors des travaux effectués par la Mission Océanographique de l'Atlantique (MOA) en 1976-1977, il est apparu que ce système n'offrait pas de garanties suffisantes d'homogénéité pour le rattachement des stations côtières complémentaires du Sud de l'île. Lors de sa campagne suivante (1978-1979), la MOA a donc entrepris l'établissement d'un nouveau réseau couvrant l'ensemble de l'île. Les travaux se sont poursuivis lors des deux dernières campagnes (1980-1981,

1982-1983). Le réseau a en outre été étendu aux deux îles voisines de Sainte-Lucie (1977) et de la Dominique (1981).

La MOA a défini pour ses besoins un système provisoire « MOA 1978 » basé sur la compensation des observations d'angles et de distances relatives au quadrilatère formé par la Montagne du Vauclin, le Phare de la Caravelle, le Morne Vert-Pré et le Morne Bigot. Les autres points ont été calculés isolément de proche en proche.

Ce rapport présente la compensation définitive réalisée par l'EPSHOM, qui porte sur l'ensemble des observations effectuées de 1976 à 1983. Cette compensation a été réalisée à l'aide d'un logiciel développé sur mini-ordinateur HP 9816. Les résultats obtenus définissent le système SHOM 1984.

2. INVENTAIRE DES OBSERVATIONS

2.1. Composition du réseau

Le réseau retenu pour la compensation définitive est composé des éléments suivants :

— les points d'ordre 2 du réseau MOA 78 (soit les 4 sommets du quadrilatère et 15 autres points construits et cohérents avec les 4 premiers),

- 8 points d'ordre 3 et 2 points d'ordre 4 qui complètent l'ossature de la Martinique,
- 1 point sur l'île de Sainte-Lucie,
- 1 point sur l'île de la Dominique.

Ces 31 points sont matérialisés par 60 repères et signaux. Le tableau 1 donne les coordonnées approchées en projection UTM (ellipsoïde international 1924, fuseau 20). Ce sont, sauf pour les points 800, 980 et 981 pour lesquels on a recalculé des coordonnées provisoires, les coordonnées dans le système « MOA 1978 ».

2.2. Mesures de distance

65 distances ont été mesurées au cours des 4 campagnes. Les mesures ont été effectuées en général au telluromètre MRA 5, sauf les deux mesures Martinique — Sainte-Lucie effectuées au MRA 3 et 11 mesures de distances courtes (inférieures à 6 km) effectuées au distancemètre AGA 14.

Les mesures MRA 5 ont été faites en une seule séance comprenant en général 6 séries de lectures à chaque extrémité.

Les corrections de vitesse de propagation ont été recalculées à partir des observations météorologiques faites à chaque extrémité.

2.3. Tours d'horizon

47 tours d'horizon comprenant 127 directions ont été observés. Ils se répartissent de la manière suivante :

- 22 tours à 16 répétitions au T3 (effectués en général de nuit),
- 1 tour à 12 répétitions au T3,
- 16 tours à 8 répétitions au T3,
- 4 tours à 8 répétitions au T2,
- 1 tour à 4 répétitions au T3 (pour des visées inférieures à 4,5 km),
- 3 tours à 4 répétitions au T2 (pour des visées inférieures à 4,5 km).

2.4. Nivellement

Quelques stations d'altitude ont été effectuées, au théodolite T2 ou T3.

2.5. Structure du réseau

La figure 1 précise la structure du réseau sur l'île de la Martinique. Les modalités du rattachement des îles de la Dominique et de Sainte-Lucie sont indiquées sur la figure 2.

3. PRÉTRAITEMENT

3.1. Réductions au centre

Pour contrôler la cohérence des coordonnées des différents repères matérialisant chaque sommet, les réductions au centre ont été recalculées. Des corrections mineures (inférieures à 5 cm) ont été apportées à quelques valeurs adoptées par la MOA. Les coordonnées du tableau 1 sont les coordonnées corrigées.

3.2. Détermination des altitudes

La réduction des distances observées à l'ellipsoïde nécessite la connaissance des hauteurs des stations au-dessus de l'ellipsoïde de référence. Compte tenu de la faible extension du réseau étudié, on peut assimiler ellipsoïde et géoïde et considérer que ces hauteurs sont égales aux altitudes.

Les stations d'altitude ont été recalculées et les résultats ont été comparés entre eux et avec les valeurs du système IGN 53. Le tableau 2 donne la source des valeurs adoptées, qui sont indiquées dans le tableau 1. Les visées supérieures à 10 km n'ont été retenues que si au moins deux dénivelées cohérentes ont été obtenues.

3.3. Réduction des observations

Les observations mentionnées en 2.3 et 2.4 ont été réduites à la projection. Les tableaux 3 et 4 donnent les valeurs brutes et les valeurs réduites.

Les observations présentant des fermetures importantes par rapport aux coordonnées approchées (coordonnées MOA 78) ont été contrôlées.

4. AJUSTEMENT

4.1. Choix des contraintes

Les contraintes imposées pour fixer l'origine et l'orientation du réseau sont les suivantes :

- les coordonnées de la borne de la Montagne du Vauclin (point n° 60) sont figées à leurs valeurs dans le système IGN 1953,
- l'orientation du réseau est déterminée en deux temps. Dans un premier calcul, on fige le gisement du côté Montagne du Vauclin (point 60) — Phare de la Caravelle (point 211) à la valeur déduite des coordonnées IGN 1953 (soit $000^{\circ} 19' 03,6''$). On détermine ensuite sur les trois points 60, 211 et 170 (borne IGN de Vert Pré) les valeurs des paramètres

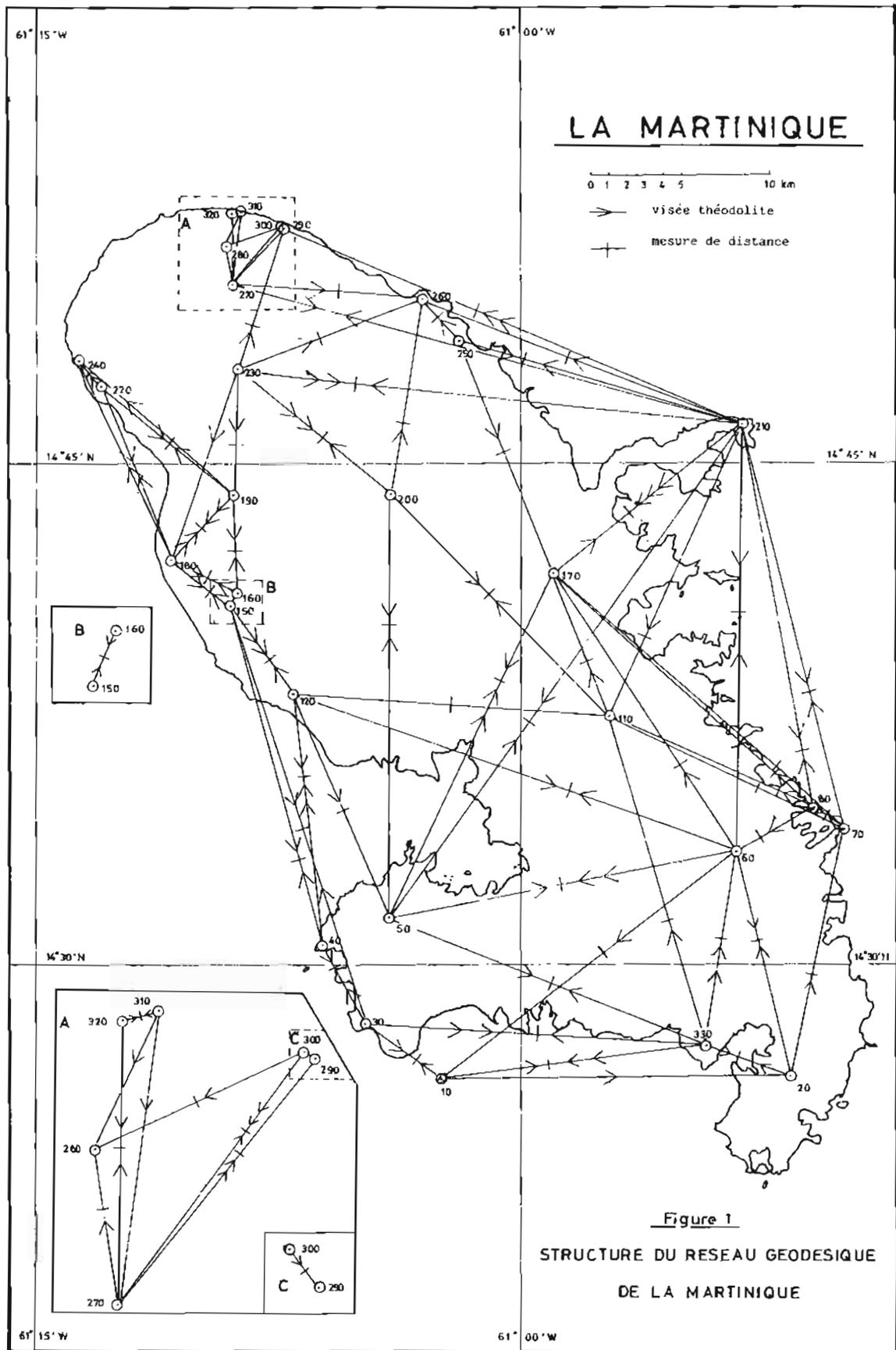


Figure 1
STRUCTURE DU RESEAU GEODESIQUE
DE LA MARTINIQUE

FIG. 1. — Structure du réseau géodésique de la Martinique.

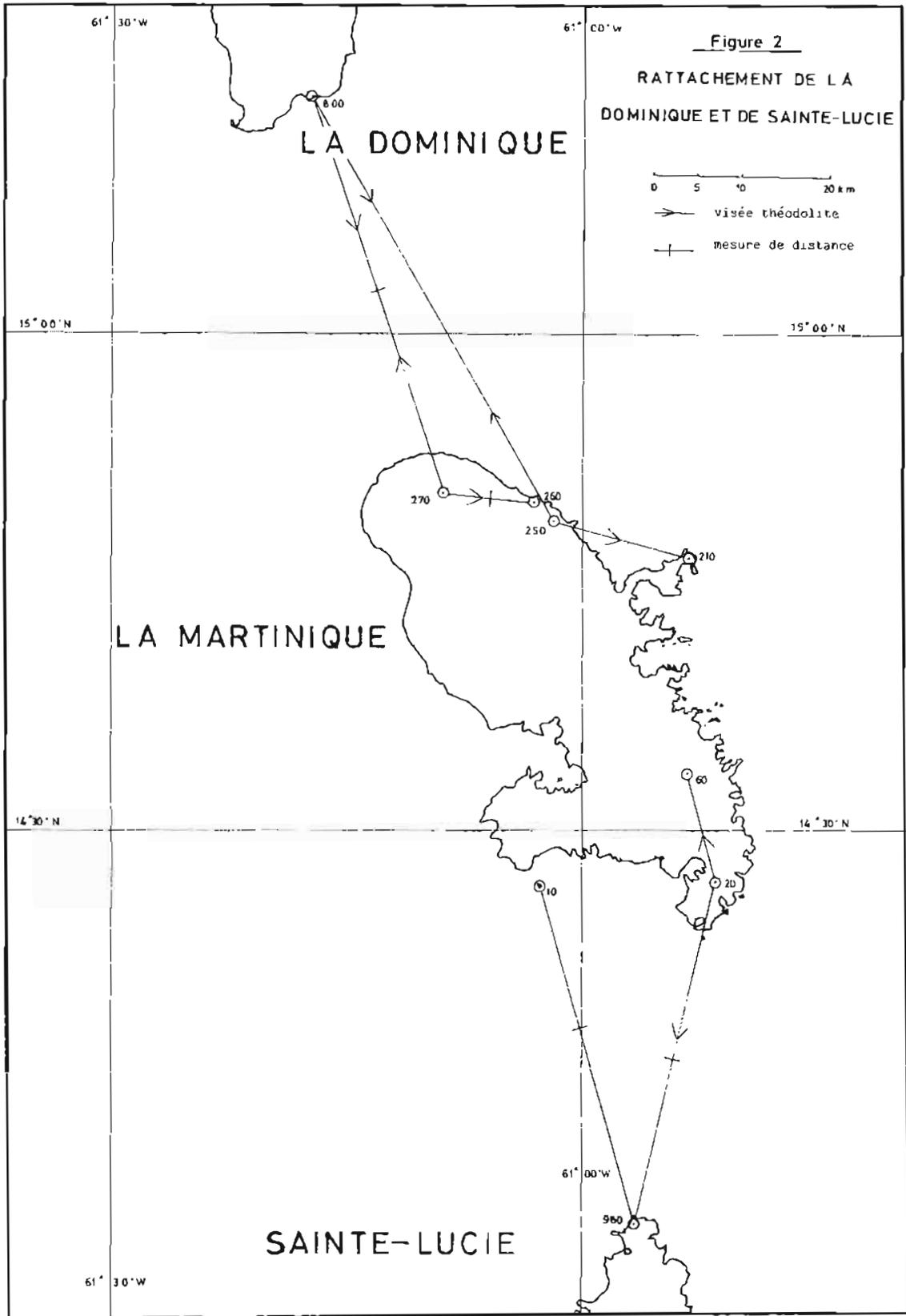


FIG. 2. — Rattachement de la Dominique et de Sainte-Lucie.

TAB. 1. — Réseau SHOM 1984 (Coordonnées approchées)

| Numéro | Nom du point | Ordre | X (Est) m | Y (Nord) m | Z m |
|--------|--|-------|-----------|------------|-----|
| 10 1 | Diamant Borne | 2 | 710977.62 | 1597470.92 | 176 |
| 11 1 | Diamant Signal | | 710996.65 | 1597470.60 | 0 |
| 20 1 | Crève-cœur Borne | 2 | 730795.38 | 1598424.38 | 201 |
| 21 1 | Crève-cœur Signal | | 730791.54 | 1598425.25 | 202 |
| 330 1 | Aca Borne SH77 (fût de 200 l) | 2 | 725888.03 | 1599383.56 | 266 |
| 331 1 | Aca Croix gravée Transformateur | | 725871.96 | 1599389.26 | 269 |
| 332 1 | Aca Signal 1976 | | 725875.73 | 1599379.24 | 0 |
| 30 1 | Jacqueline Borne | 2 | 706867.17 | 1600552.48 | 224 |
| 31 1 | Jacqueline Signal | | 706868.06 | 1600553.66 | 0 |
| 40 1 | Salomon Borne | 2 | 704612.66 | 1604679.36 | 150 |
| 41 1 | Salomon Signal | | 704614.40 | 1604683.54 | 154 |
| 50 1 | Bigot Borne S1 | 2 | 708139.93 | 1606503.08 | 382 |
| 51 1 | Bigot Borne S3 | | 708142.61 | 1606499.28 | 383 |
| 53 1 | Bigot Borne S2 (piquet en fer) | | 708136.38 | 1606498.59 | 382 |
| 54 1 | Bigot Signal 1978 | | 708136.80 | 1606504.96 | 0 |
| 60 0 | Montagne Vauclin Borne IGN | 2 | 727477.43 | 1610307.92 | 505 |
| 70 1 | Pointe Vauclin Borne | 2 | 733894.08 | 1611512.18 | 6 |
| 71 1 | Pointe Vauclin Signal 1978/79 | | 733890.93 | 1611512.13 | 0 |
| 80 1 | Chaudière Borne 1978 | 2 | 732032.28 | 1612642.62 | 31 |
| 81 1 | Chaudière Signal 1 1978 | | 732026.70 | 1612637.17 | 0 |
| 110 1 | Pavillon Borne (croix peinte) S1 | 2 | 720495.52 | 1617864.52 | 368 |
| 111 1 | Pavillon Borne S3 | | 720496.17 | 1617865.14 | 368 |
| 112 1 | Pavillon Signal 1981 | | 720495.90 | 1617861.04 | 371 |
| 113 1 | Pavillon Croix gravée 1978 | | 720494.21 | 1617860.73 | 368 |
| 120 1 | Démarche Borne S1 | 2 | 702653.37 | 1618824.53 | 262 |
| 121 1 | Démarche Borne S3 | | 702652.06 | 1618811.48 | 262 |
| 122 1 | Démarche Borne S2 | | 702656.75 | 1618825.58 | 262 |
| 123 1 | Démarche Signal 1978 | | 702653.00 | 1618826.70 | 0 |
| 150 1 | Simson Borne | 3 | 699174.00 | 1623564.80 | 425 |
| 152 1 | Simson Signal | | 699172.55 | 1623562.64 | 428 |
| 160 1 | Verrier Borne | 3 | 699438.55 | 1624501.99 | 487 |
| 170 1 | Morne Vert Pré Borne IGN | 2 | 717194.39 | 1625667.86 | 337 |
| 171 1 | Morne Vert Pré Borne MOA | | 717186.72 | 1625675.96 | 360 |
| 172 1 | Morne Vert Pré Signal | | 717185.53 | 1625676.91 | 366 |
| 180 1 | Carbet Sanatorium Borne | 3 | 695813.77 | 1626193.48 | 117 |
| 190 1 | Morne Les Cadets Borne | 3 | 699144.44 | 1629645.14 | 532 |
| 191 1 | Morne Les Cadets Cheminée 1 | | 699144.19 | 1629646.83 | 0 |
| 192 1 | Morne Les Cadets Cheminée 2 | | 699154.31 | 1629645.12 | 0 |
| 200 1 | Trou Matelots Borne | 2 | 707999.02 | 1629854.67 | 627 |
| 210 1 | Caravelle Station MOA S2 | 2 | 727587.87 | 1634081.73 | 155 |
| 211 1 | Caravelle Axe Phare | | 727609.20 | 1634052.25 | 161 |
| 212 1 | Caravelle Station MOA S1 | | 727617.86 | 1634049.64 | 146 |
| 220 1 | Morne La Folie Croix MOA | 3 | 691844.16 | 1635581.79 | 104 |
| 230 1 | Morne Calebasse Borne | 2 | 699463.60 | 1636782.60 | 756 |
| 231 1 | Morne Calebasse Station excentrée 1981 | | 699459.96 | 1636781.56 | 756 |
| 240 1 | Le Prêcheur Croix MOA 81 | 3 | 690551.08 | 1636994.80 | 20 |
| 241 1 | Le Prêcheur Axe Phare | | 690552.21 | 1636995.09 | 23 |
| 250 1 | Morne Bellevue (Nord) Borne | 2 | 711781.39 | 1638335.69 | 169 |
| 260 1 | Le Lorrain Pylône | 2 | 709623.68 | 1640553.91 | 71 |
| 270 1 | Hauteur Bourdon Borne | 2 | 699112.58 | 1641293.09 | 438 |
| 271 1 | Hauteur Bourdon Antenne 1982/83 | | 699111.82 | 1641291.00 | 0 |
| 280 1 | Pylône Habitation Bellevue Station | 4 | 698753.09 | 1643459.93 | 270 |
| 281 1 | Pylône Habitation Bellevue Signal | | 698754.08 | 1643458.57 | 273 |
| 290 1 | Basse Pointe Pylône | 2 | 701943.27 | 1644430.96 | 71 |
| 300 1 | Basse Pointe Ecole Borne | 3 | 701954.25 | 1644538.83 | 51 |
| 310 1 | Macouba Mairie annexe | 4 | 699496.75 | 1645365.04 | 62 |
| 320 1 | Macouba Presbytère | 3 | 699041.16 | 1645297.92 | 75 |
| 800 1 | Fond Saint-Jean Croix gravée MOA 1981 | 2 | 683974.08 | 1685960.82 | 59 |
| 980 1 | Pointe du Cap Borne DCS 28 | | 721629.87 | 1560271.59 | 150 |
| 981 1 | Pointe du Cap Station telluromètre | | 721636.44 | 1560284.08 | 150 |

TAB. 2. — Origine des altitudes

| Numéro du repère | Origine | Numéro du repère | Origine |
|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| 10 | IGN 1953 | 160 | Station 31 |
| 11 | — | 170 | IGN 1953 |
| 20 | IGN 1953 | 171 | Rattaché à 170 |
| 21 | Rattaché à 20 | 172 | Rattaché à 170 |
| 330 | Rattaché à 331 | 180 | Station 30 |
| 331 | Station 4 | 190 | Moyenne stations 32, 33 et 50 |
| 332 | — | 191 | — |
| 30 | IGN 1953 | 192 | — |
| 31 | — | 200 | Moyenne stations 6 et 22* |
| 40 | IGN 1953 | 210 | Rattaché à 211 |
| 41 | — | 211 | IGN 1953 |
| 50 | Moyenne stations 3 et 7* | 212 | Rattaché à 211 |
| 51 | Rattaché à 50 | 220 | Moyenne stations 37 et 49 |
| 53 | Rattaché à 50 | 230 | Moyenne stations 9 et 21* |
| 54 | — | 231 | Rattaché à 230 |
| 60 | IGN 1953 | 240 | Rattaché à 241 |
| 70 | IGN 1953 | 241 | IGN 1953 |
| 71 | — | 250 | Moyenne stations 10 et 18* |
| 80 | IGN 1953 | 260 | Moyenne stations 11, 14 et 15* |
| 81 | — | 270 | Moyenne stations 17 et 25* |
| 110 | Station 1 | 271 | — |
| 111 | Rattaché à 110 | 280 | Moyenne stations 43 et 46 |
| 112 | Rattaché à 110 | 281 | Moyenne stations 44 et 48 |
| 113 | Rattaché à 110 | 290 | Moyenne stations 16, 24 et 27* |
| 120 | IGN 1953 | 300 | Moyenne stations 28 et 45 |
| 121 | IGN 1953 | 310 | Station 47 |
| 122 | IGN 1953 | 320 | Station 48 |
| 123 | — | 800 | Moyenne stations 49 et 40* |
| 150 | Station 5 | 980 | DOS |
| 152 | Rattaché à 150 | 981 | DOS |

* Visées de plus de 10 km.

de la similitude qui représente au mieux le changement de système. Le calcul final est effectué en corrigeant le gisement du côté 60 → 211 de la rotation résiduelle. La valeur adoptée est : $000^{\circ} 19' 04,6''$.

4.2. Détermination des poids a priori

Les écarts types a priori des valeurs observées ont été paramétrés de la manière suivante :

— tours d'horizon

visées au T3 à 8, 12 ou 16 répétitions $\sigma = 1 u$

visées au T3 à 4 répétitions $\sigma = 2 u$

visées au T2 à 4 ou 8 répétitions $\sigma = 2 u$

— mesures de distances

mesures au telluromètre $\sigma = \sqrt{p^2 + q^2 D^2}$

mesures au distancemètre $\sigma = \sqrt{0,01 p^2 + q^2 D^2}$
où D est la distance mesurée.

Les paramètres u , p et q ont été ajustés de façon à obtenir une variance de l'unité de poids voisine de l'unité :

— un premier calcul du réseau à partir des seules mesures de distances a conduit à retenir les valeurs suivantes :

$p = 2 \text{ cm}$

$q = 0,5 \text{ cm/km}$

— un deuxième calcul du réseau à partir des seules mesures angulaires (en fixant en outre la

distance 60-210) a conduit à retenir la valeur $u = 1''$.

Les valeurs correspondantes des écarts types a priori sont indiquées dans les tableaux 3 et 4. Un poids plus faible a été attribué aux visées du tour 30 (visées 84 et 85) compte tenu de la distance très courte (100 m) entre les stations 300 et 290.

4.3. Résultats

L'ajustement final porte sur 193 équations de liaison pour 107 inconnues. Il a été réalisé sur un calculateur HP 9816 muni d'une extension de mémoire; le temps de calcul est de 90 minutes. Les résultats sont indiqués dans le tableau 5.

La figure 3 donne la distribution des corrections aux observations, rapportées à l'écart type a priori. 99% des corrections sont inférieures à 2 écarts types a priori; aucune ne dépasse 3 écarts types.

La figure 4 donne la distribution des écarts types circulaires a posteriori, σ_c . La précision du réseau sur l'île de la Martinique est relativement homogène : σ_c est inférieur à 16 cm pour les 28 sommets concernés. Seuls 8 d'entre eux ont un σ_c supérieur à 10 cm (n° 220, 240, 270, 280, 290, 300, 310, 320). La précision est moins bonne pour les deux points rattachés sur Sainte-Lucie ($\sigma_c = 44 \text{ cm}$) et la Dominique ($\sigma_c = 41 \text{ cm}$).

TAB. 3. — Réseau SHOM 1984. Mesures de distances.

| Numéro Fiche | Extrémité 1 Num:Haut. | Extrémité 2 inst:Num:Haut. inst: | Distance brute (m) | Distance corrigée(m) | Ecart type en cm |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 20 | 1.50 60 | 1.50 12339.650 | 12338.294 | 6.5 |
| 2 | 1210 | 1.70 171 | 1.50 13372.489 | 13373.216 | 7.0 |
| 3 | 1210 | 1.38 110 | 1.50 17698.453 | 17700.353 | 9.1 |
| 4 | 171 | 1.51 110 | 1.50 8482.133 | 8483.273 | 4.7 |
| 5 | 1210 | .26 60 | -.02 23772.000 | 23773.924 | 12.1 |
| 6 | 50 | 1.52 60 | 1.20 19706.445 | 19708.392 | 10.1 |
| 7 | 80 | 1.50 60 | 1.23 5139.198 | 5118.431 | 3.2 |
| 8 | 1330 | 1.50 60 | 1.23 11040.099 | 11039.451 | 5.9 |
| 9 | 171 | 1.48 80 | 1.45 19753.932 | 19755.022 | 10.1 |
| 10 | 1210 | 1.31 80 | 1.45 21890.013 | 21894.090 | 11.1 |
| 11 | 171 | 1.50 70 | 1.08 21901.502 | 21903.141 | 11.1 |
| 12 | 171 | 1.35 60 | 1.35 18493.322 | 18495.409 | 9.5 |
| 13 | 1210 | .59 50 | 1.60 33741.915 | 33746.076 | 17.0 |
| 14 | 171 | 1.45 50 | 1.60 21198.023 | 21200.159 | 10.8 |
| 15 | 70 | 1.45 80 | 1.45 2177.595 | 2178.035 | 2.3 |
| 16 | 110 | 1.52 80 | 1.45 12665.514 | 12663.586 | 6.6 |
| 17 | 110 | 1.50 70 | 1.48 14829.366 | 14828.049 | 7.7 |
| 18 | 50 | 1.48 331 | 1.55 19103.557 | 19105.740 | 9.8 |
| 19 | 110 | 1.53 331 | 1.55 19238.689 | 19241.632 | 9.8 |
| 20 | 120 | 1.50 113 | 1.54 17865.274 | 17866.027 | 9.2 |
| 21 | 30 | 1.42 40 | 1.50 4702.696 | 4702.556 | 3.1 |
| 22 | 120 | .25 40 | 1.25 14279.497 | 14280.214 | 7.4 |
| 23 | 60 | 1.25 120 | 1.66 26242.482 | 26244.327 | 13.3 |
| 24 | 53 | 1.49 120 | 1.66 13490.033 | 13490.461 | 7.0 |
| 25 | 30 | 1.14 331 | .25 19037.739 | 19040.368 | 9.7 |
| 26 | 1331 | 1.50 20 | 1.56 5016.737 | 5017.308 | 3.2 |
| 27 | 30 | 1.54 10 | 1.56 5136.989 | 5137.321 | 3.3 |
| 28 | 60 | .52 10 | 1.92 20904.926 | 20905.321 | 10.6 |
| 29 | 1331 | .52 10 | .50 15015.387 | 15017.430 | 7.8 |
| 30 | 1221 | 1.45 150 | 1.55 5883.343 | 5881.335 | 3.6 |
| 31 | 150 | 1.40 30 | 1.42 24263.845 | 24264.444 | 12.3 |
| 32 | 150 | .15 40 | 1.35 19653.732 | 19652.982 | 10.0 |
| 33 | 70 | 1.50 20 | 1.11 13447.603 | 13449.581 | 7.0 |
| 34 | 70 | 0.00 210 | 0.00 23434.053 | 23434.053 | 11.9 |
| 35 | 1200 | 1.39 230 | 1.04 10993.799 | 10993.086 | 5.8 |
| 36 | 1200 | 1.61 111 | 1.55 17318.829 | 17318.451 | 8.9 |
| 37 | 51 | 1.32 200 | 1.43 23355.888 | 23355.934 | 11.8 |
| 38 | 1270 | 1.63 290 | 1.30 4241.530 | 4225.818 | 2.1 |
| 39 | 1210 | .23 230 | 1.33 28257.409 | 28253.632 | 14.3 |
| 40 | 1210 | 1.38 260 | 1.22 19091.321 | 19094.451 | 9.8 |
| 41 | 1210 | 1.38 290 | 1.24 27649.971 | 27654.098 | 14.0 |
| 42 | 1270 | 1.46 260 | 1.22 10542.535 | 10536.929 | 5.6 |
| 43 | 1230 | 1.62 290 | 1.36 8069.202 | 8040.275 | 4.5 |
| 44 | 1230 | 1.62 260 | 1.39 10858.695 | 10837.576 | 5.8 |
| 45 | 1200 | 1.74 260 | 1.39 10835.421 | 10822.051 | 5.8 |
| 46 | 1250 | 1.61 171 | 1.34 13765.104 | 13765.536 | 7.2 |
| 47 | 1250 | 1.61 260 | 1.14 3095.604 | 3094.443 | 2.5 |
| 48 | 1210 | 1.74 250 | 1.39 16366.081 | 16368.895 | 8.4 |
| 49 | 1300 | 1.71 290 | 1.51 110.252 | 108.524 | .2 |
| 50 | 1270 | 1.50 300 | 1.71 4330.856 | 4313.811 | 2.2 |
| 51 | 1150 | 1.88 180 | 1.61 4277.303 | 4266.283 | 2.1 |
| 52 | 1150 | 1.88 160 | 1.72 975.761 | 973.818 | .5 |
| 53 | 1160 | 1.83 180 | 1.61 4017.105 | 4000.066 | 2.0 |
| 54 | 1190 | 1.85 160 | 1.72 5151.717 | 5151.580 | 2.6 |
| 55 | 1190 | 1.85 180 | 1.61 4814.358 | 4796.540 | 2.4 |
| 56 | 1231 | 1.45 190 | 1.52 7146.995 | 7143.394 | 4.1 |
| 57 | 1220 | 1.27 190 | 1.52 9418.822 | 9409.294 | 5.1 |
| 58 | 1240 | 1.50 220 | 2.03 1917.143 | 1915.377 | 2.2 |
| 59 | 1270 | 1.83 320 | 2.02 4021.691 | 4005.454 | 2.8 |
| 60 | 1270 | 1.60 280 | 1.80 2202.784 | 2196.442 | 1.1 |
| 61 | 1320 | 1.55 310 | 1.43 460.648 | 460.498 | .3 |
| 62 | 1300 | 1.73 280 | 1.60 3384.660 | 3376.042 | 1.7 |
| 63 | 1800 | 1.80 270 | 1.58 47164.148 | 47163.423 | 23.7 |
| 64 | 120 | 1.50 981 | 1.50 39216.300 | 39224.376 | 19.7 |
| 65 | 10 | 1.50 981 | 1.50 38678.330 | 38684.295 | 19.4 |

TAB. 4. — Réseau SHOM 1984. Tours d'horizon.

| Numéro Fiche | Numéro Visée | Point Station | Point Visé | Lecture angulaire en brute | en DDMSS.S | corrigée | Ecart type en SS.S |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 1 | 100 | 20 | 50 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 2 | 101 | | 71 | 285428.2 | 285427.4 | 1.0 | |
| 3 | 102 | | 332 | 2963457.1 | 2963503.5 | 1.0 | |
| 4 | 200 | 331 | 60 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | |
| 5 | 201 | | 21 | 924310.6 | 924317.5 | 2.0 | |
| 6 | 300 | 70 | 81 | 1074317.8 | 0.0 | 1.0 | |
| 7 | 301 | | 211 | 1510435.9 | 432105.4 | 1.0 | |
| 8 | 400 | 212 | 60 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 9 | 401 | | 110 | 232452.9 | 232448.4 | 1.0 | |
| 10 | 402 | | 50 | 345527.7 | 345529.5 | 1.0 | |
| 11 | 403 | | 171 | 505426.8 | 505417.8 | 1.0 | |
| 12 | 404 | | 70 | 3440559.5 | 3440558.9 | 1.0 | |
| 13 | 405 | | 80 | 3480034.7 | 3480033.4 | 1.0 | |
| 14 | 500 | 60 | 212 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 15 | 501 | | 20 | 1640315.0 | 1640335.7 | 1.0 | |
| 16 | 502 | | 50 | 2583130.1 | 2583146.0 | 1.0 | |
| 17 | 503 | | 171 | 3255109.8 | 3255114.8 | 1.0 | |
| 18 | 600 | 170 | 212 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 19 | 601 | | 50 | 1540516.6 | 1540531.8 | 1.0 | |
| 20 | 700 | 50 | 212 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 21 | 701 | | 60 | 433604.7 | 433617.7 | 1.0 | |
| 22 | 702 | | 331 | 763527.0 | 763546.0 | 1.0 | |
| 23 | 703 | | 171 | 3495943.3 | 3495948.1 | 1.0 | |
| 24 | 800 | 80 | 212 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 25 | 801 | | 70 | 1325452.1 | 1325505.4 | 1.0 | |
| 26 | 802 | | 60 | 2543038.9 | 2543052.9 | 1.0 | |
| 27 | 803 | | 110 | 3060006.4 | 3060016.0 | 1.0 | |
| 28 | 804 | | 171 | 3225552.4 | 3225557.4 | 1.0 | |
| 29 | 900 | 331 | 60 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 30 | 901 | | 10 | 2541738.5 | 2541745.9 | 1.0 | |
| 31 | 902 | | 50 | 2832940.6 | 2832942.9 | 1.0 | |
| 32 | 903 | | 110 | 3352439.6 | 3352435.3 | 1.0 | |
| 33 | 1000 | 30 | 11 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 34 | 1001 | | 41 | 2043943.0 | 2043939.2 | 1.0 | |
| 35 | 1002 | | 332 | 3264752.4 | 3264751.4 | 1.0 | |
| 36 | 1100 | 10 | 331 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 37 | 1101 | | 20 | 43506.0 | 43506.5 | 1.0 | |
| 38 | 1102 | | 30 | 2241152.5 | 2241151.9 | 1.0 | |
| 39 | 1200 | 331 | 11 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 40 | 1201 | | 31 | 105122.3 | 105120.6 | 1.0 | |
| 41 | 1300 | 40 | 123 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 42 | 1301 | | 31 | 1591311.5 | 1591321.0 | 1.0 | |
| 43 | 1400 | 122 | 60 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 44 | 1401 | | 53 | 470532.8 | 470534.6 | 1.0 | |
| 45 | 1402 | | 40 | 631112.0 | 631114.8 | 1.0 | |
| 46 | 1403 | | 150 | 2144450.3 | 2144451.3 | 1.0 | |
| 47 | 1500 | 40 | 120 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 48 | 1501 | | 150 | 3514916.7 | 3514914.3 | 1.0 | |
| 49 | 1600 | 30 | 331 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 50 | 1601 | | 150 | 2480057.8 | 2480045.2 | 1.0 | |
| 51 | 1700 | 150 | 30 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 52 | 1701 | | 40 | 22512.8 | 22510.6 | 1.0 | |
| 53 | 1702 | | 122 | 3421032.7 | 3421023.3 | 1.0 | |
| 54 | 1800 | 60 | 50 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 55 | 1801 | | 121 | 300228.8 | 300221.9 | 1.0 | |
| 56 | 1802 | | 10 | 3331446.6 | 3331451.7 | 1.0 | |
| 57 | 1900 | 51 | 171 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 58 | 1901 | | 200 | 3342355.9 | 3342353.8 | 1.0 | |
| 59 | 2000 | 210 | 171 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 60 | 2001 | | 230 | 442551.7 | 442545.4 | 1.0 | |
| 61 | 2100 | 200 | 260 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | |
| 62 | 2101 | | 230 | 3002544.2 | 3002546.3 | 1.0 | |

TAB. 4 (suite)

| Numéro : Fiche | Numéro : Visée | Point : Station | Point : Visée | Lecture angulaire en : brute | DDMMSS.S : corrigée | Ecart type : en SS.S |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|
| 63 | 2200 | 250 | 171 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 64 | 2201 | | 260 | 1505453.9 | 1505445.8 | 1.0 |
| 65 | 2202 | | 210 | 3081106.6 | 3081102.1 | 1.0 |
| 66 | 2300 | 111 | 171 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 67 | 2301 | | 200 | 3364631.0 | 3364628.8 | 1.0 |
| 68 | 2400 | 200 | 51 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 69 | 2401 | | 111 | 3140958.3 | 3140952.4 | 1.0 |
| 70 | 2500 | 210 | 171 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 71 | 2501 | | 270 | 530926.8 | 530918.0 | 1.0 |
| 72 | 2502 | | 260 | 584533.0 | 584524.5 | 1.0 |
| 73 | 2503 | | 290 | 605526.2 | 605515.6 | 1.0 |
| 74 | 2600 | 210 | 260 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 75 | 2601 | | 250 | 3551457.8 | 3551459.0 | 1.0 |
| 76 | 2700 | 230 | 210 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 77 | 2701 | | 200 | 333444.2 | 333446.3 | 1.0 |
| 78 | 2800 | 270 | 211 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 79 | 2801 | | 290 | 2974756.8 | 2974751.3 | 1.0 |
| 80 | 2802 | | 260 | 3494601.4 | 3494557.9 | 1.0 |
| 81 | 2900 | 230 | 200 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 82 | 2901 | | 290 | 2485359.8 | 2485352.3 | 1.0 |
| 83 | 2902 | | 260 | 3003410.9 | 3003413.4 | 1.0 |
| 84 | 3000 | 300 | 270 | 0.0 | 0.0 | 4.0 |
| 85 | 3001 | | 290 | 3243723.0 | 3243721.4 | 20.0 |
| 86 | 3100 | 150 | 121 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 87 | 3101 | | 180 | 1641354.5 | 1641350.7 | 1.0 |
| 88 | 3102 | | 160 | 2315728.2 | 2315725.3 | 1.0 |
| 89 | 3200 | 160 | 180 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 90 | 3201 | | 191 | 614232.8 | 614231.0 | 1.0 |
| 91 | 3202 | | 152 | 2604742.4 | 2604743.7 | 1.0 |
| 92 | 3300 | 180 | 152 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 93 | 3301 | | 192 | 2755935.4 | 2755932.3 | 1.0 |
| 94 | 3302 | | 160 | 3465643.0 | 3465642.5 | 1.0 |
| 95 | 3400 | 190 | 160 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 96 | 3401 | | 180 | 471505.7 | 471504.8 | 1.0 |
| 97 | 3500 | 220 | 180 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 98 | 3501 | | 241 | 1602930.9 | 1602925.6 | 1.0 |
| 99 | 3502 | | 190 | 3320220.2 | 3320218.5 | 1.0 |
| 100 | 3600 | 230 | 211 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 101 | 3601 | | 190 | 870112.6 | 870114.8 | 1.0 |
| 102 | 3602 | | 180 | 1032839.0 | 1032842.9 | 1.0 |
| 103 | 3700 | 270 | 290 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 104 | 3701 | | 320 | 3165530.0 | 3165529.6 | 2.0 |
| 105 | 3800 | 180 | 192 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 106 | 3801 | | 241 | 2895759.5 | 2895755.9 | 1.0 |
| 107 | 3802 | | 220 | 2930103.8 | 2930100.9 | 1.0 |
| 108 | 3900 | 190 | 220 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 109 | 3901 | | 241 | 12535.6 | 12534.9 | 1.0 |
| 110 | 3902 | | 180 | 2745129.7 | 2745134.4 | 1.0 |
| 111 | 4000 | 270 | 300 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 112 | 4001 | | 281 | 3092342.9 | 3092343.5 | 2.0 |
| 113 | 4100 | 320 | 271 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 114 | 4101 | | 310 | 2623753.2 | 2623751.1 | 2.0 |
| 115 | 4200 | 310 | 271 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 116 | 4201 | | 281 | 155319.0 | 155317.9 | 2.0 |
| 117 | 4202 | | 320 | 761321.0 | 761319.0 | 2.0 |
| 118 | 4300 | 300 | 270 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 119 | 4301 | | 281 | 300847.0 | 300845.9 | 2.0 |
| 120 | 4400 | 800 | 250 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 121 | 4401 | | 270 | 113329.2 | 113327.3 | 1.0 |
| 122 | 4500 | 270 | 260 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 123 | 4501 | | 800 | 2471540.4 | 2471517.9 | 1.0 |
| 124 | 4600 | 250 | 211 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 125 | 4601 | | 800 | 2243503.7 | 2243436.7 | 1.0 |
| 126 | 4700 | 20 | 50 | 0.0 | 0.0 | 2.0 |
| 127 | 4701 | | 980 | 2090612.0 | 2090641.1 | 2.0 |

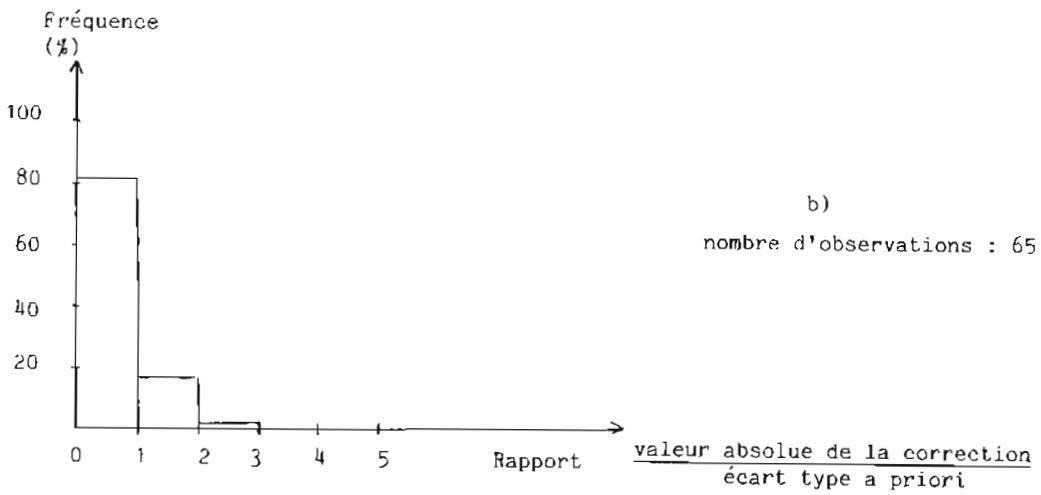
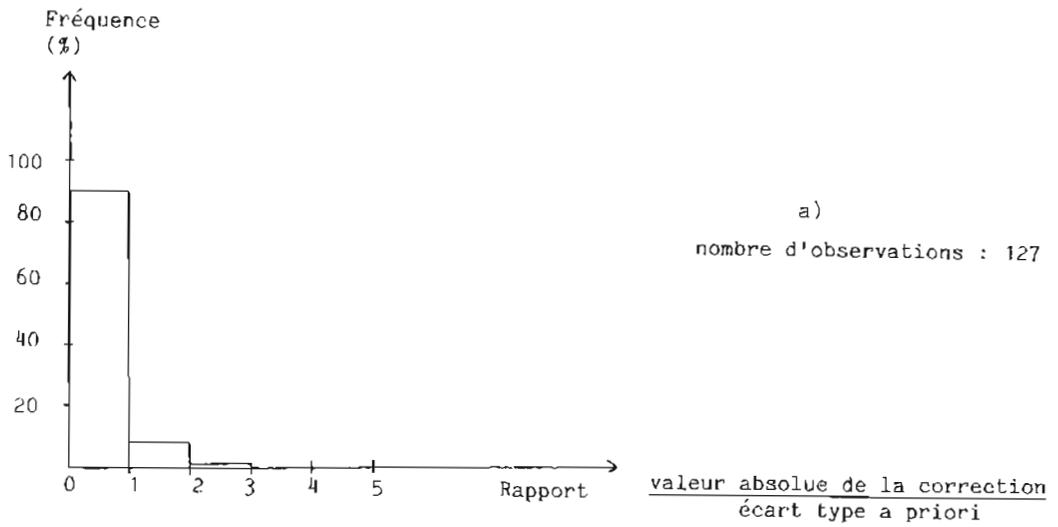


FIG. 3. — Distribution des corrections aux valeurs observées.

- a) visées angulaires
- b) mesures de distances

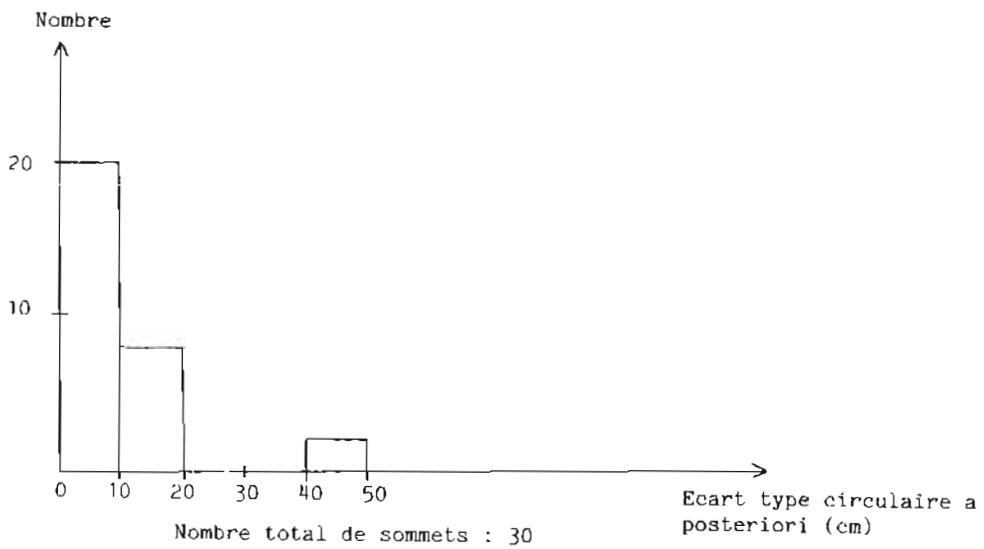


FIG. 4. — Distribution des écarts types circulaires a posteriori.

TAB. 5. — Réseau SHOM 1984. Résultats de l'ajustement final.

| N° du point | Valeurs approchées (m) | | Appoints (cm) | | Valeurs compensées (m) | | Ecartés types (cm) | |
|-------------|------------------------|------------|---------------|--------|------------------------|-------------|--------------------|-------|
| | X(Est) | Y(Nord) | Dx | Dy | X(Est) | Y(Nord) | Emx | Emy |
| 10 | 710977.62 | 1597470.92 | +6.01 | -18.21 | 710977.681 | 1597470.741 | 6.31 | 5.81 |
| 11 | 710996.65 | 1597470.60 | +6.01 | -18.21 | 710996.711 | 1597470.421 | 6.31 | 5.81 |
| 20 | 730795.38 | 1598424.38 | +31.41 | -7.21 | 730795.691 | 1598424.311 | 4.91 | 3.61 |
| 21 | 730791.54 | 1598425.25 | +31.41 | -7.21 | 730791.851 | 1598425.181 | 4.91 | 3.61 |
| 330 | 725008.03 | 1599383.56 | +6.11 | -10.51 | 725008.091 | 1599383.451 | 4.61 | 3.41 |
| 331 | 725071.96 | 1599389.26 | +6.11 | -10.51 | 725072.021 | 1599389.151 | 4.61 | 3.41 |
| 332 | 725075.73 | 1599379.24 | +6.11 | -10.51 | 725075.791 | 1599379.131 | 4.61 | 3.41 |
| 33 | 706067.17 | 1600552.48 | +2.61 | -19.31 | 706067.201 | 1600552.291 | 5.81 | 6.81 |
| 31 | 706068.06 | 1600553.66 | +2.61 | -19.31 | 706068.081 | 1600553.471 | 5.81 | 6.81 |
| 40 | 704612.66 | 1604679.36 | +1.21 | -18.21 | 704612.671 | 1604679.181 | 5.31 | 7.41 |
| 41 | 704614.40 | 1604683.54 | +1.21 | -18.21 | 704614.411 | 1604683.361 | 5.31 | 7.41 |
| 50 | 700139.93 | 1606583.08 | +3.01 | -14.41 | 700139.961 | 1606582.941 | 4.91 | 5.71 |
| 51 | 700142.61 | 1606499.28 | +3.01 | -14.41 | 700142.641 | 1606499.141 | 4.91 | 5.71 |
| 53 | 700136.38 | 1606498.59 | +3.01 | -14.41 | 700136.411 | 1606498.451 | 4.91 | 5.71 |
| 54 | 700136.00 | 1606584.96 | +3.01 | -14.41 | 700136.031 | 1606584.821 | 4.91 | 5.71 |
| 70 | 733894.08 | 1611512.18 | +2.21 | -4.51 | 733894.101 | 1611512.141 | 3.01 | 3.21 |
| 71 | 733898.93 | 1611512.13 | +2.21 | -4.51 | 733898.951 | 1611512.091 | 3.01 | 3.21 |
| 80 | 732032.28 | 1612642.62 | +11.31 | -4.61 | 732032.351 | 1612642.571 | 2.51 | 2.81 |
| 81 | 732026.70 | 1612637.17 | +11.31 | -4.61 | 732026.811 | 1612637.121 | 2.51 | 2.81 |
| 110 | 720495.52 | 1617864.52 | -1.51 | -10.51 | 720495.501 | 1617864.411 | 3.81 | 4.41 |
| 111 | 720496.17 | 1617865.14 | -1.51 | -10.51 | 720496.151 | 1617865.031 | 3.81 | 4.41 |
| 112 | 720495.90 | 1617861.04 | -1.51 | -10.51 | 720495.881 | 1617860.931 | 3.81 | 4.41 |
| 113 | 720494.21 | 1617860.81 | -1.51 | -10.51 | 720494.191 | 1617860.701 | 3.81 | 4.41 |
| 120 | 702653.37 | 1610024.53 | -3.51 | -15.11 | 702653.331 | 1610024.381 | 4.61 | 7.01 |
| 121 | 702652.06 | 1610011.48 | -3.51 | -15.11 | 702652.031 | 1610011.321 | 4.61 | 7.01 |
| 122 | 702656.75 | 1610025.14 | -3.51 | -15.11 | 702656.711 | 1610025.031 | 4.61 | 7.01 |
| 123 | 702653.00 | 1610026.70 | -3.51 | -15.11 | 702652.961 | 1610026.551 | 4.61 | 7.01 |
| 150 | 699174.00 | 1623564.00 | -10.71 | -16.21 | 699173.891 | 1623564.641 | 5.01 | 7.71 |
| 152 | 699172.55 | 1623562.64 | -10.71 | -16.21 | 699172.441 | 1623562.481 | 5.01 | 7.71 |
| 160 | 699430.55 | 1624581.99 | -9.01 | -15.81 | 699430.451 | 1624581.831 | 5.11 | 7.61 |
| 170 | 717194.39 | 1625667.06 | -1.61 | -10.41 | 717194.371 | 1625667.761 | 3.31 | 4.41 |
| 171 | 717186.72 | 1625675.96 | -1.61 | -10.41 | 717186.701 | 1625675.861 | 3.31 | 4.41 |
| 172 | 717185.53 | 1625676.91 | -1.61 | -10.41 | 717185.511 | 1625676.811 | 3.31 | 4.41 |
| 180 | 695013.77 | 1626193.48 | -10.71 | -10.31 | 695013.661 | 1626193.281 | 5.31 | 8.31 |
| 190 | 699144.44 | 1629645.14 | -12.31 | -16.41 | 699144.321 | 1629644.981 | 5.51 | 7.71 |
| 191 | 699144.19 | 1629646.03 | -12.31 | -16.41 | 699144.071 | 1629646.671 | 5.91 | 7.71 |
| 192 | 699154.31 | 1629645.12 | -12.31 | -16.41 | 699154.191 | 1629644.961 | 5.91 | 7.71 |
| 200 | 707999.02 | 1629854.67 | -5.71 | -11.11 | 707999.061 | 1629854.561 | 6.21 | 6.21 |
| 210 | 727587.87 | 1634001.73 | -7.11 | -4.21 | 727587.861 | 1634001.691 | 0.01 | 4.61 |
| 211 | 727609.20 | 1634052.21 | -7.11 | -4.21 | 727609.191 | 1634052.211 | 0.01 | 4.61 |
| 212 | 727617.86 | 1634049.64 | -7.11 | -4.21 | 727617.851 | 1634049.601 | 0.01 | 4.61 |
| 220 | 691044.16 | 1635581.79 | -5.51 | -21.91 | 691044.151 | 1635581.571 | 9.51 | 10.61 |
| 230 | 699463.68 | 1636782.68 | +2.21 | -18.31 | 699463.691 | 1636782.421 | 5.41 | 7.51 |
| 231 | 699459.96 | 1636781.56 | +2.21 | -18.31 | 699459.961 | 1636781.381 | 5.41 | 7.51 |
| 240 | 690551.08 | 1636994.00 | +4.51 | -16.41 | 690551.121 | 1636994.641 | 10.51 | 11.41 |
| 241 | 690552.21 | 1636995.09 | +4.51 | -16.41 | 690552.251 | 1636994.931 | 10.51 | 11.41 |
| 250 | 711781.39 | 1638335.69 | +2.21 | +3.21 | 711781.411 | 1638335.721 | 5.01 | 5.71 |
| 260 | 709623.68 | 1640553.91 | +8.71 | -4.81 | 709623.771 | 1640553.061 | 5.61 | 6.01 |
| 270 | 699112.58 | 1641293.09 | +12.11 | -1.71 | 699112.701 | 1641293.071 | 6.51 | 8.71 |
| 271 | 699111.82 | 1641291.00 | +12.11 | -1.71 | 699111.941 | 1641290.981 | 6.51 | 8.71 |
| 280 | 690753.09 | 1643459.93 | +5.81 | -4.21 | 690753.151 | 1643459.891 | 7.01 | 8.91 |
| 281 | 690754.08 | 1643458.57 | +5.81 | -4.21 | 690754.141 | 1643458.531 | 7.01 | 8.91 |
| 290 | 701943.27 | 1644430.96 | +9.11 | -18.41 | 701943.291 | 1644430.781 | 7.11 | 7.71 |
| 300 | 701954.25 | 1644538.83 | +4.01 | -9.01 | 701954.291 | 1644538.741 | 7.21 | 7.71 |
| 310 | 699496.75 | 1645365.04 | +10.01 | -4.81 | 699496.931 | 1645364.991 | 8.51 | 8.91 |
| 320 | 699041.16 | 1645297.92 | +10.71 | -3.31 | 699041.251 | 1645297.891 | 8.41 | 9.11 |
| 000 | 683974.08 | 1685960.62 | +6.61 | +4.11 | 683974.151 | 1685960.861 | 31.91 | 26.21 |
| 900 | 721629.07 | 1560271.59 | -4.41 | +6.11 | 721629.071 | 1560271.621 | 41.41 | 14.51 |
| 501 | 721636.44 | 1560284.09 | -4.41 | +6.11 | 721636.441 | 1560284.091 | 41.41 | 14.51 |

Nombre de degrés de liberté : 86
 Variance de l'unité de poids : 0,95

5. COMPARAISON AVEC LES SYSTEMES ANTERIEURS

5.1. Système IGN 1953

Sept points du système IGN 1953 ont été redéterminés dans le système SHOM 1984. Ils sont identifiés dans le tableau 6.

TAB. 6. — Points communs aux systèmes IGN 53 et SHOM 84

| Système SHOM 1984 | | Système IGN 53 | | | Observations |
|-------------------|-------------------------------|----------------|--------------|-------|--|
| N° | Nom | N° | Nom | Ordre | |
| 10 | Diamant Borne | 215 a | Diamant V | 3 | Point fondamental du système SHOM 1984 |
| 20 | Crèvecœur Borne | 20 | Crèvecœur | 1 | |
| 60 | Montagne du Vauclin Borne IGN | 18 | Vauclin 1 | 1 | |
| 120 | Démarche Borne S1 | 9 a | Démarche | 1 | |
| 170 | Vert Pré Borne IGN | 17 | Vert Pré | 1 | |
| 211 | Caravelle Axe Phare | 19 a | Caravelle | 1 | |
| 241 | Le Prêcheur Axe Phare | 101 a | Prêcheur III | 2 | |

Compte tenu de la définition du système SHOM 1984, la transformation entre les deux systèmes doit se réduire, aux déformations près, à une homothétie de centre Montagne du Vauclin. Le coefficient d'échelle calculé sur les trois points 60, 170 et 211 pour la transformation (IGN → SHOM) est :

$$k = 0,999\ 993\ 093$$

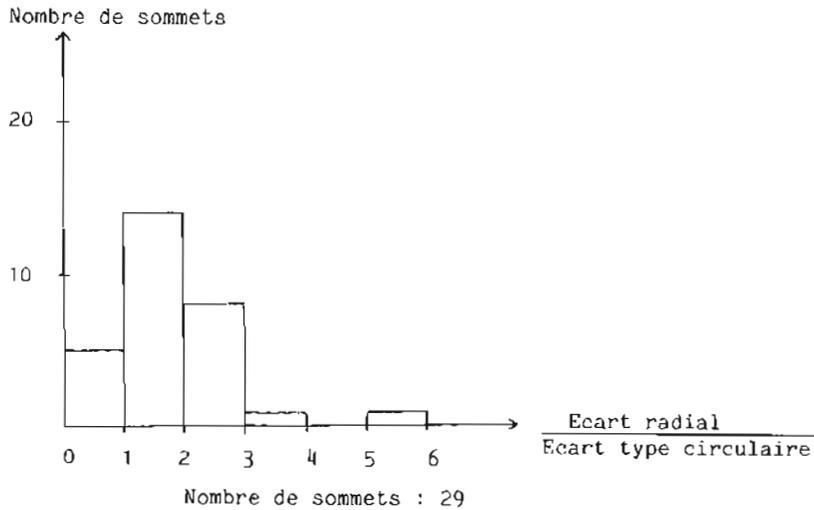
L'échelle du réseau IGN résulte d'une mesure de base de 7 km faite par Jarre en 1926. L'erreur d'échelle de $7 \cdot 10^{-6}$ est plausible. Elle est à rapprocher de l'écart de $2 \cdot 10^{-5}$ (dans le même sens) constaté par Legrand en 1938-1939 sur une base de contrôle de 2 km (Legrand, 1946).

Le tableau 7 donne les écarts entre les coordonnées des points communs aux deux systèmes et les écarts résiduels après contraction du système IGN.

On constate que l'effet de l'homothétie est pratiquement négligeable devant les déformations résiduelles du système IGN par rapport au système SHOM. Les écarts observés sont compatibles avec la précision du système IGN (30 cm pour l'ordre 1 et 2; le mètre pour l'ordre 3; Dubor 1953) sauf pour Crèvecœur (n° 20) et le Prêcheur (n° 241).

TAB. 7. — Comparaison des systèmes IGN 53 et SHOM 84

| Numéro | Ordre IGN | Ecartés (coordonnées SHOM -- coordonnées IGN) (en cm) | | | |
|--------|-----------|---|------|---------------------------------------|------|
| | | Valeurs initiales | | Valeurs résiduelles après contraction | |
| | | ΔX | ΔY | ΔX | ΔY |
| 60 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 16 | 98 | 18 | 90 |
| 120 | 1 | 16 | - 55 | - 1 | - 49 |
| 170 | 1 | - 6 | - 17 | - 13 | - 6 |
| 211 | 1 | 11 | - 18 | 11 | - 2 |
| 241 | 2 | - 60 | - 46 | - 86 | - 28 |
| 10 | 3 | 68 | 74 | 57 | 65 |



(Nota : le sommet 980 n'a pas été calculé dans le système MOA 1978)

FIG. 5. — Distribution des écarts de coordonnées entre les systèmes SHOM 1984 et MOA 78.

L'erreur d'environ 1 m sur l'ordonnée de Crève-cœur (dont la détermination est imprécise dans le système IGN) est à l'origine des difficultés rencontrées par la MOA en 1976-1977.

5.2. Système MOA 1978

Les résultats de la compensation du quadrilatère fondamental du système MOA 1978 sont les suivants :

- gisement du côté 60 → 211 : $000^{\circ}19'04,6''$,
- coefficient d'échelle par rapport au système IGN : 0,999 993 110.

Les systèmes MOA 78 et SHOM 1984 ont donc pratiquement même échelle et même orientation. Les écarts entre les coordonnées dans les deux systèmes sont donnés dans la colonne « Ap-points » du tableau 5 (sauf pour les points 800, 980 et 981). La figure 5 donne la distribution des écarts radiaux rapportés à l'écart type circulaire a posteriori.

L'écart radial est supérieur à $3\sigma_c$ pour deux points :

- Crève-cœur (N° 20).
- Chaudière (N° 80).

les écarts dépassant 20 cm sont :

- ΔX pour Crève-cœur (N° 20).
- ΔY pour La Folie (N° 220).

Le calcul de ces trois points dans le système MOA 1978 a été repris. Après correction de quelques erreurs dans les constructions graphiques correspondantes, on obtient les écarts suivants (coordonnées SHOM 84 — coordonnées MOA 78 corrigées) :

- Crève-cœur : $\Delta X = 6$ cm
 $\Delta Y = 3$ cm
soit $\Delta r/\sigma_c = 1,1$

- Chaudière : $\Delta X = 6$ cm
 $\Delta Y = -5$ cm
soit $\Delta r/\sigma_c = 2,1$

- La Folie : $\Delta X = -4$ cm
 $\Delta Y = -15$ cm

La coïncidence entre les deux systèmes est alors satisfaisante.

6. RÉSEAU COMPLÉMENTAIRE

Les travaux de géodésie complémentaire ont été menés dans le système MOA 1978. Certains points de la partie Sud de l'île de la Martinique sont donc affectés par l'erreur commise dans le calcul de Crève-cœur. A titre d'exemple, deux points s'appuyant sur Crève-cœur (Croix des Salines, Pointe Baham) ont été recalculés. Les écarts entre les coordonnées MOA 78 et SHOM 84 atteignent 50 cm.

En dehors de ces cas particuliers, on peut admettre que les écarts entre les deux systèmes ne dépassent pas 20 cm et l'adoption du système SHOM 84 n'aura pas, en général, d'incidence sur les coordonnées des points complémentaires adoptées par la MOA.

RÉFÉRENCES

- Institut Géographique National. Répertoire des coordonnées et altitudes des points géodésiques, Ile de la Martinique. IGN, Mars 1959.
- LEGRAND H. — Mission Hydrographique de la Martinique (du 26 août 1938 au 1^{er} mai 1939). *Annales Hydrographiques*, 3^e série, tome 18, 1946.
- DUBOR J. — Etude sur les triangulations de la Martinique. IGN, février 1953.

DEUXIÈME PARTIE

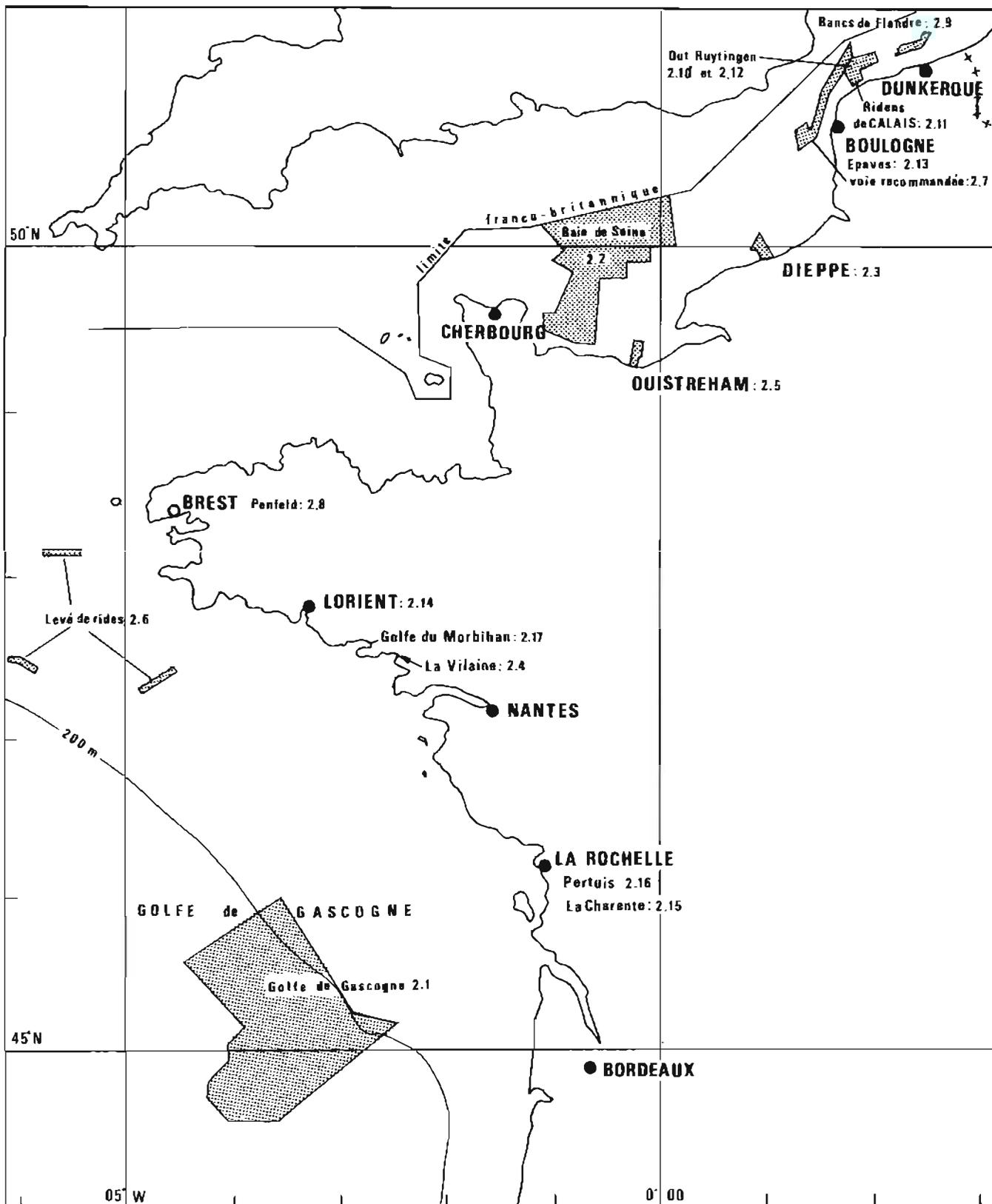
MISSION HYDROGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE (29 février 1980 — 30 avril 1983)

par

M. Jean-Claude GUYON
Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe)

SOMMAIRE

| | | | |
|---|-----------|---|------------|
| Première partie. — Généralités | 43 | Chapitre 2.15. — Levé à l'embouchure de la Charente..... | 109 |
| Deuxième partie. — Les levés bathymétriques | 51 | Chapitre 2.16. — Recherche d'épaves dans le Pertuis d'Antioche..... | 114 |
| Chapitre 2.1. — Levé dans le Golfe de Gascogne à la chute du plateau continental | 51 | Chapitre 2.17. — Reconnaissance hydrographique dans le Golfe du Morbihan | 115 |
| Chapitre 2.2. — Levé intermédiaire de la Baie de Seine | 58 | Troisième partie. — Océanographie, étalonnages de réseaux, évaluations d'équipements | 146 |
| Chapitre 2.3. — Vérification au sondeur latéral des accès au port de Dieppe | 66 | Chapitre 3.1. — Campagne Envat 1981 | 146 |
| Chapitre 2.4. — Levé de vérification de la voie recommandée de la Vilaine | 69 | Chapitre 3.2. — Evaluation du marégraphe Suber .. | 147 |
| Chapitre 2.5. — Vérification au sondeur latéral des accès maritimes au port de Caen | 74 | Chapitre 3.3. — Evaluation du courantographe Suber SLS 11 | 151 |
| Chapitre 2.6. — Levé de rides sur le plateau continental | 78 | Chapitre 3.4. — Evaluation du récepteur Oméga M6 | 157 |
| Chapitre 2.7. — Levé d'une voie recommandée entre le bateau-feu du Sandettié et le Vergoyer | 83 | Chapitre 3.5. — Etalonnage des réseaux Loran C en Atlantique | 170 |
| Chapitre 2.8. — Sondage de complément de la Penfeld..... | 89 | Chapitre 3.6. — Détermination des courants de dérive sur des profils suivis en sens inverse | 175 |
| Chapitre 2.9. — Levé d'une route côtière à l'intérieur des Bancs de Flandre | 93 | Chapitre 3.7. — Gravimétrie..... | 177 |
| Chapitre 2.10. — Levé de la partie Sud-Ouest du Banc Out Ruytingen | 95 | Chapitre 3.8. — Evaluation du réseau Syledis-Bretagne (février 1981 — mars 1983) | 183 |
| Chapitre 2.11. — Recherche d'un haut-fond dans le Pas de Calais | 98 | Annexe 1. — Coordonnées des amers | 210 |
| Chapitre 2.12. — Levé d'une zone de ridens devant le port de Calais | 100 | Annexe 2. — Epaves et obstructions déterminées au cours des levés | 216 |
| Chapitre 2.13. — Contrôle du dégagement des épaves <i>Chacal</i> et <i>Nicolaw</i> près de Boulogne | 104 | Annexe 3. — Coefficients du modèle de marée en Manche | 222 |
| Chapitre 2.14. — Levé d'un chenal à Lorient | 105 | Annexe 4. — Dossiers de mesures de courants | 229 |
| | | Annexe 5. — Véhicules et engins flottants | 232 |
| | | Annexe 6. — Adaptation des équipements utilisés aux travaux | 234 |



Situation des levés effectués par la MHA de 1980 à 1983
 Les levés sont désignés par les numéros des chapitres dans lesquels ils sont traités.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

1.1. Introduction

Ce rapport décrit l'activité de la Mission Hydrographique de l'Atlantique (MHA) du 29 février 1980 au 30 avril 1983, période durant laquelle j'ai rempli les fonctions de Directeur de Mission à la suite de l'Ingénieur en Chef de l'Armement Le Guen.

Depuis le 18 novembre 1974, date de la condamnation du bâtiment hydrographe de 1^{ère} classe (BH1) *La Découverte*, la mission disposait des mêmes unités :

- le BH1 *L'Espérance*, bâtiment de 1 200 tonnes,
- le BH2 *Astrolabe*, bâtiment de 400 tonnes,
- et à la terre, la Base de la Mission Hydrographique de l'Atlantique (BMHA) implantée à Toulbroc'h.

Ces unités ont fonctionné selon les règles mises en place et décrites par mes prédécesseurs. Si l'organisation est restée la même, l'activité de la mission a cependant évolué du fait de la mise en place progressive de nouveaux équipements pour une acquisition et un traitement automatique des données et du fait aussi de l'exécution de campagnes lointaines par le BH1 *L'Espérance*, au détriment, il est vrai, des levés côtiers.

Cette évolution s'est accomplie à une période pendant laquelle la Marine recherchait à réduire ses frais de fonctionnement : à mon départ, la décision de l'abandon de la base de Toulbroc'h pour une nouvelle implantation moins excentrée était à l'étude.

De 1980 à 1983, l'activité de la mission a été soutenue, grâce à la qualité du personnel, au bon fonctionnement des navires, aux conditions météorologiques clémentes. Le potentiel de la mission m'a paru excellent; les limites rencontrées dans l'activité résultaient plus de l'effort nécessaire pour maîtriser l'évolution technique, la variété des missions et l'analyse des résultats que des contraintes matérielles.

1.2. Personnel

1.2.1. Les commandants des unités

Les unités de la mission ont été commandées par les officiers suivants :

| Unité | Officiers | Période |
|------------------------|--------------------|-------------------------------|
| BH1 <i>L'Espérance</i> | CC Mangin d'Ouince | 24/8/79 — 22/8/80 |
| | CC Ould Ferhat | 22/8/80 — 4/9/81 |
| | CC Le Dreff | 4/9/81 — 3/8/82 |
| | CC Deverre | 3/8/82 — août 1983 |
| BH2 <i>Astrolabe</i> | LV(S) Champeau | jusqu'au 4 septembre 1981; |
| | CC(S) Bouillot | à compter du 4 septembre 1981 |
| BMHA | LV(S) Laviec | jusqu'au 28 août 1981; |
| | LV(S) Hery | à compter du 28 août 1981 |

1.2.2. Les Ingénieurs

L'IPETA Le Breton, électronicien de la mission, était affecté depuis le 19 septembre 1977; il a changé d'affectation le 1^{er} juin 1983.

Se sont succédé aux fonctions d'adjoint :

- l'IA Le Gouic (du 25/8/78 au 1/6/81),
- l'IETA Goffinet (du 2/5/80 au 15/11/80),
- l'IETA Deniel (du 1/9/80 au 12/11/82),
- l'IETA Sauvage (à partir du 4/10/82).

L'IA Fourgassié et l'IETA Nedelec ont été affectés pendant un mois avant de rejoindre la Mission Océanographique du Pacifique (MOP); l'IA Leglas a également passé une dizaine de jours à la mission.

1.2.3. Les aspirants et les scientifiques du contingent

Le plan d'armement de la mission comprenait deux scientifiques du contingent qui effectuaient leur service national pendant 1 an. Ils étaient parfaitement intégrés à l'activité hydrographique sous ses divers aspects : embarquement sur le BH1 *L'Espérance*, contrôle des stations de radiolocalisation à terre, dépannage du matériel, traitement informatique des mesures.

Ont été ainsi affectés à la mission depuis 1980 : MM. Dumas, Cailly, Baratte, Pensec, Erignoux, Van Rie, Canali et Barbox. Ce dernier bénéficiait de la formation d'ingénieur civil de l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées et était ainsi directement préparé aux activités hydrographiques.

Tous ces ingénieurs ont participé avec efficacité et entrain aux travaux de la mission.

1.2.4. Plans d'armement

Le plan d'armement en officiers-mariniers hydrographes — 13 hommes — a été bien honoré; en moyenne la mission a disposé de 17 hydrographes, ce qui a permis d'assurer dans de bonnes conditions une activité à la mer voisine de 160 jours pour *L'Espérance* et *Astrolabe*.

Le plan d'armement en ingénieurs (2 hydrographes, 1 électronicien) a paru mesuré.

Celui de la BMHA (26 hommes dont 1 officier) a permis le soutien des activités de la mission, celui des détachements de la MOA, l'accueil de nombreux stagiaires, l'entretien d'une base appréciée de tous.

1.3. Adaptation des unités à leur mission

1.3.1. Le BH1 *L'Espérance*, bâtiment de 1 200 tonnes, est armé par un équipage de 3 officiers et de 40 hommes (dont 11 en supplément depuis 1978 afin d'atteindre une activité annuelle de 160 jours hors du port de base).

C'est un bâtiment remarquable par sa tenue à la mer, la taille de son PC scientifique, la communication directe de ce centre avec la passerelle. Sans doute aurait-il été souhaitable de disposer d'une capacité d'accueil supérieure afin qu'un personnel ancien ne soit pas logé dans des postes de 6 hommes pendant des missions de longue durée.

On notera cependant deux faiblesses :

- une sécurité de propulsion qui a l'inconvénient de faire partir le bâtiment en « arrière toute » si une permutation de pompes hydrauliques n'est pas faite avec suffisamment d'adresse,
- et surtout la mise à l'eau des vedettes par une grue hydraulique à un seul point de traction. Cette grue ne permet pas une mise à l'eau des vedettes au-delà d'une mer force 2, les mouvements de plateforme devenant alors trop amples. Notons que cette grue s'est affaissée au cours d'essais en charge en 1981.

L'Espérance constitue une bonne taille de bâtiment hydrographique à vocation océanique pour des missions à la durée voisine de deux mois. Il peut servir de modèle en améliorant l'habitabilité et en adoptant un système de mise à l'eau des vedettes par bossoirs.

1.3.2. Le BH2 *Astrolabe*, bâtiment de 400 tonnes, est armé par un officier et 42 hommes d'équipage (dont 11 en supplément depuis 1978). Armé par un équipage aussi important que celui de *L'Espérance* il n'en a pas les atouts; sa capacité aux travaux océaniques est faible par suite d'une tenue à la mer moins bonne; son autonomie en vivres, sa capacité d'accueil sont faibles; son PC scientifique est trop réduit : deux personnes peuvent à peine s'y croiser.

Ce bâtiment à vocation côtière a une bonne efficacité quand il met en œuvre ses deux vedettes ou quand il sonde par mer inférieure à 3.



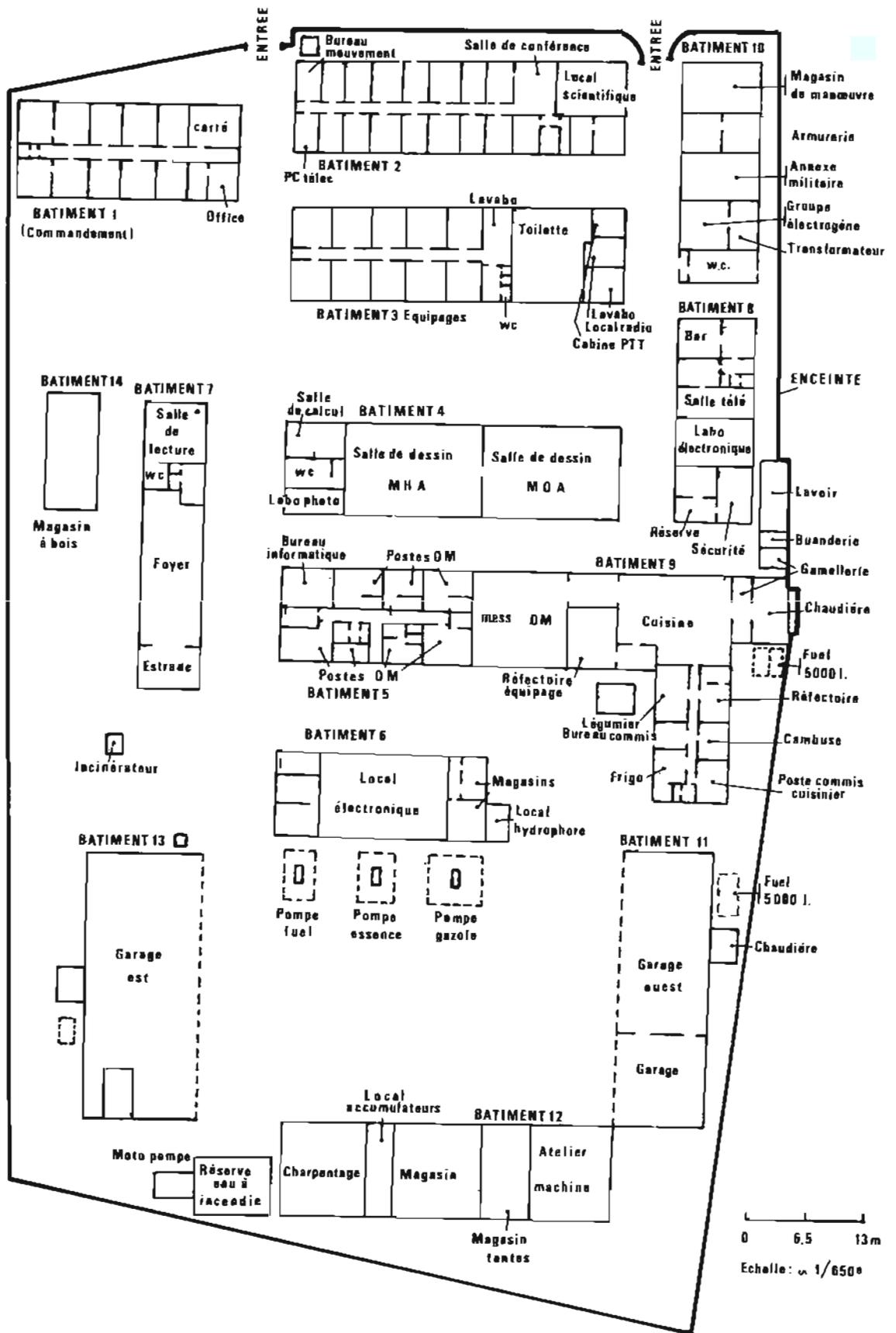
Le PC scientifique du BM1 *L'Espérance*.



Vue aérienne de la Base de la Mission (BMHA) à Toulbroc'h
Deux aspects de la MHA

1.3.3. La base de Toulbroc'h, au fil des années, a vu ses qualités d'hébergement, sa présentation s'améliorer malgré un aspect général austère.

Les salles de dessin, rénovées en 1978 et en 1979, sont remarquables; les postes des officiers-mariniers, près du réfectoire de l'équipage, ont été mis à neuf. Restaient à « remettre à niveau » le bâtiment de commandement et les bureaux du bâtiment n° 2 (voir planche 11.). Mais cette phase a été suspendue en vue du rattachement probable de la base dans une autre enceinte de la Marine.

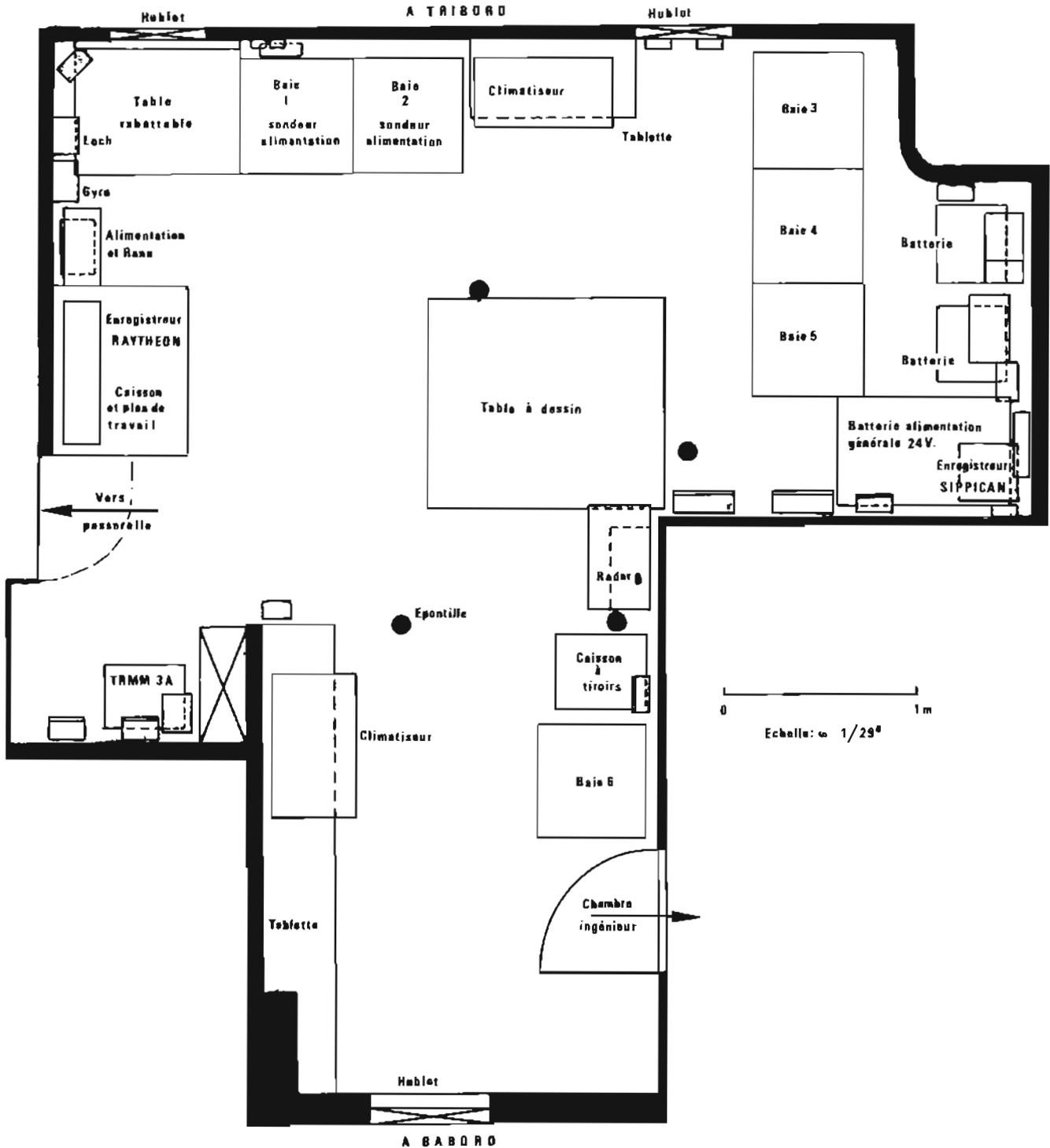


PL. 1.1. — La base de la Mission Hydrographique de l'Atlantique.

1.4. Evolution de la mission

1.4.1. Généralités

L'activité de la mission s'est adaptée aux progrès techniques et aux demandes plus exigeantes des utilisateurs en mettant en œuvre de nouveaux capteurs et en informatisant les traitements. Le PC scientifique de *L'Espérance* a bénéficié d'une refonte pour rendre apte le bâtiment aux missions lointaines.



PL. 1.2. — Le PC scientifique du BH1 *L'Espérance* en 1981.

1.4.2. La refonte de L'Espérance

En 1981 et 1982, *L'Espérance* a bénéficié d'une refonte totale du PC scientifique et de la salle de dessin; cette refonte particulièrement fonctionnelle a été très appréciée : le bâtiment, conçu en chalutier, est devenu un véritable bâtiment hydrographe.

La salle de dessin a été modifiée pour recevoir un système de traitement en temps différé (système « Hytraï »). La porte qui donnait sur la plage milieu a été condamnée; les ouvertures de deux locaux frigorifiques pour l'hydrologie ont été déplacées pour donner dans la coursive; une climatisation a été mise en place. Toutes ces transformations ont supprimé une ambiance humide, inconcevable dans une salle de dessin.

Le PC scientifique englobe désormais l'ancien PC et son annexe (planche 1.2.), il a été aménagé pour recevoir dans 6 baies rack la plupart des équipements hydrographiques en particulier :

- un sondeur « grands-fonds » Raytheon,
- des sondeurs petits et moyens fonds (Atlas Deso 20),
- un compensateur de houle,
- des récepteurs de positionnement (Trident, Toran, Syledis, Loran, Oméga), un récepteur de satellites, un système de positionnement par balises acoustiques,
- enfin le système d'acquisition et de traitement en temps réel « Hydrac ».

1.4.3. Evolution des équipements

Notons deux évolutions des équipements. Ceux-ci sont souvent conçus pour présenter les résultats sous une forme directement exploitable par l'utilisateur; ils sont aussi conçus pour une exploitation informatique en temps réel ou en temps différé. Donnons quelques cas de ces évolutions dans différentes disciplines : le positionnement, l'océanographie, la bathymétrie et le traitement des données.

Pour le positionnement, le récepteur Syledis SR3 et le récepteur Oméga M6 calculent les coordonnées géographiques du point, ce qui permet de s'affranchir des cartes spéciales comportant le tracé de lieux de position en fonction des valeurs des phases radioélectriques. De plus ces récepteurs donnent au point une note de qualité qui indique la confiance que l'on peut lui accorder.

En océanographie, les enregistrements des courantographes, des marégraphes ne se font plus uniquement sur des supports analogiques mais dans des mémoires digitales.

En bathymétrie, le mode d'acquisition recherché est aussi le mode numérique. En 1983 cependant, l'exploitation analogique était encore la règle; l'exploitation analogique des bandes de sonde présente en effet des informations qualitatives difficilement numérisables : la nature du fond suivant l'épaisseur de la trace; l'existence ou non d'une couche sédimentaire en cas de doubles traces continues successives; l'existence possible d'une obstruction selon la « signature » d'un décrochement de la trace enregistrée, plus ou moins net, plus ou moins relié à un fond modifié lui-même par la souille éventuelle de l'obstruction.

En ce qui concerne le traitement des données, l'acquisition, le contrôle et l'archivage ont bénéficié d'une évolution remarquable; les enregistrements sur support magnétique, les imprimantes, les tables traçantes, les indicateurs gauche-droite font partie de la routine des levés à la mer. Ces équipements tendent à mettre un terme à l'époque des relevés visuels au top des données de plusieurs capteurs, époque symbolisée par la consigne bien connue : « attention pour le top... top ! ».

1.4.4. Evolution informatique

L'informatique a ainsi fait une entrée en force à tous les niveaux d'activité depuis 1980. Les étapes de cette évolution sont retracées dans le tableau ci-après.

Finie l'ère des caulettes à cent pas de programmes; des ordinateurs puissants tels les HP 9845 sont embarqués couramment pour la conduite des levés.

Finie l'ère des profils selon la direction des lieux de position; désormais les bâtiments prennent les routes les plus adaptées : direction de la voie recommandée, direction du gradient bathymétrique maximal.

Finies les pages d'écriture sur les « cahiers verts », bordereaux de perforation expédiés pour le calcul à l'Etablissement Principal. Désormais la mission dispose de moyens autonomes pour ses calculs a posteriori mais aussi pour la conduite des opérations en temps réel.

Une démonstration remarquable de l'efficacité des systèmes de traitement en temps réel a été effectuée en 1983 dans le Golfe du Morbihan lors des sondages de la *Charité* — l'une des deux vedettes de 9 mètres de *L'Espérance* — Le traitement immédiat des quatre lieux Trident comportait le calcul du point, le calcul du chapeau, l'archivage des mesures et des traitements, le calcul et la visualisation de l'écart de la vedette au profil à suivre, le tracé des routes suivies; une conduite rationnelle et critique du levé était possible puisque la navigation était construite automatiquement sur la carte marine en service, découpée au format de la table traçante.

Tabl. — Evolution informatique de la MHA : quelques dates

| Date | Levè, observations | Discipline | Étapes | | | | | |
|--------------|--|---|--------|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Juin 1980 | <i>Campagne océanographique en Atlantique Nord :</i> En 1980 la MHA fonctionne selon les méthodes des années précédentes (pas d'acquisition automatique, pas de traitement dans la mission). A l'occasion du levé indiqué notons l'embarquement d'une HP 9845 pour un traitement différé des données de localisation. | Localisation | | | x | | | |
| Août 1980 | <i>Evaluation marégraphe Suber :</i> Première utilisation d'un marégraphe à données numérisées; unité d'acquisition (en temps différé) : une HP 9825. | Marée | x | x | | | | |
| Février 1981 | <i>Evaluation courantographe Suber :</i> Première utilisation des courantographes Suber Unité d'acquisition (en temps différé) : une HP 9825. | Courants | x | x | | | | |
| Mai 1981 | <i>Levè d'Ouistreham :</i> Première utilisation d'un système de suivi de profils avec HP 9845 sur le BH2 <i>Astrolabe</i> . Le système ne prévoit pas l'archivage des données. | Localisation | x | | | | x | x |
| Juin 1981 | <i>Campagne océanographique en Atlantique :</i> — le BH1 <i>L'Espérance</i> dispose d'un nouveau PC scientifique — mise en place de « Navac » (unité d'acquisition du Lorán C); calcul du point en temps réel avec indication du chapeau — mise en œuvre d'un champ de balises acoustiques; panne des unités d'acquisition. | Localisation | x | | | | x | |
| Janvier 1982 | <i>Evaluation du réseau « Syledis-Bretagne » :</i> — utilisation de balises acoustiques — utilisation opérationnelle du système « Hydroboucle » pour l'acquisition des données Syledis, Toran, Oméga; traitement en temps différé. | Localisation | x | x | | | x | x |
| Juin 1982 | <i>Campagne océanographique en Atlantique :</i> Embarquement du système Hytraï pour le tracé des mappes (système rapidement en panne). | Localisation | | | | x | | |
| Janvier 1983 | <i>Evaluation Syledis :</i> Un système d'acquisition et de traitement en temps réel (Hydroboucle, HP 9845, table traçante) est mis en œuvre : — à terre, en caravane mobile, — en mer, sur le BH1 <i>L'Espérance</i> . L'acquisition du Trident est possible. | Localisation | x | x | x | | x | x |
| Février 1983 | <i>Levè de Lorient et levè de la Charente :</i> Abandon de la procédure des carnets verts (Les données de la localisation saisies sur bordereau étaient traitées à l'Établissement Principal). La Mission traite ses données après les avoir enregistrées sur cassette. | Calcul, tracé, Construction automatique | | | x | | | |
| Mars 1983 | <i>Levè du Golfe du Morbihan :</i> Traitement automatique complet de la localisation en vedette hydrographique. (acquisition de 4 lieux Trident, archivage, suivi de profils, pointé sur table traçante). | Localisation | x | x | x | | x | x |

Le SHOM était ainsi parvenu à la mise au point d'un système embarqué particulièrement réussi. L'évolution informatique de la mission, tout d'abord soutenue par l'EPSHOM supposait l'affectation d'un programmeur à la mission. Celle-ci devint effective à partir de 1982.

1.4.5. Les levés au large

Chaque année, en 1980, en 1981 et 1982, *L'Espérance* a effectué une mission de reconnaissance bathymétrique et gravimétrique en Atlantique, mission jusque là réservée au BO *D'Entrecasteaux*. Pour ces missions de cinquante jours, les équipements les plus divers étaient embarqués : système de

positionnement par champ de balises immergées, récepteurs Loran C, Transit, gravimètre, ensemble d'acquisition et de traitement des mesures. *L'Espérance* s'est révélé apte à ces missions océaniques sans présenter cependant la sécurité de fonctionnement atteinte sur un bâtiment de 2 200 tonnes : les équipements sont moins redondants ; le personnel spécialisé est embarqué au plus juste ; la formation, l'hébergement à bord, la transmission de l'expérience entre équipes prenante et quittante deviennent ainsi des thèmes sensibles.

1.4.6. Les levés côtiers

Depuis 1977 la qualité des levés côtiers bénéficiait de l'emploi généralisé d'un capteur pour la détection des obstructions, soit un magnétomètre soit un sondeur latéral. A partir de 1980 d'autres améliorations sont apparues ; notons l'emploi de marégraphe plongeur autant qu'il est possible sur la zone des levés, l'emploi du compensateur de houle sur les bâtiments hydrographes, enfin l'usage des aides informatiques pour la conduite du levé et l'archivage des mesures. Ainsi, *Astrolabe*, malgré un PC bien étroit, a passé une grande partie de son temps sur les voies recommandées du Pas de Calais, ou à la recherche d'un chenal en eau profonde dans les bancs de Flandre en mettant en œuvre l'ensemble de ces techniques.

1.4.7. Les levés côtiers par détachement séparé

L'exécution de petits levés côtiers avec le soutien d'un bâtiment hydrographe armé de plus de trente hommes sans compter les hydrographes n'est pas toujours une solution très satisfaisante si l'on doit considérer le coût de revient des moyens engagés et du personnel.

D'un point de vue purement maritime, la présence d'un bâtiment de soutien peut même constituer une gêne pour le déroulement rationnel du levé : un tel bâtiment ne peut naviguer en sécurité dans les faibles fonds, il ne peut s'accommoder d'un petit mouillage. Il lui faut, au détriment de l'avancement des travaux, rallier un abri, faire de nombreux transits, assurer les mouvements de mise à l'eau et de hissage des vedettes.

Pour ces raisons et aussi pour une bonne gestion des navires (permission des équipages, entretien, heures de fonctionnement...) la MHA a effectué à titre expérimental deux levés sans le soutien d'un bâtiment hydrographe.

Un petit détachement d'une douzaine d'hommes disposant des deux vedettes de *L'Espérance* a effectué un levé près du port de pêche de Lorient ; un autre détachement de même importance a effectué le levé du Golfe du Morbihan.

Au cours de ces missions qui se sont bien déroulées le personnel a montré une satisfaction réelle, l'attrait professionnel des travaux confiés et le niveau de liberté consenti l'emportant sur des conditions d'hébergement parfois rustiques.

L'absence d'unité-support n'a pas cependant que des avantages puisqu'il faut bien, pour la qualité même des travaux, se préoccuper des conditions de travail, de la logistique, de la sécurité et du contrôle des travaux pendant le levé.

On peut se demander si une solution intéressante pour la conduite de levé côtier ne serait pas la création d'un petit détachement disposant d'un petit bâtiment pouvant naviguer en toute sécurité isolément et d'un appui logistique de qualité à terre. Ce point de vue est développé en première partie du chapitre 2-17 (levé dans le Golfe du Morbihan) à partir des expériences concrètes de plusieurs directeurs de missions hydrographiques. On s'y reportera pour apprécier les avantages et les inconvénients de la formule.

1.5. Conclusion

La Mission Hydrographique de l'Atlantique bénéficie pour tout hydrographe d'une position privilégiée. Cette position résulte de la permanence et de la diversité du besoin hydrographique sur les façades de l'Atlantique et de la Manche, du soutien proche de l'Etablissement Principal et de la Deuxième Région Maritime.

Elle est un cadre idéal pour conduire des levés hydrographiques classiques mais aussi pour faire évoluer les méthodes de travail, en consacrant bien entendu à cette activité le personnel nécessaire.

DEUXIÈME PARTIE

LES LEVÉS BATHYMÉTRIQUES

Chapitre 2.1.

LEVÉ DANS LE GOLFE DE GASCOGNE A LA CHUTE DU PLATEAU CONTINENTAL

2.1.1. Généralités (planche 2.1.1.)

Le levé bathymétrique de la chute du plateau continental dans le Golfe de Gascogne a été entrepris en 1978 à bord de *L'Espérance* et poursuivi en 1979 par l'ICA Le Guen. Il a été repris en 1980 au cours de quatre missions de quinze jours selon le calendrier indiqué ci-après. Une de ces missions, celle du 7 au 13 octobre 1980 fut sans résultats en raison de l'état de la mer. Le levé a été étendu par la MOA en 1982 à bord du *Jean Charcot*, navire disposant d'un sondeur multifaisceaux « Seabeam ».

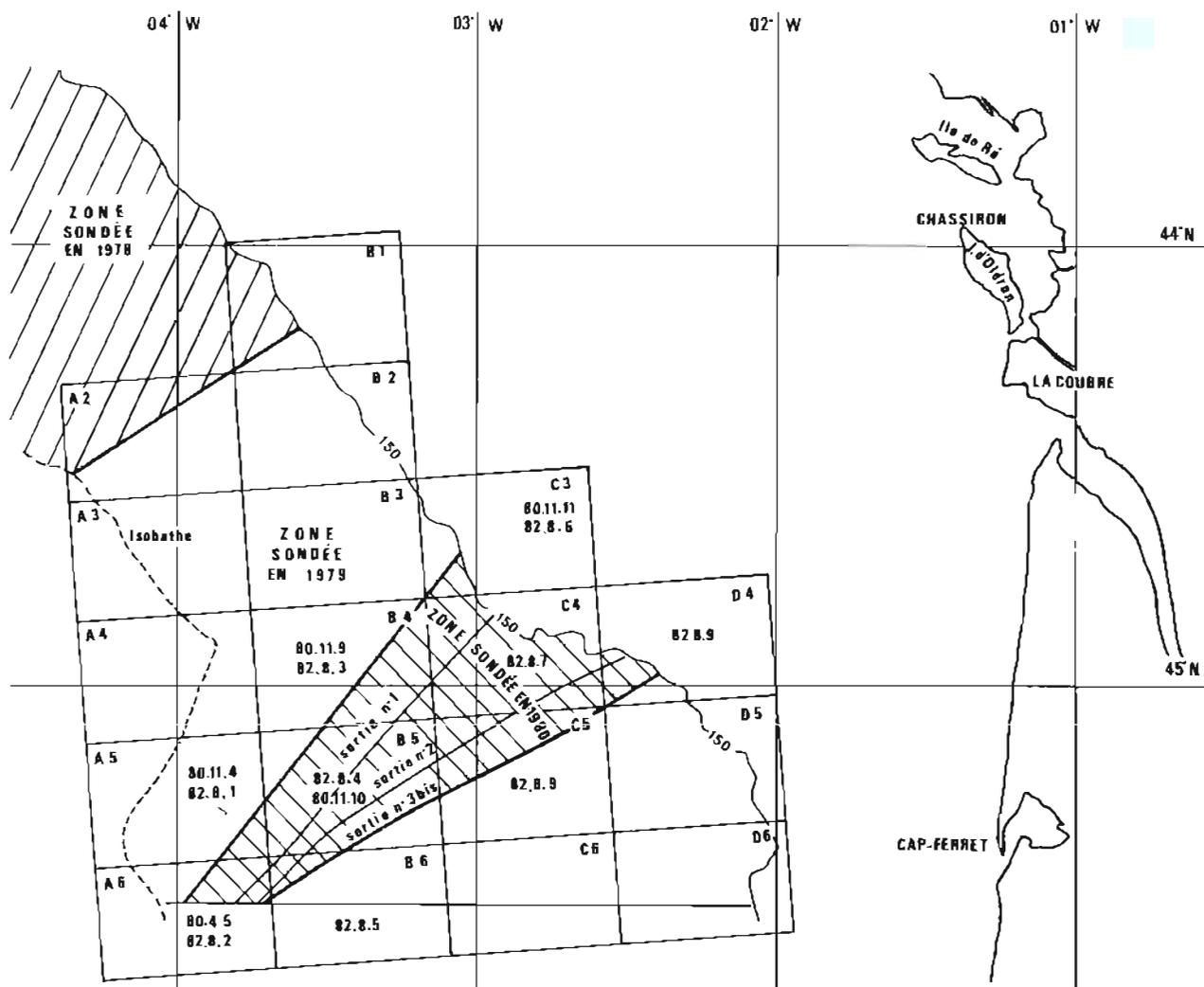
Calendrier du levé du Golfe de Gascogne en 1980

| Date | Activités |
|------------------------|---|
| en mai | Triangulation des foyers des émetteurs Toran du réseau MHA. |
| 22 au 30 mai | Sortie de <i>L'Espérance</i> en mission d'hydrologie au profit de l'école des hydrographes. |
| en août | Installation des stations Toran du réseau MHA en caravane. |
| 20 au 22 août | Essais des équipements; évaluation du sondeur Raytheon; stage de prise de commandement du LV Ould-Ferhat. |
| 25 août au 5 septembre | — levé bathymétrique de la chute du plateau : première mission (séance n° 1). — hydrologie. |
| 9 au 19 septembre | Séance n° 2. |
| 7 au 13 octobre | Séance n° 3; aucun résultat en raison des conditions météorologiques (mer 7-8). |
| 21 au 31 octobre | Séance n° 3 bis. Etalonnage Toran les 25 et 26 octobre après la mise en place d'un réseau Trident dans les Landes. |
| 9 au 18 novembre | Démontage de la chaîne Toran MHA. Triangulation des stations foyers et référence d'une future chaîne Toran nécessaire à l'extension du levé vers le Sud. |

2.1.2. Localisation

Deux chaînes Toran ont été utilisées :

- le réseau Gascogne, entretenu par le Service des Phares et Balises;
- le réseau mobile type Z de la MHA.



PL. 2.1.1. — Levé du Golfe de Gascogne (1980). Situation, désignation des minutes de bathymétrie.

Le réseau de la MHA devenant instable alors que le levé progressait vers le Sud, une nouvelle implantation pour cette chaîne mobile a dû être reconnue dans les Landes. Cette implantation sera utilisée par la MOA en 1982 (planche 2.1.3.).

On a rappelé :

- dans le tableau 1 les caractéristiques des réseaux Toran cités ci-dessus,
- dans le tableau 2 les caractéristiques des stations Rana P17 utilisées pour le calage du Toran.

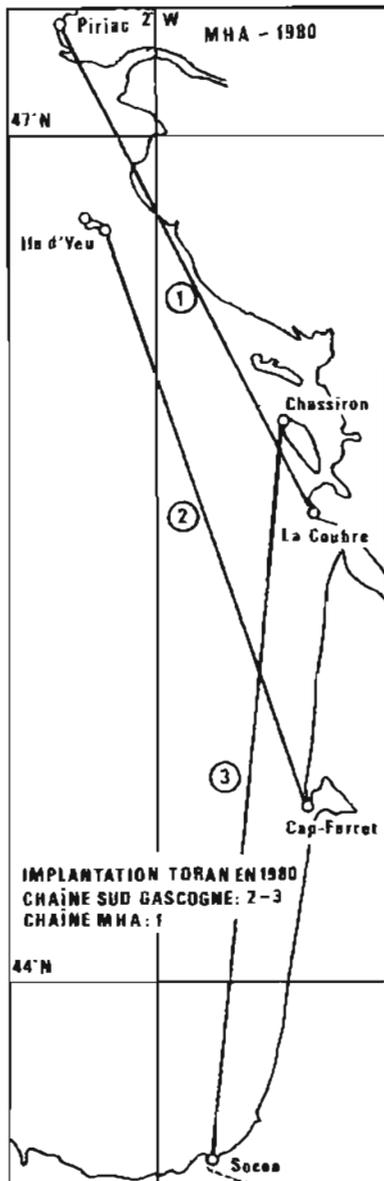
Le calage des réseaux Toran était aussi vérifié en début et fin de mission par passage sur l'épave 145 64-003 du fichier « EPSHOM » ou par passage à proximité de bouées mouillées à cette intention sur le plateau continental.

Les corrections appliquées aux phases Toran (les valeurs « test » des récepteurs étant réglées à 0) étaient celles adoptées en 1979 :

correction à la phase du couple A Gascogne = - 8 centièmes
 correction à la phase du couple B Gascogne = + 36 centièmes.

Afin de contrôler la validité de ces corrections plus au Sud un étalonnage Trident a été effectué dans les Landes en installant trois balises aux points suivants.

| Position des antennes Trident | Coordonnées en Lambert 3 | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------|-------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| Phare du Cap-Ferret | 315 681,8 | 266 860,7 | 55 |
| Phare de Hourtin | 324 984,5 | 321 642,6 | 60 |
| Phare de La Coubre | 321 978,1 | 383 453,8 | 70 |



TAB. 1. — Caractéristiques des réseaux Toran

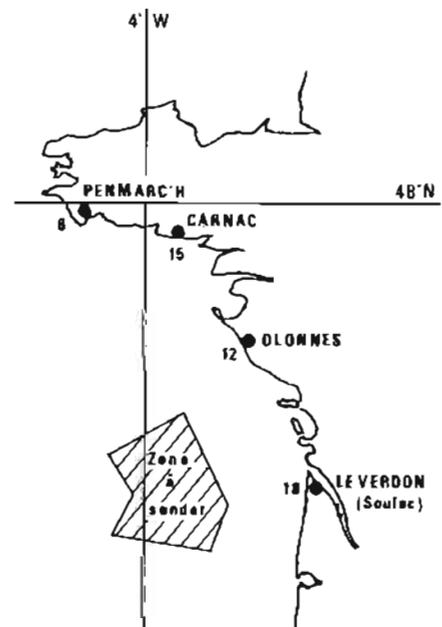
| Stations | F (kHz) | Coordonnées Lambert 3 | | Observations |
|---|---------|-----------------------|------------|--------------------------------------|
| | | X (m) | Y (m) | |
| 1. — Réseau Toran Gascogne | | | | |
| Ile d'Yeu | 1782 | 246 189,76 | 498 043,20 | Célérité des ondes : 299 675 km/s |
| Chassiron | 1631 | 309 969,43 | 422 963,06 | |
| Cap-Ferret | 1782,2 | 315 306,92 | 270 238,32 | |
| Socoa | 1631,08 | 273 168,50 | 129 243,70 | |
| 2. — Réseau Toran MHA | | | | |
| Piriac | 1760,42 | 229 986,40 | 575 081,62 | Célérité des ondes : 299 675 km/s |
| La Coubre | 1760,50 | 321 802,84 | 383 150,21 | |
| Ile d'Yeu | 1605,1 | 238 468,26 | 502 209,69 | |
| 3. — Future implantation de ce réseau dans les Landes (utilisation par la MOA en 1982) | | | | |
| Biscarosse | — | 314 763,07 | 254 745,29 | Foyer Nord |
| Socoa | — | 274 117,51 | 129 593,49 | Foyer Sud |
| Cap de l'Homy | — | 305 490 | 200 011 | Référence |

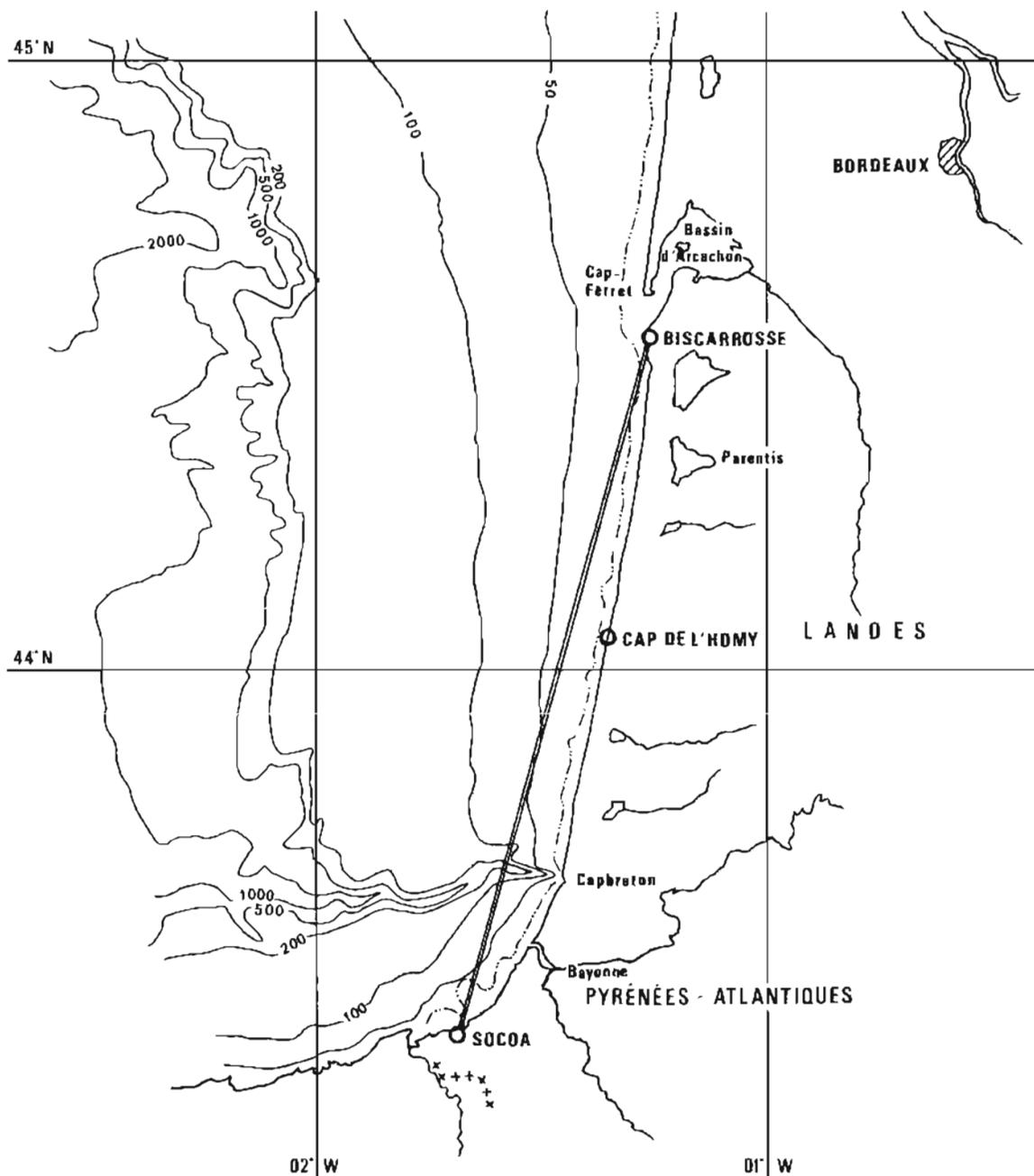
PL. 2.1.2. — Les réseaux Toran utilisés en 1980.

TAB. 2

| Réseau Rana P17 : Caractéristiques des stations utilisées | | | |
|--|----|-----------------------|------------|
| Station | N° | Coordonnées Europe 50 | |
| | | L (Nord) | G (Ouest) |
| Carnac | 15 | 47°36'32",3 | 3°05'31",4 |
| Olonnes | 12 | 46°31'51",7 | 1°48'15",4 |
| Soulac | 18 | 45°31'54",8 | 1°06'31",4 |

Equation de fonctionnement :
 $V = k (PA - PB) + C_{AB}$
 P... position du mobile
 A,B : stations Rana choisies.
 pour le couple 15-12 $C_{15-12} = 400,030$
 pour le couple 18-12 $C_{18-12} = 399,977$
 $k = \frac{299733}{299660} \times \frac{1}{1852}$ soit 0,000 540088





PL. 2.1.3. — Implantation Toran type Z reconnue dans les Landes par la MHA pour l'achèvement du levé du Golfe de Gascogne (achèvement effectué par la MOA en 1982).

Mais l'évolution des corrections entre la zone d'étalonnage et le large s'est révélée trop importante (voir planche 2.1.4.) — 50 centièmes environ sur les deux réseaux — pour qu'il soit possible d'adopter de nouvelles corrections. L'ICA Milard, au symposium sur la localisation en mer de 1979 avait déjà indiqué le phénomène sans que celui-ci soit expliqué.

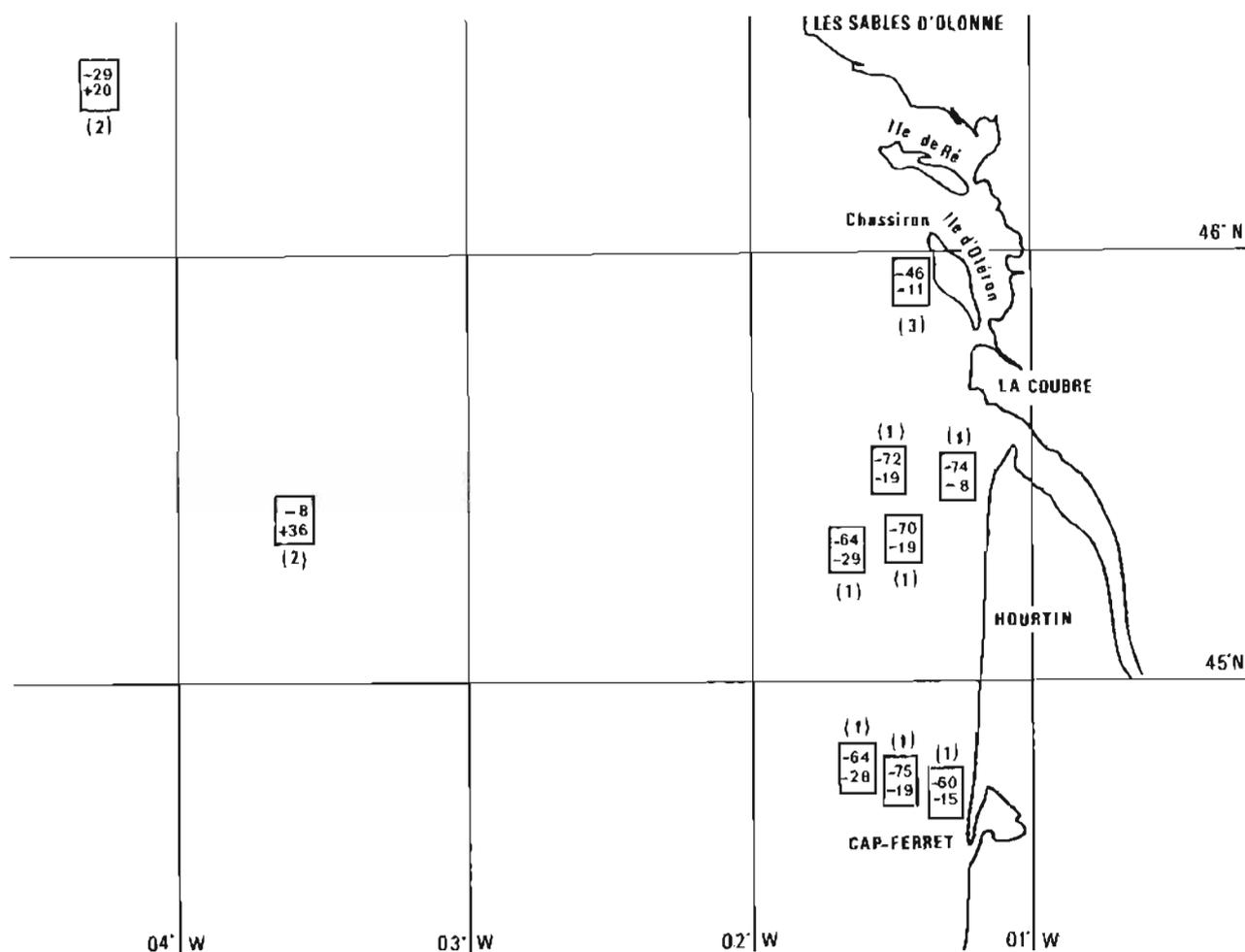
Notons enfin, au cours du levé l'utilisation du récepteur Oméga M6, en cours d'évaluation. Les résultats sont rapportés au chapitre 3.4.

2.1.3. Bathymétrie

La planche 2.1.1. présente la partie du levé sondée en 1980.

Levé régulier

Le réseau Toran MHA (implanté en mode Z à Piriac, à La Coubre et à l'île d'Yeu comme en 1979) a servi de guide pour le sondage régulier au cours de la première sortie et au début de la deuxième. Ensuite, le réseau Gascogne B a été pris pour guide en raison de la meilleure stabilité de ce réseau la nuit.



PL. 2.1.4. — Corrections aux phases du réseau Toran Gascogne.

Conventions :

Tableau :

| |
|----|
| nn |
|----|

 correction à apporter en centièmes au couple A

| |
|----|
| mm |
|----|

 correction à apporter en centièmes au couple B

Indices : (1) correction déterminée par MHA en 1980 par points Trident dans les Landes.
 (2) correction déterminée antérieurement à l'aide du réseau Sud-Bretagne.
 (3) correction déterminée par point optique.

L'espacement des profils a été de 500 mètres par fonds inférieurs à 2 000 mètres et de 1 000 mètres au-delà.

Un recouvrement de 1 mille avec la partie levée en 1979 a été assuré.

Profils traversiers

Neufs profils de vérification ont été sondés suivant les hyperboles du réseau Gascogne A. L'espacement a été dix fois celui du levé régulier (5 000 m par fonds de moins de 2 000 m, 10 000 m au-delà).

Ces profils recoupaient les profils du levé régulier soit sous un angle voisin de 60° (profils guidés suivant le réseau Toran MHA), soit sous un angle voisin de 40° (profils guidés suivant le réseau Gascogne B). Les profils ont été suivis pour toute la zone à l'exclusion de celle réservée aux tirs du Centre d'essais des Landes.

Sondeurs utilisés

Pour les fonds de moins de 270 mètres, la sonde a été prélevée sur un sondeur Atlas Deso 10 et pour les fonds supérieurs sur la loupe d'un sondeur Elac Deneb.

A chaque séance, le sondeur Atlas Deso 10 a été étalonné à l'aide des contrôles à la barre d'étalonnage; de plus les mesures du sondeur Elac Deneb ont été comparées à celles du Deso 10 quand c'était possible, c'est-à-dire par fonds inférieurs à 270 mètres.

Situation de l'observatoire
 L = 45° 32', 82 N
 G = 1° 02', 36 W
 (fiche du 12 février 1980)

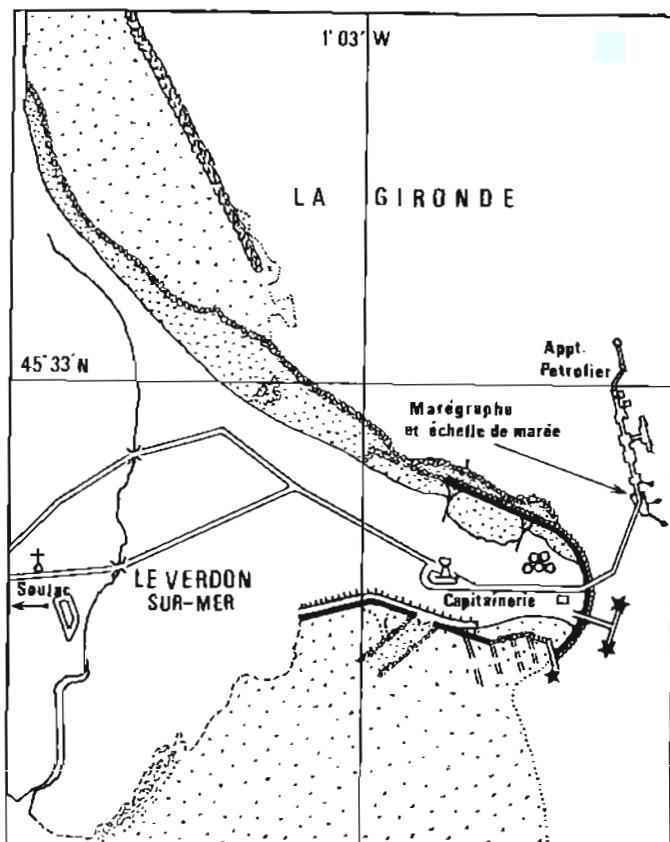


Schéma altimétrique des repères.

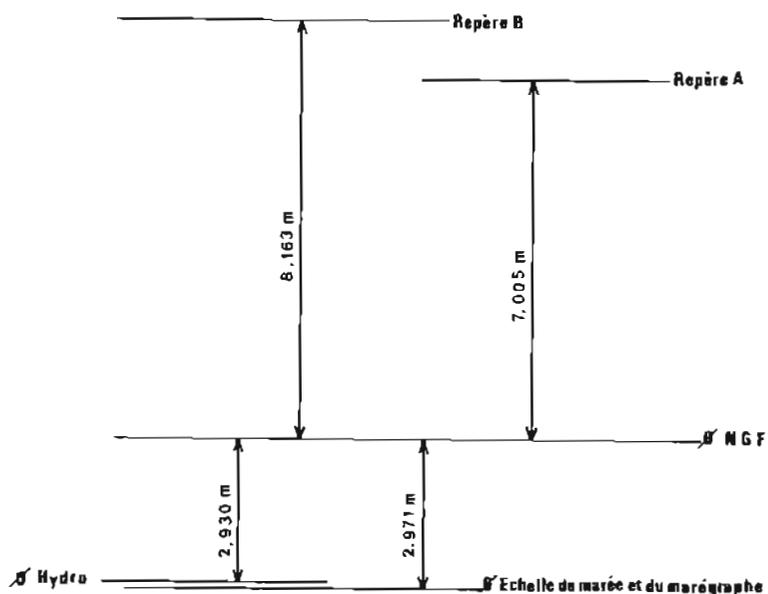


TABLEAU DES REPÈRES

| Désignation | Description | Cote NGF (en mètres) | Cote hydro (en mètres) |
|-------------|--|-------------------------|---------------------------|
| A | Repère NGF n° 0Pq33d scellé dans la bordure de l'apponement à proximité du marégraphe | 7,005 | 9,935 |
| B | Cornière métallique du support du marégraphe (coin avant droit en regardant le marégraphe) | 8,163 | 11,093 |

PL. 2.1.5. — Observatoire de marée du Verdun : rappel des caractéristiques (observatoire non contrôlé en 1980).

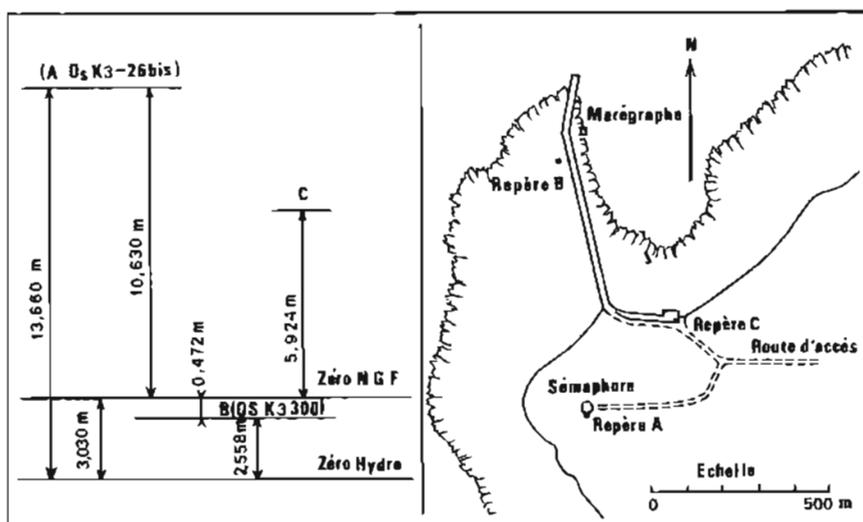


TABLEAU DES REPÈRES

| Désignation | Description | Cote par rapport au zéro hydrographique |
|-------------|---|---|
| A | Repère fondamental : repère N.G.F. scellé sur le bâtiment de l'ancien sémaphore face Sud | + 13,660 m |
| B | Repère N.G.F. (OS K ₃ 300) scellé dans un rocher à proximité de la jetée à 70 m dans l'W-S-W du marégraphe | + 2,558 m |
| C | Repère S.H. scellé dans le soubassement du front de mer, côté Est. La mention M.O.A. 1976 est inscrite dans le béton | + 8,954 m |

PL. 2.1.6. — Observatoire de marée de la Pointe Saint-Gildas
 Situation (L = 47° 08', 5 N; G = 2° 14', 8 W)

Le sondeur Raytheon, installé entre le 21 et le 25 avril 1980 à bord de *L'Espérance*, et dont la base était en avarie depuis le 20 juillet, n'a pu être utilisé avant le 17 octobre.

Quelques profils ont été interrompus ou annulés à la suite d'avaries de l'Elac (avance-papier du sondeur et de sa loupe irréguliers, usure anormale des charbons du moteur, panne du moteur (changé le 11 septembre), claquage des lampes de l'amplification d'émission...).

Toutes les pannes ont été réparées par le bord; seul le changement du moteur a nécessité l'intervention de la DCAN après le retour prématuré à Brest de la séance n° 3.

2.1.4. Marée

La marée utilisée est, comme en 1979, un modèle harmonique mis au point à l'EPSHOM et calé à partir des données du marégraphe du port du Verdon (planche 2.1.5.) et de celui de Saint-Gildas (planche 2.1.6.).

Un profil a été sondé pendant le cycle d'une marée de coefficient moyen, sur des fonds réguliers inférieurs à 200 mètres. La cohérence des sondes aux intersections de ce profil avec les profils du levé régulier a constitué un bon contrôle du modèle de marée.

Seules les sondes inférieures à 200 mètres ont été réduites de la marée.

2.1.5. Documents établis (fiches de levé 80-11 et 82-8)

- 14 minutes de bathymétrie au 1/50 000 (80-11-4, 5, 9, 10, 11 et 82-8 à 9).
- 3 dossiers d'hydrologie.

2.1.6. Conclusion

La difficulté essentielle du levé à la chute du plateau continental a été la qualité du positionnement Toran. Au cours de futurs levés il est souhaitable de préciser l'évolution des corrections constatée entre la zone côtière et le large.

Chapitre 2.2.

LEVÉ INTERMÉDIAIRE DE LA BAIE DE SEINE

2.2.1. Généralités (planche 2.2.1.)

Le levé intermédiaire de la Baie de Seine est défini par les limites suivantes :

— au Nord, la ligne de séparation des levés français et britannique de la Manche (ligne passant par les points « F » et « G » de coordonnées respectives :

$$F \begin{cases} 50^{\circ} 08' N \\ 1^{\circ} 16' W \end{cases}$$

$$G \begin{cases} 50^{\circ} 20' N \\ 0^{\circ} 36', 5 W \end{cases}$$

- à l'Est, la droite au 350° issue du phare d'Antifer,
- au Sud, l'isobathe « 20 mètres »,
- à l'Ouest, le méridien de Gatteville.

Le levé régulier a été entrepris par l'ICA Ribet en 1976 à l'échelle 1/20 000. Il a été poursuivi en 1977, interrompu en 1978, repris en 1979 par l'ICA Le Guen en utilisant systématiquement un capteur de recherche (sondeur latéral ou magnétomètre). De 1980 à 1982, le levé a été poursuivi dans les mêmes conditions.

2.2.2. Positionnement

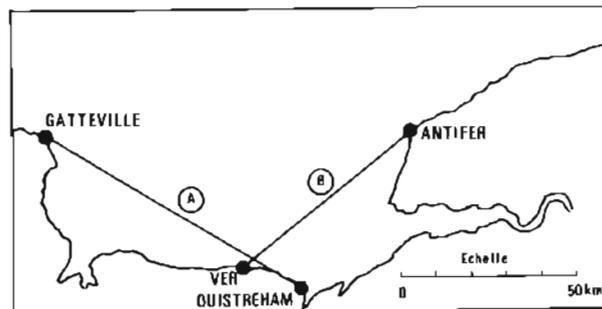
En 1976, la localisation a été exclusivement assurée au moyen de la chaîne Decca Hi-Fix « Eastern Channel »; ce réseau ayant été démonté par les Britanniques, la mission a implanté une chaîne Trident 2 en 1977, Trident 3 à partir de 1979.

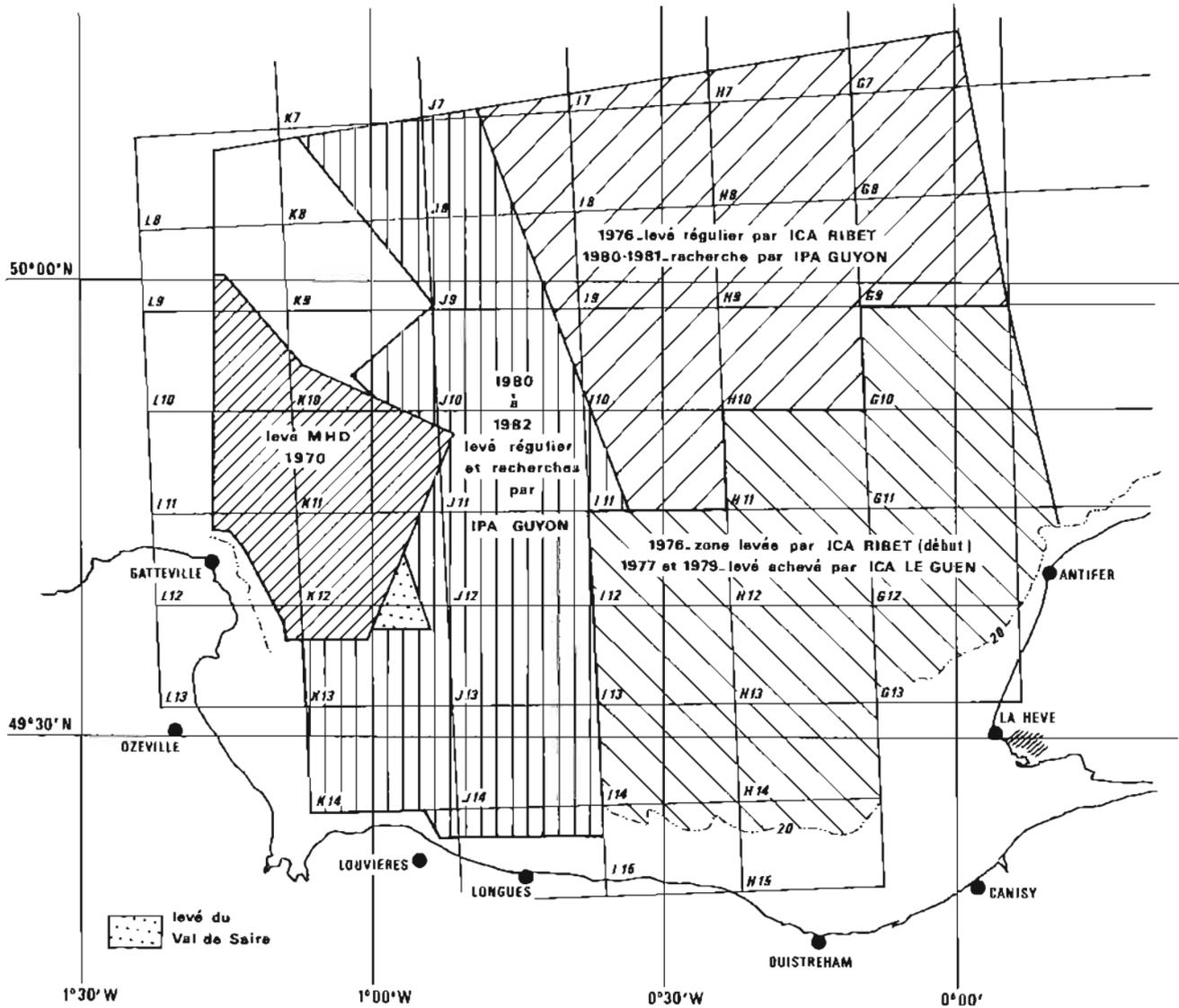
Les balises ont été disposées en fonction de l'avancement des travaux dans 3 des 7 sites du tableau suivant.

| Désignation | Coordonnées Lambert I | | Altitude en mètres | Observations |
|-----------------------------------|-----------------------|------------|--------------------|--|
| | X (m) | Y (m) | | |
| Phare d'Antifer | 443 357,23 | 222 669,93 | 132 | Alimentation sur secteur |
| Sémaphore de La Hève | 435 975,89 | 203 490,18 | 110 | Alimentation sur secteur |
| | 435 955,15 | 203 552,90 | 106 | |
| Sémaphore de Longues (avant 1979) | 378 604,41 | 187 399,71 | 76 | Sémaphore désaffecté. Alimentation sur secteur |
| Mont Canisy (avant 1979) | 433 011,67 | 184 674,90 | 115 | Site excellent. Branchement électrique chez un particulier situé à 200 m |
| Château d'eau de Louvières | 363 049,34 | 190 467,00 | 125 | Site excellent. Branchement électrique chez un particulier situé à 150 m |
| Gatteville (après 1979) | 340 229,89 | 228 062,40 | 71 | |
| Ozeville (après 1979) | 333 785,70 | 207 372,00 | 97 | |

Le positionnement, à partir de 1980, a été assuré à l'aide du Toran « Baie de Seine », et, dans la zone de portée optique, à l'aide du Trident.

Les caractéristiques du Toran sont rappelées ci-dessous :





PL. 2.2.1. — Levé Baie de Seine : coupures des cartes, chronologie du levé.

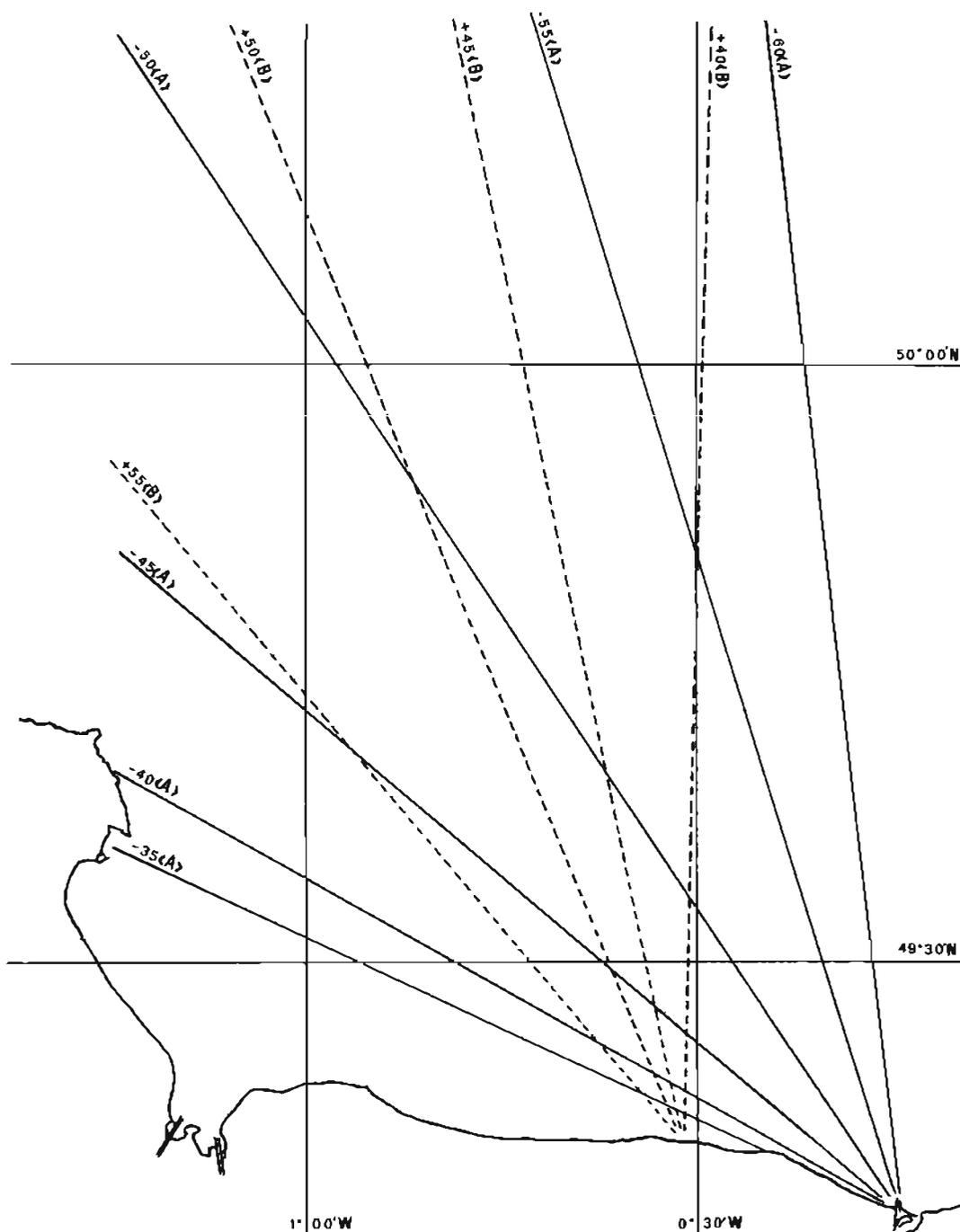
| Stations | Fréquence | Coordonnées des stations en Lambert I | |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------|------------|
| | | X (m) | Y (m) |
| <i>Couple A</i> | | | |
| Emetteur Nord : Gatteville | 1884 kHz | 340 231,4 | 228 068,3 |
| Emetteur Sud : Ouistreham | 1884,08 kHz | 412 014,71 | 178 755,71 |
| Référence : Antifer | 1816 kHz | | |
| <i>Couple B</i> | | | |
| Emetteur Nord : Antifer | 1816 kHz | 443 362,15 | 222 671,13 |
| Emetteur Sud : | | | |
| Ver-sur-Mer | 1816,2 kHz | 392 565,01 | 186 164,57 |
| Référence : Gatteville | 1884 kHz | | |

Le réseau Toran « Baie de Seine » a été étalonné dans la zone des travaux à partir du Trident. Les résultats de cet étalonnage sont indiqués planche 2.2.2.; les mesures effectuées ont été rappelées planche 2.2.3.

2.2.3. Marées

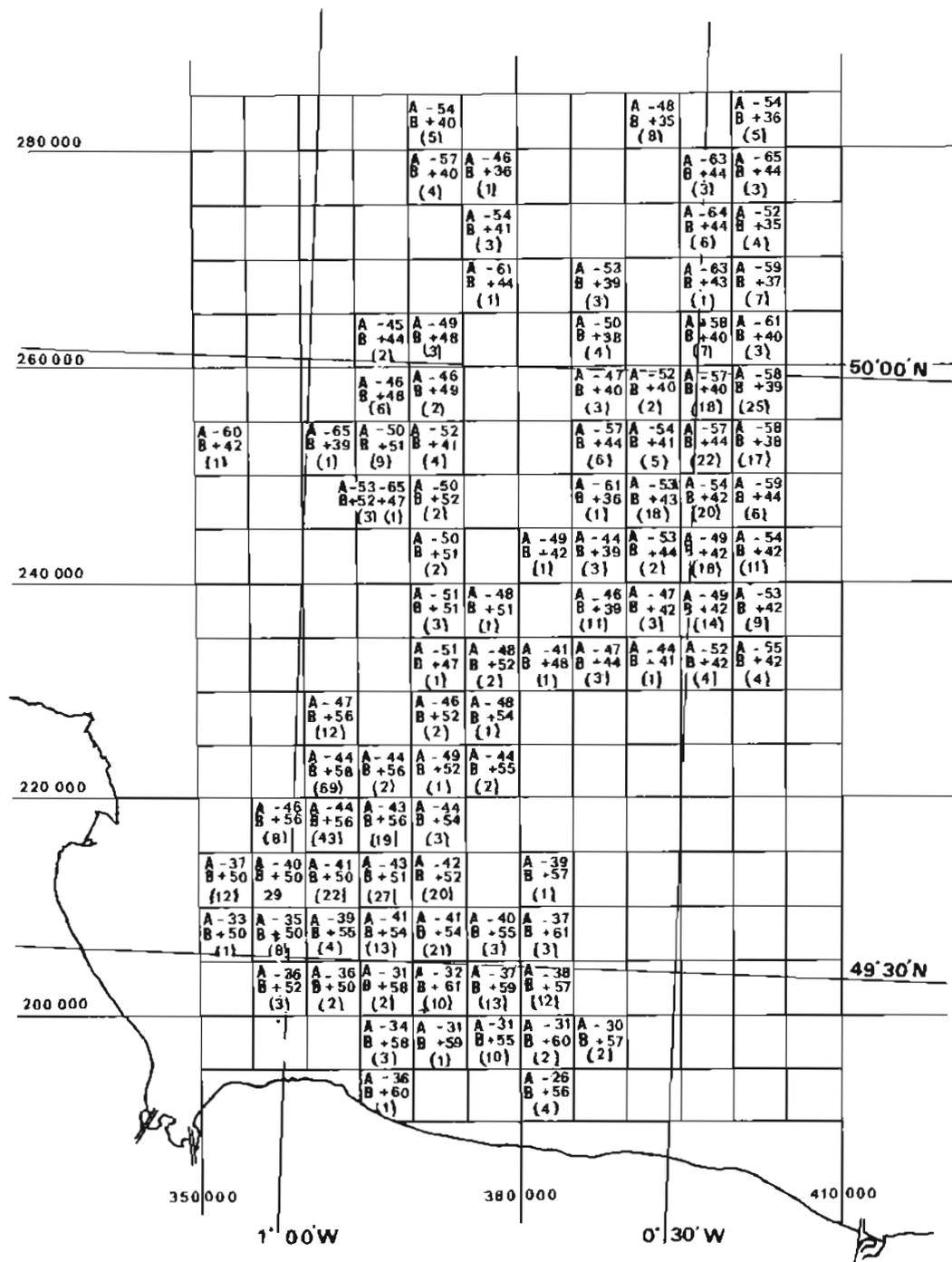
Les observatoires (planches 2.2.4. à 2.2.6.)

Les observatoires de marée de Cherbourg, Antifer, Le Havre, Ouistreham ont été contrôlés avec soin. De nouvelles fiches ont été rédigées sans qu'il soit nécessaire de modifier les éléments fondamentaux antérieurs. A Antifer, cependant, un nouveau repère fondamental a été choisi, le repère précédent étant dans une zone en affaissement. Cet observatoire a été rattaché au réseau de Nivellement Général de la France; le nivellement a confirmé les mesures faites précédemment par le Port Autonome du Havre.



PL. 2.2.2. — Corrections aux réseaux Toran de la Baie de Seine déterminées à partir d'un positionnement au Trident (mars-mai 1980)

— : corrections à apporter aux phases A (en centièmes de tour)
- - - : corrections à apporter aux phases B (en centièmes de tour)



PL. 2.2.3. — Corrections aux phases Toran du réseau « Baie de Seine ». Les corrections ont été déterminées à partir d'un positionnement Trident à 3 lieux de mars à mai 1980.

Chiffre ligne A : Corrections en centièmes à la phase du couple A

Chiffre ligne B : Corrections en centièmes à la phase du couple B

Chiffre entre parenthèses : Nombre de déterminations des corrections par carreau (carroyage Lambert 1)

Calcul de la marée sur zone

Le levé « Baie de Seine » couvre deux zones de marée :

- la zone « abords de Cherbourg »,
- la zone « abords du Havre et Baie de Seine ».

La marée au large a été adoptée en fonction de la zone et des observatoires de ces deux zones. On n'a pas constaté d'écarts systématiques en calculant en un point au large la marée à partir de celle observée à Cherbourg ou à Antifer, procédure souvent adoptée pour déceler toute erreur d'observation ou de calcul.

Les sondes sur des profils successifs ou à leur recoupement sont homogènes, d'une manière générale à mieux de 40 centimètres, biais dû soit aux conditions météorologiques soit à l'éloignement des points où les coefficients de la marée ont pu être déterminés.

Le modèle de marée utilisé à partir de 1979 a été le « modèle harmonique », le modèle utilisé précédemment s'étant révélé non satisfaisant au Sud de la Baie de Seine (se reporter aux *Annales Hydrographiques* n° 758, rapport de l'ICA Le Guen, page 88).

Ce premier modèle avait la forme :

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

$k(x, y)$... rapport des amplitudes des marées au point de coordonnées (x, y) et au port de référence

$\theta(x, y)$... déphasage en temps des deux marées

k, θ étaient calculés par polynômes d'interpolation du 3^e degré appliqués aux données de la carte des lignes cotidales et d'isomarnage en Manche.

Le second modèle est une application faite par l'Etablissement Principal du modèle tournant de la Manche étudié par l'Institut de Mécanique de Grenoble. Le programme calcule la marée à partir des constantes de onze ondes fondamentales. Les valeurs locales de ces constantes sont déduites par interpolation des constantes des huit points les plus proches (à moins de 50 kilomètres) où la marée a été analysée. La marée calculée à chaque station de sonde l'est aussi au port de référence, l'écart (marée observée — marée prédite) en ce port est appliqué à la marée calculée sur zone. En annexe 3, on a mentionné, à titre historique, les coefficients utilisés pour le calcul de marée en Manche.

Réduction des sondes

Les sondes portées sur les minutes sont des sondes réelles corrigées de la marée et de l'étalonnage à la barre (jusqu'à 40 mètres).

2.2.4. Documents rédigés

La planche 2.2.1. indique l'état d'avancement du levé intermédiaire de la Baie de Seine. Tous les documents ont été rédigés sauf ceux relatifs aux coupures K8 à K10, achevées par mon successeur.

Les documents rédigés sont décrits dans les fiches de levé ci-dessous. Les amers et épaves sont mentionnés en annexes 1 et 2.

| Fiches de levés | Documents |
|-----------------|--|
| 82.1 | Minutes au 1/20 000 des coupures G7, G8, G9 (bathymétrie, recherches, nature de fonds). |
| 82.2 | Cartes index de la revue d'amers de St-Vaast-la-Hougue à Port-en-Bessin (cartes marines renseignées 5522, 847, 5515, 6614). |
| 82.3 | Minutes au 1/10 000 du Val de Saire (coupures B10-1 et B10-2, recherches correspondantes RN 10-1 et RN 10-2) carte renseignée 6614. |
| 82.20 | Minutes au 1/20 000 des coupures H7 à H10 (bathymétrie, recherches, nature de fonds). |
| 82.28 | Minutes au 1/20 000 des coupures I7 à I10 (bathymétrie, recherches, nature de fonds). |
| 83.07 | Minutes au 1/20 000 des coupures J13 à J15, K13, K14 (bathymétrie, recherche et nature de fonds) minute de bathymétrie K15. |
| 83.24 | Minutes au 1/20 000 des coupures I11, J7 à J12, K11 et K12 (bathymétrie, recherches, nature de fonds), carte index 5598 et 6927 de la revue d'amers de Port-en-Bessin à Courseulles-sur-Mer. |
| 83.25 | Cahiers de nivellement (Port-en-Bessin, Ouistreham, Antifer, Courseulles, Dives, Barfleur, Le Havre). |

Situation topographique des repères.

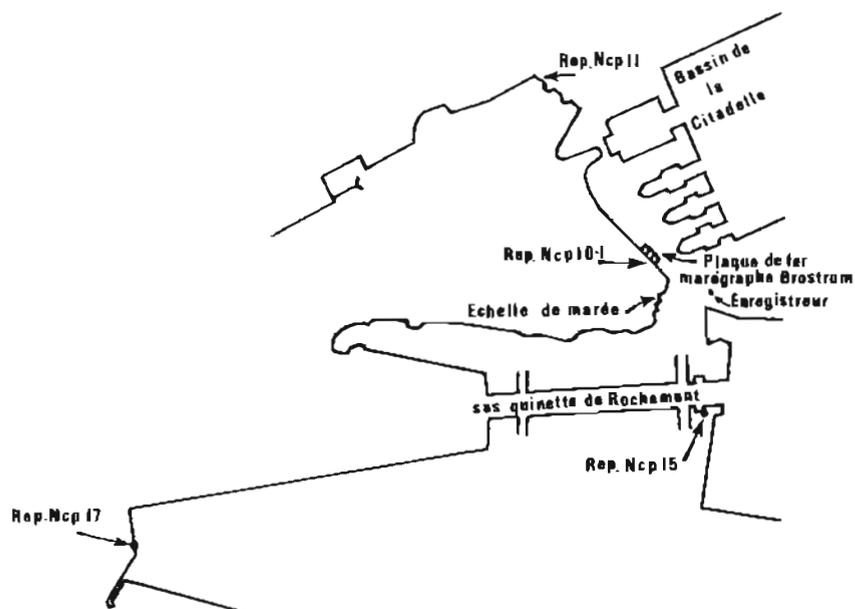
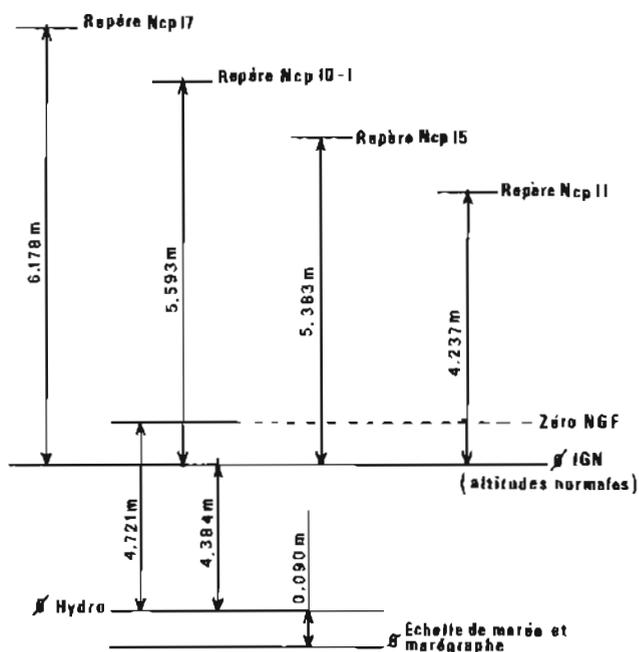


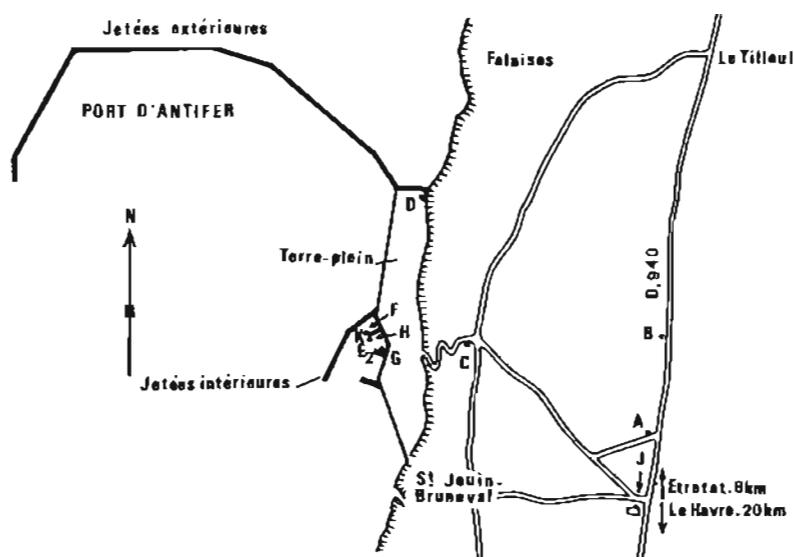
Schéma altimétrique des repères.



| Repère | Cote hydro (mètres) | Description des repères |
|----------|---------------------|--|
| Ncp 17 | 10,562 | Repère fondamental type PAH scellé dans la face Est du mur situé à l'extrémité Ouest du quai d'escale à proximité du môle Nord. |
| Ncp 15 | 9,767 | Repère type PAH situé sur la face Nord du mur orienté Sud-Ouest à une quinzaine de mètres du quai Sud du sas quinette de Rochemont, à 50 m environ au-dessus du sol. |
| Ncp 10.1 | 9,777 | Rivet scellé à proximité de l'angle Sud-Est de la plaque obturant le puits du marégraphe, quai de Brostrom. |
| Ncp 11 | 8,621 | Repère type M scellé dans le mur du quai de l'île à l'extrémité Nord-Est du quai. |

PL. 2.2.4. — Observatoire de marée du Havre (L = 49° 29' N; G = 0° 7' E)

L'observatoire a été totalement contrôlé et a donné lieu à la fiche de marée du 26 mars 1981 (fiche précédente : 29 août 1978). Les mesures de contrôle confirment les cotes établies par l'IGN (répertoire IGN Le Havre XVII-II — édition septembre 1976).



Cet observatoire a été totalement contrôlé en 1981; il est décrit dans la fiche du 26 mars 1981 (fiches précédentes : voir la fiche du 20 avril 1976 et celle du 29 août 1974).
 Le repère fondamental (F) de l'observatoire étant dans une zone en affaissement (cote normale du repère F : 6,547 m en 1974, 6,504 m en 1981)
 Un nouveau repère (D) a été choisi.

Description des repères

Cote hydro.
 En mètres

| | Description des repères | Cote hydro. En mètres |
|---|---|--------------------------|
| A | Repère N.G.F. N° 13 03. Rivet scellé au pied du pylône n° 90 situé au carrefour de la D. 940 Etrétat-Le Havre et de la voie menant au lieu dit Beaumesnil. | 140,69 m |
| B | Repère N.G.F. N° 13 u ₃ -34 type M, scellé au pied du pylône n° 96, à proximité de la D. 940. | 133,135 m |
| C | Repère P.A.H. Rivet scellé dans un bloc de béton, à gauche de l'entrée des anciens locaux du P.A.H., au sommet de la route des falaises. | 101,241 m |
| D | Repère P.A.H. du Grouin. Rivet scellé au pied de la falaise à l'extrémité N.E. du port pétrolier, derrière les cuves de carburant (nouveau repère fondamental). | 13,377 m |
| H | Repère R1 MHA type Pah. Repère scellé à gauche de l'appontement de l'échelle du marégraphe | 10,621 m |
| F | Repère fondamental de 1976 — Rivet scellé à droite de l'appontement du marégraphe | 10,914 m |
| G | Repère R2 MHA-type SH. Repère scellé sur la digue du marégraphe, côté passerelle. | 10,594 m |
| J | Repère N.G.F. type M scellé dans le mur de l'agence Maillard. | 135,952 m |
| K | Sommet de la collerette du tube du marégraphe (station de pompage). | 11,318 m |

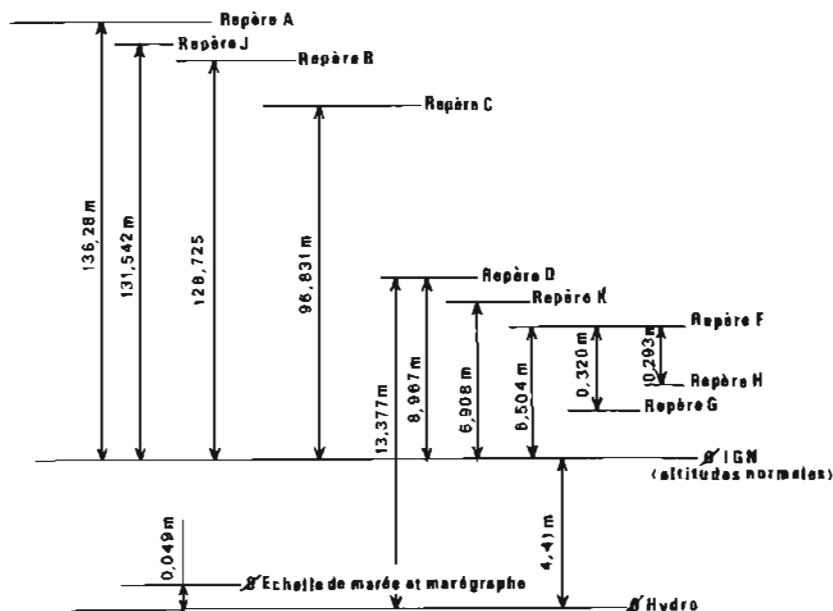
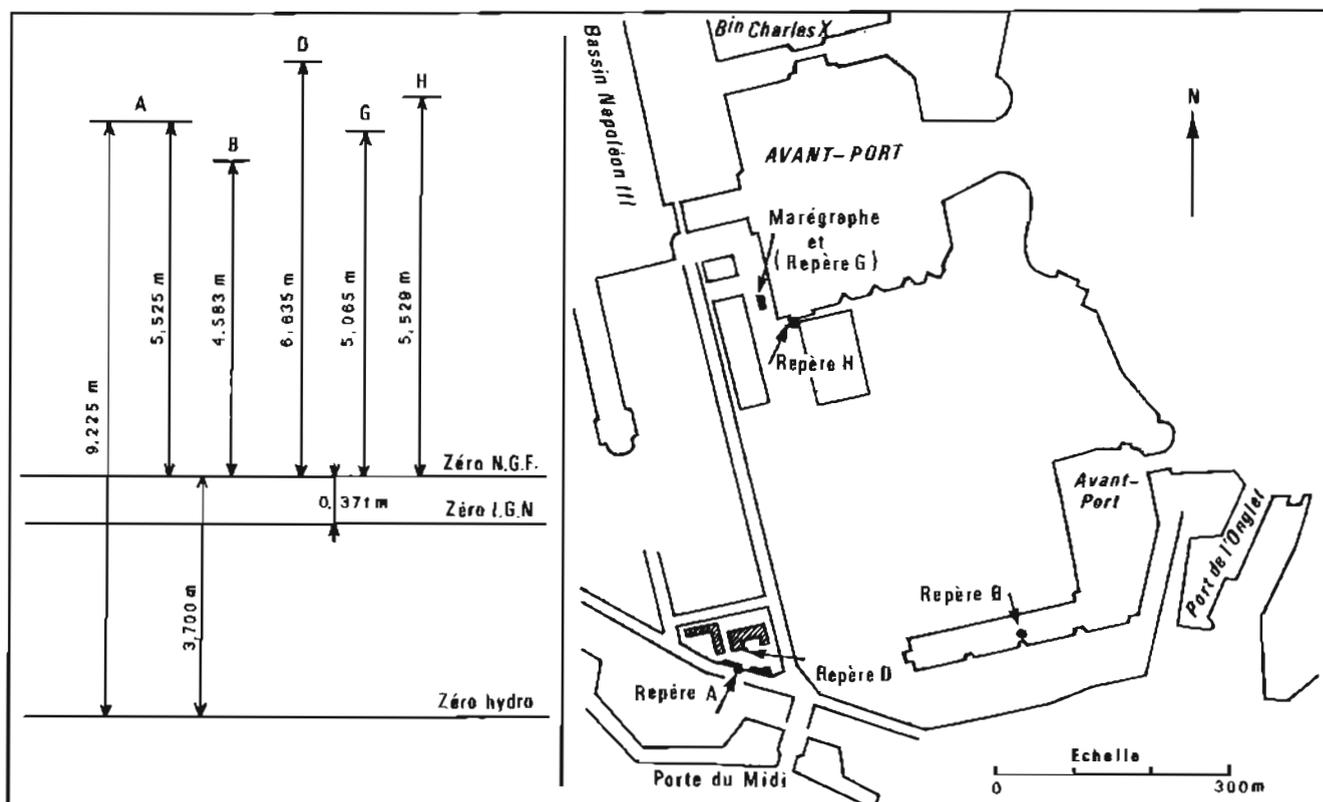


Schéma altimétrique des repères.

PL. 2.2.5. — Observatoire de marée d'Antifer.



| Repère | Description et cote par rapport au zéro hydrographique | |
|--------|---|----------|
| A | Repère fondamental : repère NGF Npq 35, scellé sur le pilier gauche du portail d'entrée de la Direction des Travaux Maritimes, place Bruhat | 9,225 m |
| B | Repère Bourdaloue du quai des subsistances dans l'arsenal | 8,283 m |
| D | Repère NGF Nqz 3-1, bâtiment de la Direction des Travaux Maritimes aile gauche | 10,335 m |
| G | Croix gravée sur le sol à l'intérieur du bâtiment abritant le marégraphe et servant pour la sonde lumineuse | 8,765 m |
| H | Repère NGF Npq 36 bis, bâtiment ST-9 cale de lancement | 9,229 m |

Notes :

Les éléments ci-dessus sont décrits dans la fiche d'observatoire du 22 janvier 1982.

La fiche précédente datait du 13 octobre 1975.

L'observatoire a été totalement contrôlé en 1980; de nouveaux repères ont été inclus dans l'observatoire.

Documents originaux : les cotes NGF des repères A, B, H sont issues du répertoire IGN Cherbourg XII-10, édition octobre 1973.

La cote NGF du repère D est issue des *Annales Hydrographiques* 751.

PL. 2.2.6. — Observatoire de marée de Cherbourg (L = 49°31', 1 N; G = 1°18', 1 W) (Port militaire)

Chapitre 2.3

VÉRIFICATION AU SONDEUR LATÉRAL DES ACCÈS AU PORT DE DIEPPE

2.3.1. Généralités (planche 2.3.1)

Du 27 mai au 7 juillet 1980 le BH2 *Astrolabe* a vérifié les profondeurs et recherché les obstructions sur les accès au port de Dieppe.

Le calendrier des opérations du levé est le suivant :

| Dates | Observations |
|--------------------------|---|
| 11-15 février | Reconnaissance par un petit détachement, triangulation, nivellement. |
| 8-10 avril | Revue d'amers par la <i>Lyre</i> (petit bâtiment des Affaires Maritimes). |
| 10-27 avril 19-23 mai | Triangulation des amers. Implantation des balises Trident. |
| 27 mai — 20 juin | Première mission de l' <i>Astrolabe</i> à Dieppe. |
| 23 juin — 7 juillet | Seconde mission. |

2.3.2. Localisation à la mer et positionnement des amers

Le positionnement à la mer a été fait à l'aide du Trident implanté dans deux châteaux d'eau et deux phares.

| Position des antennes Trident | Coordonnées Lambert I | |
|---------------------------------------|-----------------------|------------|
| | X (m) | Y (m) |
| Château d'eau de Neuville-les-Puys | 512 317,45 | 249 491,25 |
| Phare d'Ault | 536 851,70 | 267 658,20 |
| Phare d'Ailly | 501 042,70 | 247 179,90 |
| Château d'eau « Vasareilly » à Dieppe | 509 344,10 | 245 436,70 |

Le positionnement des amers dans quelques vallées encaissées (Ault, Veules-les-Roses) a nécessité quelques cheminements; le géodimètre AGA 14 s'est révélé très pratique à cette occasion. Les amers ont été positionnés dans les limites des cartes 6794, 934, 5927, 5928.

2.3.3. Marée (planche 2.3.2)

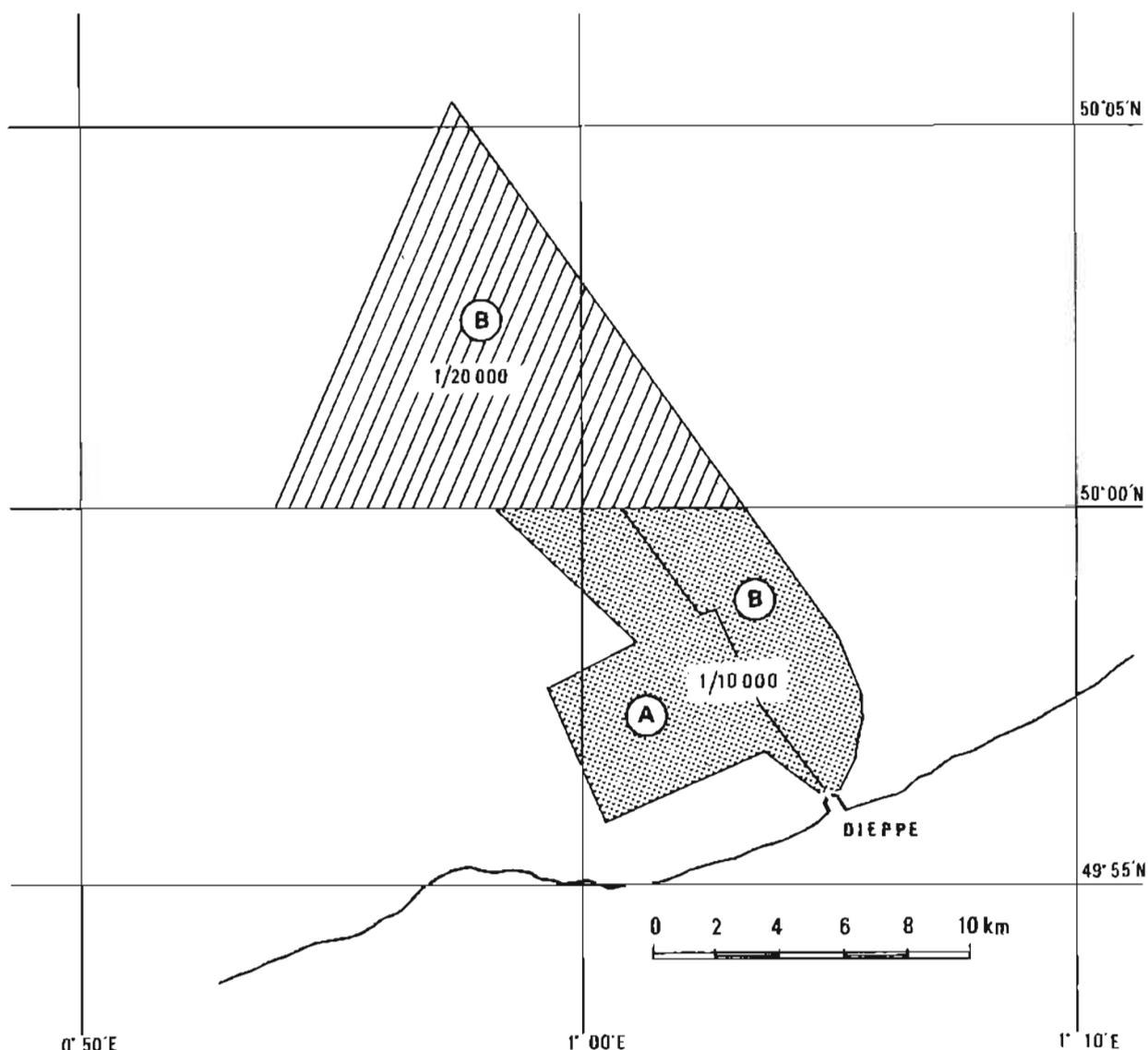
La marée a été observée au port de Dieppe; la marée sur zone a été calculée à l'aide du modèle harmonique.

2.3.4. Bathymétrie

Le levé régulier a été effectué au sondeur vertical; la détection des obstructions était assurée au sondeur latéral dans la zone A (planche 2.3.1) et magnétomètre dans la zone B.

Les profils étaient espacés :

- de 100 mètres entre la terre et l'isobathe 20 mètres,
- de 200 mètres au-delà de l'isobathe 20 mètres,
- de 50 à 100 mètres quand le relief était accidenté.



PL. 2.3.1. — Levé des accès de Dieppe : zone et échelles de sondage.

Les sondages ont permis la mise à jour des documents en service, notamment de la carte 5927 (abords de Dieppe) précédemment rédigée d'après des sondages effectués en 1937.

Notons la détermination initiale de l'épave d'un chaland de débarquement au brassiage de 2,9 m dans des fonds de 8 m (épave dangereuse numérotée 180 910 15 dans le fichier de l'EPSHOM, située en dehors des voies d'accès normales au port de Dieppe).

Notons aussi la détermination précise de l'épave de la frégate anglaise *Berkeley* (numérotée 180 910 14) au brassiage de 8,7 m dans des fonds de 20 m.

Sept autres épaves ont été également investiguées avec le concours des plongeurs du 1^{er} Groupe de Plongeurs Démineurs et avec la collaboration d'un club de plongée local dynamique.

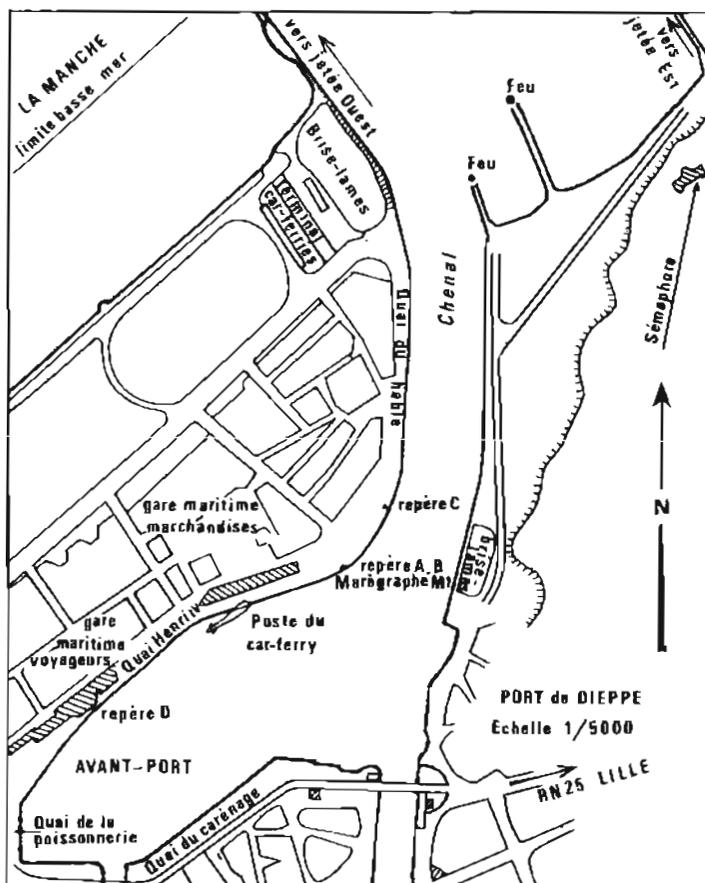
On a précisé enfin la position de nombreux ridains; mais leur brassiage n'a pas évolué en prenant pour référence les éléments de 1937.

Le levé effectué donne une situation initiale permettant de définir les évolutions bathymétriques consécutives à l'extension du port de Dieppe entreprise en 1981. Cette extension prévue en 4 phases échelonnées sur plus de 20 ans comprend :

- la création d'un terre-plein à l'Est du port actuel (phase 1 achevée en 1983),
- le prolongement de la digue Ouest de plus de 600 mètres vers le large (phase 2),
- une nouvelle extension de cette digue et du terre-plein (phase 3),
- la création d'une nouvelle digue au Nord du port.

2.3.5. Documents établis (levés 81-4)

- 1 minute de bathymétrie au 1/20 000 (81-4-3),
- 2 minutes de bathymétrie au 1/10 000 (81-4-1 et 2),
- 1 minute de recherches et de natures de fond au 1/20 000 (81-4-4 et 5),
- 2 minutes de recherches et de natures de fond au 1/10 000 (81-4-6),
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 62 fiches d'amers (carreaux Marsden 18090, 18091, 21601) et d'épaves,
- 5 dossiers de courantométrie (1091 à 1095 décrits en annexe),
- 3 cartes marines renseignées (CM 934, 5927, 6794 archivées sous les numéros 81-4-7 à 9).



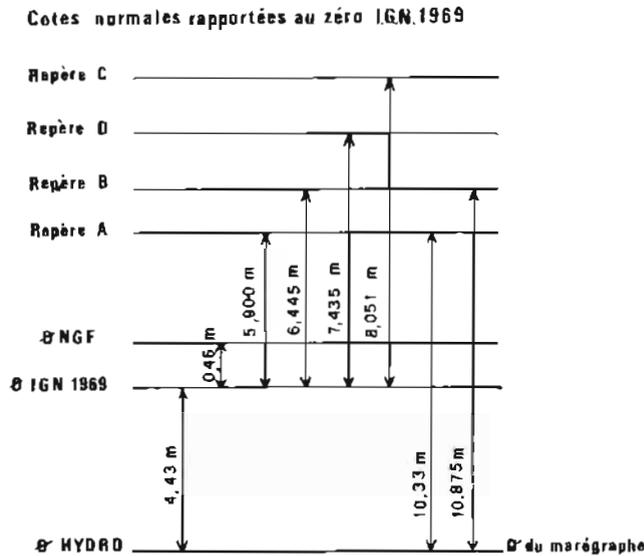
Fiche de marée rédigée le 10.12.1980
(fiche précédente : 29.8.1974)
Aucune modification n'a été apportée à la
fiche de 1974.
L'existence des repères a été contrôlée.
Document original :
répertoire IGN Dieppe-Est XX-8

Situation

Les repères

REPÈRES DE NIVELLEMENT

| Désignation | Description | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|---|--|
| A | Repère fondamental, repère NGF No.p3 ⁻² , scellé dans le quai près du marégraphe, à 0,37 m au-dessous du niveau du quai. Ce repère est circulaire et comporte un téton supérieur. | 10,330 m |
| B | Rivet entouré d'un triangle peint en rouge. Ce repère est scellé dans le sol de l'abri du marégraphe, il correspond au repère No.p3 ⁻²⁻¹ (point de contrôle à la sonde lumineuse). | 10,875 m |
| C | Repère du type M (circulaire avec téton supérieur) scellé à l'extrémité du parapet en briques à proximité du marégraphe en direction de la jetée Ouest, à 150 mètres environ du marégraphe. | 12,481 m |
| D | Repère médaillon Quai Henri IV Repère NGF No.p3-4 sous boîte aux lettres P.T.T. | 11,865 m |



PL. 2.3.2. — Observatoire de marée de Dieppe (L = 49° 55', 8 N; G = 1° 05', 1 E)

Chapitre 2.4

LEVÉ DE VÉRIFICATION DE LA VOIE RECOMMANDÉE DE LA VILAINE

2.4.1. Généralités (planche 2.4.1)

A la suite de la construction du barrage d'Arzal, en amont de Tréhigui, près de l'estuaire de la Vilaine, un envasement important de l'embouchure a été à l'origine de deux levés de la Mission Hydrographique de l'Atlantique, l'un en 1977, l'autre du 9 au 19 mars 1981.

Le levé de 1977 couvrait les abords immédiats des trois routes recommandées du large :

- le Phare de la Pointe de Penlan ouvert au Sud de la Tour de Prières à 52°,
- le clocher de Billiers par le Phare de Penlan à 25°,
- le Moulin de l'Avalac par le mur balisé à 023°

Il couvrait aussi l'ensemble de l'estuaire entre la Pointe de Penlan et la Pointe du Moustier (au Nord-Ouest de Tréhigui).

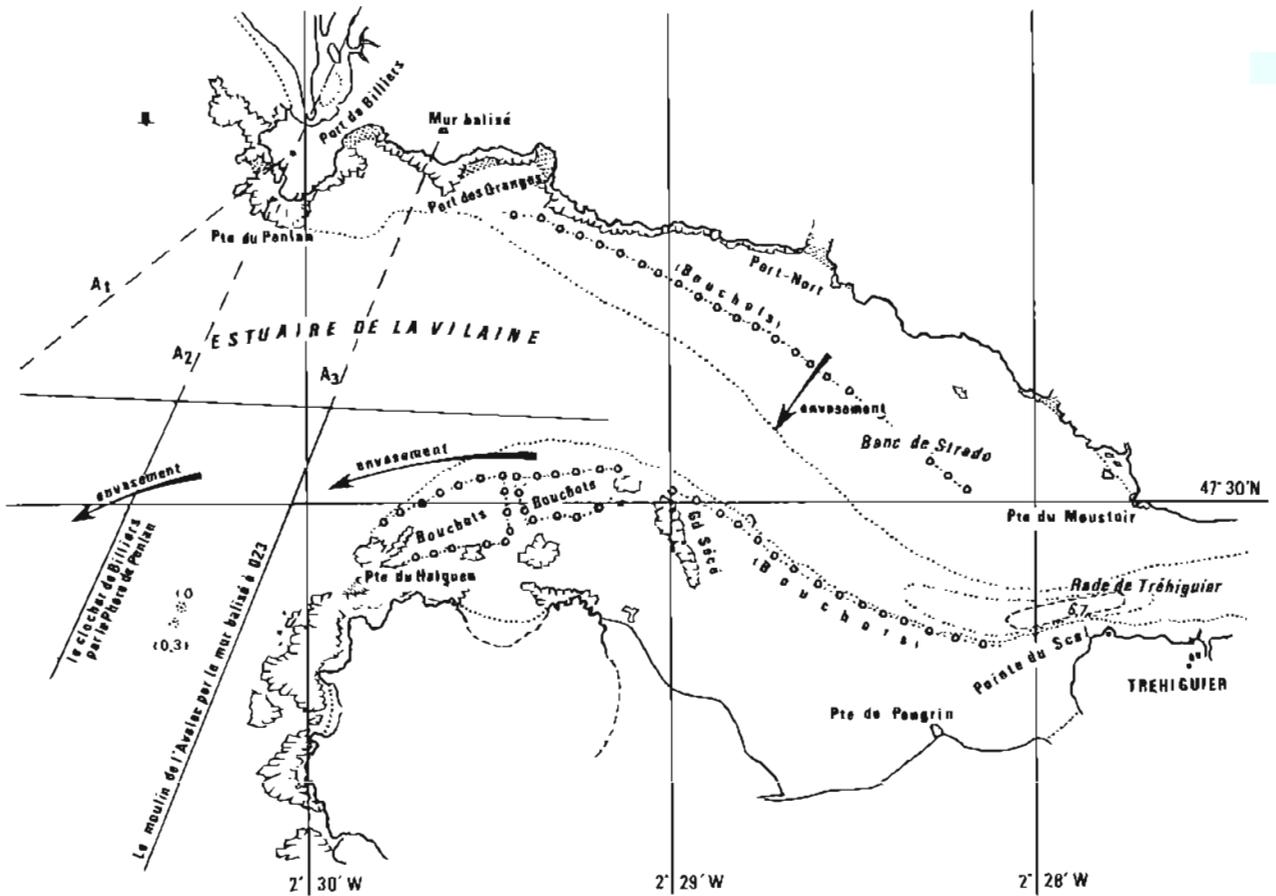
Le levé de 1981, plus réduit, n'a couvert que les voies recommandées de l'estuaire, de la Pointe de Penlan à Tréhigui. Cependant son exécution a montré la rapidité de l'envasement sur les rives convexes de la Vilaine, c'est-à-dire :

- sur le banc de Strado,
- et surtout à la Pointe du Halguen (rive Sud de l'embouchure).

A l'issue de ce dernier levé, la voie recommandée : « l'alignement des deux feux (feu de Tréhigui par le feu de la Pointe du Scal) », a été supprimée, cet alignement étant désormais tangent à l'isobathe du zéro hydrographique,

- au Sud, au niveau de la tourelle du petit Sécé,
- au Nord, sur le méridien de la Pointe de Pengrin.

Le levé entrepris en 1981 ne couvre bien la zone que jusqu'à la Pointe de Penlan. Cependant l'envasement perceptible au Nord de la Pointe de Halguen, l'envasement sur l'alignement « le Moulin de l'Avalac par le mur balisé à 023° » montrent, non seulement que cette dernière voie recommandée devra être supprimée mais aussi que le levé total de la carte 2381 est à prévoir, si l'importance de la navigation le justifie.



Notes :

- (1) En 1820, le zéro hydrographique était au niveau des bouchots.
- (2) La fosse de la Rade de Tréhiguiar est probablement due à une résurgence d'eau douce. Elle s'est légèrement allongée; elle s'est considérablement rétrécie; elle ne s'est pas approfondie.

Alignements d'entrée :

- A1 : Le phare de la Pointe de Penlan ouvert au Sud de la Tour des Prières à 52°
- A2 : Le clocher de Billiers par le Phare de Penlan à 25°
- A3 : Le moulin de l'Avalac par le mur balisé à 023°

PL. 2.4.1. — Levé de vérification de la voie recommandée de la Vilaine.

2.4.2. Géodésie

Les travaux de géodésie ont consisté en de simples contrôles des opérations menées en 1977.

Pour le positionnement des vedettes les stations Trident et les stations de radioguidage suivantes ont été déterminées.

| Point | Coordonnées Lambert 2 | | |
|---|-----------------------|------------|-------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| Tour des Prières, antenne Trident | 236 944,64 | 291 624,81 | 38 |
| Phare de Tréhiguiar, antenne Trident : | | | |
| — au coin Sud-Ouest du balcon | 240 176,57 | 287 967,37 | 22 |
| — au centre du balcon (croix blanche) | 240 176,85 | 287 968,32 | |
| Stations de radioguidage : | | | |
| — à la Pointe de Moustier, croix gravée dans des parpaings | 239 898,94 | 289 009,01 | |
| — à la pointe de Kerdavid, douille dans le piquet d'une clôture | 242 008,13 | 288 608,13 | |

2.4.3. Marée (planches 2.4.2 et 2.4.3)

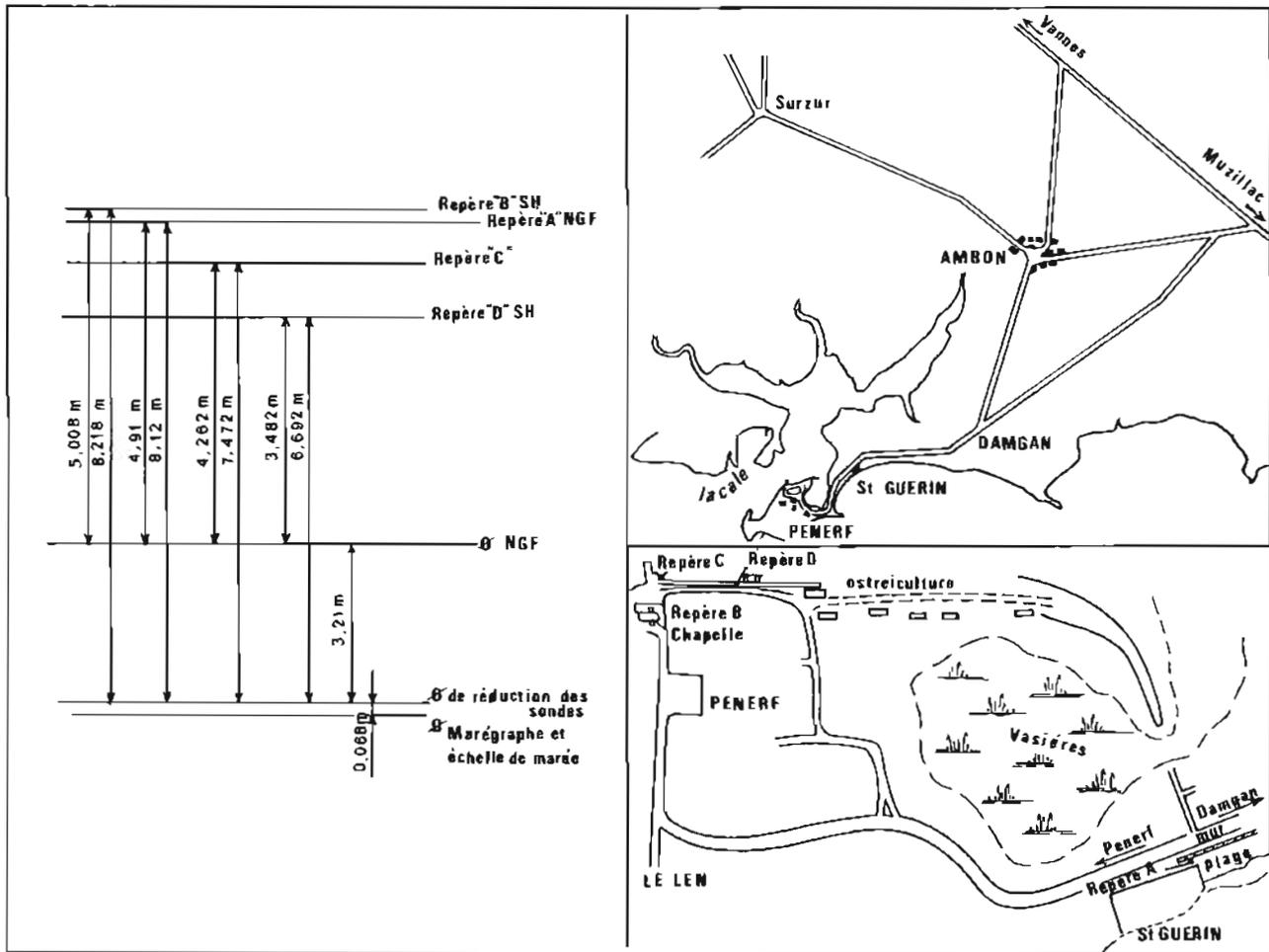
Les observatoires de marée de Penerf et de Tréhiguier ont été en fonction du 25 février au 20 mars. De nouveaux repères ont été scellés. Une concordance a confirmé le zéro hydrographique adopté précédemment à Tréhiguier.

2.4.4. Bathymétrie (planche 2.4.4)

L'homogénéité des sondages était de 15 centimètres.

Levé régulier de la rade de Tréhiguier

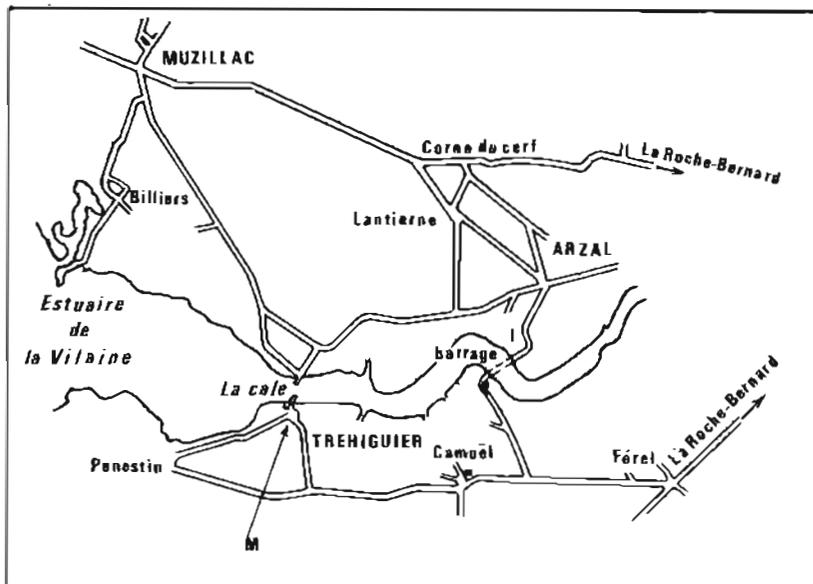
Des profils espacés de 50 mètres ont été radioguidés depuis la station de Kerdavid. Les lieux traversiers étaient deux lieux Trident centrés sur la phare de Tréhiguier et sur la Tour des Prières.



REPÈRES DE NIVELLEMENT

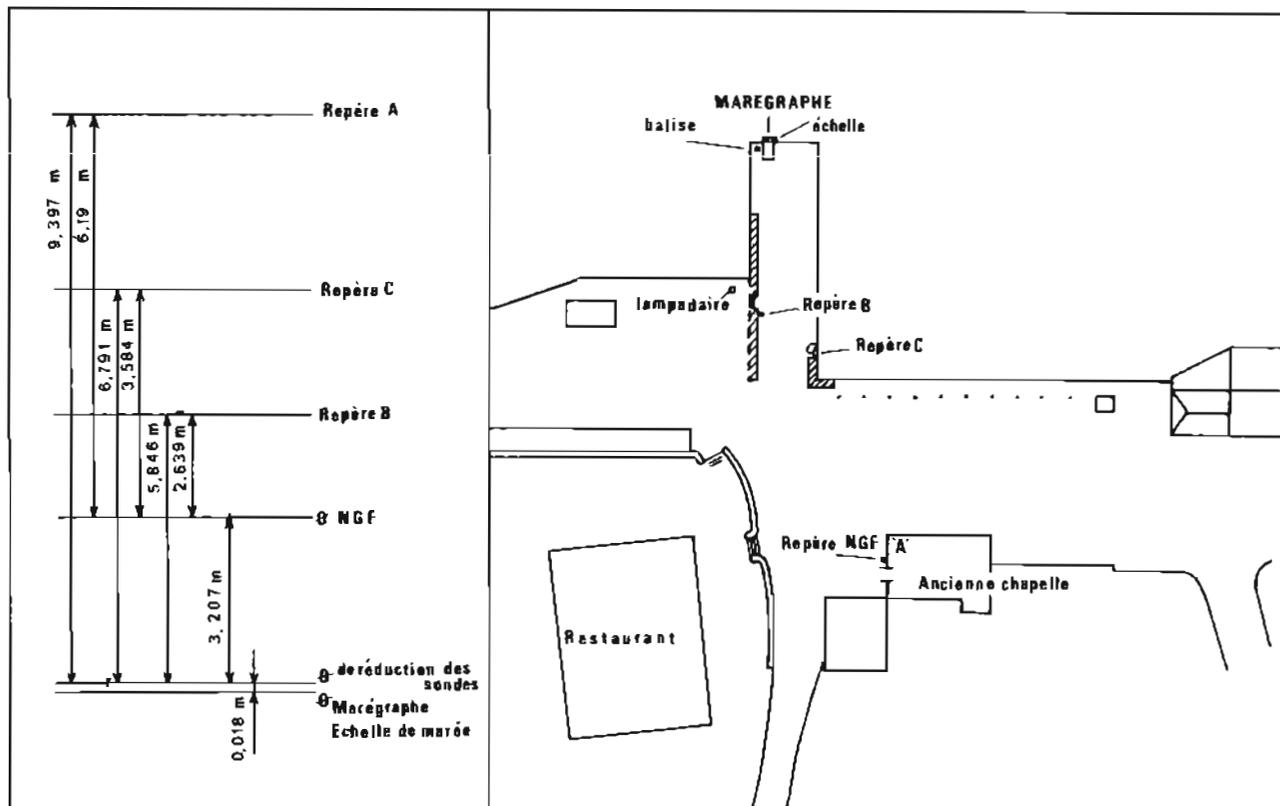
| Désignation | Description | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|---|--|
| A | Repère NGF n° 15 maille 0KK3 du 3 ^e ordre, scellé dans le mur de soutènement bordant la mer à St Guérin. | 8,12 m |
| B | Repère SH scellé dans le mur de la chapelle de Penerf près de la cale. | 8,218 m |
| C | Piquet en fer (support de la poubelle) fixé contre le mur de soutènement à Penerf. | 7,472 m |
| D | Repère SH scellé en 1981 dans le mur de soutènement à l'amorce de la cale. Fiche rédigée le 6 mai 1981 Fiche précédente : 14 avril 1977 | 6,692 m |

PL. 2.4.2. — Observatoire de Penerf.



Note

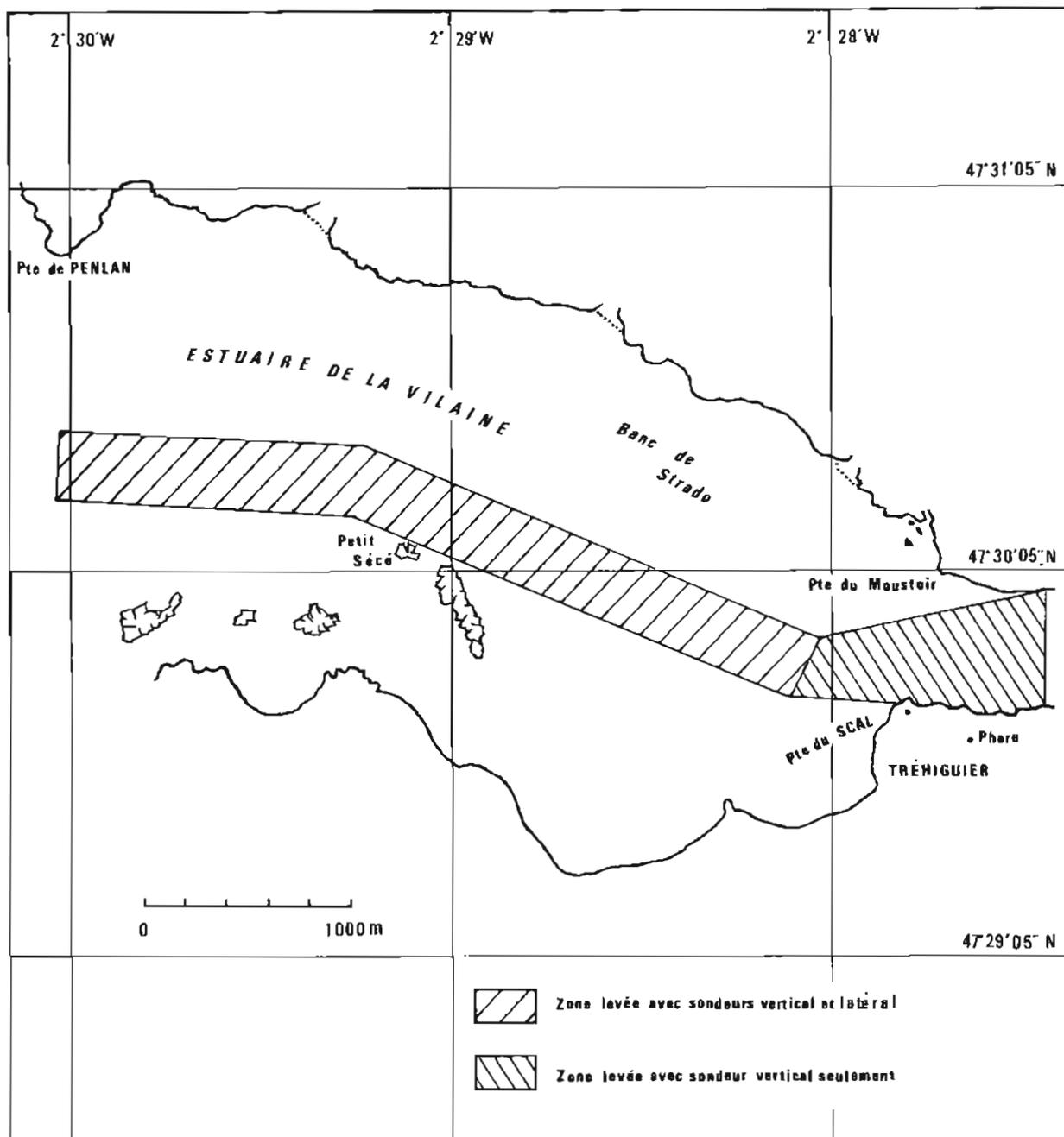
Les éléments indiqués sont ceux de la fiche du 6 mai 1981. La fiche précédente a été rédigée le 14 avril 1977; depuis cette date deux nouveaux repères ont été posés. Le zéro hydrographique de Tréhiguiet est en concordance avec celui de Penerf.



REPÈRES DE NIVELLEMENT

| Désignation | Description | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|---|--|
| A | Repère NGF n° 11 section OKK3 03 de 3° ordre, scellé dans le mur d'une ancienne chapelle près de la cale de Tréhiguiet. | 9,397 m |
| B | Repère SH scellé dans le mur Ouest de la cale de Tréhiguiet à proximité de l'échelle d'accès sur le terre-plein. | 5,846 m |
| C | 1 ^{er} organeau scellé à droite à l'amorce de la cale | 6,791 m |

PL. 2.4.3. — Observatoire de Tréhiguiet



PL. 2.4.4. — Zones levées en Vilaine en 1981 (minute 82-90-1 et 82.10.2)

Des profils traversiers espacés de 250 mètres ont été suivis en prenant pour guide la balise Trident de la Tour des Prières.

Levé de vérification du chenal d'accès

Le chenal a été sondé sur des profils radioguidés à partir du phare de Tréhiguier ou de la pointe du Moustier; l'espacement des profils était inférieur à 50 mètres. Le sondeur latéral a été utilisé.

Une seule obstruction (sonde de 3,2 m en X = 239 703 m, Y = 288 262 m, Lambert 2) a été décelée; celle-ci est sans importance, le chenal n'étant accessible qu'à des bâtiments de tirant d'eau maximal de 1 mètre à marée basse.

2.4.5. Documents transmis (levé 81-100)

- 1 minute de bathymétrie au 1/5 000 (81-10-1),
- 1 minute de recherche au 1/5 000 (81-10-2),
- 2 fiches d'observatoire de marée,
- 27 fiches géodésiques mises à jour,
- 3 fiches géodésiques nouvelles,
- 1 carte de revue d'amers (2381),
- 1 planche avec vues de côte.

Chapitre 2.5

VÉRIFICATION AU SONDEUR LATÉRAL DES ACCÈS MARITIMES AU PORT DE CAEN

2.5.1. Généralités (planche 2.5.1)

Le BH2 *Astrolabe* a effectué en mai 1981 le levé bathymétrique des accès de Caen. Les documents rédigés ont été exploités à l'occasion de la 5^e édition (1983) de la carte marine 891, édition qui met aussi à jour la carte des sondages faits par le Service Maritime des Ponts et Chaussées en 1982 dans le canal d'Ouistreham à Caen.

La comparaison entre cette carte et son édition précédente de 1969 (à jour de la correction 206-3330 effectuée en 1981) montre les évolutions ci-dessous :

- *un déplacement important du tracé de l'isobathe 5 mètres au Nord des bancs de Merville (bancs à l'Est du chenal d'accès).*

Ce déplacement, qui atteint 950 mètres vers le Nord, correspond à un ensablement réel puisqu'il s'agit d'un dépôt de dragage. Cependant la rapidité de l'ensablement ne peut être précisée faute d'un suivi régulier. Le tracé de l'isobathe 5 mètres sur l'ancienne carte était approximatif comme l'indiquait la légende « Fond de 2 à 3 m (1920) » portée au large de l'isobathe.

- *un ensablement des abords du chenal d'accès de l'ordre du mètre entre l'isobathe 5 mètres et l'isobathe 10 mètres.*

(Les fonds moindres n'accusent pas d'ensablement du fait des dragages).

- *des modifications importantes à la topographie mise à jour par compilation de documents (IGN, Equipement) à l'EPSHOM.*

Notons par exemple :

- le nouveau tracé de l'alignement d'entrée au 186° (et non au 187°),
- la réorientation des enrochements d'entrée, vers l'Ouest, de un degré environ.

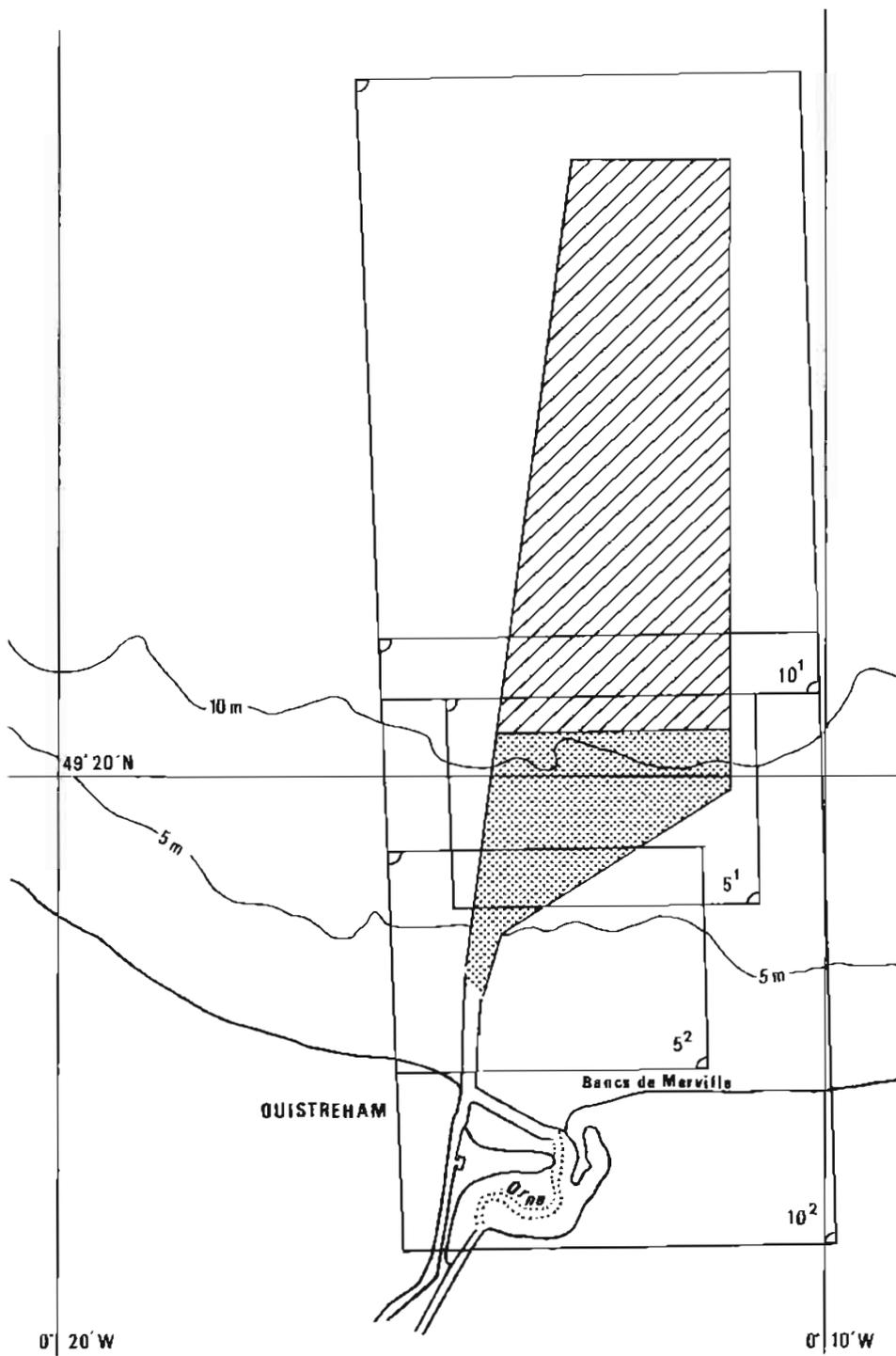
2.5.2. Localisation

Le levé a été effectué au Trident selon une implantation précisée sur la planche 2.5.2.

2.5.3. Marée (planche 2.5.3)

La marée sur zone a été calculée en fonction de la marée observée à Ouistreham.

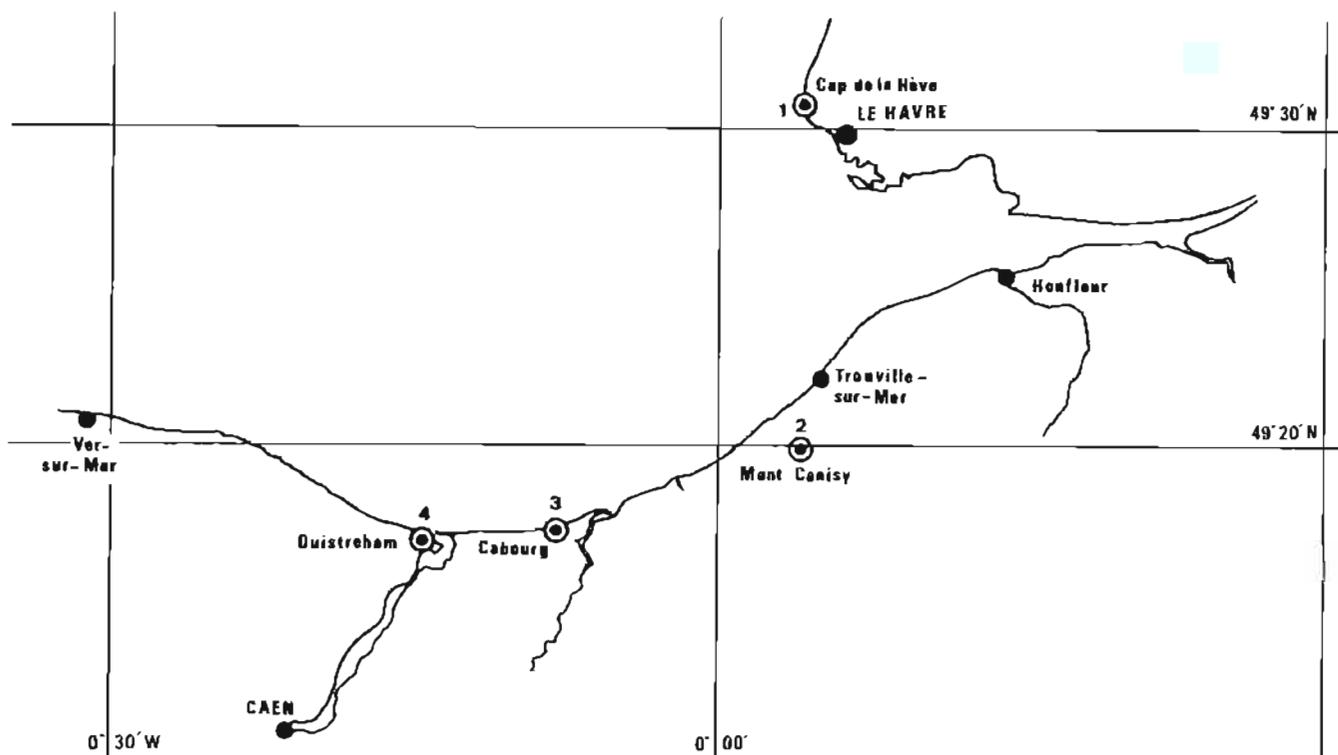
La marée a été également observée à l'aide de marégraphes immergés à la tourelle du Parfond (du 31 mars au 22 avril 1981 puis du 22 avril au 22 mai 1981) et à Courseules (du 22 avril au 22 mai). Le mouillage des marégraphes et leur relevage ont été effectués avec le concours de la vedette les *Essarts* de l'Equipement. Ces observations se sont révélées utiles pour un réajustement par l'EPSHOM des coefficients du modèle harmonique pour la zone du levé. En effet l'étude des sondages (homogénéité des sondes sur des profils parallèles et au recoupement de ces profils avec des profils traversiers) indiquait des discordances de 80 centimètres. Celles-ci ont pu être réduites à 30 cm.



 Zone levée au 1/5 000

 Zone levée au 1/10 000

PL. 2.5.1. — Levé d'Ouistreham (1981)



| Nom | | Point | Coordonnées (Lambert 1) | | |
|-----|------------------------|-------------------|-------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 1 | La Hève, sémaphore | Croix gravée 1980 | 436 052,1 | 203 391,3 | 104 |
| 2 | Canisy, château d'eau | Croix gravée | 435 207,45 | 184 079,68 | 115 |
| 3 | Cabourg, château d'eau | Antenne | 421 448,6 | 179 343,8 | 39,5 |
| 4 | Ouistreham, phare | Antenne | 412 013,85 | 178 756,05 | 42 |

PL. 2.5.2. — Implantation Trident pour le levé des accès à Ouistreham

Une concordance entre Ouistreham et Le Havre pendant la période du levé a montré que le zéro traditionnel d'Ouistreham situé à la cote $-4,390$ NGF se trouve à $0,27$ m au dessus du zéro du Havre. Le zéro traditionnel a été conservé.

2.5.4. Bathymétrie

Les natures de fond effectuées étaient toutes identiques : sable et coquillages brisés.

Les fonds supérieurs à 10 m ont été sondés sur des profils espacés de 100 m, les fonds moindres sur des profils espacés de 50 m. L'*Astrolabe* disposait pour ce levé d'un système de suivi de profils à route constante, système en cours de mise au point en vue du levé des voies recommandées du Pas de Calais.

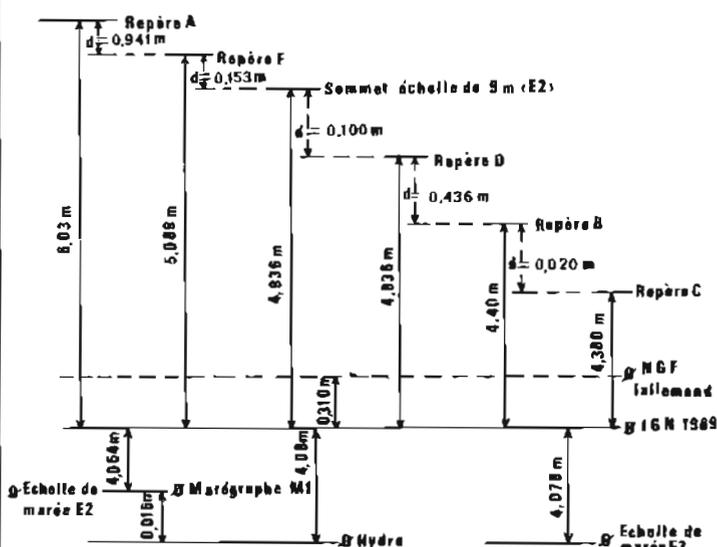
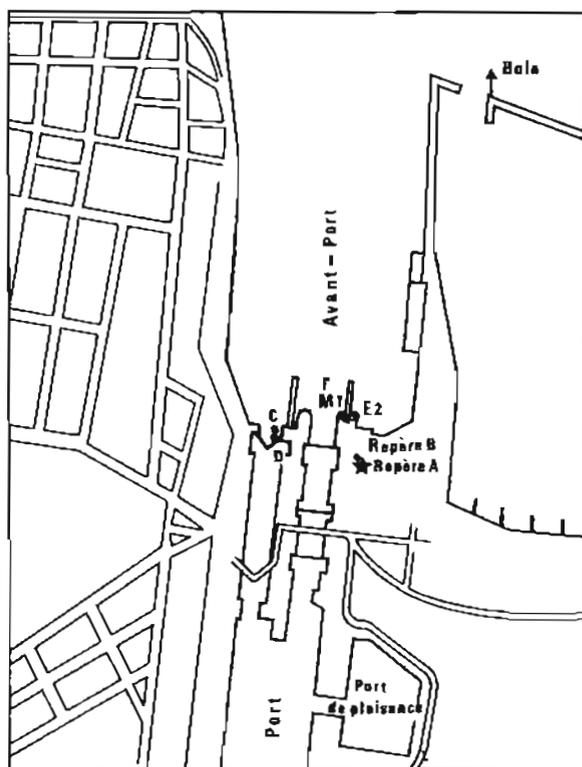
Le sondeur latéral a été systématiquement utilisé; le magnétomètre a été employé pour les épaves non trouvées au sondeur latéral; ces nouvelles recherches ont confirmé l'inexistence de ces obstructions.

2.5.5. Obstructions

Huit recherches ont été effectuées. Cinq obstructions ont été précisées (voir ci-dessous). Trois épaves (archivées sous les numéros 193, 195, 416 du carreau Marsden 14590) ont été supprimées du fichier.

Obstructions confirmées

| N° (dans carreau 14590) | Caractéristiques | Position Lambert 1 | | Brassage (m) | Hauteur au-dessus du fond (m) |
|-------------------------------|------------------|--------------------|---------|-----------------|-------------------------------------|
| | | X (m) | Y (m) | | |
| 132 | cargo | 414 940 | 194 372 | 17,4 | 6,3 |
| 163 | cargo | 412 469 | 189 232 | 10,5 | 4,4 |
| 178 | LST | 411 990 | 186 820 | 7,1 | 5,3 |
| 188 | LST | 412 192 | 185 493 | 4,8 | 5,7 |
| 417 | nombreux débris | 414 542 | 184 810 | 7,0 | 3,0 |



| Désignation | Description des repères de nivellement | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|--|--|
| A | Repère NGF n° XVI-12, section NP K3.2, type M scellé dans le socle du phare de Ouistreham. | 10,11 m |
| B | Repère NGF n° XVI-12, section NP K3.3, type M scellé dans le bajoyer aval du nouveau sas de l'écluse de Ouistreham (canal de Caen à la mer). | 8,48 m |
| Q* | Repère matérialisé par la poignée Ouest de levage du marégraphe Chamont Granat à Ouistreham (sommet de la poignée de levage peint en rouge). | 8,460 m |
| D* | Sommet de la poutrelle support poulie du puits du marégraphe Chamont Granat (repère pour sonde lumineuse). | 8,916 m |
| F | Repère type SHOM MHA 81 scellé dans le socle abri du marégraphe. | 9,169 m |
| Références | 1) Répertoire de nivellement : Caen XVI.12 — 1 ^{re} édition 1971 2) Document précédent : voir historique des zéros hydrographiques des côtes de France | |
| * | Repère de faible pérennité. | |

PL. 2.5.3. — Observatoire de marée de Ouistreham (L = 49° 16', 9 N; G = 0° 14', 9 W)

2.5.6. Documents établis (fiche du levé 82-7)

- 4 minutes de bathymétrie (2 au 1/10 000 n° 1 et 2, 2 au 1/5 000 n° 3 et 4),
- 4 minutes de recherches (n° 5 à 8),
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 4 fiches géodésiques,
- 7 fiches d'épaves,
- 2 cartes marines renseignées (890 et 891),
- 1 dossier de courantométrie.

2.5.7. Conclusion

Le levé des accès d'Ouistreham a permis une meilleure connaissance de la marée au large de ce port et la mise à jour d'une hydrographie faite entre 1834 et 1880.

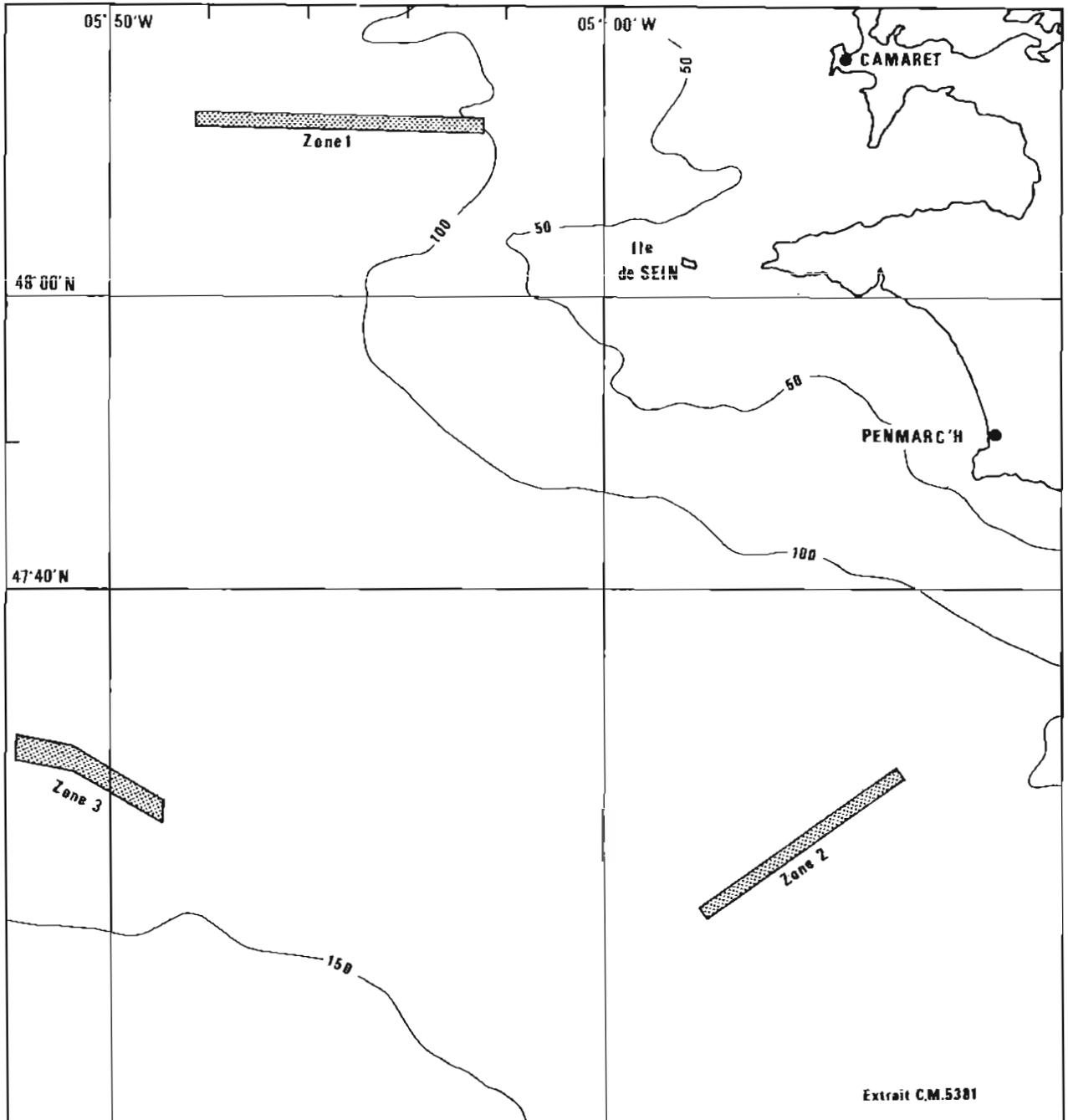
L'ensablement de la zone devra être contrôlé au cours d'un futur levé, par exemple dans une vingtaine d'années.

Chapitre 2.6

LEVÉ DE RIDES SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

2.6.1. Généralités (planche 2.6.1)

Le sondage de trois zones au large de Brest avait pour but l'étude du déplacement éventuel de rides de sable. Il a été effectué à bord du BH1 *L'Espérance* à l'occasion de l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne en janvier et février 1982.



PL. 2.6.1. — Contrôle des rides de sables sur le plateau continental; situation des levés.

MHA 1982

Extrait Bande sondeur N° 16

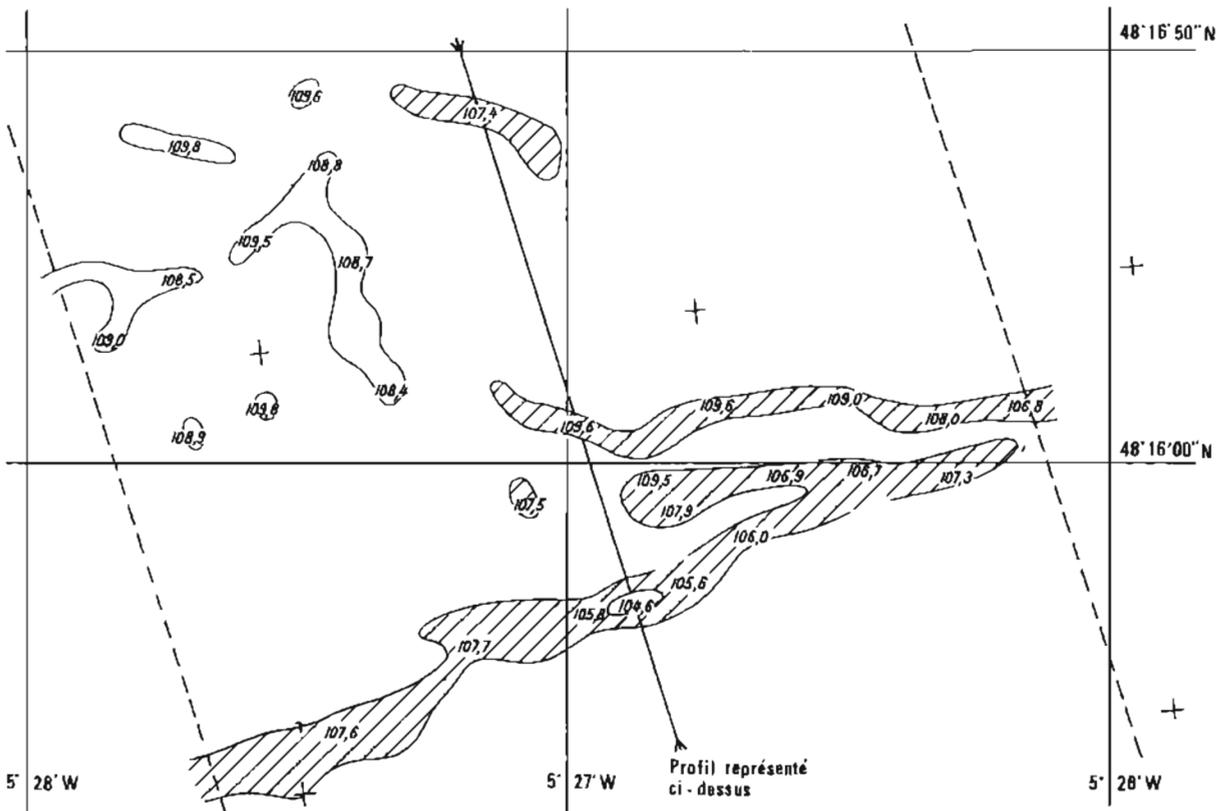
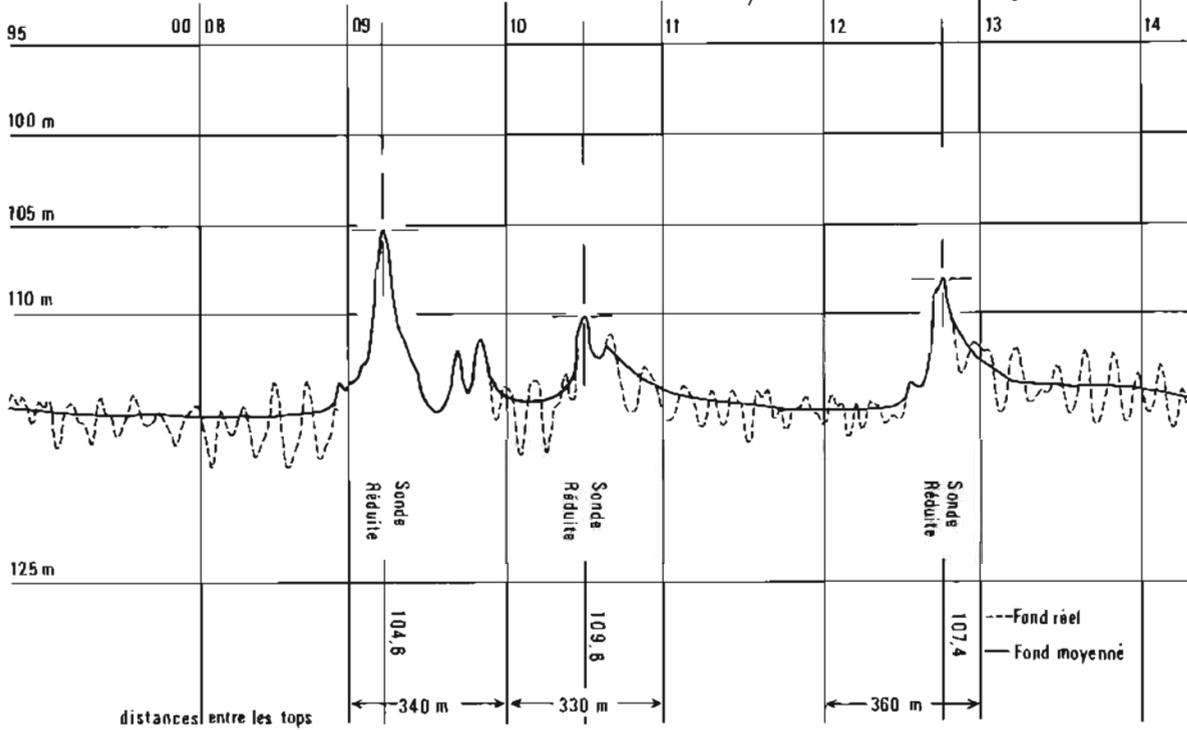
Séance 2

Zone de rides N° 1

Profil N° K
75/125

Marée 5,10 m

Etalonnage +4,60 m



PL. 2.6.2. — Contrôle de rides dans la zone 1

En haut : Enregistrement au sondeur (lissage en trait plein)
 En bas : La zone sondée tous les 100 mètres entre les traits tiretés
 les rides de sables sont hachurées
 le fond moyen est de 115 mètres.

La zone 1 (située approximativement en $L = 48^{\circ} 10' N$; $G = 5^{\circ} 20' W$ (planche 2.6.1) se compose de fonds plats mais aussi de rides hautes de 10 m à la base étroite (moins de 200 m) (planche 2.6.2). Cette zone a été sondée tous les 100 m. Son suivi bathymétrique est utile sans doute pour l'étude de déplacements de rides mais aussi pour l'évaluation des performances de sondeurs avec compensateurs de houle. (Ce dispositif, en cours d'installation sur *L'Espérance* ne fonctionnait pas au moment du levé).

La zone 2 (située en $L = 47^{\circ} 20' N$; $G = 4^{\circ} 40' W$) comprend des fonds plats monotones aux ondulations peu accusées.

Elle a été reconnue au 1/20 000.

La zone 3 (située en $L = 47^{\circ} 27' N$; $G = 5^{\circ} 52' W$) comprend des rides de bases très larges. Elle a été sondée au 1/10 000. Les rides n'ont pas bougé depuis 1966, date du levé précédent.

2.6.2. Marée (planches 2.6.3 et 2.6.4)

La marée a été observée sur chaque zone en immergeant un marégraphe Suber pendant la durée de chaque levé (2 jours); les risques de chalutage étaient en effet trop importants pour laisser les marégraphes plus longtemps, sans surveillance.

Le zéro des sondes a été adopté en concordance avec celui du Conquet, observatoire en fonction pendant les travaux.

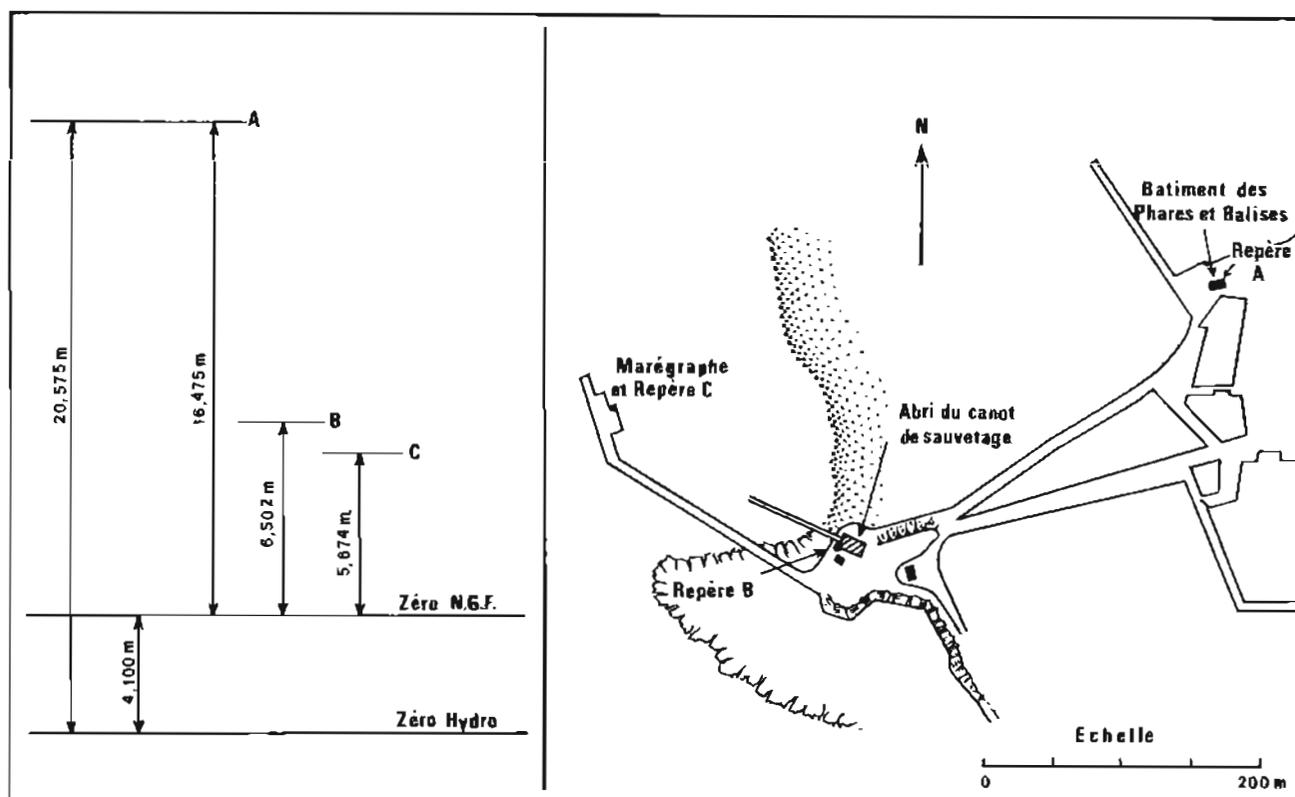
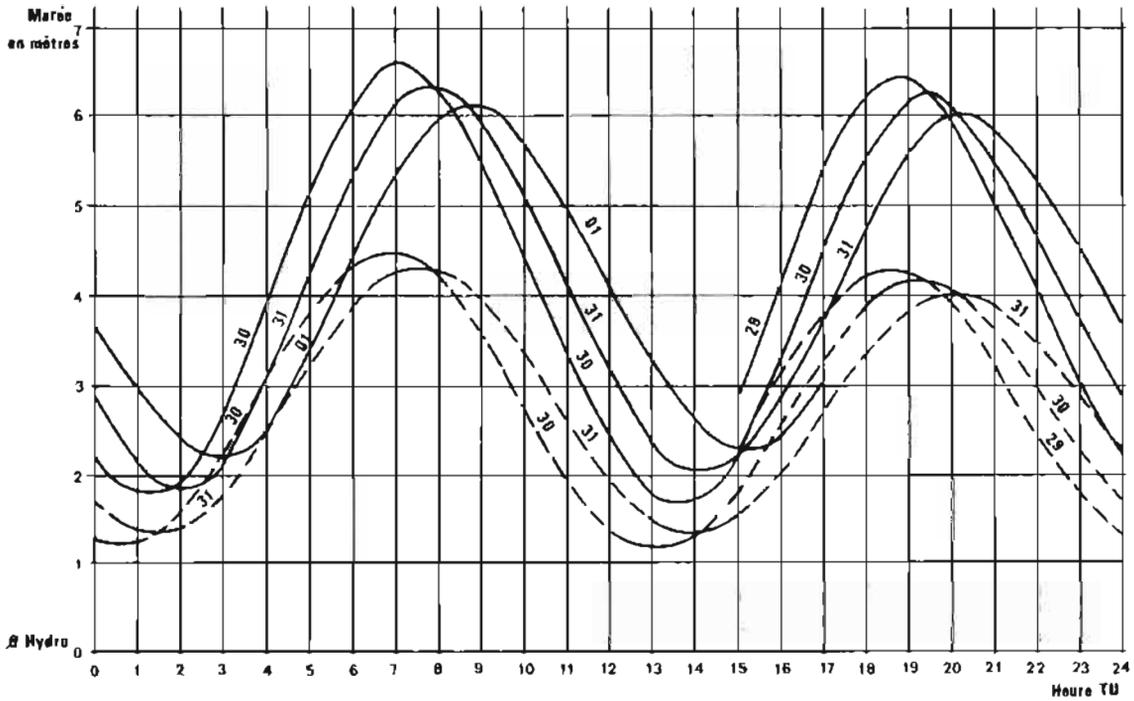


TABLEAU DES REPÈRES

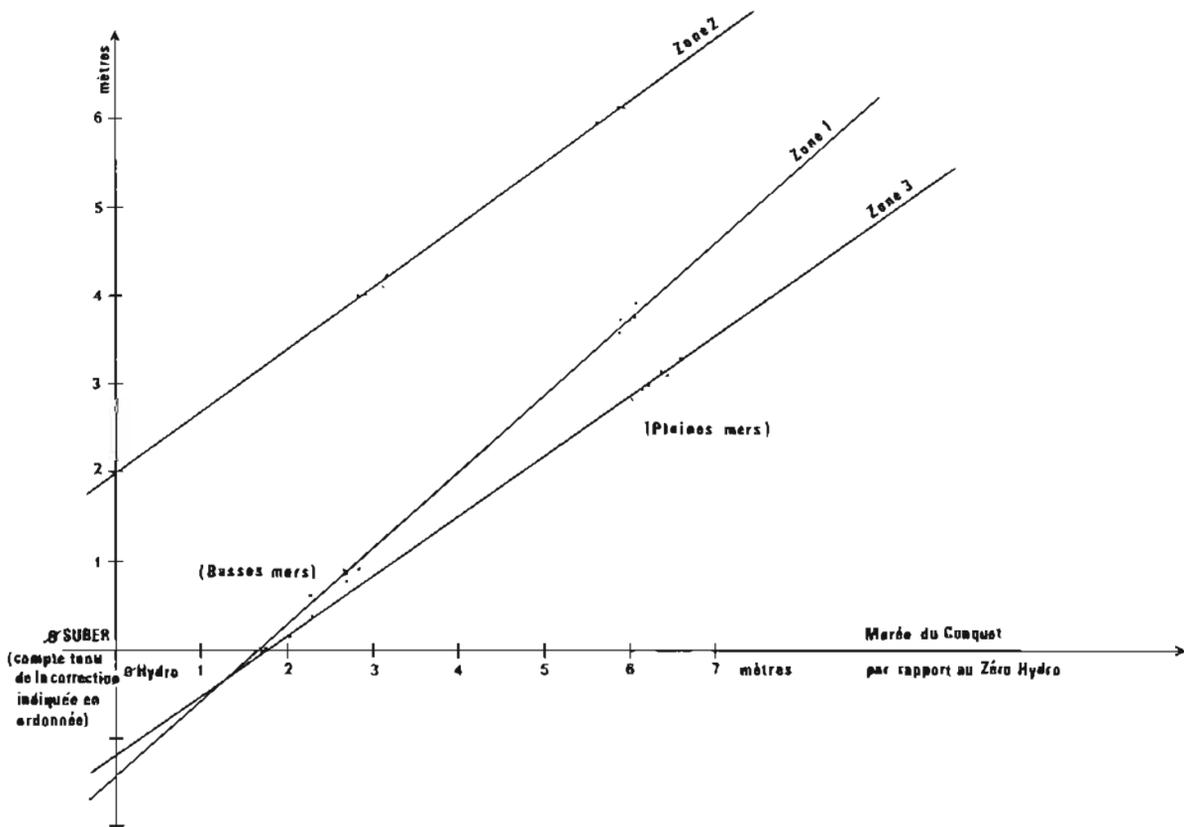
| Désignation | Description | Cote par rapport au zéro hydrographique |
|-------------|---|---|
| A | Repère fondamental : Repère NGF scellé dans le soubassement du bâtiment « Service des Phares et Balises » | 20,575 m |
| B | Repère SH (cruciforme) scellé dans le bâtiment abri du canot de sauvetage de la pointe Sainte-Barbe | 10,602 m |
| C | Repère SH (médaille) scellé dans la partie supérieure de l'abri du marégraphe | 9,774 m |

PL. 2.6.3. — L'observatoire du Conquet
Les cotes des repères n'ont pas été contrôlées.



Courbes de marée au Conquet et sur la zone 3 du 29 au 31 janvier 1982

— : marée au Conquet
 - - - : marée sur la zone 3 mesurée par le marégraphe Suber n° 7



Droites des concordances entre les pleines mers et basses mers du Conquet et celles enregistrées sur les zones 1, 2, 3 par le marégraphe Suber (voir commentaires du paragraphe 2.6.2.)

Note : On a soustrait 119 m en zone 1, 110 m en zone 2, 146 m en zone 3 aux valeurs enregistrées du marégraphe Suber avant de construire ce graphique. (voir commentaires du paragraphe 2.6.2.)

PL. 2.6.4. — Mesures de marée sur le plateau continental.

A la planche 2.6.3 on a représenté à titre documentaire les droites de concordance tracées pour les trois zones. Par exemple pour construire la droite de concordance de la zone n° 3 on a adopté une correction provisoire de 146 m pour réduire les hauteurs d'eau enregistrées par le marégraphe Suber.

Cette correction provisoire représente l'immersion approchée du marégraphe dans la zone 3. On a alors tracé la droite de concordance en fonction des points ayant :

- pour abscisse une hauteur de basse mer (ou de pleine mer) au Conquet rapportée au zéro hydrographique du Conquet,
- pour ordonnée la hauteur d'eau correspondante de la basse mer (ou de la pleine mer) en zone 3 corrigée de 146 m.

On constate que le zéro hydrographique de la zone 3 doit être adopté 1,2 m au-dessous du zéro des hauteurs d'eau du marégraphe Suber réduites de 146 m.

En définitive à instant t , la hauteur d'eau $h(t)$ à adopter en zone 3 est celle donnée par le marégraphe Suber diminuée de 144,8 m.

A la planche 2.6.3 on a également représenté les courbes de marée (avant l'adoption de la correction définitive de 144,8 m) pour montrer la différence d'amplitude de la marée au Conquet et sur la zone 3.

Les sondes réduites de la marée observée sur zone avec un zéro en concordance avec celui du Conquet sont cohérentes entre elles sur les profils consécutifs parallèles et sur les profils traversiers et aussi avec les sondes des documents rédigés en 1966.

Rappelons les formules adoptées à cette date :

Marée de la zone 1 :

$$h(t) = 0,8 H(t + 5 \text{ min}) \quad \text{avec} \quad H(t) \dots \text{marée à Camaret}$$

ou

$$h(t) = 0,76 H(t + 13 \text{ min}) - 0,38 \text{ m} \quad \text{avec} \quad H(t) \dots \text{marée à Brest}$$

Marée de la zone 2 : celle de Port-Tudy

Marée de la zone 3 :

$$h(t) = 0,7 H(t + 10 \text{ min}) \quad \text{avec} \quad H(t) \dots \text{marée à Camaret}$$

ou

$$h(t) = 0,665 H(t + 18 \text{ min}) - 0,33 \text{ m} \quad \text{avec} \quad H(t) \dots \text{marée à Brest.}$$

2.6.3. Documents rédigés (levé 82-16)

| | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Minutes de bathymétrie (avec minutes de construction correspondante) | 1 au 1/50 000 | | 1 au 1/50 000 |
| | 2 au 1/10 000 | 4 au 1/10 000 | 2 au 1/10 000 |

Chapitre 2.7

LEVÉ D'UNE VOIE RECOMMANDÉE ENTRE LE BATEAU-FEU DU SANDETTIÉ ET LE VERGOYER

2.7.1. Généralités (planche 2.7.1)

Le BH2 *Astrolabe* a effectué le levé bathymétrique de la voie recommandée entre le bateau-feu Sandettié et le Vergoyer :

- en 1981, au cours de quatre missions de deux semaines,
- en 1982, au cours de trois missions de même durée.

Seule la partie la plus profonde a été levée sur une largeur de 2 milles.

| Calendrier du levé | Activités |
|-------------------------------|--|
| — en 1981 : | |
| Du 20 au 27 janvier | Reconnaissance pour l'implantation des balises Trident. |
| Du 2 au 11 juin | Installation des balises Trident et d'un marégraphe à Dunkerque Ouest. |
| Du 23 juin au 7 juillet | Première mission de l' <i>Astrolabe</i> . |
| Du 15 au 31 juillet | Deuxième mission. |
| Du 7 au 25 septembre | Troisième mission. |
| Du 30 septembre au 14 octobre | Quatrième mission. |
| Du 2 au 8 novembre | Démontage des stations Trident. |
| Le 3 novembre | Recherche des marégraphes-plongeurs par la <i>Clio</i> . (marégraphes mouillés précédemment par l' <i>Astrolabe</i>). |
| — en 1982 : | |
| Du 26 au 30 avril | Installation des balises Trident. |
| Du 4 au 28 mai | Cinquième mission de l' <i>Astrolabe</i> . Fin du levé régulier, début des recherches d'obstructions. |
| Du 21 juin au 9 juillet | Sixième mission. |
| Du 13 au 30 juillet | Septième mission de l' <i>Astrolabe</i> . Fin des travaux à la mer. Transfert des balises Trident pour le levé des bancs de Flandre. |

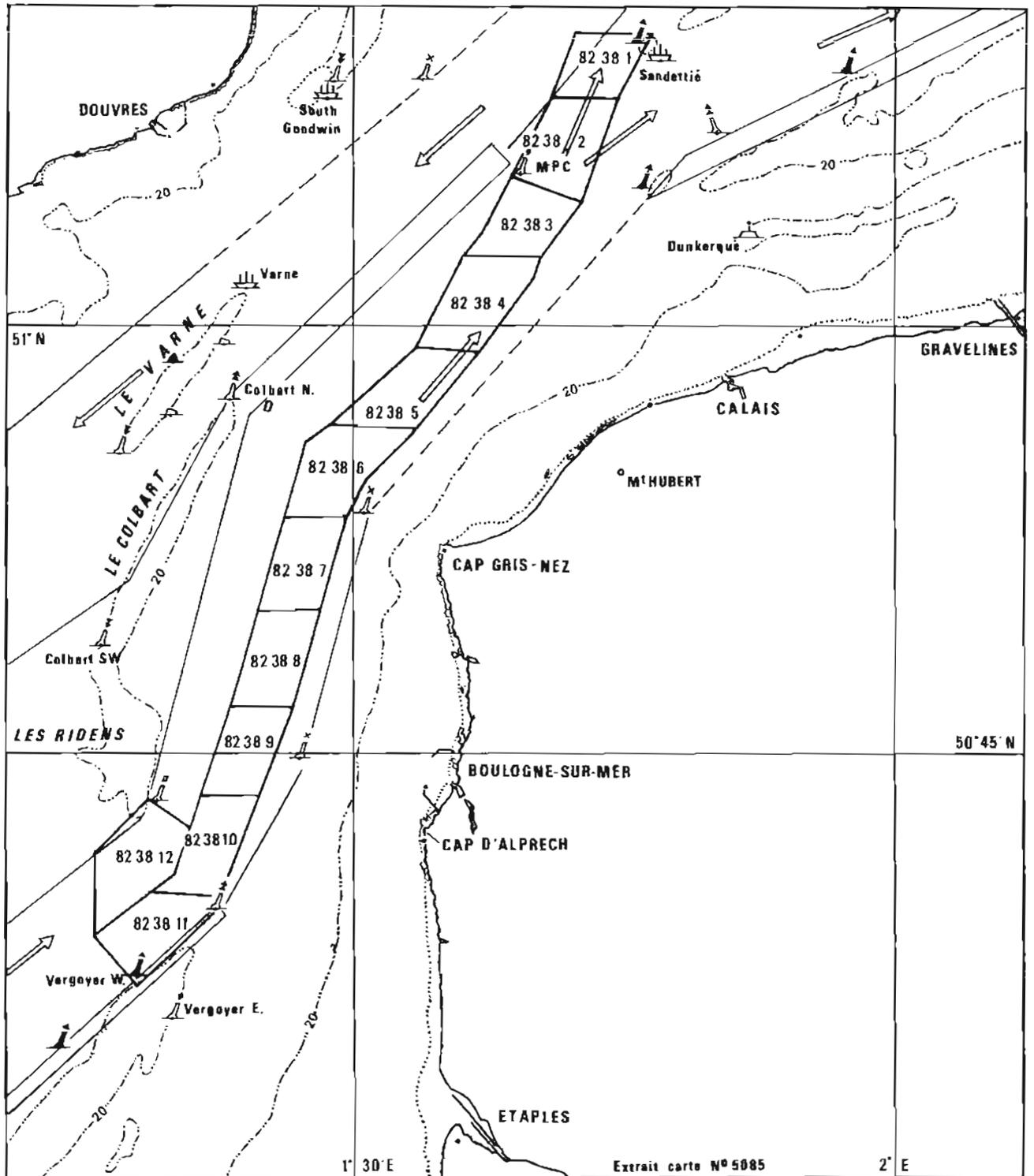
La voie a été levée suivant des profils espacés de 100 m, cet espacement étant réduit à 50 m par fonds inférieurs à 30 m et dans les zones à relief tourmenté. Les routes ont été orientées suivant la direction générale du trafic à l'aide d'un système de suivi de profils piloté par un calculateur HP 9845.

Les profils ont été parcourus dans le sens du trafic; leur durée était de 8 à 10 heures; les retours s'effectuaient « à vide » par la voie côtière pendant 4 heures environ; le sondage à contresens présentait en effet trop d'inconvénients :

- risques accrus de collisions malgré les avis aux navigateurs;
- temps perdu important au cours de manœuvre anti-collision, environ une heure compte tenu de toutes les décisions nécessaires (analyse de la situation « surface », manœuvre du sondeur latéral, recouvrement du profil interrompu, réinitialisation du suivi de profils et des programmes d'archivage).

Une attention particulière a été apportée à l'information nautique; les travaux étaient annoncés avec un préavis de deux mois, par avis aux navigateurs; sur zone, le « Crossma » de Gris-Nez diffusait la position et la route de l'*Astrolabe* toutes les 20 minutes.

Le levé a permis de vérifier qu'un chenal de profondeur au moins égal à 30 m existe sur toute la longueur du levé. La zone la plus resserrée se trouve à la latitude 50° 38' N : la largeur du chenal défini par les isobathes 30 m est alors de 1,2 mille.



PL. 2.7.1. — Levé d'une voie recommandée entre le bateau-feu du Sandettié et le Vergoyer :
 — la zone du levé (repérée par les numéros des minutes)
 — l'implantation des balises Trident : Gravelines, Calais, Mont Hubert, Cap Gris-Nez, Alprech, Etaples.

2.7.2. Localisation

Les antennes Trident ont été implantées dans les sites du tableau ci-dessous; leur position a dû être légèrement modifiée en 1982 dans certains phares en raison de la présence de nouvelles antennes.

| Nom | Coordonnées dans le système NTF projection Lambert 1 | | |
|---------------------------|--|-----------|-------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| Phare du Touquet | 547 211,1 | 314 119,4 | 54 |
| Blockhaus d'Alprech | 545 283,1 | 333 542,3 | 55 |
| Phare de Gris-Nez 1981 | 546 922,2 | 352 460,7 | 89 |
| 1982 | 546 923,2 | 352 459,6 | 89 |
| Mont Hubert (station PTT) | 556 771,5 | 358 389,0 | 155 |
| Phare de Calais 1981 | 566 067,7 | 362 660,3 | 58 |
| 1982 | 566 066,6 | 362 661,1 | 58 |
| Phare de Gravelines | 584 038,7 | 367 312,0 | 28 |

2.7.3. Marée (planches 2.7.2 à 4, planche 2.11)

La marée a été observée pendant le levé dans les ports de Boulogne, Calais, Dunkerque; le fonctionnement des marégraphes a été contrôlé quotidiennement; la marée sur zone a été calculée par l'Etablissement Principal à l'aide d'un modèle harmonique.

Deux marégraphes plongeurs Suber ont été perdus dès la première mission de l'*Astrolabe* en 1981. Après des recherches par la *Clio*, leur perte semble due au chalutage bien que ces appareils aient été disposés à 400 m seulement des bouées des Phares et Balises.

L'homogénéité des sondages (profils réguliers, profils traversiers) est de 30 cm. Les marées calculées à partir des ports ci-dessus avaient une cohérence de 10 à 20 cm.

Deux observatoires de marée ont été contrôlés à Dunkerque :

- l'observatoire permanent de Dunkerque Est (planche 2.7.2),
- l'observatoire de Dunkerque Ouest, reconnu précédemment en 1974 mais non utilisé par la MHA à cette date pour la réduction des sondes.

Le zéro hydrographique de l'observatoire de Dunkerque Ouest a été adopté par concordance avec le zéro de l'observatoire permanent; les mesures de marée ont été dépouillées du 29 juin au 10 octobre 1981.

Notons que le zéro de Gravelines est à $-3,56$ m NGF, celui de Dunkerque Ouest à $-3,45$ m NGF, et celui de Dunkerque Est à $-3,30$ m NGF.

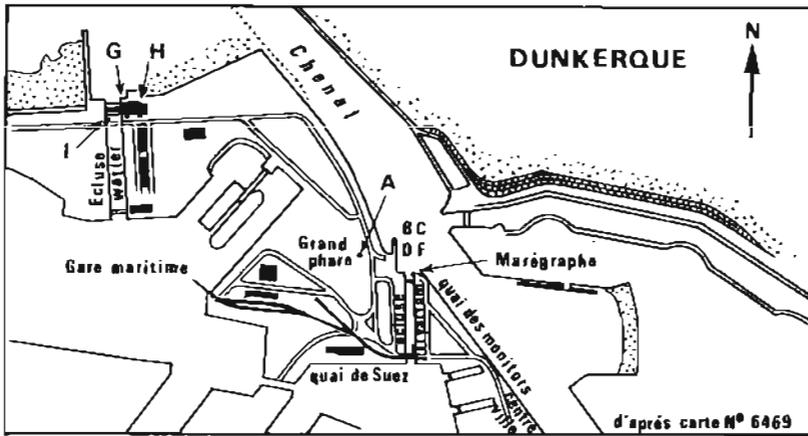
2.7.4. Obstructions

Le sondeur latéral a été mis en œuvre systématiquement sur les profils espacés de 100 m du levé régulier. Toutes les épaves connues ont été investiguées dans les limites du levé; les épaves non retrouvées au Sonal ont été recherchées également au magnétomètre mais sans succès.

On a indiqué ci-après :

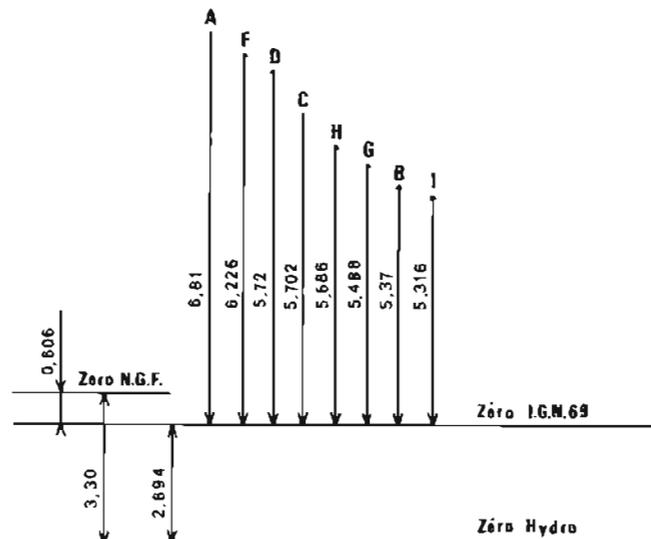
- la liste des épaves recherchées,
- celle des épaves les plus dangereuses.

| Carreau Marsden | Liste des épaves recherchées | |
|-----------------|--------------------------------------|---|
| | Epaves identifiées | Epaves non détectées dans les limites du levé |
| 216 01 | 61, 91, 93, 166, 168, 235, 258 à 269 | 93, 229 |
| 216 11 | 16, 18, 48, 59, 62, 63, 88 | 52 |



Situation de l'observatoire

| Désignation | Description des repères | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|---|--|
| A | Repère NGF scellé à la base du grand phare, côté Est, à 0,60 m du sol, matricule IGN Na L3.7. Repère fondamental de l'observatoire. | 9,504 |
| B | Rivet scellé sur le seuil de la porte d'entrée de l'abri du marégraphe marqué N 103, matricule IGN Na L3-7-1. | 8,064 |
| C | Cornière métallique fixée sur le puits du marégraphe, peint en rouge pour mesure à la sonde lumineuse. | 8,396 |
| D | Piton scellé sur le bord du puits du marégraphe, matricule IGN Na L3-7-2. | 8,414 |
| F | Base de support fixée à la sonde IGN n° 2. | 8,920 |
| G | Repère métallique à l'angle Sud-Ouest du blockhaus de la tour de contrôle de l'écluse Watier, scellé verticalement dans le sol. | 8,182 |
| H | Repère métallique en bas de l'escalier de la tour de contrôle de l'écluse, scellé dans le mur près de la porte. | 8,380 |
| I | Sommet de l'échelle de marée de 8 m, du côté aval de l'écluse Watier à proximité du pont métallique franchissant l'écluse. | 8,010 |

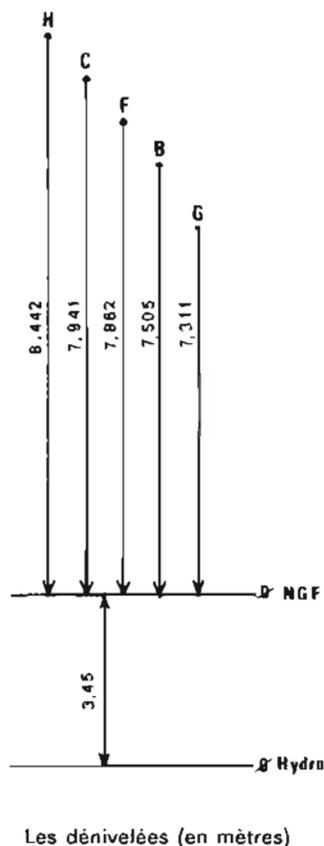


PL. 2.7.2. — Observatoire de marée de Dunkerque Est
(L = 51° 00', 9 N; G = 2° 21', 1 E)

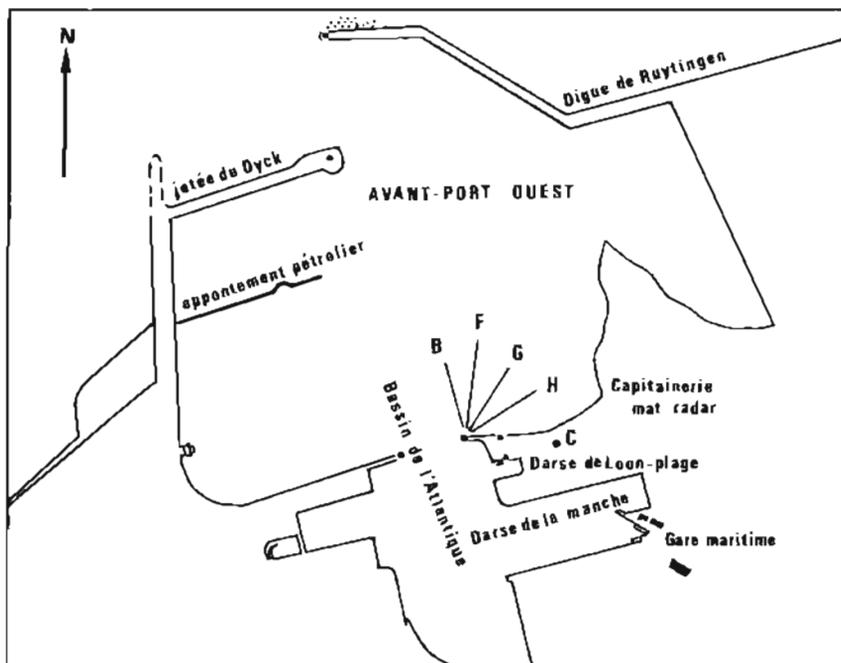
Eléments de la fiche de marée rédigée le 22 janvier 1981; fiche précédente le 29 août 1974.

REPÈRES DE NIVELLEMENT

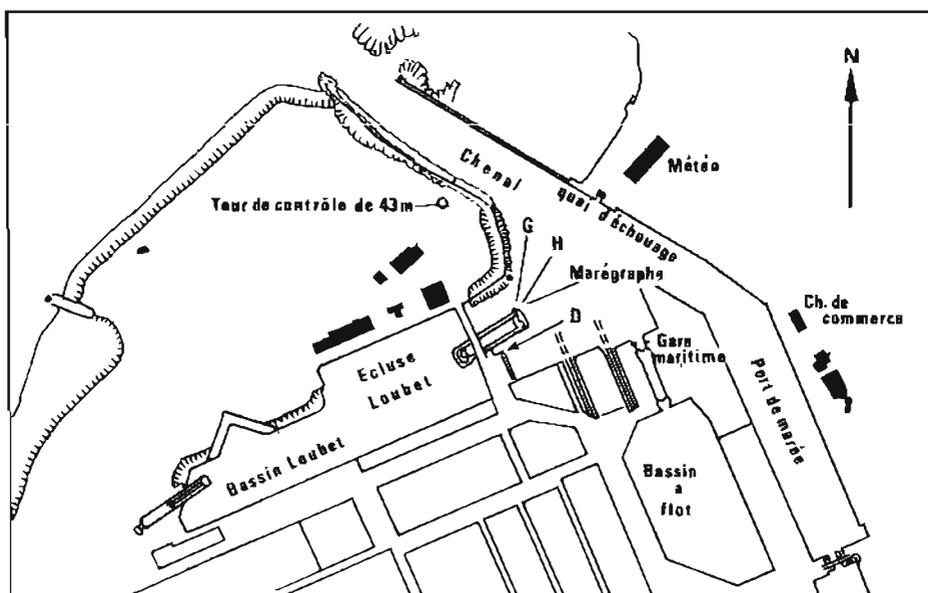
| Désignation | Description | Cote par rapport au zéro NGF | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
|-------------|--|------------------------------|--|
| B | — Repère fondamental de l'observatoire. Repère en bronze SH scellé horizontalement dans l'abri du marégraphe. | 7,505 | 10,955 |
| C | — Repère en bronze SH à téton scellé horizontalement dans les bâtiments des bureaux du nouvel avant-port. | 7,941 | 11,391 |
| F | — Repère en fer scellé horizontalement dans l'abri du marégraphe (repère de nivellement du port autonome). | 7,862 | 11,312 |
| G | — Point de mesure à la sonde lumineuse, peint en rouge, sur le bord du quai du marégraphe. | 7,311 | 10,761 |
| H | — Plate-forme en bois support du marégraphe dans l'abri du marégraphe. | 8,442 | 11,892 |
| Référence | 1) Répertoire de nivellement Dunkerque XXIII-2-1978 2) Fiche de marée du 26 janvier 1982 3) Fiche précédente du 29 août 1974 | | |
| Note | L'ancien repère A n'est plus utilisable. | | |



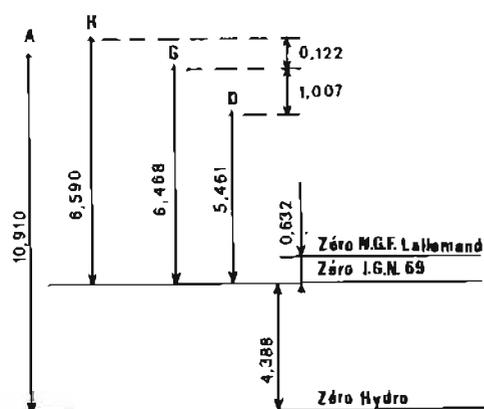
Situation de l'observatoire (L = 51° 01', 42 N; G = 2° 10', 55 E)



PL. 2.7.3. — Observatoire de marée de Dunkerque Ouest.



| REPÈRES DE NIVELLEMENT | | |
|------------------------|--|--|
| Désignation | Description | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes |
| D | Repère SH type M scellé dans le quai, côté gare maritime, à proximité de l'écluse Loubet, à 40 cm environ sous le couronnement du quai, à proximité d'un escalier. | 9,849 |
| G | Repère SH type M situé sur la rive Nord de l'écluse Loubet, scellé dans le caniveau recouvert de plaques métalliques, à 2 m du marégraphe. | 10,856 |
| H | Angle du couronnement de la rive Nord de l'écluse Loubet, repéré « SH MHA 1973 », à 4 m du repère G. (Point de mesure à la sonde lumineuse). | 10,978 |
| Référence | Répertoire de nivellement Boulogne XXI-4. | |



Côtes des repères et dénivelées (en mètres) :
 Les éléments sont ceux de la fiche du 22 janvier 1982.
 La fiche précédente (29 août 1974) indique des repères complémentaires (s'y reporter).
 Le nivellement des repères G et H a été contrôlé en 1981 par rapport au repère D.

PL. 2.7.4. — Observatoire de marée de Boulogne.

Liste des épaves les plus dangereuses

| N° | Nature Obstruction N° fichier EPSHOM | Coordonnées Lambert 1 | | Coordonnées (NTF) | | Brassiage (mètres) | Hauteur de l'épave au-dessus du fond |
|----|--|-----------------------|---------|-------------------|-----------|-----------------------|--|
| | | X (m) | Y (m) | L (Nord) | G (Est) | | |
| 1 | Epave nouvelle | 535 530 | 343 935 | 50°47'26'' | 1°25'23'' | 36,3 | 17 m |
| 2 | Epave 21601 168 | 542 658 | 358 665 | 50°55'25'' | 1°31'19'' | 30,9 | 12 m |
| 3 | Epave 21601 235 | 541 757 | 362 285 | 50°57'22'' | 1°30'31'' | 39,5 | 8 m |
| 4 | Epave 21611 088 | 555 040 | 379 880 | 51°06'55'' | 1°41'43'' | 30,1 | 7 m |

2.7.5. Documents rédigés (levé 82-38)

Les documents rédigés sont les suivants :

- 12 minutes de bathymétrie au 1/10 000 (n° 1 à 12),
- 12 minutes de recherches (n° 13 à 24),
- 28 fiches d'épaves,
- 3 fiches d'observatoire de marée (Dunkerque Est, Dunkerque Ouest, Boulogne),
- 4 cartes marines renseignées (6795, 6682, 6681; 6754).

Chapitre 2.8

SONDAGE DE COMPLÉMENT DE LA PENFELD

2.8.1. Généralités

Pour répondre aux besoins de la Direction du Port de Brest le levé bathymétrique de la Penfeld effectué en 1971 a été repris aux extrémités navigables en avril et mai 1982 (planche 2.8.1).

2.8.2. Sondages

Les sondages ont été faits sur des profils espacés de 10 mètres, en youyou avec un propulseur et une base de sondeur hors-bord. Les sondes ont été réduites de la marée enregistrée à l'observatoire permanent de la Penfeld décrit par ailleurs. Un marégraphe Suber mouillé au fond de la Penfeld a permis de contrôler la validité de cette marée pour tout le levé.

Les profils étaient radioguidés et deux traversiers visaient le youyou à chaque top. Les amers et stations triangulés à l'occasion du levé sont récapitulés dans les tableaux 2.8.2 et 2.8.3.

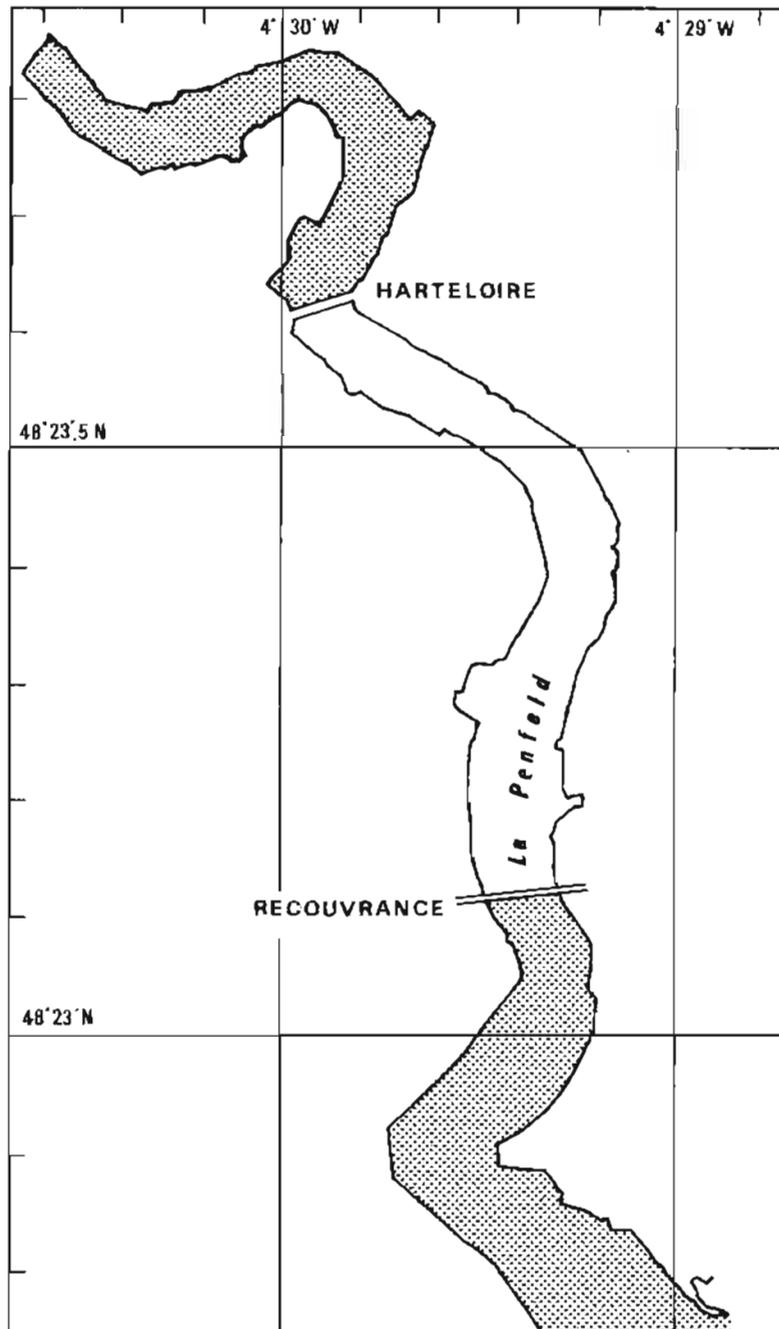
Au cours de vérifications dans la Penfeld pour le contrôle de l'enlèvement d'un caisson métallique de petites dimensions (1,5 m × 0,9 m × 0,5 m) et le contrôle du gisement de l'alignement d'entrée, mon successeur a mis en évidence une erreur dans la graduation de la ligne d'étalonnage du sondeur, ligne en chanvre, confectionnée spécialement pour ce levé.

Cette erreur avait fait croire à un approfondissement progressif de la Penfeld de son extrémité amont (où il était négligeable) à l'embouchure (où il atteignait 60 centimètres); cet approfondissement était interprété comme la conséquence du rétrécissement de l'embouchure après la construction du bassin 10. En fait, après correction des minutes des sondes, on note en comparant les sondages de 1982 et ceux de 1971, une assez bonne stabilité des profondeurs, avec sans doute une tendance légère à l'envasement (une dizaine de centimètres), surtout sensible dans les creux (jusqu'à quarante centimètres).

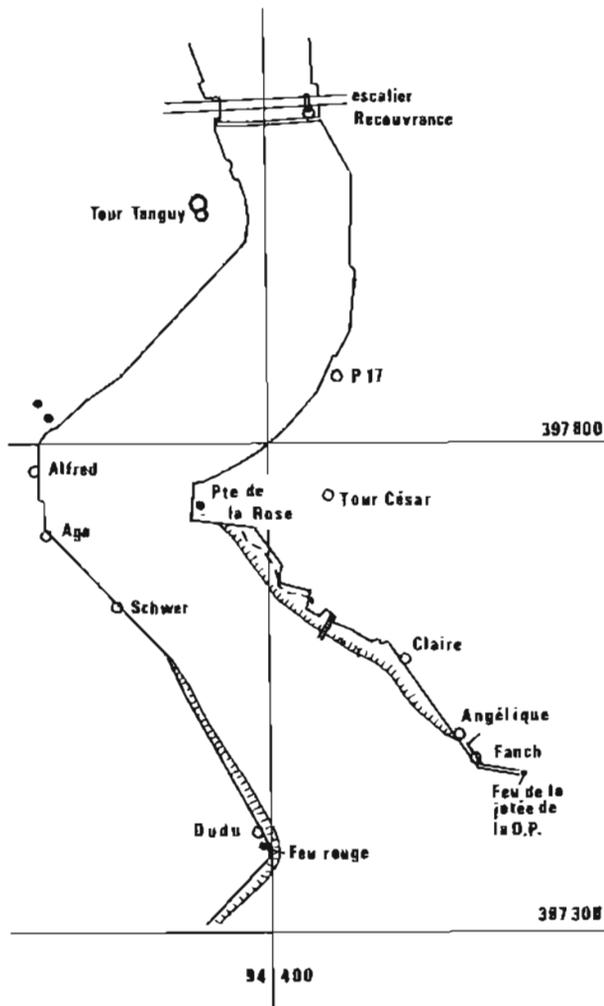
2.8.3. Documents rédigés (levé 83-27)

- 2 minutes de bathymétrie au 1/1 000 (B11 et B12)
- 3 minutes de synthèse NT1-1, -2, -3 rédigées à partir des minutes ci-dessus, des minutes rédigées sous la direction de l'ICA Pasquay en 1972, enfin à partir d'un levé photogrammétrique de l'IGN effectué en 1982.

La topographie des plans de l'IGN a été précisée pour la partie maritime : position des pontons, coffres, cales, escaliers, numéro des postes.



PL. 2.8.1. — En tramé, le levé de la Penfeld en 1982.

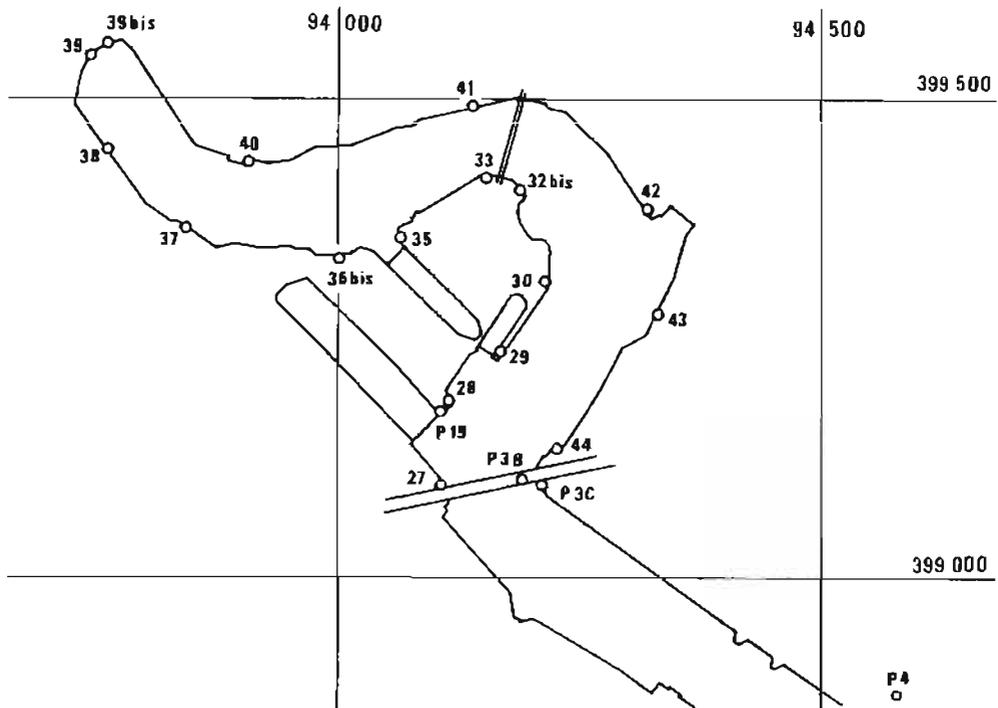


| Noms des stations de radioguidage | Description | Coordonnées Lambert 2 | |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|------------|
| | | X (m) | Y (m) |
| Dudu | douille SHOM | 94 395,86 | 397 401,65 |
| Schwen | croix peinte | 94 242,07 | 397 638,75 |
| Aga | .. | 94 164,94 | 397 714,32 |
| Alfred | point cerclé en noir | 94 154,96 | 397 775,24 |
| Tour Tanguy | croix peinte | 94 339,11 | 398 044,48 |
| Escalier recouvrance | .. | 94 454,03 | 398 140,83 |
| P17 | .. | 94 480,68 | 397 866,71 |
| Tour César claire | croix peinte | 94 461,91 | 397 750,37 |
| Angélique | .. | 94 602,37 | 397 504,81 |
| Fanch | douille de 7,5 scellée | 94 620,37 | 397 480,81 |

NOM DES AMERS

| | | | |
|---------------------------------------|-----------------|-----------|------------|
| Feux d'alignement d'entrée en Penfeld | feu postérieur | 94 159,42 | 397 839,26 |
| | feu antérieur | 94 171,89 | 397 824,89 |
| Pointe de la Rose | feu vert | 94 320,25 | 397 730,94 |
| Feu d'entrée en Penfeld | feu rouge | 94 399,81 | 397 387,92 |
| Jetée DP | feu de la jetée | 94 666,35 | 397 468,33 |

PL. 2.8.2. — Entrée de la Penfeld : amers et stations de guidage.



| N° point | Description | Coordonnées Lambert 2 | |
|----------|------------------------|-----------------------|------------|
| | | X (m) | Y (m) |
| 27 | Croix gravée peinte | 94 106,48 | 399 103,08 |
| 19 | Douille de 7,5 scellée | 94 107,22 | 399 170,83 |
| 28 | Croix gravée peinte | 94 115,55 | 399 179,40 |
| 29 | " | 94 169,49 | 399 233,01 |
| 30 | " | 94 221,98 | 399 310,61 |
| 32 bis | Douille de 7,5 scellée | 94 186,41 | 399 414,87 |
| 33 | Croix gravée peinte | 94 154,12 | 399 425,22 |
| 35 | " | 94 066,27 | 399 353,01 |
| 36 bis | Croix peinte | 94 001,53 | 399 337,04 |
| 37 | Douille SHOM | 93 847,18 | 399 365,46 |
| 38 | " | 93 766,80 | 399 444,58 |
| 39 | Borne du Cadastre | 93 739,30 | 399 539,70 |
| 39 bis | Douille de 7,5 scellée | 93 750,89 | 399 553,73 |
| 40 | Douille SHOM | 93 914,15 | 399 431,35 |
| 41 | " | 93 146,47 | 399 497,86 |
| 42 | " | 93 324,06 | 399 385,30 |
| 43 | " | 94 330,4 | 399 275,19 |
| 44 | " | 94 223,91 | 399 133,38 |
| P38 | Douille de 7,5 scellée | 94 206,36 | 399 102,44 |
| P30 | " | 94 211,31 | 399 103,31 |
| P4 | " | 94 582,83 | 398 877,44 |

PL. 2.8.3. — Les stations de guidage au fond de la Penfeld.

Chapitre 2.9

LEVÉ D'UNE ROUTE CÔTIÈRE À L'INTÉRIEUR DES BANCs DE FLANDRE

2.9.1. Généralités (planche 2.9.1)

Afin de définir une route côtière pour des navires de fort tirant d'eau (13,75 mètres) un levé a été effectué dans les Bancs de Flandre dans une zone critique limitée :

- au Nord : par les Bancs Out Ruytingen, In Ruytingen, Bergues,
- au Sud : par les Bancs du Dyck.

La voie côtière a été reconnue à l'Ouest jusqu'au méridien 2° 07', 5 E, au Nord jusqu'au parallèle 51° 13'N.

Elle est accessible à basse mer aux bâtiments d'un tirant d'eau maximal de 9,5 mètres (avec un pied de pilote de 1 mètre). Elle comprend un goulot où cette profondeur n'existe que sur une largeur de 250 mètres.

2.9.2. Localisation

Les travaux ont été effectués par le BH2 *Astrolabe* de juillet à septembre 1982 pendant une durée effective de 15 jours selon le calendrier indiqué.

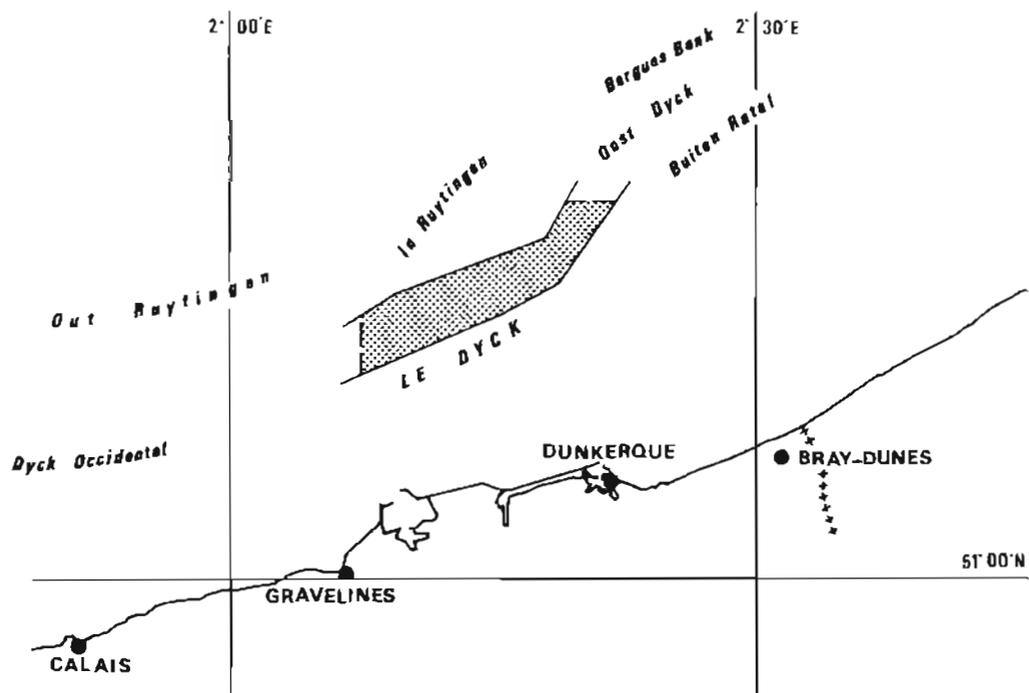
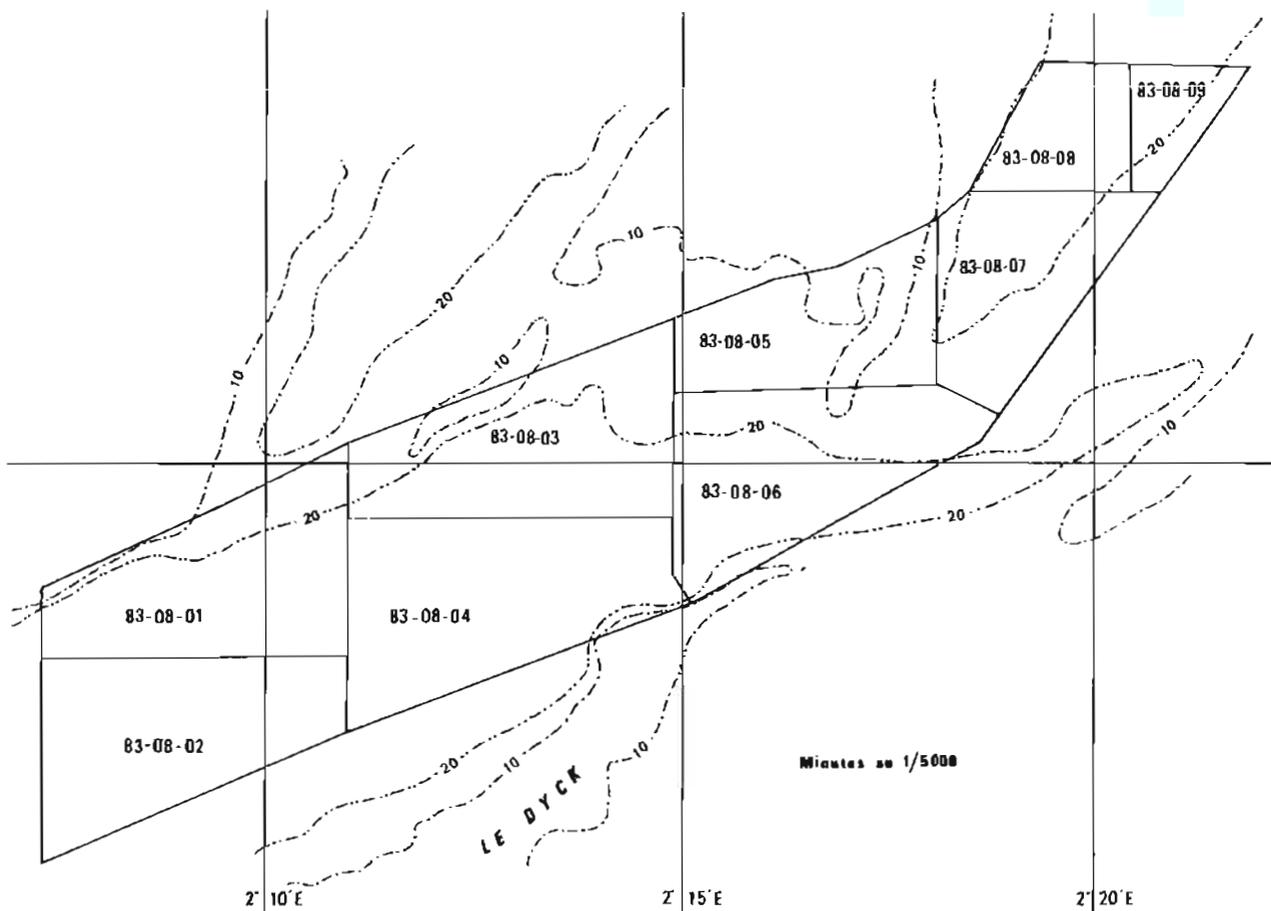
| Calendrier du levé | Travaux |
|-------------------------|---|
| du 06.07.82 au 07.07.82 | Levé régulier à l'issue des travaux du levé Pas de Calais |
| du 26.07.82 au 27.07.82 | Poursuite du levé |
| du 07.09.82 au 21.09.82 | Poursuite et achèvement du levé Mesures de courantométrie Escale à Dunkerque du 11.09 au 12 Escale à Calais du 17.09 au 19 |

Le positionnement était assuré à l'aide de l'implantation Trident suivant :

| Stations Trident | Coordonnées Lambert 1 | | Z (m) |
|---|-----------------------|------------|-------|
| | X (m) | Y (m) | |
| Calais (Phare du Courgain) | 566 067,70 | 362 660,30 | 58 |
| Gravelines (Phare du Petit Fort Philippe) | 584 038,73 | 367 312,01 | 28 |
| Dunkerque (Grand phare) | 601 956,93 | 372 300,30 | 65 |
| Bray-Dunes (clocher) | 613 173,28 | 374 797,83 | 35 |

2.9.3. Bathymétrie

Les sondages ont été effectués sur des profils espacés de 50 mètres. La marée, observée à Calais et Dunkerque a été calculée sur zone à partir du modèle harmonique.



PL. 2.9.1. — Levé d'une route côtière à l'intérieur des Bancs de Flandre; situation générale et découpage des minutes.

Le sondeur latéral était utilisé un profil sur deux. Quatre épaves (voir ci-dessous) ont été recherchées.

Epaves

| N° | Nature | Position (Lambert t) | | Brassage (mètres) | Hauteur au-dessus du fond (mètres) |
|-----------|--------|----------------------|--------|-------------------|------------------------------------|
| | | X (m) | Y (m) | | |
| 21612-251 | Epave | 591900 | 383770 | 17,8 | 9,5 |
| 21612-252 | .. | 586375 | 380423 | 20,6 | 6,7 |
| 21612-253 | .. | 586581 | 380366 | 16,4 | 9,8 |
| 21612-254 | .. | 587125 | 380608 | 20,0 | 5,5 |

2.9.4. Documents rédigés (levé 83-08)

- 9 minutes de bathymétrie au 1/5 000 (B5¹⁴ à B5²²)
- 2 minutes de recherche
- 4 fiches d'obstruction
- 4 dossiers de courantométrie (1186 à 1189)
- 1 carte marine renseignée (CM6651)

2.9.5. Conclusion

En conclusion, la zone étudiée n'offre pas un passage suffisant pour la circulation de navires de fort tirant d'eau (jusqu'à 13,75 m) entre les ports français du Nord (Dunkerque, Calais) et les ports belges (Anvers).

Deux autres voies pourront être reconnues :

- la première, entre le Dyck Oriental et le Binnel Ratel, a l'inconvénient d'être longue (4 milles), étroite (1 000 mètres), bordée de fonds dangereux (fonds découvrants de 2 mètres);
- la seconde est la passe du Ruytingen; apparemment plus praticable, elle comporte cependant deux seuils à 15 mètres, dont l'un est un goulet large de 0,4 mille seulement.

Chapitre 2.10

LEVÉ DE LA PARTIE SUD-OUEST DU BANC OUT RUYTINGEN

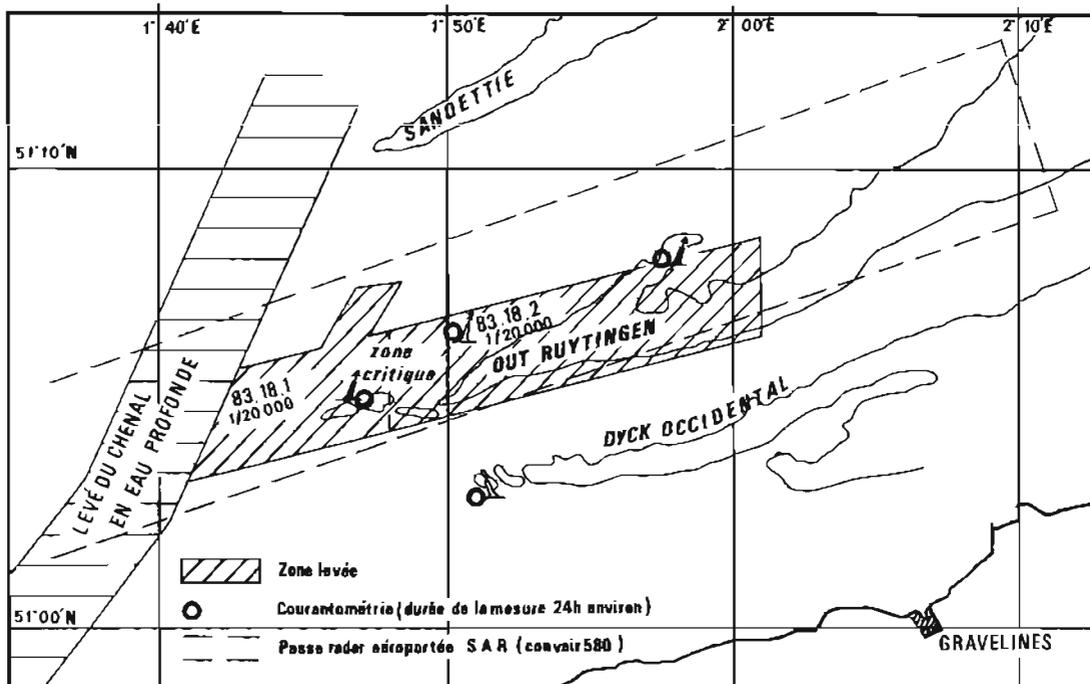
2.10.1. Généralités

Pour l'interprétation bathymétrique des données d'un radar imageur embarqué sur un avion Convoir 580, le BH1 *L'Espérance* a effectué le sondage de la partie Sud-Ouest du Banc Out Ruytingen. Le radar imageur était du type « à antenne synthétique » souvent appelé « radar SAR » (Synthetic aperture radar) par opposition au type de radar à antenne réelle souvent appelé « radar SLAR » (Side-Looking airborne radar).

2.10.2. Bathymétrie

Le levé a été effectué au 1/20 000 du 9 au 11 septembre 1982. Les zones les plus profondes ont été levées par *L'Espérance* au sondeur vertical et au sondeur latéral Edgerton. Les sommets des bancs ont été levés au sondeur vertical par les vedettes tous les 200 mètres sans recherches complémentaires.

Le levé a confirmé les sondages précédents effectués en 1974 (levé 75-16). Notons que les données aériennes n'ont pu être exploitées par l'Institut Français du Pétrole (IFP), la localisation de l'avion n'ayant pu être restituée. Cependant au paragraphe 2.10.6, nous rappelons les possibilités bathymétriques



PL. 2.10.1. — Zone du levé du Out Ruytingen.

attendues d'un radar imageur, possibilités déduites par l'IFP de l'étude comparée des données de radars à antennes réelles ou synthétiques et des données bathymétriques du SHOM. Rappelons que l'IFP étudie les données SAR depuis 1976 à l'occasion de plusieurs expérimentations dont certaines ont été menées dans un cadre européen. Les possibilités indiquées plus loin résultent des études les plus récentes dans le Pas de Calais — notamment celles sur le Out Ruytingen — et des données du radar imageur du type SAR embarqué sur le satellite Seasat en 1978.

2.10.3. Localisation au cours du levé bathymétrique

La chaîne Trident mise en place pour le levé du Pas de Calais a été utilisée. On se reportera au chapitre 2.9.

2.10.4. Marée

La marée a été observée à Dunkerque et à Calais et calculée sur zone à l'aide d'un modèle harmonique.

2.10.5. Documents transmis (fiche de levé 83-18)

- minutes de bathymétrie B20-1 et B20-2
- minutes de construction C20-1 et C20-2
- cartes marines renseignées 6651 et 6681
- 9 bandes de sonde verticale et 9 bandes de sonde latérale
- 4 dossiers de courantométrie.

| Dossiers N° | Latitude | Longitude | Date début | Date fin | Immersion/fond |
|-------------|-------------|------------|------------|----------|----------------|
| 1153 | 51°09'25" N | 2°19'30" E | 25.06.81 | 4.07.81 | 5 m/10 m |
| 1156 | 51°06'30" N | 1°50'10" E | 25.06.81 | 2.07.81 | 22 m/27 m |
| 8131 | 51°05'30" N | 1°49'56" E | 25.06.81 | 2.07.81 | 22,5 m/27,5 m |
| 8132 | 51°05'00" N | 1°48'48" E | 25.06.81 | 18.07.81 | 12 m/17 m |

Un radar imageur émet des ondes électromagnétiques dans la gamme (3-20 cm), perpendiculairement à l'axe de vol; il reçoit l'écho rétrodiffusé de la mer ou de la terre.

L'élément rétrodiffusant de la surface de la mer est le champ de vagues quasi capillaires (dont la longueur d'onde est du même ordre de grandeur que celle des trains d'ondes électromagnétiques). Ces vagues sont générées par le vent et contrôlées par la tension superficielle et la force de gravité. Le coefficient de rétrodiffusion est une fonction de la force et de la direction du vent, des écarts de température entre l'air et la mer, des divers mouvements de la surface de l'océan, enfin des couches laminaires visqueuses provoquées par le pétrole ou des matières organiques.

La rétrodiffusion permet ainsi d'étudier les vagues, le vent, la houle, les pollutions accidentelles, les ondes internes.

On a remarqué que les radars imageurs étaient sensibles à l'influence des fonds inférieurs à 60 m (voir la photo en planche 2.10.2). Ce phénomène est expliqué par l'effet des fonds sur les vagues de longueur centimétrique générées à la surface par les courants et le vent quand ceux-ci existent.

Possibilités bathymétriques des radars imageurs

La qualité de la visualisation de la morphologie des fonds dépend ainsi de facteurs : courants, vents, directions de la prise de vue..., dont l'influence n'est pas encore parfaitement quantifiée.

Un radar imageur ne peut rendre compte de la profondeur et ne peut remplacer un sondage bathymétrique. Il est cependant sensible aux ruptures et aux inversions de pente; ainsi un versant d'un ridain paraîtra en clair et l'autre en foncé. L'influence des ridains et des vagues de sable se traduit par des alternances de traits clairs et sombres. La qualité de la visualisation n'est pas liée à l'amplitude : des ridains à l'amplitude égale à 2 mètres pourront être plus visibles que des ridains d'amplitude égale à 6 mètres.

En conclusion, il est probable que les images d'un radar du type SAR permettront l'étude des déplacements éventuels de bancs de sable. Mais pour cette étude, compte tenu de l'influence variable du vent, des courants..., il est nécessaire de réunir des collections de prises de vue aux deux époques entre lesquelles on veut démontrer une évolution.

Chapitre 2.11

RECHERCHE D'UN HAUT-FOND DANS LE PAS DE CALAIS

Généralités

Le cargo *MV Silversky* avait signalé en octobre 1981 un haut-fond de 19,4 m en $L = 51^{\circ} 06'$, $8 N$; $G = 1^{\circ} 47'$, $26 E$ dans la voie SW-NE du dispositif de séparation du trafic dans le Pas de Calais.

Le BH1 *L'Espérance* a recherché cette obstruction le 11 puis le 16 septembre 1982 à l'occasion du levé de contrôle du Out Ruytingen.

Un ridain culminant à 20,5 mètres a été effectivement localisé à la position indiquée (en coordonnées Lambert 1, en $X = 561\ 600$ m; $Y = 379\ 715$ m, dans le système NTF).

Le levé antérieur de 1975 (minute 75-16-11) ne permettait pas de prévoir l'existence d'un tel ridain par fonds supérieurs à 25 m.

Localisation

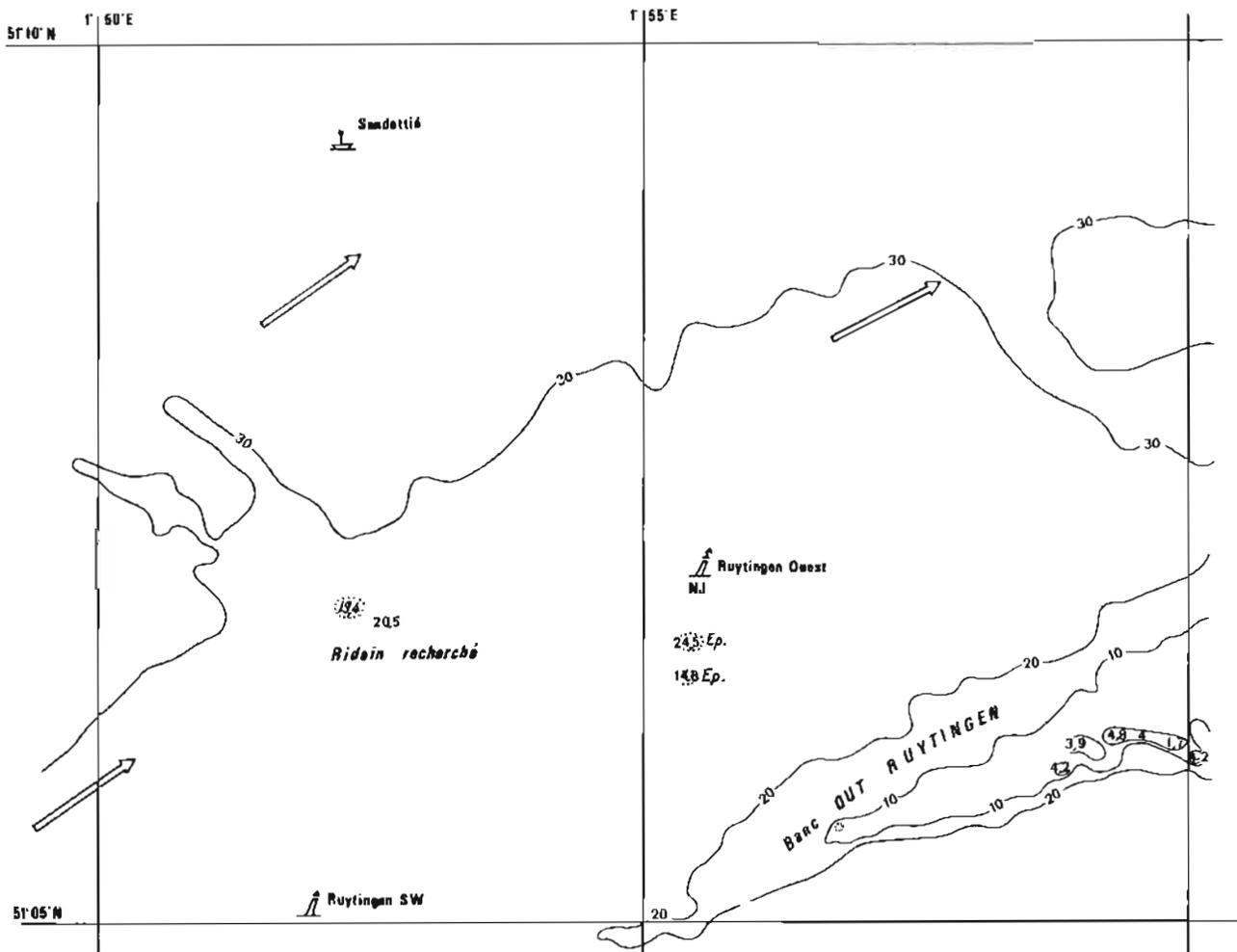
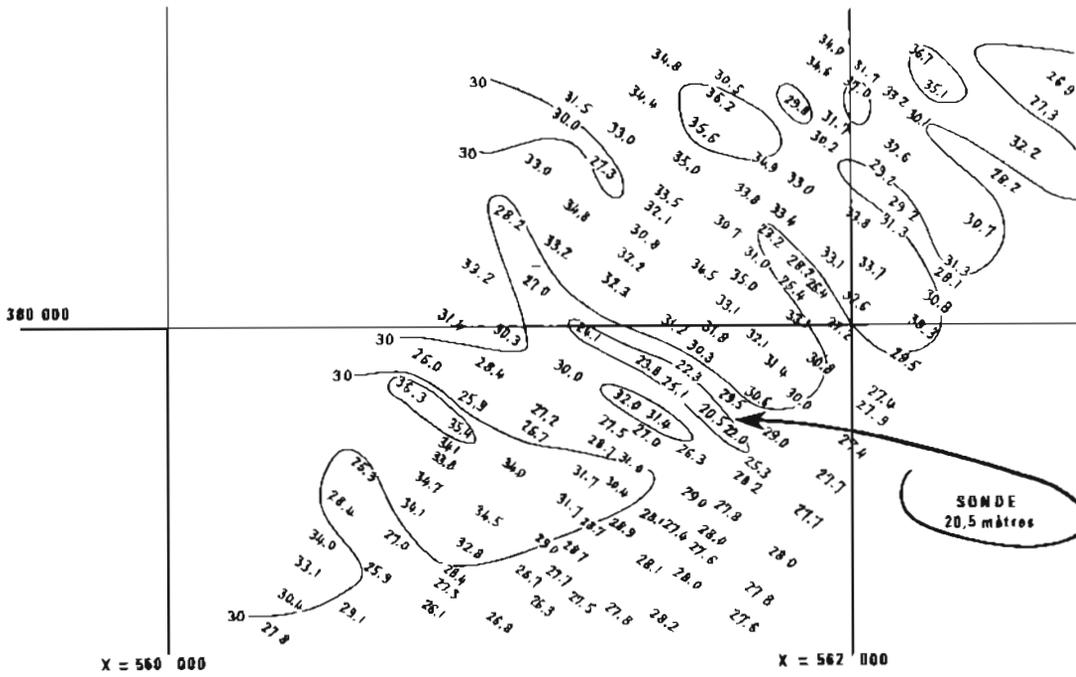
La localisation résultait de l'implantation Trident choisie pour le levé de Flandre.

Marée

La marée a été observée à Dunkerque, Calais et calculée pour la zone par le modèle harmonique.

Document rédigé

Voir la minute B20-1 « Banc Out Ruytingen » (levé 83-18)



PL. 2.11.1. — Recherche d'un haut-fond dans le Pas de Calais.
 En bas : situation générale du ridaïn.
 En haut : extrait de la minute B20 (1) du levé Out Ruytingen.

Chapitre 2.12

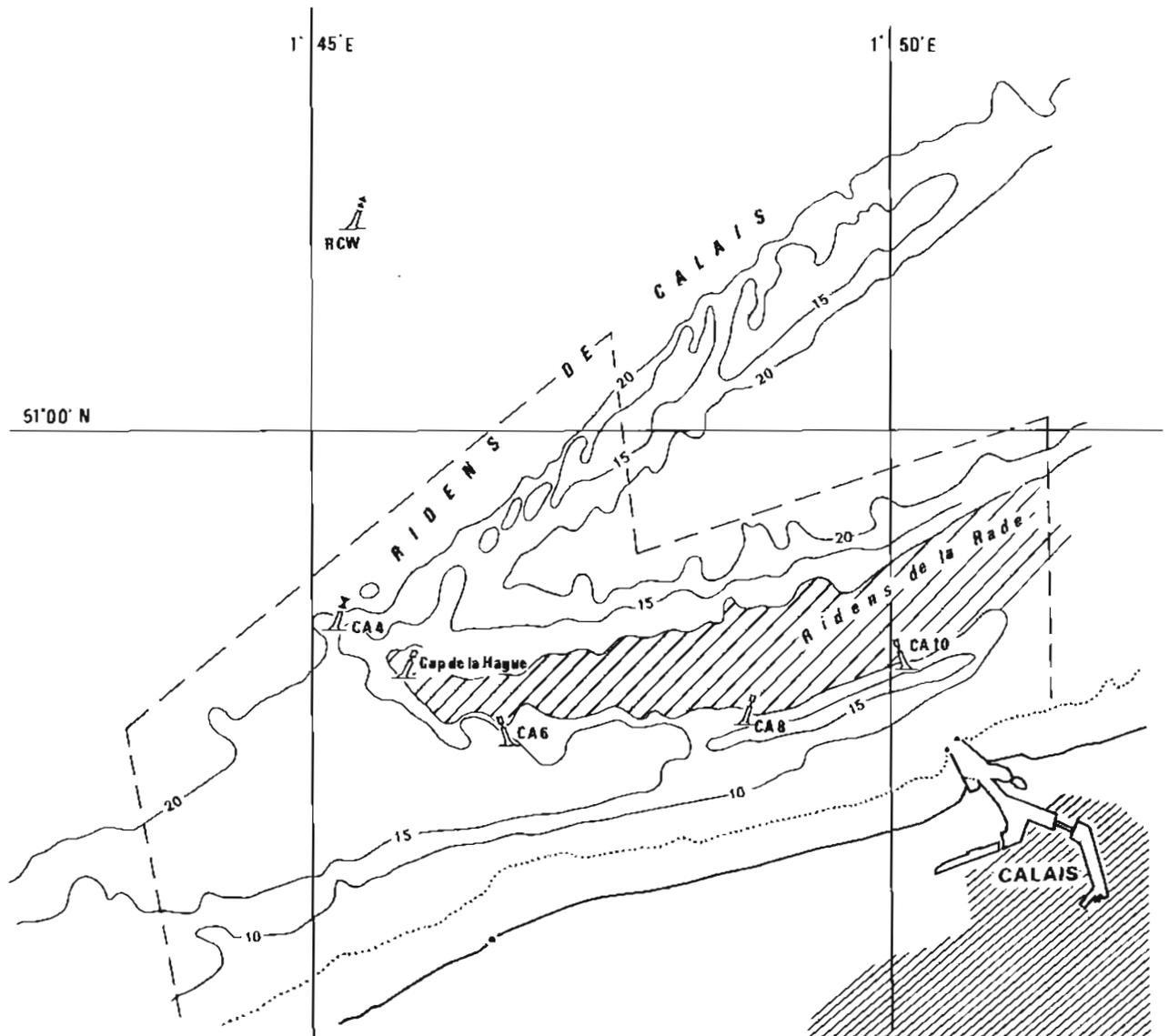
LEVÉ D'UNE ZONE DE RIDENS DEVANT LE PORT DE CALAIS

2.12.1. Généralités

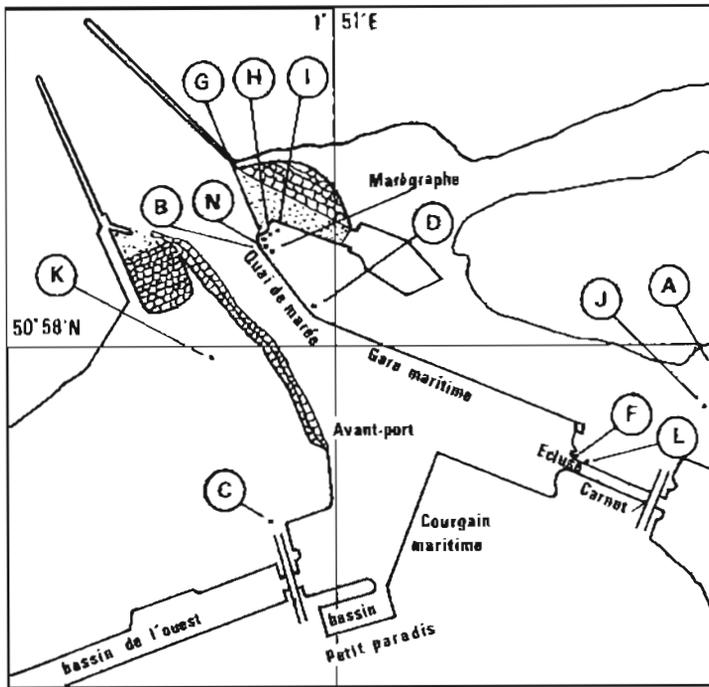
L'accès à Calais, en venant du large, se fait par un chenal long de 3 milles, délimité au Nord par les Ridens de la Rade qui rejoignent à leur extrémité occidentale les Ridens de Calais situés plus au Nord.

Les observations des pratiques depuis une vingtaine d'années, la comparaison des levés successifs entrepris par la mission en particulier depuis 1974 montrent deux évolutions à suivre :

- les mouvements dans la passe de dunes de sable pouvant culminer à 12,6 mètres, se déplacer de 200 mètres dans le sens du chenal mais aussi disparaître,
- et surtout le rapprochement vers la côte des Ridens de la Rade à une vitesse de l'ordre d'une dizaine de mètres par an.



PL. 2.12.1. — Situation générale du levé.
----- : limite du levé

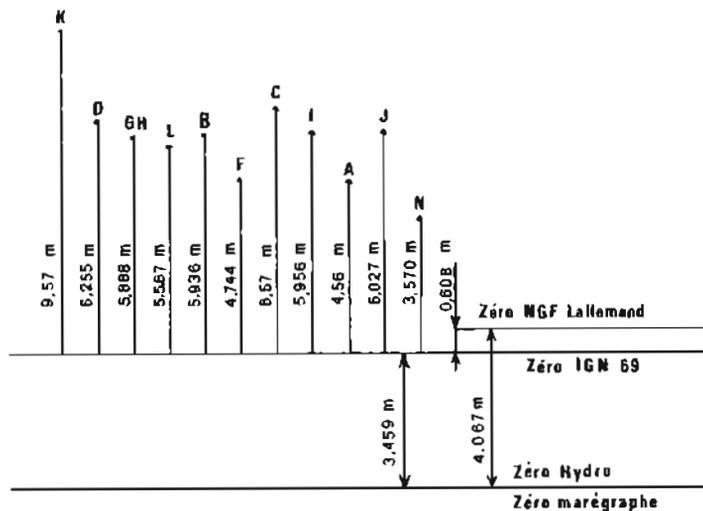


Situation d'ensemble
(éléments de la fiche d'observatoire du 5 octobre 1981)

Note :
- fiche du 1^{er} novembre 1979
- fiche du 29 août 1974

REPÈRES DE NIVELLEMENT

| Désignation | Description | Cote par rapport au niveau de réduction des sondes (mètres) |
|-------------|--|---|
| D | Repère IGN, Na L3-44 bis scellé dans le muret du calvaire à proximité de la capitainerie. Nouveau repère fondamental en 1981 | 9,714 |
| J | Repère IGN, scellé dans le mur dans un bâtiment de la gare maritime à 100 mètres du repère C | 9,486 |
| A | Repère IGN, Na L3-43 scellé dans le mur en retour d'un ponceau sur la dérivation du canal de Marck | 8,019 |
| C | Repère « Hydraulique du Nord » du fort Risban (IGN Nb H3 L3-48) | 10,029 |
| F | Sommet de l'échelle Carnot (graduation 10 mètres) | 8,203 |
| G | Rivet scellé près du marégraphe, matricule IGN Na L3-44-1 | 9,347 |
| H | 2 ^e rivet scellé près du marégraphe, matricule IGN Na L3-44-2 | 9,347 |
| I | Boulon MHA 1978 scellé près du marégraphe à l'extrémité Nord-Est du quai | 9,415 |
| B | Plaque métallique du puits du marégraphe, point de mesure à la sonde lumineuse | 9,395 |
| K | Repère SHOM scellé horizontalement dans le blockhaus sur la rive gauche du port derrière le fort Risban | 13,029 |
| L | Rivet scellé à proximité de l'échelle Carnot (dans le sol) | 9,026 |
| N | Sommet de l'échelle de 7 mètres dans le puits du marégraphe, (échelle en mauvais état) | 7,028 |
| Référence | Répertoire de nivellement Calais XXII-2 (édition 1978) | |



PL. 2.12.2 — Observatoire de marée de Calais L=50° 58', 1 N; G=1° 51' E).

La mission a effectué en 1982 un levé pour confirmer ce second phénomène. L'objectif fixé était l'étude du déplacement d'ensemble en particulier de l'isobathe 10 mètres pour les Ridens de la Rade, de l'isobathe 20 mètres pour les Ridens de Calais.

Un levé composé de profils espacés de 100 mètres a été effectué du 12 au 16 septembre 1982 par les deux vedettes du BH1 *L'Espérance*. Ce levé régulier, fait au sondeur vertical, sans sondeur latéral et sans magnétomètre a couvert l'ensemble des ridens mais aussi la totalité de la passe de Calais jusqu'au rivage, le port de Calais devant prochainement être agrandi.

2.12.2. Localisation

L'implantation des balises Trident est celle utilisée pour la recherche d'une voie côtière en eau profonde dans les Bancs de Flandre.

| Désignation des balises | Coordonnées Lambert 1 (en mètres) | | |
|-------------------------|--------------------------------------|------------|-----|
| | X | Y | Z |
| Phare de Calais | 566 067,68 | 362 660,25 | 58 |
| Phare de Gravelines | 584 038,73 | 367 312,09 | 28 |
| Mont Hubert | 556 771,50 | 358 389,00 | 159 |

2.12.3. Marée; observatoire de marée de Dieppe (planche 2.12.2)

Cet observatoire avait été entièrement contrôlé en 1981 à la demande du port de Dieppe qui notait une marée prédite dans l'annuaire trop forte. Il est probable que l'erreur de prédiction était due à un mauvais calage des marégrammes contrôlés par le port de Dieppe. A l'issue du contrôle effectué et des calculs de l'EPSHOM le niveau de mi-marée de Dieppe de 4,13 m au-dessus du zéro NGF a été ramené à 4,02 m dans l'annuaire de 1984. A l'occasion du contrôle, des nouveaux repères posés par l'IGN en 1981 ont été rattachés à l'observatoire. Un nouveau repère fondamental a été adopté.

Les sondages ont été réduits de la marée observée à Calais.

2.12.4. Evolution de la bathymétrie — Evolution d'ensemble

L'évolution des ridens est la plus frappante en étudiant (planche 2.12.3) le déplacement de l'isobathe 10 mètres entre 1975 et 1981; elle apparaît encore en considérant l'isobathe 15 mètres (planche 2.12.4); par contre l'isobathe 20 mètres n'a pas de mouvement d'ensemble, ce qui montre la stabilité des Ridens de Calais, délimités au Nord et au Sud par cette isobathe.

L'échelle du levé (1/10 000), l'absence de recherches ne permettent pas de bien étudier le déplacement des sommets culminant parfois à 2 ou 3 mètres au-dessous du zéro hydrographique. Il semble que leurs positions soient évolutives sur la crête sans que la côte de celle-ci se modifie.

Evolution des Ridens de la Rade (planches 2.12.3 et 2.12.4)

Entre les méridiens de la bouée « Cap de la Hague » et de la bouée CA6, l'isobathe 10 mètres de part et d'autre des Ridens de la Rade s'est déplacée vers le Sud de 20 mètres par an entre 1975 et 1981.

Entre les bouées CA6 et CA8, ce mouvement s'annule progressivement.

Au niveau de la bouée « Cap de la Hague » on note par ailleurs un engraissement des ridens : leur largeur définie par l'écartement des isobathes 15 mètres passe de 750 à 1 250 mètres.

A l'extrémité Ouest des ridens, on note l'apparition de hauts-fonds culminant à 10 mètres et remontant en direction des Ridens de Calais.

Evolution de la passe de Calais

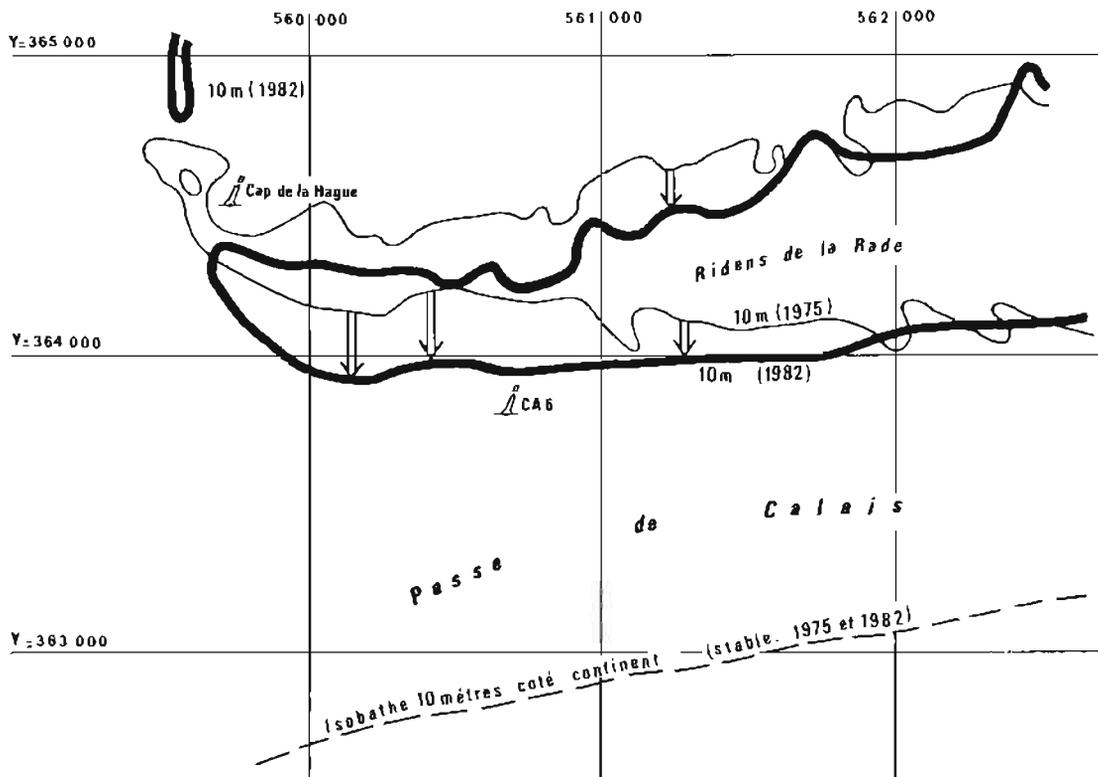
La passe de Calais n'évolue pas du côté de la terre (les isobathes 3, 5, 10 mètres sont stables).

A partir de la bouée CA8, la largeur de la passe est stabilisée malgré le mouvement descendant des Ridens de Calais plus à l'Ouest.

Certains reliefs inférieurs à 15 mètres dans la passe auraient tendance à disparaître.

2.12.5. Documents transmis (fiches de levés 83-6, 82-9)

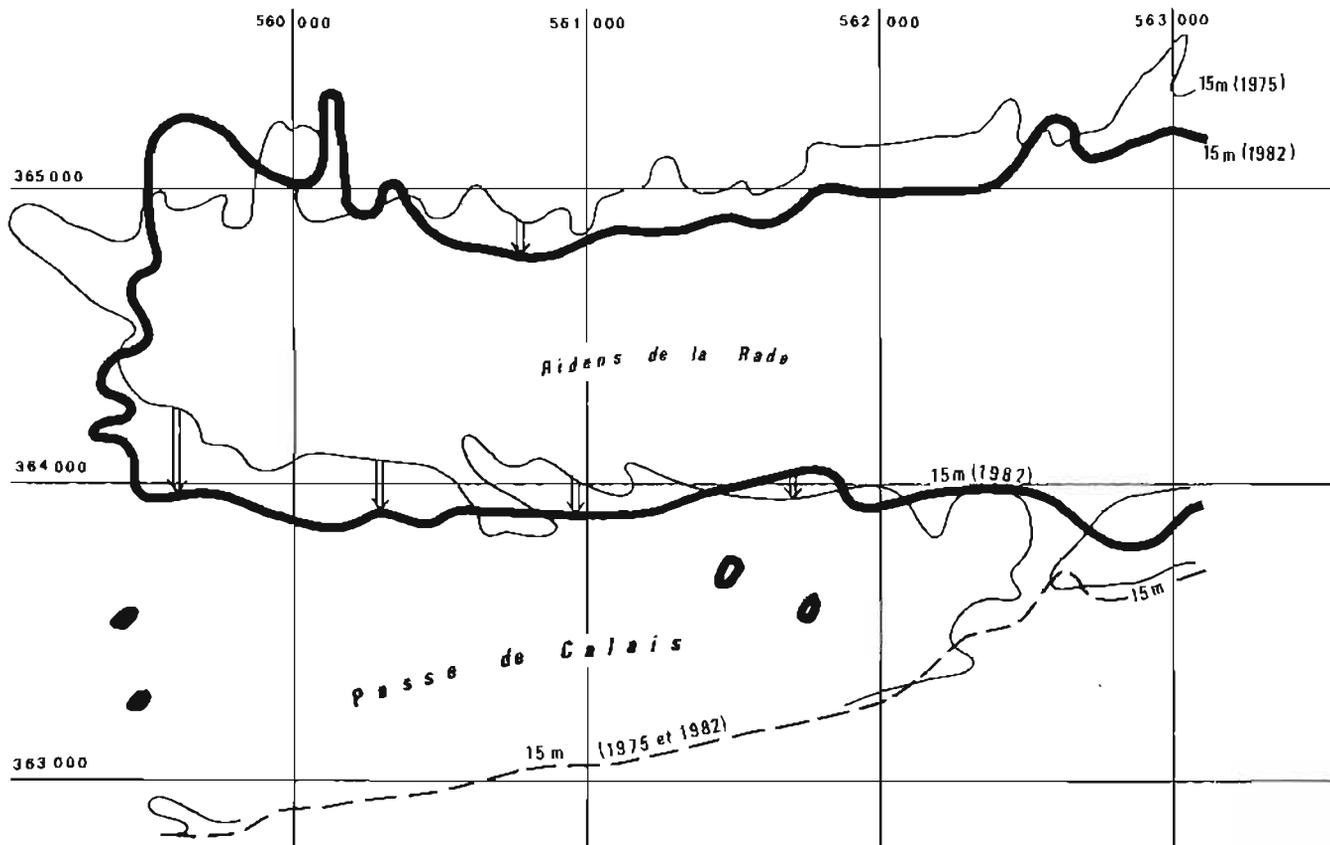
- une minute de bathymétrie au 1/10 000 (levé 83-6)
- la projection de construction correspondante
- les dossiers de courants CA 82-1 et CA 82-2



PL. 2.12.3. — Ridens de la Rade, à Calais. Evolution de l'isobathe 10 mètres entre 1975 et 1982.

A l'extrémité Est des ridens, l'isobathe 10 mètres évolue peu; par contre, à l'Ouest, le mouvement vers le Sud se révèle continu en comparant les levés successifs (1975, 1979, 1981, 1982).

A l'extrémité Ouest des Ridens de la Rade, noter l'apparition de nouveaux ridens culminant à plus de 10 mètres; les Ridens de la Rade ont tendance à se joindre à ceux de Calais.



PL. 2.12.4. — Ridens de la Rade : évolution de l'isobathe 15 mètres entre 1975 et 1982.

Notes: — la stabilité de l'isobathe 15 mètres au Sud de la passe,

— le mouvement d'ensemble vers le Sud des ridens,

— l'apparition (et la disparition) de certains reliefs.

L'échelle du plan carroyé en coordonnées Lambert permet d'apprécier les mouvements. (coordonnées exprimées en mètres).

- une minute de recherche autour de la bouée CA6 (levé 82-9)
- une fiche d'observatoire de marée.

2.12.6 Conclusions

Le levé régulier effectué en 1983 sur les Ridens de la Rade et les Ridens de Calais a montré une évolution bathymétrique importante à leur extrémité occidentale entre les bouées CA4 et CA6. Cette évolution s'atténue peu à peu et s'annule au niveau de la bouée CA8.

Le levé (un profil tous les 100 mètres) n'est pas assez resserré pour définir l'évolution des hauts-fonds sur les crêtes. Rappelons aussi que le levé n'avait pas pour but l'étude des obstructions (hauts-fonds, épaves) indiquées sur la carte marine en service au moment du levé.

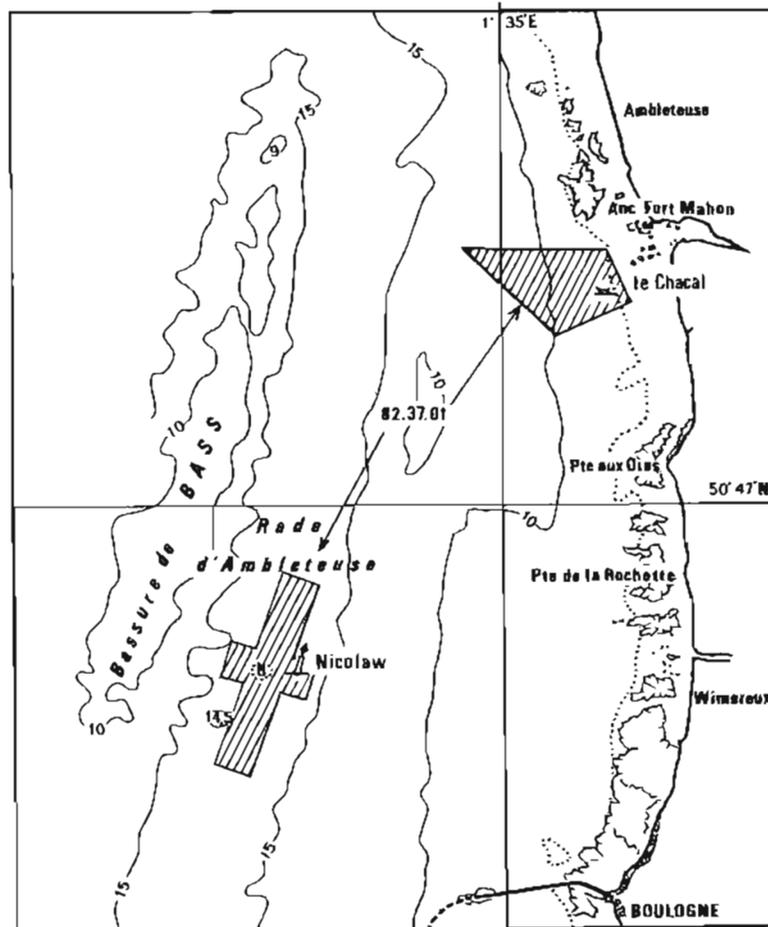
Chapitre 2.13

CONTRÔLE DU DÉGAGEMENT DES ÉPAVES CHACAL ET NICOLAW PRÈS DE BOULOGNE

Généralités

Le BH1 *L'Espérance* a contrôlé le 17 septembre 1982 le dégagement de deux épaves à proximité de Boulogne : le *Nicolaw* et le *Chacal*.

Les débris de l'épave du *Nicolaw* dépassent le fond de moins de 2 mètres, ceux du *Chacal* de moins de 1 mètre; ces derniers ne sont pas gênants compte tenu de gradient des fonds avoisinants.



Positionnement

Les points suivants ont été utilisés.

| Stations | Coordonnées Lambert 1 (en mètres) | |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------|
| | X | Y |
| Fort-Mahon (radioguidage) | 548 117,3 | 345 440,2 |
| Gris-Nez (Trident) | 546 923,15 | 352 459,6 |
| Mont Hubert | 556 771,50 | 358 389,0 |
| Pointe aux Oies (Trident) | 548 279,02 | 343 288,5 |

Marée

La marée a été observée à Boulogne.

Documents rédigés (levé 82-37)

1 minute de bathymétrie au 1/10 000

2 fiches d'épaves mises à jour.

Chapitre 2.14

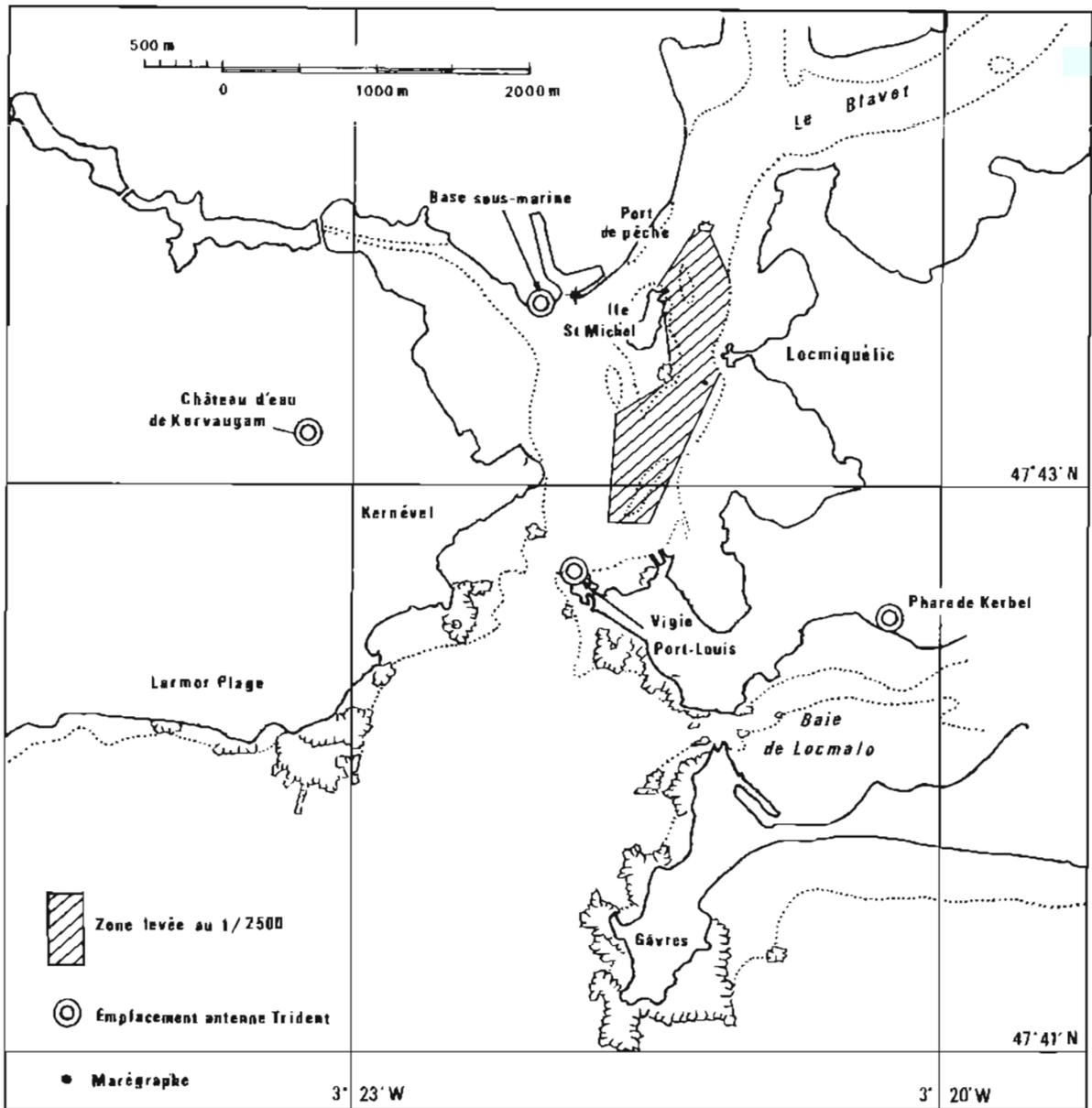
LEVÉ D'UN CHENAL À LORIENT

2.14.1. Généralités (Planche 2.14.1)

Un levé bathymétrique de vérification entre l'île St Michel à proximité du port de pêche de Lorient et la rive gauche du Blavet a été effectué en janvier 1983 par un petit détachement de 10 hydrographes et marins soutenu par la Base sous-marine de Lorient. Ce détachement disposait de deux vedettes du BH1 *L'Espérance*. Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée (seule une courroie d'alternateur a dû être changée). Les vedettes sont rentrées à Brest à l'issue du levé, par voie maritime, sous l'escorte du *Jaguar*, bâtiment de l'Ecole Navale.

Chronologie du levé

| Date | Personnel | Travaux effectués |
|---------------------------|---|--|
| du 08 au 10 novembre 1982 | 2 OMH — 2 élèves OMH — 2 stagiaires étrangers | Installation de l'observatoire de marée, nivellement de l'observatoire; reconnaissance et triangulation des emplacements pour les antennes Trident. |
| du 18 au 19 novembre 1982 | 1 OMH + 1 stagiaire étranger | Triangulation des antennes Trident (suite) |
| 16 décembre | | Mise en gardiennage des vedettes à la Base sous-marine après un transit de <i>L'Espérance</i> le 16 décembre. |
| du 03 au 06 janvier 1983 | 1 IETA — 3 OMH — 1 OM — 4 QM ou Mlot | Installation effective des antennes Trident : — au château d'eau de Larmor — sur le toit de la Base sous-marine — à la vigie de Port-Louis — au phare de Kerbel Mise en place des équipements de vedettes (sondeur, Trident, Sonal) |
| 06 et 07.01.83 | 3 OMH — 1 OM — 4 QM ou Mlot | Essais, sondage du levé régulier. |
| 10.01.83 | .. | Achèvement du sondage régulier et des profils traversiers. |
| du 10 au 13 janvier 1983 | .. | Recherches au Sonal |
| 14.01.83 | .. | Démontage des installations |
| 10 février 1983 | Equipage de <i>L'Espérance</i> | Retour des vedettes à Brest sous l'escorte du <i>Jaguar</i> |



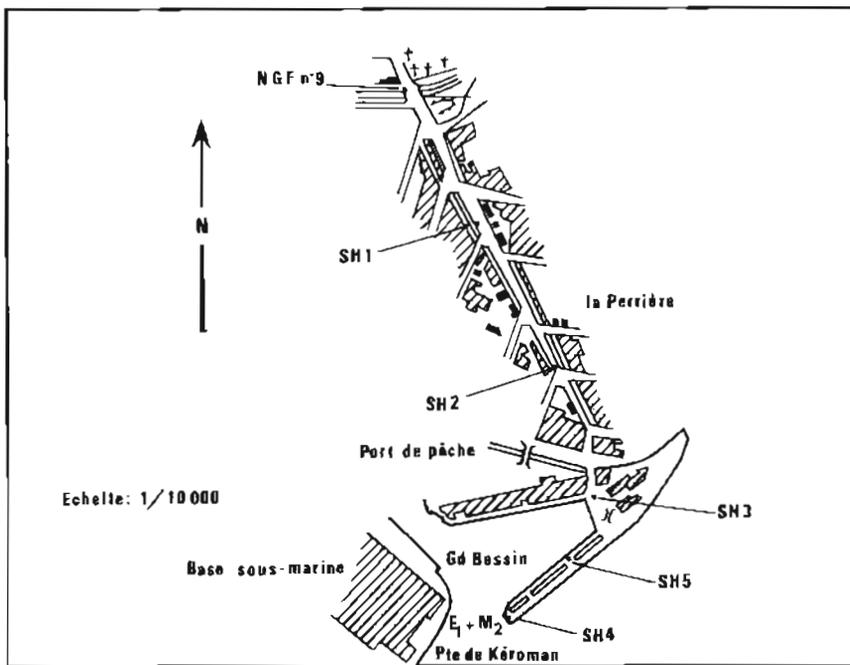
PL. 2.14.1. — Levé d'un chenal à Lorient, situation du levé.

2.14.2. Positionnement

Le positionnement des vedettes a été assuré en disposant une chaîne Trident aux emplacements suivants :

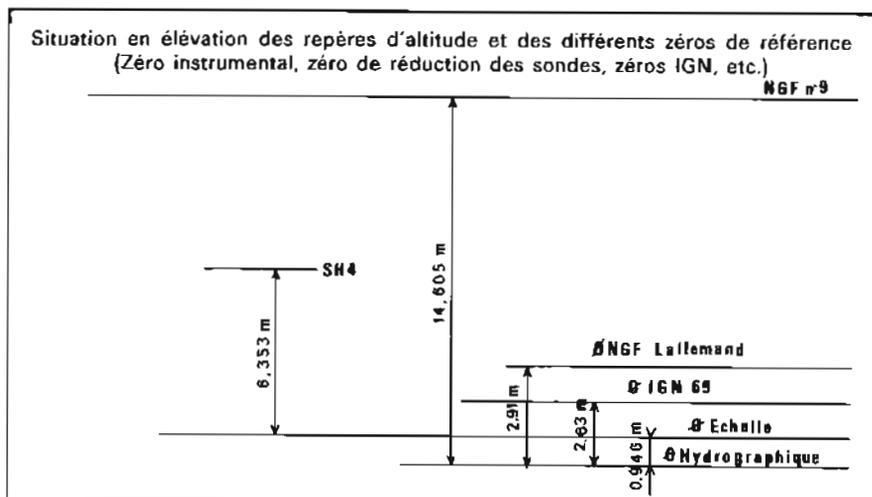
| Emplacement des balises Trident | Coordonnées Lambert 2 | | Altitude h (m) |
|---------------------------------|-----------------------|------------|----------------|
| | X (m) | Y (m) | |
| Chateau d'eau de Ker-vaugam | 170 915,1 | 317 809,4 | 82 |
| Base sous-marine de Ker-roman | 172 492,55 | 318 528,96 | 25 |
| Citadelle, vigie de Port-Louis | 172 517,32 | 316 798,29 | 15 |
| Phare de Kerbel (Riantec) | 174 562,06 | 316 387,13 | 30 |

Le point Trident a été étalonné par visées optiques sur la zone du levé, l'étalonnage préliminaire fait à Toulbroc'h ne permettant pas de réduire suffisamment les « chapeaux » des lieux de position.



Les éléments indiqués sont ceux de la fiche rédigée de 12 novembre 1982. Celle-ci ne comporte pas de changement par rapport à la fiche du 24 septembre 1980.

| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|-------------|--|--|
| NGF n° 9 | Repère NGF scellé dans le parapet de la voie ferrée du port de pêche de la Perrière | 14,605 m |
| SH 1 | Repère SH scellé au pied du tableau relais PTT en façade du « bar de la pêche et l'industrie » au coin de l'avenue la Perrière et de la rue Henri Estier | 10,049 m |
| SH 2 | Repère SH scellé entre le Crédit Maritime au coin de l'avenue Parmentier et de la rue Alphonse Rio | 11,687 m |
| SH 3 | Repère SH scellé dans le pied du pylone EDF situé devant le grand bassin du port de pêche | 6,559 m |
| SH 4 | Repère SH scellé dans le mur du feu vert d'entrée du port de pêche | 7,299 m |
| SH 5 | Repère SH scellé dans le pilier Nord de l'ancien silo à glace (le plus Est) de la jetée Sud du port de pêche | 7,391 m |



PL. 2.14.2. — Observatoire de marée de Lorient.

2.14.3. Marée (planche 2.14.2)

Un marégraphe Ott R16 et une échelle de marée de 6 mètres ont été installés le 10 novembre 1982 à l'extrémité de la jetée du port de pêche. L'échelle a été nivelée à partir des repères décrits dans la fiche d'observatoire établie en 1980 par la Mission Océanographique de l'Atlantique.

2.14.4. Bathymétrie

Le levé régulier se composait de profils espacés de 25 mètres. L'ensemble du chenal a été investigué au sondeur latéral et au sondeur vertical. Les sondes ont été réduites de la marée observée au port de pêche.

2.14.5. Documents rédigés (fiche de levé 83-17)

- 1 minute de bathymétrie au 1/2 500
- 1 minute de recherche au 1/2 500
- 10 fiches d'épaves (voir tableau ci-dessous)
- 1 fiche d'observatoire de marée
- 1 carte marine renseignée (CM 6470)

Obstructions détectées et investiguées

| Désignation | Coordonnées Lambert | | Brassage | N° Fiche |
|-------------|---------------------|---------|----------|-----------|
| | X (m) | Y (m) | | |
| Epave | 172 881 | 317 722 | 1,7 m | Nouvelle |
| " | 173 320 | 317 833 | 4,9 m | " |
| " | 173 121 | 317 859 | 0,3 m | 14573/064 |
| " | 172 967 | 317 454 | 8,0 m | Nouvelle |
| " | 173 757 | 318 605 | 2,1 m | 14573/046 |
| " | 173 363 | 318 372 | 0,4 m | Nouvelle |
| " | 173 377 | 318 809 | 1,5 m | " |
| " | 173 244 | 317 938 | 0,1 m | 14573/063 |
| " | 173 136 | 317 765 | 0,7 m | Nouvelle |
| " | 173 504 | 318 214 | 0,4 m | 14573/051 |

2.14.6. Conduite du levé

Le levé de Lorient a servi de test aux travaux par petit détachement sans le soutien rapproché d'un bâtiment hydrographique.

Le personnel a apprécié ce levé malgré les conditions de vie moins confortables que celles d'un bord : par exemple, la subsistance à terre à midi dans une unité ne s'est pas révélée compatible avec une activité hydrographique minimale, et les équipages ont préféré prendre les repas froids à mi-journée sur les vedettes.

Le moral est resté cependant au beau fixe; le soir, compte tenu de la mise en place progressive du traitement informatique des levés, le détachement, afin de contrôler le positionnement, effectuait la recopie des données Trident sur cassettes à l'aide d'une calculatrice HP 9835. Cette opération demandait deux personnes (1 hydrographe, 1 secrétaire); au cours du levé suivant, dans le Golfe du Morbihan, la mise au point de Hydrac, système d'acquisition et de traitement en temps réel a permis d'éliminer cette opération fastidieuse.

A titre documentaire, indiquons le personnel engagé et les concours reçus.

Personnel engagé dans le levé

| Personnel | Nombre | Observations |
|---------------------------|--------|---------------------------------------|
| Ingénieurs | 2 | 6 journées au total pour 2 ingénieurs |
| OMH | 3 | Pendant toute la durée des travaux |
| OM Mécanicien BMHA | 1 | " " " |
| QMM de <i>L'Espérance</i> | 3 | " " " |
| Matelot de la BMHA | 1 | " " " |

Concours locaux

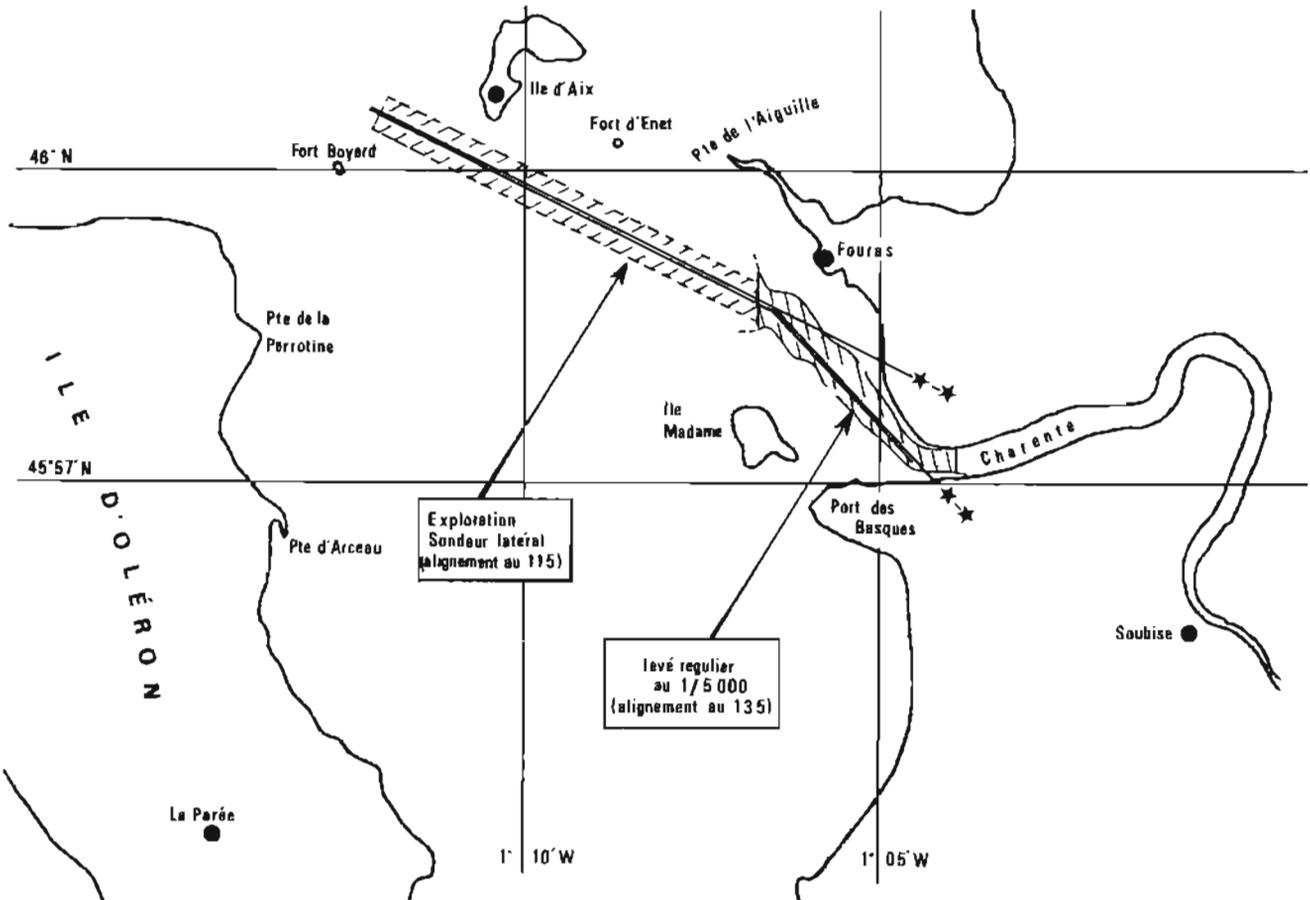
| Autorité | Concours |
|-----------------------------|--|
| Base sous-marine de Lorient | <ul style="list-style-type: none"> – Subsistance du personnel pendant les sondages – Mise à disposition de 3 chambres – Gardiennage des vedettes |
| Direction du Port | <ul style="list-style-type: none"> – Subsistance du personnel du 08 au 10 novembre – Subsistance du personnel du 15 au 19 novembre – Mise à disposition de radeaux pour l'installation du marégraphe. |
| Commissariat | Approvisionnement en gas-oil des vedettes (590 l) |

Chapitre 2.15

LEVÉ A L'EMBOUCHURE DE LA CHARENTE

2.15.1. Généralités

Un levé bathymétrique de vérification des alignements d'entrée de la Charente a été mené en janvier et février 1983 par le BH2 *Astrolabe* ainsi que la revue des amers dans les limites de la carte 6914.



PL. — 2.15.1. — Zone du levé. Implantation Trident à Fouras, Soubise, La Parée, Ile d'Aix.

| Calendrier du levé de la Charente | |
|-----------------------------------|---|
| Date | Observations |
| 18/1/83 | Départ de l'équipe à terre, mise en place de balises Trident, reconnaissance et triangulation des implantations Trident pour les recherches d'épaves de la zone « La Pallice » |
| 25/1/83 au 11/2/83 | Mission de l' <i>Astrolabe</i> ; début des sondages en vedettes de la Charente; début des recherches d'épaves dans le Pertuis d'Antioche par l' <i>Astrolabe</i> et ses vedettes. |

| | |
|--------------------------|--|
| 15/2/83 au 24/2/83 | Deuxième mission de l' <i>Astrolabe</i> . Fin du levé à l'embouchure de la Charente. Fin des recherches d'épaves (sauf de l'épave douteuse au NW de l'île de Ré). Revue d'amers dans les limites de la carte 6914. Démontage des balises Trident pour la recherche de l'épave au NW de l'île de Ré; début de la recherche, inachevée en raison de pannes Trident et de la présence de casiers. |
| 27/2/83 | Retour à Brest de l'équipe à terre. |

Le levé s'est bien déroulé malgré :

- des conditions météorologiques défavorables,
- un mouillage de l'*Astrolabe* inconfortable dans l'ESE de Fort Boyard à 6 milles de Port-des-Barques,
- la mise en subsistance de l'équipe à terre, formule peu viable pour un levé de courte durée, imposée pour des raisons budgétaires.

La difficulté essentielle a été cependant la réduction des sondages. A la rédaction il est apparu nécessaire en étudiant les profils du levé régulier et les profils traversiers d'adopter un retard progressif de la propagation de la marée de 0 à 20 minutes entre l'île d'Aix et Port-des-Barques.

La validité de cette adoption a été confirmée en consultant le document archivé à l'EPSHOM, intitulé « Etude comparative des hauteurs de marée » en Charente à partir de 1819.

Lors des futurs levés il sera cependant souhaitable d'observer effectivement le retard de la propagation en Charente.

2.15.2. Positionnement (planche 2.15.4)

L'alignement au 135 a été levé sur des profils espacés de moins de 50 mètres, radioguidés à partir des stations à Port-des-Barques et aux Fontaines Royales.

L'alignement au 115 a été sondé sur des profils Trident centrés sur le château d'eau de la Paré.

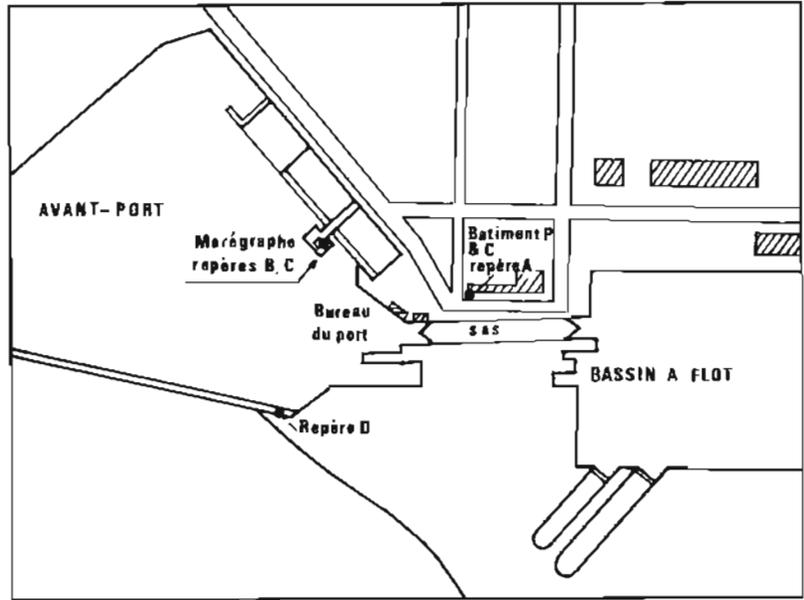
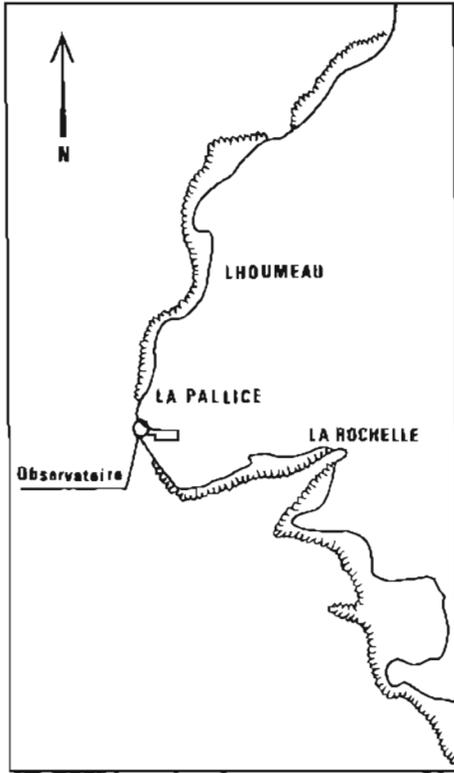
Le point était adopté au recoupement des lieux ci-dessus et des lieux Trident centrés sur les stations de Soubise, Fouras, Aix.

| Stations de radioguidage et implantation Trident : coordonnées | | | |
|---|---------------------|------------|-------|
| Désignation | (Système Lambert 2) | | |
| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| Radioguidage; piquet à Port-des-Barques | 335 988,48 | 111 194,67 | |
| Radioguidage; station aux Fontaines Royales | 337 262,46 | 111 517,32 | |
| Trident; château d'eau de la Parée | 322 349,23 | 104 955,02 | 50 |
| Trident; château d'eau de Soubise | 340 663,86 | 108 337,40 | 35 |
| Trident; château d'Aytre | 334 265,62 | 132 316,31 | 59 |
| Trident; tour de Fouras | 334 009,95 | 115 338,07 | 55 |

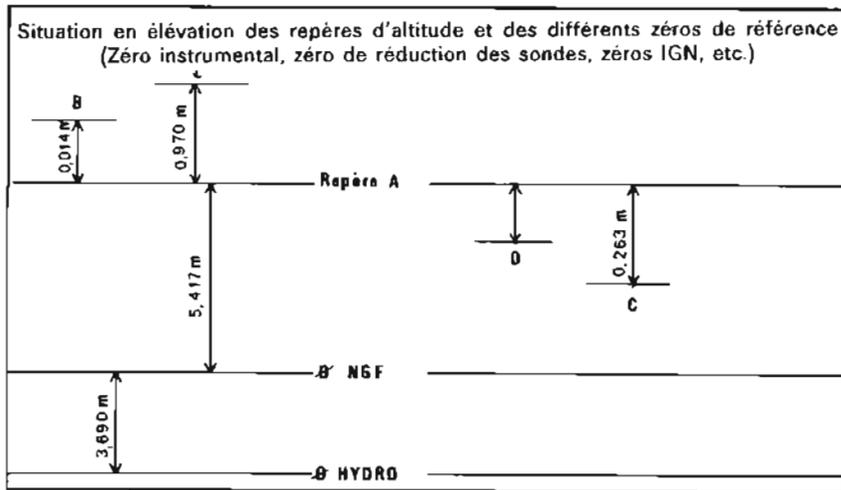
2.15.3. Marée (planches 2.15.2 et 2.15.3)

L'observatoire de La Pallice, port de référence de la zone de marée du Pertuis d'Antioche a été contrôlé; le zéro hydrographique de l'île d'Aix a été adopté par concordance au bout de 70 jours d'observation; les observatoires étaient contrôlés par les Ponts et Chaussées à La Pallice, la Subdivision Maritime de l'Equipement de Rochefort à Aix. La MHA a également fait des contrôles pendant 15 jours.

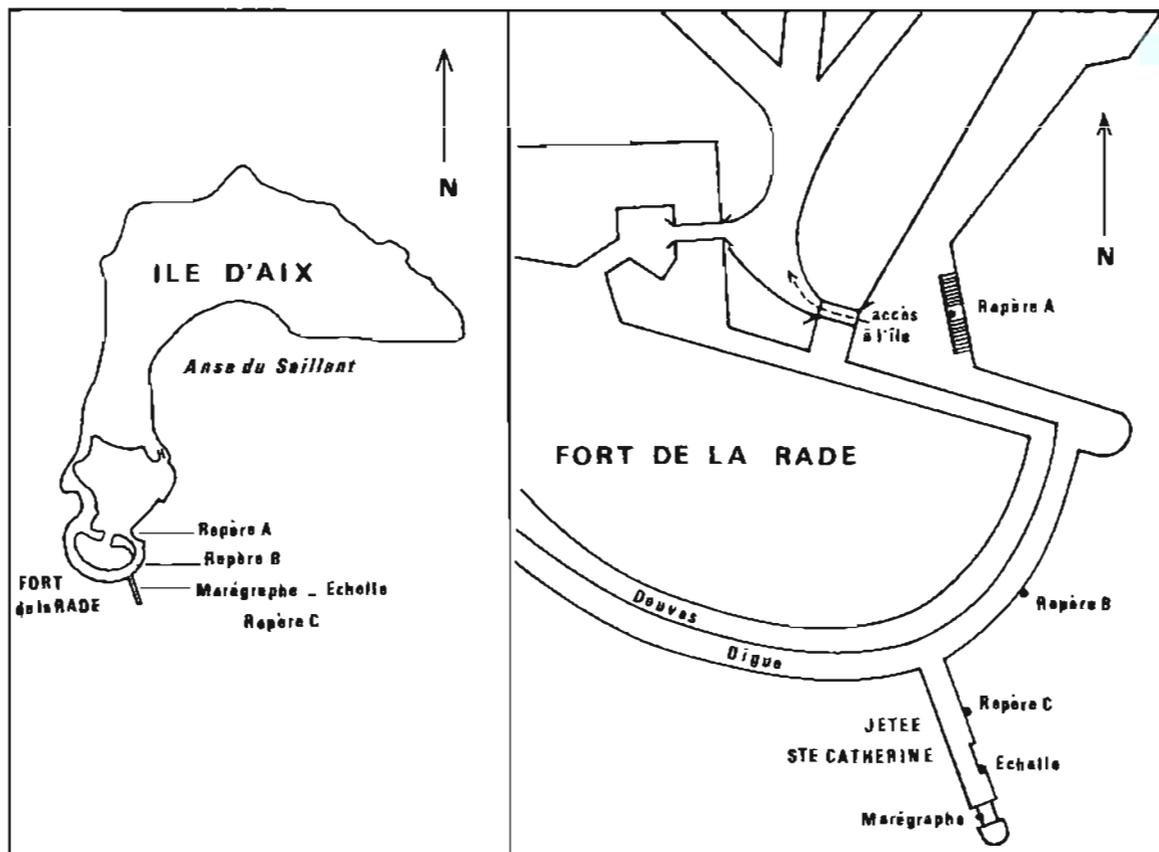
On notera que le zéro hydrographique adopté au cours de ce levé est 11 centimètres plus bas que celui de 1960.



| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|-------------|--|----------------------------|--|
| A | Repère fondamental, Repère NGF 6 F scellé sur le coin Ouest de la façade du bâtiment des Ponts et Chaussées maritime de La Pallice | +5,417 m | + 9,107 m |
| B | Repère NGH 7 bis scellé sur une borne dans l'abri du marégraphe. | +5,431 m | + 9,121 m |
| C | Repère NGF 7, 1 bis situé au bord du puits du marégraphe | +5,154 m | + 8,844 m |
| D | Repère S.H. scellé dans le parapet de la jetée Sud de l'avant port au niveau d'une passerelle menant à un ponton. | +5,370 m | + 9,060 m |
| L | Repère de la sonde lumineuse | +6,387 m | +10,077 m |

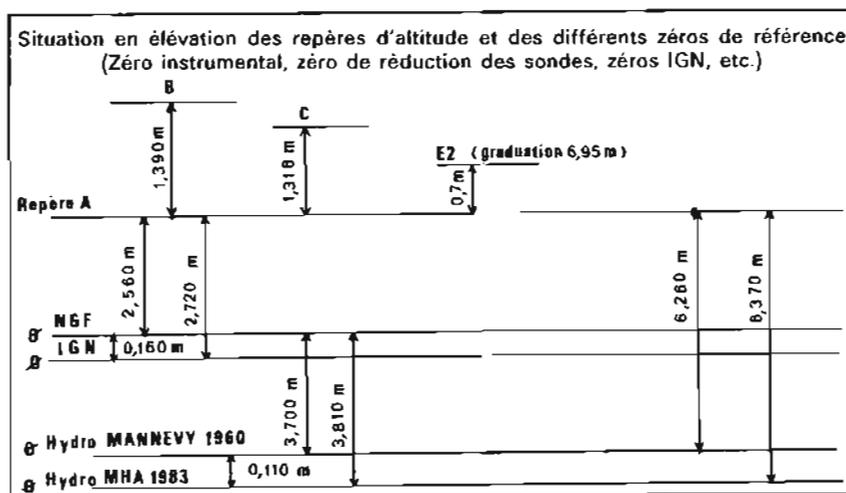


PL. 2.15.2. — Observatoire de marée de La Pallice. La fiche de marée (fiche du 26 avril 1983) confirme les données antérieures.

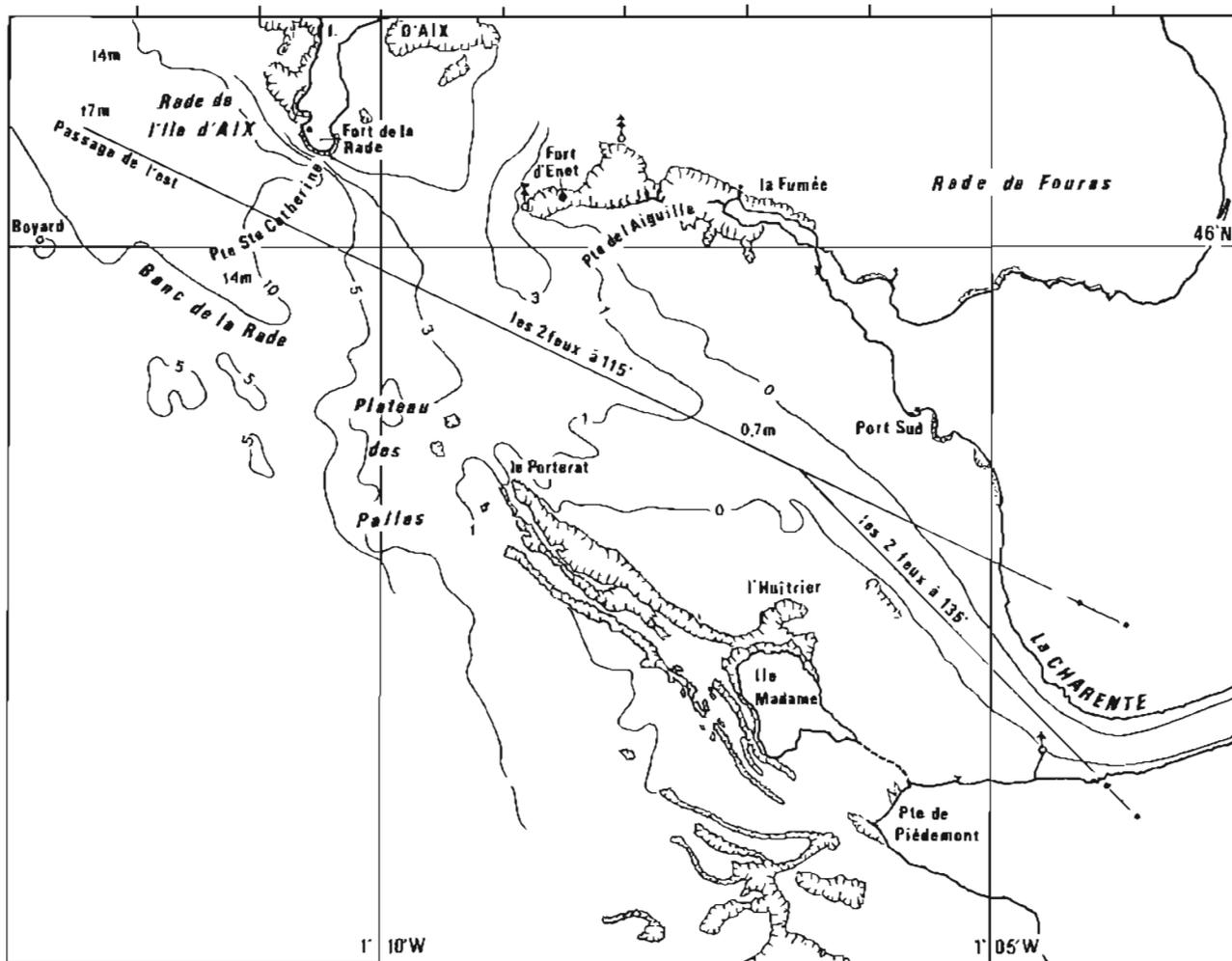


| Désignation | Description | Cote rapportée aux nivellements NGF et IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|-------------|--|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère A | Repère fondamental scellé au-dessus du palier du port de l'île d'Aix (Ancien repère C1 de la fiche d'observatoire de l'IHC Mannevy en 1960. Repère n° 5 des <i>Annales Hydrographiques</i> N° 738/1973 page 487) | + 2,56 | + 2,72 | 6,37 m |
| Repère B | Repère S.H. scellé en 1983 dans la partie verticale de la digue Ste Catherine | + 3,95 | + 4,11 | 7,76 m |
| Repère C | Repère S.H.O.M. scellé en 1983 dans la partie verticale de la jetée Ste Catherine | + 3,88 | + 4,04 | 7,69 m |

(1) Les repères A1 et B1 de l'IHC Mannevy (1960) ont disparu



PL. 2.15.3.



PL. 2.15.4. — Entrée de la Charente.

Observatoire de La Pallice (planche 2.15.2)

Les repères B, C, L ont été nivelés par rapport à A; le repère D n'a pas été utilisé.

Observatoire de l'île d'Aix (planche 2.15.3)

Seul le repère C1 de la fiche d'observatoire de 1960 (IHC Mannev) subsiste; ce repère a été rebaptisé A et pris pour repère fondamental.

Deux nouveaux repères (B et C) ont été scellés et nivelés par rapport à A.

2.15.4. Bathymétrie

Le levé régulier a été effectué au 1/5 000 (un profil tous les cinquante mètres), les sondes ont été réduites en adoptant la marée d'Aix avec des décalages de 0, 5, 10, 15, 20 minutes en fonction de la situation entre Aix et Port-des-Barques.

Le seuil du chenal de la Charente a peu évolué depuis 1960; on est toujours assuré d'avoir au moins 0,6 mètre d'eau dans le chenal. La rive Nord s'est déplacée de 30 mètres dans la direction du Sud-Ouest.

La profondeur du lit change peu jusqu'à l'isobathe 3 mètres, profondeur à partir de laquelle on note un envasement progressif qui atteint 1,5 mètre dans une fosse de 15 mètres au Sud d'Aix, fosse notablement réduite.

Lors de futurs levés il semble souhaitable d'éviter les sondages à marée basse, la courbe de marée étant alors déformée (erreur possible de 30 centimètres en tenant compte du temps de propagation de la marée).

2.15.5. Documents rédigés (levés 83.10)

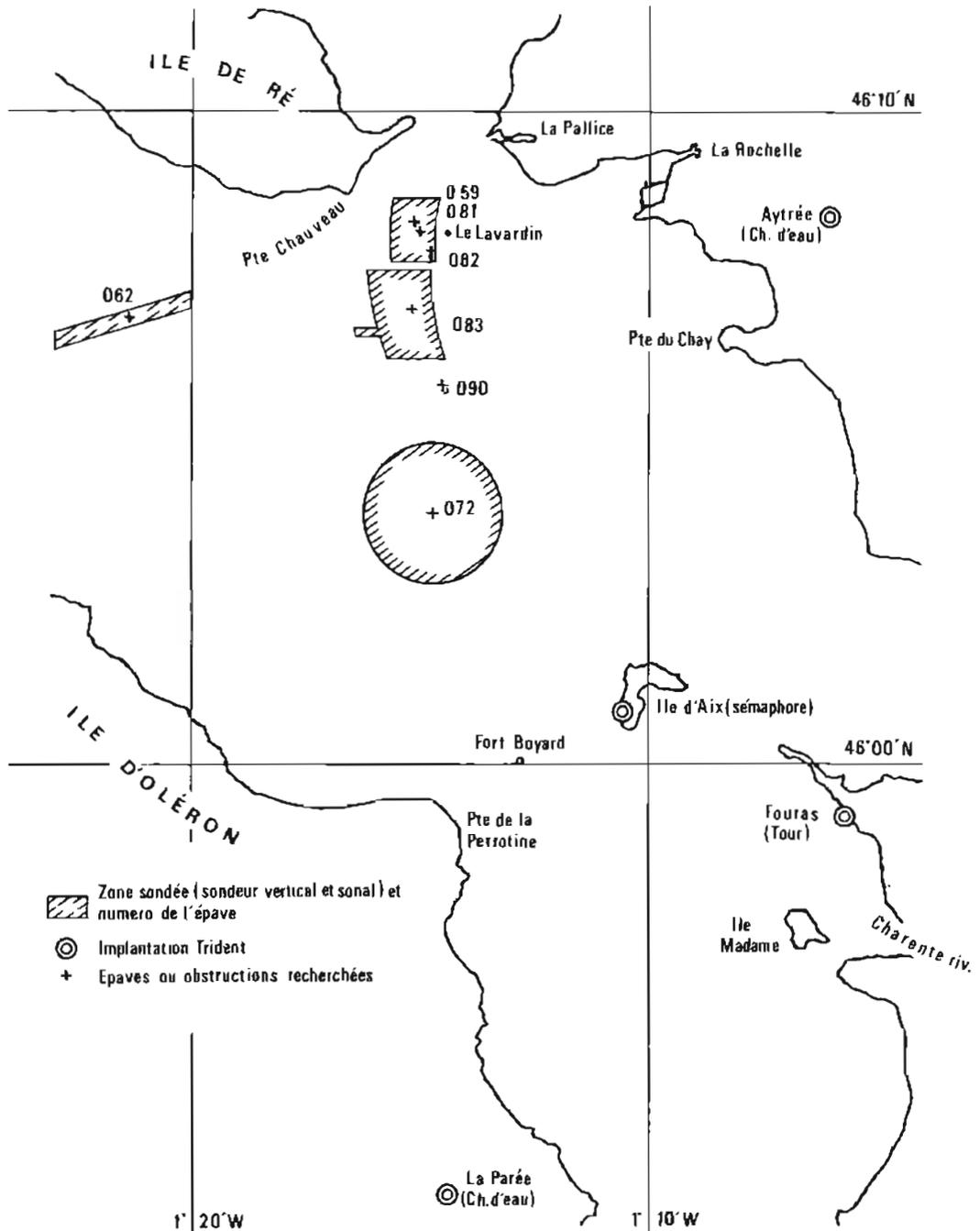
- 3 minutes de bathymétrie au 1/5 000
- 1 carte marine renseignée (6914)
- les fiches des observatoires de La Pallice et d'Aix
- 40 fiches d'amers et d'épaves (carreau Marsden 14569) (voir en annexe).

Chapitre 2.16

RECHERCHE D'ÉPAVES DANS LE PERTUIS D'ANTIOCHE

Généralités

A l'occasion du levé de la Charente, les recherches des épaves désignées planche 2.16.1 par leurs numéros dans le carreau Marsden 14561 ont été effectuées.



PL. 2.16.1 — Situation des recherches dans le Pertuis.

Epaves à proximité du feu du Lavardin

Une exploration au sondeur vertical et au sondeur latéral a été effectuée dans un rectangle long de 2 000 mètres et large de 1 300 mètres; aucune obstruction n'a été décelée; les obstructions des fiches 14561 (59, 81, 82) sont à supprimer des cartes marines.

Obstruction 14561-083 en L = 46°07' N; G = 1°15' W;

Cette obstruction (pile de béton cylindrique à la plus grande dimension égale à 3 m) par fond de 20 mètres n'a pas été retrouvée; elle peut être supprimée des cartes marines en raison de la proximité de fonds de 17 mètres.

Epave 14561-072 en L = 46°04' N; G = 1°15' W;

Malgré une recherche (sondeur, sondeur latéral), dans un cercle de 1 mille sur des profils espacés de 100 mètres, aucune épave n'a été détectée. Elle a été supprimée des cartes.

Epave 14561-062 en L = 46°07' N; G = 1°21' W;

Cette grosse épave à la position initialement douteuse a été rapidement localisée; elle est coupée en 3 parties. Située en (X = 314615 m, Y = 130550 m en coordonnées Lambert 2), de brassiage 18,8 m, elle ne présente cependant aucun danger pour la navigation en raison des fonds avoisinants.

Voilier 14561-090 en L = 46°06' N; G = 1°14' W;

Ce voilier a été retrouvé; il est couché sur le fond (hauteur : 1,1 m).

Obstructions 14561-092 et 93

Deux petites obstructions (hauteurs : 1 m et 1,5 m) ont été localisées. Leurs coordonnées sont indiquées en annexe 2.

Echo douteux 14561-087 à l'Ouest de l'île de Ré

Cet écho n'a pu être investigué dans un cercle de 1 mille et devra être recherché; un écho de brassiage 18,5 m a été localisé approximativement en L = 46° 20'N et G = 1°39'W.

Chapitre 2.17

RECONNAISSANCE HYDROGRAPHIQUE DANS LE GOLFE DU MORBIHAN

2.17.1. Introduction

Le levé du Golfe du Morbihan mené en 1983 est un levé de reconnaissance par un détachement d'une dizaine d'hommes disposant de deux vedettes hydrographiques de 9 mètres — les VH9 de *L'Espérance* — sans le soutien d'un bâtiment hydrographe.

Deux pôles d'intérêt étaient associés au levé : sans doute la mise à jour de la carte marine 3165 au 1/25 000 qui couvre l'ensemble du golfe mais aussi l'appréciation de la formule de levé par un détachement autonome équipé de moyens légers, formule la moins coûteuse, parfois la plus efficace, et qui devrait permettre une participation non marginale des collectivités locales ou administrations civiles au financement des levés.

Avant d'exposer les travaux hydrographiques effectués (3^e partie), l'organisation et la chronologie du levé (2^e partie), nous examinerons en première partie les divers avis sur la formule de levé par petits détachements.

Première partie : les levés par détachements autonomes

2.17.2. Généralités

Pour ma part, l'expérience que j'avais acquise à la Mission Hydrographique de Polynésie Française en 1968 lorsque je commandais la *Zélee*, ancien sardinier de 14 m, à l'équipage de 6 hommes, était une

des meilleures réponses au problème des levés de la frange littorale à condition d'organiser convenablement le programme d'activité en fonction du temps des transits, des contraintes liées au personnel, à condition de mettre en place à terre un soutien de qualité et de disposer d'hommes motivés et compétents.

Mais nous n'avions pas de *Zélée* en métropole. Les vedettes de *L'Espérance* ne pouvaient en effet lui être comparées car elles n'ont pas été conçues pour une navigation autonome. Par exemple :

- bien que très marines, elles ne disposent pas d'un abri de navigation véritablement étanche et suffisamment confortable,
- la circulation entre l'avant et l'arrière demande de l'attention pour ne pas tomber à l'eau,
- elles ne disposent ni de coin « repas », ni de couchettes.

Elles ne permettent donc pas un embarquement de longue durée, ce qui a des inconvénients financiers mais aussi hydrographiques puisque l'ambiance « pique-nique », sans doute sympathique, n'est pas, surtout en métropole le style de vie le mieux pensé. La nécessité de rejoindre un mouillage fixe et sûr — moins éloigné sans doute que celui qui aurait présenté des garanties suffisantes pour un bâtiment hydrographe — enlevait une partie de la souplesse qu'aurait donnée la *Zélée* au détachement. Celle-ci aurait mouillé, avec son équipage ou une partie de son équipage à bord, à Auray, à Vannes, au Logéo, au Crouesty, à Locmariaquer... : la connaissance hydrographique du golfe en aurait été accrue; l'impact d'une telle efficacité sur les populations riveraines et les professionnels du milieu maritime aurait été important.

Il était cependant utile de montrer qu'un levé pouvait être conduit avec nos vedettes hydrographiques actuelles (VH8 MP ou VH9) sans la présence d'un bâtiment hydrographe, tout en sachant qu'il était nécessaire de rechercher des solutions nautiques et des solutions administratives plus satisfaisantes.

Il faut en effet qu'un levé puisse être mené sans une préoccupation exagérée des finances; un levé doit avoir une certaine durée pour que le personnel parvienne à une bonne accoutumance et donc à une bonne connaissance de la zone; la rédaction doit pouvoir être menée dès le levé ce qui en améliore la qualité.

Quelques-uns des problèmes à ne pas oublier ont été analysés par mon successeur, l'ICA Souquière, à qui, en fin d'affectation, j'ai dû laisser la rédaction des travaux. Après avoir rapporté son analyse, il conviendra de citer aussi l'étude de l'IPA Laporte sur les levés par détachements faits en Grande-Bretagne par la Royal Navy.

2.17.3. Contraintes d'un levé par détachement confié à une mission disposant de plusieurs bâtiments hydrographes (ICA Souquière)

« L'expérience tentée dans le golfe du Morbihan en 1983, qui consistait à effectuer une ébauche de levé hydrographique avec une équipe détachée, sans le soutien rapproché d'un bâtiment ou d'un organisme militaire implanté à terre, peut être considérée comme réussie.

Un des facteurs essentiels de cette réussite a été l'absence presque totale d'incidents dans le fonctionnement des équipements et du matériel si l'on excepte une panne d'alternateur qui a pu être rapidement réparé à l'aide d'un équipement de rechange acheminé depuis Brest (quelques heures de transit par la route). Il convient de ne pas sous-estimer également, dans cette réussite, la faiblesse des objectifs à atteindre, fixés par les instructions techniques, et l'important travail accompli lors des reconnaissances préliminaires, qui aurait de toutes façons été effectué si les travaux avaient dû être conduits avec le soutien rapproché d'un bâtiment.

Parmi les facteurs positifs, il est aussi utile de préciser que le personnel qui a participé aux travaux a beaucoup apprécié les conditions de vie (en demi-pension dans un hôtel) et de travail (très grande liberté et plus de responsabilités) qui lui étaient offertes.

Cette expérience ne doit pas être considérée comme entièrement nouvelle, car les missions opérant outre-mer sont parfois obligées d'effectuer certains travaux dans des conditions analogues, comme par exemple la Mission Océanographique de l'Atlantique aux Antilles, sans oublier les Missions Hydrographiques de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie Française maintenant dissoutes.

L'hébergement du personnel de la mission dans un hôtel pendant la morte saison n'a pas posé de problèmes. Il est certain qu'il n'aurait pu en être de même, compte tenu du site, pendant les périodes de vacances scolaires, que ce soit en hiver ou en été.

Le rythme d'activité des bâtiments de la Mission Hydrographique de l'Atlantique, 160 jours par an, ne laisse aucune possibilité, compte tenu du volume du personnel hydrographe de la mission, de conduire des levés de ce type et d'exploiter les résultats recueillis, si ces travaux viennent s'ajouter à ceux normalement confiés aux bâtiments. Il convient donc, dans le contexte actuel, de n'effectuer des travaux avec une équipe détachée que lorsque la présence sur zone du bâtiment de soutien n'est pas envisageable



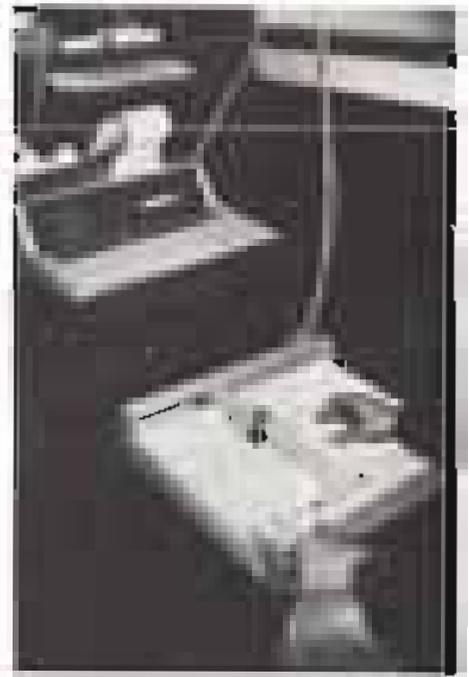
Le VH9, vedette embarquée sur le BH1 *L'Espérance*



La Zélee à Paea (Tahiti) en 1968

sur le plan nautique (absence d'abri ou de mouillage forain praticable), ou bien lorsque la durée des indisponibilités des bâtiments dépasse les normes habituelles (prolongation d'une IPER ou indisponibilité accidentelle). L'entretien courant d'un bâtiment est en effet souvent compatible avec un mouillage forain, tandis que le renfort de personnel attribué en 1978 à certains bâtiments permet déjà, dans la pratique, d'accorder à la quasi totalité du personnel les permissions auxquelles il peut prétendre.

Pour revenir à l'expérience conduite en 1983, il faut souligner que la limitation du volume des frais de mission attribués pour cette opération a constitué une gêne très sensible dans l'organisation des



— midi pause à la café Nord du Logco

Dans la vedette la *Charité*, le système prototype de Hydral.

Noter en particulier :

— la calculatrice HP 83 et la table traçante.

travaux, bien que les dépenses occasionnées par les reconnaissances préalables n'aient pas été comprises dans l'enveloppe globale ».

2.17.4. Les « boat parties » de la Royal Navy par l'IPA Laporte

2.17.4.1. Généralités

« Pour les travaux ponctuels dans les zones abritées, les bâtiments hydrographiques de la Royal Navy détachent fréquemment une fraction de leurs équipages afin de procéder à des levés indépendants avec des moyens hydrographiques légers. Ces détachements appelés « boat-parties » peuvent opérer pendant d'assez longues périodes sans aucun soutien de leur bâtiment et sous le contrôle distant de l'autorité maritime la plus proche »

2.17.4.2. Fréquence, durée, rythme de travail

Les « boat parties » ont toujours lieu pendant la bonne saison. Leur durée moyenne est de 30 à 40 jours avec des minimums de trois semaines et des maximums de trois mois. Une douzaine de « boat-parties » sont programmées annuellement et la tendance serait à les augmenter.

Lors de la construction des BH de 3 000 tonnes (classe Herald), une mission permanente baptisée « U.K. boat party » avait été constituée à Taunton. Cette mission disposait de deux vedettes, d'un petit état-major (trois officiers hydrographes) et d'un équipage. Elle opéra pendant deux années consécutives.

Les équipes détachées travaillent six jours par semaine et se reposent sur place.

2.17.4.3. Composition

D'ordinaire, le détachement comprend un officier hydrographe et huit hommes dont deux mécaniciens. Il dispose d'une vedette de 9,50 m, d'une vedette de 5,50 m et d'une Land Rover.

Des missions plus importantes disposant de deux vedettes de 9,50 m sont parfois constituées.

Deux officiers dont l'officier en second du bâtiment sont alors détachés (il y a entre 5 et 7 officiers sur les bâtiments côtiers de la classe Bulldog, bâtiments de tonnage 1 100 tonnes).

2.17.4.4. Préparation, logistique

L'officier responsable de la « boat-party » effectue une reconnaissance préalable, se fait prêter une salle de dessin par les autorités portuaires et passe une convention avec un hôtel local pour l'hébergement de son équipe.

Le personnel détaché reçoit une indemnité journalière de 20 à 25 Livres Sterling; les repas sont pris ou préparés à l'hôtel.

L'équipe opère toujours en tenue civile (traditions britanniques et souci d'éviter les uniformes sales). Bien qu'il y ait en principe quatre couchettes sur les vedettes de 9,5 m, on ne couche jamais à bord.

2.17.4.5. Mise en place, soutien à distance

L'équipe est généralement mise en place par le bâtiment qui en profite, le cas échéant, pour installer un mouillage. Les embarcations peuvent également être acheminées par la route et recevoir un poste dans une marina.

L'officier responsable contacte de temps à autre son bâtiment quand celui-ci est à la mer, et l'autorité maritime locale la plus proche (incidents techniques, dépannages, fourniture de rechanges).

2.17.4.6. Responsabilité

Le Commandant du bâtiment est responsable en dernier ressort de l'organisation de la « boat-party ». C'est lui qui signe les minutes d'écriture (toujours rédigées sur place).

Le bâtiment peut opérer fort loin de son détachement, il peut également être en période d'indisponibilité, ce qui lui interdit toute possibilité d'intervention.

2.17.4.7. Conclusions

La Royal Navy se félicite du système des « boat parties » : il est peu coûteux, il lui permet de maintenir une présence et d'avoir de bonnes relations dans les ports.

Ce système permet également de confier des responsabilités à de jeunes officiers et aux hydrographes d'apprendre leur métier dans de bonnes conditions pratiques.

Les équipages sont extrêmement favorables à ces détachements : la menace de renvoi à bord d'un élément indésirable semble suffisante pour assurer une très bonne discipline ».

2.17.5. La Zélée

Je ne prétends pas qu'un bâtiment de la taille de la *Zélée* (14 m) soit la solution optimale à tous les besoins de l'hydrographie côtière; cependant un bâtiment de cette taille aurait une activité toute tracée (voir le paragraphe 6) sur les côtes de l'Atlantique pendant toute son existence si on lui donnait un équipage et un régime d'activité adaptés.

Cette appréciation s'appuie en particulier sur l'activité en Polynésie de la *Zélée* n° 4. L'arrivée de cet ancien sardinier fut saluée comme un « heureux événement » par le LV Bordier, directeur de la MHPF (Mission Hydrographique de Polynésie Française) de 1963 à 1965. La fin de ce navire (échouage au cours d'un transit) fut de même regrettée : « sa perte priva la mission d'une partie importante de ses moyens » (ICA Boulard, 1969).

Rappelons dans le tableau suivant les caractéristiques essentielles de ce petit navire, utilisé en Polynésie Française, aux Australes, aux Tuamotu, et jusqu'aux Gambiers, à 900 milles de Tahiti.

Tableau des caractéristiques essentielles de la *Zélée* n° 4

| | |
|---|---|
| <p>Longueur : 14 m Tirant d'eau : 0,7 m Moteur diesel de 60 ch Vitesse maximale : 7 nœuds Autonomie (sans fût de gas-oil sur le pont) : 400 M Coque en bois doublée de cuivre Embarcation : 1 plate 1 Bombard Equipage : 6 à 7 hommes</p> | <p><i>Equipements hydrographiques</i> – 1 sondeur Kelvin Hugues petit fond – 1 compresseur d'air pour scaphandre autonome</p> <p><i>Aménagements</i> – 1 cabine couverte pour le quart – 1 cabine arrière avec 4 couchettes – 1 coin repas</p> <p><i>Faiblesses :</i> autonomie; confort insuffisant pour de longues traversées; coque exigeant un contrôle périodique</p> <p><i>Qualités :</i> – vedette de sonde autonome – base itinérante en travaux géodésiques</p> |
|---|---|

2.17.6. Obstacles à la création d'une mission équipée de moyens légers

Etudions les obstacles éventuels à la création d'une mission disposant de moyens légers et en particulier de vedettes de taille inférieure ou égale à 15 m.

2.17.6.1. La sécurité ?

Le souci de la sécurité peut être un premier obstacle à la solution de l'hydrographie côtière par de petits bâtiments. Cette solution a été en fait souvent adoptée et il ne faut pas en exagérer la précarité.

Ainsi :

- les travaux en Polynésie de la *Zélée* n° 3, ketch de 12 mètres, de 1947 à 1964, ont été effectués sans incident de mer sous la direction de Nay, Vallaux, Bonzon, D'Anglejean-Chatillon, de Batz de Trenquellion,
- les travaux en Polynésie de la *Zélée* n° 4 entrepris en 1964 ont sans doute été interrompus en 1969 mais son échouage accidentel n'est pas lié à la taille du navire,
- les missions outre-mer, la Mission Océanographique de l'Atlantique, mènent souvent des levés à l'aide de vedettes sans le contrôle du bâtiment principal.

Il est intéressant de noter que le levé des ridens de Calais par les vedettes de *L'Espérance* en 1982 (levé du chapitre 2.11) a été conduit alors que le bâtiment était dans un bassin à flot à Calais, donc sans possibilité d'intervention. Le Commandant, avant de rentrer dans le port, avait conclu que de toute manière, en cas d'accident des vedettes, il ne pouvait intervenir du fait du tirant d'eau de *L'Espérance*; il était donc inutile d'immobiliser « sur zone » un bâtiment pour une surveillance qui était mieux assurée par la deuxième vedette et par le port de Calais sur fréquence VHF.

Rappelons — en ce qui concerne la *Zélée* — que celle-ci avait été dotée en 1968 d'un canot pneumatique Bombard en conteneur et qu'elle avait donc sa propre capacité de sauvetage.

2.17.6.2. Le confort, les conditions de vie à bord ?

Les conditions de vie et de travail à bord d'un navire de quatorze mètres sont souvent rustiques : pendant les transits, l'état de la mer est parfois éprouvant, pendant les escales, l'espace de vie à bord est confiné.

Pour résoudre ce dernier aspect, sur la *Zélée* n° 4, l'équipage était logé à terre dès l'arrivée en escale sauf si la sécurité exigeait une présence à bord.

Rapportons les termes de M. Arnaud de Batz de Trenquellion, montrant que la *Zélée* n° 3 — et probablement tout bâtiment de cette taille — n'était, ni apte à toutes les missions, ni supportable par tous.

« Si les moyens en personnel étaient des plus réduits, les moyens en matériel ne leur cédaient en rien, quant à la rusticité, et si la *Zélée* avait pu constituer un moyen de transport pénible mais suffisant à l'époque de la Mission géodésique des Tuamotu, elle devenait trop exiguë pour assurer le transport du personnel et du matériel de notre mission. La *Zélée* ne devenait plus que le moyen occasionnel employé par le Chef de mission pour procéder avec l'équipage du bord à des travaux préliminaires ou à des reconnaissances ».

En définitive, l'analyse des conditions de vie d'un détachement mettant en œuvre un petit bâtiment est essentielle. Ces conditions sont parfois rudes et ne sont bien supportées que par un personnel motivé et volontaire.

2.17.6.3. La logistique ?

La logistique (frais de déplacement, hébergement, transport, organisation de l'activité, rédaction des travaux) est aussi un sujet essentiel mais il est prématuré de traiter ce problème tant les solutions possibles sont diverses. On peut, par exemple concevoir :

- une mission disposant de vedettes autonomes dont le port de base serait Brest pendant toute leur existence,
- une mission disposant de vedettes autonomes rattachées à une autorité maritime (à Dunkerque, Cherbourg, Lorient, La Pallice...) pendant 2 ans ou plus, de manière à faire coïncider la durée de l'affectation d'un équipage avec la zone d'opération de la vedette. Cette disposition assouplira l'organisation de l'activité et diminuera les transits et les contraintes financières.

On pourra doter la mission d'un appui terrestre mobile adapté au logement du personnel et à la rédaction des travaux afin de diminuer les frais de déplacement et de permettre une rédaction pendant le levé.

2.17.6.4. Le besoin ?

Le besoin de petits bâtiments aptes à naviguer isolément peut être apprécié en étudiant l'emploi des bâtiments hydrographes avec vedettes et aussi en analysant l'ancienneté de la cartographie littorale.

Certaines vedettes embarquées ont un nombre d'heures de fonctionnement bien faible (250 heures) pour que la solution de bâtiment porteur de vedettes soit un choix immuable. Rappelons que les levés côtiers sont organisés en deux temps. Dans le premier est effectué le levé au large de l'isobathe 20 mètres, zone où le bâtiment porteur de vedettes sonde lui-même sans danger, de jour et de nuit. Dans le second temps, le bâtiment assiste ses vedettes; celles-ci sondent jusqu'à la côte, de jour seulement, par mer inférieure à 3. L'expérience montre, surtout depuis 1980, que cette deuxième étape est difficilement assurée, par suite

de missions prioritaires en eau profonde, comme le sondage de voies recommandées dans le Pas de Calais.

L'ancienneté des levés sur les côtes métropolitaines montre l'existence d'un besoin d'autant plus important que les cartes marines sont souvent jugées sur la qualité de la représentation côtière.

Deuxième partie : objectifs techniques du levé; chronologie, logistique

2.17.7. Objectifs techniques du levé

Les instructions techniques pour le levé prévoyaient :

- la mise à jour de la partie terrestre des cartes marines (topographie, amers, alignements),
- le contrôle de l'information nautique relative aux mouillages et aux alignements recommandés,
- la détermination des éléments de la marée après mise en place de 6 marégraphes,
- le contrôle des indications des courants données par l'ouvrage 550,
- le sondage des voies recommandées et le levé au 1/5 000 du mouillage de Ker Noël (Ile d'Arz),
- enfin l'estimation du temps nécessaire à un levé complet du golfe.

Les travaux ont été conduits pour répondre à ces instructions; une importance particulière a été attachée aux sondages.

2.17.8. Préparatifs, chronologie

2.17.8.1. Les Instructions Nautiques C 2-3, édition 1982, décrivent ainsi le golfe :

« Le Golfe du Morbihan (Morbihan ou Petite Mer) est un vaste bassin encombré d'îles, dans lequel débouchent les rivières d'Auray, de Vannes et de Noyal.

Le golfe communique avec la mer par une passe large de 0,5 mille entre la Pointe de Kerpenhir et celle de Port-Navalo, extrémité Ouest de la Presqu'île de Rhuy. Les courants de marée y sont très violents et y rendent la navigation difficile. Si on ne connaît pas le golfe, il serait imprudent de s'engager sans l'assistance d'un pratiqué ».

Une reconnaissance détaillée s'imposait avant d'engager les vedettes de *L'Espérance*.

Distinguons deux périodes :

- celle antérieure à l'engagement des vedettes, période pendant laquelle les hydrographes préparent le levé afin qu'une fois mises en place, les vedettes effectuent un travail productif et répétitif.
- celle de l'engagement des vedettes dans le golfe, période où une journée de 24 heures pouvait revenir au quinzième du potentiel financier accordé pour le personnel.

2.17.8.2. Première période : les préparatifs

16 novembre 1982 : premier contact avec le golfe

Une première reconnaissance est faite dans la matinée à bord de la vedette de la Gendarmerie Nationale, basée au port du Crouesty. Entre le Grand Mouton et l'île Berder, la vedette rencontre des flux de courants violents aux directions parfois presque transversales, selon la situation de la vedette dans le chenal, selon les passages entre les îles.

La navigation dans le golfe est une navigation à vue, où la carte marine est utilisée comme une carte topographique : il n'est pas utile de faire le point; la bathymétrie sert au choix a priori de la route.

6-17 décembre 1982 : premiers travaux

Un petit détachement composé d'un hydrographe, de deux stagiaires, effectue les premiers travaux. Il dispose d'un véhicule et d'un dinghy transportable sur route sur une remorque adaptée.

Au cours des transits dans le golfe, il apparaît qu'une embarcation pneumatique, surtout en hiver, n'est pas une solution idéale pour naviguer au-dessus des vasières, ou à proximité des parcs à huîtres : il faut redouter la crevaison due à un piquet à fleur d'eau.

Une embarcation en plastique, tel le New-Matic, adoptée par le Service de l'Équipement de Lorient et divers services chargés de missions de sécurité paraît une solution préférable au dinghy. Après enquête, il est décidé d'acquérir le modèle supérieur au New-Matic : le Tri-matic, plus grand, au franc-bord moins réduit, à l'aménagement rustique mais suffisant (volant de conduite, commande des gaz à proximité du siège à l'avant). Cette embarcation se révélera idéale dans le golfe.

A l'issue de la reconnaissance, la mission a exploré la zone du levé : les implantations pour des balises Trident sont définies, les futurs observatoires de marée sont déterminés, les fiches d'amers sont esquissées, les premières vues photographiques sont prises.

Enfin, trois solutions d'hébergement sont étudiées.

- La mairie de Sarzeau donne son accord à un hébergement dans une ancienne gendarmerie. Mais celle-ci est sans confort, ce qui est contraignant en hiver.
- Le Colonel, commandant le 2^e RIMAP donne également son accord à l'hébergement du détachement à la caserne de Vannes. Mais cette caserne a l'inconvénient d'être excentrée par rapport à la zone du levé.
- La solution la plus satisfaisante est en définitive un hébergement dans un hôtel à Arradon, l'hôtel du Guippe. Les capacités de cet hôtel permettront de moduler l'effectif sur le terrain de 6 à 12 personnes.

Janvier 1983 : choix du type de localisation

Au cours de la campagne d'évaluation à terre du réseau Syledis-Bretagne, un contrôle de réception est fait le 19 janvier à l'entrée du Golfe du Morbihan près de la pointe de Kerpenhir. La station de Belle-Ile est en panne; les stations de Grandchamp et de Lann-Bihoué sont reçues mais la géométrie du réseau, les conditions de réception ne sont pas bonnes.

La meilleure solution à tous les points de vue (coût, disponibilité, précision) est de mettre en place un réseau Trident.

L'Etablissement Principal étudie le système « Hydrac-Vedettes » adapté au Trident, pour que le chef d'équipe en vedette dispose des aides à la décision comparables à celles fournies par le récepteur Syledis type SR3 : position, taille du chapeau, tracé de la route suivie, écart au profil...

Février 1983 : maintenance des vedettes à Brest; enquête nautique et mise en place des marégraphes dans le golfe

— Les vedettes de *L'Espérance*, en gardiennage à Lorient à l'issue du levé proche de la Base sous-marine, rentrent à Brest le 9 février, escortées par le *Jaguar*, bâtiment de l'Ecole Navale. Elles sont prises en charge par la DCAN pour leur entretien périodique; la période de cet entretien a été spécialement avancée en vue du levé dans le golfe.

— Le 14 février, à la demande de la mission, l'Administrateur des Affaires Maritimes réunit les membres d'une commission nautique locale où sont représentés les pratiques, les pêcheurs, les clubs de voile, la société des Vedettes Vertes, le syndicat des ostréiculteurs, le Service de l'Equipement, le Cadastre.

— Du 21 au 25 février, 6 marégraphes sont installés par un détachement de 4 officiers-mariniers hydrographes et 2 matelots; 2 hommes de la Direction Départementale de l'Equipement renforcent l'équipe. Celle-ci met en place :

- 3 marégraphes à flotteurs à Port-Navalo, Arradon, Vannes,
- 3 marégraphes immergés à Auray, au Passage de Saint-Armel, à l'anse de Logeo.

2.17.8.3. Deuxième période : engagement des vedettes dans le golfe

| Date | Activité |
|---------------------------|---|
| 28 mars | <p>— Trois véhicules (une camionnette type C35, deux breaks 504, l'un avec le tri-matic, l'autre avec une caravane) quittent Toulbroc'h. Deux équipes commencent dans l'après-midi l'installation des 4 stations Trident. Les trois ingénieurs de la mission dirigent le démarrage du chantier.</p> <p>— <i>L'Espérance</i> appareille de Brest à 15 heures.</p> <p>— Le détachement est renforcé par une recrue de qualité : le LV (R) Guillemot qui effectue une période dans une mission à l'occasion d'un levé dans une zone qu'il connaît bien. Cet officier connaît la vie en mission car il a fait son service sur le <i>Beautemps-Beaupré</i> en travaux sur les côtes d'Afrique.</p> |
| 29 mars | <p>— <i>L'Espérance</i> mouille à l'aube sous l'île Renaud en rivière d'Auray. Par coefficient 107, la force des courants impressionne. L'équipage des vedettes « met son sac » à terre; les courantographes sont mis en place : un programmeur de l'Etablissement Principal vérifie le fonctionnement du système Hydrac à bord de la vedette <i>La Charité</i>.</p> <p>Vers 15 heures les essais de ce système sont acquis. Grâce à ce système qui fonctionne, il apparaît nécessaire de consacrer tout le potentiel de cette vedette au sondage. L'autre vedette <i>La Foi</i> assurera les autres opérations d'un levé hydrographique. <i>L'Espérance</i> appareille en soirée vers Brest.</p> |
| du 30 mars au 19 avril | <p>Les travaux sont menés avec entrain dans le golfe. Le temps est un peu gris. Tout fonctionne. Le sondeur Deso 20 cause cependant quelques inquiétudes : il s'arrête soudain... Il suffit d'ouvrir le boîtier, de le refermer et il redémarre, ou alors il suffit de tourner un peu la prise d'alimentation.</p> <p>... Passera ? Passera pas ? La vedette s'échoue près des Trois Pierres et il faut attendre la marée montante; on s'échoue encore sur un banc entre l'île Govion et l'île Stibidenn, mais rien de grave... On s'engage avec prudence à marée montante, dans les grandes vasières entre l'île d'Ilur et l'île Tascon.</p> <p>La navigation est suivie en temps réel sur la carte marine du golfe (3165) découpée au format de la table traçante; la tenue des profils est faite à vue et l'on s'efforce de faire un sondage régulier au 1/10 000. Les points sont archivés sur cassette magnétique à grande cadence, ce qui permet de suivre des profils non rectilignes et de mieux veiller à la sécurité de la vedette.</p> |
| 19 avril | <p><i>L'Espérance</i> appareille à 18 heures de Brest.</p> <p>L'équipe Thalassa de FR3 dirigée par Monsieur Loiseau est à bord.</p> |

| | |
|----------|--|
| 20 avril | <i>L'Espérance</i> mouille à 10 heures devant Locmariaquer. L'équipe Thalassa se familiarise avec les contraintes du levé et commence en soirée quelques prises de vue. |
| 21 avril | L'équipe Thalassa filme les divers aspects d'un levé côtier : — mise à l'eau des vedettes, — sondage, — mouillage d'équipements (courantographe, marégraphe), — contrôle d'un marégraphe à flotteur, — démontage d'une station Trident dans un château d'eau. Dans la nuit le vent force à 30 nœuds; des rafales de 40 nœuds surviennent. La chaîne tient sans déraper mais la côte est fort proche... Cette précarité démontrait encore que la formule adoptée pour le levé du golfe avait été la bonne : les risques encourus par un gros navire dans les eaux côtières sont parfois démesurés. Il faut être apte à mener des levés avec des vedettes pour qu'un accident garde des proportions raisonnables. |
| 22 avril | <i>L'Espérance</i> appareille à midi à l'issue du démontage total du chantier. Les véhicules sont de retour à Toulbroc'h à 16 heures. |

2.17.9. Logistique

2.17.9.1. Les finances

Une contrainte impérative était fixée pour le levé : en aucun cas il ne fallait dépasser en 1983, 240 journées de détachement complet de personnel.

Cette limitation a été respectée en modulant les détachements réels pour ne pas dépasser ceux du tableau prévisionnel ci-dessous :

Tableau prévisionnel des mouvements du personnel du détachement à terre pour le levé dans le Golfe du Morbihan (1^{ère} partie)

| Date | Constitution des équipes* | Activité |
|-----------------------------------|---|---|
| Lundi 28 mars | Encadrement : 2I, 3 OMH, 1 SC V1 : 1 QMM V2 : 1 QMM Jours de mission : 8 | — installation du chantier, en particulier de 4 balises Trident. — départ de 2 véhicules à 9 heures de Brest. — débarquement des vedettes au mouillage de Locmariaquer par BH1 <i>L'Espérance</i> . |
| Mardi 29 mars | E : 2I, 1 EV1, 1 SC, 1 OMH V1 : 1 OMH, 3 QMM V2 : 1 OMH, 3 QMM Jours de mission : 13 | — départ de Brest d'un troisième véhicule. — achèvement de la mise en place du chantier. — début des mouvements des vedettes. — contrôle de marégraphe. |
| Mercredi 30 mars | Rubriques E, V1, V2 Jours de mission : idem | — début des travaux. |
| Judi 31 mars | E : 1I, 1 EV1, 1 OMH V1 et V2 : idem Jours de mission : 11,5 | — retour à Brest de 2 hommes (1I, 1 SC). — 2 véhicules sur zone — travaux hydrographiques en cours. |
| Vendredi 1 ^{er} avril | E, V1, V2 : idem Jours de mission : 11 | — en travaux |
| Samedi 2 avril | E : 1 OMH V1 : idem (jusqu'à 12 h) V2 : idem Jours de mission : 6,5 | — retour à Brest du personnel indiqué : 1I, 1 EV1, 1 OMH, 3 QMM (V1 en travaux jusqu'à 12 heures) V1 sur coffre après-midi |
| Dimanche 3 avril | E : 1 OMH V1 : sur coffre V2 : sur coffre Jours de mission : 5 | — repos; 1 véhicule sur zone — équipage de la V2 en repos (1 OMH, 3 QMM) |
| Lundi 4 avril | E : 1 OMH V1 : sur coffre V2 : en travaux Jours de mission : 5 | — reconnaissance d'amers |

* **Abréviations** : « E » pour équipe à terre : composition de l'équipe non affectée aux vedettes, nécessaire aux travaux à terre.

V1, V2 : abréviations désignant les équipes à bord des deux vedettes.

I, EV, SC, ASP, OMH, QMM : abréviations désignant respectivement un ingénieur, un enseigne de vaisseau, un scientifique du contingent, un officier-marinier hydrographe, un quartier-maître ou matelot.

Tableau prévisionnel des mouvements du personnel du détachement à terre pour le levé dans le Golfe du Morbihan
(2^{ème} partie)

| Date | Constitution des équipes | Activité |
|------------------------------|---|--|
| Mardi 5 avril | E : 1 ASP, 1 OMH, 1 SC V1 : travaux après-midi V2 : en travaux Jours de mission : 11 | — arrivée de Brest d'un deuxième véhicule vers midi. — V1 et V2 armées par leur équipage normal (1 OMH, 3 QMM) |
| du 6 au 8 avril | idem Jours de mission : 33 | — en travaux (sondage par une vedette, reconnaissance d'amers par l'autre). |
| Samedi 9 avril | E : 1 ASP V1 : 1 OMH, 3 QMM V2 : idem (jusqu'à midi) Jours de mission : 6 | — V1 en travaux — V2 sur coffre à midi — retour de son personnel à Brest. |
| Dimanche 10 avril | Idem Jours de mission : 4 | — repos — vedettes sur coffres. |
| Lundi 11 avril | E : 1 I, 1 ASP, 1 OMH V1 et V2 : 1 OMH, 3 QMM Jours de mission : 11 | — retour du personnel de la vedette 2 |
| du 12 au 15 avril | Idem Jours de mission : 44 | — travaux. |
| Samedi 16 avril | E : 1 OMH V1 : sur coffre V2 : en travaux Jours de mission : 6,5 | — retour à Brest d'une équipe |
| Dimanche 17 avril | E : 2 OMH, 1 I V2 : en repos Jours de mission : 5 | — vedettes sur coffres. |
| Lundi 18 avril | E : 2 OMH, 1 I, 1 SC V1 : sur coffre V2 : en travaux Jours de mission : 3,5 | — l'équipe de la V2 rallie <i>L'Espérance</i> en soirée — équipe Thalassa de FR3 à bord — l'ingénieur à bord de <i>L'Espérance</i> |
| Mardi 19 avril | E : 2 OMH, 1 I, 1 SC Jours de mission : 4 | — vedettes mises en œuvre à partir de <i>L'Espérance</i> — travaux au profit de l'émission Thalassa. |
| Mercredi 20 avril | E : 1 I, 1 SC, 3 OMH, 2 QMM Jours de mission : 7 | — vedettes mises en œuvre à partir de <i>L'Espérance</i> — travaux au profit de l'émission Thalassa |
| Jeudi 21 avril | E : idem Jours de mission : 7 | — démontage des balises Trident — récupération des marégraphes — appareillage de <i>L'Espérance</i> en soirée. |
| Vendredi 22 avril | E : 2 OMH, 1 I, 1 SC Jour de mission : 1 | — arrivée à quai à Brest de <i>L'Espérance</i> . |
| Total jours de mission : 216 | | |

2.17.9.2. Personnel

Le détachement comprenait :

- en permanence, un ingénieur, chargé de coordonner l'ensemble des travaux;
- trois officiers-mariniers hydrographes : l'un chargé du suivi du levé dans son ensemble (préparation, reconnaissance, rédaction, logistique), les deux autres remplissant les fonctions de chef d'équipe des vedettes;
- un officier de *L'Espérance* (l'officier en second au début du levé, puis un aspirant) responsable de l'équipage détaché de *L'Espérance* et de la sécurité nautique;
- les équipages des deux vedettes composés chacun de deux manœuvriers (matelot ou quartier-maître) et d'un mécanicien (quartier-maître ou second-maître);
- pendant les deux premières semaines, le LV (R) Guillemot, qui a rempli le rôle de pilote pour le chef d'équipe de la vedette en sondage.

Notons aussi les interventions ponctuelles d'un ingénieur électronicien (2 jours au début, 1 jour à la fin, celles du Directeur de la mission (8 jours) et aussi celles d'un programmeur de l'EPSHOM (4 jours) qui achevait la mise au point de l'exploitation en temps différé des cassettes.

2.17.9.3. Hébergement

L'échelon était hébergé à l'hôtel du Guippe à Arradon. Cet hôtel présentait toutes les qualités requises pour un détachement hydrographique : une grande capacité de logement, une situation retirée à proximité d'une petite ville, une grande surface de parking, des prix raisonnables. Le gérant a mis gracieusement à notre disposition, les 10 derniers jours, une salle de conférence transformée en salle de dessin.

2.17.9.4. Les moyens

Les moyens engagés ont été :

- les deux vedettes de 9 mètres de *L'Espérance*,
- une embarcation en plastique, le Tri-matic, équipée d'un moteur neuf Yamaha, et sa remorque routière,
- deux véhicules avec le renfort occasionnel d'un troisième,
- une caravane servant de rangement,
- 6 marégraphes,
- 3 courantographes,
- 4 balises Trident,
- deux interrogateurs,
- 1 système de traitement automatique Hydrac
- deux sondeurs Deso 20.

2.17.9.5. Fonctionnement du matériel

Les seuls ennuis de fonctionnement de matériel ont été :

- une panne d'alternateur,
- les faux contacts des sondeurs Deso 20.

Aucune intervention n'a été nécessaire sur la chaîne Trident installée dès le début des travaux dans quatre emplacements jusqu'à la fin du levé.

Le système d'acquisition Hydrac a eu un fonctionnement remarquable; il a permis de suivre des routes quelconques, la cadence d'acquisition étant aussi rapide que l'on voulait.

Le tracé des routes en temps réel sur table traçante s'est révélé particulièrement précieux. Les préparations étaient ainsi automatiquement renseignées; il était possible de naviguer sur des extraits de la carte marine en service, extraits découpés au format de la table traçante Hewlett Packard (21 x 29,7 cm).

2.17.9.6. Sondages

Un effort particulier a été porté sur le sondage bien que cet effort n'ait pas été suffisant pour remplacer les données anciennes. Cet effort allait de soi par suite des moyens mis à la disposition de la mission.

Hydrac a été opérationnel au bout de deux heures de mise au point par un programmeur de l'EPSHOM. La spécificité des vedettes du SHOM est leur capacité aux sondages surtout quand une chaîne de positionnement est mise en place. Toute autre opération peut être faite à l'aide des vedettes des pratiques ou des administrations locales. Des concours ponctuels ont été ainsi demandés au Service de l'Équipement de Vannes, à la Gendarmerie Nationale de Sarzeau, aux Affaires Maritimes de Vannes.

Au cours du levé du golfe :

- la vedette équipée du système Hydrac sondait,
- l'autre effectuait la revue d'amers, le mouillage des courantographes, les mesures de courant par bouées dérivantes, les contrôles de marégraphes.

2.17.10. Evaluation de la durée nécessaire à un levé complet du Golfe du Morbihan

En 1981, la durée d'un levé était évaluée en année-navire (A.N), avec les bâtiments hydrographes, les méthodes et le rythme de travail de l'époque; les bâtiments-types considérés étaient *L'Espérance*, *L'Estafette*, *La Recherche*.

Avec cette unité, le potentiel de deux vedettes pouvait être estimée à 0,7 A.N, les vedettes étant mises sur le chantier par un bâtiment hydrographe.

La vitesse de progression d'un levé en année-navire venait de 50 km sur le littoral méditerranéen à 15 ou 20 kilomètres en milieu corallien. Compte tenu du caractère fermé du golfe, de ses nombreuses îles et de ses faibles fonds, c'est sans doute cette dernière vitesse de progression qu'il faut adopter en considérant une longueur de côte à lever de 20 kilomètres, c'est-à-dire la plus grande dimension du golfe. Ainsi la durée d'un levé complet du golfe est proche de l'année si on admet ces données.

On peut affiner cette évaluation à partir des données suivantes. La surface du golfe à lever dépasse 100 km².

| | Durée du levé, analysée selon les rubriques indiquées |
|---|---|
| — En sondant tous les 50 mètres, à 8 km/h, 6 heures par jour, il faut 42 jours pour le levé régulier effectué par une vedette | 42 jours |
| — Il faut un temps équivalent pour les recherches | 42 jours |
| — Il faut admettre, surtout en hiver, deux jours de travail improductifs pour 5 jours productifs pour tenir compte des pannes, du mauvais temps, de la formation du personnel | 84 × 2/5 jours |
| — Enfin, il convient de respecter deux jours de repos par semaine | 84 × 7/5 × 2/7 |
| La somme de ces rubriques correspond à 151 jours environ, soit 5 mois | Total : 84 × 9/5 |

En équipant la deuxième vedette de Hydrac, le levé complet aurait pu être conduit en 3 mois et demi.

Un levé fait en trois semaines ne pouvait être exhaustif. Cependant la qualité de la carte marine bénéficie des travaux antérieurs, surtout à l'entrée du golfe, zone sondée avec beaucoup de soin en 1917 à une époque où la création d'un port pour gros bâtiment était à l'étude.

Troisième partie : les travaux effectués

2.17.11. Localisation, géodésie

Les travaux ont été menés, et les documents rédigés, en projection Lambert 2 dans le système géodésique de la Nouvelle Triangulation de la France.

Quatre balises Trident ont été installées sur les édifices indiqués ci-dessous :

| Balise | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|-------------------------------|------------|------------|-------|
| Château d'eau de Locmariaquer | 202 299,3 | 299 714,8 | 50 |
| Château d'eau de Bellevue | 216 041,76 | 303 753,64 | 50 |
| Château d'eau d'Arzon | 207 304,69 | 295 619,83 | 53 |
| Clocher de Sarzeau | 215 839,86 | 293 341,79 | 63 |

Ces quatre balises ont permis d'assurer la localisation correcte des embarcations à l'intérieur du golfe, à l'exception de la partie Nord de la rivière d'Auray.

2.17.12. Topographie

Des minutes de dessin de topographie ont été établies pour l'ensemble du golfe à l'exception de la partie Nord de la rivière d'Auray. Il s'agit de documents de synthèse, établis à partir de la documentation existante sans opération particulière sur le terrain.

2.17.12.1. Trait de côte

Le trait de côte résulte d'une interprétation des indications portées sur les cartes terrestres, à l'échelle 1/25 000, publiées par l'IGN. Des photographies aériennes récentes (1982) à l'échelle 1/20 000 prises par l'IGN au profit du Service Technique de l'Urbanisme (conservatoire du littoral) ont également été utilisées pour préciser certains détails comme les cales et les jetées.

Dans les zones marécageuses et les marais salants, le trait de côte dessiné ne peut avoir qu'une valeur indicative.

2.17.12.2. Estran

Le dessin de la limite de l'estran s'appuie en priorité sur les résultats des sondages. Il a été complété par l'examen des photographies aériennes déjà citées, dont un jeu a été pris au voisinage de la basse mer. Dans certaines zones, dans la rivière d'Auray en particulier, on a repris purement et simplement, en l'absence d'autres indications, le dessin de l'estran tel qu'il figure sur les cartes terrestres de l'IGN.

Les limites des parcs, des bassins, et des marais salants, ne sont données qu'à titre indicatif, car l'examen des photographies aériennes prises à des époques différentes montre que ces limites sont en constante évolution.

2.17.12.3. Plans de ports

De nombreux plans de ports, ou cales, comportant des indications des profondeurs, ont été établis par le Service de l'Équipement et communiqués à la mission. On n'a pas cependant jugé utile d'établir une minute particulière regroupant sous forme de cartouches tous ces plans.

En effet :

- ces ports ou ces cales sont déjà correctement représentés sur les minutes de topographie établies à l'échelle 1/10 000.
- le niveau de référence adopté pour les profondeurs est souvent incertain.

2.17.12.4. Toponymie

De nombreuses informations ont été recueillies auprès de pratiques du golfe. D'une manière générale, ces informations confirment les indications portées sur les cartes terrestres. Une carte renseignée a été établie pour ajouter quelques toponymes intéressants et en corriger d'autres; on n'a pas cependant corrigé systématiquement tous les toponymes de la carte marine qui figurent souvent sur la carte terrestre avec une orthographe différente, considérant que les cartes terrestres faisaient foi. Rappelons à toutes fins utiles que les *Annales Hydrographiques* (1965-1966, 4^e série, tome 13) comportent pages 329 à 364 une enquête sur la toponymie nautique du Golfe du Morbihan et de ses abords faite au printemps 1963 par Gildas Bernier, licencié es lettres, professeur d'histoire au lycée de Lorient.

2.17.12.5. Revue d'amers

Près de cent trente fiches d'amers ont été établies ou complétées. Seules les balises de la rivière d'Auray, au Nord de la pointe de Kerlavarez, n'ont pas été reconnues, en raison des masques qui ne permettaient pas dans cette zone un positionnement à l'aide du Trident. Une carte marine (3165) a été renseignée des amers existants, des amers disparus; de plus tous les amers décrits sur une fiche ont été reportés sur les minutes de topographie.

Les coordonnées des amers ont été déterminées :

- soit par triangulation, à l'occasion des stations de mesure au théodolite nécessaires à la détermination précise des coordonnées des antennes Trident,
- soit par relevé graphique sur des orthophotoplans disponibles dans les Services de l'Équipement,
- soit au Trident, quand la vedette pouvait accoster les marques à positionner, tels les espars en bordure d'un chenal,
- enfin, soit au Trident et au cercle hydrographique, quand les points à positionner, non accostables, devaient être visés de positions successives de la vedette.

La précision prévue pour la détermination des amers était de l'ordre de 5 mètres. Selon le procédé de positionnement mis en œuvre, la précision espérée a été indiquée sur les fiches d'amers. Il est utile d'ajouter que les coordonnées de quatorze amers ont été vérifiées par l'Établissement Principal, en 1984, à l'occasion d'une restitution photogrammétrique de vues aériennes au 1/20 000 menée pour l'évaluation des performances du restituteur analytique Traster. Les biais entre les coordonnées attribuées en 1983 par la MHA et en 1984 par restitution analytique ont justifié un contrôle des positions des amers par triangulation classique. A l'issue de ce contrôle, il a été conclu que la précision attendue de la restitution au Traster était de ± 2 mètres avec cependant une réserve relative à un biais possible dû à la caméra de prise de vue dont les éléments internes n'étaient pas connus.

Rapportons dans un tableau ci-après et commentons les données du contrôle de l'Établissement Principal. Il apparaît que les coordonnées déterminées lors du levé du golfe en 1983 ont bien l'ordre de précision recherchée (5 mètres), les écarts importants (30 mètres) concernant deux « détails » topographiques (maison, hôtel) non ponctuels et aussi, deux amers ponctuels (feu, espar) mais dont les coordonnées ont été adoptées par relevé sur orthophotoplan, ce qui met en cause soit le relevé fait par la MHA soit la qualité de la restitution photogrammétrique originale.

2.17.13. Reconnaissance nautique du Golfe du Morbihan

2.17.13.1. Alignements

Les alignements utiles à la navigation sont peu nombreux.

A l'entrée, on a vérifié la visibilité des alignements suivants :

- le clocher de Baden par la tourelle du Petit Veisit,
- le clocher de Baden par la tourelle du Grégan,
- la tour de Berder par le Faucheur, alignement de transition entre les deux alignements précédents. La

Tabl. — Evaluation du restituteur Traster et contrôles des coordonnées de 14 amers dans le Golfe du Morbihan

| Point | Revue d'amers de la MHA en 1983 | | Contrôles de l'Etablissement Principal en 1984 | | Observations | |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--|-------------------------------|---------------------------------|--|
| | Procédé de localisation | x=(coordonnées y=adoptées) unité : le mètre | x=(restitution y=au Traster) unité : le mètre | x=(triangulation y=classique) | Δx Δy (m) | Commentaires |
| N° 287 clocheton | Trident et cercle Précision : 5 m | 204 694 299 137 | 204 695 299 145 | 204 695 299 140 | - 1 m - 8 m | Cohérence satisfaisante |
| N° 289 maison | Trident et cercle Précision : 5 m | 205 323 299 640 | 205 303 299 660 | 205 303,5 299 659,5 | + 20 - 20 | Ecart important mais la précision indiquée par la MHA est faible (10 m); écart explicable probablement par la taille de la maison et par l'identification du point triangulé |
| N° 291 feu (jetée) | Orthophotoplan | 204 870 296 554 | 204 890 296 589 | 204 891 296 588 | - 20 - 35 | Ecart important dont l'origine n'a pas été recherchée |
| N° 292 statue | Trident et cercle Précision : 5 m | 204 039 297 086 | 204 036 297 075 | 204 037 297 075 | + 3 + 11 | Cohérence acceptable |
| N° 319 espar | Orthophotoplan | 205 340 296 430 | 205 347 296 429 | 205 347 296 426 | - 7 + 4 | Cohérence acceptable |
| N° 293 blockhaus | Triangulation Précision : 0,5 m | 204 015,5 297 122,5 | 204 019 297 122 | non déterminées | - 3,5 + 0,5 | Bonne cohérence |
| N° 304 ruine | Trident et cercle Précision : 5 m | 205 038 300 238 | 205 038 300 234 | " | 0 + 4 | Bonne cohérence |
| N° 306 espar | Orthophotoplan | 206 484 300 299 | 206 475 303 323 | " | + 9 - 24 | Ecart important Origine non recherchée |
| N° 307 hôtel | Trident et cercle Précision : 5 m | 206 730 300 141 | 206 759 300 151 | " | - 29 - 10 | Ecart important explicable par la taille de l'hôtel |
| N° 321 mât | Trident et cercle Précision : 5 m | 204 019 297 326 | 204 021 297 325 | " | - 2 + 1 | Très bonne cohérence |
| N° 323 ruines | Trident et cercle Précision : 5 m | 203 761 300 682 | 203 769 300 693 | " | - 5 - 11 | Cohérence acceptable |
| N° 332 maison (angle) | Trident et cercle Précision : 5 m | 205 672 297 930 | 205 674 297 930 | " | - 2 0 | Très bonne cohérence |
| N° 334 espar | Orthophotoplan | 205 815 298 623 | 205 822 298 622 | " | - 7 + 1 | Cohérence acceptable |
| N° 350 espar | Orthophotoplan | 206 290 298 815 | 206 288 298 805 | " | + 2 + 10 | Cohérence acceptable |

maison de Radenec par la tourelle Le Grégan peut servir d'alignement de garde à l'Ouest, lors du franchissement de la passe d'entrée au niveau de la tourelle de Guemorent.

Dans le Golfe du Morbihan proprement dit, un seul alignement paraît utile; il a été reconnu à bord de la vedette des Affaires Maritimes de Vannes en juin 1984; il s'agit du clocher de Saint-Armel par la côte Nord de l'île Tascon. Cet alignement permet de passer entre l'île de Lern et les « trois pierres », dans le chenal peu profond entre la rivière de Vannes et celle de Noyal. Il faut quitter l'alignement lorsque l'on a le château d'eau de Séné entre l'île de Boëd et l'île de Boëdig. Lors de la reconnaissance, l'espar rouge de Port-Blanc (X = 216 115 m; Y = 303 273 m) était visible et l'on pouvait quitter l'alignement du chenal lorsque l'on avait le château d'eau par l'espar.

L'alignement « le clocher de Saint-Armel par la côte Nord de l'île Tascon » est encore visible par conditions favorables au quai de la pointe de Beluré au Nord de l'île d'Arz. Il passe à environ 50 mètres au Nord de l'extrémité de ce quai (ce qui permet de contrôler le tracé de l'alignement conseillé).

Le tombant de la côte Nord de l'île Tascon est abrupt.

2.17.13.2. Navigation dans le golfe

Aucun autre alignement n'a été identifié.

Dans cette zone on navigue à vue, aussi près que possible du milieu des chenaux.

Un haut-fond à baliser pourrait être les « trois pierres »; mais l'alignement « le clocher de Saint-Armel par la côte Nord de l'île Tascon » permet de l'éviter.

La vigilance du navigateur est recommandée au voisinage du Grand Mouton, et entre ce haut-fond et la Jument. Le Grand Mouton, haut-fond balisé par un espar vert jugé souvent insuffisant, est à la connaissance des pratiqués le seul danger sur lequel portent les courants.

Un voilier par calme plat, aux heures de courant fort, peut ainsi être drossé sur ce haut-fond s'il ne dispose pas d'une propulsion de secours. Un cours de navigation pour la plaisance a ainsi choisi à titre d'illustration une photo de la perte d'un voilier Aloa 25, le *Crouesty two*, par échouage sur le Grand Mouton, lors d'une marée de coefficient 101 (il s'agit de l'ouvrage « Navigation » : le cap, la route, le point » écrit par Alain Grée et édité dans la collection « Voiles — Gallimard »).

Autre cas, rapporté par les Affaires Maritimes : un gros voilier sous voiles entrant dans le golfe s'est échoué, les courants contraires ayant fait culer le navire dont le contrôle a été perdu.

2.17.13.3. Mouillages

Les mouillages fréquentés ont été représentés par le symbole habituel sur les minutes de topographie.

Les informations correspondantes ont été recueillies sur le terrain et confirmées par l'examen des photographies aériennes sur lesquelles les concentrations des petits navires apparaissent clairement.

Dans la presse consacrée à la plaisance, on consultera avec intérêt le pilote côtier Fenwick (pilote n° 5 de Alain Rondeau, 5^e édition) ouvrage qui comporte de très bonnes illustrations et informations nautiques pour la navigation dans le Golfe du Morbihan.

2.17.14. Marée

2.17.14.1. Données historiques

Les informations disponibles à l'EPSHOM sur le niveau de réduction des sondes dans le Golfe du Morbihan sont imprécises et même parfois contradictoires :

1820 (Beautemps — Beaupré) : zéro hydrographique de cote variable en concordance avec celui de Port-Navalo

1865 (Bouquet de la Grye) : zéro hydrographique de Saint-Nazaire adopté pour tout le golfe par nivellement hydrographique.

La seule donnée sûre est la cote du zéro hydrographique à Port-Navalo, à l'entrée du golfe, à 2,89 m sous le zéro du nivellement général de la France.

On disposait également d'observations de marée nombreuses et de bonne qualité entre le 7 août et le 7 octobre 1922. Ces observations avaient été effectuées sous le contrôle du Service Maritime du département du Morbihan, à une époque où la commission de la « houille bleue » étudiait la possibilité d'installer une usine marémotrice, utilisant la dénivellation instantanée existant entre le Golfe du Morbihan (Le Logeo) et la baie de Quiberon (Ker Joanno).

Ces observations ont été faites uniquement de jour sur des échelles de marée installées à Ker Joanno, Morenno, Bernon, Kernès, Le Logeo (anse du Poul), Drehen, Toulindag, Brouhel, Billeverve, sites représentés planche 2.17.1.

Elles ont montré :

— un amortissement très important de l'amplitude de la marée entre Ker Joanno et l'île de La Jument (Er Gazek), négligeable à l'Est de cette île.

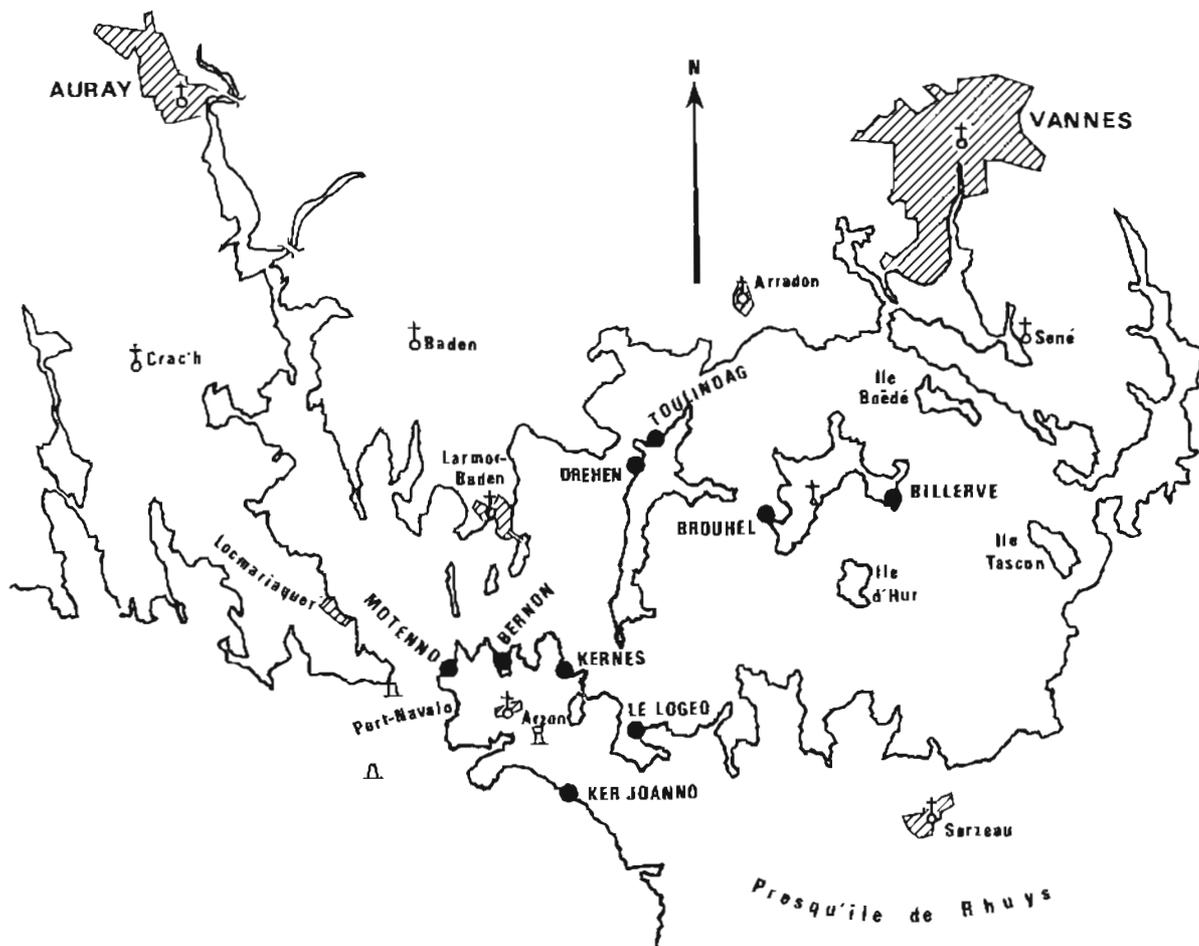
— un retard de la marée dans le golfe par rapport à celle de Ker Joanno augmentant rapidement jusqu'à l'île de La Jument, et plus lentement à l'Est de cette île.

Les données numériques correspondantes sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Observatoire (1922) | Amortissement de la marée | | Retard des pleines mers et des basses mers par rapport à celles de Ker Joanno | | | |
|------------------------|---------------------------|--------|---|---------------------|-----------------|---------------------|
| | k (VE) | k (ME) | (Pleines mers) | | (Basses mers) | |
| | | | Retard (min) | Ecart type (min) | Retard (min) | Ecart type (min) |
| Moteno | 0,87 | 0,95 | 28,5 | 10 | 18,5 | 5 |
| Bernon | 0,88 | 0,79 | 53,0 | 10 | 53,5 | 8 |
| Kernès | 0,59 | / | 85,5 | 19 | 88,5 | 21 |
| Le Logeo | 0,58 | 0,76 | 105,5 | 12 | 104,0 | 12 |
| Drehen | 0,59 | 0,76 | 89,0 | 11 | 88,0 | 11 |
| Toulindag | 0,56 | 0,77 | 106,0 | 11 | 103,0 | 13 |
| Brouhel | 0,58 | / | / | / | / | / |

$k = \frac{\text{marnage à l'intérieur du golfe}}{\text{marnage à Ker Joanno}}$
VE = vive-eau; ME = morte-eau

Ce rapport a été observé le 22 septembre (VE de coefficient 118) et le 15 septembre (ME de coefficient 41)



PL. 2.17.1. — Les observatoires de marée dans le Golfe du Morbihan en 1922 (observatoires repérés par un cercle noir).

Il apparaît ainsi que les passages donnant accès au golfe, entre les différentes îles situées depuis la pointe du Mouton jusqu'à la pointe de Kernès, jouent un rôle important, analogue à celui d'un filtre.

On consultera avec profit le rapport établi sur ces mesures par l'ingénieur ordinaire du service maritime, rapport qui est daté du 20 août 1926 « Observations marégraphiques faites en 1922 dans le Golfe du Morbihan », et archivé à la section « Océanographie » de l'EPSHOM.

2.17.14.2. Mesures effectuées en 1983

Les mesures effectuées en 1983 confirment globalement les indications données dans le paragraphe précédent, mais elles sont insuffisantes à elles seules pour modéliser totalement le phénomène de la propagation de la marée à l'intérieur du golfe.

Trois marégraphes plongeurs Suber ont fonctionné du 23 février au 21 avril 1983 aux emplacements ci-dessous :

Auray, Le Logeo, Saint-Armel

et trois marégraphes à flotteur sont restés en place, à peu près pendant la même période, aux emplacements ci-dessous :

Port-Navalo, Arradon, Vannes.

Une synthèse des observations effectuées donne les résultats suivants :

2.17.14.2.1. Une concordance en hauteur effectuée entre Port-Navalo et Port Tudy (Ile de Groix) confirme la validité du zéro hydrographique adopté à Port-Navalo à 13 centimètres près. Le zéro hydrographique traditionnel est en effet 13 centimètres plus bas que celui obtenu à l'aide de la concordance.

2.17.14.2.2. L'amplitude de la marée observée à Auray est à peine plus faible que celle enregistrée à Port-Navalo ($k = 0,97$); par contre le décalage en heure est très variable puisque le retard de la pleine mer à Auray sur celle de Port-Navalo varie de 20 minutes pour un coefficient 30 à moins 9 minutes pour un coefficient 110.

Un filtrage excessif au niveau du tube du marégraphe plongeur installé à Port-Navalo ne peut être exclu compte tenu de l'allure générale des enregistrements obtenus.

2.17.14.2.3. L'amplitude de la marée observée à Saint-Armel est légèrement plus grande que celle enregistrée au Logeo ($k = 1,06$).

Le retard de la pleine mer observée à Saint-Armel sur celle du Logeo varie de 11 minutes pour un coefficient 30 à 17 minutes pour un coefficient 110, tandis que le retard de la basse mer croît de 13 minutes à 26 minutes dans les mêmes conditions.

2.17.14.2.4. L'amplitude de la marée observée à Vannes est légèrement plus grande que celle enregistrée à Arradon ($k = 1,04$).

Le retard de la pleine mer, voisin de 12 minutes est à peu près indépendant du coefficient, tandis que le retard de la basse mer décroît de 14 minutes à 9 minutes quand le coefficient croît de 30 à 110.

2.17.14.2.5. L'amplitude de la marée observée à Arradon est légèrement plus grande que celle enregistrée au Logeo ($k = 1,03$).

Les pleines et basses mers à Arradon ont lieu en moyenne 7 minutes après celles observées au Logeo.

2.17.14.2.6. Le retard en minutes des pleines et basses mers observées en morte-eau et en vive-eau à Arradon et au Logeo, par rapport à celles enregistrées à Port-Navalo, est donné ci-dessous :

| Retard de la marée à Arradon et au Logeo par rapport à celle de Port-Navalo | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
| Observatoire | Retard des PM en minutes | | Retard des BM en minutes | |
| | en vive-eau | en morte-eau | en vive-eau | en morte-eau |
| Arradon | 114 ± 9 | 92 ± 26 | 116 ± 10 | 100 ± 17 |
| Le Logeo | 106 ± 7 | 85 ± 25 | 107 ± 8 | 94 ± 16 |

2.17.14.3. Niveaux de réduction des sondes

Pour chacun des observatoires mis en place dans le Golfe du Morbihan on a adopté un zéro de réduction des sondes concordant avec celui défini à Port-Navalo à 2,89 m sous le zéro du nivellement général de la France.

On a ainsi adopté un zéro de réduction des sondes situé à :

- 2,75 m NGF à Auray,
- 1,70 m NGF au Logeo,
- 1,70 m NGF à Arradon,
- 1,70 m NGF à Vannes,
- 1,80 m NGF à Saint-Armel.

2.17.14.4. Corrections apportées aux sondages

Compte tenu de la situation géographique des sondages, peu nombreux dans les rivières d'Auray, de Vannes et de Noyal, et des indications qui précèdent, on a défini 14 zones de marée, dont une moitié se réfère à l'observatoire de Port-Navalo, et l'autre moitié concerne l'intérieur du golfe proprement dit, à l'Est de l'île de La Jument.

Les limites de ces zones sont représentées sur la planche 2.17.2, tandis que les relations utilisées sont indiquées ci-après :

| Formules de calcul de la marée dans le golfe | | | |
|--|-----------------------------------|------|--|
| Zone | $H(t) =$ | Zone | $H(t) =$ |
| 1 | $H_{PN}(t)$ | 8 | $0,5 H_L(t + 15 \text{ min})$ $+ 0,5 H_A(t + 20 \text{ min})$ |
| 2 | $0,98 H_{PN}(t - 5 \text{ min})$ | 9 | $H_L(t)$ |
| 3 | $0,98 H_{PN}(t - 15 \text{ min})$ | 10 | $H_A(t)$ |
| 4 | $0,90 H_{PN}(t - 15 \text{ min})$ | 11 | $0,5 H_L(t) + 0,5 H_S(t)$ |
| 5 | $0,75 H_{PN}(t - 30 \text{ min})$ | 12 | $H_L(t - 10 \text{ min})$ |
| 6 | $0,75 H_{PN}(t - 45 \text{ min})$ | 13 | $0,5 H_L(t - 20 \text{ min})$ $+ 0,5 H_A(t - 15 \text{ min})$ |
| 7 | $0,75 H_{PN}(t - 60 \text{ min})$ | 14 | $H_V(t)$ |

PN : Port-Navalo L : Le Logeo A : Arradon S : Saint-Armel V : Vannes

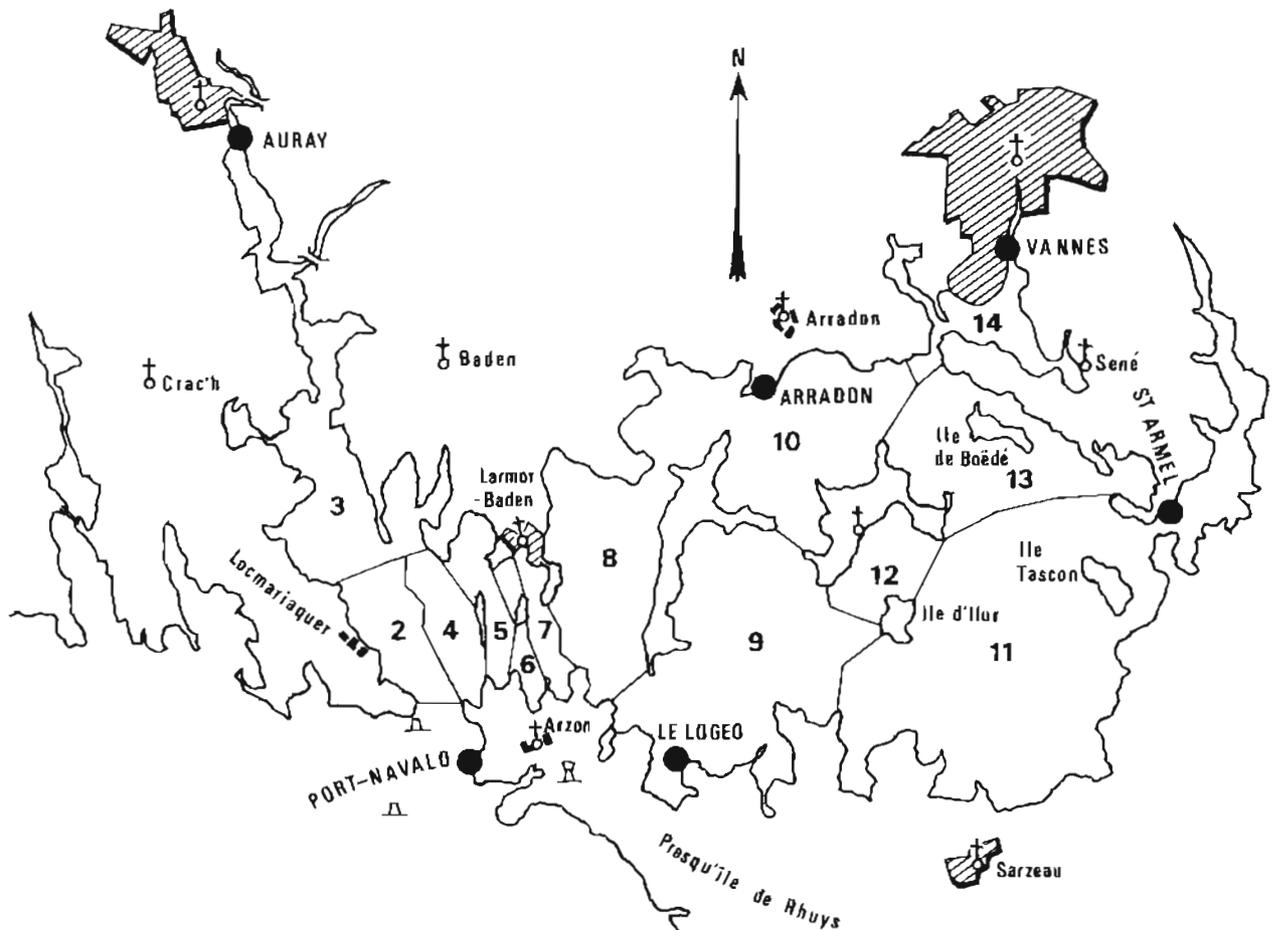
2.17.14.5. Observations

A aucun moment, dans tout ce qui précède, on n'a évoqué ou pris en compte l'influence des conditions météorologiques sur les dénivellations observées à l'intérieur du golfe. Il est vraisemblable cependant que cette influence ne puisse être négligée, et qu'un violent vent d'Ouest introduise une surélévation sensible dans la partie Est du golfe.

Il semble que, de façon schématique, on puisse comparer la marée dans le golfe, tout au moins à l'Est de l'île de La Jument, à une marée fluviale, le fleuve étant constitué par les nombreux canaux qui parcourent le golfe, à partir d'une embouchure située au Nord de cette même île.

Les déformations observées sur les courbes de marée enregistrées à l'intérieur du golfe, d'autant plus marquées que l'on y pénètre plus profondément, correspondent, par rapport à une onde sinusoïdale de référence, à une réduction de la durée de la basse mer, et à une augmentation de la durée de la pleine mer.

Il faut y voir la conséquence du remplissage (ou de la vidange) avec un débit donné (passe située au Nord de l'île de La Jument) d'un bassin dont la surface augmente très rapidement (ou diminue) avec le niveau de l'eau (submersion des vasières très étendues).



PL. 2.17.2. — Zones de marée dans le golfe (1983) (les cercles noirs de la planche indiquent les observations de marée).

2.17.14.6. Remarques sur l'observation de la marée

Au cours de futurs travaux, il faudrait installer au moins quatre marégraphes supplémentaires :

- un dans la zone 8 (zone de la pointe de Kernès à la pointe de Toulindag, plan d'eau le plus étendu du golfe),
- deux autres en zone 7 (à Larmor-Baden ou à la pointe de Balis et à la pointe de Bernon),
- un dernier à la pointe de Motenno.

On montre en 2.17.14.7 que la réduction de la marée peut différer de un mètre à marée montante de vive-eau, à la jonction des zones 7 et 8, selon que l'on adopte la formule de réduction des sondes de la zone 7 ou celle de la zone 8. Cette différence de réduction joue cependant dans le sens de la sécurité (on porte sur la carte en zone 7 une sonde plus faible qu'elle ne l'est en réalité).

Le coefficient (0,75) adopté pour l'amortissement de la marée en zone 7 est sans doute un peu fort compte tenu des données historiques (h = 0,59 en vive-eau et 0,78 m en morte-eau à la pointe de Kernès, ce dernier coefficient étant admis par interpolation des coefficients connus à la pointe de Bernon (0,79) et au Logeo (0,76)).

2.17.14.7. Réduction des sondes près de La Jument (sous l'île Berder)

Evaluons l'erreur maximale en vive-eau de réduction des sondes à la jonction des zones de marée 7 et 8, réduction faite par les formules :

$$H(t) \text{ zone 7} = 0,75 H(t - 60 \text{ min}) \quad (1)$$

Port-Navalo

$$H(t) \text{ zone 8} = 0,50 \left[\underset{\text{Logeo}}{H(t + 15 \text{ min})} + \underset{\text{Arradon}}{H(t + 20 \text{ min})} \right] \quad (2)$$

Ramenons la formule (2) à une formule approchée en fonction de la hauteur d'eau à Port-Navalo en admettant les données approchées ci-dessous :

| Observatoire | k | θ (min) |
|--------------|------|---------|
| Logeo | 0,58 | 114 |
| Arradon | 0,58 | 106 |

k ... rapport entre le marnage à l'intérieur du golfe et le large (estimé par coefficient 118)
θ ... retard de la PM en vive-eau par rapport à Port-Navalo.

On a donc :

$$H(t) \text{ zone 8} = 0,50 [0,58 H_{PN}(t - 99 \text{ min}) + 0,58 H_{PN}(t - 86 \text{ min})] \quad (3)$$

ou encore, en poursuivant l'approximation :

$$H(t) \text{ zone 8} = 0,58 [H_{PN}(t - 93 \text{ min})] \quad (4)$$

Selon que l'on utilise la formule (1) ou (4) on calcule H(t) à l'aide de hauteurs à Port-Navalo prises à 33 minutes l'une de l'autre.

L'instant le plus défavorable est à marée montante, à mi-marée. En consultant l'annuaire des marées :

- 2 heures avant la pleine mer, la hauteur d'eau en vive-eau moyenne est 0,76 fois le marnage.
- 2 heures 33 avant la pleine mer, elle est 0,65 fois le marnage.

Si on adopte la formule 1, pour un marnage de 5 mètres à Port-Navalo on a :

$$H(t) = 5 \text{ m} \times 0,75 \times 0,76 = 2,85 \text{ m}$$

Si on adopte la formule 2 :

$$H(t) = 5 \text{ m} \times 0,58 \times 0,65 = 1,89 \text{ m}$$

Une erreur de un mètre est donc possible dans le cas défavorable indiqué : on vérifie que cette erreur est sans conséquence sur la sécurité de la navigation. Car on indique sur la carte par la formule 1 (qui est la formule de la zone 7) moins d'eau qu'il n'y en a en réalité.

2.17.14.8. Les observatoires de marée dans le Golfe du Morbihan

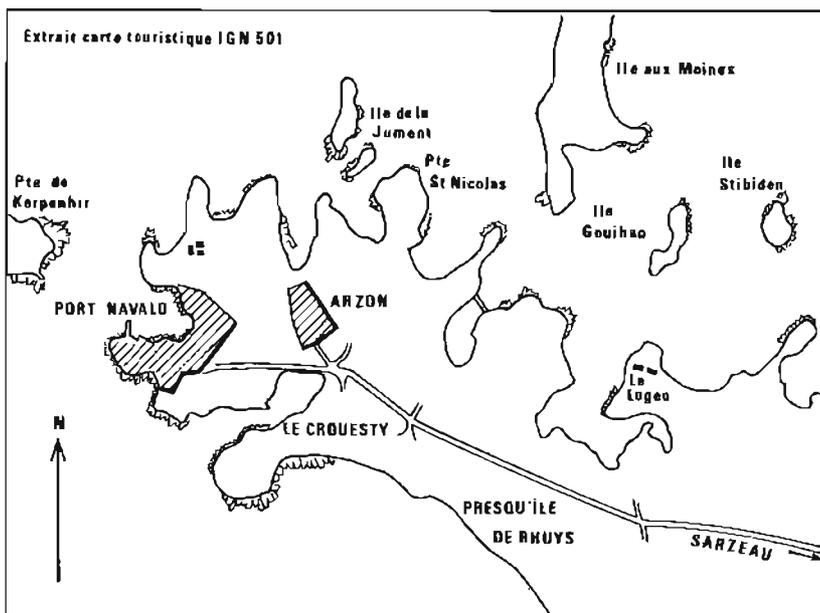
(planches 2.17.3 à 2.17.8)

Des fiches d'observatoires, archivées à l'EPSHOM ont été rédigées.

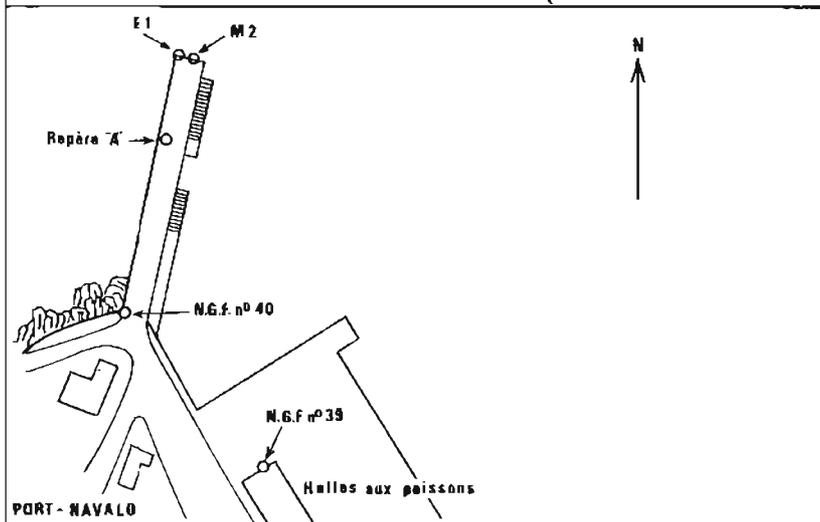
Rappelons les caractéristiques essentielles des observatoires. Tous les contrôles de nivellement ont été effectués; le rattachement de l'observatoire d'Arradon a demandé un cheminement voisin de 2 kilomètres.

| Observatoire voir planche... | N° fiche | Situation | Descriptif | Période d'observation |
|------------------------------|----------|-----------------------------------|--|---|
| Port-Navalo 2.17.3 | 50 | L = 47°33', 05N G = 2°54', 90W | Marégraphe Ott R16 et échelle de marée. | 8 mars au 21 avril 1983 |
| Auray 2.17.4 | 50 B | L = 47°39', 95N G = 2°58', 63W | Marégraphe immergé Suber; Contrôle à la sonde lumineuse. | 21 février au 21 avril 1983 |
| Le Logeo 2.17.7 | 50 C | L = 47°33', 05N G = 2°50', 9W | Marégraphe immergé Suber; Contrôle à la sonde lumineuse. | 23 février au 21 avril 1983 (en 2 périodes) |
| Arradon 2.17.6 | 50 D | L = 47°36', 93N G = 2°49', 69W | Marégraphe Ott R16 et échelle | 24 février au 21 avril 1983 (en 2 périodes) |
| Saint-Armel 2.17.7 | 50 E | L = 47°35', 48N G = 2°42', 9W | Marégraphe Suber; Contrôle à la sonde | 21 février au 21 avril 1983 |
| Vannes 2.17.8 | 50 F | L = 47°38', 3N G = 2°51', 65W | Marégraphe Ott R16 et échelle | 25 février au 21 avril 1983 |

Situation générale



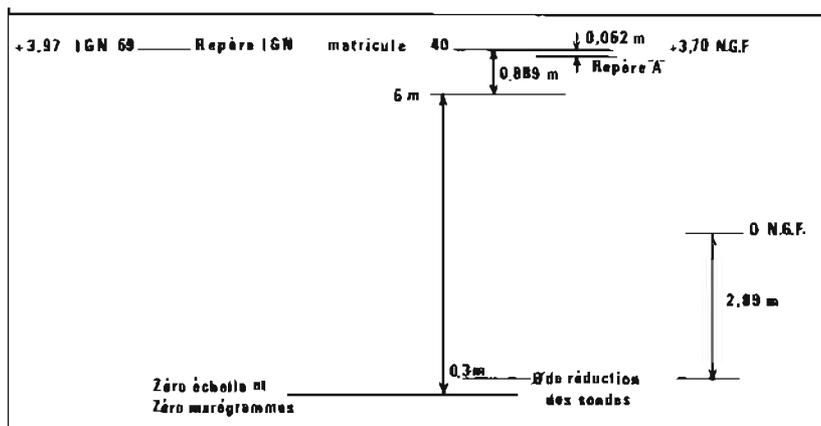
Croquis détaillé

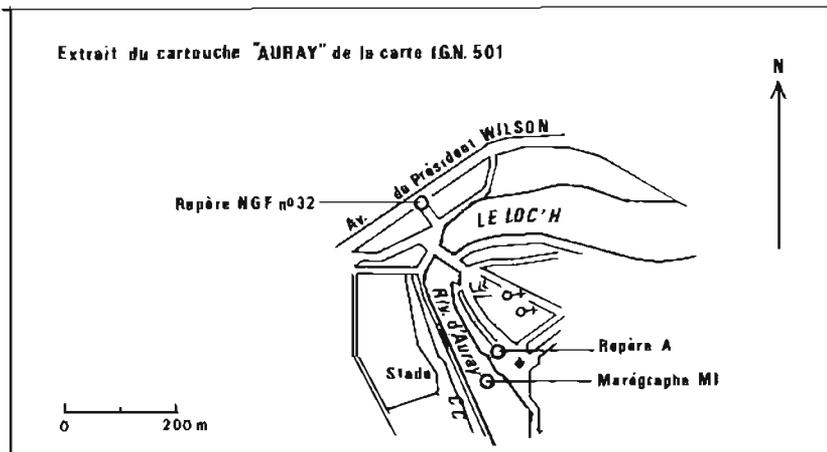


Descriptif des repères et situation en élévation

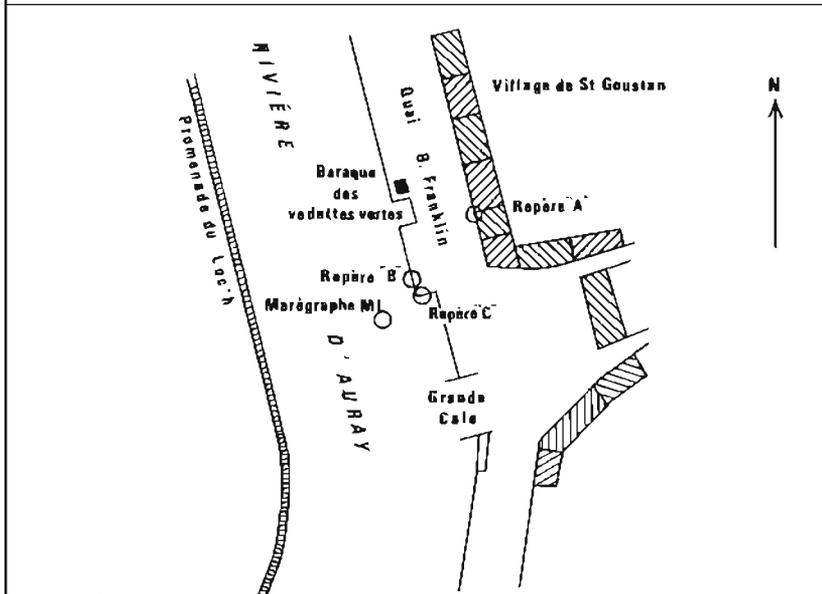
| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|---------------------------------------|--|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère IGN matricule 39 (fondamental) | Repère type M scellé dans le bas de la façade des halles aux poissons | 3,725 | 3,995 | 6,61 |
| Repère IGN matricule 40 | Repère type M scellé dans le mur de protection du môle de Port-Navalo | 3,700 | 3,970 | 6,59 |
| Repère A | Repère SH scellé dans le sol sur le môle de Port-Navalo au pied du 2 ^e lampadaire | 3,638 | 3,908 | 6,53 |

PL. 2.17.3. — Observatoire de marée de Port-Navalo.





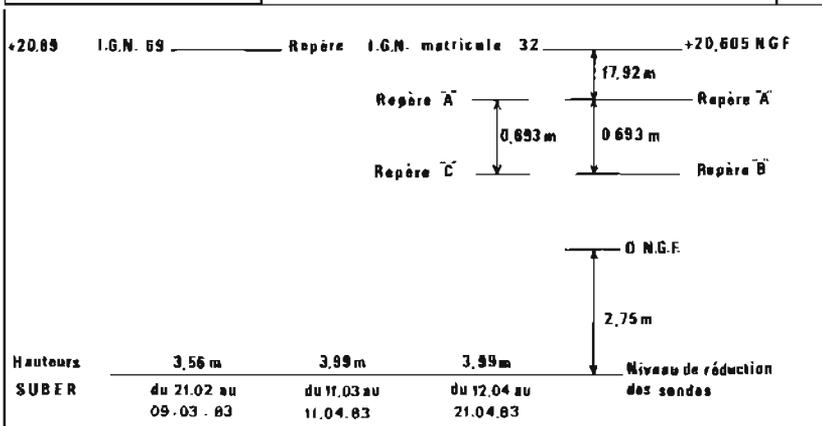
Situation générale



Croquis détaillé

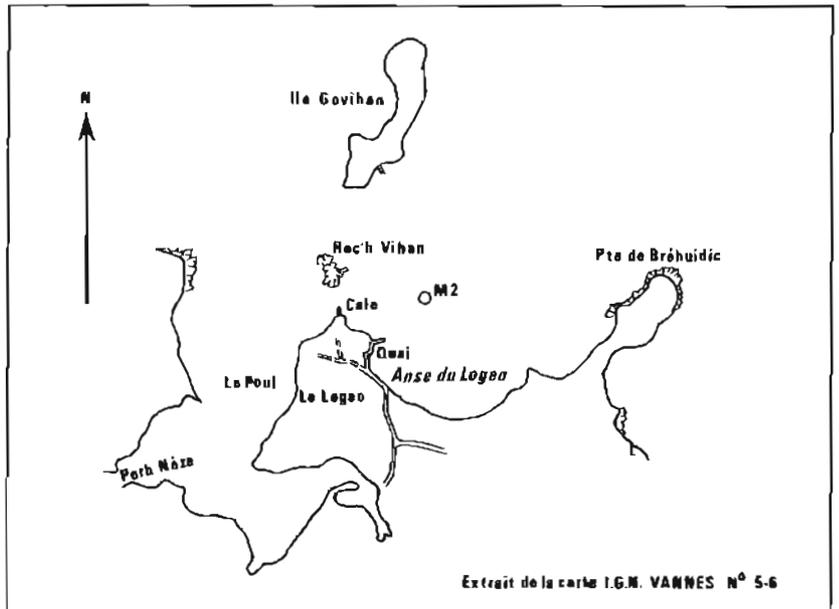
Descriptif des repères et situation en élévation

| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro I.G.N. 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|------------------------|--|--|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère A (fondamental) | Repère SH scellé dans le mur d'une maison, située en face de la baraque des « vedettes vertes » quai B. Franklin à Saint-Goustan | 3,513 | 3,798 | 6,263 |
| Repère B | Repère SH scellé sur le bord du quai B. Franklin au village de St-Goustan, à 10 m en amont de l'extrémité du quai | 2,82 | 3,105 | 5,570 |
| Repère C | Repère SH scellé sur le bord du quai B. Franklin au village de St-Goustan, à 1 m en retrait de l'extrémité aval du quai | 2,82 | 3,105 | 5,570 |

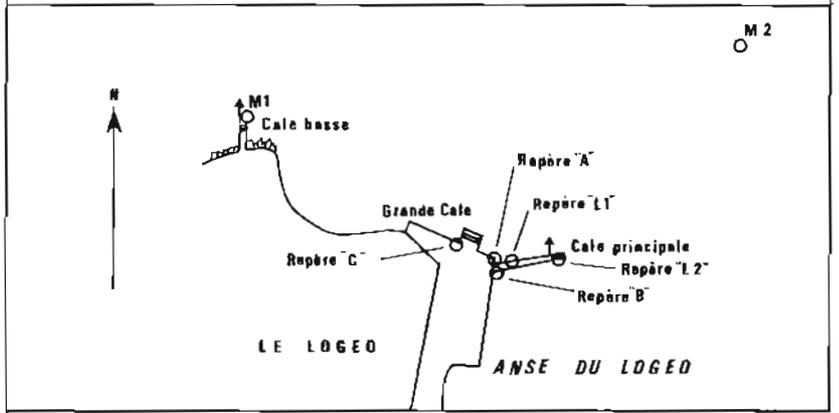


PL. 2.17.4. — Observatoire de marée d'Auray.

Situation générale



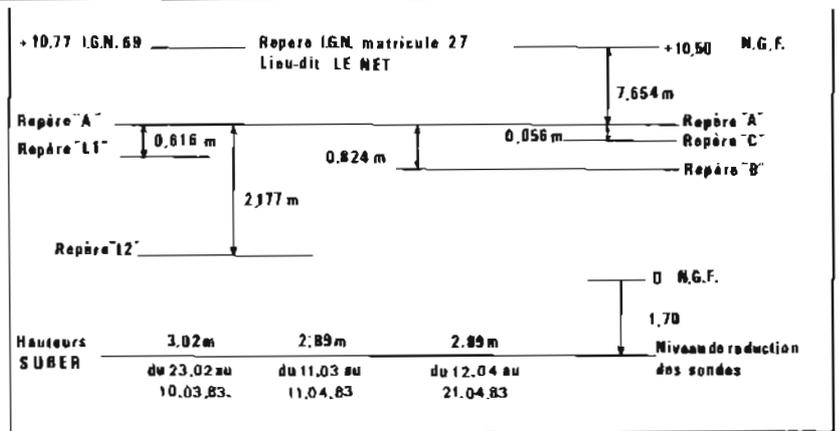
Croquis détaillé de situation

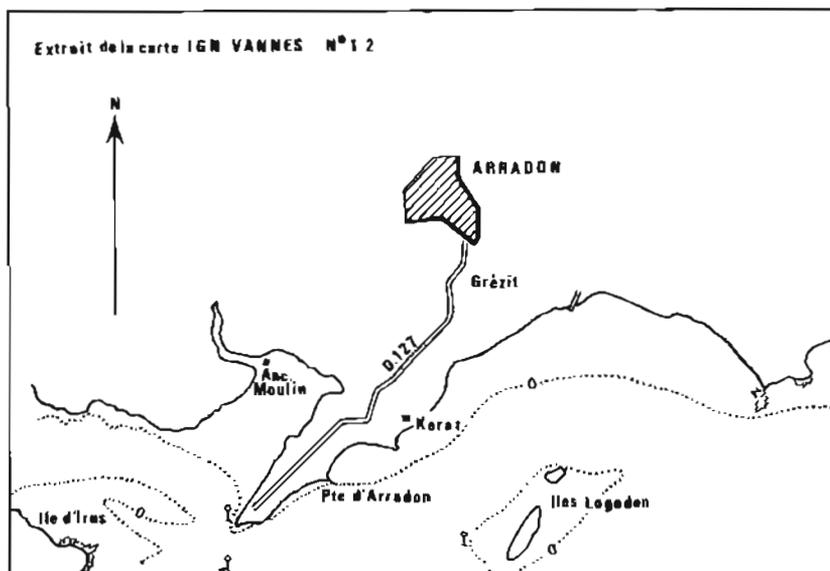


Descriptif des repères et situation en élévation

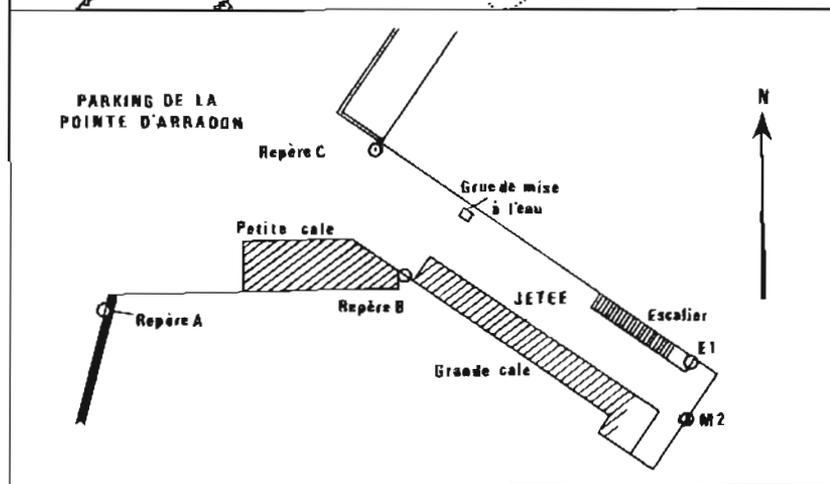
| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|------------------------|--|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère A (fondamental) | Repère SH scellé dans le muret gauche délimitant la cale principale du Logeo | 2,846 | 3,116 | 4,55 |
| Repère B | Repère SH scellé dans l'angle du quai et de la cale principale du Logeo | 2,022 | 2,292 | 3,72 |
| Repère C | Repère SH scellé sur le mur gauche délimitant la grande cale du Logeo | 2,790 | 3,060 | 4,49 |
| Repère L1 | Croix gravée en haut et à gauche de la cale principale du Logeo; la croix a été peinte en orange | 2,23 | 2,50 | 3,93 |
| Repère L2 | Croix gravée en bas et à droite de la cale principale du Logeo | 0,67 | 0,94 | 2,37 |

PL. 2.17.5. — Observatoire de marée du Logeo.





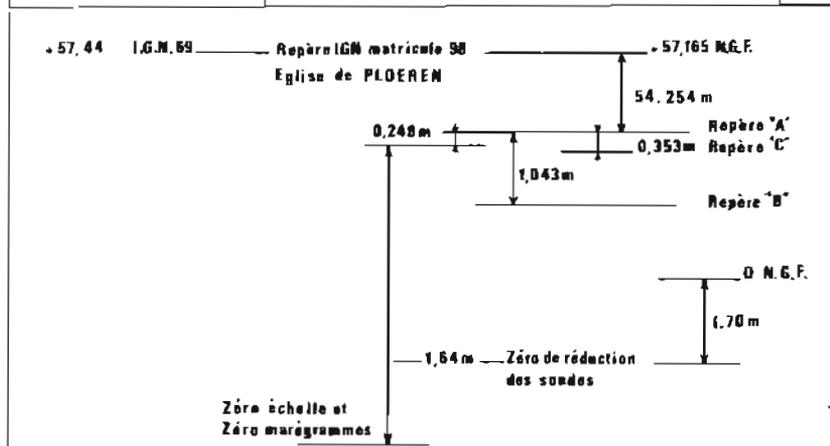
Situation générale



Croquis détaillé de situation

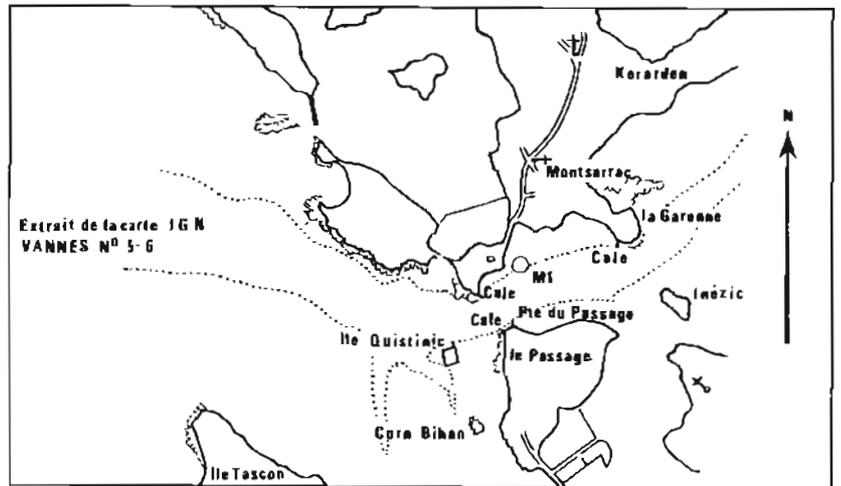
Descriptif des repères et situation en élévation

| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|------------------------|--|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère A (fondamental) | Repère SH scellé dans le mur, (côté Est de la petite cale), à la pointe d'Arradon | 2,910 | 3,185 | 4,61 |
| Repère B | Repère SH scellé dans la partie verticale de la jetée de la pointe d'Arradon, au début de la grande cale (côté Est) | 1,867 | 2,142 | 3,57 |
| Repère C | Sommet de l'anneau scellé dans l'angle formé par le côté Ouest de la jetée et le mur du parking de la pointe d'Arradon | 2,557 | 2,832 | 4,26 |

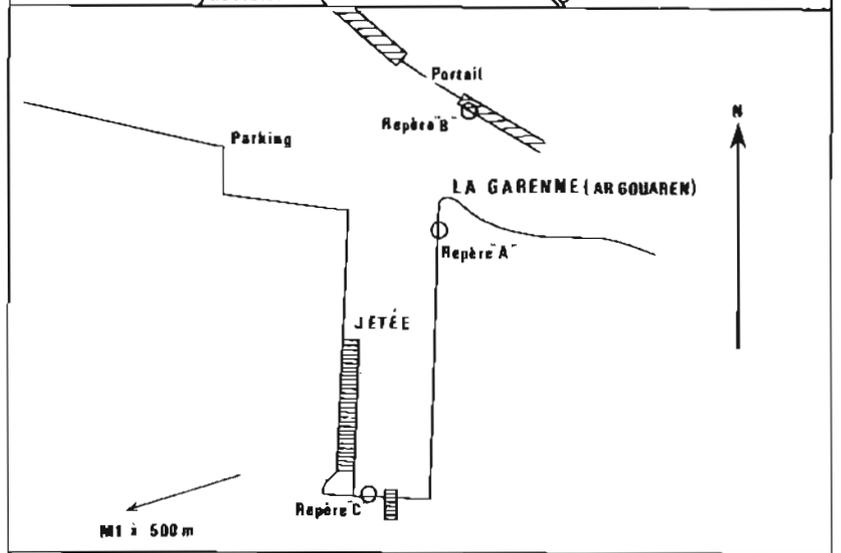


PL. 2.17.6. — Observatoire de marée de d'Arradon.

Situation générale



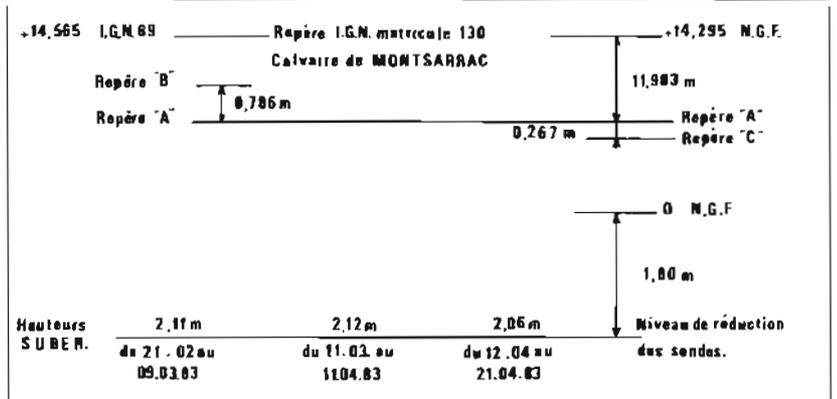
Croquis détaillé et situation (repères et marégraphes)

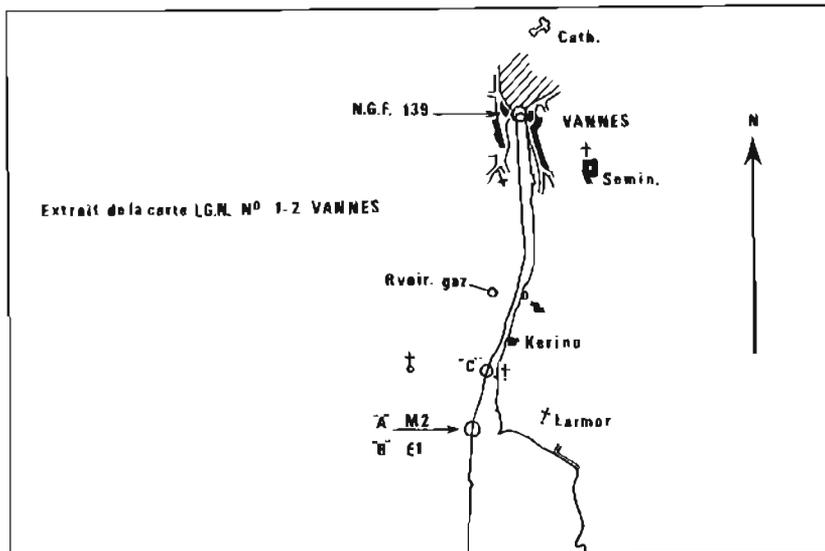


Descriptif des repères et situation en élévation

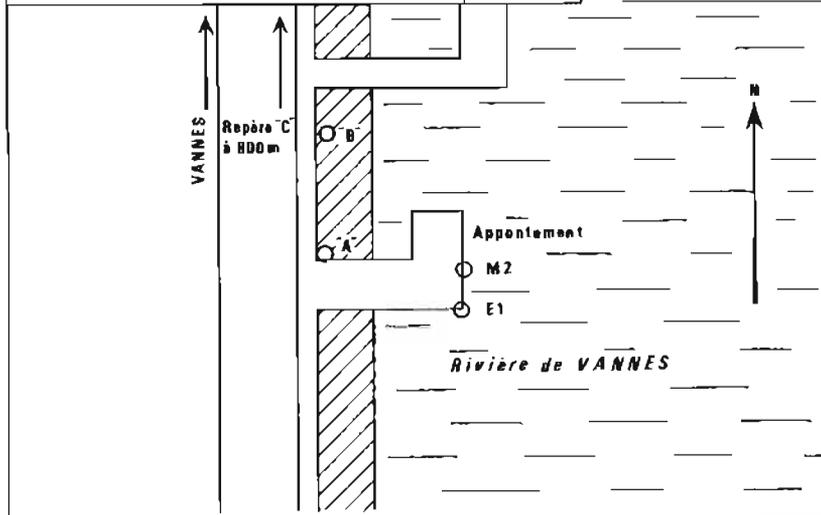
| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|------------------------|---|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère A (fondamental) | Repère SH scellé dans le côté gauche, et à la naissance de la jetée de la Garenne, commune de Montsarrac | 2,312 | 2,582 | 4,112 |
| Repère B | Repère SH scellé dans le mur, à droite du portail, en face de la jetée de la Garenne, commune de Montsarrac | 3,098 | 3,368 | 4,898 |
| Repère C | Repère SH scellé à l'extrémité de la jetée, à droite de l'échelle, à la Garenne, commune de Montsarrac | 2,045 | 2,315 | 3,845 |

PL. 2.17.7. — Observatoire de marée de Saint-Armel — Ile du Passage.





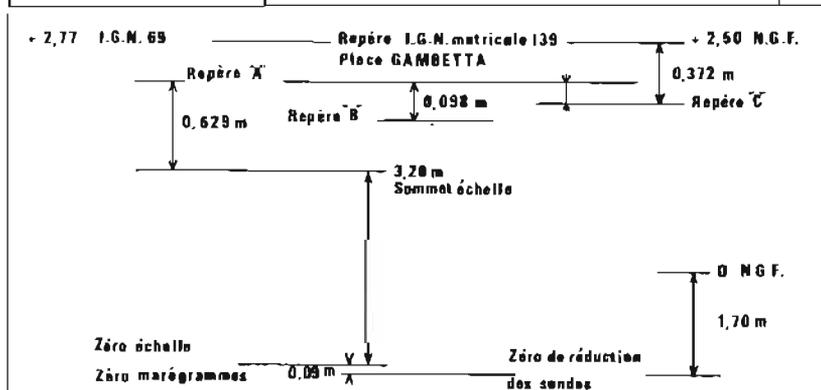
Situation générale de l'observatoire



Croquis détaillé de situation (repères et marégraphes)

Descriptif des repères et situation en élévation

| Désignation | Description | Cote rapportée au zéro NGF ou zéro IGN 69 | | Cote rapportée au zéro de réduction des sondes |
|--|--|---|--------|--|
| | | NGF | IGN 69 | |
| Repère IGN (fondamental) Matricule 139 | Repère Type M.R.U. scellé dans le mur du quai place Gambetta — Port de Vannes | 2,50 | 2,77 | 4,20 |
| Repère A | Repère SH scellé dans le mur du quai, rive droite de la rivière de Vannes à 0,50 m du dernier appontement en venant de Vannes | 2.220 | 2,490 | 3,92 |
| Repère B | Repère SH scellé dans le mur du quai, rive droite de la rivière de Vannes à 15 m en avant du dernier appontement en venant de Vannes | 2.122 | 2,392 | 3,82 |
| Repère C | Repère SH scellé dans le mur du quai, situé en face du « Café du point vert » (Port de Vannes) | 2.128 | 2,398 | 3,83 |



PL. 2.17.8. — Observatoire de marée de Vannes.

2.17.15. Courants

Les mesures de courantométrie effectuées sont très sommaires : elles ont été effectuées le plus souvent à l'aide de courantographes mouillés dans des zones calmes; des mesures dans les zones de courant fort auraient exigé l'étude de mouillages adaptés et la vérification fréquente de la tenue de ces mouillages. Par ailleurs, je me suis souvent posé la question : que mesurer ? tant dans les passes, les courants étaient divers à des distances de quelques mètres. Il aurait fallu déterminer les courants maximaux observables dans les zones critiques mais une telle observation n'est ni simple ni rapide.

2.17.15.1. Mesures au point fixe

Des mesures ont été faites à l'aide de courantographes photographiques Mécabotier mouillés aux emplacements indiqués ci-dessous :

- sur la bouée Logoden, au Sud de la pointe d'Arradon, du 29 mars au 8 avril 1983.
- sur la bouée Creizic Sud, à l'Est de l'île Berder, du 8 avril au 21 avril 1983.
- sur la bouée Le Lieu, au Nord de Port-Navalo, du 9 avril au 21 avril 1983.

2.17.15.2. Mesures à l'aide de flotteurs dérivants

Ces mesures ont été faites principalement au voisinage de l'île de La Jument, c'est-à-dire dans les zones où l'on était susceptible d'observer les courants les plus forts.

Les trajectoires des flotteurs ont été reportées sur des contre-calques de minutes de topographie.

Les courants mesurés sont voisins de trois nœuds en morte-eau.

2.17.15.3. Autres données

Une étude de courants faite à l'entrée du golfe par la SCOETA en 1979 a été communiquée par la Direction Départementale de l'Équipement. Elle a permis à l'EPSHOM de tracer des planches heure par heure.

2.17.16. Bathymétrie (planches 2.17.10 et 2.17.11)

2.17.16.1. Les instructions techniques prévoyaient seulement un contrôle des profondeurs sur les voies recommandées existantes, un levé de détail au Sud-Est de l'île d'Arz au mouillage de Ker Noël, ainsi que quelques profils dans la partie Est du golfe que l'on soupçonnait en voie de comblement.

En pratique, des sondages beaucoup plus denses ont pu être effectués, dans la presque totalité du golfe, grâce à la couverture Trident mise en place et à un système original d'acquisition automatique et de contrôle des données de localisation installé à bord de l'une des vedettes. Le synoptique de l'installation est rappelé planche 2.17.9.

Ce système conçu autour d'un ordinateur de bureau HP 85, permettait en effet l'archivage sur support magnétique des données Trident, et le tracé en temps réel de la route suivie sur un extrait de la carte en service en utilisant un traceur HP 9872. Bien que non conçu a priori pour une utilisation à bord d'une vedette, ce système s'est très bien comporté.

2.17.16.2. A l'issue de la rédaction des travaux sous la direction de l'ICA Souquière, j'ai analysé la cohérence des minutes du levé de 1983 (au 1/10 000 ou au 1/5 000) avec les agrandissements à même échelle de la carte marine 3165, et avec la carte de l'entrée du golfe (CM 5554) elle-même au 1/10 000. Il convenait en effet de donner des indications suffisantes en vue de l'exploitation cartographique, les nouvelles mesures ne remplaçant pas purement et simplement les anciennes.

Une carte marine a été renseignée, comme le montrent ses réductions — planches 2.17.10 et 2.17.11 — pour distinguer :

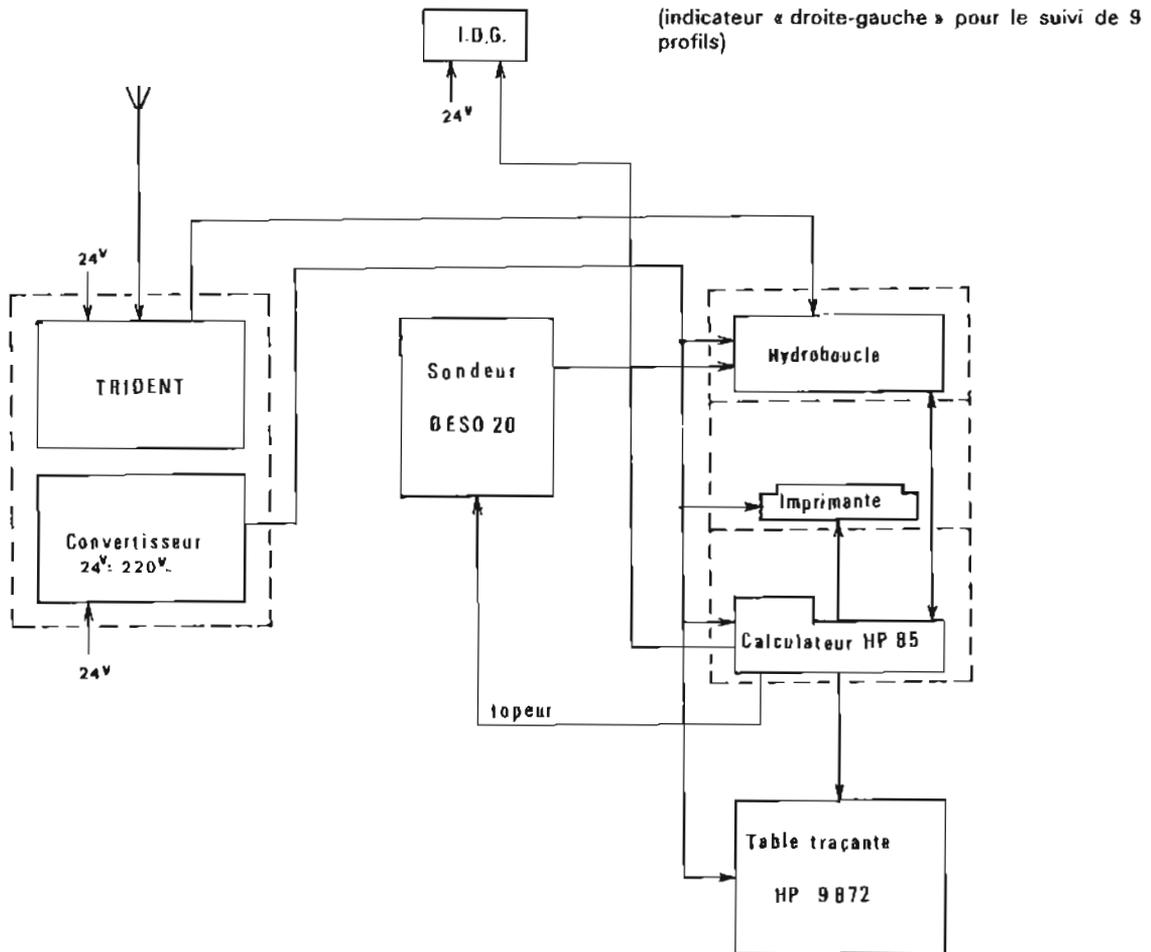
- la zone (zone « A » à l'Ouest de Er Gazek) où les sondes anciennes sont à conserver au même titre que les sondes nouvelles pour le tracé des isobathes et pour leur report éventuel sur les nouvelles cartes quand c'est utile;
- la zone (zone « B » à l'Est de Er Gazek) où les sondes anciennes doivent être augmentées de un mètre avant d'être intégrées aux données bathymétriques des nouvelles cartes.

Dans les deux zones ci-dessus, on a indiqué les cas où les sondes anciennes doivent être supprimées. Cette suppression résulte :

- de l'affouillement des vasières proches de zones à fort courant (cas des abords de l'île aux Moines),
- au contraire, de l'envasement de petits cours d'eau au débit insuffisant (cas de la zone à l'Est de l'île d'Arz, du Grand Rohu à la presqu'île de Truscot).

Dans un seul cas, le mouillage de Ker Noël au Sud de l'île d'Arz, la densité des sondages à 1/5 000 permet de s'affranchir des données anciennes.

Système acquisition et suivi de profil équipant la vedette
La Charité



PL. 2.17.9. — Schéma des liaisons électriques à bord de la vedette la *Charité* pour l'acquisition des données par le système Hydrac.

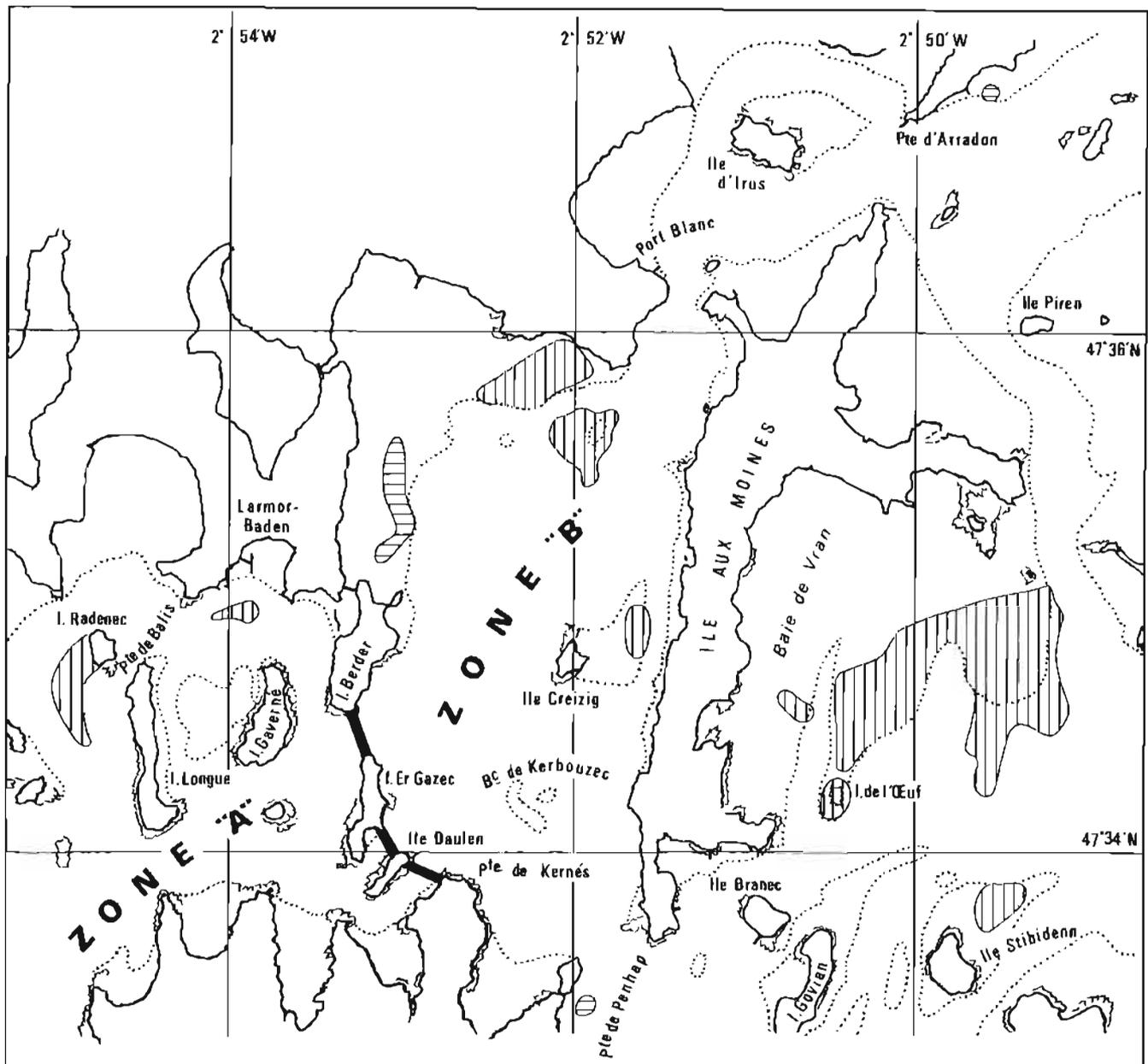
2.17.16.3. L'augmentation des sondes de un mètre à l'Est de l'île Er Gazek s'explique essentiellement par le choix du zéro hydrographique en 1983 à deux niveaux différents :

- l'une à la cote (− 2,89 m NGF), à Port-Navalo pour les sept premières zones de marée communiquant facilement avec le large.
- l'autre à la cote (− 1,70 m NGF) pour les zones 8 à 14 qui correspondent à un bassin intérieur où la marée est fortement amortie et retardée.

Ainsi que l'écrit l'ICA Souquière, il semble que lors des levés anciens, le zéro hydrographique ait été sensiblement pris à la cote de celui de Port-Navalo mais il existe une incertitude à ce sujet, aussi il est préférable de modifier les sondes anciennes de un mètre seulement et non de 1,19 m comme il résulterait de la différence des zéros hydrographiques choisis en 1983.

La modification des sondes anciennes de un mètre a été faite lors de la comparaison des documents anciens et nouveaux d'une manière empirique avant toute analyse des choix des zéros hydrographiques. Cette modification proposée ne devrait pas être accentuée sans doute par prudence mais aussi pour tenir compte de l'indication de la carte marine 3165 actuellement en service :

« à l'intérieur du golfe, les plus basses mers se maintiennent à des hauteurs comprises entre 0,4 m et 0,9 m au-dessus du zéro des sondes ».



PL. 2.17.10. — Golfe du Morbihan. Analyse bathymétrique de la carte marine 3165 en service en 1983 (première partie de l'analyse à l'Ouest du golfe).

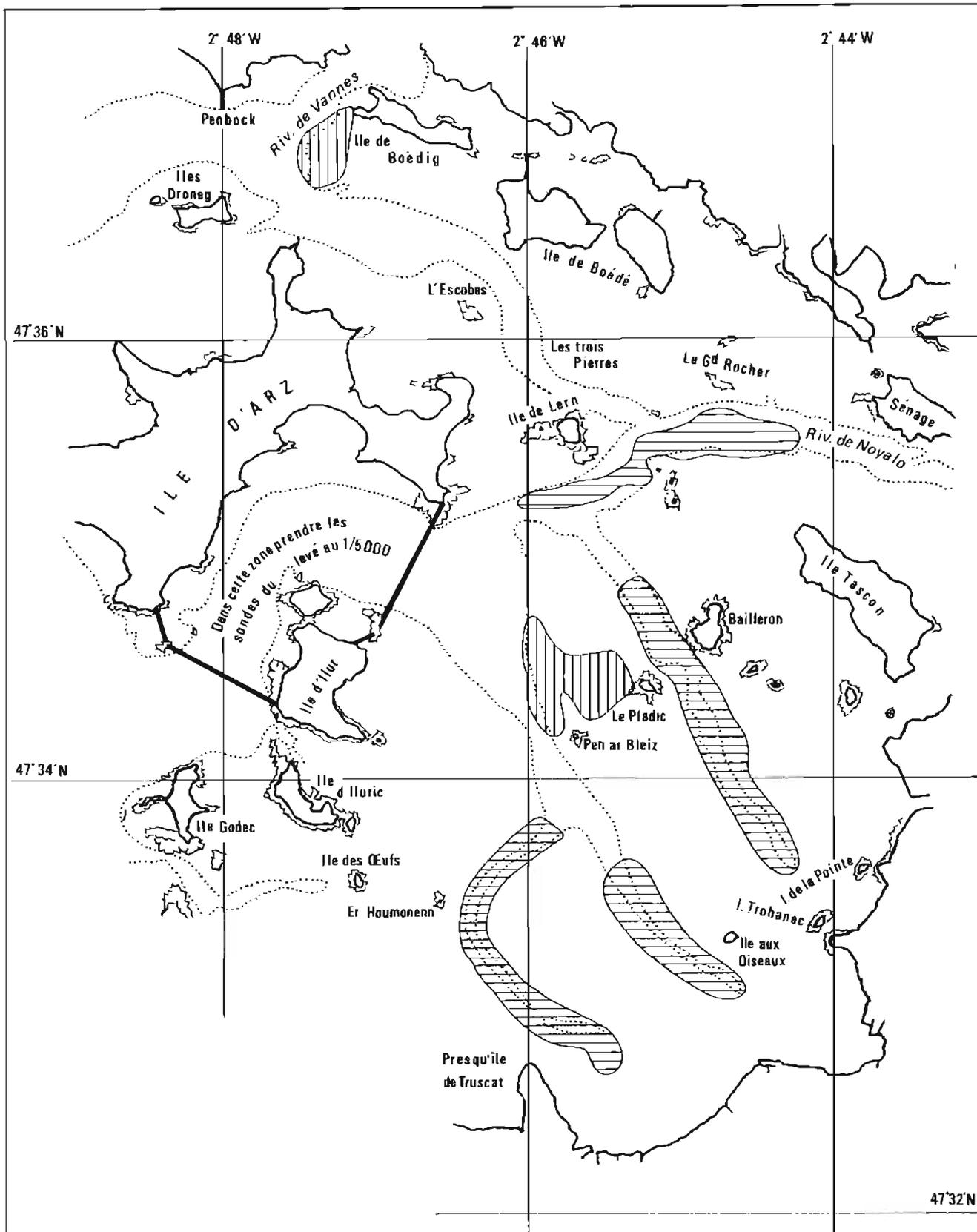
Commentaires

Zone A : zone à l'Ouest des îles Berder, Er Gazec, Daulen dans laquelle il faut conserver les sondes de la carte en service sans modification.

Zone B : zone à l'Est des îles ci-dessus, jusqu'au fond du golfe; dans cette zone il faut, par suite du changement de niveau du zéro hydrographique, majorer les sondes de la carte marine de 1 mètre (une sonde de 3 m devient ainsi 4 m).

 zone où un envasement a été constaté

 zone où un affouillement a été constaté



PL. 2.17.11. — Golfe du Morbihan : analyse bathymétrique de la carte marine 3165 en service en 1983 (2^e partie : à l'Est du golfe)

Commentaire

La partie du golfe représentée est en zone « B » de la planche 2.7.10. Il faut majorer les sondes anciennes de 1 mètre sauf au Sud de l'île d'Arz où le levé au 1/5 000 est suffisamment dense.



zone en ensablement (ne pas tenir compte des sondes anciennes)

zone en affouillement (ne pas tenir compte des sondes anciennes)

2.17.16.4. Les hauts-fonds

Les hauts-fonds de la carte marine en service ont tous été maintenus. Les hauts-fonds trouvés en 1983, ne méritent pas une analyse particulière.

2.17.17. Documents établis (levé archivé à l'EPSHOM sous le numéro 84-16)

- 6 minutes de bathymétrie (5 au 1/10 000 et 1 au 1/5 000),
- 2 minutes de recherche (1 au 1/10 000 et 1 au 1/5 000),
- 5 minutes de topographie (au 1/10 000),
- 6 fiches d'observatoire de marée,
- 127 fiches d'amers,
- 1 carte renseignée « amers »,
- 1 carte renseignée « toponymie »,
- 1 carte renseignée « bathymétrie »,
- des vues de côtes (21 photos au « Linhoff »),
- 2 planches de courants (déduites du suivi de la trajectoire de bouées),
- 3 dossiers de mesure de courant.

2.17.18. Conclusions

2.17.18.1. Le levé du Golfe du Morbihan a été l'occasion d'analyser dans la première partie de ce chapitre le fonctionnement des détachements autonomes équipés de moyens légers terrestres et maritimes. Concluons sur la qualité des travaux effectués au cours de ce levé de reconnaissance et aussi par quelques indications sur les travaux qu'il eût été souhaitable d'entreprendre.

2.17.18.2. Ces travaux ne sont pas des travaux d'hydrographie expéditive mais sont comparables à ceux effectués à l'occasion de tout levé par une mission hydrographique. L'attribution du qualificatif « levé de reconnaissance » mérite d'être retenue étant donné l'importance des mesures idéales à effectuer pour une connaissance exhaustive de la bathymétrie (§ 2.17.16), de la marée (§ 2.17.14), des courants (§ 2.17.15).

Il est délicat de parler de qualité pour un levé non exhaustif. La plupart des hydrographes et des cartographes appréhendent les levés partiels, leur exploitation étant d'autant plus longue que les travaux sur le terrain ont été rapides. Les levés de reconnaissance exigent souvent de la part des ingénieurs un examen excessif, les résultats des travaux, incomplets, ne se vérifiant pas les uns les autres et devant être vérifiés un à un.

Dans le cas du levé du Golfe du Morbihan, la cohérence des données anciennes et des données nouvelles est cependant un gage de qualité. La qualité de la carte en service a été constatée bien que sa mise à jour topographique et bathymétrique fût nécessaire. Peu de dangers nouveaux ont été trouvés mais les fonds sont plus accusés qu'il était prévisible. L'envasement de l'Est du golfe est aussi confirmé pour les cours d'eau au débit insuffisant.

On peut se demander s'il est utile d'appeler le navigateur à la prudence par quelque formule du genre « zone incomplètement hydrographiée ». Sans doute cette recommandation ne serait pas déplacée à l'attention d'un gros navire de plaisance empruntant un trajet inhabituel pour la première fois. Mais il n'y a pas lieu d'inquiéter le plaisancier outre mesure en raison de la bonne cohérence des documents anciens et nouveaux, en raison de l'échelle relativement petite de la carte (1/25 000), enfin en raison de la fréquentation importante du golfe sans accident particulier.

2.17.18.3. Pour tout futur levé, on consultera :

- les minutes rédigées en 1983 (étude des sondages effectués ou non).
- les cartes en service à cette date (origine des sondes anciennes augmentées ou non de un mètre).

Il sera nécessaire de coter tous les hauts-fonds et de lever les passes étroites, peu profondes, à proximité des passes principales. En effet, celles-ci, du fait des courants sont parfois difficiles à franchir par un voilier ou un bateau à moteur; le navigateur pourrait alors s'aventurer dans ces passes moins sûres. Il faudra ainsi lever les passes au Nord et au Sud de l'île Danlen, celles entre la rivière d'Auray et l'île Berder. Au cours de ces sondages, la présence d'un pratique pourra être utile.

On vérifiera aussi l'existence de la passe au Sud de l'île Godec, vers l'île des Oeufs.

Il sera nécessaire d'étudier la propagation de la marée en disposant des marégraphes dans la zone (pointe de Motenno, pointe de Bernon, pointe de Kernès, pointe de Balis) caps qui définissent la région du golfe la plus turbulente (zones de marée 4, 5, 6, 7).

Enfin, certaines zones — comme celle d'Er Lannic — seront sondées à 1/5 000 avec sondeur latéral pour mettre en évidence les effondrements et failles survenues au cours de l'histoire géologique du golfe. Il sera opportun d'entreprendre une étude documentaire à laquelle incite l'opuscule « la nature dans le

Golfe du Morbihan » de Patrick Thommen (collection « Protection des rivages » publiée par Ouest-France), ouvrage publié en avril 1983 dans lequel ont été relevées les lignes suivantes :

« Un champ de fractures détermine dans le fond marin du golfe un véritable damier. Les compartiments les moins affaissés constituent les îles. Des courants violents mettent parfois à nu ces failles. A proximité de l'îlot d'Er Lannic, les plongeurs peuvent découvrir un plan vertical parfaitement plat et lisse, d'une hauteur de 18 m, définissant un miroir de faille.

Plusieurs observations indiquent que cet effondrement se poursuivra lentement de nos jours :

— les secousses sismiques centrées sur Arradon traduisent toute l'activité de cette faille (séismes 1923, 1930, 1936, 1956),

— de nombreux mégalithes de la période néolithique (— 4 500 ans avant J-C) installés à l'origine sur la terre ferme sont aujourd'hui submergés. L'exemple le plus significatif est certainement celui du double cromlech d'Er Lannic, ancien lieu de culte. Les 33 menhirs du cercle inférieur sont tous submergés par 6 ou 7 m d'eau et seule une dizaine de menhirs du cercle supérieur, les « dents du diable » émergent encore de nos jours.

— des documents plus récents et des récits de tradition orale traduisent cet enfoncement irrémédiable des terres. Par exemple, au 19^e siècle, il était encore possible d'aller à pied sec, à marée basse, de l'île d'Arz aux îles de Lern, Spiren et Drenec.

— la toponymie est également instructive à ce sujet. Certaines îles ont été morcelées, chaque partie conservant le nom de l'unité perdue. Il existe maintenant deux îles Logoden, la grande île d'Ilur et la petite île d'Iluric ».

TROISIÈME PARTIE

OCÉANOGRAPHIE, ÉTALONNAGES DE RÉSEAUX, ÉVALUATIONS D'ÉQUIPEMENTS

Chapitre 3.1

CAMPAGNE ENVAT 81

La campagne de recherche multidisciplinaire Envat 81 (Environnement Atlantique 1981) a été organisée sous le contrôle de l'Établissement Principal en étroite collaboration avec l'Université de Bretagne Occidentale (UBO). Elle a reçu le concours technique des services de la Météorologie Nationale et le concours financier de la Direction des Recherches et Etudes Techniques (DRET).

Ont participé à cette campagne :

- le BO *D'Entrecasteaux* (du 8 au 15 septembre puis du 22 octobre au 6 novembre),
- le BH1 *L'Espérance* (du 8 au 16 septembre puis du 2 au 27 octobre),
- la gabare *Cigale* (du 3 au 12 octobre puis du 17 au 19 octobre) à la suite de l'indisponibilité de la grue hydraulique de *L'Espérance*.

La MHA n'a pas contribué au dépouillement des mesures; elle a participé à la confection des mouillages (concours de l'équipage de *L'Espérance*) et aux opérations à la mer.

Pour l'étude des mesures, on consultera :

- le rapport d'activité Envat 81 (avril 1982) de l'ISC Camus;
- l'ouvrage « Envat 81, présentation des données » (septembre 1982) publié sous le n° 363 EPSHOM/E/OC,
- dans la revue *Met-Mar* (n° 118, 1^{er} trimestre 1983), l'article :

« Envat 81 : campagne de recherche multidisciplinaire en Atlantique; aspects météorologiques, chimiques, biologiques, hydrologiques et thermodynamiques » par J.Y. le Tarrau, R. Mazé, J. Le Fèvre, C. Billard.

Une des conclusions intéressantes de l'article est rapportée ci-dessous :

« C'est au-dessus du talus continental que les oscillations de la thermocline présentent leur amplitude maximale. Par ailleurs, au-dessus du plateau continental, l'élongation maximale est plus importante qu'au dessus de la plaine abyssale. Ces caractères suggèrent une propagation des ondes internes de marée à partir du talus continental, de part et d'autre de celui-ci. L'amortissement de ces ondes est plus important vers le large que vers la côte car, du fait du frottement, la diminution de la profondeur induit une amplification des ondes qui s'y dirigent. Ces résultats sont en accord avec les travaux théoriques de R. Mazé. L'influence des ondes internes, qui nous paraît déterminante sur le comportement de la température de la « couche mélangée », ne saurait donc être négligée ultérieurement.

Pour quantifier, et par la suite modéliser les processus de mélange résultant de l'interaction entre le brassage mécanique et l'onde interne, il serait nécessaire d'effectuer des séries de mesures rapprochées dans le temps et dans l'espace, sur une radiale perpendiculaire au talus continental, et ce, pendant toute la durée d'un coup de vent. Ceci pourrait constituer l'objectif d'une future campagne océanographique ».

Chapitre 3.2

ÉVALUATION DU MARÉGRAPHE SUBER

3.2.1. Introduction

Au cours de plusieurs levés, la qualité des mesures du marégraphe Suber a été constatée.

De 1980 à 1982, l'utilisation courante de l'appareil a comporté plusieurs phases :

- la définition des mouillages,
- la formation du personnel à la mise en œuvre des équipements et à l'utilisation des programmes,
- l'écriture par l'EPSHOM des programmes pour les calculateurs en service : HP 9825, puis HP 9835 et HP 9845.

L'emploi des marégraphe Suber n'est pas sans servitude; faute de système de transmission des informations, il est impossible de disposer de la marée au moment du levé; la récupération du marégraphe — et donc de la marée nécessaire au dépouillement du levé — n'est pas certaine du fait des risques de pertes; le lest du marégraphe étant largable, il faut prévoir son remplacement; le calage en hauteur doit être vérifié, le marégraphe pouvant s'enfouir, basculer, se déplacer sous l'influence des courants. La confection de cage à embase large semble cependant avoir réduit les derniers inconvénients indiqués.

Pour récupérer les marégraphe sans trop de risques, la durée des mouillages a été limitée aux périodes de levés. Les mesures effectuées, sans rajouter de nouveaux points au modèle harmonique de marée en Manche, ont permis cependant soit d'adopter directement la marée (levé de zones caractéristiques sur le plateau continental décrit au chapitre 2.6) soit de contrôler la cohérence de la marée calculée sur zone à partir de celle observée dans un port.

3.2.2. Description du marégraphe Suber (extrait du manuel d'hydrographie 1982, rédigé par M. Habert)

Avec le marégraphe Suber apparaît une nouvelle génération d'appareils fondés sur l'effet piézo-électrique et le traitement numérique des informations. Ses caractéristiques sont : un corps cylindrique en bronze, de longueur 66 cm, de diamètre 21 cm, un poids dans l'air de 27 kg, un poids dans l'eau de 14 kg.

Le marégraphe contient l'ensemble électronique de mesure et de stockage des informations. Le capteur, situé à l'extrémité inférieure, est un quartz dont la fréquence propre, par effet piézo-électronique varie avec la pression qui s'exerce sur lui. Ce quartz est inséré dans un circuit oscillant qui délivre un signal dont la fréquence dépend de la pression. Celle-ci est ainsi déterminée indirectement par l'intermédiaire d'une fréquence à laquelle elle est reliée par un développement au voisinage d'une fréquence F_0 qui correspond à une pression nulle :

$$P = A \left(1 - \frac{F}{F_0}\right) + B \left(1 - \frac{F}{F_0}\right)^2$$

Les coefficients A, B et F_0 , propres à chaque capteur et donnés par le constructeur, sont déterminés par étalonnage.

Par exemple :

A : 627,611 bars

B : 341,987 bars

F_0 : 39,415 kHz

En rapportant la fréquence F mesurée à F_0 , $\Delta F = F_0 - F$, ce développement s'écrit :

$$P : \frac{A}{F_0} \Delta F + \frac{B}{F_0^2} \Delta F^2$$

Le terme linéaire est prépondérant.

La pression P enregistrée comprend :

- la pression atmosphérique, variable;
- la pression hydrostatique à l'immersion du capteur rapportée au zéro hydrographique; elle est constante;
- la pression due à la colonne d'eau au-dessus du zéro hydrographique.

C'est cette dernière qui correspond à la marée astronomique, la première intervenant comme un terme correctif. La résolution de l'appareil est d'environ deux millibars qui correspondent à une variation de fréquence de 0,1 Hz. La précision de la mesure est de l'ordre de 10 mb. Selon un procédé classique en électronique, la fréquence est mesurée en échantillonnant le signal et en comptant le nombre de cycles

pendant la durée d'échantillonnage. A chaque mesure, le nombre de cycles comptés incrémente un compteur de seize bits pendant une, deux ou quatre minutes et à intervalles réguliers de 7 min 30 s, 15 min, 30 min ou 60 min, au choix de l'utilisateur. Les temps sont donnés par une base de temps pilotée par une horloge à quartz.

A la fin de la mesure, le contenu du compteur est transféré automatiquement dans une mémoire dont la capacité est de 3000 mots.

A la mise en marche, l'utilisateur affiche :

- la durée de la mesure : 1,2 ou 4 min.
- la cadence de l'échantillonnage : 7 min 30 s, 15 min, 30 ou 60 min.

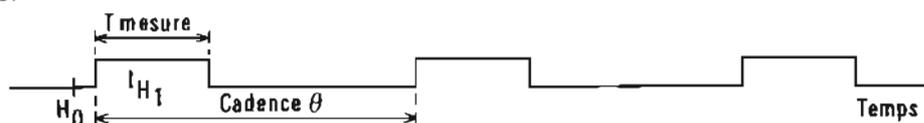
L'appareil n'est jamais ouvert. Son autonomie est de 2, 3 ou 5 ans sur piles alcalines.

La durée des campagnes de mesure, limitée par la capacité de la mémoire, dépend de la cadence choisie :

| Cadence | Autonomie |
|------------|-----------|
| 60 min | 128 j |
| 30 min | 64 j |
| 15 min | 32 j |
| 7 min 30 s | 16 j |

Le marégraphe est utilisé soit suspendu par un fil d'acier le long d'un quai, soit posé sur le fond. Dans ce dernier cas, il est monté en position verticale dans un bâti. S'il était simplement posé horizontalement, le capteur serait soumis non seulement à la pression hydrostatique, mais aussi à la pression dynamique du courant, sans parler des risques d'enfouissement. L'immersion maximum est de six cents mètres.

L'instrument est calé en hauteur en se référant à un observatoire de marée côtier voisin et en heure en prenant un top à la mise en marche. L'heure est enregistrée en regard de chaque mesure sous la forme d'un comptage.



Séquence de la mesure

T étant la durée d'une mesure, compte tenu d'une minute de temps mort entre l'instant H_0 de mise en marche et le début de la première mesure, l'heure H_1 de cette première mesure est :

$$H_1 = H_0 + 1 + \frac{T}{2}$$

et celle de la mesure i :

$$H_i = H_0 + 1 + \frac{T}{2} + (i - 1) \theta$$

θ étant la cadence.

Le mot affiché dans une mémoire est un nombre de cycles comptés pendant la durée d'une mesure. Il reste à traiter ces nombres en les lisant puis en les convertissant en fréquences, en pressions et enfin en hauteurs d'eau. Les mémoires sont lues à l'aide d'une valise de lecture Suber qui sert d'interface entre le marégraphe et un ordinateur de bureau HP 9845.

Les valeurs brutes peuvent être sorties sur ruban perforé ou sur listing, mais leur traitement normal passe par le calculateur qui délivre la marée sous forme numérique, enregistrée sur listing ou sur cassette, et sous forme de courbe.

Les constantes d'étalonnage du capteur, la durée des mesures et la cadence d'échantillonnage sont introduites dans le calculateur qui est programmé pour transformer les nombres de cycles en fréquences et les fréquences en pressions puis en hauteurs d'eau.

On se reportera, pour plus de détails au manuel d'exploitation des mesures Suber (numéro de nomenclature 0500 XIL).

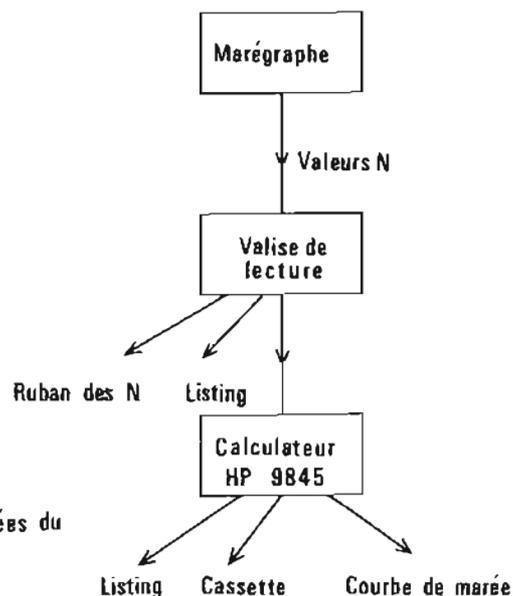


Schéma de traitement des données du marégraphe SUBER

3.2.3. Mesures d'évaluation du marégraphe Suber (planche 3.2.1)

Un marégraphe Suber a été évalué en Grande Rade de Brest en prenant pour référence l'observatoire permanent de la Penfeld.

Le marégraphe n° 41 a été mouillé sensiblement à la position L=48°19',2 N; G=4°28',5 W

- dans le 210° à 50 mètres de la bouée n° 1 de la zone de mouillage interdit de l'Île Longue, du 20 août 1980 à 12 h 58 au 25 août à 14 h 30;
- dans le 210° de la même bouée à 80 m, du 26 août à 14 h 57 au 4 septembre à 13 h 31;
- dans le 252° de la bouée à 50 m, du 4 septembre à 16 h 03 au 17 septembre à 8 h 48.

La concordance en hauteur entre l'observatoire de la Penfeld et ces diverses stations était parfaite en admettant que le marégraphe avait été immergé successivement à 20,25 m, puis à 20,10 m, enfin à 19,90 m, (profondeurs déduites de l'étude de concordances en hauteurs).

Les dispersions des heures des pleines mers et basses mers, rapportées à celles de la Penfeld, sont faibles (inférieures à 7 min) de l'ordre de la cadence de mesures choisie.

Enfin une exploitation partielle des mesures Suber (faites à la cadence d'acquisition 7,5 min avec période d'intégration de 2 min) a montré l'identité des courbes de marée.

Les mesures ont été dépouillées en adoptant la formule :

$$h(m) = \frac{(P - P_a) \text{ millibars}}{10,255 \times 9,81}$$

P... Pression mesurée par le marégraphe

Pa... Pression atmosphérique

9,81 m/s² accélération de la pesanteur

10,255...10 fois la densité de l'eau de mer au moment des mesures.

Le bon fonctionnement du marégraphe Suber a été continu. Indiquons les utilisations opérationnelles effectuées avant de mentionner les types de mouillages choisis.

Utilisation en levé du marégraphe Suber

| Levé | Situation de mouillages | Observations |
|---|---|--|
| Levé intermédiaire de la Baie de Seine et levé d'Ouistreham | 305°/Bouée d'attente A5/300 m 030°/Bouée d'attente A5/250 m 045°/Bouée d'attente A5/250 m A la tourelle Parfond (49° 28', 7 N; 0° 14', 5 W) | du 24/9/80 à 13 h 21 au 1/10/80 à 11 h 10 du 10/10/80 à 11 h 30 au 13/10/80 à 16 h du 13/10/80 à 17 h 30 au 11/11/80 à 14 h 56 du 24/1/81 à 9 h 45 au 24/2/81 à 14 h 10 <i>Utilisation</i> : contrôle de la marée calculée (levé décrit au chapitre 2.2) |
| Levé de rides sur le plateau continental | Mouillage A1 en : L=48° 12' N G=5° 27' W Mouillage A2 en : L=47° 22' N G=4° 40' W Mouillage A3 en : L=47° 26' N G=5° 56' W | Utilisation de la marée sur zone. Adoption du zéro par concordance avec l'observatoire du Conquet. Excellente cohérence des sondes entre elles et avec celles des levés des années 1960. (levé décrit au chapitre 2.6) |
| Levé d'une voie recommandée entre le bateau-feu du Sandettié et le Vergoyer | 1) marégraphe mouillé en L=51° 05' N G=1° 47' E (près de la bouée Out Ruytingen SW) 2) marégraphe mouillé en L=50° 43' N G=1° 19' E (près de la bouée ridens SE) | Après investigation d'un chasseur de mine il est apparu que ces deux marégraphe ont été perdus par chalutage (levé décrit au chapitre 2.7) |
| Sondage de complément de la Penfeld | au fond de la Penfeld | Contrôle de la marée au fond de la Penfeld et entraînement (levé décrit au chapitre 2.8) |
| Levé du Golfe du Morbihan | 3 mouillages dans 3 observatoires | Exploitation sous la direction de l'ICA Souquière (levé décrit au chapitre 2.17) |

3.2.4. Les mouillages

- Plusieurs mouillages ont été essayés avec le concours de l'EPSHOM. Le marégraphe était disposé :
- soit dans un tripode ancré (ce qui nécessitait l'intervention de plongeurs pour le relevage),
 - soit dans un cage à lest largable,

Les essais effectués sont indiqués ci-dessous.

| Objet | Choix | Observations |
|-----------------------------|---|---|
| Lest | Gueuses en béton | A proscrire : le béton est cassant et a une faible densité |
| | Assemblage de poutrelles avec 6 gueuses de 50 kg | Assemblage satisfaisant |
| Largueur | Largueur pyrotechnique Suber | Largueur utilisé lors des premiers essais; le boulon explosif présente un risque |
| | Largueur Suber à came tournante | Bon fonctionnement (ne pas utiliser de piles au zinc) |
| Récupération ou non du lest | Bobine lance-amarre fixée au support de marégraphe et à un câble lové sur le lest | Après commande du largueur, la cage n'est plus retenue par le lest; la bobine lance-amarre se dévide lors de la remontée de la cage; il est possible de saisir le câble plus solide de remontée du lest; dispositif essayé avec succès en Grande Rade de Brest puis en Baie de Seine (mais un incident n'a pas permis cependant de récupérer le lest) |
| | Lest perdu | Solution simple mais nécessitant la fourniture de nouveaux lests |
| Flottabilité de la cage | Bouées en liège | Choix à proscrire (ces bouées se remplissent d'eau et perdent leur flottabilité) |
| | Bouées Nokalon | Montage encombrant |
| | Flotteur en mousse syntactique | Solution adoptée mais chère |

Un flotteur en mousse syntactique (du type utilisé pour les balises acoustiques) valait 25 kF en 1982. Le grément de la cage d'un marégraphe valait, à ce prix, 50 kF.

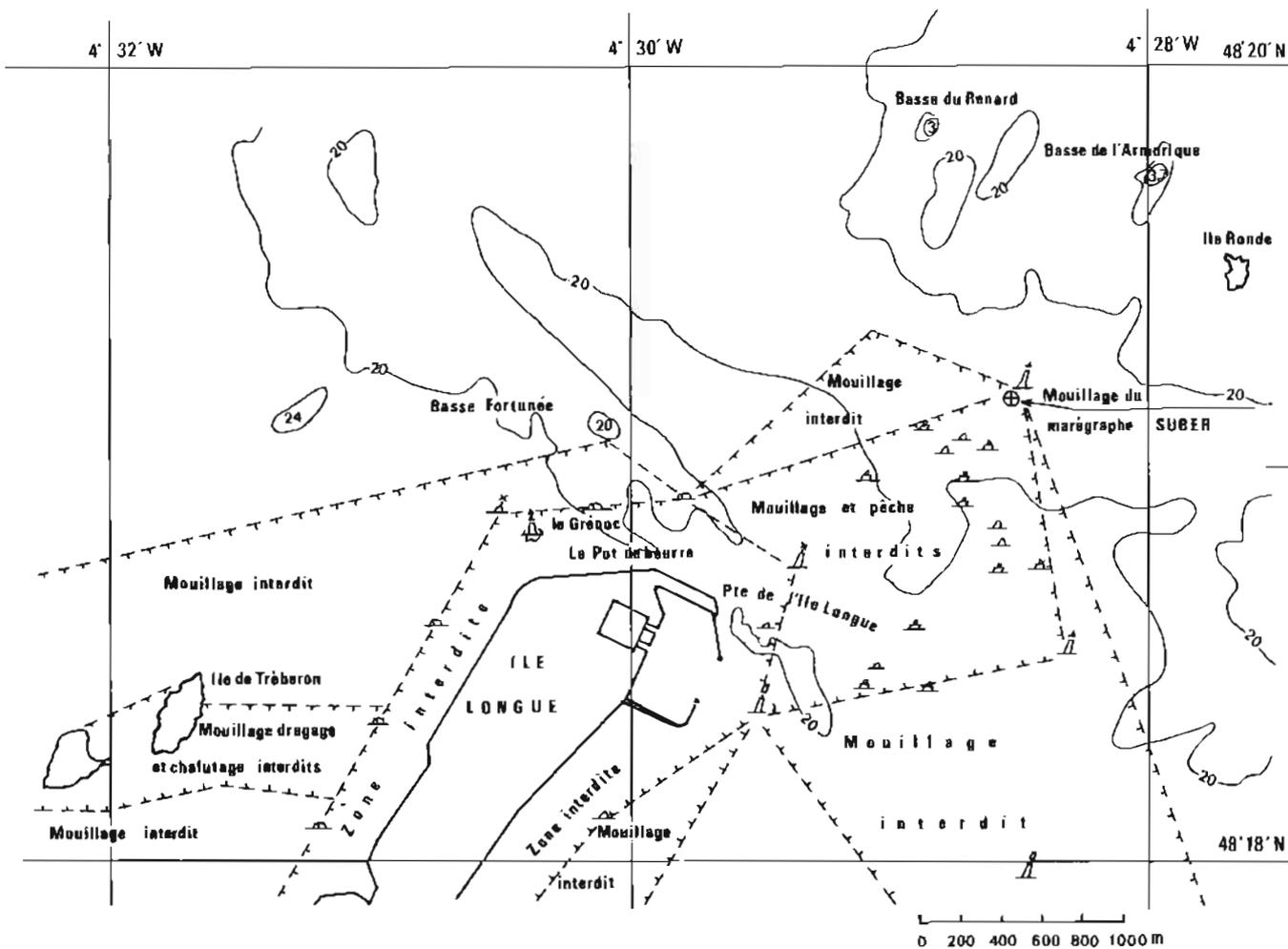
Des solutions moins chères sont possibles :

- par exemple flotteurs hyperbariques HYPER6 distribués par Océano Instruments,
- ou encore bouées Nokalon pour faibles profondeurs.

3.2.5. Conclusion

Le marégraphe Suber est un excellent équipement. Il a cependant le défaut de ne pas transmettre ses données, ce qui présente un inconvénient sérieux pour la réduction des sondages en cas de perte de l'appareil. Enfin le choix du mouillage dans les zones de grande navigation n'est pas toujours simple. Une des meilleures solutions serait sans doute de le fixer dans une épave.

Mais les manipulations par plongeur peuvent être longues et difficiles.



PL. 3.2.1. — Situation des mesures d'évaluation du marégraphe Suber en Grande Rade (août, septembre 1980).

Chapitre 3.3

ÉVALUATION DU COURANTOGRAPHE SUBER SLS 11

3.3.1. Rappel

Le courantographe SLS 11 est un appareil à rotor de Savonius; il réalise une intégration des mesures (vitesse, direction du courant) pendant 10 minutes; la direction du courant est mesurée par une petite palette mobile associée à un compas magnétique.

Les premiers essais de ce courantographe ont été effectués par l'EPSHOM et la MHA en 1977 du 24 au 26 septembre, puis du 3 au 5 octobre.

Rappelons, avant de décrire les opérations menées à partir de 1980 les conclusions formulées sur cet appareil :

- le comportement du courantographe est satisfaisant pour des courants faibles et moyens;
- le traitement des vitesses et des directions est homogène alors que celui du Mécaboliér ne l'est pas (celui-ci donne une vitesse moyenne mais une direction instantanée);
- le seuil de déclenchement du rotor est plus faible que celui de l'hélice du Mécaboliér (le Mécaboliér se déclenche à 5 cm/s; le Suber à 2,5 cm/s s'il a un rotor à 4 poles);
- le traitement informatique du Suber est plus simple et plus rapide que le traitement photographique du Mécaboliér.

3.3.2. Mesures effectuées de 1980 à 1983 (planches 3.3.1 à 3.3.4)

En 1980 la Mission hydrographique de l'Atlantique a reçu les premiers courantographes achetés par le SHOM et les a utilisés au cours de 12 mouillages effectués de 1980 à 1983 dans le Pas de Calais, en Baie de Seine et en Iroise.

Les courantographes Suber ont été évalués à l'entrée de la Rade Abri de Brest devant l'Île Longue et en Baie de Seine. Les types de mouillage des appareils sont décrits sur les planches jointes. Les dossiers de mesures sont indiqués ci-dessous (voir aussi l'annexe 4).

Mesures en Rade Abri : (un seul point de mouillage dans le 005° du feu W de la passe Sud à 130 m)

| Dossiers | Période du mouillage | Numéros des courantographes mouillés | | Paramètres validés |
|-------------|----------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------|
| | | M = Mécaboliér | S = Suber | |
| 1119, 1120 | 29.10.80 au 10.11.80 | M 118 | M 119 | vitesse |
| 1118, RAB 3 | 26.11.80 au 5.12.80 | S 40 | M 119 | vitesse |
| 1117, RAB 4 | 5.12.80 au 17.12.80 | S 40 | M 118 | vitesse et direction |

Mesures en Baie de Seine (point de mouillage : L = 49°28', 8 N; G = 0°03', 8 W)

| | | | | |
|--------------|----------------------|------|--------|---------|
| 1121, BDS 51 | 11.11.80 au 20.11.80 | S 40 | M 72 B | vitesse |
|--------------|----------------------|------|--------|---------|

Mesures en Rade de Brest, près de l'Île Longue (6 points de mouillage)

| Période du mouillage | Points de mouillage, numéros des dossiers de mesures, numéros des courantographes | | | | | |
|---|---|--------------------------|-------------------------|--------|--------------------------|----------------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| 09.02.81 au 26.02.81 | Dossier 8111 S 33 | Dossier 8112 S 30 | | M 115* | Dossier 1150 M 121 | Dossier 8116 S 39 |
| 04.03.81 au 20.03.81 | M 115* | Dossier 1149 M 121 | Dossier 8123 S 30 | | | |
| 26.03.81 au 07.04.81 | | Dossier 8134 S 38 | Dossier 8133 S 39 | | | Dossier 1151 M 121 B |
| Abréviations du tableau : M 115* = Courantographe n'ayant pas fonctionné M = Courantographe Mécaboliér S = Courantographe Suber | | | | | | |

3.3.3. Résultats

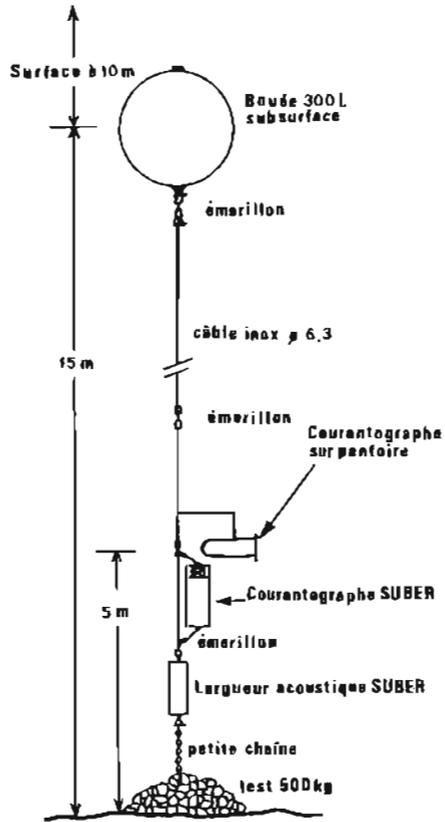
Dans l'ensemble les mesures des courantographes Mécaboliér et des courantographes Suber sont cohérentes entre elles et confirment les mesures antérieures. Il reste cependant à analyser les performances des courantographes Suber par courant fort (supérieur à 2,5 nœuds) et à affiner l'étalonnage des mesures.

L'identité des mesures des deux types de courantographes n'est sans doute pas toujours parfaite mais la variabilité des courants, surtout quand ils sont faibles, explique des biais parfois importants. Par exemple, dans la passe de la Rade Abri, les mesures effectuées à 5 et 7 mètres d'immersion donnaient des courants maximaux à deux heures de décalage, la direction du courant pouvant alors différer de 20 degrés.

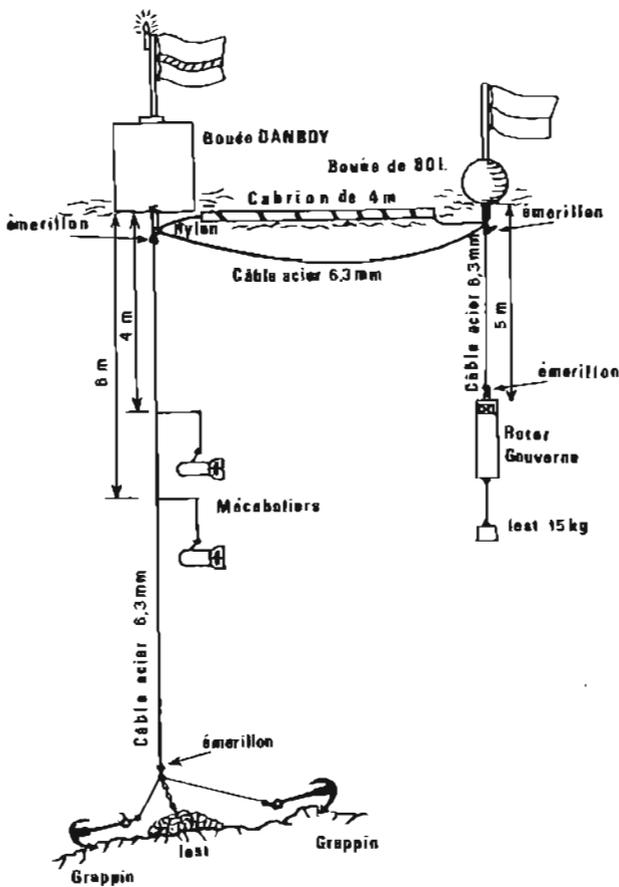
On a noté que la vitesse mesurée par les courantographes Suber était supérieure à celle des courantographes Mécaboliér de 10 centimètres par seconde, que cette vitesse ne s'annulait jamais et était toujours supérieure à 5 cm/s.

Les biais en vitesse des mesures des deux courantographes peuvent s'expliquer ainsi :

- le rotor de Savonius du SLS 11 mesure un courant total dans le plan horizontal, quelles que soient la direction du courant et ses turbulences;
- l'hélice du Mécaboliér n'est sensible qu'à la composante du courant selon l'axe du corps du courantographe.



Mouillage subsurface utilisé en Baie de Seine en 1980.



Mouillage utilisé pour l'évaluation des courantographes en Rade Abri.

PL. 3.3.1. — Types de mouillages sur lest.

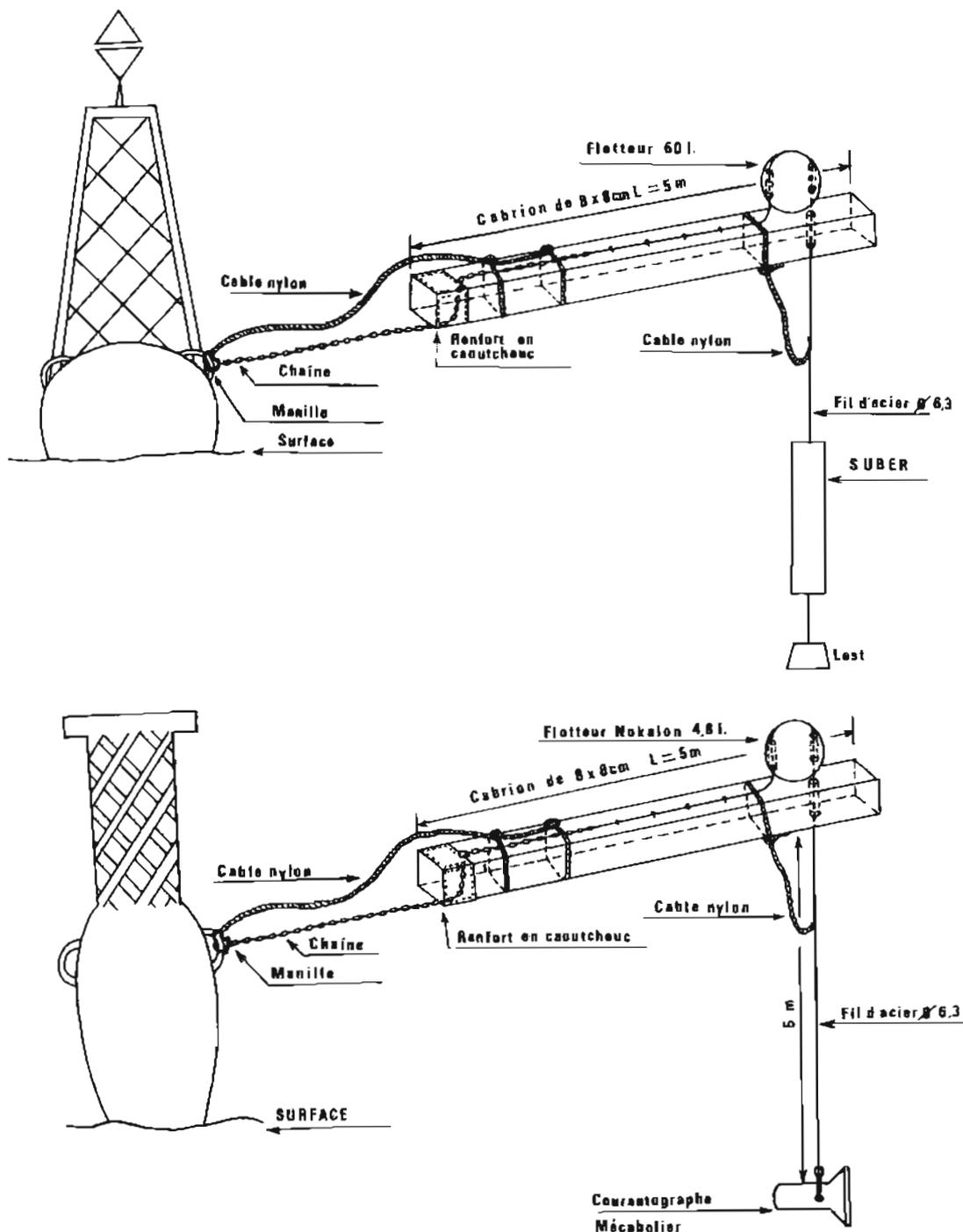
Les dossiers des mesures des courantographes Suber ont tous été exploités jusqu'aux courants maximaux observés (courants de 2,7 nœuds du dossier de mesures 8131, dossier relatif au levé du Ruytingen).

La procédure d'exploitation des dossiers Suber, semblable (quant aux résultats fournis) à celles des dossiers Mécaboliér, a l'avantage d'être entièrement informatisée.

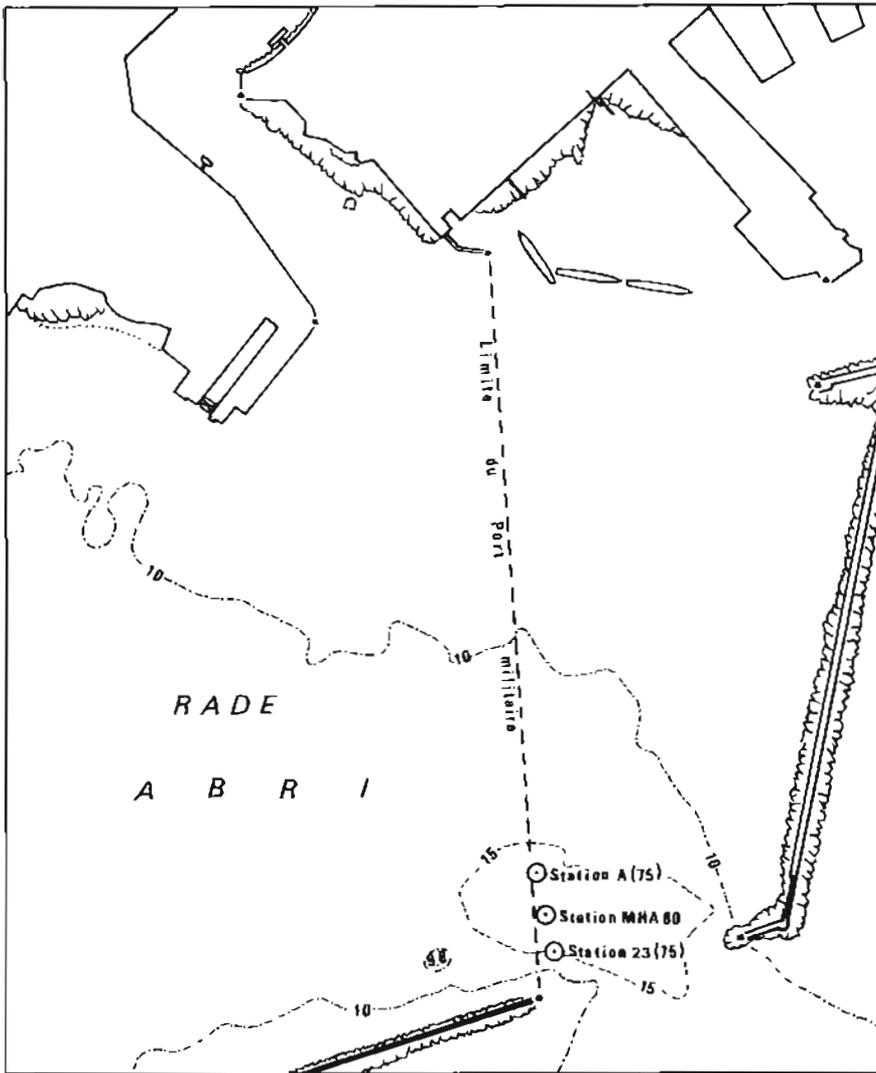
Lors de futures études, il sera souhaitable de porter son attention sur les points suivants pour les préciser :

- fidélité en direction des mesures du courantographes Suber,
- poids du lest nécessaire par courant fort,
- influence des algues sur le rotor du courantographe et sa girouette.

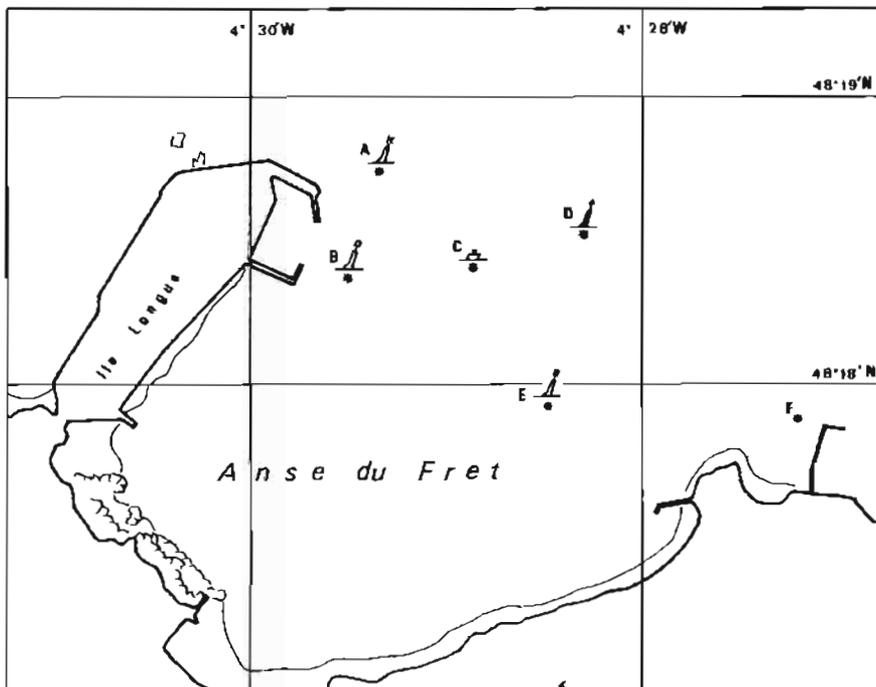
On pourra consulter la documentation indiquée en annexe 4.



PL. 3.3.2. — Type de mouillages de courantographes à partir des bouées des Phares et Balises.

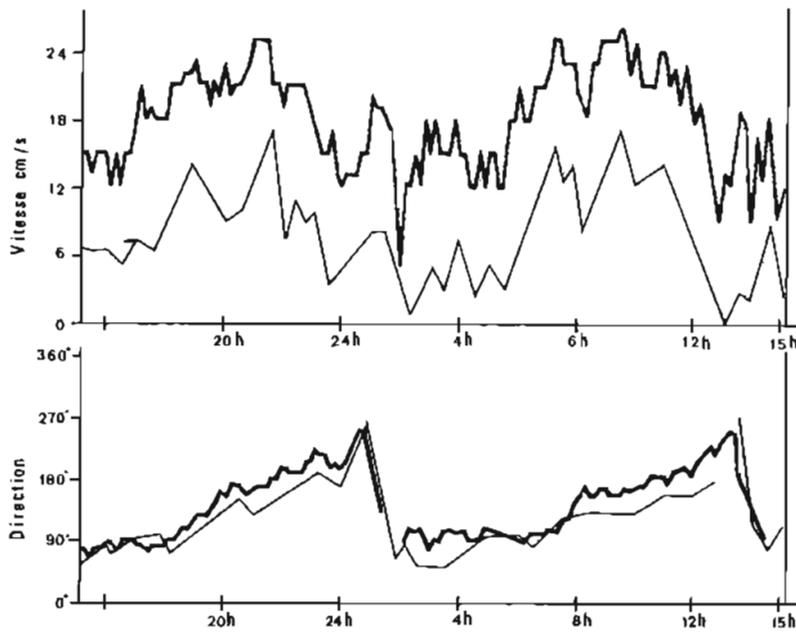


En Rade Abri (position de la station MHA 1980 et des stations antérieures en 1975).



Près de l'île Longue.
(mouillages A, B, ... F)

PL. 3.3.3. — Situation des mouillages pour l'évaluation du courantographe Suber.



Représentation des mesures des courantomètres :

— : Mécabolier

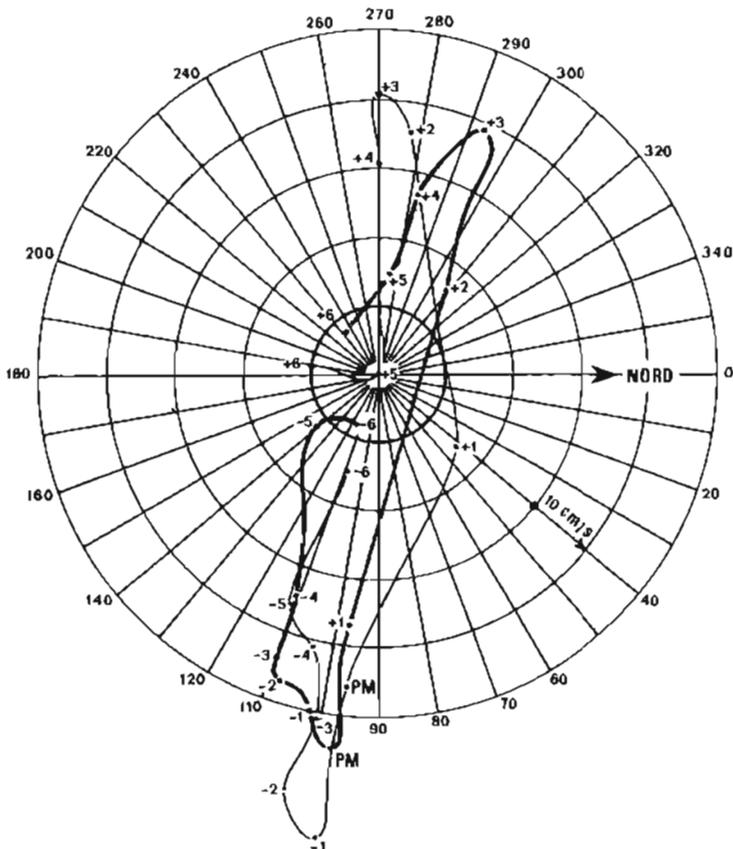
— : Suber

Ci-dessus :

Comparaison des courants mesurés par le courantomètre Suber et le courantomètre Mécabolier du 9 décembre 1980 (à 16 h 00) au 10 décembre (à 15 h 00).

Dossiers de mesures : 1117 et RAB 4 (Mécabolier n° 118 et Suber n° 40)

Noter : — l'écart systématique en vitesse de 10 cm/s (voir paragraphe 3.3.3)
 — l'écart systématique en direction de 20 degrés environ.



Ci contre :

Etude des courants aux abords de l'île Longue : comparaison de la rose des courants mesurés au courantomètre Suber avec celles des courants de marée selon l'ouvrage 555 relatif aux courants de marée en Rade de Brest.

Point de mesure :

F L=48° 17', 8 N

G= 4° 27', 3 W

Conventions :

— rose d'après les courants donnés dans l'ouvrage 555 par coefficient 95.

- - - rose d'après le courantomètre Suber n° 39 (station 8116) PM le 17 février 1981 à 15 h 23 (coefficient 80)

PL. 3.3.4. — Etude du courantomètre Suber.

Chapitre 3.4

ÉVALUATION DU RÉCEPTEUR OMÉGA M6

3.4.1. Généralités

Un récepteur Oméga M6, récepteur fabriqué par la Société Sercel, a été installé sur *L'Espérance* au mois d'août 1980 et utilisé par la suite dans le Golfe de Gascogne, en Baie de Seine, en Atlantique Nord (tableau 1).

Indiquons les résultats acquis dans les deux modes de fonctionnement de l'Oméga (le mode naturel et le mode différentiel), résultats confirmés d'ailleurs par les travaux des autres missions.

TAB. 1. — Mesures Oméga effectuées de 1980 à 1982 à bord de *L'Espérance*

| Lieu ou Campagne | Station différentielle | Localisation de référence | Dates | Remarques |
|-------------------|------------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| Golfe de Gascogne | Ile d'Yeu | Toran | 26/28.08.80 | Levé hydrographique |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 18.09.80 | A quai |
| Baie de Seine | Créac'h | Toran et Trident | 27.09-01.10.80 | Levé hydrographique |
| Baie de Seine | Griz-Nez | Toran et Trident | 01/02.10.80 | Levé hydrographique |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 06.10.80 | A quai |
| Brest | Gris-Nez | au mouillage | 08.10.80 | A quai |
| Golfe de Gascogne | Ile d'Yeu | Toran | 09/12.10.80 | Levé hydrographique |
| Brest | Ile d'Yeu | au mouillage | 13/15.10.80 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 16.10.80 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 02/07.11.80 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 10/11.11.80 | A quai |
| Cherbourg | Gris-Nez | au mouillage | 15/18.11.80 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 21/22.11.81 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 27.11.81 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 02/03.12.81 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 05/06.12.81 | A quai |
| Brest | Créac'h | au mouillage | 12/13.12.81 | A quai |
| Ouest-Irlande | Créac'h | Loran C | 13/14.06.82 | Mesures océanographiques |

3.4.2. Principe de l'Oméga

Rappelons que le système Oméga est un système de positionnement à couverture mondiale grâce aux émissions à basses fréquences (10,2-11,33-13,6 kHz) des huit stations ci-dessous :

| Station | Lettre-repère | Station | Lettre-repère |
|------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Aldra (Norvège) | A | La Réunion | E |
| Monrovia (Libéria) | B | Argentine | F |
| Haiku-Oaku (Hawai) | C | Woodside (Australie) | G |
| La Moure (Nord-Dakota) | D | Tsushima (Japon) | H |

La station G, installée à Trinidad à l'époque des mesures n'a pas été observée.

La mesure de la différence de phase des signaux provenant des deux stations fournit un lieu de position hyperbolique. Mais les fluctuations de la vitesse de propagation des ondes VLF autour de la valeur nominale (300 574 km/s pour les ondes à la fréquence 10,2 kHz) entraînent des erreurs de position pouvant dépasser 35 milles.

Dans le mode « Oméga naturel » ces erreurs sont réduites en corrigeant les mesures à l'aide de tables ou de modèles donnant une estimation des corrections en fonction de la zone, de la saison et de l'heure. La précision ainsi obtenue reste faible (précision du point inférieure à 3 milles 95 fois sur 100).

Le mode différentiel permet d'améliorer la précision de l'Oméga sachant que les corrections à appliquer en un point sont sensiblement celles de la zone où se trouve ce point. On mesure donc les écarts (phases théoriques — phase observées) dans une station, généralement un radiophare, qui diffuse les

corrections sur des fréquences de la gamme 300 — 500 kHz. La précision du point en mode différentiel est de l'ordre de 1 mille à la distance 100 milles de la station émettrice des corrections.

3.4.3. *Appréciation d'ensemble du récepteur M6*

Après deux années d'emploi sur le BHI *L'Espérance*, les appréciations suivantes ont été formulées.

Le M6 est un récepteur à la présentation réussie. Notons :

- sa compacité (hauteur : 16 cm, largeur : 40,5 cm, profondeur : 33,5 cm)
- la simplicité des commandes, commentées dans un guide d'opérateur au texte soigné,
- la conception moderne du clavier à touches sensibles,
- l'emplacement judicieux du bouton « marche-arrêt » sous l'appareil,
- l'existence de contrôles (tests de fonctionnement, voyants),
- l'affichage de la position en coordonnées géographiques et l'attribution d'une note de qualité de 0 à 9 au point affiché.

La synchronisation de l'appareil sur le format des émissions Oméga est automatique.

Le calcul du point se fait en fonction du choix des stations Oméga retenues par l'utilisateur sans que celui-ci ait à se soucier de combiner les stations entre elles. Le point est donné directement en coordonnées géographiques supprimant ainsi la nécessité de tout auxiliaire de tracé ou de calcul; aucune table de correction n'est à consulter même en mode Oméga naturel. L'indication du voyant « qualité du point » est bien représentative de la précision effective du point calculé par le récepteur. Le point initial de l'estime doit être choisi à moins de 30 milles de la position réelle; cette condition étant respectée, aucune erreur de position n'a été constatée tandis que de nombreux sauts d'hyperboles étaient notés sur l'enregistreur graphique associé au récepteur Oméga NRNX1A, récepteur antérieur au M6.

L'appareil, conçu pour le marin, est aussi un outil intéressant pour le spécialiste. Ainsi, le niveau de réception de chaque station Oméga est chiffré de 0 à 9. En option, cette information est disponible en sortie digitalisée pour chacune des trois fréquences reçues. Le M6 est donc un auxiliaire intéressant pour l'étude des réseaux à porter sur les cartes marines.

Pour conclure, l'appareil suscite la confiance.

3.4.4. *Qualité de la réception des stations Oméga sur les côtes occidentales françaises*

Pendant les essais, malgré les périodes de maintenance des stations Oméga aucune indisponibilité de la chaîne n'a été constatée. L'arrêt simultané de deux stations n'a jamais été observé. La transmission des corrections par les stations différentielles est pratiquement permanente.

Le niveau de réception des stations A... H est représenté planche 3.4.1 (réception dans le Golfe de Gascogne et en Baie de Seine), planche 3.4.2 (réception en Atlantique Nord). On constate que les stations A, B, D, F, sont les mieux reçues; la station H devient intéressante en Atlantique Nord.

Sur nos côtes, la réception de la station A est primordiale; la note de qualité du point est en général supérieure de 1 à 2 unités à celle obtenue pour un point calculé sans cette station. Planche 3.4.3, on constate que cette note de qualité dépend :

- du mode de fonctionnement (Oméga naturel ou Oméga différentiel),
- des stations retenues,
- de la proximité de la station différentielle.

Sur les côtes Atlantique, on peut s'attendre :

- en *Oméga naturel*, à un point de qualité 4, cette qualité pouvant atteindre 5, descendre à 3 et parfois 2.
- en *Oméga différentiel*, à un point de qualité proche de 7.

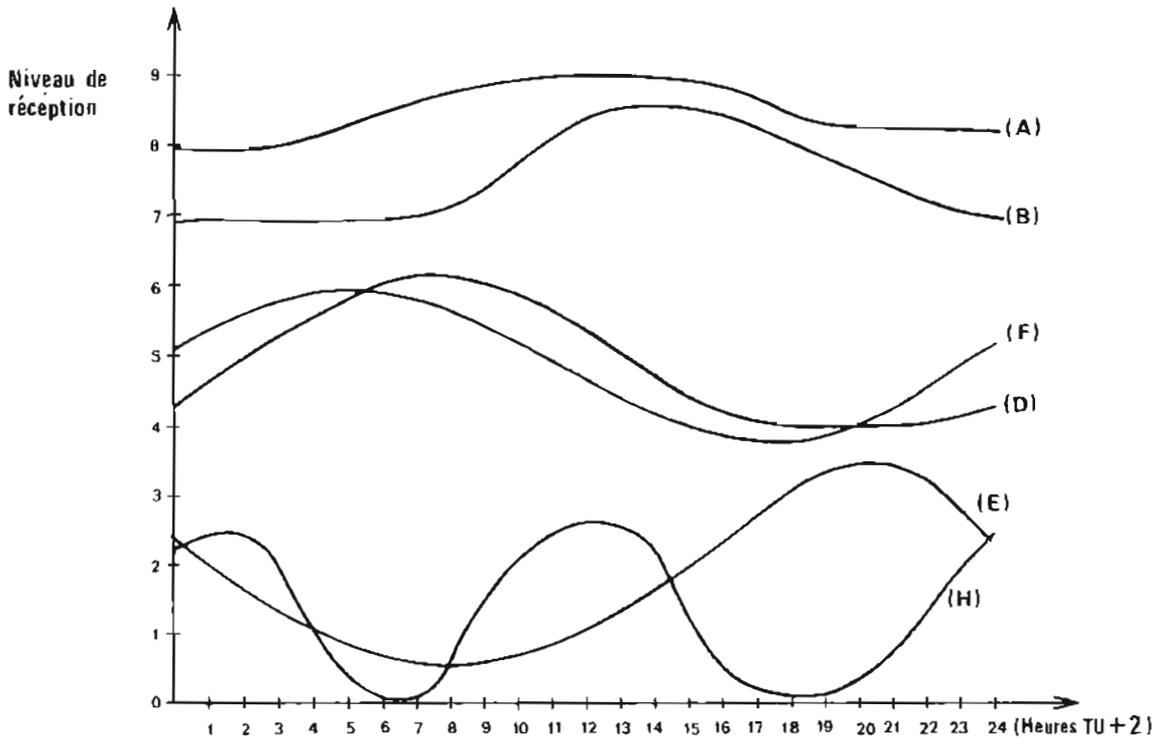
Les effets des anomalies imprévisibles de propagation sont pratiquement négligeables lors d'une navigation en mode Oméga différentiel.

3.4.5. *Précision du point calculé par le récepteur Oméga M6. Acquisition, calcul des données du récepteur*

L'évaluation du récepteur M6 a comporté deux périodes de mesures, distinctes par la cadence d'acquisition des données du récepteur et par la méthode de traitement.

Jusqu'en octobre 1980, la mission ne disposait pas de système d'acquisition et de calcul puissant; l'acquisition des mesures se faisait sur imprimante toutes les 15 minutes et les calculs à l'aide d'une calculatrice de bureau type HP67. Il n'était pas possible de tracer automatiquement des cibles de points.

A partir du mois d'octobre, les moyens de traitement se sont rapidement développés, la cadence d'acquisition a été alors portée à 5 minutes afin de permettre une étude de l'Oméga plus dense, les calculs étaient faits sur HP 9825, puis sur HP 9835 ou HP 9845.

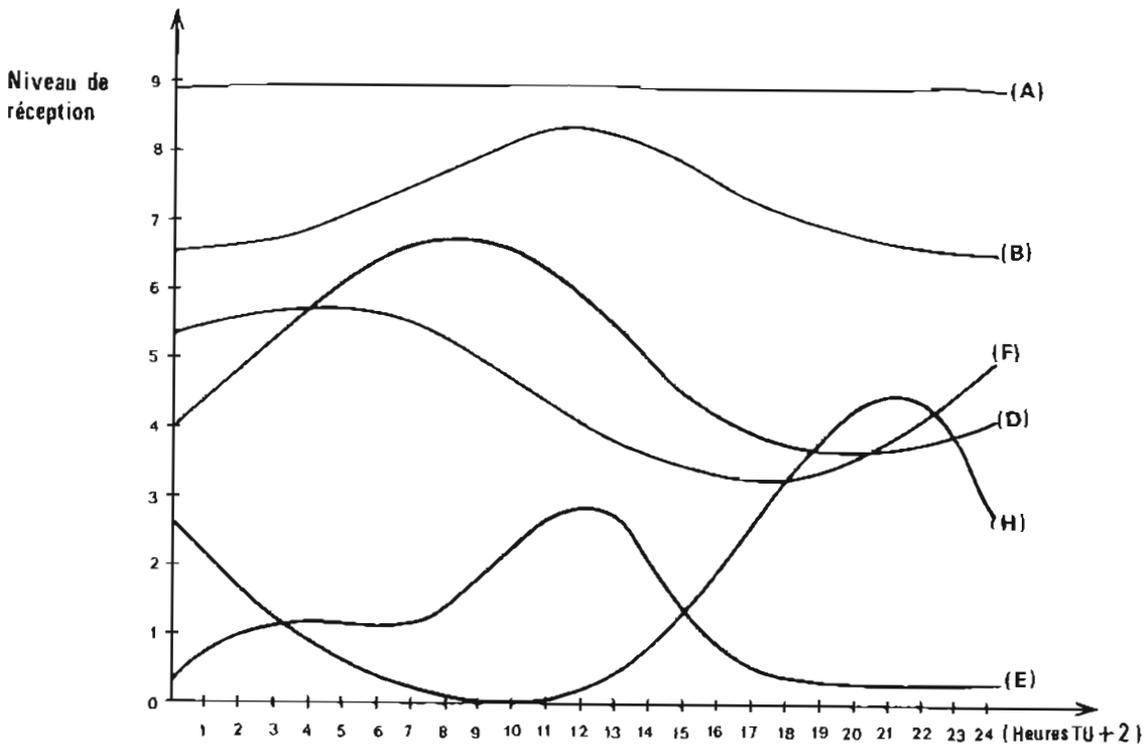


Ci-dessus :

Dans le Golfe de Gascogne, à bord de *L'Espérance* du 20 août au 15 septembre 1980.

Ci-dessous :

En Baie de Seine, à bord de *L'Espérance* du 22 septembre au 1^{er} octobre 1980.



PL. 3.4.1. — Niveau de réception des stations Oméga sur la façade Atlantique des côtes de France.

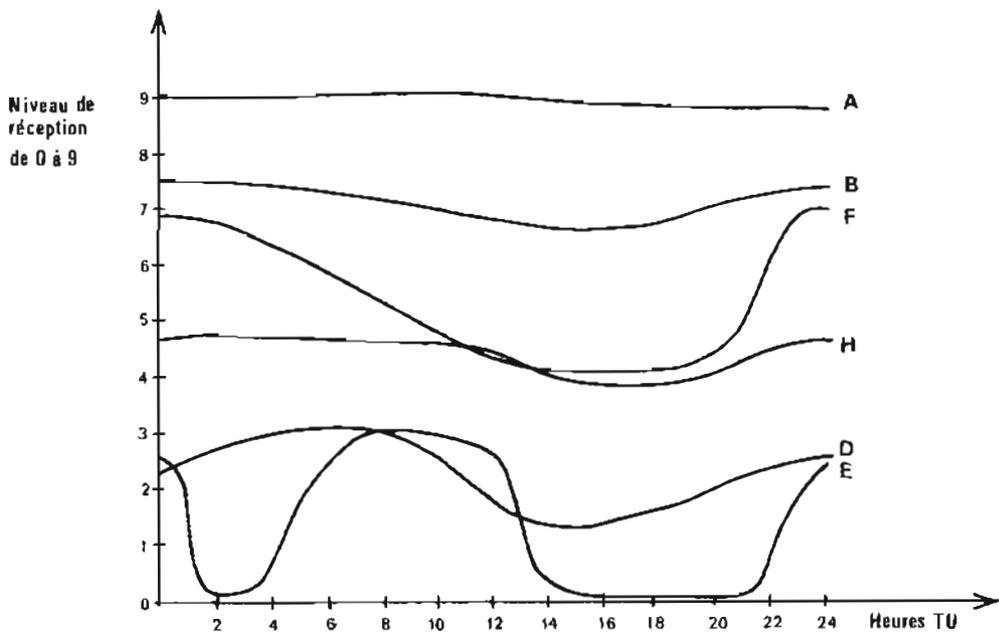
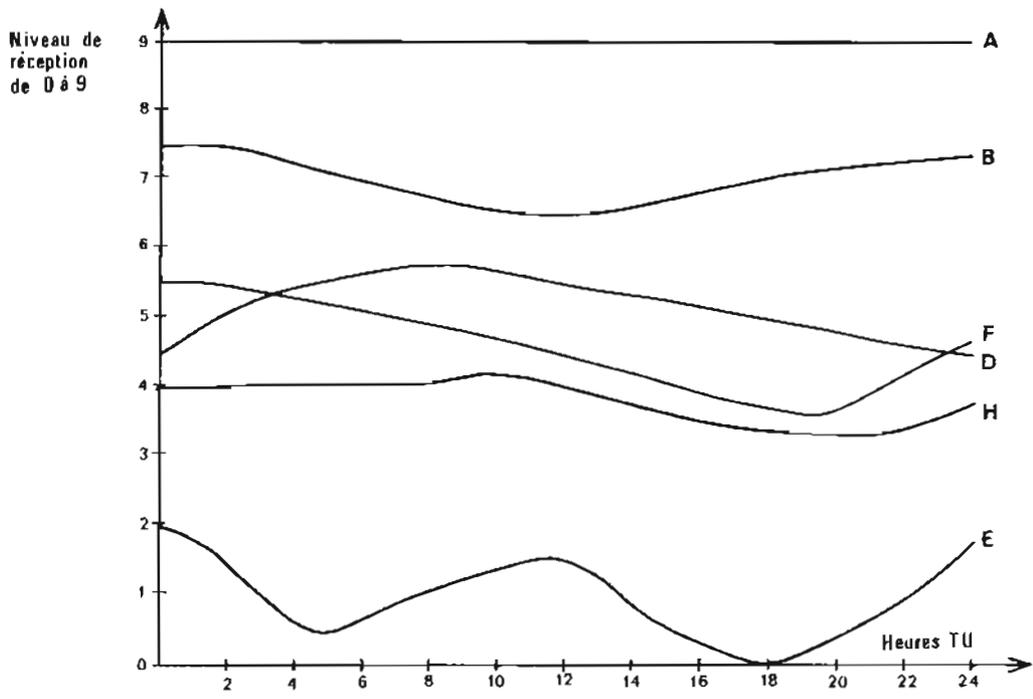
Notes : 1) Le niveau de réception 0 correspond à une station non reçue.

Le niveau de réception 9 correspond à un niveau optimal.

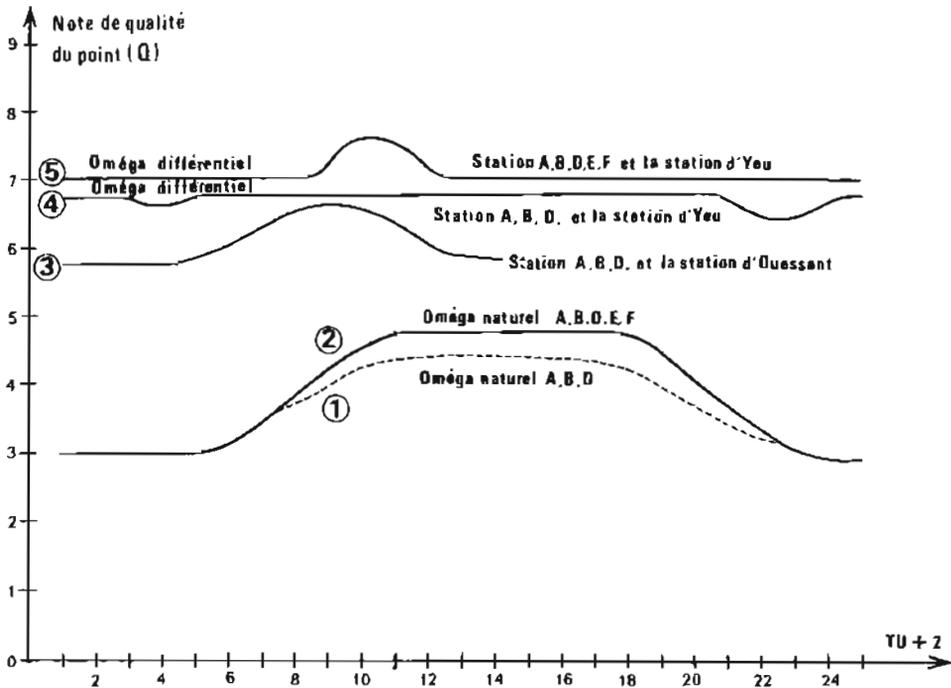
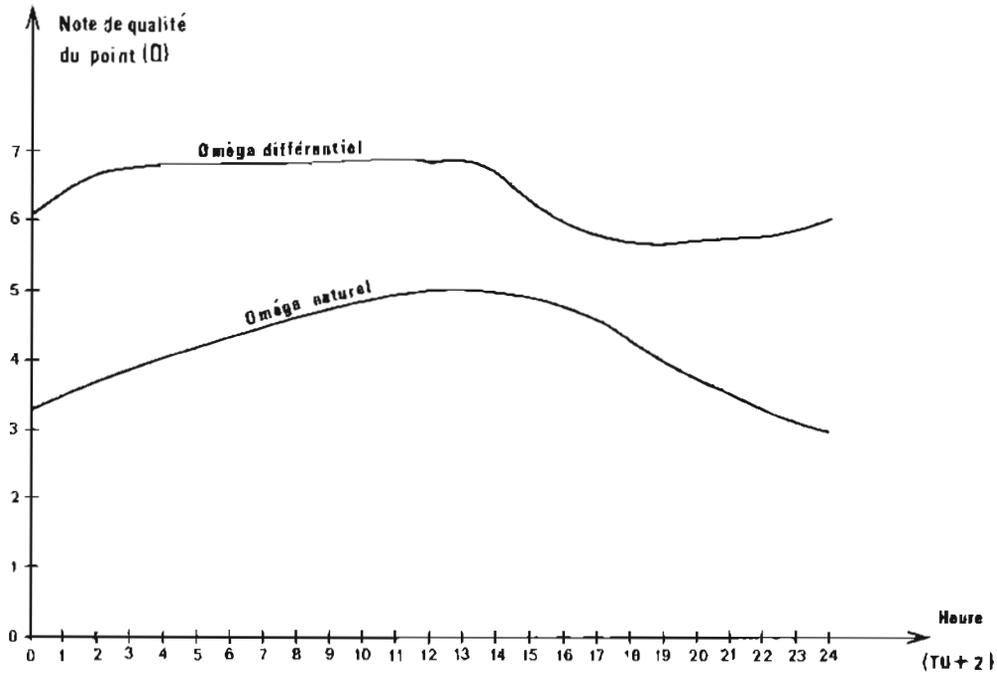
Ce niveau de réception est relevé sur le récepteur.

2) La station C n'a jamais été reçue.

La station G (alors à Trinidad) n'a pas été observée.



PL. 3.4.2. — Niveau de réception des stations Oméga en Atlantique Nord.
 Graphique du haut : A Reykjavik, du 30 juin au 2 juillet 1981 à bord de *L'Espérance*.
 Graphique du bas : En $L=68^{\circ}N$; $G=9^{\circ}W$ en juillet 1981.



PL. 3.4.3. — Note de qualité du point Oméga donnée par le récepteur M6 en fonction du mode de fonctionnement, de la proximité de la station différentielle, des stations Oméga (A...H) observées.

Graphique du haut :

En Baie de Seine, du 22 septembre au 1^{er} octobre 1980; les stations Oméga retenues pour le calcul du point sont A, B, C, D, E, F; en mode Oméga différentiel la note de qualité du point est en moyenne 6, en mode naturel : 4

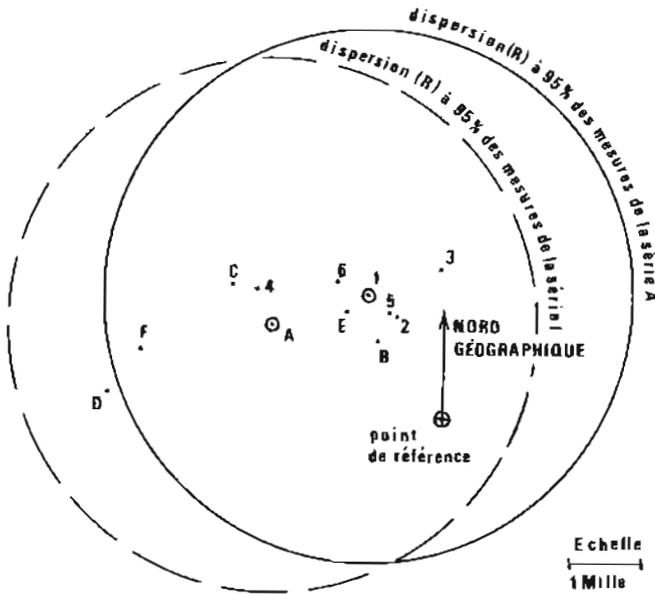
Graphique du bas :

Dans le Golfe de Gascogne du 18 août au 15 septembre.

| | Mode | Stations observées | Commentaires |
|----------|--------------|----------------------|---|
| Courbe 1 | naturel | A, B, D | la position des courbes montre que la qualité du point est d'autant meilleure : — que le nombre de stations Oméga est grand; — que la station différentielle émettrice des corrections est proche |
| 2 | naturel | A, B, D, E, F | |
| 3 | différentiel | A, B, D, et Quessant | |
| 4 | différentiel | A, B, D, et Yeu | |
| 5 | différentiel | A, B, D, E, F et Yeu | |

TABL. 3.4.4. — Etude du point Oméga.

Résultats selon les séries de mesures, la période d'observation, la note de qualité attribuée au point par le récepteur.



Conventions

- d*... distance moyenne de l'écart (point Oméga — point de référence correspondant pour une série donnée)
- Z*... azimut de ce point moyen par rapport au point de référence
- σ_c ... écart type circulaire
- R*... rayon du cercle à 95 % de probabilité de présence
- R + d*... précision à 95 % de probabilité
- D*... distance du lieu d'observation à la station différentielle.

Première série de mesure : acquisition des mesures sur imprimante; cadence 15 min

| Mode de fonctionnement Stations observées Situation du navire | Baptême de la série Point moyen de la série | Nombre et qualité des mesures | <i>d</i> (milles) | <i>Z</i> (degrés) | σ_c (milles) | <i>R</i> (milles) | <i>R + d</i> (milles) |
|---|--|-------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| Oméga naturel Stations A, B, D, E, F Golfe de Gascogne le 12.09.80 | 1 | 45 | 2,11 | 328 | 2,06 | 3,83 | 5,95 |
| | 2 | 18 Q=5 | 1,62 | 336 | 0,82 | 1,45 | 3,07 |
| | 3 | 12 Q=4 | 2,12 | 358 | 1,89 | 3,38 | 5,50 |
| | 4 | 15 Q=3 | 3,31 | 305 | 2,63 | 4,99 | 8,30 |
| | 5 | 21 de jour | 1,74 | 333 | 0,84 | 1,47 | 3,22 |
| | 6 | 24 de nuit | 2,52 | 322 | 2,82 | 5,32 | 7,84 |
| Oméga naturel Stations A, B, C, D, E, F, H Baie de Seine 28/29 et 30.09.80 | A | 97 | 2,62 | 299 | 2,09 | 3,86 | 6,48 |
| | B | 38 Q=5 | 1,38 | 320 | 1,25 | 2,16 | 3,54 |
| | C | 43 Q=4 | 3,33 | 302 | 1,51 | 2,69 | 6,09 |
| | D | 16 Q=3 | 4,49 | 275 | 2,12 | 3,84 | 8,33 |
| | E | 60 de jour | 1,89 | 318 | 1,36 | 2,36 | 4,25 |
| | F | 37 de nuit | 4,17 | 284 | 1,82 | 3,18 | 7,35 |
| Oméga naturel Stations D, F, H Poste K à Brest, 18.10.80 | G | 33 de jour | 2,25 | 307 | 0,98 | 1,77 | 4,02 |
| | H | 31 Q=4 | 2,20 | 307 | 0,96 | 1,75 | 3,95 |
| | I | 1 Q=3 | 4,17 | 290 | | | |

Au tableau 3.4.4, on a indiqué les résultats de ces premières mesures confirmés lors des observations ultérieures avec un système d'acquisition automatique.

Afin de faciliter sa lecture, ce tableau comporte un graphique de la position du point moyen des premières séries d'observation (séries 1 à 6, séries A à F) ainsi que le descriptif des conventions adoptées.

A la suite de ce recueil, quelques résultats sont illustrés sur les planches 3.4.5 à 3.4.8.

Elles montrent sur des enregistrements de 24 heures :

- l'intérêt de positionnement en mode différentiel,
- l'intérêt de la proximité de l'observateur à la station émettrice des corrections Oméga,
- la relation entre la précision réelle du point et la note de qualité attribuée à ce point par le récepteur,
- l'application aux mesures d'une correction de « dispersion » par le récepteur M6.

On constate sur la cible du 7 novembre que le récepteur M6 ne prend pas en compte simplement les corrections diffusées par Ouessant (sinon la cible aurait été semblable à celle du 6 novembre).

Planche 3.4.8, on peut analyser plus finement l'application d'une correction de dispersion par le M6.

A partir de 15 heures et jusqu'à 7 heures le jour suivant, le récepteur décale le point, dans le cas de l'expérimentation de 1 M vers le Nord; on remarque que la note de qualité est plus faible de 1 unité de 15 heures à 7 heures.

| Mode de fonctionnement Stations observées Situation du navire | Baptême de la série Point moyen de la série | Nombre et qualité des mesures | d (milles) | Z (degrés) | σ_c (milles) | R (milles) | R + d (milles) | D (milles) |
|--|--|-------------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Oméga naturel Stations B, D, F Poste K, 08.10.80, Brest | 8 | 66 de jour | 5,14 | 275 | 0,76 | 1,36 | 6,50 | |
| | 9 | 37 Q=3 | 5,35 | 276 | 0,46 | 0,79 | 6,14 | |
| | 10 | 29 Q=2 | 4,87 | 273 | 0,95 | 1,74 | 6,61 | |
| Oméga différentiel Yeu Stations A, B, C, D, E, F, H Golfe de Gascogne 9/10/11/12.10.80 | 11 | 102 | 1,01 | 266 | 0,97 | 1,77 | 2,78 | 90 à 150 |
| | 12 | 2 Q=1 | 0,56 | 106 | | | | |
| | 13 | 1 Q=2 | 3,10 | 251 | | | | |
| | 14 | 2 Q=3 | 1,60 | 273 | | | | |
| | 15 | 7 Q=4 | 1,35 | 287 | 1,23 | 2,12 | 3,47 | |
| | 16 | 23 Q=5 | 1,43 | 260 | 0,98 | 1,76 | 3,19 | |
| | 17 | 38 Q=6 | 1,05 | 272 | 0,58 | 1,05 | 2,10 | |
| | 18 | 29 Q=7 | 0,47 | 256 | 0,76 | 1,40 | 1,88 | |
| | 19 | 67 de jour | 1,26 | 268 | 0,89 | 1,60 | 2,86 | |
| | 20 | 35 de nuit | 0,49 | 259 | 0,89 | 1,61 | 2,10 | |
| Oméga différentiel Yeu Stations A, B, C, D, E, F, H Golfe de Gascogne 26/27/28.08.80 | J | 35 | 0,28 | 282 | 1,50 | 2,78 | 3,05 | 90 à 150 |
| | K | 33 Q=7 | 0,40 | 316 | 0,61 | 1,10 | 1,50 | |
| | L | 14 de jour | 0,44 | 322 | 2,14 | 4,15 | 4,60 | |
| | M | 21 de nuit | 0,39 | 315 | 0,83 | 1,53 | 1,92 | |
| Oméga différentiel Yeu Stations B, C, D, E, F, H Base sous-marine 14/15.10.80 | N | 64 | 0,71 | 255 | 1,08 | 1,95 | 2,66 | 130 |
| | O | 48 Q=5 | 0,49 | 261 | 1,02 | 1,92 | 2,41 | |
| | P | 14 Q=4 | 1,56 | 245 | 0,67 | 1,21 | 2,77 | |
| | Q | 2 Q=1 | 0,35 | 305 | | | | |
| | R | 12 de jour | 2,01 | 245 | 0,43 | 0,77 | 2,78 | |
| | S | 52 de nuit | 0,49 | 271 | 0,94 | 1,72 | 2,21 | |
| Oméga différentiel Yeu Stations B, D, E, F Base sous-marine, 13.10.80 | 21 | 48 de jour | 2,19 | 248 | 0,60 | 1,09 | 3,28 | |
| | 22 | 44 Q=5 | 2,18 | 248 | 0,60 | 1,11 | 3,29 | |
| | 23 | 4 Q=4 | 2,26 | 242 | | | | |
| Oméga différentiel Ouessant Stations A, B, C, D, E, F, H Baie de Seine 30.09.80 et 01.10.80 | T | 42 | 0,82 | 262 | 0,81 | 1,41 | 2,23 | 180 à 220 |
| | U | 24 Q=7 | 0,99 | 252 | 0,84 | 1,49 | 2,48 | |
| | V | 16 Q=6 | 0,71 | 280 | 0,61 | 1,14 | 1,85 | |
| | W | 2 Q=5 | 0,41 | 317 | | | | |
| | X | 18 de jour | 1,00 | 262 | 0,34 | 0,61 | 1,61 | |
| | Y | 24 de nuit | 0,69 | 262 | 1,02 | 1,78 | 2,46 | |
| Oméga différentiel Ouessant Stations A, B, C, D, E, F, H Baie de Seine 27/28.09.80 | 24 | 28 | 0,90 | 269 | 0,57 | 0,99 | 1,85 | 180 à 220 |
| | 25 | 15 Q=7 | 0,87 | 264 | 0,64 | 1,11 | 1,98 | |
| | 26 | 11 Q=6 | 0,98 | 267 | 0,39 | 0,71 | 1,69 | |
| | 27 | 2 Q=5 | 1,03 | 319 | | | | |
| | 28 | 15 de jour | 1,10 | 265 | 0,32 | 0,58 | 1,68 | |
| | 29 | 13 de nuit | 0,67 | 278 | 0,72 | 1,20 | 1,87 | |
| Oméga différentiel Griz-Nez Stations B, D, F Poste K 08.10.80 | Z | 41 de jour | 2,56 | 249 | 0,24 | 0,42 | 2,98 | 280 |
| | ZA | 21 Q=4 | 2,38 | 251 | 0,11 | 0,20 | 2,58 | |
| | ZB | 19 Q=3 | 2,75 | 248 | 0,16 | 0,27 | 3,02 | |
| | ZC | 1 Q=5 | 2,26 | 252 | | | | |
| Oméga différentiel Griz-Nez Stations A, B, C, D, E, F Baie de Seine 01/02.10.80 | 30 | 40 | 0,39 | 088 | 0,51 | 0,91 | 1,30 | 70 à 120 |
| | 31 | 30 Q=7 | 0,38 | 094 | 0,52 | 0,88 | 1,26 | |
| | 32 | 10 Q=6 | 0,46 | 072 | 0,50 | 0,84 | 1,30 | |
| | 33 | 16 de jour | 0,13 | 164 | 0,20 | 0,38 | 0,51 | |
| | 34 | 24 de nuit | 0,64 | 080 | 0,50 | 0,87 | 1,51 | |
| Oméga différentiel Ouessant Stations A, B, D Base sous-marine 16.10.80 | ZD | 148 | 0,09 | 083 | 0,29 | 0,54 | 0,63 | 25 |
| | ZE | 31 Q=7 | 0,28 | 098 | 0,20 | 0,38 | 0,66 | |
| | ZF | 81 Q=6 | 0,04 | 270 | 0,27 | 0,52 | 0,56 | |
| | ZG | 32 Q=5 | 0,09 | 334 | 0,29 | 0,53 | 0,62 | |
| | ZH | 70 de jour | 0,10 | 288 | 0,23 | 0,44 | 0,53 | |
| | ZI | 63 de nuit | 0,21 | 107 | 0,29 | 0,50 | 0,71 | |
| Oméga différentiel Ouessant Stations A, B, C, D, E, F Poste K 06.10.80 | 35 | 120 | 0,32 | 288 | 0,26 | 0,48 | 0,80 | 25 |
| | 36 | 60 Q=8 | 0,23 | 284 | 0,29 | 0,53 | 0,76 | |
| | 37 | 60 Q=7 | 0,40 | 281 | 0,19 | 0,36 | 0,76 | |
| | 38 | 66 de jour | 0,44 | 285 | 0,16 | 0,27 | 0,71 | |
| | 39 | 54 de nuit | 0,17 | 299 | 0,29 | 0,51 | 0,68 | |
| Oméga différentiel Ouessant Stations A, B, C, D, E, F Base sous-marine 08.09.80 | ZJ | 170 | 0,09 | 233 | 0,32 | 0,56 | 0,65 | 25 |
| | ZK | 109 Q=8 | 0,13 | 177 | 0,30 | 0,56 | 0,69 | |
| | ZL | 61 Q=7 | 0,12 | 275 | 0,32 | 0,54 | 0,66 | |
| | ZM | 107 de jour | 0,20 | 246 | 0,24 | 0,42 | 0,62 | |
| | ZI | 63 de nuit | 0,21 | 107 | 0,29 | 0,50 | 0,71 | |

Deuxième série de mesures acquises sur imprimante à la cadence de 5 minutes

| Lieu | Mode de fonctionnement Station différentielle Stations Oméga choisies | période d'observations | <i>d</i> (milles) | Z (degrés) | <i>r</i> (milles) | <i>d + r</i> (milles) |
|--|---|-----------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Observation pendant 24 heures</i> | | | | | | |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, F | du jour 309 au jour 310 | 0,09 | 350 | 0,7 | 0,79 |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, E, F | du jour 315 au jour 316 | 0,14 | 300 | 0,69 | 0,83 |
| à Cherbourg | différentiel, Griz-Nez A, B, D, E, F | du jour 320 au jour 321 | 0,31 | 310 | 1,76 | 2,07 |
| à Cherbourg | différentiel, Griz-Nez B, D, E, F, H | du jour 322 au jour 323 | 0,67 | 290 | 1,28 | 1,95 |
| à Cherbourg | différentiel, Griz-Nez A, B, D, E, F, H | du jour 321 au jour 322 | 0,67 | 290 | 0,82 | 1,49 |
| <i>Observation de nuit</i> | | | | | | |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, E, F | nuit du 311 au 312 | 0,94 | 350 | 0,91 | 1,85 |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, F | nuit du 309 au 310 | 0,14 | 310 | 0,45 | 0,59 |
| à Brest | différentiel, Ouessant B, D, E, F | nuit du 307 au 308 | 0,25 | 275 | 1,58 | 1,83 |
| <i>Observation de jour</i> | | | | | | |
| à Brest | différentiel, Ouessant B, D, E, F | jour 307 | 0,97 | 060 | 0,88 | 1,35 |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, F | jour 310 | 0,12 | 060 | 0,96 | 1,08 |
| à Brest | différentiel, Ouessant A, B, D, E, F | jour 312 | 0,19 | 060 | 1,12 | 1,31 |
| <i>Observation en mode Oméga naturel</i> | | | | | | |
| à Brest | B, D, E, F (de nuit) | de J=308 (17 h) à J=309 (8 h) | 1,51 | 105 | 6,55 | 8,0 |
| à Brest | A, B, D, F (24 heures) | de J=310 (15 h) à J=311 (15 h) | 3,26 | 090 | 3,38 | 6,64 |
| à Cherbourg | A, B, D, E, F, H (24 heures) | de J=323 (14 h) à J=324 (14 h) | 0,99 | 290 | 3,77 | 4,76 |
| à Cherbourg | B, D, E, F, H | de J=324 (13 h) à J=325 (13 h) | 1,53 | 320 | 3,76 | 5,29 |
| à Brest | B, D, E, F (de jour) | de J=308 (9 h) à J=308 (17 h) | 0,6 | 095 | 4,43 | 5,00 |
| à Brest | A, B, D, F (de jour) | J = 311 | 2,47 | 115 | 1,58 | 4,05 |
| à Brest | A, B, D, F (de nuit) | de J=310 à J=311 | 3,66 | 089 | 3,28 | 6,94 |

3.4.6. Commentaire des résultats essentiels

Intérêt du positionnement en mode Oméga différentiel (planche 3.4.5)

Sur la planche 3.4.5, on a représenté l'écart du point Oméga à la position réelle du bâtiment à quai, à Brest. Cet écart est représenté en fonction du temps, sur une période de 24 heures :

- le point Oméga M6 était tout d'abord observé en mode naturel (le 4 novembre),
- ce point était ensuite observé en mode différentiel (le 5 novembre).

Dans ce dernier mode, l'écart du point à la position réelle est inférieur à 1 mille (sauf un accident à 13 h 30, dû par exemple au passage d'une grue flottante à proximité de *L'Espérance*). En mode naturel l'écart dépasse souvent 5 minutes de longitude. L'intérêt du positionnement en mode différentiel est donc évident; notons que la note de qualité du point Oméga différentiel est 7 ou 8, alors que celle du point Oméga naturel est de 4 seulement.

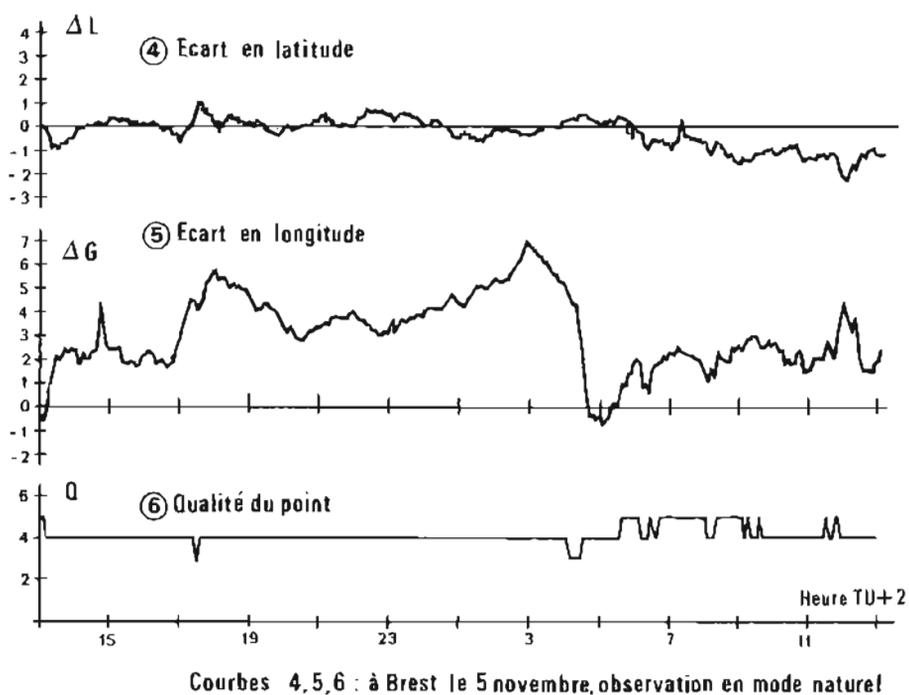
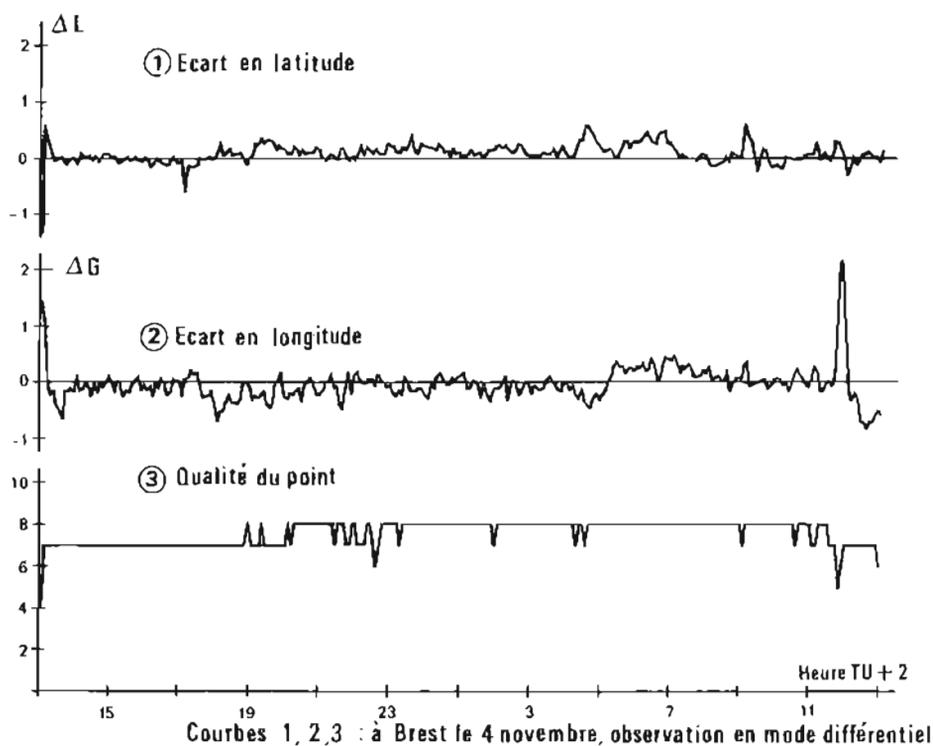
Intérêt de la proximité de la station émettrice des corrections Oméga

Sur la planche 3.4.6, on a représenté l'écart des coordonnées Oméga à la position géodésique de *L'Espérance* à quai de Brest.

- la station différentielle observée est tout d'abord Ouessant pendant 24 heures,
- elle est ensuite Gris-Nez pendant une nouvelle période de même durée.

On constate que l'écart en latitude et en longitude, souvent inférieur à 0,4 minute lorsque Ouessant est la station observée passe à une minute lorsque Gris-Nez est la station choisie.

On remarque ainsi l'importance de la proximité de la station différentielle. La note de qualité des deux séries est 7,5 pour la série d'Ouessant et 6,5 pour la série de Gris-Nez, station plus lointaine.



PL. 3.4.5. — Supériorité du positionnement en mode Oméga différentiel

Courbes 1, 2, 3.

Observations (écarts en latitude et longitude, qualité du point) en mode différentiel, le 4 novembre à Brest. Le récepteur M6 de *L'Espérance* reçoit la station A, B, D, F et Ouessant.

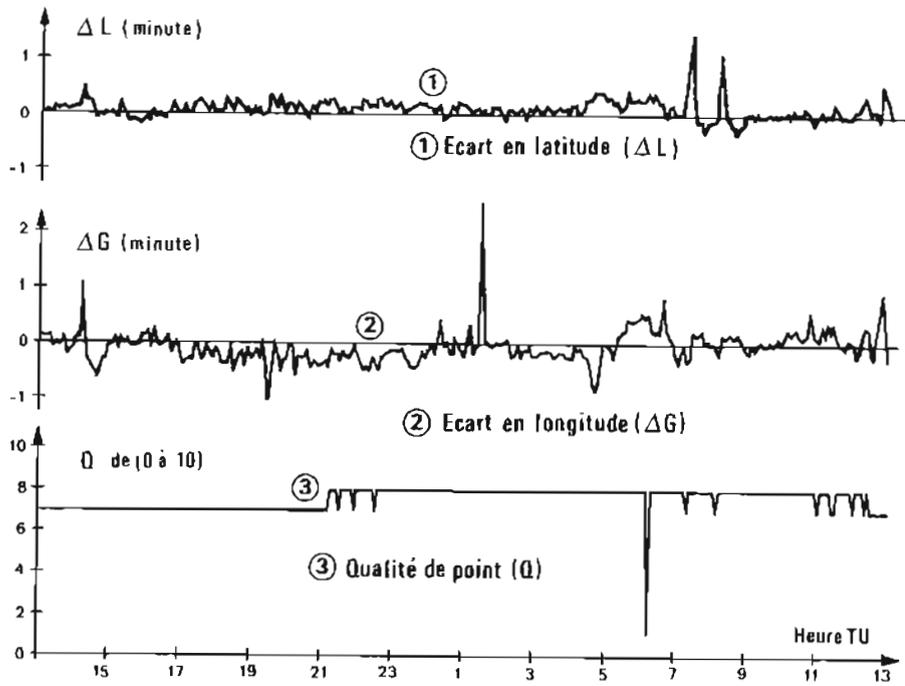
Courbes 4, 5, 6 :

Observations analogues en mode naturel le 5 novembre.

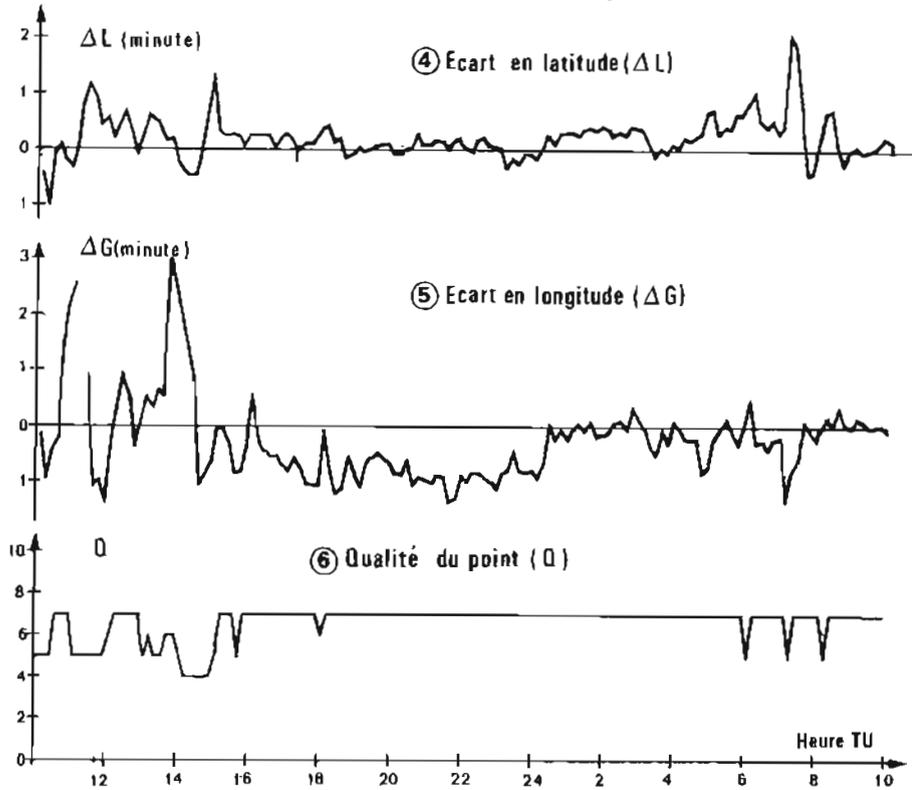
Commentaires :

La supériorité du point Oméga en mode différentiel sur le point en mode naturel se déduit des courbes ci-dessus. Noter aussi les résultats suivants :

| | en différentiel | en naturel |
|----------------------------|-----------------|------------|
| Ecart maximal en latitude | 0,2 M | 1 M |
| Ecart maximal en longitude | 0,5 M | 6 M |
| Note du point de qualité | 7 à 8 | 4 à 5 |



Courbes 1,2,3 : observation du point Oméga le 10 novembre



Courbes 4,5,6 : observation du point Oméga le 15 novembre

PL. 3.4.6. — Influence de la proximité de la station émettrice des corrections en mode différentiel sur la précision du point.

Courbes 1, 2, 3 :

Observations du point en mode Oméga différentiel à Brest avec les stations A, B, D, E, F et la station de référence d'Ouessant.

Courbes 4, 5, 6 :

Observations analogues; la station de référence est cependant Gris-Nez.

Commentaires :

Noter la dégradation des performances entre les deux séries :

- ΔL passe de 0,3 à 1 minute
- ΔG passe de 1 à 1,2 minute
- la qualité du point passe de 7,5 à 6,5.

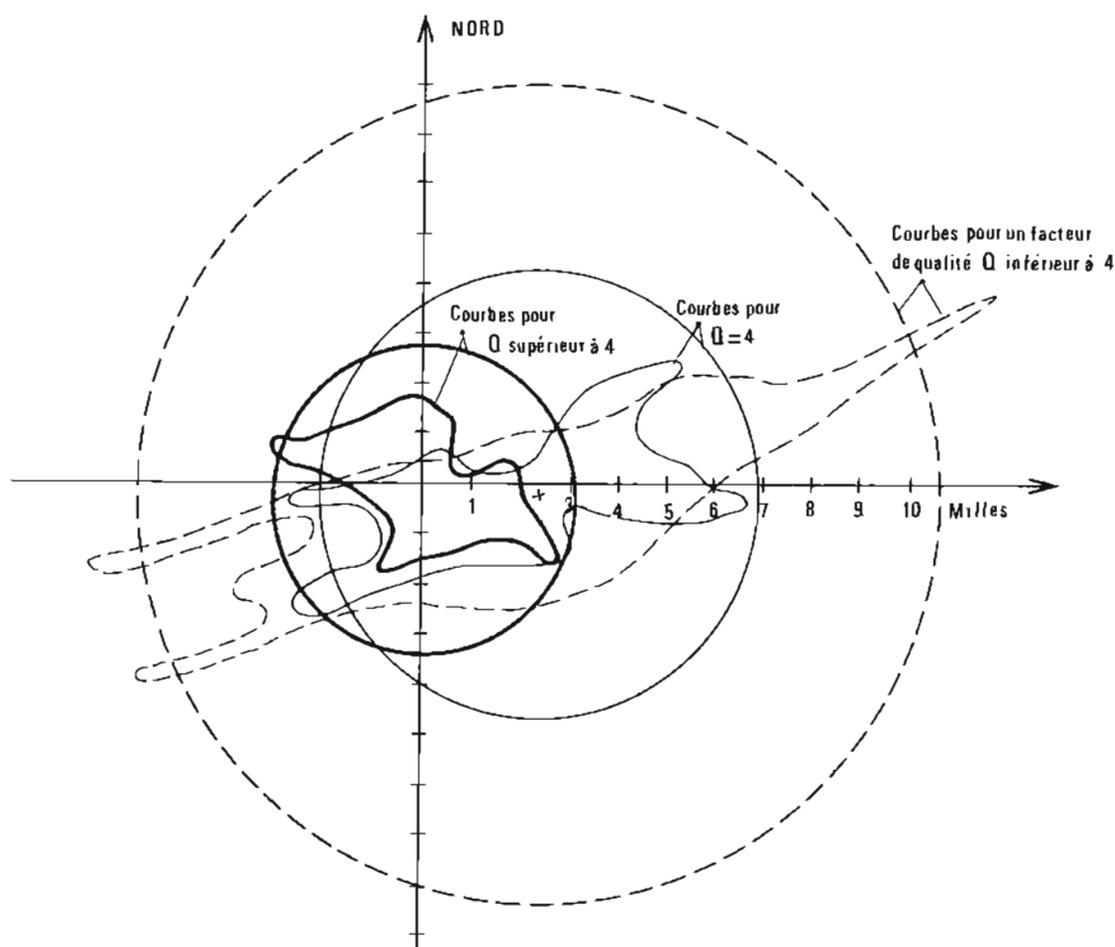
Relation entre la note de qualité attribuée par le récepteur et la précision réelle du point Oméga

Sur la planche 3.4.7, on a représenté les enveloppes des nuages de points Oméga observés en mode naturel à Brest à bord du BH1 *L'Espérance* à quai ainsi que le rayon de leur cercle de probabilité de présence 95 cas sur cent. Ces courbes sont tracées dans 3 cas, selon que la note de qualité est supérieure, égale, inférieure à 4. Il apparaît que cette note donnée par le M6 est un paramètre important : ainsi, dans le cas étudié, la précision passe de 3 à 10 milles selon que la note de qualité est 5 ou 3.

On montre de même que la note de qualité en mode différentiel est bien représentative de la précision du point calculé par le récepteur.

3.4.7. Correction de dispersion du récepteur M6

La Sercel a étudié, pour améliorer le point Oméga, les effets de la dispersion provoquée par les différences des vitesses de propagation des ondes Oméga reçues à la station différentielle et par le navigateur.

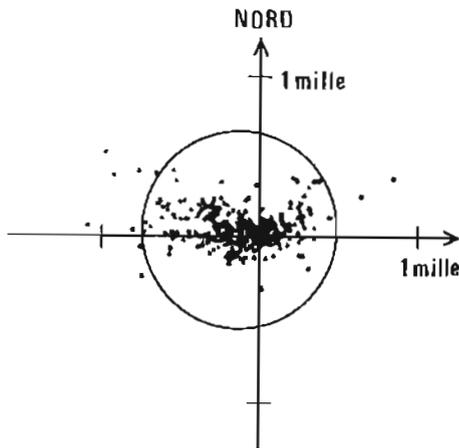


PL. 3.4.7. — Relation entre la précision réelle du point et la note de qualité attribuée par le récepteur M6. Observations effectuées à quai, à Brest.

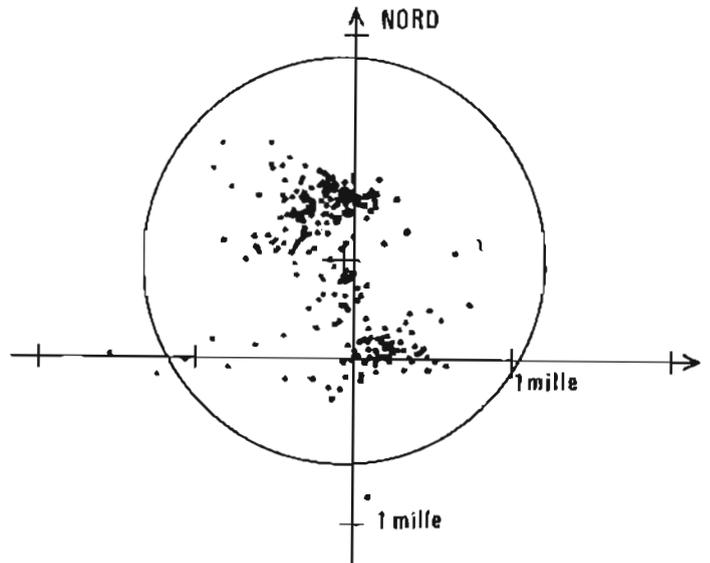
On a représenté les enveloppes de nuages des points Oméga et leurs cercles de probabilité de présence à 95 pour cent selon que la note de qualité est inférieure à 4 (courbe 1), égale à 4 (courbe 2), supérieure (courbe 3).

| Note de qualité du point attribuée par le M6 | Biais (1) en milles | Rayon (2) en milles | Précision à 95 % en milles (3) |
|--|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| $Q > 4$ | 0,1 | 3,3 | 3,4 |
| $Q = 4$ | 2,4 | 4,4 | 6,8 |
| $Q < 4$ | 2,3 | 8,1 | 10,4 |

- (1) écart entre le point réel (centre des axes) et le centre des cibles
 (2) rayon du cercle contenant 95 pour cent des points, centré au point de gravité
 (3) somme des deux chiffres précédents.



Ci-dessus : Cible du point Oméga différentiel pour un mobile à faible distance de la station différentielle. Mesures à Brest le 6 novembre



Ci-dessus : Cible du point Oméga différentiel pour un mobile à grande distance de la station émettrice des corrections. Mesures effectuées à Brest le 7 novembre.

PL. 3.4.8. — Mise en évidence de la correction de dispersion du récepteur M6 en mode Oméga différentiel (Mesures commentées au paragraphe 3.4.7 et à la planche 3.4.9).

Elle a abouti aux résultats suivants :

- la correction de dispersion n'est pas significative jusqu'à 100 milles,
- elle est sensible à partir de 200 milles,
- elle est considérable à partir de 500 milles.

Pour mettre en évidence l'application d'une correction de dispersion par le M6, on a introduit dans le récepteur :

- le 6 novembre, les coordonnées exactes de la station différentielle d'Ouessant,
- le 7 novembre, les coordonnées de cette station, faussées de 600 M,
- le 8 novembre, les coordonnées faussées de 300 M.

Planche 3.4.8, on a représenté la cible du point obtenu pendant 24 heures le 6 novembre —cible simulant celle d'un mobile à faible distance de la station différentielle— et celle obtenue le 7 novembre simulant la cible d'un mobile éloigné.

3.4.8. Conclusion

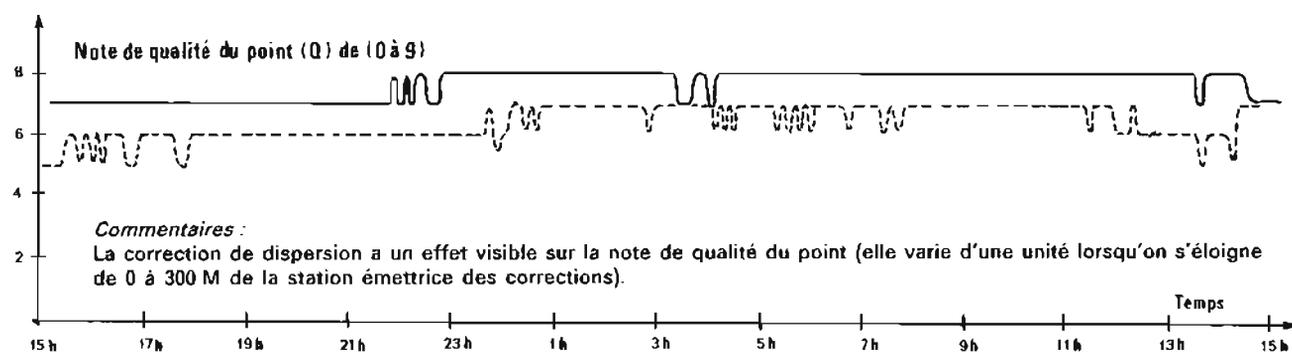
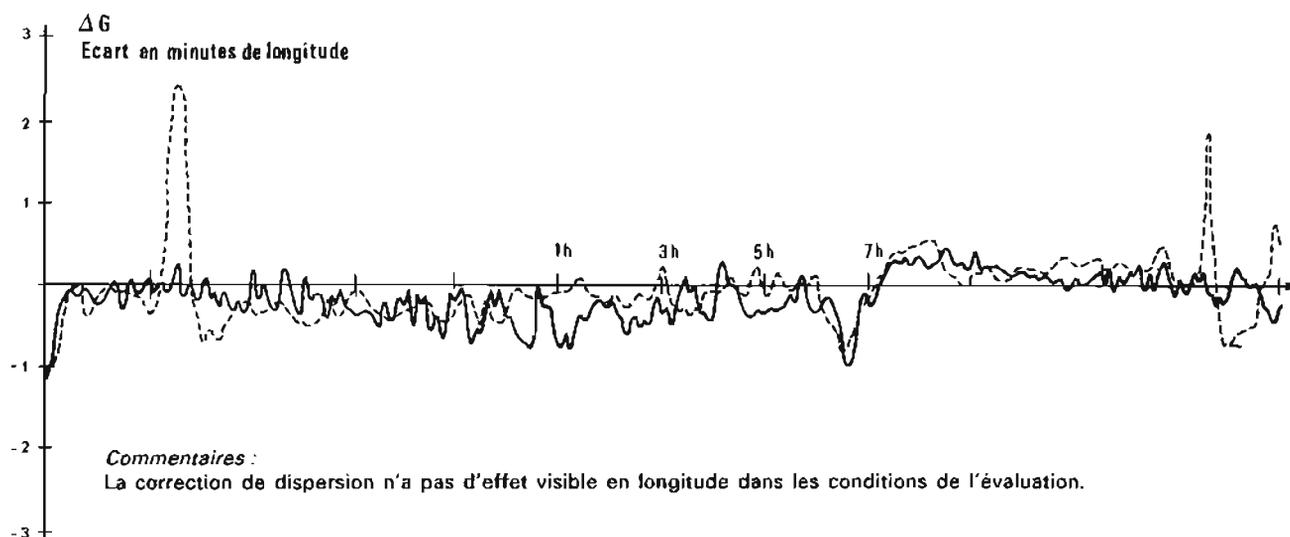
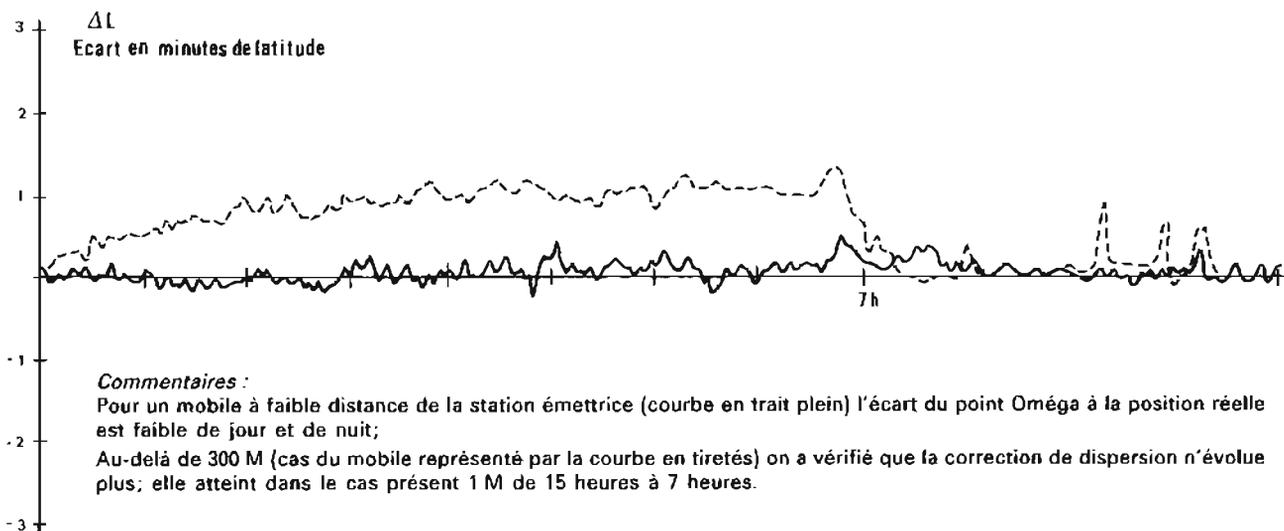
Le récepteur Oméga M6 a acquis la confiance des officiers de quart du BH1 *L'Espérance* par sa présentation, la simplicité de sa mise en œuvre, ses performances rappelées ci-dessous.

— En mode naturel, le point a une précision de 5 M, valeur englobant une dispersion de 3 M autour du point moyen et le biais (pouvant atteindre 2,5 M) entre le point moyen et la position réelle. On a remarqué que le point Oméga est en général à l'Ouest de la position réelle, sur nos côtes.

La précision du point en mode Oméga naturel dépend en fait de la qualité de réception des stations, qualité estimée par le récepteur M6. Selon la note de qualité attribuée par le récepteur, la précision réelle passe de 3,5 M à 9 M.

| Note de qualité du récepteur M6 | Précision réelle à 95 % de probabilité de présence du point Oméga en mode naturel |
|---------------------------------|---|
| 5 | 3,5 M |
| 4 | 6 |
| 3 | 9 |

Sur nos côtes la qualité du point est normalement 4 ou 5; les mesures de jour sont meilleures que celles de nuit; la précision passe alors de 4 à 7,5 M.



PL. 3.4.9. — Mise en évidence de la correction de dispersion du récepteur M6 sur la position du mobile (latitude, longitude) et sur la note de qualité du point donnée par le récepteur M6.

Situation :

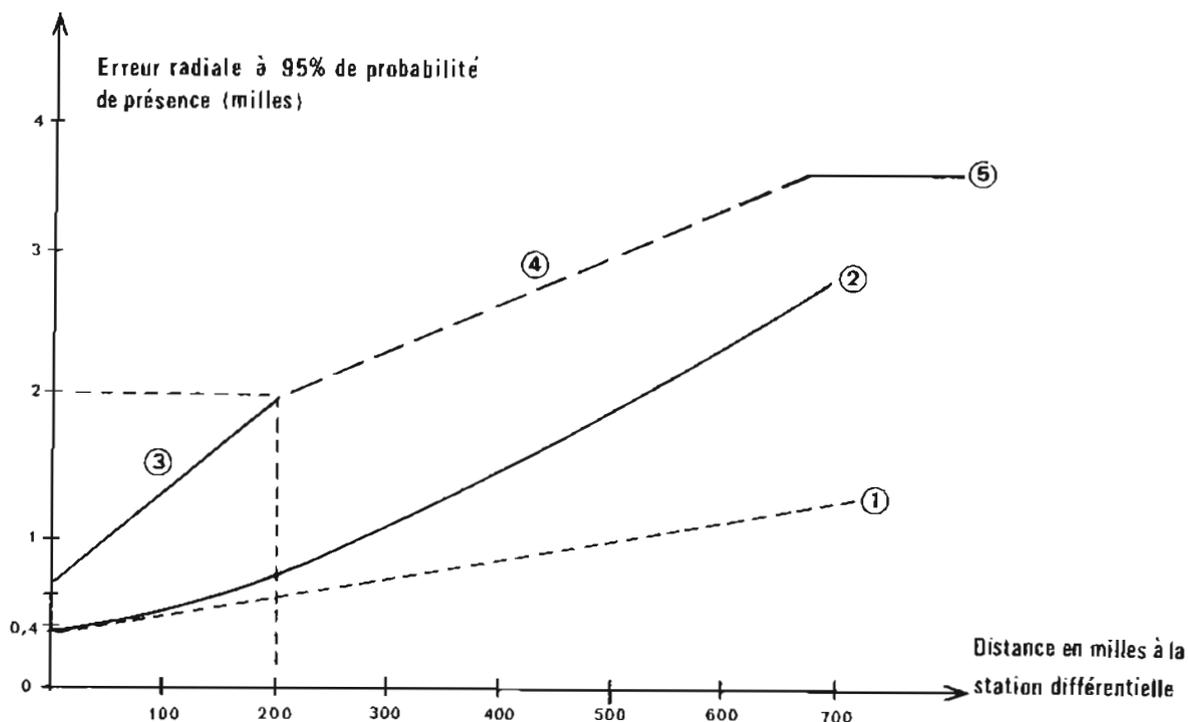
L'Espérance est à Brest ou mouillage.

Légende :

courbes en trait plein : courbes enregistrées le 6 novembre 1980 de 15 heures au 7 novembre à la même heure pour un mobile à faible distance de la station émettrice des corrections (les coordonnées de Ouessant dans le récepteur M6 sont correctes).

Courbes en tiretés : courbes enregistrées le 7 novembre 1980 à partir de 15 heures pendant 24 heures pour un mobile à 600 M de la station émettrice des corrections (les coordonnées de Ouessant dans le récepteur M6 ont été faussées de cette quantité)

Commentaires : voir aussi le paragraphe 3.4.7.



PL. 3.4.10. — Précision du récepteur Oméga M6 en mode différentiel.

Précision théorique d'après le constructeur :

Courbe (1) : courbe optimale (avec correction de dispersion)

Courbe (2) : courbe sans correction de dispersion

Précision observée du M6 sur les côtes de l'Atlantique

Segment (3) : courbe établie dans le Golfe de Gascogne et en Baie de Seine

Segment (4) : courbe établie lors d'un transit au large de l'Irlande

Segment (5) : précision optimale de l'Oméga en mode naturel quand la note de qualité attribuée par le M6 est 5 (cette précision de 3,5 M passe à 5, puis 9 M si la note de qualité est 4, puis 3).

— En mode différentiel, la précision du point Oméga (planche 3.4.10) varie progressivement de 0,4 à 2 M quand le navire s'éloigne de 0 à 200 M de la station émettrice des corrections. L'écart du point à la position réelle comprend un biais qui peut atteindre la moitié de l'écart observé. Contrairement au point en mode naturel, le point en différentiel a sensiblement la même qualité le jour et la nuit. La note de qualité du point Oméga est plus forte en mode différentiel qu'en mode naturel; cependant la précision du point est surtout liée à la distance à la station différentielle.

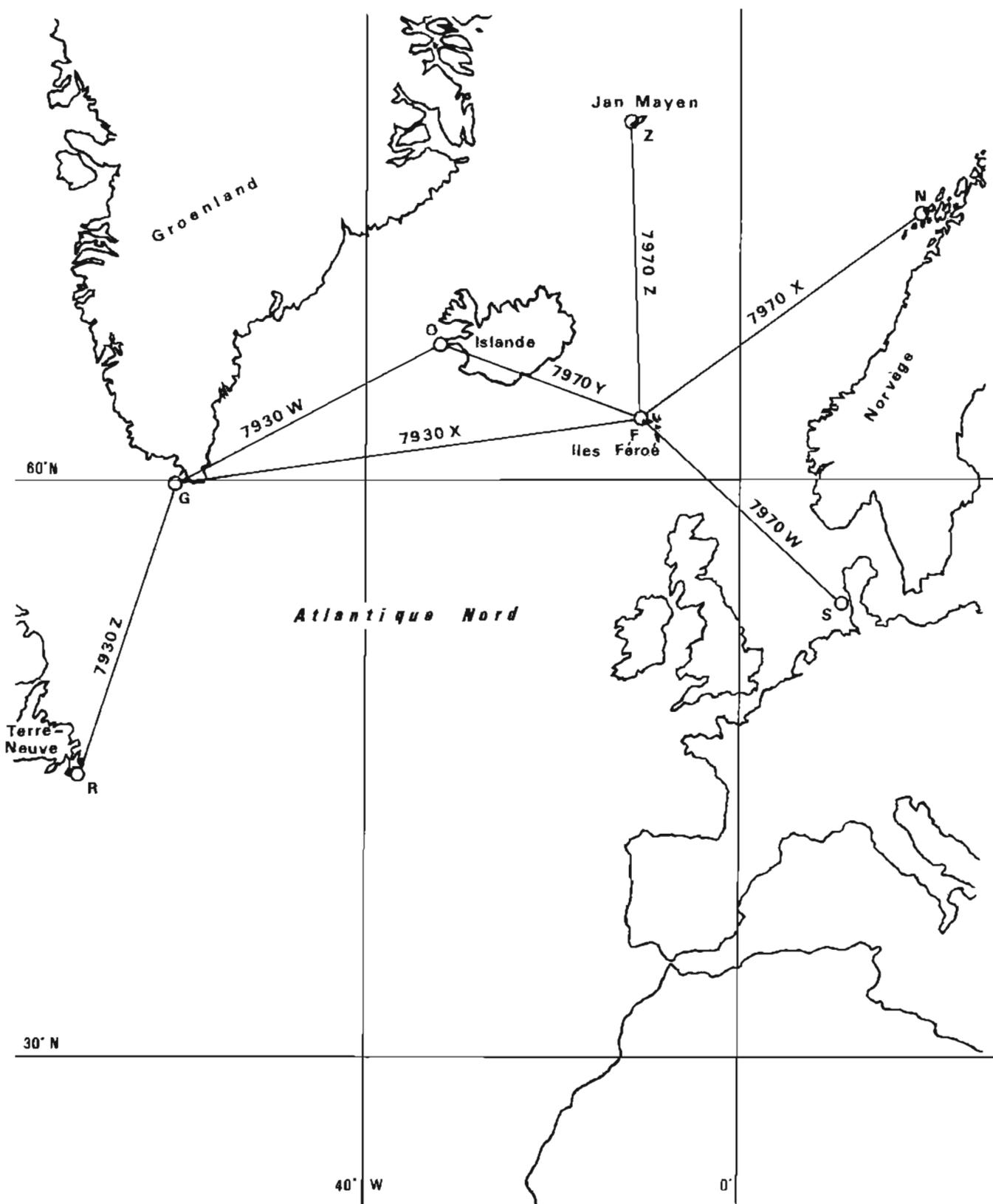
Chapitre 3.5

ÉTALONNAGE DES RÉSEAUX LORAN C EN ATLANTIQUE

3.5.1. Généralités (planche 3.5.1)

Les chaînes Loran « Atlantique Nord » (chaîne 7930) et « Norvège » (7970) ont servi au positionnement du BH1 *L'Espérance* au cours de ses campagnes en Atlantique Nord.

Une précaution nécessaire a été le contrôle soigné du calage des phases, calage éventuellement erroné d'un multiple de 10 microsecondes bien que le récepteur utilisé —le récepteur Decca DL 91 Mark 2— lève en principe automatiquement (en mode « Auto ») une telle ambiguïté. La détection d'un saut de 10 microsecondes n'est pas toujours évidente, même en observant trois lieux. Pour éviter toute erreur, il est utile de disposer d'un enregistrement analogique des phases même si on dispose d'un système d'acquisition numérique. Deux exemples de calage sont commentés sur les planches 3.5.3 et 3.5.4.



PL. 3.5.1. — Couverture des réseaux Loran C en Atlantique Nord.

Les lieux de positions des couples 7930 W, 7930 X, 7970 Y (lieux notés 30 W, 30 X, 70 Y) sont liés par la relation :
 $(30 X) + (70 Y) = (30 W) + 61680,28 \text{ microsecondes.}$

| Réseau | Baptême de la station | Système Europe 50 | | Constante du réseau (µs) |
|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | | L | G | |
| 7970 — maître | F | 62°18'02", 00 N | – 7°04'18", 89 W | |
| 7970 — W | S | 54°48'32", 37 N | + 8°17'41", 30 E | 30065,64 |
| 7970 — X | N | 68°38'06", 40 N | + 14°27'53", 97 E | 15048,10 |
| 7970 — Y | O | 64°54'29", 57 N | – 23°55'12", 00 W | 48944,53 |
| 7970 — Z | Z | 70°54'53", 70 N | – 8°43'47", 39 W | 63216,30 |
| 7930 — maître | G | 59°59'22", 27 N | – 45°10'18", 94 W | |
| 7930 — W | O | 64°54'29", 57 N | – 23°55'12", 00 W | 15068,02 |
| 7930 — X | F | 62°18'02", 00 N | – 7°04'18", 90 W | 27803,77 |
| 7930 — Z | R | 46°46'38", 71 N | – 53°10'22", 08 W | 48212,20 |

| Réseau | Baptême de la station | Système WGS 72 | | Constante du réseau (µs) |
|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| | | L | G | |
| 7970 — maître | F | 62°17'59", 68 N | – 7°04'26", 71 W | Voir tableau ci-dessus |
| 7970 — W | S | 54°48'29", 80 N | + 8°17'36", 33 E | |
| 7970 — X | N | 68°38'06", 15 N | + 14°27'47", 00 E | |
| 7970 — Y | O | 64°54'26", 58 N | – 23°55'21", 75 W | |
| 7970 — Z | Z | 70°54'52", 61 N | – 8°43'58", 69 W | |
| 7930 — maître | G | 59°59'17", 27 N | – 45°10'27", 75 W | |
| 7930 — W | O | 64°54'26", 58 N | – 23°55'21", 75 W | |
| 7930 — X | F | 62°17'59", 68 N | – 7°04'26", 71 W | |
| 7930 — Z | R | 46°46'32", 18 N | – 53°10'28", 16 W | |

PL. 3.5.2. — Coordonnées des stations Loran C des réseaux 7970 et 7930 dans les systèmes géodésiques Europe 50 et WGS 72.
Notes : célérité des ondes Loran : 299530 km/s; fréquence : 100 kHz
ellipsoïde international (E50) : a = 6 378 388 m; f = 1/297
ellipsoïde du système WGS 72 : a = 6 378 135 m; f = 1298,26
paramètres de décalage de C2 (centre de l'ellipsoïde E50) à C1 (centre du WGS 72) : dX = + 84 m, dY = + 103 m, dZ = 127 m.

Planche 3.5.1 on a représenté les réseaux Loran couvrant le Nord de l'Atlantique; on note que trois réseaux ont des foyers communs; leurs lieux de position sont liés par la relation entre les phases :

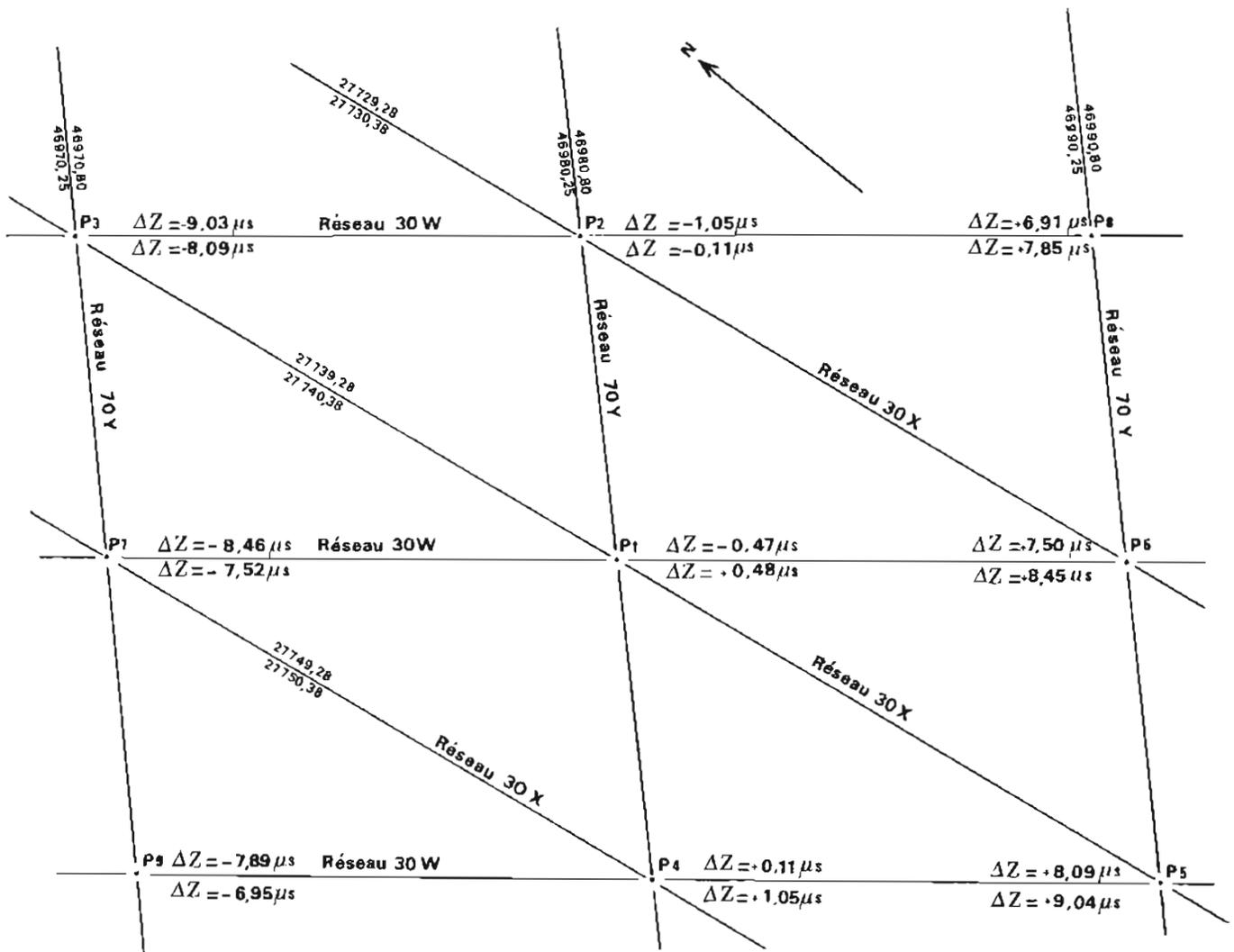
$$\varphi(7930 X) + \varphi(7970 Y) = \varphi(7930 W) + 61680,28 \text{ microsecondes.}$$

Les caractéristiques des réseaux Loran sont rappelées à la planche 3.5.2.

3.5.2. Calibration des réseaux

La stabilité des phases Loran à moins de 500 milles des émetteurs a été la moitié du temps supérieure au dixième de microseconde. La calibration des réseaux a été étudiée selon les étapes suivantes :

- comparaison des phases Loran à celles calculées à partir des coordonnées du point par satellites,
- adoption de corrections par zone selon les valeurs moyennes découlant du calcul de 40 passages de satellites,
- compilation des résultats obtenus par *L'Espérance* en 1980, 1981, 1982 et par le *D'Entrecasteaux* en 1982,
- tracé des limites des zones de corrections en fonction des résultats ci-dessus et des trajets terrestres entre le mobile et les foyers Loran,
- étude critique des limites tracées par la vérification de la taille du chapeau résiduel après l'application des corrections aux phases Loran observées en différents points au cours des transits de *L'Espérance* (rejeu du positionnement),
- nouveau tracé des limites compte tenu de cette étude.



PL. 3.5.3. — Calages des réseaux Loran C. en juillet 1981, à bord de *L'Espérance*.

Position approchée : $L=61^{\circ}10'N$; $G=26^{\circ}15'W$

Les réseaux 7930 W, 7930 X, 7970 Y, sont liés par la relation : Phase 7930 X + phase 7970 Y = phase 7930 W + 61680,28 μs

L'ambiguïté est à lever à l'aide du réseau 7970 Z

Commentaire :

Chaque hyperbole est repérée par sa valeur corrigée (chiffre du bas), par sa valeur non corrigée (chiffre du haut)

La valeur ΔZ représente le biais (phase 7970 Z calculée — phase 7970 Z observée).

ΔZ (chiffre du haut) : biais sans corrections

ΔZ (chiffre du bas) : biais après corrections

Corrections admises sur le réseau 30 X : + 1,1 μs

30 W : + 0,55 μs

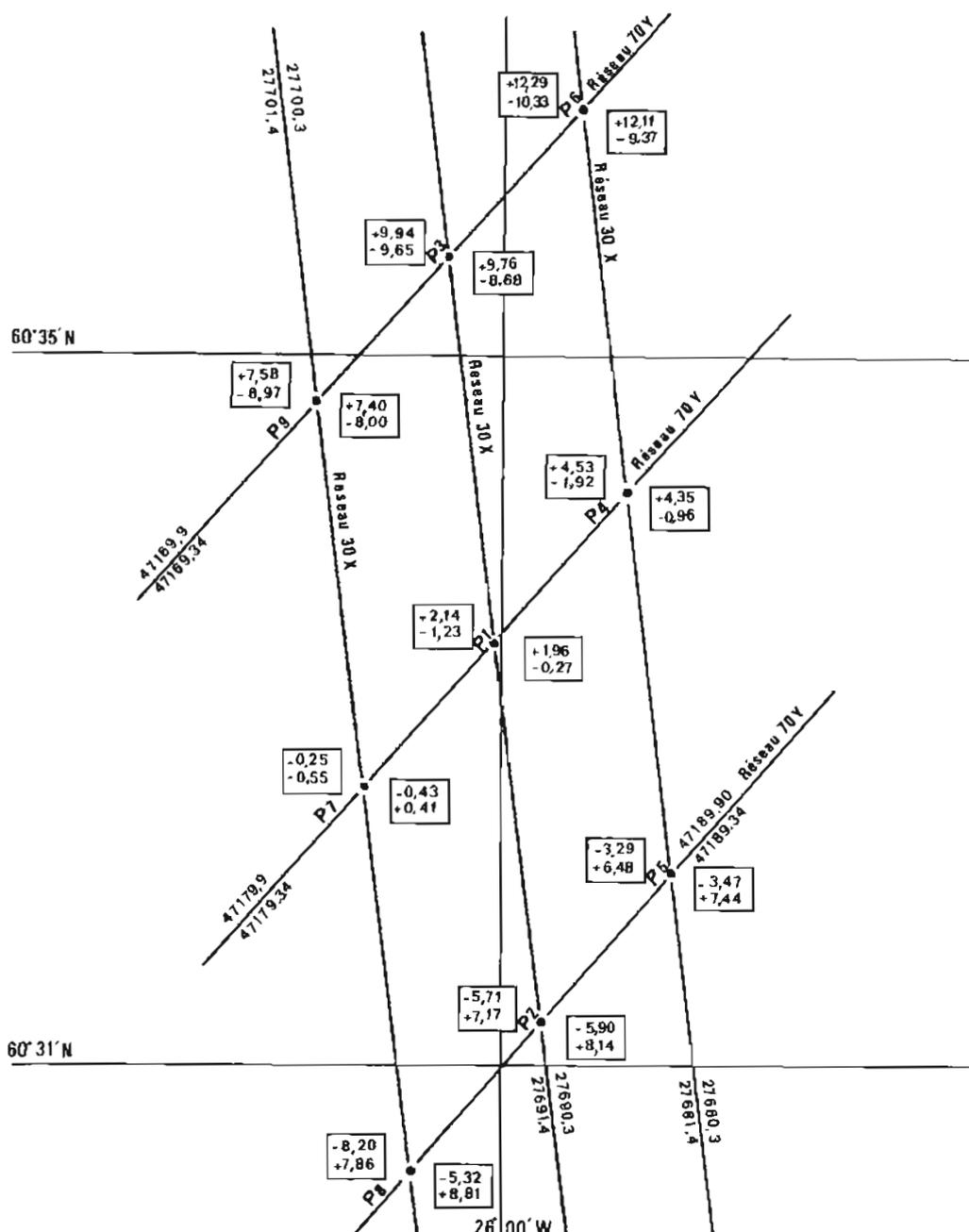
70 Y : - 0,55 μs

Résultats :

Dans le cas envisagé le point P2 est le plus probable compte tenu de son biais le plus faible en admettant les corrections ci-dessus. Cependant les points P1, P3, P4 et P5 ne peuvent être exclus. Un enregistrement analogique des phases Loran C se révèle nécessaire pour détecter les sauts éventuels de 10 microsecondes au cours d'un levé.

Le calcul du point Loran et les rejeux ont été effectués sur HP 9845 à partir des programmes écrits par la MOA. Des abaques ont été tracés après rejeu des corrections adoptées; ils ont une cohérence de 0,2 microseconde.

Un tracé plus fin des zones de corrections supposerait la création de fichiers de points Loran collectionnés au cours de campagnes successives. On vérifierait sur ce fichier la cohérence de tout nouvel abaque des corrections affinées, tenant compte des nouvelles mesures Transit et Loran mais aussi des anciennes.



PL. 3.5.4. — Calage des réseaux Loran C en L=60°5'N; G=26°W. BH1 L'Espérance, juillet 1981.

Commentaires :

Les points P1 à P9 sont calculés à l'aide des phases de réseaux 7930 X et 7970 Y. Les réseaux 7930 Z et 7970 Z sont utilisés pour détecter un saut éventuel de 10 μ s sur les réseaux ci-dessus. A chaque point sont associés deux tableaux :

Tableau de gauche : chiffre du haut = (phase calculée - phase observée) réseau 7930 Z

chiffre du bas = (phase calculée - phase observée) réseau 7970 Z

Tableau de droite : chiffre du haut = (phase calculée - phase observée corrigée) réseau 7930 Z

chiffre du bas = (phase calculée - phase observée corrigée) réseau 7970 Z

Corrections admises pour le calcul des données du tableau de droite :

réseau 7930 X : 1,10 μ S; 7930 Z : + 0,35 μ s; réseau 7970 Y = -0,55 μ s; réseau 7970 Z : - 1,35 μ s

Chaque hyperbole des réseaux 7930 X et 7930 Y est repérée par sa valeur non corrigée (chiffre du haut) et par sa valeur corrigée (chiffre du bas).

Conclusions : Dans le cas étudié, P7 est le point le plus probable (les corrections sont les plus faibles) mais P3 est aussi possible en admettant des sauts de 10 μ s sur les réseaux 7930 Z et 7970 Z.

DÉTERMINATION DES COURANTS DE DÉRIVE SUR DES PROFILS SUIVIS EN SENS INVERSE

3.6.1. Généralités

En 1982, lors de la campagne en Atlantique Nord de *L'Espérance*, le courant de dérive a été étudié en comparant les vecteurs « vitesse fond » et « vitesse surface » sur des profils consécutifs de sens opposé parcourus pendant plus d'une heure à une vitesse « machine » stable proche de 10 nœuds.

Les déterminations de courant obtenues paraissent cohérentes bien que sommaires; elles suivent l'évolution du vent.

3.6.2. Méthode de calcul

On a admis les hypothèses suivantes.

Sur deux profils consécutifs :

- le courant de dérive est constant,
- la variation du gyrocompas W est constante.

La vitesse surface se déduit des mesures du loch électromagnétique Ben en les multipliant par un facteur constant K .

Désignons par (X, Y) les composantes Ouest-Est et Sud-Nord du chemin parcouru par le navire; selon que l'indice affecté à X, Y est F, S, D, B , ce chemin est la distance parcourue sur le fond, en surface, la dérive, le chemin déduit des capteurs (loch, gyro) sans correction.

Le chemin parcouru sur le fond est la somme du chemin parcouru en surface et de la dérive; on a :

$$\begin{aligned} X_F &= X_S + X_D \\ Y_F &= Y_S + Y_D \end{aligned} \tag{1}$$

Le chemin parcouru en surface se déduit des mesures du loch et du gyro par les équations :

$$\begin{aligned} X_S &= k (X_B \cos W + Y_B \sin W) \\ Y_S &= k (Y_B \cos W + X_B \sin W) \end{aligned} \tag{2}$$

En divisant par le temps de parcours, les composantes (X, Y) ci-dessus deviennent celles de la vitesse sur le fond (X_F, Y_F) , en surface (X_S, Y_S) , ou celles déduites du loch et du gyro (X_B, Y_B) sans qu'il soit nécessaire de changer les notations.

Les composantes du courant de dérive valent :

$$\begin{aligned} \text{sur le profil 1 :} \quad X_{D1} &= X_{F1} - X_{S1} & Y_{D1} &= Y_{F1} - Y_{S1} \\ \text{sur le profil 2 :} \quad X_{D2} &= X_{F2} - X_{S2} & Y_{D2} &= Y_{F2} - Y_{S2} \end{aligned} \tag{3}$$

Par hypothèse : $X_{D1} \equiv X_{D2} \quad Y_{D1} \equiv Y_{D2}$
(la dérive est la même dans les deux sens sur les deux profils).

On a donc :

$$\begin{aligned} X_{F1} - X_{F2} = X_{S1} - X_{S2} &= k [(X_{B1} - X_{B2}) \cos W + (Y_{B1} - Y_{B2}) \sin W] \\ Y_{F1} - Y_{F2} = Y_{S1} - Y_{S2} &= k [(Y_{B1} - Y_{B2}) \cos W + (X_{B1} - X_{B2}) \sin W] \end{aligned} \tag{4}$$

Posons :

$$A = \frac{X_{F1} - X_{F2}}{Y_{F1} - Y_{F2}}, \quad B = X_{B1} - X_{B2}, \quad C = Y_{B1} - Y_{B2}$$

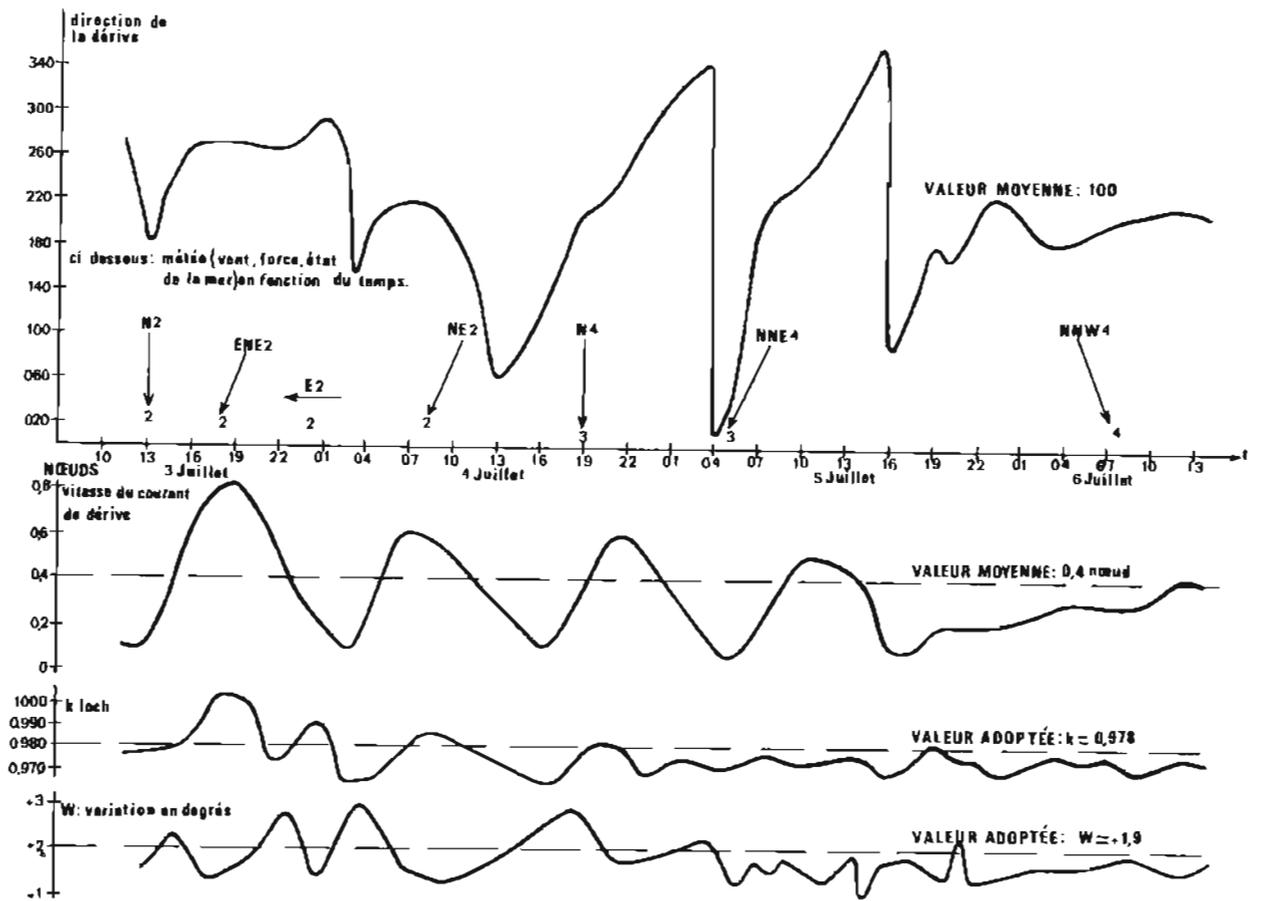
Il vient

$$\text{tg}W = \frac{AC - B}{AB + C} \tag{5}$$

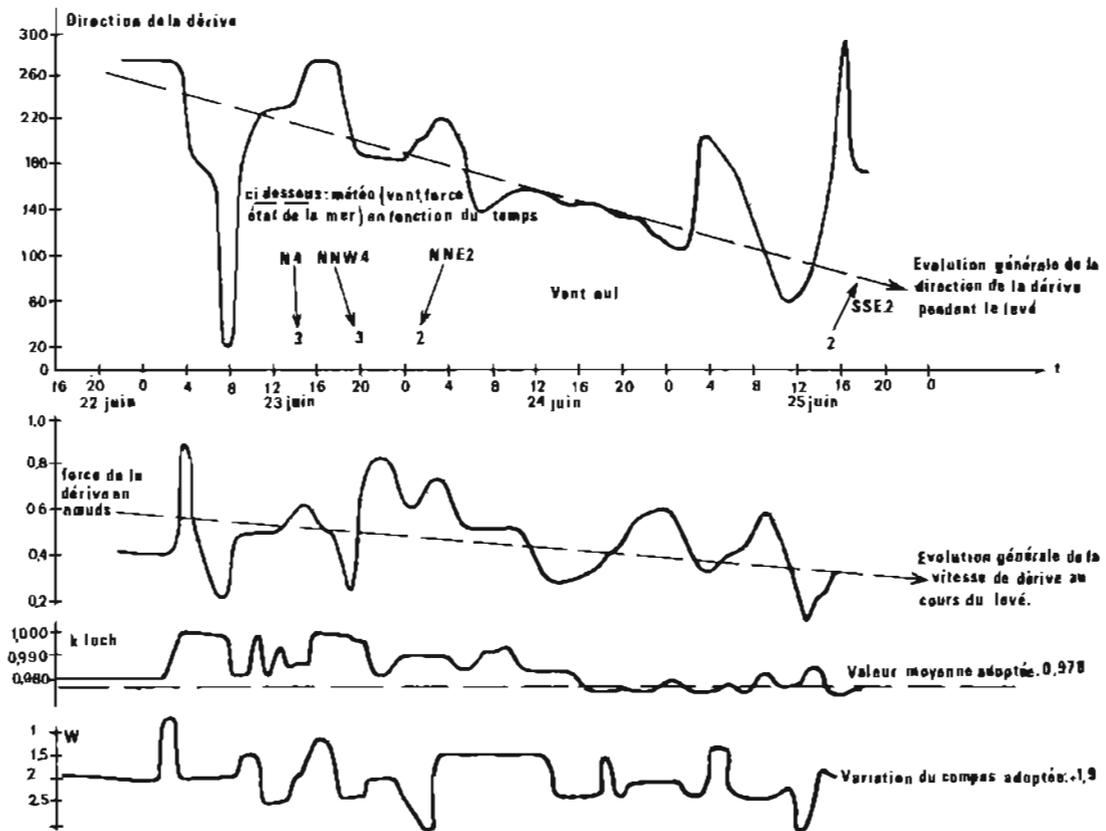
Ayant W dans (5) on déduit k par (4); on peut alors calculer les éléments « surface » par (2). Les éléments « fonds » étant connus (navigation Loran C dans le cas de l'étude), on déduit la dérive par les équations (3).

3.6.3. Résultats

Planche 3.6.1. on notera la stabilité du facteur d'étalonnage du loch (k) et de la variation du gyrocompas (W) déduits par calcul. On peut penser que les courants déterminés par cette méthode sont d'autant plus probables que ces paramètres calculés ont une valeur stable; ces paramètres sont ainsi des paramètres de contrôle des valeurs des courants calculés.



ci-dessus : étude de la dérive en juillet 1982



ci-dessus : étude des courants de dérive en juin 1982

PL. 3.6.1. — Etude des courants de dérive.

Chapitre 3.7

GRAVIMÉTRIE

3.7.1. Généralités

Le BH1 *L'Espérance* lors de ses campagnes en Atlantique Nord au cours des étés 1980, 1981, 1982 a effectué des mesures gravimétriques, les deux premières années à l'aide du gravimètre KSS 5, la dernière année à l'aide d'un nouveau gravimètre KSS 30 précédemment utilisé à bord du *D'Entrecasteaux*.

La cohérence des mesures effectuées au cours des trois campagnes de *L'Espérance* et au cours de celle du BO *D'Entrecasteaux* a été vérifiée en comparant les mesures aux recoupements de toutes les routes suivies. Cette cohérence est satisfaisante puisque les biais maximaux constatés sont de 8 milligals.

Il a été nécessaire, avant d'aboutir à ce résultat, de lever une ambiguïté entre deux systèmes de référence gravimétrique des ports d'escale, soit le système dit de Potsdam (système de rédaction des documents du SHOM), soit le système officiel IGSN 71 dans lequel les valeurs de la gravité sont plus faibles de 14 milligals en première approximation.

Les anomalies de pesanteur ont été calculées en adoptant pour la gravité théorique celle qui est donnée par la formule internationale de 1930 :

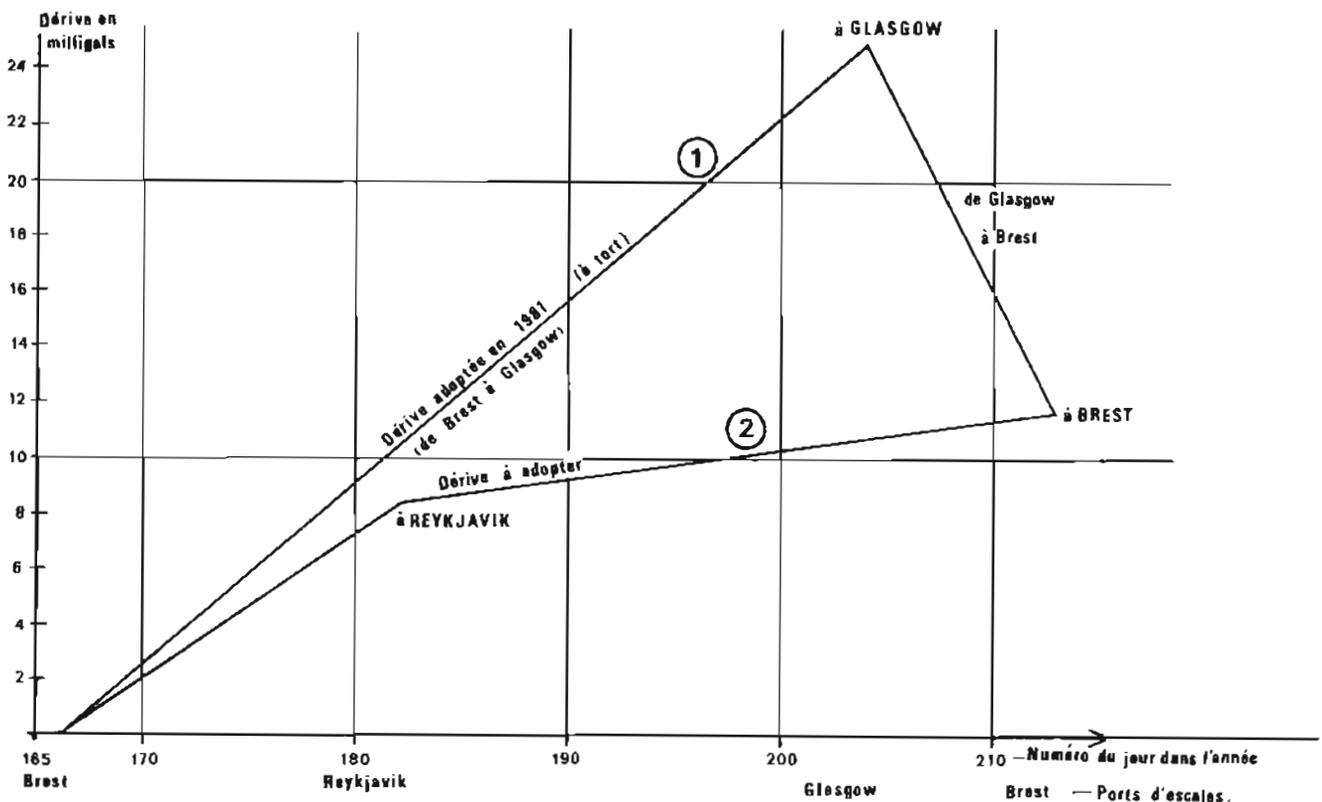
$$g \text{ (milligals)} = 978049,0 (1 + 5,2884 \times 10^{-3} \times \sin^2 L - 5,9 \times 10^{-6} \times \sin^2 2L).$$

3.7.2. Systèmes de référence des valeurs gravimétriques

Pour la campagne de 1981, la courbe de dérive (planche 3.7.1.) était croissante jusqu'à Glasgow, puis décroissante; la valeur de dérive atteinte à Glasgow (+24 milligals) paraissait anormale.

A cette date, aucun élément connu de la mission ne permettait d'identifier facilement l'origine des difficultés rencontrées; deux hypothèses ne pouvaient être exclues :

- soit une erreur dans le rattachement de la gravité au quai d'accostage à Glasgow à celle du point de référence, à 10 kilomètres de là;
- soit des tares (sauts accidentels) non identifiées au cours des transits.



PL. 3.7.1. — Dérive du gravimètre KSS 5 au cours de la campagne de 1981 :
Courbe 1 : courbe de la dérive adoptée (à tort) en 1981
Courbe 2 : courbe de la dérive à adopter.

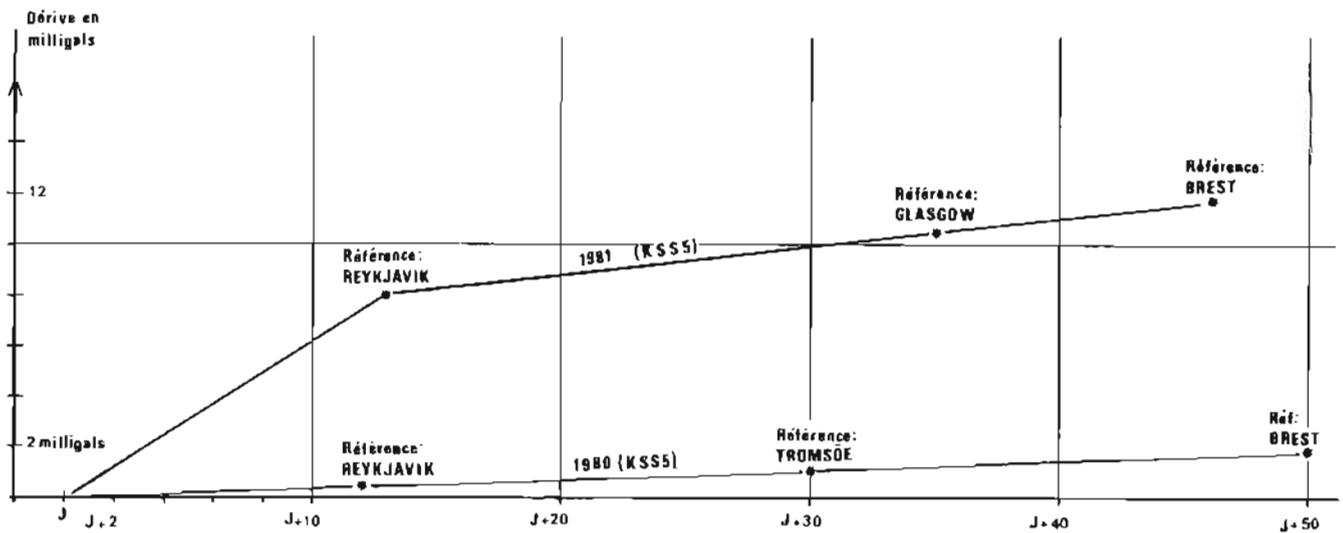
Lors de la campagne 1982, la même difficulté est apparue à Akureyri; c'est alors que les recherches entreprises permirent d'éliminer les hypothèses d'erreurs opératoires: les valeurs de référence gravimétrique dans les ports d'escale appartenaient à deux systèmes différents, leur écart étant sensiblement de 14 milligals. Indiquons les deux documents qui justifient cette conclusion.

— D'un premier document intitulé « cours de géodésie théorique » du professeur P.L. Baestle (1969) est extraite la citation suivante : « Il s'avère qu'à la formule internationale de la pesanteur normale correspond la valeur $g = 981\,274$ milligals obtenue à Potsdam par F. Kuhner et Furtwangler en 1906.

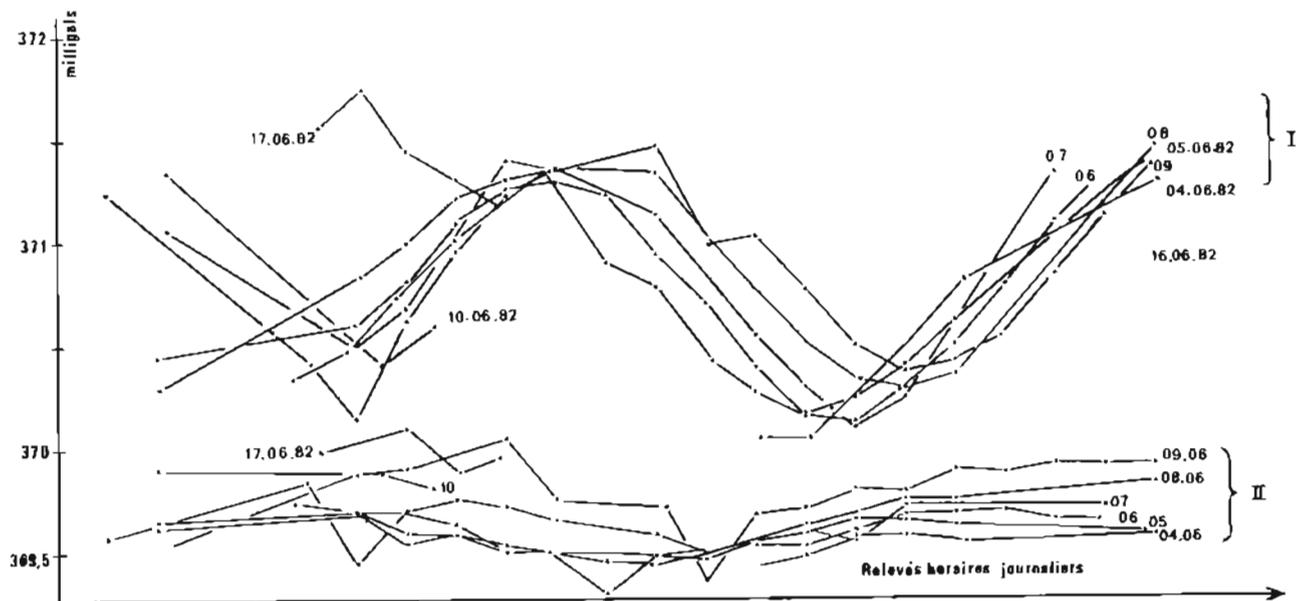
C'est à cette valeur qu'on a rattaché jusqu'ici toutes les déterminations relatives; on dit qu'elles sont rattachées « au système de Potsdam ». Les déterminations plus récentes montrent que la valeur devrait être diminuée de 14 milligals environ : $g = 981\,260 \pm 2$ milligals ».

— D'un deuxième document intitulé « rapport d'implantation des bases gravimétriques portuaires du réseau RGF 80 » par MM. Dupont et Ogier (janvier 1982) est issue la phrase :

« Bien qu'officiellement abandonné et remplacé par l'International Gravity Standardization Network 1971 (IGSN 71), le système de Potsdam continue à être utilisé pour des raisons de commodité et ce, jusqu'au jour où toutes les données anciennes auront été introduites en banque de données ».



PL. 3.7.2. — Dérives du gravimètre KSS 5 en 1980 et en 1981.



PL. 3.7.3. — Etude de la dérive journalière du gravimètre KSS 30 à Brest du 4 au 9 juin 1982 et le 17 juin.

Courbe 1 : relevés bruts du gravimètre

Courbe 2 : relevés corrigés de la marée et ramenés au niveau du point de référence de la Base sous-marine

Dérive adoptée : +0,07 milligal/jour du 4 au 9 juin

+0,04 milligal/jour du 4 au 17 juin

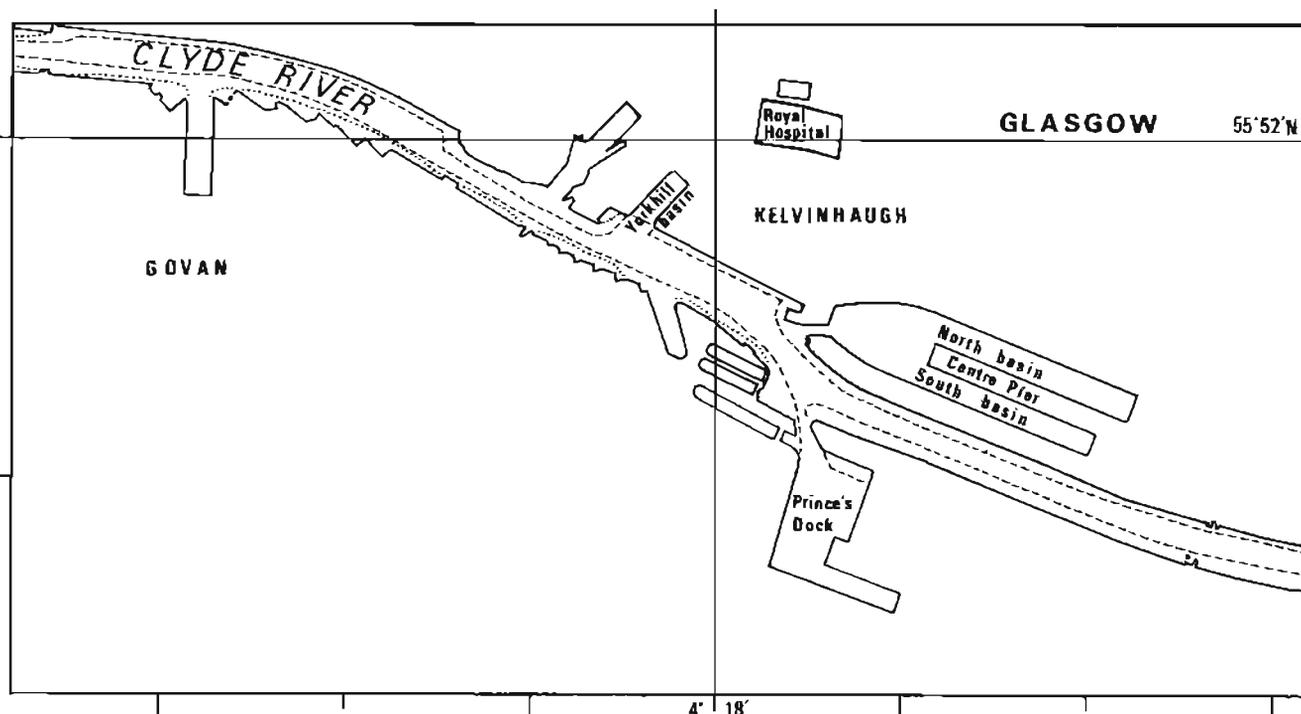
En conclusion les documents de rédaction transmis en 1980, en 1981, et 1982 ont été rédigés dans le système de Potsdam (dit aussi Europe 1962). Compte tenu de la dérive réelle en 1981 (paragraphe 3.7.3) les documents transmis à l'EPSHOM en 1981 ont dû être corrigés selon les indications de la planche 3.7.1.

3.7.3. Dérive des gravimètres embarqués (planches 3.7.2 et 3.7.3)

En 1982 la dérive du gravimètre KSS 30 était très régulière, de l'ordre de 0,044 milligal par jour. On vérifera cette dérive planche 3.7.3, de l'étude horaire de la dérive du gravimètre à Brest, en juin 1982.

En 1980, la dérive du gravimètre KSS 5 était de cet ordre mais après une élimination délicate de tares de plusieurs milligals.

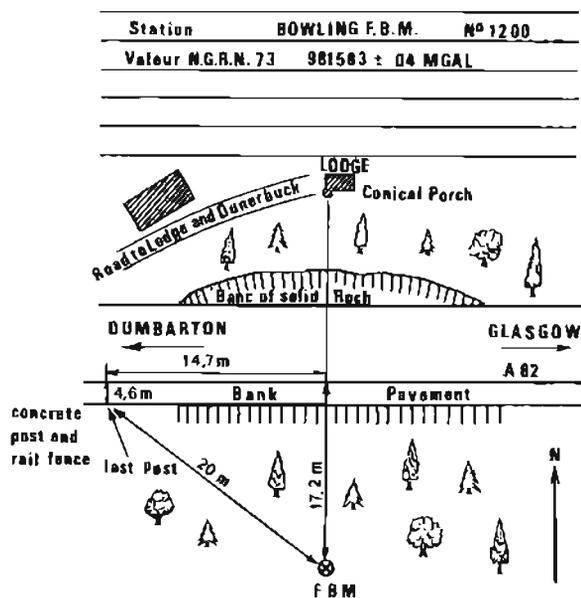
En 1981 la dérive de ce gravimètre avait été de 0,24 milligal par jour (planche 3.7.2).



Situation générale :

Référence de Yorkhill basin : c'est le boulon entre la 7^e et la 8^e bitte comptée du fond du bassin (rive Est) vers la Clyde; le boulon (peint en jaune) est à 2,45 m de la 7^e bitte.

g (référence Yorkhill) : 981587,85 (IGSN 71)

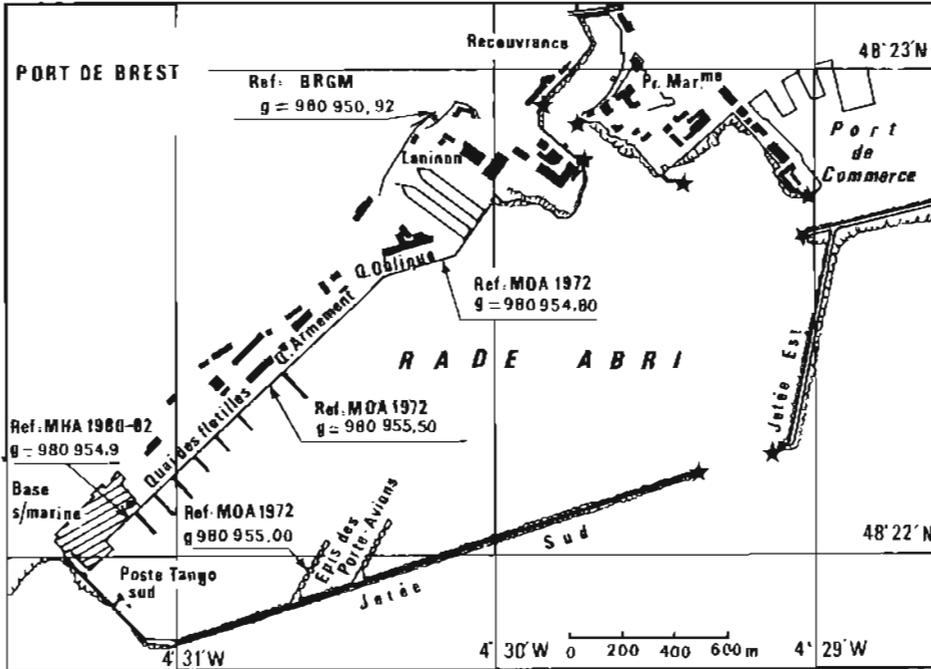


La référence du réseau NGRN 73 : le point 1200 de Bowling.

PL. 3.7.4. — Références gravimétriques à Glasgow.

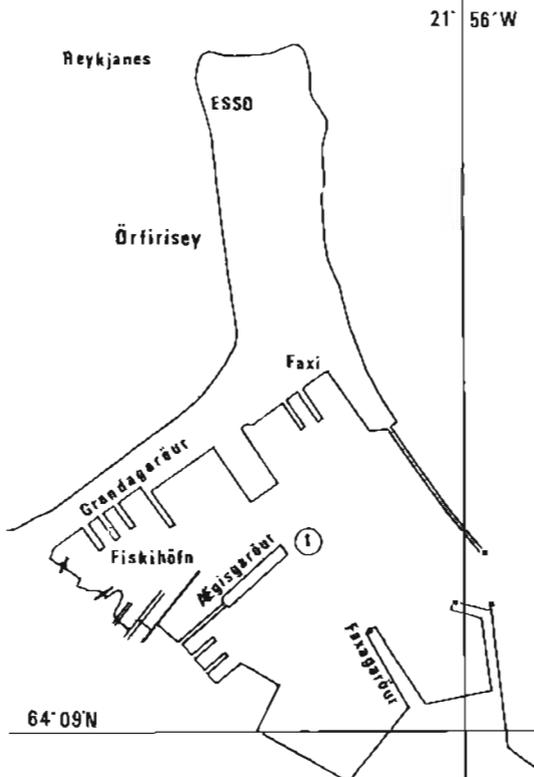
3.7.4. Mesures de référence

Les références gravimétriques de Reykjavik, Tromsø sont fréquemment utilisées par le SHOM; celles de Glasgow et d'Åkureyri ont été utilisées pour la première fois en 1981 et 1982 respectivement. Les valeurs des mesures en ces points sont précisées dans le tableau ci-dessous en mentionnant le système de valeur de référence (Europe 62 ou IGSN 71). Des fiches descriptives des stations gravimétriques ont été rédigées (fiches 3.7.4 à 3.7.8).



PL. 3.7.5. — Références gravimétriques à Brest.

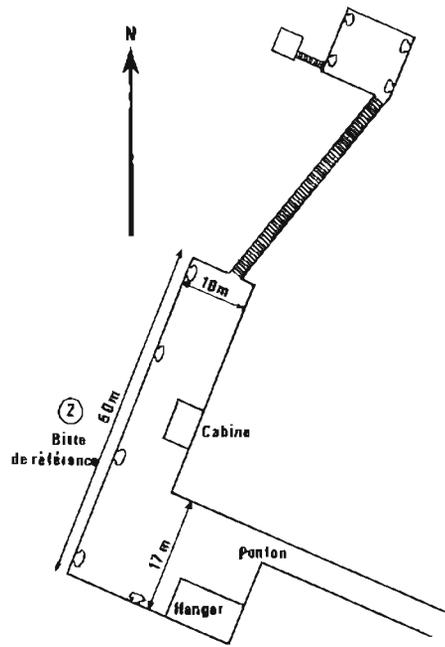
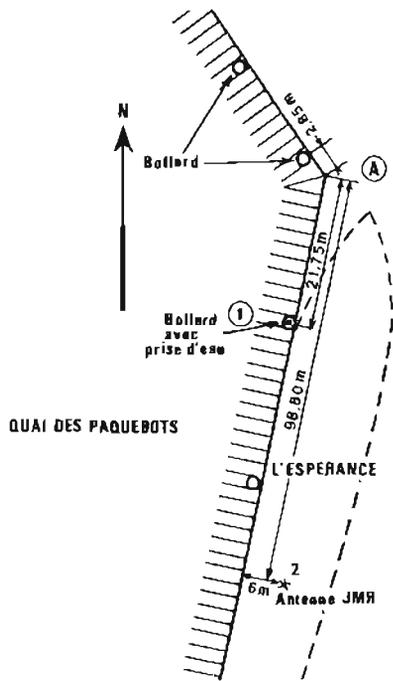
La référence gravimétrique utilisée de 1980 à 1982 est le sommet du quai devant le ponton Tango Sud à la Base sous-marine. $g = 980954,9$ milligals (E62); cette valeur a été déduite au gravimètre Worden par cheminement à partir de la porte Caffarelli (point de référence du BRGM).



Ci-contre :

PL. 3.7.6. — Références gravimétriques à Reykjavik.

A Reykjavik, la référence gravimétrique est le repère Saxov n° 6 au quai Aegisgarður
 $L = 64^{\circ}09', 1 N$; $G = 21^{\circ}56', 6 W$; $Z = 2,99 m$
 g (Europe 1962) = 982 281,18 milligals.

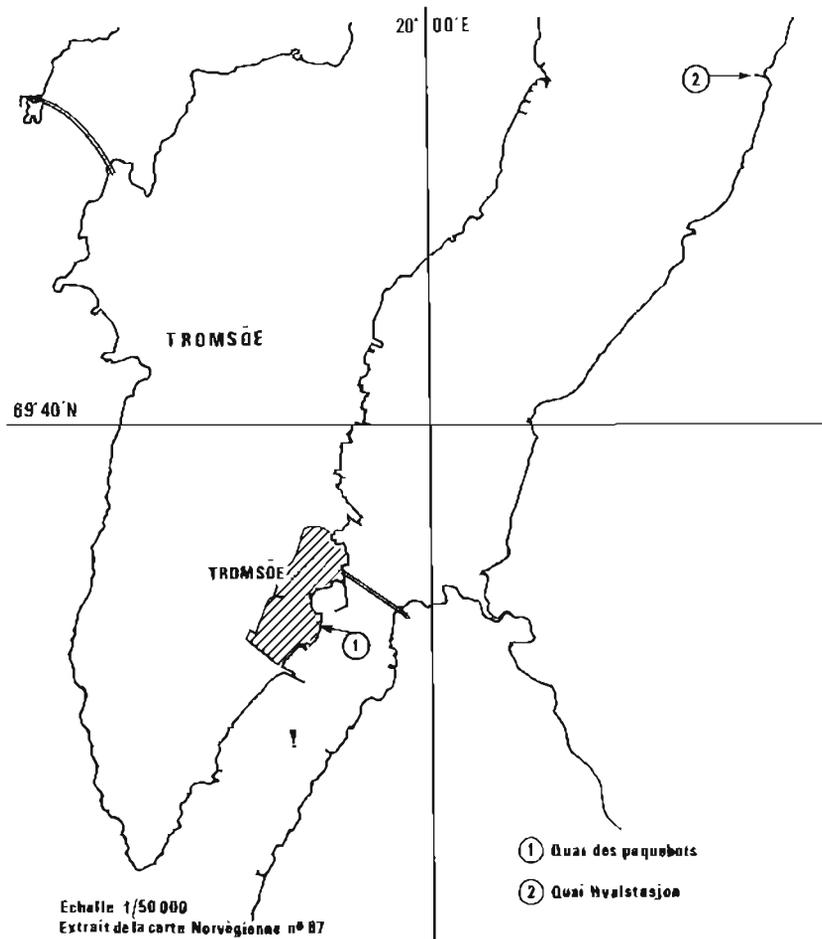


Point 1 : bollard avec prise d'eau du quai des paquebots :
référence en 1982

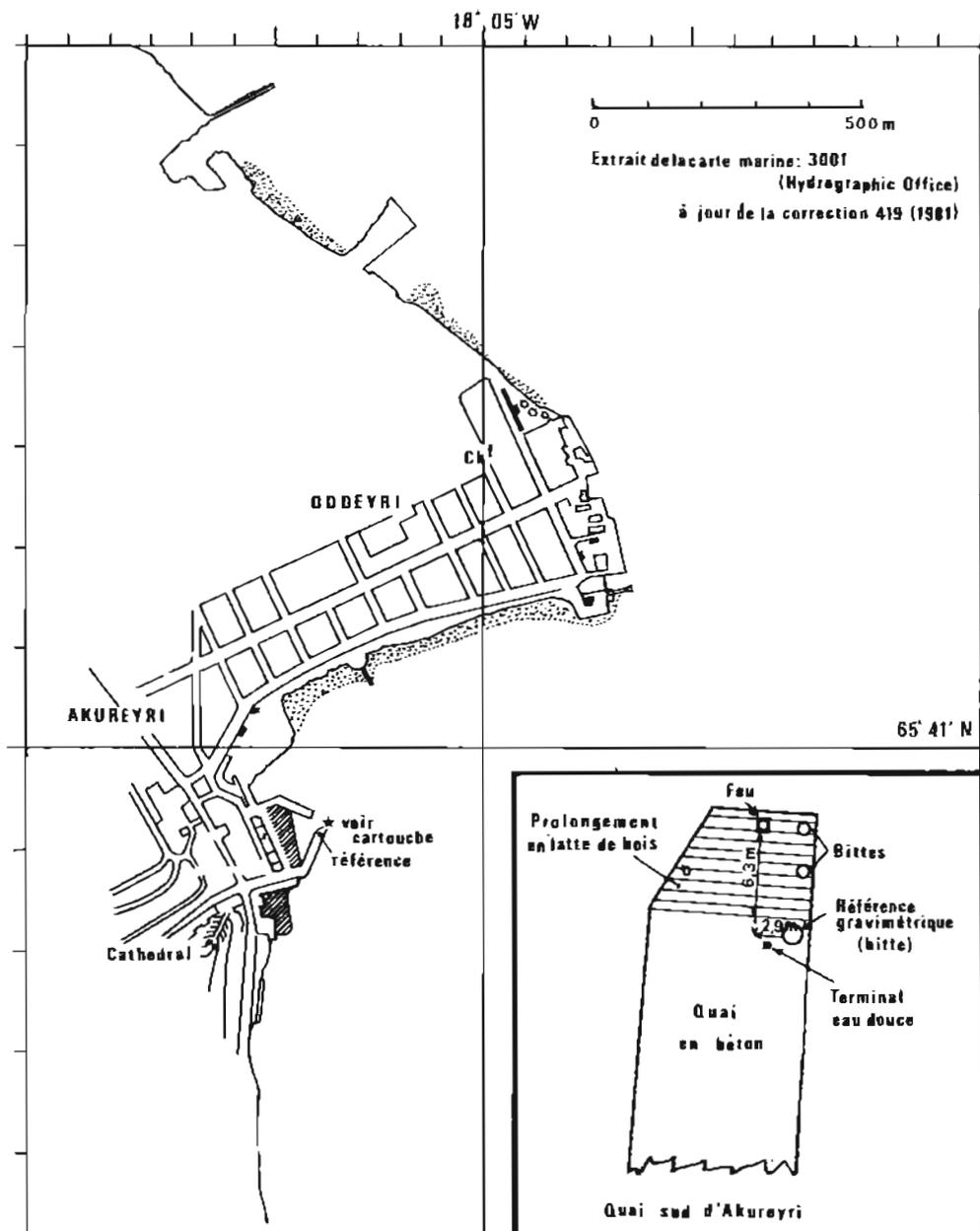
$g = 982\,567,73$ milligals (Europe 62)
coordonnées E50 de A (bout du quai)
 $L = 69^{\circ}30'58''$, 4 N; $G = 18^{\circ}57'52''$, 9 E

Point 2 : bitte du quai de ravitaillement « gas-oil » Shell —
Nord à Hvalstasjon

référence utilisée en 1982
 $g = 982\,569,3$ (Europe 62)



PL. 3.7.7. — Références gravimétriques à Tromsø (plan d'ensemble et détail).



Point de référence au quai Sud d'Akureyri : la bitte près du terminal d'eau douce $g = 982\,340,7$ mgl (IGSN 71) après rattachement au gravimètre Worden au point 5218 de l'aéroport ($g = 982\,337,41$ mgl).

PL. 3.7.8. — Référence gravimétrique à Akureyri (Islande) (utilisée en 1982).

Tableau des références gravimétriques

| Port | Point | Schéma | Valeur (milligals) | Système |
|----------|--|--------|--------------------|-----------|
| Brest | Porte Caffarelli | 3.7.5. | 980 950,82 | Europe 62 |
| Brest | Poste Tango Sud, Base sous-marine, sommet du quai * | 3.7.5. | 980 954,9 | Europe 62 |
| Akureyri | Point 5218 à l'aéroport, point du réseau gravimétrique international (repère en cuivre scellé à l'entrée de l'aéroport du côté de la piste d'atterrissage à 10 cm d'un montant métallique) | — | 982 337,4 | IGSN 71 |
| Akureyri | Bitte près du feu du quai Sud d'Akureyri (quai près de la cathédrale)* | 3.7.8. | 982 340,7 | IGSN 71 |
| Tromsøe | Quai des paquebots, bollard avec prise d'eau | 3.7.7. | 982 567,73 | Europe 62 |
| Glasgow | Station 1200 du réseau gravimétrique international (Bowling) | 3.7.4. | 981 583,95 | IGSN 71 |
| | Boulon entre la 7 ^e et la 8 ^e bitte du quai de Yorkhill Basin* | 3.7.4. | 981 587,87 | IGSN 71 |

* Mesures déduites par cheminement au gravimètre Worden, gravimètre terrestre appartenant soit à l'Université de Glasgow (1981) soit au Centre Océanologique de Bretagne (1982).

3.7.5. Utilisation du gravimètre KSS 30

Les procédures d'exploitation du gravimètre KSS 30 ont été étudiées à bord du BO *D'Entrecasteaux* par la MOA en 1981 et 1982. Ces procédures sont concrétisées par une instruction du SHOM rédigée en 1984; on s'y reportera.

Indiquons que le facteur d'étalonnage du KSS 30 (rapport de la différence de g connus aux lectures correspondantes du gravimètre) valait 0,8014 d'après la MOA. Cette valeur a été confirmée entre Tromsøe et Brest.

3.7.6. Documents rédigés

Les mesures gravimétriques (pesanteur, anomalies) ont été rédigées sur les coupures Gebco (cartes générales bathymétriques des océans) traversées (coupures Gebco 2, 3, 4, 8, 9, 15, 16, 29).

Chapitre 3.8

ÉVALUATION DU RÉSEAU SYLEDIS-BRETAGNE (FÉVRIER 1981 — MARS 1983)

1. INTRODUCTION

L'évaluation du réseau Syledis-Bretagne a été menée en mer et à terre de février 1981 à mars 1983. Sans revenir sur les résultats exposés dans les *Annales Hydrographiques* n° 759, nous décrivons à présent la progression chronologique de l'opération et les moyens engagés en insérant quelques observations et résultats complémentaires à ceux des annales citées. Il sera fait référence à celles-ci par des renvois entre parenthèses, renvois explicités à la fin de chaque paragraphe.

2. CHRONOLOGIE D'ENSEMBLE (tableau 1)

On peut regrouper les mesures effectuées en trois périodes comprenant chacune deux phases :
— La première période, de février à juin 1981, est consacrée à la détermination des coordonnées des antennes (phase 1), puis à l'adoption des constantes des équations de fonctionnement par étalonnage optique à la mer (phase 2).

Tabl. 1. — Chronologie d'ensemble de l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne

| Année | Mois | Travaux sur le terrain et en mer | | Résultats diffusés | |
|-----------------------------|----------|--|--------------|---|--|
| | | Nature | Chronologie | Chronologie | Nature |
| 1981 (Première période) | J | Installation des antennes par la DCAN de Brest (1) | | | |
| | F | Triangulation des antennes d'émission et des stations de visée optique (2) | | | |
| | M | | | | |
| | A | | | | |
| | M | Etalonnage optique sur la Jacinthe (3) | | | |
| | J | Etalonnage optique sur l'Astrolabe (4) Navigation en limite de portée (5) | | | |
| | De J à D | | 16 septembre | Géométrie du réseau. Equations de fonctionnement, calibration | |
| 1982 (Seconde période) | J | Evaluation au large à bord de L'Espérance (6) | | | |
| | F | Evaluation au large à bord de L'Espérance (7) | | 12 février | Contrôle de la calibration par passages sur les lignes d'ombre |
| | M | Evaluation au large de Penmarc'h (8) sur l'Astrolabe | | | |
| | A | | | 28 avril | Contrôle du réseau Validité des constantes |
| | M | | | 3 mai | Etalonnage optique au large de Penmarc'h |
| | | | 31 mai | Portée et fidélité du Syledis | |
| 1983 (Troisième période) | J | Essais en caravane mobile (9) à Toulbroc'h (10) en Bretagne | | | |
| | F | | | 4 février | Coordonnées de l'antenne du Cranou |
| | | | | 9 février | Paramètres de contrôle des récepteurs |
| | M | Evaluation à la mer sur L'Espérance (11) | | 25 mars | Calibration du réseau |
| | A | | | 5 avril | Evaluation devant Gavres Contrôle du réseau |
| | | | 19 avril | Performances du réseau | |

Légendes :

- 1^{ère} colonne : année des travaux relatifs à l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne.
- 2^e colonne : mois des travaux (à partir de janvier); les mois sans travaux (en général ceux du 2^e semestre) ne sont pas mentionnés.
- 3^e colonne : nature des travaux (numérotés de 1 à 11).
- 4^e colonne : chronologie; le trait noir vertical représente la durée de l'évaluation; les numéros cerclés ou entre parenthèses sont ceux de la 3^e colonne; les dates de début et de fin des travaux sont repérées par le quantième du jour dans le mois; une flèche (dirigée vers la 5^e colonne) indique la date de diffusion d'un résultat; plusieurs flèches indiquent les dates de diffusion des résultats obtenus au cours d'un même levé.
- 5^e colonne : dates de diffusion.
- 6^e colonne : nature des résultats.

— La seconde période, de janvier à mars 1982, est consacrée à l'évaluation des performances du réseau au large, tout d'abord sur *L'Espérance* (phase 3), puis sur *Astrolabe* (phase 4). Les résultats sont adoptés progressivement de 1982 à 1983.

— La troisième période, de janvier à mars 1983, est une période de confirmation de ces résultats par de nouvelles mesures à terre (phase 5) et en mer (phase 6), traitées en temps réel à l'aide de programmes écrits à cette intention.

La chronologie de l'évaluation est analysée au tableau 1 en distinguant :

- d'une part, les travaux sur le terrain et à la mer,
- d'autre part, la diffusion des résultats adoptés.

3. DURÉE DE L'ÉVALUATION, MOYENS ENGAGÉS

3.1. Le tableau 1 montre que les travaux relatifs à l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne se sont échelonnés sur onze mois de 1980 à 1983. Pour les travaux à la mer, la moitié du potentiel de la mission était consacrée à cette opération; pour les travaux à terre, le personnel engagé se composait de 3 ou 4 hommes.

L'évaluation du réseau comprend :

- 53 jours d'expérimentation à la mer :
 - 7 jours sur le dragueur *Jacinthe*,
 - 9 jours sur *Astrolabe*,
 - 37 jours sur *L'Espérance*.
- 58 jours de travaux à terre :
 - 40 jours pour la triangulation des antennes et des stations,
 - 13 jours pour les étalonnages optiques,

TABLE 2. — Constantes des stations d'émission du réseau Syledis-Bretagne (*) de 1981 à 1983 (Valeurs des constantes indiquées en mètres)

| Station | Créneau d'émission | Date de détermination des constantes | | | | | | | |
|---------------|--------------------|--------------------------------------|--|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------|--|
| | | 1981 (juin) | 1982 (le 6/1) | 1982 (le 8/1) | 1982 (le 13/1) | 1982 (le 3/2) | 1982 (le 17/2) | 1983 mars | |
| Ploumanac'h | | 42 | Station remplacée par station de Brignogan | | | | | | |
| Brignogan | 02 | / | / | / | / | 0 | 0 | -0,3 | |
| Ouessant | 03 | 51 | 51 | | 0 | 2 | -4 | 0,3 | |
| | 13 | 51 | 51 | | 0 | 2 | +8 | 0,3 | |
| Kerdraziou | 04 | 30 | 30 | | 30 | 3 | 4 | 2,3 | |
| Pencran | 05 | 30 | 30 | | 31 | 3 | 2 | 2,9 | |
| Le Toulinguet | 06 | 63 | 63 | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 09 | 63 | 63 | | 0 | 0 | 2 | -5 | |
| Pointe du Raz | 07 | 91,5 | 91,5 | | 2 | 2 | 4 | 3,8 | |
| Penmarc'h | 08 | 56 | 56 | 101 (*) | 103 | 103 | -3 | -3,1 | |
| | 10 | 56 | 56 | 101 | 103 | 103 | 0 | 0 | |
| | 16 | 56 | 56 | 101 | 103 | 103 | 0 | 0 | |
| Lann-Bihoué | 11 | 49 | 49 | 94 (*) | 91 | 91 | 0 | -0,2 | |
| | 15 | 49 | 49 | 94 | 91 | 91 | 0 | -0,2 | |
| Grandchamp | 12 | 52 | 52 | | 52 | 52 | -3 | 0,2 | |
| Belle-Ile | 14 | 73 | 73 | 118 (*) | 115 | 120 | 0 | -3,9 | |
| | 17 | | 73 | 118 | 115 | 120 | -1 | -2,9 | |
| Le Cranou | 18 | / | / | / | / | / | / | 12,2 | |

(*) Les constantes indiquées dans le tableau sont les retards propres des stations désignées par $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{18}$ dans les AH759, l'indice de θ est le numéro du créneau d'émission.

Voir aussi dans les AH759 : le paragraphe 3.2 (équations des lieux de position Syledis), le tableau 2 (géométrie du réseau), l'annexe A (paragraphe A1 à A4).

(*) Ce changement de valeur est dû à la mise en place d'un amplificateur de puissance sans reprise des réglages des constantes de la station.

TABL. 3. — Déroulement de l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne

| Descriptif des opérations | Périodes : | 1 ^{er} semestre 1981 | | 1 ^{er} semestre 1982 | | 1 ^{er} semestre 1983 | |
|---|------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Phases | Triangulation des antennes | Étalonnage optique | au large sur <i>L'Espérance</i> | au large sur <i>l'Astrolabe</i> | à terre en caravane mobile | en mer sur <i>L'Espérance</i> |
| <i>Émetteurs à terre :</i> | | | | | | | |
| Triangulation | | X | | | | | |
| Contrôle des émissions | | | X | X | X | | X |
| Contrôle des lobes d'émission | | | | X | X | | X |
| Emission en version normale | | | X | X | X | X | X |
| Emission en version longue distance | | | | X | | X | X |
| <i>Récepteurs :</i> | | | | | | | |
| MH3 ou MR3 sans calculateur UCM | | | X | X | | | |
| MH3 ou MR3 avec calculateur, en mode « distance » | | | | X | | | |
| MH3 ou MR3 avec calculateur, en mode « x, y » (calcul du point) | | | | X | | | |
| SR3 | | | | X | X | X | X |
| <i>Mesures effectuées :</i> | | | | | | | |
| Situation : à la mer | | | X | X | X | X | X |
| à terre | | | X | | X | | X |
| Filtrage : sévérité n° 3 | | | | X | X | | |
| divers | | | | | | X | X |
| Résultats : en temps différé | | | X | X | X | | |
| en temps réel | | | | | X | X | X |
| <i>Détermination des constantes</i> | | | | | | | |
| ... par étalonnage optique | | | X | | X | | |
| ... par passage sur ligne d'ombre | | | | X | X | | X |
| ... par autocalibration | | | | | | X | |
| <i>Couverture du réseau</i> | | | | | | | |
| Relevé du rapport signal/bruit | | | X | X | X | X | |
| Etude de la limite de portée | | | X | X | X | | X |
| <i>Fidélité</i> | | | | | | | |
| Loi de la dispersion de la mesure de distance | | | | X | X | X | |
| Fidélité du point Syledis | | | | X | | X | X |
| <i>Nature du point de référence...</i> | | | | | | | |
| ... point fixe | | | | | | X | |
| ... balises acoustiques | | | | X | | | |
| ... Toran | | | | X | | | X |
| ... Trident | | | | | | | X |
| ... Syledis | | | | X | | | X |
| <i>Notes : Durée de la mission (en jours)</i> | | | | | | | |
| ... à terre | | 40 | 10 | | 1 | 24 | 3 |
| ... en mer | | | 13 | 28 | 3 | 0 | 9 |

3 jours de relevés en caravane mobile,

2 jours pour l'installation d'antennes Trident de Penmarc'h à Etel.

— 20 jours d'essai et de relevés à Toulbroc'h dans une caravane mobile équipée d'un ensemble Syledis et d'un ensemble de traitement.

On peut admettre que sur les 53 jours d'expérimentation à la mer 9 jours ont été en fait consacrés

à des activités parallèles :

- entraînement sur champ de balises (3 jours)
- levé bathymétrique de ridaux (6 jours).

3.2. Les facteurs expliquant l'importance du temps et des moyens consacrés à l'évaluation sont :

- l'extension du réseau Syledis-Bretagne, composé de onze stations d'émission réparties entre Brignogan et Belle-Ile;
- l'étude des performances au large, jusqu'à la limite de portée, pour deux générations de récepteurs,
- la détermination, à trois reprises (tableau 2), des constantes du réseau, pour répondre à trois demandes particulières.

La première demande, en mai et juin 1981, concernait l'étalonnage d'ensemble du réseau; la seconde, en mars 1982, se rapportait à l'étalonnage au large de Penmarc'h; la troisième, en mars 1983 était destinée à constater l'état du réseau après de nouveaux réglages et la mise en place d'une antenne au Cranou; elle correspondait aussi à une demande d'évaluation de la DCAN de Lorient dans la zone de Gavres.

Le descriptif du déroulement de l'évaluation (opérations menées sur les émetteurs, récepteurs utilisés, mesures effectuées) est résumé au tableau 3.

4. CALENDRIER DE L'ÉVALUATION DU RÉSEAU (tableaux 1 et 3)

4.1. Première phase : géodésie du réseau en 1981 ⁽¹⁾ ⁽³⁾

Les antennes d'émission sont installées en février et mars par des entreprises civiles sous le contrôle de la DCAN de Brest. Les dix stations d'émission sont implantées à Pencran, le Toulinguet, Kerdraziou, la Pointe du Raz, Ploumanac'h, Ouessant, Penmarc'h, Lann-Bihoué, Grandchamp, Belle-Ile (planche 1).

Du 10 février au 12 mai, la mission triangule ces antennes ainsi que 44 points à terre, en vue de l'étalonnage du réseau par visées optiques au théodolite sur un bâtiment à la mer. Onze zones d'étalonnage sont retenues ⁽²⁾ afin de déterminer les valeurs locales des constantes des équations du réseau. Dans chaque zone, 4 stations de visées sont triangulées ou simplement contrôlées compte tenu des déterminations antérieures effectuées par l'IGN ou la mission.

Notes :

⁽¹⁾ Voir aussi AH 759 : planche 1 (antennes du réseau), tableau 2 (coordonnées des antennes).

⁽²⁾ Voir aussi AH 759 : planche 32.

⁽³⁾ Une antenne à Brignogan sera triangulée en octobre 1981 (coordonnées Lambert 2 : X=109370,31 m, Y=429523,33 m, Z=26 m) en remplacement de l'antenne de Ploumanac'h (X=173599,68 m, Y=440987,6 m, Z=78 m) au site trop éloigné des autres antennes.

Une onzième station d'émission sera triangulée au Cranou en juin 1982. Le positionnement de l'antenne sera contrôlé en janvier 1983 pour expliquer les anomalies constatées dans les contrôles de calibration. Une erreur d'identification d'antenne avait été commise.

4.2. Deuxième phase : étalonnage optique et reconnaissance en 1981

4.2.1. L'étalonnage optique du réseau est effectué à faible distance des côtes :

- du 22 au 29 mai par visées sur le dragueur *Jacinthe*,
- du 9 au 12 juin par visées sur l'*Astrolabe*.

Les relevés se font sur le récepteur MH3 en mode hyperbolique, sur le récepteur MR3 en circulaire.

Les résultats de l'étalonnage sont dépouillés à Toulbroc'h à l'aide d'un calculateur de bureau type HP 9835; ils sont homogènes : la constante à adopter pour chaque antenne émettrice ne dépend pas de la zone; les effets de trajets terrestres sur la vitesse de propagation sont négligeables. Cette vitesse a été bien choisie par le constructeur, la Sercel.

4.2.2. Du 12 au 15 juin, l'*Astrolabe* effectue 3 radiales de reconnaissance de la couverture du réseau jusqu'en limite de portée.



1



2



3



4

PL. 1 (première partie). — Quelques antennes d'émission du réseau Syledis-Bretagne.

Photo 1 : les antennes directives de Penmarc'h le long de la tour.

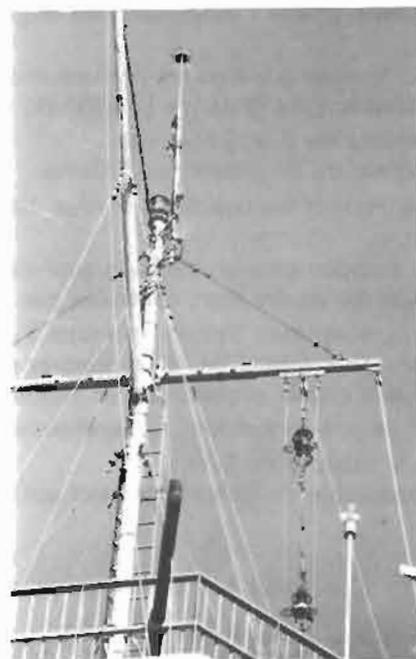
Photo 2 : vue de détail sur les antennes.

Photo 3 : au Cranou; l'antenne Syledis est un petit fouet sur le pylone à droite de la photo.

Photo 4 : vue de détail de l'antenne Syledis (fouet blanc peu visible entre les antennes « Caroline »).



5



6



7



8

PL. 1 (deuxième partie). — Quelques antennes d'émission du réseau Syledis-Bretagne.

Photo 5 : station de la Pointe du Raz; l'antenne Syledis est le long du support au haut de la mâture.

Photo 6 : idem; vue de détail.

Photo 7 : à Belle-Ile, au sémaphore,

en haut du pylône à gauche, l'antenne fouet omnidirectionnelle émet dans le créneau 14; le long du pylône remarquer les jeux d'antennes directives qui émettent dans le créneau 17

Photo 8 : au Toulinguet,

en haut du pylône l'antenne fouet omnidirectionnelle émet dans le créneau 6; le long du pylône les antennes directives émettent dans le créneau 9.

4.3. Troisième phase : évaluation au large du réseau (en 1982)

4.3.1. Pour évaluer au large les performances du réseau en version normale (puissance d'émission : 10 W) et en version longue distance (P=250 W) deux sorties à la mer sont effectuées à bord de *L'Espérance* :

- la première du 5 au 22 janvier,
- la seconde du 27 janvier au 7 février.

Le calendrier de ces deux sorties, tableau 4, indique les événements essentiels.

4.3.2. Les équipements embarqués sont particulièrement importants à partir du 13 janvier. Leur montage et leur mise en œuvre sont contrôlés par un ingénieur de la Sercel, présent à bord pendant trois jours.

Les équipements Syledis (planche 2) se composent d'un récepteur MR3, d'un récepteur MH3 avec leurs unités de calcul UCM, d'un premier récepteur SR3 pour l'évaluation du réseau, d'un deuxième SR3 réservé à des essais probatoires en mode circulaire étudiés par le constructeur.

Pour le positionnement, *L'Espérance* dispose également :

- de deux récepteurs Toran,
- d'un ensemble de positionnement sur champ de balises acoustiques.

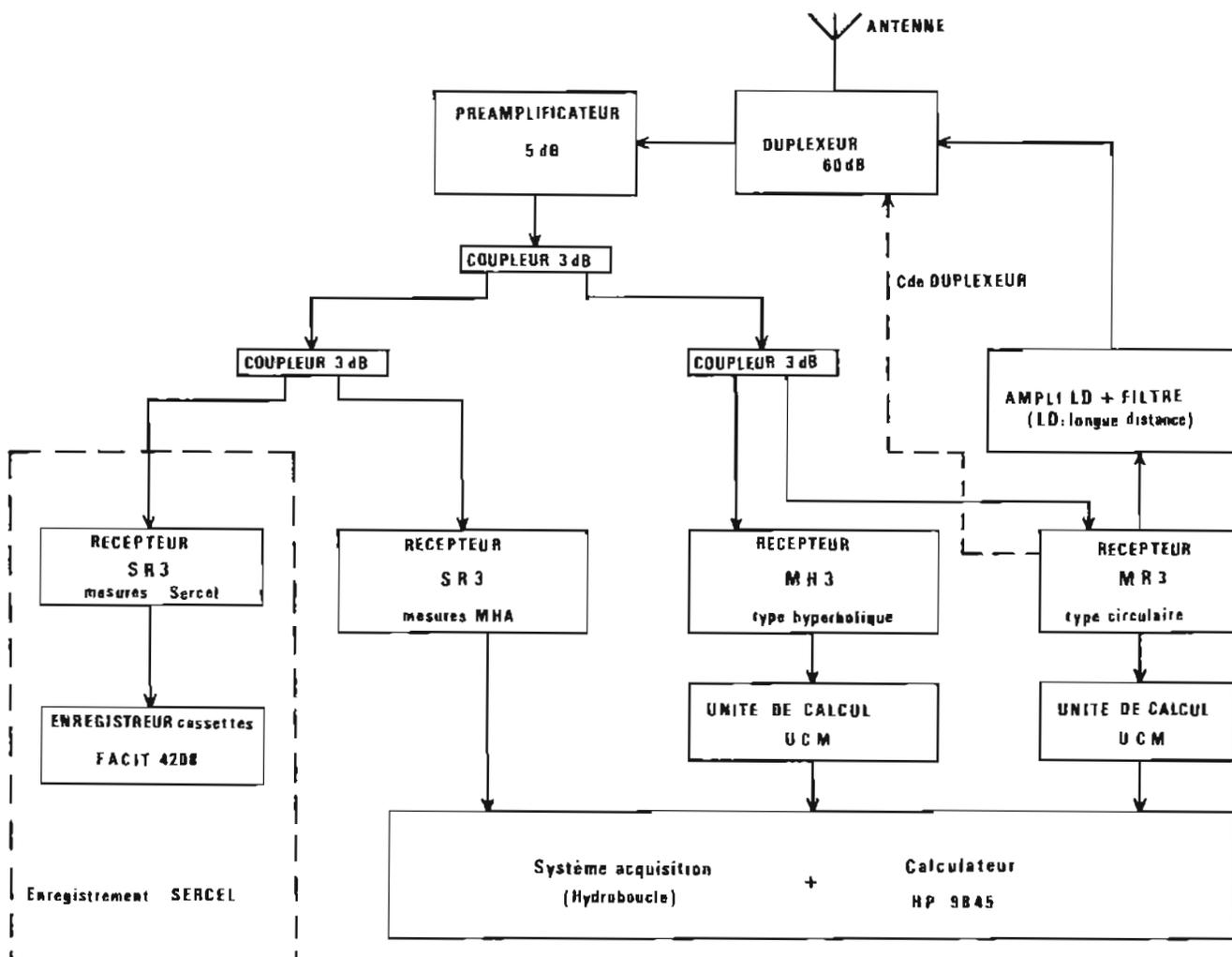
TABL. 4. — Chronologie de la sortie du 5 au 22 janvier 1982 à bord de *L'Espérance*

1. — Sortie du 5 au 22 janvier

| Date | Evénements |
|------------------|---|
| 5 janvier | Etalonnage du récepteur SR3 de la 2 ^e Région; il ne fonctionne pas. |
| 6 janvier | Etalonnage optique de vérification à la sortie du Goulet de Brest; mise en place d'un amplificateur de puissance à bord de <i>L'Espérance</i> . |
| 7 janvier | Essais du système de balises acoustiques sous le contrôle d'un ingénieur d'Océano-Instruments; dépannage du récepteur SR3 par la DCAN; modification des retards des balises de Belle-Ile, Lann-Bihoué, Penmarc'h, et mise en place des amplificateurs de puissance. |
| 8 janvier | Appareillage de <i>L'Espérance</i> à 13 h 30 de Brest pour le mouillage d'un champ de balises en L=46°40'N; G=5°10'W; fond : 1100 m environ. |
| 9 janvier | Navigation sur le champ pour essais. |
| 10 janvier | Franchissement des lignes d'ombre. |
| 11 janvier | Annulation du retard de la balise d'Ouessant; réseau Syledis circulaire de Lorient en panne; mise en place d'un amplificateur de puissance à Ouessant. |
| 12 janvier | Franchissement des lignes d'ombre de Lorient à Ouessant; mer forte. |
| 13 janvier | Arrivée de <i>L'Espérance</i> à Lorient à 10 h; installation d'équipements complémentaires par la Sercel (préamplificateur, SR3 mode circulaire, duplexeur); vérification des récepteurs; contrôle de l'hydroboucle par l'EPSHOM. |
| 14 janvier | Appareillage à 8 h 00; brouillard épais; intervention de la DCAN sur l'émetteur du Raz en panne; essais du système de balises acoustiques; l'hydrophone de coque a une portée pratique de 6 000 m; retour à Brest de <i>L'Espérance</i> à 22 h 30. |
| 15 janvier | Appareillage à 16 h 00; passage des lignes d'ombre; annulation des retards des stations de Kerdraziou, de Pencran, du Raz. |
| 16 et 17 janvier | Sondage de la zone des rides n° 2. |
| 18 janvier | Fin du sondage; transit vers la zone n° 3; stations de Penmarc'h en dépannage. |
| 19 janvier | Sur champ de balises; retour vers Brest. |

2. Sortie du 27 janvier au 7 février

| | |
|-------------------------|---|
| 27 janvier | Appareillage de Brest à 14 h 00. |
| 28 janvier | Sur le champ de balises en L=46°40'N; G=5°10'W; relevage des 4 balises; mouillage en soirée d'une balise par 3 600 m de fond (portée atteinte : 7 400 m). |
| 29 janvier | Relevage de la balise; en route vers la zone de sondage n° 3; mouillage d'un marégraphe et de 4 balises. |
| 30 et 31 janvier | Sondage de la zone n° 3. |
| 1 ^{er} février | Fin du sondage; relevage des balises et du marégraphe. |
| 2 février | Sondage de la zone n° 1. |
| 4 février | Fin du sondage; passage sur les lignes d'ombres de Brignogan. |
| 5 et 6 février | Navigation en limite de portée; mouillage d'une balise pour essais de portée. |
| 7 février | Retour à Brest. |



PL. 2. — Equipements Syledis embarqués en janvier et février 1982 sur *L'Espérance*.

Enfin, l'ensemble de traitement Hydrac permet d'analyser ces mesures essentiellement en temps différé; quelques traitements simples en temps réel (visualisation de distances...) sont possibles.

Le traitement complet des fichiers est reporté à l'hiver 1982 en raison des autres travaux de la mission. Cependant les premiers résultats sont adoptés en février et en mai 1982.

En février sont ainsi diffusées les constantes de calibration établies par la méthode de franchissement des lignes d'ombres ⁽¹⁾.

En mai 1982, sont ensuite diffusées :

- les caractéristiques relatives à la couverture radioélectrique du Syledis ⁽²⁾.
- les courbes de fidélité du point Syledis calculées dans une hypothèse optimale et dans une hypothèse défavorable (planche 3) selon la loi adoptée pour la dégradation de la mesure Syledis en fonction de la distance ⁽³⁾.

Les écarts types circulaires, les ellipses d'incertitude, les courbes relatives à la fidélité sont calculés d'après les formules d'une note technique écrite en 1974 par M. Comolet-Tirman. Les formules de base sont rappelées dans les *Annales Hydrographiques* 759 (en annexe A, au paragraphe 6).

Afin de disposer à la mer de courbes permettant d'apprécier rapidement l'ordre de grandeur de la précision du positionnement à attendre selon la situation du mobile par rapport aux émetteurs, les formules de base ont été appliquées à des cas simples (positionnement à l'aide de 2 ou 3 balises en mode circulaire et en mode hyperbolique) avec des hypothèses simplificatrices (écart type de la mesure de distance constant). Les formules établies sont rappelées dans l'appendice à ce chapitre.

⁽¹⁾ AH759 : annexe A, paragraphe 7

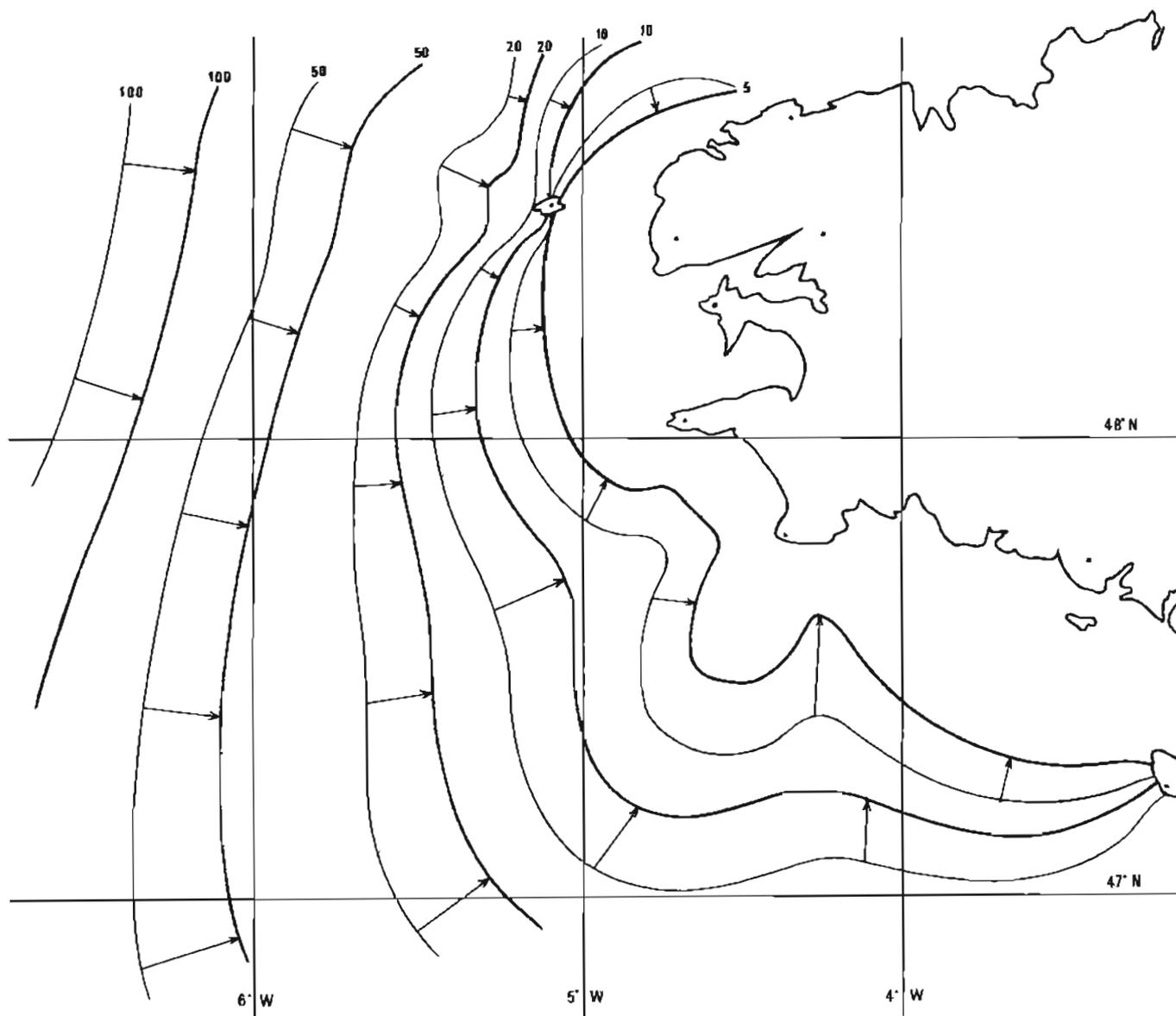
⁽²⁾ AH759 : paragraphes 7, 8, 9.

⁽³⁾ AH759 : planche 16.

En avril 1983, après dépouillement des mesures sur champ de balises, l'hypothèse optimale pour la dispersion de la mesure de distance Syledis ($\sigma_m = 0,5 + 2 \times 10^{-5} D_m$) sera retenue pour l'utilisateur muni du SR3. Celui-ci disposant d'un MH3 et d'un MR3 ne bénéficie pas des mêmes performances : il faut leur appliquer un coefficient empirique de dégradation voisin de 2 au-delà de l'horizon.

4.3.3. Au cours de la première sortie, du 5 au 22 janvier, le réseau subit plusieurs modifications auxquelles se consacrent avec ténacité les électroniciens de la Sercel et de la DCAN :

- la station de Penmarc'h est souvent défaillante, ce qui interrompt le fonctionnement des stations plus au Sud (Lann-Bihoué, Grandchamp, Belle-Ile);
- la liaison de synchronisation entre Penmarc'h et Belle-Ile s'avère trop longue pour une bonne stabilité des mesures à partir de Belle-Ile; il faut la modifier en intercalant dans le réseau la station de Lann-Bihoué;
- des amplificateurs de puissance sont installés successivement à Ouessant, Penmarc'h, Lann-Bihoué, Belle-Ile.



PL. 3. — Tracé des courbes d'écart type circulaire constant ($\sigma_c = 5, 10, 20, 50, 100$ m) pour un positionnement en mode hyperbolique selon la valeur adoptée pour la dispersion des mesures de distances.

| Hypothèse | Valeur de l'écart type des mesures de distances | |
|-----------------|---|---|
| « Optimale » | $\sigma_c = 0,5 + 2 \times 10^{-5} D_m$ | (Voir AH 759 planche 16) |
| « Défavorable » | $\sigma_c = 0,5 + 2,75 \times 10^{-5} D_m$ | |
| Convention | | <i>courbe en trait fin</i> : hypothèse défavorable <i>courbe en trait épais</i> : hypothèse optimale |

Ces interventions ne sont pas sans modifier les constantes de calibration. Il faut en tenir la situation en fonction des réglages de la DCAN et de nos contrôles sur les lignes d'ombre (tableau 2). L'expérience de ces relevés montrera peu à peu que, la constante (R) d'une antenne d'émission peut être déterminée couramment à ± 2 m; une erreur de 4 m est exceptionnelle.

4.3.4. Au large (planche 4), de nombreux fichiers de mesures sont enregistrés dans différentes configurations des récepteurs (tableau 3). Leur étude se heurtera à quelques difficultés :

- il faut identifier et éliminer les périodes de mauvais fonctionnement des émetteurs;
- il faut réécrire sur support magnétique les données du système « balises acoustiques »; en effet l'enregistrement magnétique s'est révélé inexploitable et il faut analyser les données à partir de leur enregistrement sur imprimante.

Toutes les mesures n'ont pas été acquises sur champs de balises; l'intérêt de ceux-ci était aussi de montrer que l'étude du Syledis pouvait être menée en relatif par rapport au Toran après en avoir vérifié les performances : la fidélité des phases du réseau Toran Sud-Bretagne est très bonne au large; l'écart type de leurs fluctuations est de un centième dans les périodes favorables, c'est-à-dire de jour.

Notes :

- (¹) AH 759 : annexe A, paragraphe 7.
- (²) AH 759 : paragraphes 7, 8, 9.
- (³) AH 759 : planche 16.

4.4. Quatrième phase : contrôles du réseau

4.4.1. Un étalonnage optique à l'Ouest de Penmarc'h au profit du Centre d'Essais de Bretagne permet au cours d'une sortie de la mer de l'*Astrolabe* du 16 au 19 mars 1982 :

- l'étude appliquée au Syledis des méthodes d'étalonnage,
- le contrôle de cohérence des mesures des distances du mobile aux antennes d'une même station (tableau 5).

TABL. 5. — Antennes installées dans une même station Syledis désignées par le numéro de leur créneau d'émission

| Stations | Numéros des créneaux | Stations | Numéros des créneaux |
|------------|----------------------|-------------|----------------------|
| Ouessant | 3, 13 | Penmarc'h | 8, 10, 16 |
| Toulinguet | 6, 9 | Lann-Bihoué | 11, 15 |
| | | Belle-Ile | 14, 17 |

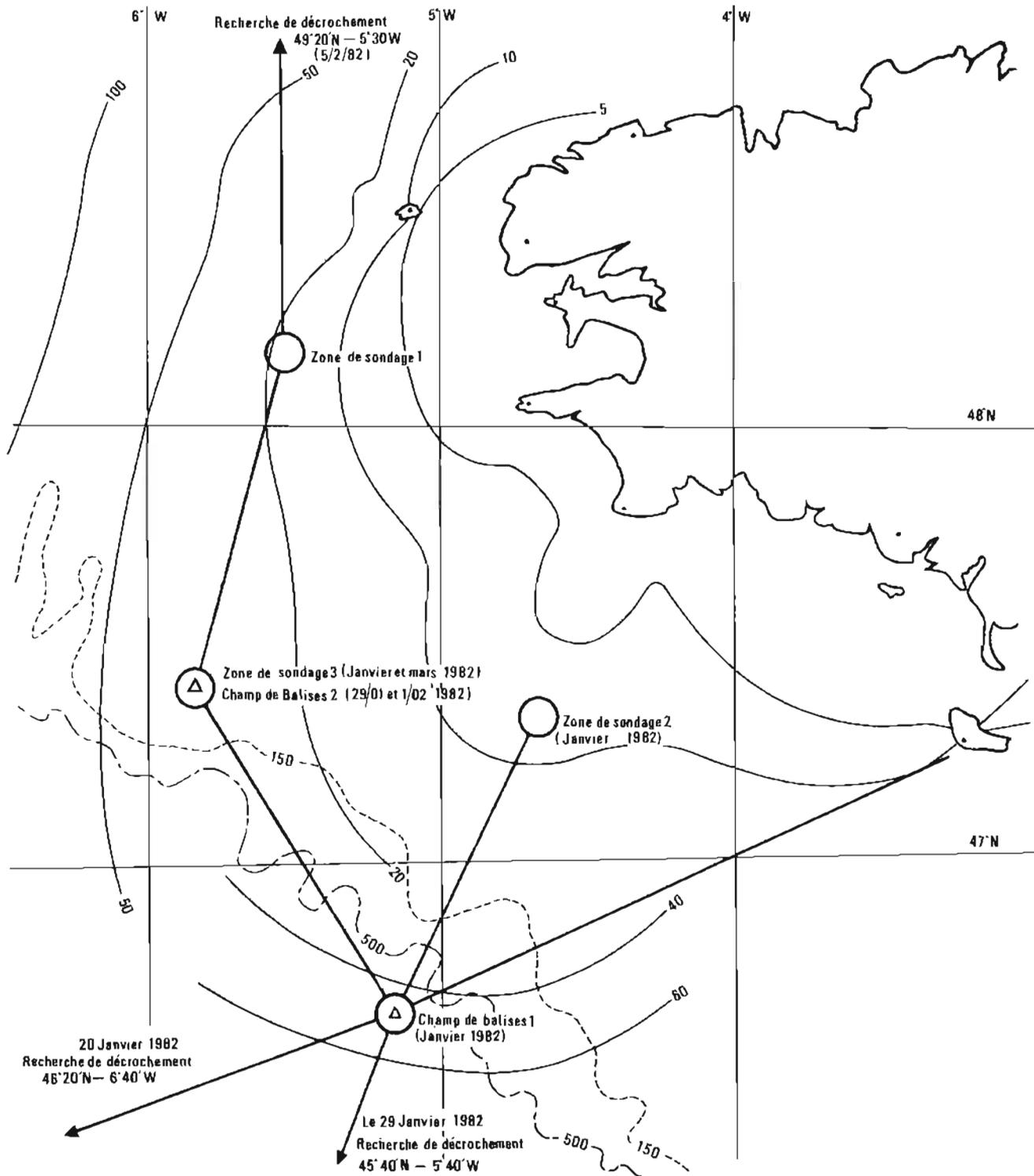
4.4.2. Etalonnage optique au large de Penmarc'h (planche 5)

Des stations de visée sont disposées aux lieux-dits Ruvein, La Palue, la Torche, Eckmühl. La zone à contrôler n'est autre que la zone n° 7 de l'étalonnage d'ensemble du réseau effectué en mai et juin 1981 (¹). Il est vérifié que cette zone ne présente aucun caractère particulier et que les constantes d'ensemble sont applicables.

Le tableau 6 indique les retards (θ) adoptés pour les antennes après étalonnage optique et passages sur les lignes d'ombre.

TABL. 6. — Retards (θ) des stations Syledis observées près de Penmarc'h (valeurs en mètres)

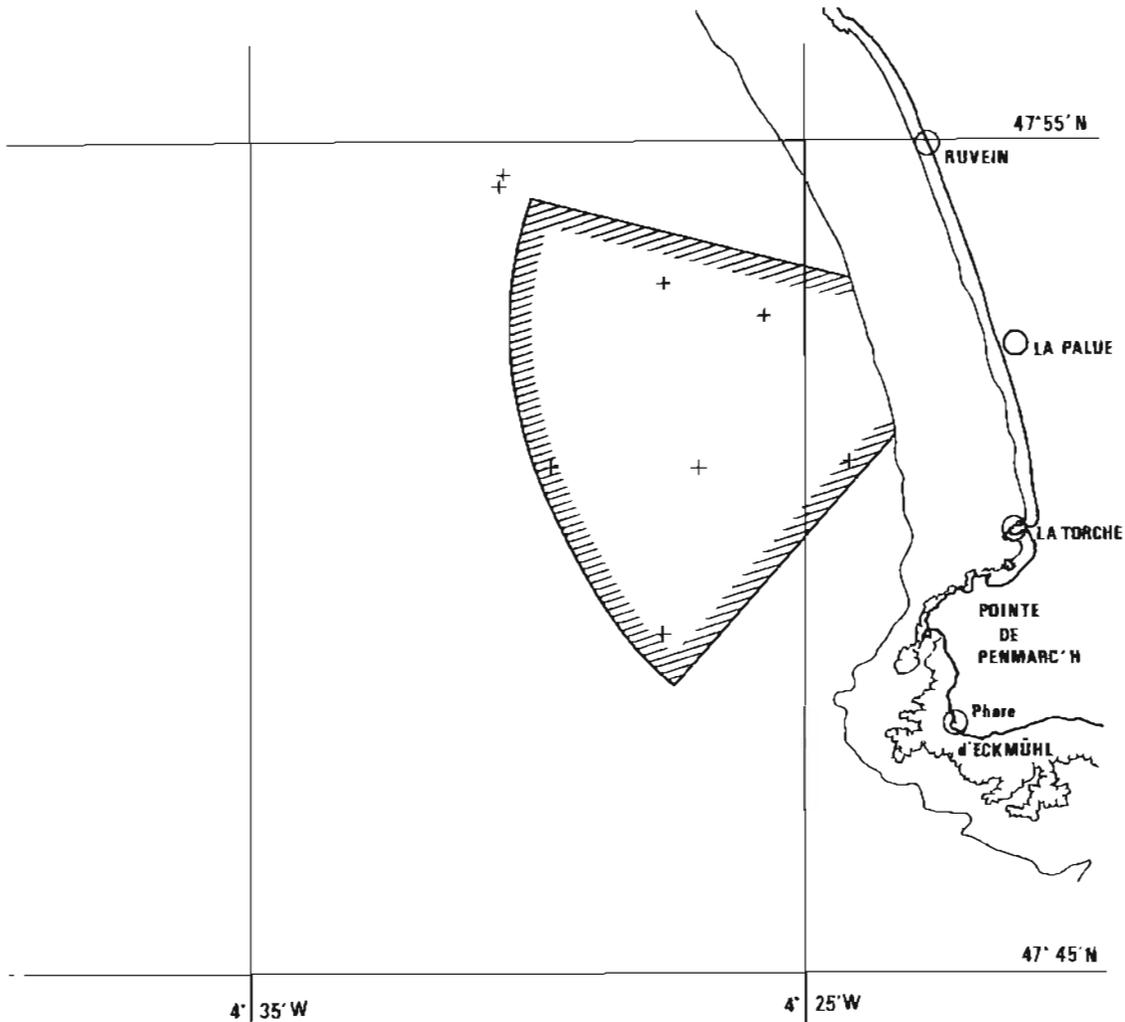
| Stations | Numéro du créneau d'émission | Retard déterminé par | | Retard adopté (en mètres) |
|------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | Etalonnage optique | Passages sur lignes d'ombre | |
| Ouessant | 03 | -1,9 | -4 | -4 |
| Kerdraziou | 04 | 5,2 | 4 | 4 |
| Pencran | 05 | 1,7 | 2 | 2 |
| Toulinguet | 06 | 0 | 0 | 0 |
| Le Raz | 07 | 4,3 | 4 | 4 |
| Penmarc'h | 08 | -5,9 | -2,5 | -3 |



PL. 4. — Zones principales et routes privilégiées de l'évaluation au large du réseau Syledis-Bretagne à bord du BH1 *L'Espérance* (janvier, février 1982)

La bonne correspondance des résultats ainsi obtenus montre qu'une opération contraignante comme un étalonnage optique peut être une opération rare, voire unique pour assurer le suivi des constantes de calibration d'un réseau. Ce suivi sera assuré à toute époque en comparant les mesures obtenues sur les lignes d'ombre et sur des points géodésiques dégagés avec celles recueillies à titre de mesures de référence sur ces mêmes lignes d'ombre, sur ces mêmes points géodésiques pendant l'étalonnage optique du réseau.

Enfin, pour la qualité des résultats d'un étalonnage optique, il faut mener une telle opération dans des zones dégagées, peu éloignées des émetteurs pour que la dispersion des mesures ne nuise pas à la qualité des relevés instantanés au moment des « tops » ordonnant les visées optiques; pour s'assurer de la qualité des relevés du système à étalonner il est souhaitable d'acquérir les mesures à grande cadence pour en vérifier la continuité.



PL. 5. — Zone de l'étalonnage optique au large de Penmarc'h le 17 mars 1982 à bord de l'*Astrolabe*.

Légende : les stations de visée au théodolite étaient implantées à

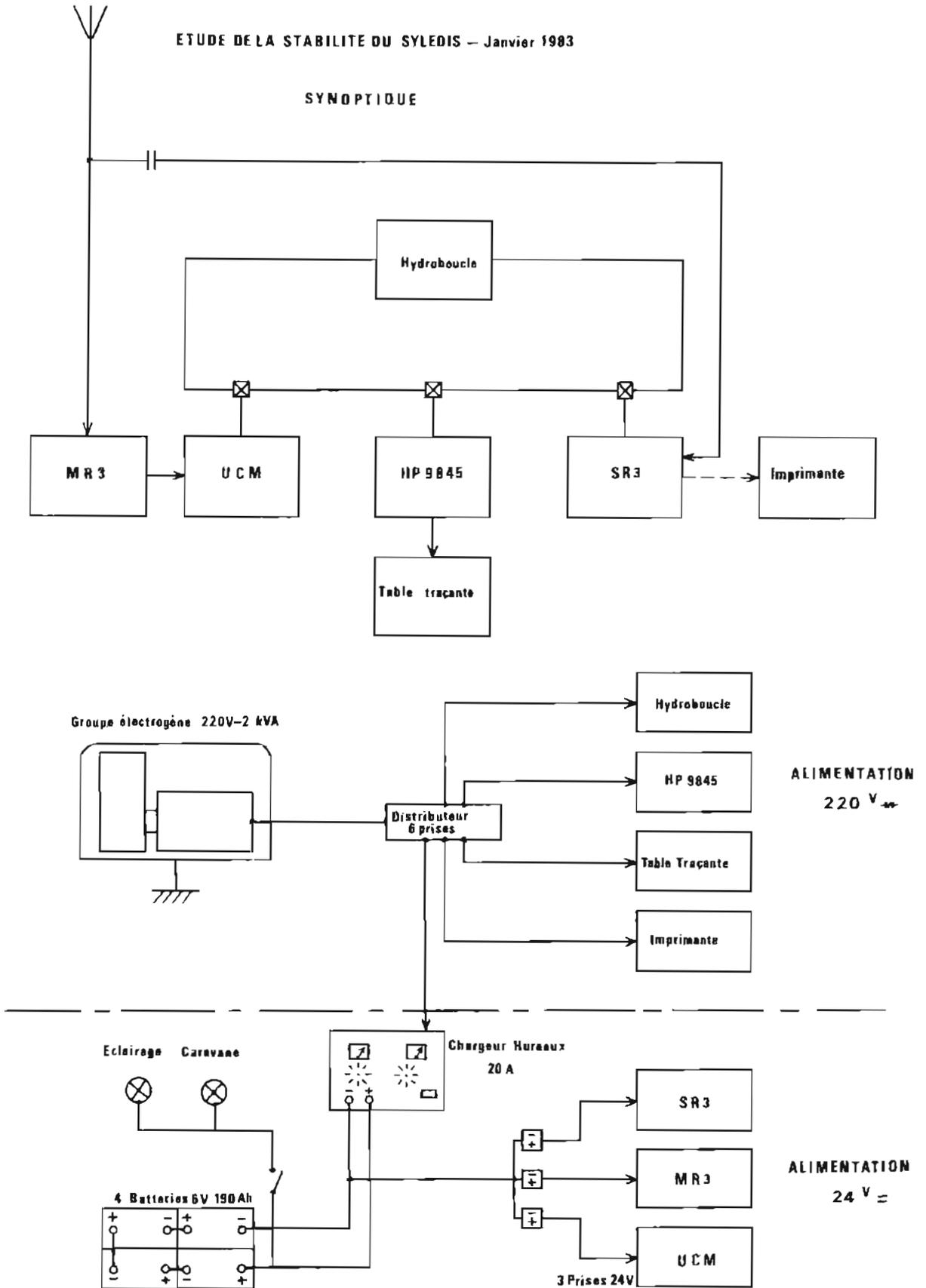
- Ruvein ($X_s = 98874,49$ m, $Y_s = 345225,27$ m)
- La Palue ($X_s = 100151,46$ m, $Y_s = 340760,33$ m)
- La Torche ($X_s = 99780,65$ m, $Y_s = 336604,67$ m)
- Eckmühl ($X_s = 97960,66$ m, $Y_s = 332419,98$ m)

Coordonnées des stations en projection Lambert 2 dans le système de la Nouvelle Triangulation de la France.

4.4.3. Contrôle de cohérence des mesures Syledis

Avant de dépouiller les mesures enregistrées en janvier et février sur *L'Espérance*, leur cohérence est vérifiée pour éviter toute étude inutile. On sait que le SR3 se prête à de tels contrôles préliminaires : pour chaque mesure de distance il donne le niveau de réception (par le rapport signal sur bruit), la qualité de la mesure (par le facteur de qualité assimilable à une dispersion); de plus, si on dispose d'un système de traitement, en faisant la différence des pseudo-distances du mobile aux antennes émettrices d'une

SYNOPTIQUE



PL. 6. — Equipements utilisés dans une caravane mobile en janvier 1983 pour l'évaluation à terre en temps réel du réseau Syledis-Bretagne.

Schéma du haut : Les appareils Syledis et le système de traitement

Schéma du bas : Les alimentations en 220 volts alternatifs et en 24 volts continus.

même station on met rapidement en évidence une anomalie de calibration puisque ces deux pseudo-distances devraient être égales, à la dispersion des mesures près.

Une anomalie de calibration est ainsi détectée à Ouessant : les constantes des antennes émettant dans les créneaux 3 et 13 diffèrent de 12 m ($\theta_3 - \theta_{13} = -12$ m) dans le lobe principal; cet écart évolue lentement en fonction du gisement ⁽²⁾.

Des écarts moins importants, sont mesurés pour les autres antennes (au Toulinguet : $\theta_6 - \theta_9 = -2,5$ m; à Belle-Ile : $\theta_{14} - \theta_{17} = 1$ m) les antennes de Penmarc'h sont bien réglées ($\theta_8 = \theta_{10} = \theta_{16}$) malgré les fluctuations momentanées dues à la grosse tour qui les supportent; l'écart entre les constantes des antennes de Lann-Bihoué ne peut être apprécié; les émissions dans le créneau 11 étant médiocres (rapport signal/bruit trop faible de 20 dB).

Notes :

⁽¹⁾ AH 759 : planche 32 et tableau 5.

⁽²⁾ AH 759 : planche 39.

4.5. Cinquième phase : évaluation du réseau Syledis à terre en temps réel (1983)

4.5.1. L'étude de l'étalonnage optique effectué en 1981 avait montré l'absence d'influence des trajets terrestres sur les mesures Syledis; dès lors il était commode d'étudier à terre en des points dégagés, le comportement du système.

4.5.2. Mesures à Toulbroc'h

En janvier 1983, une des caravanes de la MHA est équipée de récepteurs SR3, MH3, UCM, de Hydrac et d'un groupe d'alimentation (planche 6).

La caravane en station à Toulbroc'h permet de nombreux essais : mise au point des programmes, vérification de stabilité, essais d'antennes, étude du filtrage, validité des paramètres de contrôle du point (DRMS, EMLP) ⁽¹⁾, étude du procédé d'autocalibration ⁽²⁾.

4.5.3. Mesures en Bretagne

Du 18 au 21 janvier, ces mesures sont reprises en une quinzaine de points géodésiques répartis sur la côte Nord de Bretagne et sur la côte Sud, sans oublier les sommets (Saint-Michel de Braspart, Menez Hom).

Les résultats obtenus sont :

- une meilleure connaissance de l'influence du filtrage sur la dispersion du point,
- l'évaluation de la fonction « autocalibration » du SR3,
- un contrôle du réseau (contrôle de la géométrie, détection des masquages).

Le filtrage

On vérifie que les enveloppes des nuages de points Syledis obtenus au point fixe avec une sévérité de filtrage égale à 3 correspondent bien à la dispersion prévue par le modèle de calcul adopté.

A terre, pour une sévérité de filtrage plus faible, la taille des nuages est plus grande; pour une sévérité plus forte elle est plus petite. Ce résultat peut être vérifié planche 7, à l'occasion des observations faites à Gavres sur un point géodésique.

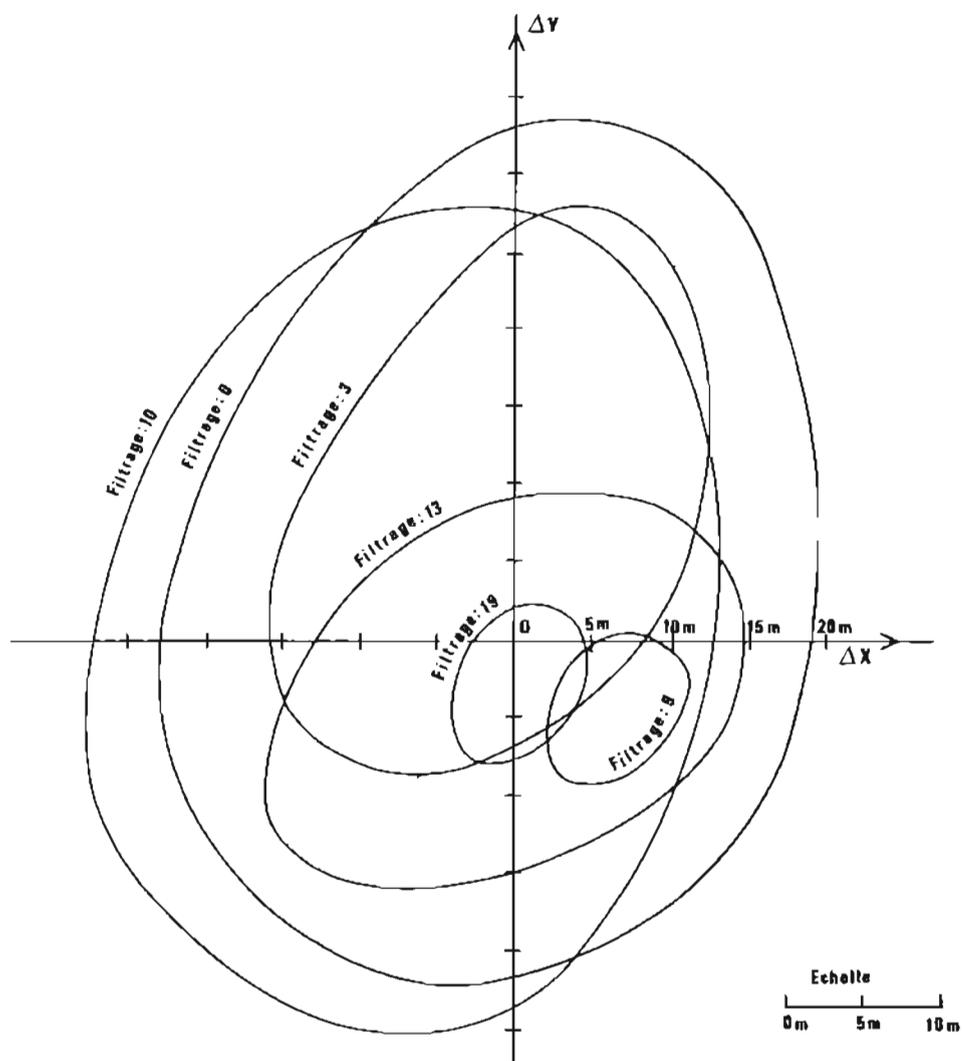
L'autocalibration

L'intérêt du procédé d'autocalibration est confirmé ⁽³⁾; cependant on note quelques relevés anormaux, ce qui ne permet pas de recourir au procédé sans reconnaissance initiale de la qualité des stations d'observation.

Au cours des mesures à terre (et aussi en mer) des précautions doivent être prises pour la validité des résultats : il faut que l'antenne du récepteur soit suffisamment haute; on pourra admettre qu'une antenne doit être à une hauteur du sol égale à 10 fois la longueur d'onde, soit 7 mètres dans le cas du Syledis. En fait, l'antenne sera suffisamment haute lorsque la stabilité des relevés sera obtenue.

Contrôle de la géométrie du réseau

Les mesures d'autocalibration effectuées en divers points géodésiques de Bretagne montrent peu à peu qu'une erreur de position pour l'antenne du Cranou est à craindre; après de nouvelles visées au théodolite, il apparaît que l'opérateur de la triangulation initiale s'était trompé d'antenne provoquant ainsi une erreur de position voisine de 20 m.



PL. 7. — Influence du filtrage sur la dispersion du point Syledis. Mesures au point fixe, à Gavres le 19 janvier 1983.

Commentaires :

En comparant la taille et la position des cibles de points Syledis (seules leurs enveloppes ont été représentées), on déduit :

- l'influence des sévérités croissantes de filtrage (0, 3, 9) est comparable à celle des sévérités de filtrage (10, 13, 19);
- la dispersion du point diminue quand la sévérité augmente; le filtrage n'introduit pas de biais importants.

Dans le tableau des caractéristiques des cibles ci-dessous, noter :

- la stabilité du paramètre EMLP,
- celle des coordonnées du centre des cibles,
- la variation du DRMS en fonction du filtrage.

| Filtrage | Coordonnées Lambert 2 du centre des cibles | | DRMS | EMLP |
|----------|---|--------|------|------|
| | XG (m) | YG (m) | | |
| 0 | 172900 | 314676 | 8 | 16 |
| 10 | 172899 | 314675 | 12 | 15 |
| 3 | 172902 | 314681 | 6 | 16 |
| 13 | 172902 | 314676 | 6 | 18 |
| 9 | 172904 | 314672 | 2 | 19 |
| 19 | 172901 | 314675 | 3 | 16 |

Masquage

Il est constaté que le relief de la Bretagne ne perturbe pas les mesures; aucune station n'est masquée par les sommets les plus élevés; il faut cependant que l'observateur soit éloigné des obstacles proches. Ceux-ci peuvent perturber les relevés, qu'ils soient situés près de l'observateur ou des antennes d'émission; des biais de 80 m ont été ainsi observés pour les antennes de Penmarc'h⁽⁴⁾.

Pour contrôler l'absence de masquage dans un réseau fonctionnant en mode circulaire et en mode hyperbolique on sait par ailleurs qu'il est possible de s'affranchir de relevés sur des points géodésiques. Entre des relevés dans les deux modes existe la relation, valable en tout point :

$$2 H_{AB} + C_A - C_B = \text{constante}^{(5)}.$$

Si la relation n'est pas respectée, un masquage est à rechercher.

Notes :

⁽¹⁾ AH759 : annexe B.

⁽²⁾ AH759 : annexe A, paragraphe 9.

⁽³⁾ AH759 : annexe A, paragraphes 9 et 10.

⁽⁴⁾ AH759 : annexe A, paragraphes 8 et 10.

⁽⁵⁾ AH759 : annexe A, paragraphe 8.

4.6. Sixième phase : contrôle à la mer des performances du réseau (10 au 20 mars 1983)

4.6.1. Opérations

Les performances du réseau sont contrôlées à bord de *L'Espérance* :

- au cours de transits en Iroise du 10 au 12 mars et du 14 au 20 mars 1983.
- au cours de deux mouillages, les 17 et 18 mars entre Groix et Lorient, effectués pour comparer dans la zone de Gavres les qualités respectives des systèmes de positionnement disponibles : le Toran Sud-Bretagne, le Syledis en mode circulaire et en mode hyperbolique, enfin une chaîne Trident implantée localement (planche 8) par l'EPSHOM en vue d'une démonstration à bord du chasseur *Eridan*; la couverture du Trident est étendue jusqu'à Penmarc'h par des balises de la MHA.

4.6.2. Les programmes de traitement mis en œuvre

Les programmes de traitement mis au point permettent à bord les calculs des points de tous les systèmes, les calculs de fidélité, y compris les tracés des ellipses d'incertitude. Il est possible de visualiser sur l'écran d'une HP 9845 ou sur une table traçante associée :

- les mesures digitalisées des appareils (distances, pseudo-distances, positions, paramètres de qualité...),
- les cibles des écarts des positions calculées par deux récepteurs,
- les routes sur le fond suivies d'après ces deux récepteurs; pour tenir compte des écarts de calibration, il est possible de décaler une route d'une valeur $(\Delta x, \Delta y)$ arbitraire.

4.6.3. Les résultats obtenus

Le traitement en temps réel des mesures permet, compte tenu de l'expérience du réseau acquise depuis 1981, d'adopter rapidement les derniers résultats à confirmer :

- capacité de filtrage des récepteurs Syledis à la mer,
- valeurs des constantes de calibration et stabilité,
- comparaison du Syledis au Toran et au Trident.

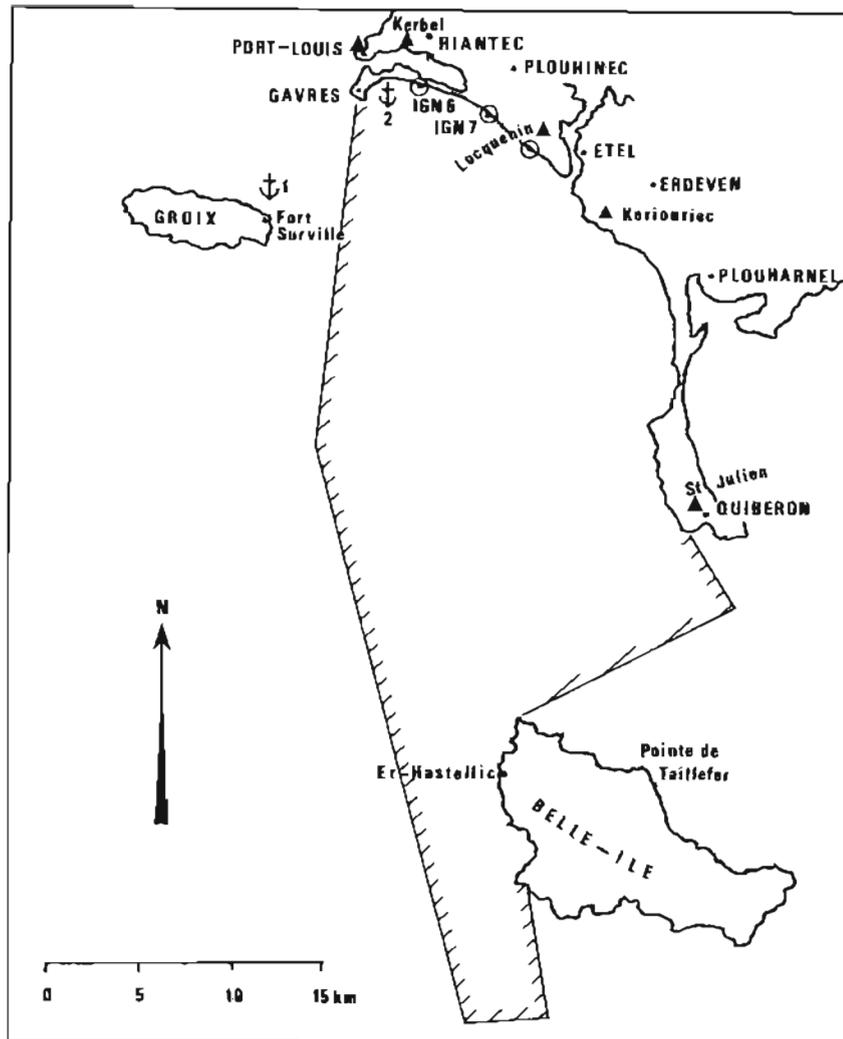
Le filtrage

L'influence de la sévérité du filtrage est analysée au cours de routes rectilignes⁽¹⁾ et au cours de girations⁽²⁾ en comparant les trajectoires du point Syledis de deux récepteurs SR3 initialisés différemment par exemple par la sévérité du filtrage ou par les émetteurs retenus pour le calcul du point; on a aussi comparé la route donnée par le suivi du point Syledis à celle donnée par le point Toran ou le point Trident.

Si à terre l'action correcte et progressive d'un filtrage de plus en plus sévère a été constatée (en le modifiant de 0 à 9, ou de 10 à 19), par contre à la mer il ne s'avère pas judicieux d'adopter un filtrage différent de 3; pour une valeur de filtrage supérieure à 6, le décrochement du point Syledis est définitif au cours de girations⁽³⁾.

Valeurs des constantes de calibration (ou retards propres) des émetteurs

Les valeurs des constantes de calibration des émetteurs sont adoptées en coupant les lignes d'ombre; elles sont mentionnées dans le tableau 2, au paragraphe 3. Les retards propres des émetteurs



PL. 8. — Situation des stations de visée et des antennes Trident pour l'évaluation des moyens de radiolocalisation sur le polygone d'essais de Gavres.

Légende :

- Limite de la zone d'essais
- ▲ Antenne Trident
- Station de théodolite
- ⚓₁ Mouillage de *L'Espérance* le 17.03.83
- ⚓₂ Mouillage de *L'Espérance* le 18.03.83

Coordonnées des stations de visée et des antennes Trident
(en projection Lambert 2)

| Nom | Nature | X (m) | Y (m) | k (m) |
|--------------|---------|-----------|-----------|-------|
| Saint-Julien | Trident | 188671,8 | 291574,6 | 43 |
| Moelan | Trident | 153706,34 | 329902,92 | 97 |
| Beg Meil | Trident | 128088,06 | 336192,04 | 10,7 |
| Eckmühl | Trident | 97958,30 | 332414,0 | 59,5 |
| Port-Louis | Trident | 172521,76 | 316787,68 | 18,4 |
| Kerbel | Trident | 174564,86 | 316384,66 | 34 |
| Keriourec | Trident | 185583,78 | 306304,37 | 32 |
| Locquenin | Trident | 102528,20 | 311558,1 | 45,5 |
| IGN 6 | Optique | 176734,11 | 314277,22 | |
| IGN 7 | Optique | 180105,68 | 311964,42 | |
| P 9 | Optique | 181592,7 | 310541,78 | |
| Etel | Optique | 183314,64 | 308672,95 | |

ont été réglés par la DCAN de Brest pour être nuls; ce but est atteint à mieux de 4 mètres, sauf au Cranou, faute de calibration antérieure.

Cohérence des constantes de calibration des antennes d'émission d'une même station Syledis à terre

En enregistrant les différences des pseudo-distances entre le mobile et les antennes d'une même station les constatations suivantes ont été faites.

— *Antennes du Toulinguet (émissions dans les créneaux 6 et 9)*

Les constantes de l'antenne émettant dans le créneau 6 et de celle émettant dans le créneau 9 sont :

$$\theta_6 = 0 \text{ m}, \quad \theta_9 = -5 \text{ m}$$

Si on tient compte de ces valeurs dans l'initialisation des récepteurs pour le calcul du point, l'usage simultané des deux antennes n'a pas d'inconvénient ⁽⁴⁾.

— *Antennes d'Ouessant (émissions dans les créneaux 3 et 13)*

A Ouessant ⁽⁵⁾, dans le secteur d'utilisation normale de l'antenne directive (émission dans le créneau 13), les constantes des antennes sont les mêmes :

$$\theta_3 = \theta_{13} = 0,3 \text{ m.}$$

En dehors de ce secteur des écarts variant régulièrement de +3 m à -5 m sont enregistrés; mais la variation importante de calibration observée en 1982 (plus de 15 m) au Sud de Ouessant ⁽⁶⁾ a disparu.

— *Antennes de Penmarc'h (émissions dans les créneaux 8, 10, 16) (planche 9)*

A Penmarc'h ⁽⁷⁾ l'observation simultanée de deux antennes émettant dans des secteurs successifs est sans inconvénients :

on note : $\theta_8 = \theta_{10} = \theta_{16} = -3,1 \text{ m.}$

Cependant on enregistre de temps à autre des fluctuations de la mesure de distance à Penmarc'h, fluctuations pouvant dépasser 100 mètres. Elles sont en général sans conséquence sur le calcul du point du SR3 qui rejette un lieu de position quand il est trop discordant avec les autres ⁽¹⁰⁾.

— *Antennes de Lann-Bihoué (émissions dans les créneaux 11 et 15)*

A Lann-Bihoué ⁽⁸⁾, chaque antenne doit être observée dans son secteur particulier; des écarts de +6 m à -15 m sont possibles entre les deux pseudo-distances si on les observe simultanément.

— *Antennes de Belle-Ile (émissions dans les créneaux 14 et 17)*

L'observation simultanée des deux antennes de Belle-Ile ⁽⁹⁾ est licite.

Etude du Toran rapportée au Syledis (et au Trident)

On sait que le Toran est un système très fidèle de jour; cette fidélité a été vérifiée en 1982 sur deux champs de balises. La dispersion d'un lieu Toran a un écart type voisin de un centième de tour; la loi de dispersion, fonction d'une phase et non d'une distance, explique qu'au large le point Toran peut être plus fidèle que le Syledis.

La comparaison du Toran au Syledis et au Trident a été effectuée dans deux situations :

- en navigation dans l'ensemble de la zone,
- en mouillage forain devant Gavres.

Première situation : navigation dans l'ensemble de la zone : calibration du Toran

Les corrections à apporter aux phases Toran du réseau Iroise et du réseau Sud-Bretagne ont été adoptées en faisant coïncider le point Toran et le point Syledis du récepteur SR3.

Les corrections aux phases du réseau Iroise sont : ⁽¹¹⁾

couple A : + 0,12 tour

couple B : + 0,40 tour

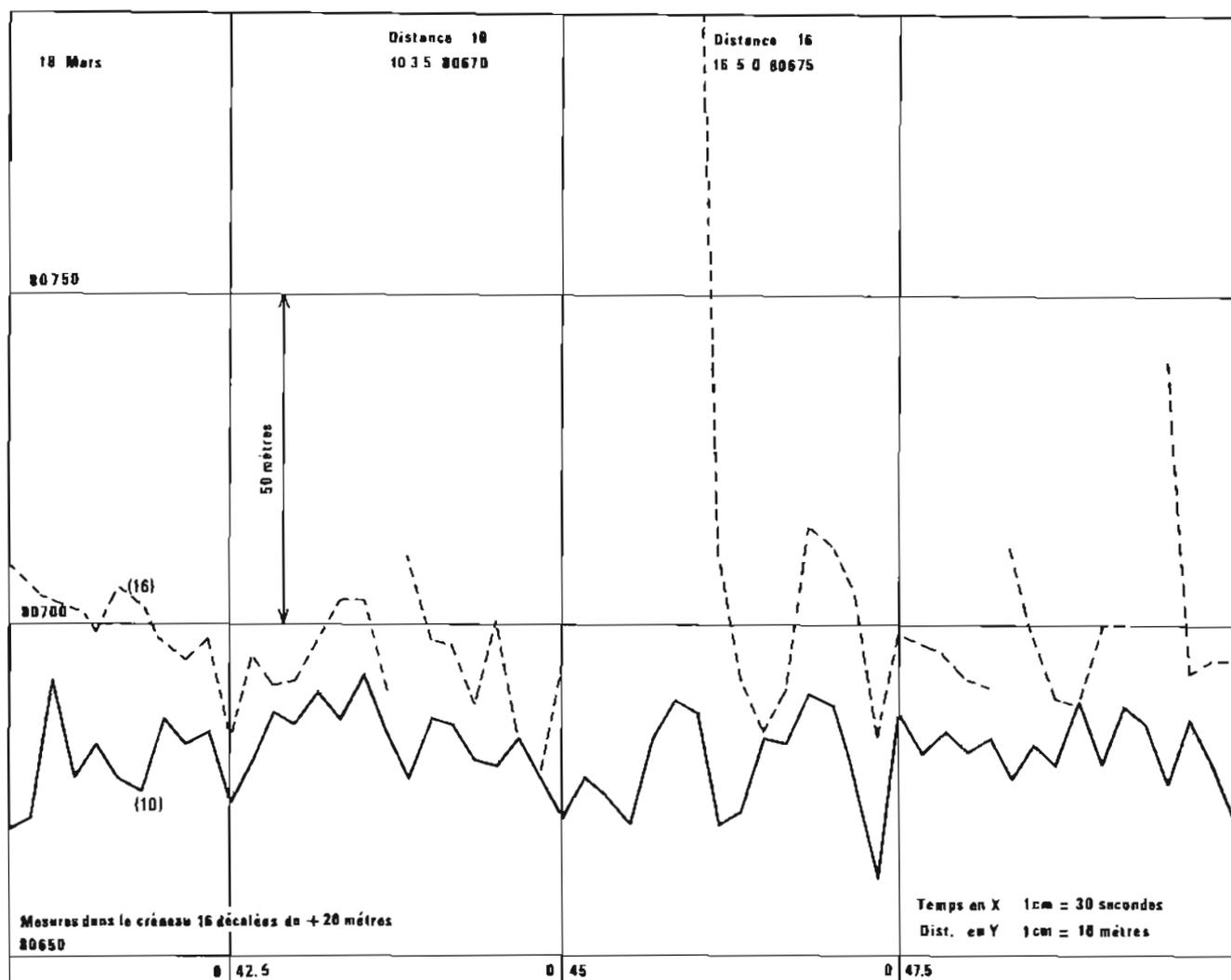
Les corrections aux phases du réseau Sud-Bretagne moins stables, sont : ⁽¹²⁾

couple A : - 0,20 tour

couple B : - 0,05 tour

Les corrections aux phases du réseau Iroise sont fixées à cinq centièmes près, celles du réseau Sud-Bretagne à quinze centièmes près; la variation des corrections à adopter en fonction de la position géographique peut être due aux fluctuations du Syledis constatées au Sud de Penmarc'h.

Enfin, il est vérifié que la limite d'utilisation pratique des réseaux hyperbolique est due à leur géométrie : au-delà de 40 degrés ⁽¹³⁾ la dégradation a une allure exponentielle. Cette limite n'est pas contraignante pour le réseau Toran Sud-Bretagne, en raison de la distance importante entre ses émetteurs extrêmes (Penmarc'h et Les Sables d'Olonnes).



PL. 9. — Enregistrement d'une fluctuation importante (plus de 100 m) d'une mesure de distance Syledis, le 18 mars 1983, à bord de *L'Espérance* au mouillage devant Gavres.

Légende : en abscisse : le temps (0 h 42,5, — 0 h 45, — 0 h 47,5)

en ordonnées : la valeur des pseudo-distances du mobile aux antennes Syledis de Penmarc'h émettant dans les créneaux 10 et 16.

courbe en trait plein : la pseudo-distance dans le créneau 10

courbe en tirets : la pseudo-distance dans le créneau 16 (décalée de 20 m).

Commentaires :

Les pseudo-distances fluctuent couramment de ± 15 m; noter vers 0 h 45 la disparition de l'enregistrement de la pseudo-distance mesurée dans le créneau 16; le décrochement de cette mesure (plus de 100 m) dure jusqu'à 0 h 46; il faut utiliser les antennes directionnelles dans leur lobe de directivité pour ne pas avoir de telles instabilités.

Rappel de l'état du récepteur SR3 à 0 h 41 min 20 s

| Créneaux | 18 | 17 | 11 | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Qualité | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Rapport S/B | 0 | 28 | 62 | 7 | 50 | 47 | 66 | 0 |
| Distances (m) | 91 998 | 42 381 | 15 270 | 80 677 | 36 259 | 42 389 | 15 265 | 80 684 |

X=175 902 m; Y=311 983 m; filtrage : 3; DRMS : 2. EMLP : 2.

Deuxième situation : étude du Toran dans la zone de Graves

Planche 10, on a rappelé l'implantation du réseau Sud-Bretagne et montré qu'à Gavres le facteur de dilution de la précision par rapport à une situation idéale était de 7; il en découle une dispersion maximale de ± 35 m environ orientée dans la direction du lieu stable (planche 11). Le Toran n'est donc pas utilisable à Gavres pour des études précises.

Comparaison du Syledis et du Trident; stabilité des constantes à longue échéance

Avant d'installer dans la mâture de *L'Espérance* une antenne Trident et une antenne Syledis à faible distance l'une de l'autre, on a tout d'abord vérifié à Toulbroc'h que cette disposition était sans risque pour les appareils et pour la qualité des mesures.

Le brume n'a pas permis l'étalonnage optique des réseaux prévu devant Gavres; aussi la coïncidence des points Trident et Syledis n'était pas parfaite; l'écart était souvent de l'ordre de 15 mètres. Un seul point optique (par deux relèvements) a été obtenu. Il se trouvait :

- dans le 120° du point Trident à 7 m,
- dans le 120° du point Syledis hyperbolique à 5 m,
- dans le 230° du point Syledis circulaire à 7 m.

On ne doit pas s'étonner des écarts ci-dessus; tout d'abord les points Trident et Syledis instantanés avaient une dispersion (à 98 % de probabilité de présence) de 5 mètres; par ailleurs le Trident n'avait pu être étalonné sur la zone des opérations, ce qui pouvait être l'origine d'erreurs de mesures de distances de ± 5 m.

De tels écarts entre les valeurs d'un étalonnage sur une base de calibration à terre et celles obtenues par étalonnage optique sur la zone d'un levé ont été constatés à plusieurs occasions, par exemple au cours du levé de Lorient (levé 2-14), du levé de la Charente levé (2-15) et au cours d'essais entre Toulbroc'h et plusieurs points géodésiques dégagés en Bretagne.

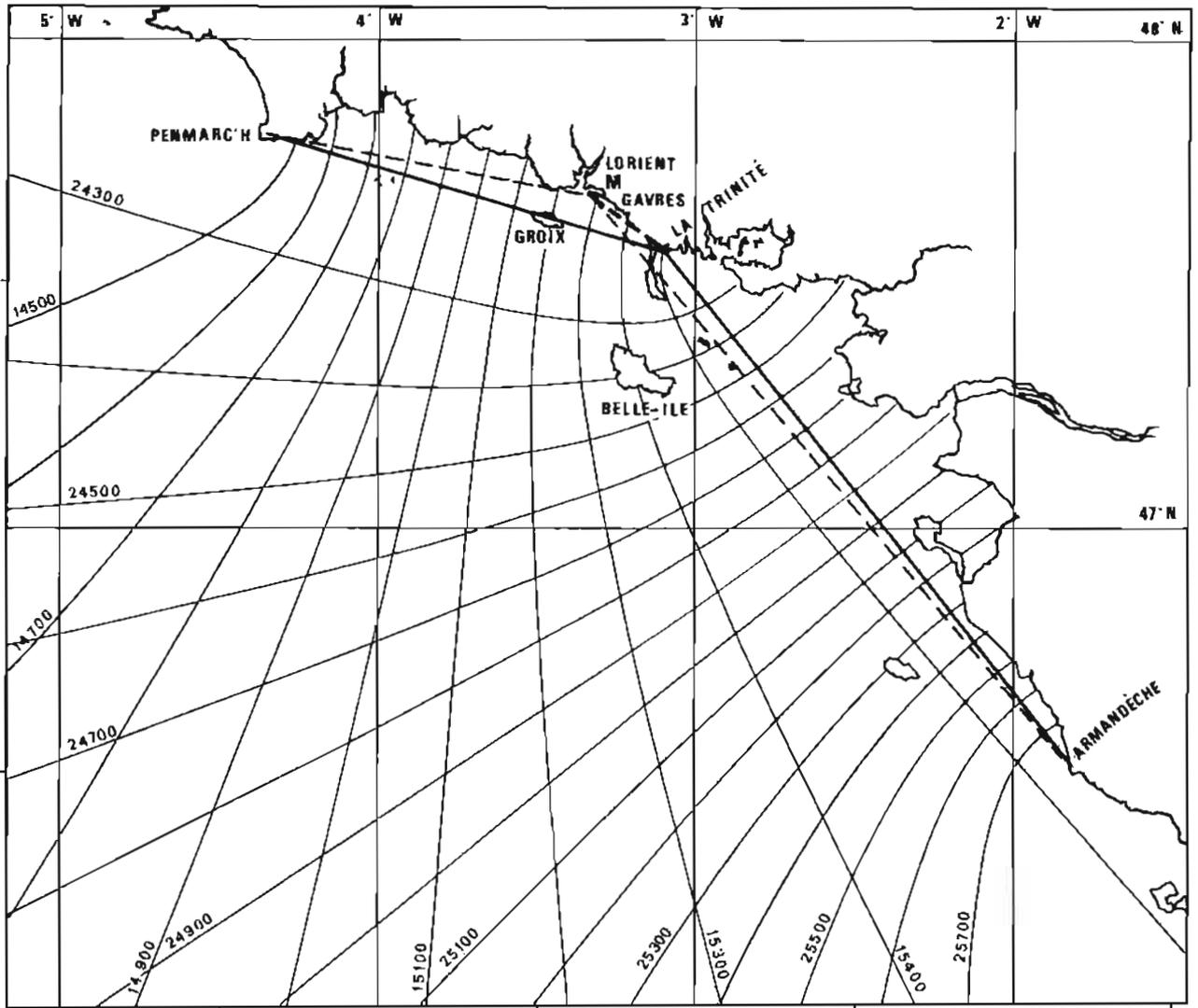
En étudiant le Syledis et le Trident au mouillage, il a été constaté qu'aucun des deux points n'est en permanence parfait; alors que leur dispersion est de l'ordre de 5 m, elle peut passer soudain à 10 m pendant une faible durée; des réflexions parasites, peut-être sur le plan d'eau, ont sans doute perturbé la réception. Si le point Trident est d'une manière générale meilleur que le point Syledis au cours de l'expérimentation, c'est qu'un réseau local Trident a été mis en place, alors que le réseau Syledis-Bretagne est observé dans des conditions moins favorables : la station de Penmarc'h est à 80 km, donc au-delà de l'horizon, ce qui provoque des fluctuations momentanées des distances proches de 30 mètres. Un réseau local Syledis aurait donné de meilleures performances.

En définitive, le Syledis a sur le Trident l'avantage de la portée, et le Trident a sur le Syledis l'avantage d'un renouvellement de l'information plus dense, ce qui est important pour les mobiles rapides; chacune des quatre informations de distances acquises sur les voies A, B, C, D du Trident est renouvelée 64 fois par seconde; par contre les informations Syledis ne sont renouvelées que 5 à 30 fois par seconde selon la longueur du format d'émission. Dans le réseau Syledis-Bretagne, réseau dont le format d'émission à la longueur maximale (30 créneaux), la cadence de renouvellement est 5 Hertz; cette cadence faible explique en partie les décrochages des récepteurs Syledis lors de girations quand on a affiché une sévérité de filtrage trop forte.

Notes relatives au paragraphe 46 faisant référence aux AH 759.

Notes :

- (¹) planche 6
- (²) planche 9
- (³) planches 7 et 8
- (⁴) planche 34
- (⁵) planche 38
- (⁶) planche 39
- (⁷) planche 36
- (⁸) planche 37
- (⁹) planche 35
- (¹⁰) annexe B, paragraphe 3
- (¹¹) planche 49
- (¹²) planche 50
- (¹³) planches 40, 41, 42

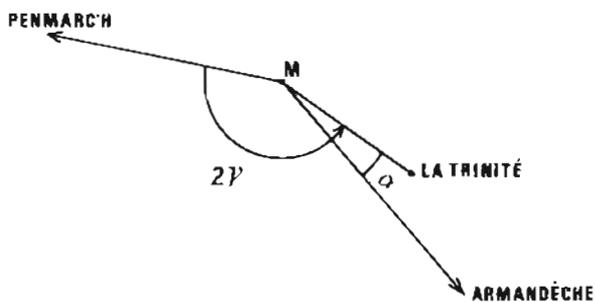


PL. 10. — Estimation de la fidélité du point Toran Sud-Bretagne dans la zone de Gavres.

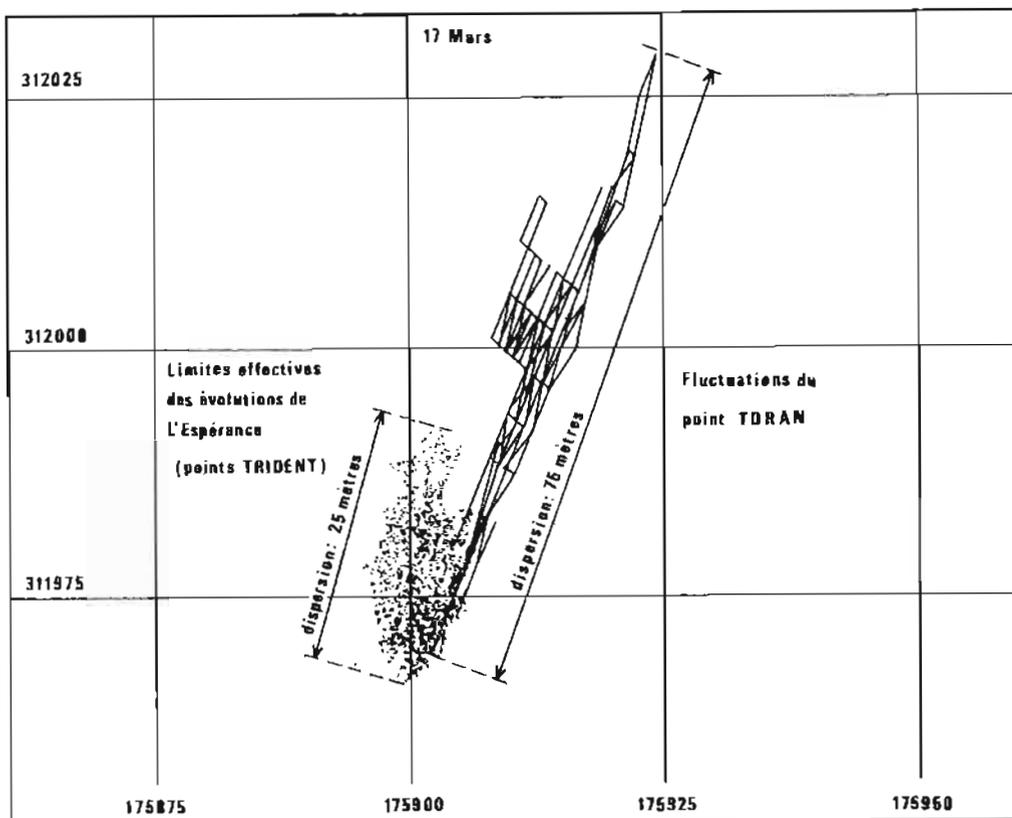
Pour apprécier la fidélité du Toran en un point, on sait (voir le § 20-6 des *Annales Hydrographiques* n° 759) qu'il faut évaluer les angles 2γ et α sous lesquels on voit de ce point :

- les émetteurs extrêmes du réseau Toran (Penmarc'h et Armandèche)
- un émetteur extrême et l'émetteur intermédiaire (avec $\alpha \leq \gamma$) (ici la Trinité et Armandèche).

Au point M de la figure ci-dessus (voir aussi schéma ci-contre) on a : $2\gamma \approx 160^\circ$ $\alpha \approx 15^\circ$; en fonction de ces valeurs, le coefficient de dilution de la précision vaut 7 (consulter la planche 41 des AH 759).



Si l'on admet que le point Toran est déterminé à 5 m près dans les meilleures conditions géométriques, compte tenu du facteur de dilution ci-dessus, on en déduit qu'à Gavres le point Toran est déterminé à 35 m près.



Graphique : Coordonnées Lambert 2 en mètres.

Données du traitement en temps réel

Date : 17 mars 21 55 50.0

SR3 (2) X = 175906.0; Y = 311977.9; EMLP = 13; DRMS = 4; Cap = 105; V = 0.4

UCM (XY) X = 175917.0; Y = 311982.0; EMLP = 99; DRMS = 4;

Toran Sud-Bretagne Phares = 5304.53 4175.44

| | | | | | |
|---------|-------------|---------------|------------|-------------|------------|
| Trident | Balises : | Saint-Julien, | Locquenin, | Keriouriec, | Port-Louis |
| | Distances : | 24 082 | 6 645 | 11 233 | 5 871 |

Etude Trident X = 175910.3 m; Y = 312011.3 m

Phases théoriques = 15304.39, 24175.40 lues + corr. = 15304.43, 24175.34

Référence Trident X = 175896.9 m, Y = 311988.8 m

| | | | | |
|-----------|--------|-------|--------|--------|
| Chapeau : | -1.7 m | 0,8 m | -1.8 m | -2.8 m |
|-----------|--------|-------|--------|--------|

PL. 11. — Enregistrement sur table traçante associée à un calculateur HP 9845 des évolutions de *L'Espérance* au mouillage selon le point Trident et le point Toran.

Ensemble de pointillés : Evolutions selon le point Trident (dimension maximale : 25 m)

Ensemble de traits pleins : Evolutions selon le point Toran (dimension maximale : 75 m)

Grille : Carroyage Lambert 2 en mètres

Circonstances : *L'Espérance* est mouillée sur son ancre; ses évolutions sont dues au vent et aux courants.

Alors que le bâtiment s'évite sur moins de 25 m (taille maximale du nuage des points Trident), les points Toran correspondants sont dispersés sur 75 m; cette dispersion est due à la faible sensibilité du couple B du réseau Sud-Bretagne dans la zone de Gavres; le nuage des points Toran est dirigé selon la direction des hyperboles du couple A (couple stable).

5. STABILITÉ DES CONSTANTES D'UN RÉSEAU SUR UNE LONGUE PÉRIODE

La stabilité des constantes sur de longues périodes (plus d'un an) pour des systèmes tels que le Syledis et le Trident n'a pas fait l'objet d'observations particulières.

Pour le Toran, on sait que le passage sur les lignes d'ombre est une procédure routinière sans doute pour caler le numéro de l'hyperbole mais aussi pour contrôler la stabilité des centièmes; pour le Trident, l'expérience montre que d'une année sur l'autre les réglages des interrogateurs et des balises sont à reprendre : mais il n'a pas été démontré que cette intervention ne soit pas en fait due à la modification de l'environnement de la chaîne utilisée au cours de levés successifs et non dans des implantations permanentes.

La calibration des réseaux de positionnement est un problème délicat; mais pour connaître les origines des dérives éventuelles, sans doute faudra-t-il qu'un hydrographe examine cette question avec aussi l'œil d'un électronicien.

6. CONCLUSIONS

6.1. L'évaluation du réseau Syledis-Bretagne a bénéficié de circonstances favorables :

- importance attachée au réseau par la Marine Nationale,
- mise au point d'un système d'acquisition et de traitement des données (Hydrac),
- originalité du système de radiolocalisation à évaluer, par sa conception électronique, ses modes de fonctionnement, ses divers types de récepteurs, sa portée transhorizon.

6.2. On se reportera aux *Annales Hydrographiques* n° 759 pour l'exposé de l'évaluation proprement dite; dans ce chapitre nous en avons retracé surtout la progression sans nous attacher à l'analyse des performances.

6.3. Au cours de l'évaluation, on a vérifié que la détermination des performances au large supposait non seulement le recueil des mesures originales des récepteurs mais aussi celui des mesures traitées, notamment les coordonnées du point calculé; un filtrage modéré améliore la fidélité réelle du point en éliminant les fluctuations rapides; ce filtrage est d'autant plus licite que le point est calculé à partir de lieux de position nombreux.

6.4. Il s'est avéré que la détermination de la fidélité était une opération assez rapide; une fois que l'on a adopté la loi de dispersion des mesures originales il suffit d'appliquer un modèle de calcul.

Par contre le suivi de la justesse est une opération plus délicate qui exige des précautions particulières. En 1981, en 1982, en 1983, la MHA a déterminé les constantes du réseau Syledis-Bretagne sans assurer le suivi permanent de leurs possibles dérives. L'implantation d'une station de contrôle au Cranou en 1983 répond à cette préoccupation.

6.5. Pour conclure, le réseau Syledis-Bretagne constitue sur les côtes de Belle-Ile à Brignogan un réseau de positionnement précis utilisable facilement par tout navigateur, surtout si celui-ci est équipé d'un récepteur SR3.

Cet appareil fait partie d'une nouvelle génération d'appareils conçus après 1980 pour calculer le point, en estimer la qualité, et permettre à tout instant le contrôle critique du positionnement.

APPENDICE

Formules : calcul de l'écart type circulaire dans quelques cas particuliers

1. Rappel et notations (voir AH 759, annexe A, paragraphe 6)

L'écart type circulaire est donné par

$$\sigma_c^2 = \frac{A + B}{AB - C^2}$$

avec

$$A = \sum \frac{\cos^2 \theta_i}{\sigma_i^2} \quad B = \sum \frac{\sin^2 \theta_i}{\sigma_i^2} \quad C = \sum \frac{\cos \theta_i \sin \theta_i}{\sigma_i^2}$$

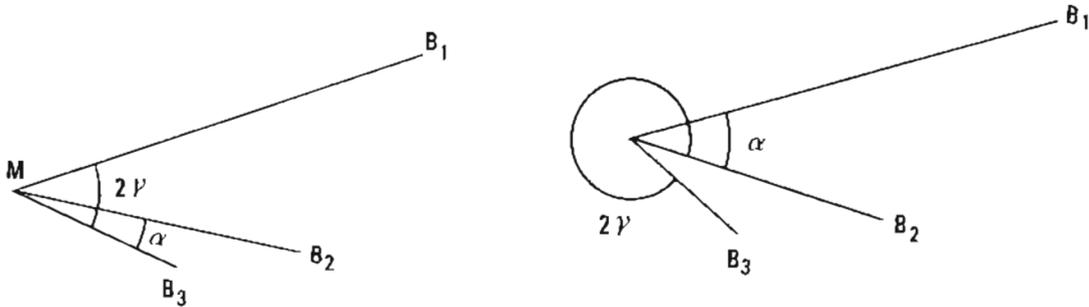
σ_i ... écart type du lieu (i)

θ_i ... gisement du lieu (i) assimilé à une droite.

On admet ci-dessous que σ_i est constant; on calcule le rapport σ_c/σ ; on a alors par $2\sigma_c$ une bonne représentation de la dispersion (à 95 % de probabilité) du point.

L'angle entre les balises extrêmes est appelé 2γ .

L'angle le plus petit d'une balise intermédiaire et d'une balise extrême est appelé α ; autrement dit : $\alpha \leq 2\gamma - \alpha$ ou $\alpha \leq \gamma$.



Figures ci-dessus :

Deux manières de chiffrer les angles 2γ et α .

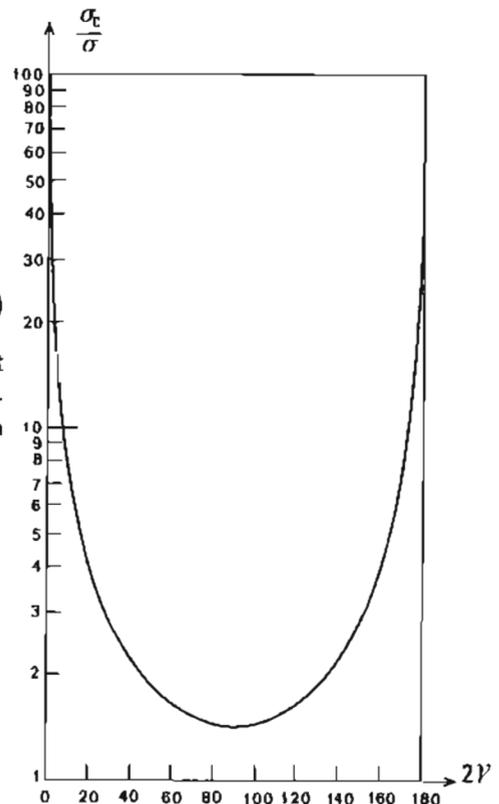
2. Ecart type en mode circulaire à l'aide de 2 balises

On a :

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{\sqrt{2}}{\sin^2 \gamma} \quad (1)$$

Pour des angles (2γ) supérieurs à 30° (et inférieurs à 150°) ce rapport est inférieur à 3. Dans le cas contraire la dégradation est très rapide.

Un réseau à 3 balises étend notablement la portée utile d'un système.



3. Ecart type circulaire en mode circulaire à l'aide de 3 balises

On a :

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{\sin^2(2\gamma) + \sin^2(2\gamma - \alpha) + \sin^2\alpha}} \quad (2)$$

Valeurs particulières

| Valeur de γ et α | Valeur correspondante de σ_c/σ |
|----------------------------------|--|
| $2\gamma = 90^\circ$ | $\sqrt{\frac{3}{2}}$ |
| $\alpha = 90^\circ$ | $\sqrt{\frac{3}{2}}$ |
| $\alpha = \gamma$ | $\frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{3}{2(1+2\cos^2\gamma)}}$ |
| $4\gamma - \alpha = \pi + 2k\pi$ | $\frac{1}{\sin 2\gamma} \sqrt{\frac{3}{2(1+2\cos^2\gamma)}}$ |

Courbe : voir AH 759 planche 41.

4. Dispersion d'un lieu hyperbolique

Calculons la dispersion d'un lieu hyperbolique dans le cas où elle est due à la dispersion des mesures de distances.

Soit H l'hyperbole passant par M

$$H = k [MA - MB]$$

En supposant $\sigma_A = \sigma_B = \sigma$ on montre :

$$(\sigma_H)_{\text{mètres}} = \frac{\sigma}{\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2}}$$

α étant l'angle sous lequel on voit A et B.

5. Ecart type circulaire en mode hyperbolique avec 3 balises

Les lieux sont indépendants

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2} \sin \gamma} \sqrt{\frac{1}{\sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{1}{\sin^2\left(\gamma - \frac{\alpha}{2}\right)}} \quad (3)$$

La valeur minimale de σ_c/σ est obtenue par $\alpha = \gamma$; elle est :

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{\sin \gamma \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

Cas particuliers :

$$\begin{aligned} \alpha = \gamma \approx 104^\circ & \quad \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{3\sqrt{3}}{4} & \quad \text{(rapport optimum)} \\ \alpha = \gamma = 90^\circ & \quad \frac{\sigma_c}{\sigma} = \sqrt{2} \end{aligned}$$

Les lieux sont dépendants

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2} \sin \gamma} \sqrt{\frac{1}{\sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{1}{\sin^2\left(\gamma - \frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{\cos \gamma}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin\left(\gamma - \frac{\alpha}{2}\right)}} \quad (4)$$

La courbe relative à cette formule est représentée dans les *Annales Hydrographiques* 759 à la planche 41.

On a vérifié que les formules (3) et (4) donnaient des résultats en fait peu différents.

Cas particulier : $\alpha = \gamma$; on a :

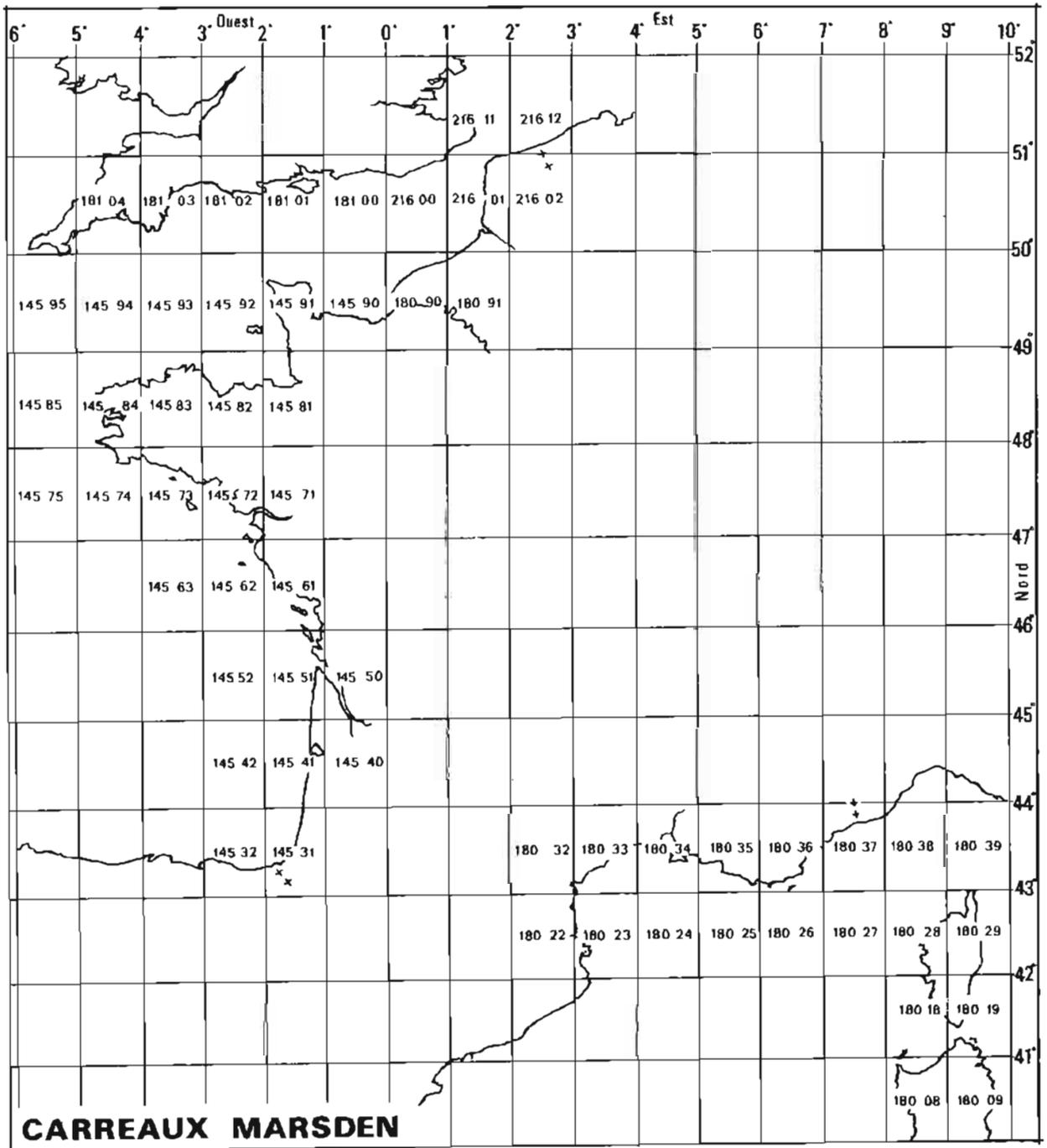
$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{2 + \cos \gamma}{1 - \cos \gamma}}$$

ANNEXE 1

Coordonnées des amers

Cette annexe récapitule les coordonnées des amers déterminées par la mission au cours des différents levés.

La liste est faite selon le numérotage du fichier de l'Etablissement Principal. Un point est désigné par un numéro dans un carreau Marsden; la grille de ce repérage est donnée ci-dessous.



AMERS

Carreau Marsden : 14551 (de 1°W à 2°W; de 45° à 46° N)

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 2 | | |
|--------|---|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 34 | Chateau d'eau de la Parée | xxxx | 322 348,63 | 104 953,31 | 48,7 |
| 35 | Espar, entrée passe de Boyardville | x | 323 444,76 | 114 087,14 | 6,3 |
| 36 | Tour de sauvetage, les Palles | x | 331 292,37 | 113 113,91 | 6,0 |
| 37 | Maison remarquable à Fouras | xx | 333 939,19 | 116 480,07 | 21,9 |
| 38 | Tour de Fouras | xxxx | 334 009,65 | 115 344,84 | 56,8 |
| 39 | Balise verte à Fouras | x | 334 052,13 | 116 514,52 | 6,7 |
| 40 | Feu vert de Fouras, port Nord | x | 334 070,44 | 116 551,39 | 9,9 |
| 41 | Feu rouge, jetée Fouras, port Sud | xx | 334 168,68 | 114 995,29 | 8,8 |
| 42 | Clocher de Fouras | xxx | 334 208,46 | 115 668,63 | 46,0 |
| 43 | Feu milieu, Fouras, port Sud | x | 334 211,48 | 115 117,31 | 10,6 |
| 44 | Feu Est à Fouras, port Sud | xx | 334 270,02 | 115 175,81 | 17,3 |
| 45 | Tour marchand à Fouras | xx | 334 761,74 | 115 514,03 | 39,7 |
| 46 | Chateau d'eau de Fouras | xx | 335 070,43 | 115 472,80 | 42,8 |
| 47 | Nouveau chateau d'eau de Port-des-Barques | xx | 335 113,53 | 110 526,88 | 38,6 |
| 48 | Ancien moulin les Nouleries, Fouras | x | 335 152,90 | 113 898,86 | 17,5 |
| 49 | Balise verte de Port-des-Barques | x | 335 407,92 | 111 541,66 | 5,2 |
| 50 | Poteau R postérieur d'alignement | x | 335 775,25 | 111 111,67 | 15,5 |
| 51 | Feu antérieur, alignement au 115° | x | 335 828,06 | 113 044,53 | 11,2 |
| 52 | Poteau R antérieur d'alignement | x | 335 987,01 | 111 197,56 | 9,8 |
| 53 | Feu antérieur, alignement au 135° | x | 336 021,41 | 111 157,77 | 11,6 |
| 54 | Ancien moulin Soumard, Fouras | x | 336 149,15 | 114 151,21 | 22,5 |
| 55 | Feu postérieur, alignement au 115° | xxxx | 336 325,42 | 112 786,68 | 24,6 |
| 56 | Feu postérieur, alignement au 135° | xx | 336 343,95 | 110 814,75 | 22,2 |
| 57 | Poteau T antérieur d'alignement | x | 336 513,02 | 111 232,15 | 7,8 |
| 58 | Poteau T postérieur | x | 336 632,28 | 111 179,81 | 11,6 |
| 59 | Poteau S antérieur | x | 337 159,96 | 111 433,24 | 7,2 |
| 60 | Poteau S postérieur | x | 337 239,37 | 111 432,32 | 10,3 |
| 61 | Mat Fontaines Royales Port-des-Barques | x | 337 265,49 | 111 517,69 | 18,6 |
| 62 | Chateau d'eau de Soubise | | 340 664,90 | 108 336,80 | 34,7 |

N.B. : Importance d'un amer : xxxx : remarquable;xxx : important;xx : bien visible;x : peu visible;absence de croix : n'est pas un amer

AMERS

Carreaux Marsden : 14561, 14562, 14572, 14573, 14574

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 2 | | |
|-----------|---|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 14561 224 | Balise le Tridoux (Ile d'Aix) | x | 327 446,97 | 118 970,88 | 8,1 |
| 14561 225 | Balise le Jamblet (Ile d'Aix) | x | 327 523,17 | 119 823,65 | 8,9 |
| 14561 226 | Tour écran; (Ile d'Aix) | xxxx | 327 894,79 | 118 279,18 | 26,1 |
| 14561 227 | Phare Ile d'Aix | xxxx | 327 908,08 | 118 272,58 | 27,8 |
| 14561 228 | Sémaphore Ile d'Aix | xx | 327 987,28 | 118 589,71 | 31,3 |
| 14561 229 | Balise le Chéron (à l'Ouest du Fort d'Énet) | x | 330 144,10 | 117 382,66 | 7,4 |
| 14561 230 | Fort d'Énet | xx | 330 547,70 | 117 464,80 | 19,0 |
| 14561 231 | Balise Pointe de l'Épée | x | 331 238,01 | 117 842,33 | 8,9 |
| 14561 232 | Feu vert embarcadère, Pte de l'Aiguille | x | 332 461,29 | 117 519,27 | 6,8 |
| 14562 056 | Chateau de Lale | | 240 694,56 | 199 166,69 | 30,0 |
| 14562 057 | Sémaphore Ile d'Yeu | xxx | 243 311,68 | 198 837,55 | 61,8 |
| 14562 058 | Moulin de Joinville | xx | 241 815,90 | 200 665,10 | 35,0 |
| 14562 059 | Phare Petite Foule | xxxx | 239 504,20 | 201 660,52 | 65,7 |
| 14562 060 | Chateau d'eau Le Puit | xxxx | 241 342,63 | 201 943,89 | 68,5 |
| 14562 061 | Phare Corbeau | xxx | 246 741,87 | 198 188,59 | 30,5 |
| 14572 196 | Le Moustoir, repère | | 239 898,94 | 289 009,01 | 1,5 |
| 14572 210 | Cale du Moustoir | x | 240 403,50 | 288 529,00 | — |
| 14572 211 | Pointe de Kerdauid | | 242 008,13 | 288 608,13 | — |
| 14572 212 | Antenne Syledis, Grand Chêne | | 211 342,20 | 319 645,35 | 166,6 |
| 14573 201 | Sémaphore Belle-Ile | xxx | 180 224,90 | 269 806,90 | 46,0 |
| 14573 220 | Antenne Syledis à Lann-Bihoué | | 166 607,50 | 324 091,10 | 74,3 |
| 14573 221 | Blockhaus, Loquetas | | 170 461,00 | 315 838,85 | — |
| 14573 222 | Station à Gavres | | 172 900,40 | 314 683,85 | 9,0 |
| 14573 274 | Balise Men Du | x | 137 389,06 | 326 414,26 | — |
| 14573 278 | Sémaphore de Beg Meil | x | 128 133,82 | 336 243,18 | 10,7 |
| 14574 027 | Blockhaus à Kersaux Lesconil | | 108 102,40 | 330 981,10 | — |
| 14574 028 | Jetée à Kervellec, Penmarc'h | | 100 840,00 | 332 163,00 | — |

AMERS

Carreaux Marsden : 14584, 14585, 14590

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 2 | | |
|-----------|---|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 14584 129 | Pointe de l'Armorique | x | 96 780,00 | 092 271,60 | 14,2 |
| 14584 233 | Creachmeur | x | 78 238,05 | 094 504,60 | — |
| 14584 423 | Le Cleguer (rocher) | x | 75 097,65 | 109 484,90 | — |
| 14584 424 | Antenne Syledis de Kerdraziou | x | 81 385,93 | 104 159,27 | 147,7 |
| 14584 425 | Le Dellec | x | 88 593,70 | 095 515,65 | — |
| 14584 426 | Larvaon | x | 94 075,50 | 124 219,30 | 60,1 |
| 14584 427 | Antennes Syledis de Pencran | x | 113 645,46 | 101 623,95 | 182,8 |
| 14584 428 | Antennes du Toulanguet | x | 84 132,40 | 088 057,60 | 89,8 |
| 14584 442 | Antennes du Cranou | x | 127 486,79 | 090 757,71 | 338,0 |
| 14585 12 | Tour radar d'Ouessant | x | 54 507,71 | 112 907,85 | 131,8 |
| 14584 13 | Antenne Syledis au Stiff | x | 54 200,59 | 112 623,51 | 91,5 |
| 14590 7 | Monument, cimetière américain à Saint-Laurent-sur-Mer | xxx | 368 375,36 | 189 273,65 | 64,6 |
| 14590 11 | Chateau d'eau de Longues-sur-Mer | xxxx | 378 085,37 | 186 673,79 | 106,8 |
| 14590 14 | Phare de Ouistreham | xxxx | 412 013,60 | 178 757,69 | 42,9 |
| 14590 43 | Clocher de St Pierre Dumont | xxx | 359 278,53 | 192 997,65 | 63,1 |
| 14590 44 | Clocher d'Asnières en Bessin | x | 362 224,02 | 190 437,17 | 85,0 |
| 14590 45 | Clocher de Louvières | x | 363 593,73 | 189 969,99 | 80,7 |
| 14590 46 | Clocher du cimetière américain | xxx | 368 041,87 | 189 400,85 | 68,2 |
| 14590 47 | Pylone de St Honoré-des-Pertes | xxxx | 370 363,30 | 186 778,70 | 129,8 |
| 14590 48 | Chateau d'eau de St Honoré-des-Pertes | x | 371 060,10 | 186 713,00 | 99,5 |
| 14590 49 | Clocher de Villiers-sur-Port | x | 373 254,80 | 186 598,70 | 95,0 |
| 14590 50 | Clocher de Port-en-Bessin | xxx | 375 434,98 | 187 311,87 | 59,5 |
| 14590 51 | Chateau d'eau de Cabourg | xxx | 421 448,61 | 179 342,85 | 41,7 |
| 14590 52 | Sémaphore de Port-en-Bessin | xxxx | 374 168,73 | 187 956,39 | 79,3 |
| 14590 53 | Clocher de Tracy-sur-Mer | x | 383 421,57 | 186 111,37 | 71,4 |
| 14590 54 | Clocher d'Arromanches | xx | 385 053,67 | 186 191,33 | 53,4 |
| 14590 55 | Calvaire d'Arromanches | xx | 385 376,03 | 186 311,89 | 56,1 |
| 14590 56 | Clocher de St Cone de Fresne | x | 386 302,91 | 186 149,67 | 42,1 |
| 14590 57 | Clocher de Meuvaines | x | 389 167,13 | 184 785,09 | 45,4 |
| 14590 58 | Clocher de Crespon | x | 390 214,46 | 183 629,36 | 78,2 |
| 14590 59 | Chateau d'eau de Ver-sur-Mer | xx | 391 353,99 | 185 760,95 | 59,1 |
| 14590 60 | Clocher de Ver-sur-Mer | x | 391 790,97 | 185 251,12 | 59,4 |
| 14590 61 | Phare de Ver-sur-Mer | xxxx | 392 563,27 | 186 161,81 | 49,2 |
| 14590 62 | Pylone du radiophare à Ver | x | 392 564,26 | 186 141,98 | 57,6 |
| 14590 63 | Mat de pavillon à Ver | x | 392 657,16 | 186 723,60 | 19,6 |
| 14590 64 | Clocher de Ste Croix | x | 393 029,57 | 183 149,90 | 67,8 |
| 14590 65 | Chateau d'eau de Banville | xxx | 393 653,40 | 182 921,40 | 84,0 |
| 14590 66 | Clocher de Banville | xx | 394 313,33 | 192 952,91 | 73,1 |
| 14590 67 | Chateau de Vaux (réservoir) | x | 394 826,85 | 185 069,72 | 36,8 |
| 14590 68 | Calvaire de Courseulles | x | 396 993,23 | 185 630,60 | 19,9 |
| 14590 69 | Clocher de Courseulles | x | 397 052,56 | 184 659,95 | 42,6 |
| 14590 70 | Chateau d'eau de St Aubin | xxx | 400 686,07 | 182 507,90 | 65,9 |

Importance d'un amer :

xxxx : remarquable

xxx : important

xx : bien visible

x : peu visible

AMERS

Carreau Marsden : 14591

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 1 | | |
|-----------|---|------------|--------------------------|------------|------|
| | | | X(m) | Y(m) | Z(m) |
| 14591 88 | Chateau d'eau de St Floxel | xxx | 332 807,50 | 205 439,00 | 99,0 |
| 14591 280 | Eglise Montebourg | x | 330 949,37 | 205 328,72 | 97,0 |
| 14591 281 | Eglise de Videcosville | x | 331 904,51 | 213 535,50 | 89,3 |
| 14591 282 | Eglise de Martin Andouville | x | 332 390,20 | 209 787,12 | 44,2 |
| 14591 283 | Eglise de St Floxel | x | 332 940,84 | 205 615,80 | 68,8 |
| 14591 284 | Eglise de Octeville, La Venelle | x | 333 318,99 | 211 478,89 | 61,4 |
| 14591 285 | Eglise de Lestre | x | 334 372,63 | 209 408,72 | 46,8 |
| 14591 286 | Eglise de Ozeville | xxx | 334 501,70 | 205 940,80 | 61,7 |
| 14591 287 | Eglise de Aumeville-Lestre | x | 335 457,80 | 210 897,60 | 33,5 |
| 14591 288 | Eglise de Grenneville | xxx | 335 553,50 | 212 506,50 | 66,0 |
| 14591 289 | Eglise de Fontenay-sur-Mer | xx | 335 736,83 | 205 262,85 | 50,1 |
| 14591 290 | Eglise de Morsalines | x | 336 317,90 | 214 472,20 | 30,9 |
| 14591 291 | Eglise de Quettchou, girouette | xxx | 336 475,64 | 216 640,45 | 68,4 |
| 14591 292 | Eglise de Saint-Marcouf | x | 337 352,02 | 203 339,65 | 42,6 |
| 14591 293 | Balise rouge de Quineville | x | 337 677,70 | 208 387,40 | 6,3 |
| 14591 294 | Balise verte de Quineville | x | 337 687,70 | 208 403,60 | 6,5 |
| 14591 295 | Eglise de Ravenoville | xxx | 338 597,40 | 201 241,00 | 33,5 |
| 14591 296 | A St Vaast-la-Hougue, balise « les Molquants » | xxx | 338 864,33 | 214 044,81 | 4,1 |
| 14591 297 | Eglise les Gougins | xxx | 339 113,90 | 205 707,70 | 35,0 |
| 14591 298 | Eglise Ger Varreville | x | 339 349,10 | 199 259,40 | 36,9 |
| 14591 299 | Chateau d'eau de St Vaast-La-Hougue | x | 339 577,40 | 215 924,80 | 23,2 |
| 14591 300 | Eglise de Foucarville | x | 339 581,60 | 199 944,80 | 33,4 |
| 14591 301 | Eglise de Vierville | x | 339 786,98 | 190 575,70 | 33,6 |
| 14591 302 | Espar « Le creux du bas » | x | 340 292,09 | 215 477,65 | 3,0 |
| 14591 303 | Clocher de Andouville, Hubert | x | 340 586,00 | 195 999,20 | 22,9 |
| 14591 304 | Clocher Martin Varreville | xx | 340,996,81 | 198 016,37 | 46,8 |
| 14591 305 | Tour de Tatihou | xxxx | 341 424,10 | 215 753,27 | 31,0 |
| 14591 306 | Eglise de Brucheville | xxxx | 342 963,50 | 192 018,70 | 31,5 |
| 14591 307 | Monument les dunes | x | 343 022,10 | 199 835,70 | 11,9 |
| 14591 308 | Feu postérieur de Brevand | x | 343 751,30 | 187 717,20 | 18,9 |
| 14591 309 | Eglise de Brevand | x | 343 771,19 | 187 249,60 | 45,7 |
| 14591 310 | Feu antérieur de Brevand | x | 344 139,80 | 188 336,80 | 10,1 |
| 14591 311 | Monument américain à Utah Beach | x | 345 278,80 | 196 651,30 | 12,5 |
| 14591 312 | Balise verte à Carentan | x | 345 760,50 | 191 010,30 | 3,5 |
| 14591 313 | Balise rouge à Carentan | x | 345 866,80 | 190 952,80 | 3,0 |
| 14591 314 | Eglise « Les Veys » | x | 346 453,20 | 185 304,10 | 41,4 |
| 14591 315 | Balise verte Illette | x | 348 900,80 | 190 777,50 | 3,5 |
| 14591 316 | Balise verte (entrée Vire et Aure) | x | 348 980,70 | 189 891,20 | 3,0 |
| 14591 317 | Balise rouge (entrée Vire et Aure) | x | 349 104,60 | 189 852,15 | 3,0 |
| 14591 318 | Feu antérieur (entrée Vire et Aure) | x | 349 354,80 | 186 404,30 | 9,7 |
| 14591 319 | Feu postérieur (entrée Vire et Aure) | x | 349 409,00 | 185 781,30 | 22,3 |
| 14591 320 | Eglise de Maisy | xxxx | 353 854,60 | 192 344,91 | 66,6 |
| 14591 321 | Chateau d'eau de Maisy | x | 354 111,15 | 192 111,92 | 41,8 |
| 14591 322 | Feu vert de Grand Camp Maisy | x | 354 308,20 | 193 421,70 | 11,9 |
| 14591 323 | Feu rouge de Grand Camp Maisy | x | 354 350,50 | 193 424,80 | 14,0 |
| 14591 324 | Feu antérieur de Grand Camp Maisy | x | 354 436,95 | 193 243,84 | 8,8 |
| 14591 325 | Feu postérieur de Grand Camp Maisy | x | 354 481,11 | 193 171,24 | 10,8 |
| 14591 326 | Feu Amaresqueri | x | 354 524,30 | 192 832,80 | 30,5 |
| 14591 327 | Chateau d'eau de Grand Camp Maisy | xx | 354 731,50 | 192 791,80 | 39,8 |
| 14591 328 | Feu « le Perre » (Grand Camp Maisy) | x | 354 825,20 | 193 170,10 | 11,9 |
| 14591 329 | Clocher de Grand Camp Maisy | xxx | 355 275,00 | 193 008,40 | 49,8 |
| 14591 330 | A Grand Camp Maisy, chateau d'eau terrain sport | xx | 355 427,30 | 192 913,80 | 48,1 |
| 14591 331 | Moulin de Cricqueville | xx | 357 261,10 | 193 519,80 | 28,8 |

AMERS
Carreau Marsden : 18090

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 1 | | |
|-----------|---|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 18090 17 | Chateau d'eau de Canisy | xx | 435 210,50 | 184 079,70 | 122,8 |
| 18090 45 | Sémaphore de la Heve | xx | 435 975,90 | 203 490,20 | 110,0 |
| 18090 71 | Phare d'Ailly | xxxx | 501 040,05 | 247 179,15 | 101,0 |
| 18090 73 | Chateau d'eau Hameau de Valaire | xx | 445 736,22 | 223 846,21 | 118,5 |
| 18090 74 | Clocher de N-D LG Etretat | xxx | 446 331,40 | 225 654,20 | 88,9 |
| 18090 75 | Monument d'Etretat | xxx | 446 452,00 | 225 668,00 | 99,0 |
| 18090 76 | Clocher d'Etretat | xx | 446 753,30 | 225 263,40 | 46,0 |
| 18090 77 | Clocher de Benouville | xxx | 449 635,70 | 226 294,30 | 120,4 |
| 18090 78 | Clocher de Vattetot-sur-Mer | xxx | 451 765,33 | 227 400,14 | 118,8 |
| 18090 79 | Pylone d'Yport | xxx | 453 612,70 | 228 594,80 | 114,0 |
| 18090 80 | Feu antérieur d'Yport | x | 453 910,00 | 228 606,00 | 13,0 |
| 18090 81 | Feu postérieur d'Yport | x | 453 916,00 | 228 579,00 | 15,0 |
| 18090 82 | Clocher d'Yport | x | 454 217,90 | 228 384,50 | 56,0 |
| 18090 83 | Clocher de Criquebeuf | xxx | 455 485,50 | 228 618,90 | 115,6 |
| 18090 84 | Clocher de Froberville | xxx | 455 489,40 | 226 569,30 | 125,1 |
| 18090 85 | Villa à Fécamp | xx | 457 552,40 | 230 176,10 | 89,0 |
| 18090 86 | Clocher de St Léonard | xx | 457 637,70 | 229 034,10 | 116,6 |
| 18090 87 | Chateau d'eau de la Croix Bigot | xx | 457 856,10 | 226 699,80 | 145,0 |
| 18090 88 | Feu jetée Nord | xxx | 457 874,20 | 231 410,10 | 20,0 |
| 18090 89 | Feu jetée Sud | xxx | 457 896,10 | 231 318,20 | 18,0 |
| 18090 90 | Mât à Fécamp | xx | 458 018,50 | 231 209,50 | 32,0 |
| 18090 91 | Phare, maison de gardien | x | 458 117,30 | 231 343,70 | 13,0 |
| 18090 92 | Clocher Bénédicтин | xx | 458 159,90 | 230 652,50 | 66,3 |
| 18090 93 | Sémaphore de Fécamp | xxx | 458 325,00 | 231 602,90 | 131,0 |
| 18090 94 | Station au sémaphore de Fécamp | | 458 352,60 | 231 552,10 | 104,0 |
| 18090 95 | Clocher N-D du Salut à Fécamp | xxx | 458 450,80 | 231 554,90 | 131,4 |
| 18090 96 | Pylone ORTF à Fécamp | xxx | 458 727,50 | 231 311,80 | 130,0 |
| 18090 97 | Clochet St Etienne | xxx | 458 785,00 | 230 564,10 | 55,0 |
| 18090 98 | Abbaye La Trinité | xxx | 459 160,20 | 230 240,10 | 75,3 |
| 18090 99 | Chateau d'eau de la côte St Jacques | xxxx | 459 673,60 | 229 424,80 | 137,0 |
| 18090 100 | Usine d'incinération | xx | 459 949,70 | 231 848,10 | 147,0 |
| 18090 101 | Clocher de Senneville (Fécamp) | xx | 461 638,63 | 232 141,78 | 139,5 |
| 18090 102 | Chateau d'eau Toussaint | xx | 462 527,20 | 227 638,70 | 145,0 |
| 18090 103 | Clocher d'Eletot | x | 464 310,50 | 233 834,80 | 134,5 |
| 18090 104 | Clocher de St Pierre-en-Port | xx | 467 398,20 | 235 784,40 | 119,4 |
| 18090 105 | Chateau d'eau de St Pierre-en-Port | xx | 468 094,57 | 235 529,25 | 113,1 |
| 18090 106 | Chateau d'eau de St Martin-aux-Bruneaux | | | | |
| | | xx | 471 172,03 | 236 877,30 | 108,4 |
| 18090 107 | Clocher de St Martin-aux-Bruneaux | xx | 471 740,30 | 237 702,40 | 126,7 |
| 18090 108 | Clocher de Malleville-les-Grès | xx | 475 657,60 | 238 307,50 | 95,5 |
| 18090 109 | Clocher de Conteville | xxx | 476 906,30 | 240 148,50 | 102,1 |
| 18090 110 | Pylone météo de la centrale de Paluel | xxxx | 477 206,90 | 240 946,90 | 148,0 |
| 18090 111 | Chateau d'eau de Paluel Janville | xxxx | 477 575,60 | 238 673,54 | 110,4 |
| 18090 112 | Clocher d'Ingouville | xx | 481 320,66 | 238 872,17 | 119,6 |
| 18090 113 | Chateau d'eau de St-Valéry-en-Caux | xxx | 482 301,30 | 241 730,80 | 81,4 |
| 18090 114 | Feu Ouest de St-Valéry-en-Caux | xx | 483 010,30 | 242 808,40 | 20,0 |
| 18090 115 | Feu Est de St-Valéry-en-Caux | x | 483 104,30 | 242 782,00 | 13,0 |
| 18090 116 | Clocher de St-Valéry-en-Caux | x | 483 947,80 | 241 360,50 | 55,1 |
| 18090 117 | Pylone à Ectot | xxxx | 484 993,70 | 241 709,10 | 128,0 |
| 18090 118 | Clocher de Maneville-les-Plaines | x | 486 341,00 | 240 625,50 | 104,7 |
| 18090 119 | Clocher de Veules-les-Roses | x | 489 394,00 | 242 733,00 | 43,0 |
| 18090 120 | Clocher de Sotteville-sur-Mer | xxx | 491 679,97 | 243 649,98 | 71,1 |
| 18090 121 | Chateau d'eau de Sotteville-sur-Mer | xxxx | 491 847,60 | 243 861,60 | 75,0 |
| 18090 122 | Réservoir de Sotteville-sur-Mer | x | 492 721,20 | 243 190,10 | 55,0 |
| 18090 123 | Chateau d'eau de Quiberville | xxxx | 498 226,10 | 245 376,80 | 91,0 |
| 18090 124 | Clocher de Quiberville | xx | 498 267,30 | 245 353,60 | 74,3 |
| 18090 125 | Clocher de Varengueville | xxx | 502 776,60 | 247 227,10 | 98,6 |

AMERS

Carreau Marsden : 18091

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 1 | | |
|----------|---|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 18091 1 | Phare Est de Dieppe | xx | 510 106,80 | 249 271,40 | 18,4 |
| 18091 2 | Blockhaus au panorama de Dieppe | | 508 962,30 | 248 051,40 | 54,0 |
| 18091 3 | Chateau d'eau, tour Ouest à Dieppe | xxx | 509 062,50 | 248 014,10 | 64,0 |
| 18091 4 | Clocher St Rémy à Dieppe | xxx | 509 331,20 | 248 019,20 | 48,0 |
| 18091 5 | Chateau d'eau de Vasarelli à Dieppe | xxxx | 509 333,50 | 245 442,40 | 122,0 |
| 18091 6 | Clocher de St Jacques à Dieppe, mât central | xxx | 509 643,10 | 248 077,60 | 56,4 |
| 18091 7 | Feu Ouest de Dieppe (phare) | xxx | 510 007,20 | 249 212,30 | 17,0 |
| 18091 8 | Mât de signaux à Dieppe | xx | 510 053,00 | 248 988,00 | 23,0 |
| 18091 9 | Feu violet à Dieppe | x | 510 228,20 | 248 865,00 | 16,0 |
| 18091 10 | Feu antérieur de l'alignement de Dieppe | x | 510 263,90 | 248 948,10 | 24,0 |
| 18091 11 | Clocher de N-D des Grèves | x | 510 295,20 | 248 132,60 | — |
| 18091 12 | Feu postérieur de l'alignement à Dieppe | x | 510 396,50 | 248 794,70 | 40,0 |
| 18091 13 | Clocher de N-D du Bon Secours | xxxx | 510 423,10 | 248 785,30 | 67,3 |
| 18091 14 | Sémaphore de Dieppe, mât de signaux | xx | 510 430,90 | 248 862,90 | 55,0 |
| 18091 15 | Pylone ORTF à Neuville-les-Dieppe | xx | 511 152,90 | 247 597,90 | 103,0 |
| 18091 16 | Clocher de Neuville-les-Dieppe | xx | 511 371,40 | 247 688,70 | 95,6 |
| 18091 17 | Chateau d'eau de Neuville (Dieppe) | xxx | 512 118,00 | 247 770,21 | 94,1 |
| 18091 18 | Chateau d'eau de Camp César | xxxx | 512 316,85 | 249 491,35 | 74,4 |
| 18091 19 | Silo rouge à Dieppe | xx | 512 488,30 | 247 844,60 | 108,0 |
| 18091 20 | Pylone PTT d'Etran | xxx | 513 627,30 | 247 475,00 | 165,0 |
| 18091 21 | Clocher de Bracquemont | xx | 514 073,90 | 249 555,90 | 102,2 |
| 18091 22 | Clocher de Belleville-sur-Mer | xx | 515 836,60 | 250 645,80 | 119,0 |
| 18091 23 | Clocher de Berneval-le-Grand | xx | 517 511,10 | 251 685,10 | 121,0 |
| 18091 24 | Clocher de St Martin-en-Campagne | x | 520 112,11 | 251 410,33 | 145,9 |

AMERS

Carreau Marsden : 21601

| Numéro | Désignation de l'amer | Importance | Coordonnées en Lambert 1 | | |
|-----------|--|------------|--------------------------|------------|-------|
| | | | X (m) | Y (m) | Z (m) |
| 21601 14 | Chateau d'eau du Tréport Grange | xxx | 530 512,61 | 261 472,68 | 124,3 |
| 21601 19 | Feu Ouest du Tréport | xx | 530 734,70 | 263 253,70 | 22,6 |
| 21601 32 | Statue de N-D de La Falaise (Mers-les-Bains) | xxx | 532 352,20 | 264 191,60 | 99,0 |
| 21601 127 | Phare d'Ault | xxxx | 536 853,36 | 267 659,87 | 103,1 |
| 21601 131 | Clocher de Tocqueville-sur-Eu | xxx | 524 563,40 | 256 366,50 | 102,9 |
| 21601 132 | Clocher de Criel-sur-Mer | x | 527 109,90 | 257 948,70 | 40,7 |
| 21601 133 | Chateau d'eau de Criel-sur-Mer | xx | 527 625,90 | 260 225,60 | 82,0 |
| 21601 134 | Chateau d'eau « Le Quesnet » | xx | 529 370,30 | 259 362,80 | 89,0 |
| 21601 135 | Clocher de Flocques | xxx | 530 235,50 | 260 212,80 | 110,2 |
| 21601 136 | Calvaire du Tréport | xx | 530 614,90 | 262 687,80 | 101,1 |
| 21601 137 | Feu Est du Tréport | x | 530 832,20 | 263 223,00 | 25,0 |
| 21601 138 | Mât du Tréport | xx | 530 840,00 | 263 213,30 | 21,0 |
| 21601 139 | Clocher du Tréport | xxx | 531 041,20 | 262 723,30 | 69,0 |
| 21601 140 | Clocher de Mers-le-Bains | xxx | 532 060,90 | 263 661,90 | 58,0 |
| 21601 141 | Chateau d'eau de Mers-les-Bains | xx | 532 516,90 | 263 049,00 | 33,0 |
| 21601 142 | Pylone PTT d'Étalondes | xxx | 533 000,80 | 260 673,10 | 156,0 |
| 21601 143 | Pylone TV de Mers-les-Bains | xx | 533 113,00 | 263 606,00 | 123,0 |
| 21601 144 | Chateau d'eau de Mathomesnil | xxx | 533 671,70 | 260 949,60 | 115,0 |
| 21601 145 | Clocher de Bois de Cise | xx | 535 139,80 | 265 470,50 | 101,1 |
| 21601 146 | Clocher de St Quentin-la-Motte | xx | 536 766,80 | 264 160,10 | 124,1 |

ANNEXE 2

Epaves et obstructions déterminées

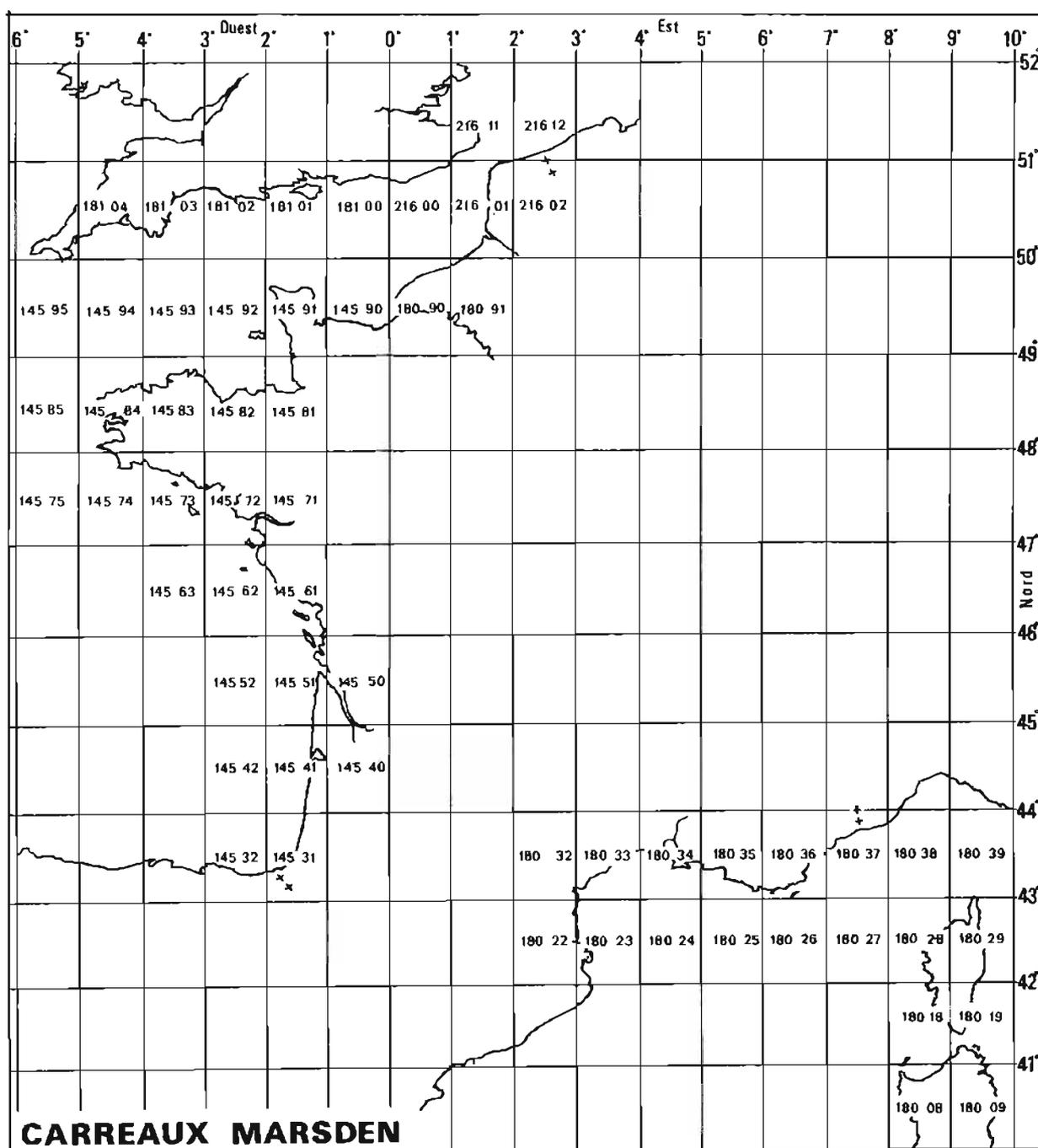
Première partie : liste des épaves reconnues existantes

Les épaves sont classées selon le fichier de l'Établissement Principal par carreau Marsden, découpage dont la grille est rappelée ci-dessous. Commentons les notations utilisées sur la première épave de la liste, prise pour exemple :

numéro 14551 002 : 2^e épave du carreau Marsden 14551

détermination 3 : épave dont les caractéristiques ont été recherchées une 3^e fois

brassage (cote du sommet de l'épave rapportée au zéro hydrographique) : *2,7 m dans le cas particulier étudié l'épave est découverte de 2,7 mètres.



| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes et fraction décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|---|------------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (Ouest) | | |
| 14551 002 | 3 | Chalutier (découvrant) | 45°59', 508 | 1°09', 530 | *2,7 | 4 |
| 14561 062 | 2 | Vapeur Cap Nord (20/4/1917) | 46°06', 947 | 1°21', 328 | 18,8 | 24 |
| 87 | 1 | Echo douteux (1981) | 46°19', 400 | 1°39', 300 | 5,0 | 15 |
| 90 | 2 | Voilier Atalante 1982 | 46°05', 792 | 1°14', 582 | 14,0 | 15 |
| 92 | 1 | Inconnu | 46°06', 249 | 1°15', 202 | 14,0 | 15 |
| 93 | 1 | Inconnu | 46°06', 552 | 1°16', 069 | 19,9 | 21 |
| 14573 046 | 2 | Obstruction découvrante (1951) | 47°43', 743 | 3°20', 938 | *2,1 | 3 |
| 058 | 3 | Ponton Yser (1945) | 47°43', 523 | 3°21', 117 | 0,4 | 8 |
| 063 | 5 | Aviso Audacieuse (1945) | 47°43', 364 | 3°21', 309 | *0,1 | 2 |
| 064 | 2 | Bateau découvrant | 47°43', 316 | 3°21', 402 | *0,3 | 2 |
| 198 | 1 | Inconnu | 47°43', 838 | 3°21', 253 | 1,5 | 5 |
| 199 | 1 | Inconnu | 47°43', 602 | 3°21', 239 | 0,4 | 2 |
| 200 | 1 | Inconnu | 47°43', 093 | 3°21', 502 | 8,0 | 10 |
| 201 | 1 | Inconnu | 47°43', 233 | 3°21', 586 | 1,7 | 5 |
| 202 | 1 | Inconnu | 47°43', 310 | 3°21', 242 | 4,9 | 6 |
| 203 | 1 | Inconnu | 47°43', 266 | 3°21', 385 | 0,7 | 2 |
| 14590 005 | 4 | USS Firestone | 49°49', 575 | 0°51', 566 | 35,0 | 43 |
| 010 | 3 | LCT 875 (8/6/1944) | 49°48', 028 | 0°28', 005 | 33,8 | 40 |
| 027 | 2 | Inconnu (1945) | 49°37', 608 | 0°54', 375 | 33,0 | 35 |
| 040 | 2 | Chaloupe (1971) | 49°34', 989 | 0°51', 456 | 27,7 | 30 |
| 044 | 2 | Inconnu (1971) | 49°33', 884 | 0°53', 111 | 25,1 | 28 |
| 046 | 3 | Bugalet (1971) | 49°33', 251 | 0°58', 786 | 23,3 | 26 |
| 050 | 2 | Inconnu | 49°32', 771 | 0°56', 879 | 20,9 | 25 |
| 056 | 3 | LCT (1944) | 49°32', 295 | 0°49', 667 | 20,3 | 25 |
| 064 | 3 | LCT (1971) | 49°31', 318 | 0°46', 671 | 22,1 | 24 |
| 080 | 2 | LCM (1955) | 49°30', 243 | 0°47', 828 | 21,5 | 23 |
| 88 | 2 | LCM (1944) | 49°29', 982 | 0°52', 503 | 20,1 | 21 |
| 092 | 4 | Cargo Suson Antony (7/6/44) | 49°29', 489 | 0°42', 786 | 14,3 | 24 |
| 095 | 2 | LST 523 (19/6/1944) | 49°28', 700 | 0°57', 908 | 12,4 | 21 |
| 096 | 3 | LCM (1944) | 49°28', 661 | 0°46', 171 | 19,4 | 23 |
| 097 | 3 | LCT (1944) | 49°28', 718 | 0°43', 594 | 21,0 | 23 |
| 101 | 2 | Inconnu 1966 | 49°28', 889 | 0°42', 698 | 18,9 | 24 |
| 106 | 2 | 2 remorqueurs 1955 | 49°27', 563 | 0°54', 745 | 14,4 | 20 |
| 112 | 2 | Caisson Phoenix 1954 | 49°26', 718 | 0°48', 348 | 10,2 | 24 |
| 116 | 2 | Pousseur 1955 | 49°26', 577 | 0°54', 270 | 18,3 | 20 |
| 117 | 3 | LCT 1944 | 49°26', 675 | 0°44', 392 | 19,8 | 23 |
| 118 | 3 | LCP 1952 | 49°26', 330 | 0°38', 530 | 19,6 | 21 |
| 122 | 2 | Remorqueur 1955 | 49°25', 923 | 0°56', 749 | 14,3 | 20 |
| 123 | 2 | Chalutier 1955 | 49°25', 953 | 0°53', 665 | 15,7 | 21 |
| 125 | 2 | 3 épaves rapprochées (Ponton...) | 49°25', 880 | 0°48', 773 | 18,2 | 23 |
| 127 | 2 | LCM 1951 | 49°25', 792 | 0°45', 216 | 20,5 | 22 |
| 130 | 4 | Empire Broadsword (7/2/1944) | 49°25', 399 | 0°53', 049 | 2,4 | 20 |
| 132 | 3 | Petit cargo 1950 | 49°25', 316 | 0°12', 883 | 17,4 | 25 |
| 133 | 3 | Caboteur 1951 | 49°25', 108 | 0°44', 453 | 15,2 | 21 |
| 142 | 2 | Ponton 1944 | 49°24', 626 | 0°50', 282 | 16,3 | 20 |
| 143 | 3 | Caisson juin 1944 | 49°24', 710 | 0°42', 196 | 14,0 | 18 |
| 149 | 3 | LCT | 49°24', 309 | 0°39', 914 | | 16 |
| 150 | 2 | LCT 1944 | 49°24', 217 | 0°45', 872 | 17,4 | 20 |
| 163 | 2 | Petit cargo 1950 | 49°22', 507 | 0°14', 715 | 10,5 | 15 |
| 178 | 3 | LST 1944 | 49°21', 198 | 0°15', 042 | 7,1 | 12 |
| 188 | 3 | LST juin 1944 | 49°20', 486 | 0°14', 837 | 4,8 | 10 |
| 206 | 3 | Inconnu 1973 | 49°46', 720 | 0°34', 878 | 32,7 | 38 |
| 210 | 5 | Grand cargo 1973 | 49°50', 049 | 0°26', 001 | 35,4 | 40 |
| 211 | 3 | Inconnu 1973 | 49°49', 413 | 0°27', 004 | 37,0 | 40 |
| 212 | 4 | Ponton 1973 | 49°50', 951 | 0°29', 718 | 35,0 | 41 |
| 214 | 4 | Ponton 1973 | 49°51', 079 | 0°30', 197 | 37,0 | 41 |
| 215 | 2 | Inconnu 1973 | 49°49', 751 | 0°30', 215 | 34,9 | 40 |
| 216 | 2 | Inconnu 1973 | 49°48', 745 | 0°29', 844 | 30,7 | 38 |
| 218 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 889 | 0°33', 317 | 35,2 | 41 |

* (découvrant)

| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes et fraction décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|---|------------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (Ouest) | | |
| 14590 219 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 556 | 0°34', 774 | 40,5 | 41 |
| 220 | 3 | Inconnu 1973 | 49°49', 975 | 0°43', 529 | 39,5 | 41 |
| 221 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 634 | 0°44', 518 | 41,5 | 44 |
| 222 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 650 | 0°45', 154 | 42,9 | 44 |
| 223 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 628 | 0°44', 768 | 40,2 | 44 |
| 224 | 2 | Inconnu 1973 | 49°50', 757 | 0°46', 217 | 43,2 | 46 |
| 225 | 2 | Inconnu (L = 200 m) 1973 | 49°50', 846 | 0°47', 416 | 40,1 | 45 |
| 226 | 2 | Inconnu 1973 | 49°51', 703 | 0°50', 750 | 39,6 | 45 |
| 228 | 3 | Inconnu 1973 | 49°48', 192 | 0°38', 983 | 24,9 | 38 |
| 231 | 2 | Inconnu 1973 | 49°47', 159 | 0°36', 114 | 32,9 | 39 |
| 232 | 2 | Inconnu 1973 | 49°46', 965 | 0°26', 418 | 33,8 | 38 |
| 235 | 3 | Inconnu 1973 | 49°48', 073 | 0°31', 702 | 34,2 | 38 |
| 236 | 2 | Inconnu 1973 | 49°49', 568 | 0°45', 010 | 33,3 | 40 |
| 238 | 3 | Inconnu 1973 | 49°47', 648 | 0°25', 523 | 36,0 | 38 |
| 250 | 4 | Ponton 1973 | 49°54', 906 | 0°27', 469 | 42,2 | 46 |
| 251 | 4 | Ponton Brackenfield 1973 | 49°54', 086 | 0°26', 891 | 41,6 | 46 |
| 255 | 2 | Inconnu 1973 | 49°43', 941 | 0°50', 643 | 44,0 | 49 |
| 256 | 2 | Inconnu 1973 | 49°43', 038 | 0°52', 196 | 45,9 | 48 |
| 258 | 4 | Ponton 1974 | 49°54', 572 | 0°37', 611 | 45,1 | 48 |
| 266 | 4 | Caboteur 1974 | 49°54', 136 | 0°33', 054 | 38,9 | 45 |
| 274 | 4 | Chaland 1974 | 49°50', 717 | 0°27', 671 | 38,3 | 41 |
| 276 | 2 | Inconnu 1974 | 49°33', 111 | 0°49', 284 | 25,4 | 27 |
| 298 | 3 | LCT coulé le 25/8/44 | 49°48', 461 | 0°46', 037 | 36,7 | 40 |
| 299 | 2 | Obstruction 1975 | 49°46', 503 | 0°30', 789 | 35,0 | 38 |
| 306 | 2 | Obstruction 1975 | 49°47', 718 | 0°50', 560 | 40,6 | 42 |
| 344 | 2 | Inconnu 1975 | 49°34', 307 | 0°58', 985 | 25,2 | 30 |
| 350 | 2 | Chalutier le Magicien 23/12/72 | 49°42', 947 | 0°36', 647 | 29,4 | 33 |
| 368 | 2 | Inconnu 1944 | 49°58', 154 | 0°25', 605 | 41,6 | 48 |
| 371 | 2 | LCT 2426 (6/6/1944) | 49°59', 382 | 0°28', 116 | 48,0 | 51 |
| 409 | 1 | Inconnu 1980 | 49°42', 631 | 0°43', 834 | 35,3 | 40 |
| 417 | 1 | Débris | 49°20', 161 | 0°12', 879 | 7,0 | 10 |
| 419 | 1 | Inconnu (1982) | 49°42', 145 | 0°28', 541 | 32,6 | 35 |
| 420 | 2 | Petit caboteur | 49°57', 253 | 0°40', 398 | 44,1 | 47 |
| 422 | 1 | Inconnu | 49°32', 228 | 0°53', 522 | 21,4 | 23 |
| 423 | 1 | Inconnu | 49°24', 242 | 0°49', 214 | 17,1 | 19 |
| 424 | 1 | Avion | 49°24', 398 | 0°46', 961 | 19,2 | 20 |
| 425 | 1 | Inconnu | 49°23', 838 | 0°47', 702 | 15,7 | 19 |
| 426 | 1 | Inconnu | 49°23', 986 | 0°49', 206 | 16,6 | 19 |
| 427 | 1 | Inconnu | 49°23', 630 | 0°50', 151 | 16,6 | 19 |
| 428 | 1 | Inconnu | 49°24', 673 | 0°40', 191 | 16,0 | 19 |
| 429 | 1 | Inconnu | 49°24', 975 | 0°40', 024 | 15,9 | 20 |
| 430 | 1 | Inconnu | 49°35', 374 | 0°50', 688 | 28,3 | 30 |
| 431 | 1 | Inconnu | 49°34', 581 | 0°56', 722 | 28,4 | 29 |
| 432 | 1 | Inconnu | 49°26', 673 | 0°49', 615 | 19,6 | 23 |
| 433 | 1 | Inconnu | 49°26', 669 | 0°49', 809 | 20,3 | 24 |
| 434 | 2 | Inconnu | 49°36', 885 | 0°48', 651 | 27,2 | 33 |
| 435 | 1 | Inconnu | 49°49', 223 | 0°29', 617 | 36,8 | 39 |
| 436 | 1 | Inconnu | 49°49', 493 | 0°22', 586 | 37,5 | 39 |
| 437 | 1 | Inconnu | 49°57', 117 | 0°52', 606 | 56,3 | 61 |
| 438 | 1 | Inconnu | 49°54', 617 | 0°53', 491 | 41,8 | 47 |
| 439 | 1 | Inconnu | 49°49', 504 | 0°51', 220 | 40,3 | 44 |
| 440 | 1 | Inconnu | 49°51', 406 | 0°47', 821 | 40,7 | 45 |
| 441 | 1 | Inconnu | 49°39', 254 | 0°49', 286 | 29,7 | 35 |
| 442 | 1 | Inconnu | 49°39', 704 | 0°48', 413 | 30,3 | 35 |
| 443 | 1 | Inconnu | 49°40', 657 | 0°45', 052 | 40,7 | 48 |

| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes, fractions décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (E à l'Est W à l'Ouest) | | |
| 14590 444 | 1 | Inconnu | 49°42', 968 | 0°43', 976 W | 36,2 | 39 |
| 445 | 1 | Inconnu | 49°44', 822 | 0°53', 084 W | 45,8 | 48 |
| 446 | 1 | Inconnu | 49°44', 980 | 0°51', 074 W | 46,0 | 47 |
| 447 | 1 | Inconnu | 49°49', 912 | 0°25', 876 W | 38,0 | 40 |
| 448 | 1 | Inconnu | 49°39', 293 | 0°54', 238 W | 34,3 | 35 |
| 14591 064 | 2 | Cargo Norfolk (21/7/1944) | 49°28', 800 | 1°03', 768 W | 6,0 | 17 |
| 69 | 3 | USS Meredith (9/6/1944) | 49°27', 275 | 1°00', 242 W | 13,6 | 18 |
| 198 | 2 | Inconnu | 49°35', 191 | 1°03', 522 W | 28,7 | 30 |
| 163 | 1 | Vedette lance torpilles | 49°57', 639 | 0°59', 711 E | 14,6 | 17 |
| 18091 003 | 4 | Petit cargo « River Type » 1944 | 49°56', 320 | 1°04', 530 E | 3,6 | 6 |
| 04 | 3 | HMS Franklin 1944 | 49°56', 300 | 1°04', 750 E | 4,2 | 6 |
| 06 | 4 | LCT 1942 | 49°56', 118 | 1°04', 703 E | 1,5 | 4 |
| 10 | 2 | Obstruction en 3 morceaux | 49°56', 167 | 1°05', 250 E | 1,5 | 5 |
| 11 | 4 | Barge (11/1/1975) | 49°57', 120 | 1°01', 210 E | 6,0 | 11 |
| 14 | 1 | HMS Berkeley | 49°59', 767 | 1°02', 500 E | 8,7 | 20 |
| 15 | 1 | Chaland long de 30 m | 49°55', 960 | 1°01', 880 E | 2,9 | 8 |
| 16 | 1 | Cargo de 100 mètres | 49°58', 680 | 1°03', 050 E | 10,8 | 16 |
| 17 | 1 | Ponton de 30 mètres | 49°59', 770 | 1°00', 860 E | 15,6 | 13 |
| 18 | 1 | Chaland de 35 mètres | 49°57', 760 | 1°01', 300 E | 7,9 | 13 |
| 18100 002 | 2 | Inconnu 1944 | 50°08', 289 | 0°39', 119 W | 40,2 | 49 |
| 003 | 2 | Inconnu 1945 | 50°05', 978 | 0°43', 928 W | 49,4 | 52 |
| 005 | 2 | Inconnu 1945 | 50°02', 323 | 0°34', 874 W | 47,0 | 52 |
| 010 | 2 | Inconnu 1976 | 50°16', 933 | 0°02', 300 W | 41,7 | 48 |
| 011 | 2 | Inconnu 1976 | 50°16', 191 | 0°11', 901 W | 42,2 | 49 |
| 018 | 2 | Vapeur Dresden 1916 | 50°00', 998 | 0°40', 060 W | 49,5 | 53 |
| 021 | 2 | Sous-marin U741 15/8/1944 | 50°02', 849 | 0°34', 688 W | 47,4 | 49 |
| 022 | 2 | Inconnu 1944 | 50°02', 665 | 0°28', 302 W | 51,4 | 56 |
| 025 | 2 | Inconnu 1944 | 50°03', 242 | 0°24', 635 W | 45,7 | 52 |
| 027 | 2 | Inconnu 1944 | 50°03', 783 | 0°32', 289 W | 40,7 | 47 |
| 028 | 2 | Le Hoodness (5/9/74) | 50°06', 619 | 0°37', 748 W | 49,5 | 51 |
| 033 | 2 | Inconnu 1944 | 50°08', 539 | 0°49', 971 W | 46,7 | 50 |
| 034 | 2 | Vapeur Orminster (25/8/1944) | 50°09', 599 | 0°42', 750 W | 37,8 | 48 |
| 036 | 2 | Inconnu 1977 | 50°09', 570 | 0°14', 781 W | 40,1 | 46 |
| 039 | 2 | Inconnu 1944 | 50°12', 876 | 0°16', 358 W | 34,7 | 48 |
| 042 | 2 | Vapeur Pingon (4/7/1944) | 50°11', 796 | 0°45', 231 W | 40,9 | 48 |
| 044 | 2 | Inconnu 1945 | 50°12', 233 | 0°54', 831 W | 47,0 | 53 |
| 045 | 2 | HMS Loyalty ? (22/8/1944) | 50°12', 869 | 0°40', 727 W | 42,3 | 49 |
| 195 | 2 | Inconnu 1978 | 50°15', 166 | 0°23', 449 W | 39,9 | 45 |
| 199 | 2 | Inconnu 1980 | 50°09', 114 | 0°10', 304 W | 36,8 | 48 |
| 203 | 1 | Inconnu | 50°11', 333 | 0°00', 117 W | 42,5 | 47 |
| 204 | 1 | Inconnu | 50°13', 185 | 0°37', 890 W | 47,7 | 52 |
| 205 | 1 | Inconnu | 50°02', 260 | 0°29', 443 W | 55,9 | 58 |
| 208 | 1 | Inconnu | 50°11', 435 | 0°51', 141 W | 44,3 | 50 |
| 209 | 1 | Inconnu | 50°13', 630 | 0°52', 539 W | 53,3 | 55 |
| 210 | 1 | Inconnu | 50°12', 170 | 0°50', 432 W | 44,1 | 49 |
| 211 | 1 | Inconnu | 50°12', 807 | 0°43', 945 W | 42,5 | 49 |
| 212 | 1 | Inconnu | 50°12', 862 | 0°44', 416 W | 46,1 | 49 |
| 213 | 1 | Inconnu | 50°05', 266 | 0°47', 168 W | 51,7 | 54 |
| 214 | 1 | Inconnu | 50°04', 715 | 0°40', 895 W | 43,7 | 49 |
| 215 | 1 | Inconnu | 50°04', 732 | 0°51', 744 W | 48,4 | 58 |

| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes et fractions décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|--|----------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (Est) | | |
| 21601 061 | 2 | Caboteur Trégor (14/1/1966) | 50°49', 995 | 1°24', 923 | 48,9 | 57 |
| 21601 166 | 2 | Inconnu (1974) | 50°56', 601 | 1°29', 660 | 48,8 | 55 |
| 21601 168 | 2 | Inconnu (1974) | 50°55', 467 | 1°31', 346 | 30,9 | 43 |
| 21601 235 | 2 | Inconnu 26/1/1955 (Colbert?) | 50°57', 413 | 1°30', 544 | 39,5 | 48 |
| 258 | 1 | Inconnu | 50°57', 637 | 1°32', 917 | 34,7 | 45 |
| 259 | 1 | Inconnu | 50°56', 172 | 1°31', 669 | 37,4 | 40 |
| 260 | 1 | Inconnu | 50°53', 606 | 1°28', 319 | 45,8 | 53 |
| 261 | 1 | Inconnu | 50°53', 412 | 1°27', 981 | 48,6 | 54 |
| 262 | 1 | Inconnu | 50°52', 291 | 1°26', 905 | 45,9 | 54 |
| 263 | 1 | Inconnu | 50°48', 111 | 1°24', 572 | 45,4 | 54 |
| 264 | 1 | Inconnu | 50°47', 481 | 1°25', 418 | 36,3 | 54 |
| 265 | 1 | Inconnu | 50°46', 605 | 1°25', 503 | 40,8 | 49 |
| 266 | 1 | Inconnu | 50°43', 755 | 1°22', 863 | 47,8 | 51 |
| 267 | 1 | Inconnu | 50°42', 632 | 1°20', 312 | 45,4 | 51 |
| 268 | 1 | Inconnu | 50°40', 769 | 1°16', 194 | 41,9 | 49 |
| 269 | 1 | Inconnu | 50°38', 646 | 1°19', 259 | 51,5 | 56 |
| 21611 016 | 3 | Inconnu (1970) | 51°04', 057 | 1°40', 751 | 29,6 | 38 |
| 018 | 3 | Inconnu (1919) | 51°03', 629 | 1°38', 985 | 39,4 | 39 |
| 048 | 2 | Inconnu (1974) | 51°09', 300 | 1°43', 278 | 32,9 | 37 |
| 062 | 2 | Inconnu | 51°07', 735 | 1°40', 670 | 35,0 | 37 |
| 063 | 2 | Inconnu | 51°10', 021 | 1°42', 675 | 33,5 | 37 |
| 088 | 3 | Chalutier Questonic | 51°06', 970 | 1°41', 756 | 30,1 | 37(1) |
| 091 | 1 | Inconnu | 51°05', 815 | 1°39', 982 | 33,4 | 36 |
| 21612 251 | 1 | Inconnu | 51°09', 167 | 2°13', 325 | 17,8 | 27 |
| 252 | 1 | Inconnu | 51°07', 356 | 2°08', 596 | 20,6 | 27 |
| 253 | 1 | Inconnu | 51°07', 326 | 2°08', 772 | 16,4 | 26 |
| 254 | 1 | Inconnu | 51°07', 457 | 2°09', 238 | 20,0 | 25 |

(1) Tentative de relevage de ce chalutier en juillet 1982.

(2^e partie)

Epaves pour lesquelles a été prise la décision « n'existe pas »

Cette décision a été prise après des recherches au sondeur, magnétomètre, sonar latéral. Pour une épave (P.A) — à la position approchée seulement connue — la recherche a été faite dans un cercle de 1 mille autour de la position présumée.

| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes et fractions décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|--|------------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (Ouest) | | |
| 14551 006 | 3 | Remorqueur Mourillon 19/11/1940 | 45°58', 220 | 1°06', 140 | — | 1 |
| 14561 059 | 2 | Inconnu 1945 | 46°08', 240 | 1°15', 170 | — | 12 |
| 14561 072 | 2 | Chalutier Perdrix (1.8.1946) | 46°03', 850 | 1°14', 730 | — | 17 |
| 14561 081 | 2 | Crapaud de bouée (1974) | 46°08', 132 | 1°15', 077 | — | 14 |
| 14561 082 | 2 | Bloc rocheux (1974) | 46°07', 849 | 1°14', 827 | — | 20 |
| 14561 083 | 2 | Pile cylindrique (1974) | 46°06', 932 | 1°15', 211 | — | 20 |
| 14584 238 | 1 | Obstruction | 48°22', 881 | 4°29', 774 | 7,8 | 9 |
| 14590 002 | 2 | Obstruction (1944) | 49°55', 050 | 0°45', 000 | — | 49 |
| 009 | 2 | Cordier Francy 1975 | 49°48', 666 | 0°50', 000 | — | 45 |
| 011 | 2 | Inconnu 1945 | 49°45', 960 | 0°49', 800 | — | 44 |
| 012 | 3 | Inconnu 1918 | 49°45', 960 | 0°46', 900 | — | 40 |
| 031 | 2 | Inconnu 1945 | 49°36', 000 | 0°52', 700 | — | — |
| 193 | 2 | Chalutier Cérés 23/9/1948 | 49°19', 500 | 0°11', 333 | — | 08 |
| 254 | 2 | Inconnu 1973 | 49°44', 884 | 0°51', 969 | — | 50 |
| 269 | 2 | Inconnu 1974 | 49°55', 768 | 0°38', 048 | 45,8 | 47 |
| 273 | 2 | Inconnu 1974 | 49°54', 570 | 0°32', 728 | 42,6 | 44 |
| 275 | 2 | Inconnu 1974 | 49°29', 300 | 0°51', 100 | — | 44 |

| (1) numéro | (2) détermination | (3) désignation de l'épave date du sinistre ou 1 ^{re} détermination | coordonnées en degrés, minutes, fractions décimales | | (6) brassage (m) | (7) fond (m) |
|---------------|----------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | (4) L (Nord) | (5) G (E à l'Est W à l'Ouest) | | |
| 282 | 2 | Obstruction (L = 10 m) 1975 | 49°48', 751 | 0°52', 553 W | 41,8 | 44 |
| 283 | 2 | Obstruction (L = 4 m) 1975 | 49°48', 867 | 0°49', 069 W | 40,0 | 42 |
| 286 | 2 | Obstruction (L = 10 m) 1975 | 49°50', 634 | 0°49', 753 W | 43,1 | 45 |
| 287 | 2 | Obstruction (L = 4 m) | 49°47', 051 | 0°46', 736 W | 34,0 | 38 |
| 292 | 2 | Obstruction | 49°45', 917 | 0°37', 752 W | 33,5 | 36 |
| 301 | 2 | Obstruction 1975 | 49°48', 701 | 0°44', 386 W | 38,4 | 40 |
| 305 | 2 | Haut-fond 1975 | 49°47', 934 | 0°53', 486 W | 39,0 | 47 |
| 307 | 2 | Inconnu 1975 | 49°47', 634 | 0°47', 586 W | 38,0 | 39 |
| 308 | 2 | Inconnu 1975 | 49°48', 968 | 0°50', 619 W | 41,8 | 43 |
| 311 | 2 | Inconnu 1975 | 49°47', 417 | 0°43', 719 W | 35,4 | 37 |
| 312 | 2 | Inconnu 1975 | 49°49', 767 | 0°43', 703 W | 31,0 | 39 |
| 349 | 2 | Inconnu 1944 | 49°42', 000 | 0°46', 000 W | — | 32 |
| 354 | 2 | LCM Anderson 29/8/1917 | 49°43', 000 | 0°55', 000 W | — | 40 |
| 357 | 2 | LST (19/8/1944) | 49°47', 000 | 0°50', 000 W | — | 43 |
| 359 | 1 | Inconnu 1945 | 49°49', 000 | 0°25', 000 W | — | 37 |
| 360 | 2 | Inconnu 1945 | 49°51', 000 | 0°38', 000 W | — | 45 |
| 361 | 1 | Inconnu 1944 | 49°51', 500 | 0°25', 500 W | — | 40 |
| 362 | 2 | Sous-marin U390 (5/7/1944) | 49°52', 000 | 0°52', 000 W | — | 45 |
| 363 | 2 | Chalutier Remindo (2/2/1918) | 49°53', 000 | 0°53', 000 W | — | 49 |
| 365 | 1 | Vapeur Emlynverse (25/11/16) | 49°57', 000 | 0°30', 000 W | — | 50 |
| 370 | 2 | Inconnu (1944) | 49°59', 500 | 0°21', 500 W | — | 51 |
| 372 | 1 | Obstruction (1973) | 49°58', 233 | 0°26', 233 W | — | 49 |
| 379 | 2 | Obstruction | 49°48', 175 | 0°46', 015 W | 37,5 | 40 |
| 416 | 2 | Obstruction | 49°19', 150 | 0°14', 170 W | — | 7 |
| 14591 177 | 2 | Dragueur MMS 1019 (2/7/44) | 49°41', 700 | 1°38', 500 W | — | 20 |
| 18091 008 | 4 | Cargo Jakobos (1944) | 49°56', 237 | 1°04', 966 E | 4,5 | 5 |
| 18091 009 | 4 | Cargo Kaupo (1944) | 49°56', 250 | 1°05', 033 E | 4,5 | 5(3) |
| 18091 012 | 2 | Obstruction | 49°55', 716 | 1°05', 066 E | — | 3(4) |
| 18100 004 | 2 | Inconnu | 50°04', 583 | 0°24', 083 W | — | 47 |
| 06 | 2 | MTB 248 ? (1944) | 50°02', 000 | 0°00', 983 W | — | 42 |
| 17 | 2 | Vapeur Oiékast (10/12/1917) | 50°00', 250 | 0°50', 000 W | — | 57 |
| 19 | 2 | Inconnu 1977 | 50°01', 000 | 0°43', 000 W | — | 55 |
| 20 | 2 | Inconnu 1945 | 50°02', 000 | 0°53', 000 W | — | 57 |
| 23 | 2 | Inconnu 1944 | 50°03', 000 | 0°38', 600 W | — | 52 |
| 24 | 2 | Inconnu 1944 | 50°03', 500 | 0°37', 500 W | — | 55 |
| 26 | 2 | Inconnu 1944 | 50°04', 000 | 0°25', 500 W | — | 47 |
| 31 | 2 | Vapeur PLM 4 (27/12/1917) | 50°07', 750 | 0°53', 000 W | — | 52 |
| 32 | 2 | Inconnu 1944 | 50°08', 000 | 0°39', 000 W | — | 53 |
| 35 | 2 | HMS Loyalty ? (22/8/44) | 50°09', 000 | 0°41', 000 W | — | 51 |
| 37 | 2 | Inconnu 1944 | 50°10', 000 | 0°27', 000 W | — | 49 |
| 38 | 2 | Vapeur Maid of Orleans (28/6/44) | 50°10', 000 | 0°40', 000 W | — | 51 |
| 40 | 2 | Inconnu 1955 | 50°12', 000 | 0°26', 000 W | — | 50 |
| 41 | 2 | Inconnu 1957 | 50°12', 000 | 0°37', 000 W | — | 51 |
| 43 | 2 | Inconnu 1945 | 50°12', 000 | 0°53', 000 W | — | 51 |
| 21601 068 | 4 | Chacal (24/5/1940) | 50°48', 027 | 1°35', 819 E | 0,7 | 2(2) |
| 072 | 3 | Caboteur Nicolaw (déc. 69) | 50°46', 204 | 1°33', 164 E | 14,0 | 16(2) |
| 093 | 2 | Gros avion (1954) | 50°38', 833 | 1°16', 533 E | — | 27(1) |
| 21601 229 | 2 | HMS La Forey (23/3/1917) | 50°55', 583 | 1°27', 500 E | — | 46(1) |
| 21611 052 | 2 | Chalutier Colbert (1974) | 51°01', 000 | 1°34', 500 E | — | (1) |
| 21611 059 | 2 | Sous-marin UC26 (9/5/1917) | 51°04', 083 | 1°40', 000 E | — | 38 |

(1) Non retrouvé dans les limites du levé.

(2) Epave arasée; ne constitue plus un danger pour la navigation.

(3) Détruit à l'explosif

(4) Dans le port de Dieppe; a été supprimée.

ANNEXE 3

Coefficients du modèle de marée en Manche

Valeurs adoptées de 1980 à 1983

Remarque : Pour un point donné le premier coefficient est l'amplitude de l'onde (en cm), le second est sa situation (en degrés)
 Dans ce tableau, 999.0 indique que le coefficient n'est pas pris en compte.

| Position | Ondes | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Q1 | O1 | P1 | K1 | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M6 |
| X= 36.7 Y= 296.2 | Coef. 1.5 299.0 | 5.7 342.7 | 2.1 99.1 | 6.1 108.8 | 5.5 164.7 | 32.8 114.2 | 170.9 132.9 | 57.9 172.2 | 16.6 172.8 | 11.3 165.6 | 0.7 331.4 |
| X= 93.8 Y= 214.2 | Coef. 1.9 308.1 | 6.1 342.2 | 2.3 100.3 | 7.1 108.3 | 8.6 171.0 | 35.8 122.0 | 186.6 140.0 | 67.3 186.9 | 19.1 186.7 | 10.0 140.0 | 1.1 258.0 |
| X= 136.7 Y= 132.3 | Coef. 2.0 287.7 | 8.0 325.3 | 2.6 61.8 | 9.0 80.4 | 14.6 154.6 | 50.9 125.5 | 270.5 142.8 | 97.8 187.8 | 28.2 186.4 | 5.4 143.4 | 1.0 232.0 |
| X= 158.0 Y= 271.9 | Coef. 1.8 359.5 | 999.0 999.0 | 2.5 101.5 | 8.2 109.2 | 11.4 189.3 | 33.3 139.8 | 173.5 157.8 | 65.2 208.2 | 17.2 204.5 | 9.1 122.0 | 999.0 999.0 |
| X= 179.2 Y= 312.9 | Coef. 2.1 300.6 | 5.6 346.8 | 2.6 96.8 | 7.8 109.6 | 12.0 195.4 | 31.6 136.1 | 170.1 152.8 | 60.5 205.0 | 17.3 201.3 | 14.0 131.3 | 2.5 162.2 |
| X= 184.1 Y= 189.8 | Coef. 1.9 356.2 | 6.7 340.7 | 2.7 91.1 | 8.4 97.1 | 14.0 178.2 | 46.9 140.8 | 244.2 158.8 | 93.2 206.3 | 25.0 205.5 | 5.9 155.0 | 1.6 204.0 |
| X= 200.6 Y= 149.6 | Coef. 2.2 301.4 | 7.1 337.8 | 2.8 81.5 | 9.0 89.0 | 15.8 176.3 | 58.5 140.0 | 293.6 157.5 | 112.0 204.9 | 31.4 203.6 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 224.0 Y= 114.5 | Coef. 2.4 307.6 | 7.5 339.4 | 3.0 84.1 | 9.3 91.0 | 22.3 196.3 | 69.3 154.2 | 347.8 171.5 | 134.2 221.2 | 37.6 219.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 243.8 Y= 116.9 | Coef. 2.5 308.4 | 7.6 341.4 | 3.0 84.8 | 9.5 92.3 | 22.5 195.1 | 70.5 154.8 | 353.9 172.1 | 136.9 221.7 | 38.4 220.4 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 247.1 Y= 205.8 | Coef. 2.1 311.1 | 6.8 340.6 | 3.0 91.4 | 9.6 97.0 | 17.9 196.9 | 54.8 164.0 | 275.3 181.3 | 108.5 229.6 | 30.4 228.3 | 7.6 289.0 | 999.0 999.0 |
| X= 262.2 Y= 329.3 | Coef. 0.8 290.0 | 5.2 354.0 | 3.2 112.4 | 8.4 114.4 | 10.9 188.3 | 13.5 181.9 | 60.8 190.5 | 31.6 241.1 | 8.9 237.4 | 13.5 25.4 | 5.6 60.9 |
| X= 275.5 Y= 174.4 | Coef. 999.0 999.0 | 7.9 347.0 | 3.7 101.0 | 11.0 101.0 | 999.0 999.0 | 66.7 166.0 | 346.9 182.0 | 125.9 232.0 | 34.1 232.0 | 20.1 301.0 | 999.0 999.0 |
| X= 278.1 Y= 114.8 | Coef. 2.5 314.2 | 8.6 341.3 | 3.7 90.7 | 9.3 96.1 | 25.6 196.7 | 73.7 162.2 | 368.7 178.0 | 143.7 227.4 | 41.6 226.5 | 27.6 279.1 | 2.5 351.5 |
| X= 298.4 Y= 191.6 | Coef. 2.4 316.3 | 7.3 345.0 | 3.0 94.1 | 9.6 98.2 | 20.0 210.4 | 64.6 171.2 | 336.3 189.2 | 129.6 238.7 | 34.4 235.9 | 34.4 316.0 | 3.6 16.0 |
| X= 305.2 Y= 161.6 | Coef. 2.5 312.9 | 7.4 345.9 | 3.1 92.3 | 9.9 97.3 | 25.1 212.9 | 72.6 168.4 | 378.2 186.4 | 146.8 236.8 | 38.6 233.1 | 38.6 294.0 | 7.1 337.0 |
| X= 307.8 Y= 232.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 33.1 206.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 308.7 Y= 135.4 | Coef. 2.5 311.3 | 7.7 345.5 | 3.2 91.4 | 10.2 96.8 | 27.5 210.0 | 77.0 165.0 | 401.3 183.8 | 155.2 233.8 | 41.0 229.7 | 38.6 284.0 | 7.5 336.0 |
| X= 308.9 Y= 252.3 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 27.1 211.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 309.5 Y= 263.4 | Coef. 1.5 321.4 | 5.4 347.6 | 2.8 101.5 | 9.4 106.5 | 7.5 211.0 | 24.1 213.9 | 126.4 230.8 | 49.2 271.5 | 999.0 999.0 | 13.0 4.0 | 999.0 999.0 |
| X= 310.0 Y= 272.7 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 21.7 215.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 310.8 Y= 287.5 | Coef. 1.5 321.8 | 5.5 344.0 | 2.8 103.9 | 9.4 109.6 | 6.4 203.2 | 999.0 999.0 | 91.3 236.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 311.9 Y= 307.8 | Coef. 1.2 319.9 | 5.2 339.5 | 2.7 102.4 | 9.2 108.4 | 6.4 197.7 | 999.0 999.0 | 66.1 245.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 14.6 16.0 | 999.0 999.0 |
| X= 312.4 Y= 339.4 | Coef. 1.2 308.5 | 4.9 335.5 | 2.7 103.6 | 9.3 110.0 | 6.0 190.0 | 999.0 999.0 | 41.8 268.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 312.7 Y= 322.7 | Coef. 1.1 314.4 | 5.1 341.4 | 2.7 102.8 | 9.3 109.0 | 5.9 191.9 | 999.0 999.0 | 54.8 252.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |

| Position | Ondes | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Coordonnées Lambert 1 (en km) | Q1 | O1 | P1 | K1 | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M6 | |
| X= 314.8 Y= 227.9 | Coef. 332.1 | 1.9 354.3 | 6.5 102.3 | 3.0 106.6 | 9.6 225.7 | 7.2 210.3 | 34.6 229.0 | 183.9 271.5 | 69.0 269.5 | 21.4 5.8 | 12.0 95.7 | 3.2 |
| X= 317.4 Y= 231.4 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 33.8 | 179.3 | 64.7 | 20.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 318.0 Y= 242.6 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 31.6 | 159.5 | 59.4 | 19.1 | 999.0 | 999.0 |
| X= 318.5 Y= 251.0 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 28.8 | 149.8 | 54.1 | 17.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 319.5 Y= 272.2 | Coef. 327.4 | 1.6 344.8 | 5.2 102.4 | 2.9 107.5 | 9.5 211.2 | 6.2 224.9 | 22.3 241.2 | 116.6 280.2 | 44.9 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 320.5 Y= 335.2 | Coef. 309.9 | 1.1 335.0 | 4.9 102.4 | 2.7 108.8 | 9.3 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 327.6 Y= 336.7 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 5.0 | 999.0 | 55.7 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 328.2 Y= 230.9 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 34.2 | 999.0 | 67.3 | 21.2 | 999.0 | 999.0 |
| X= 328.8 Y= 242.0 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 31.8 | 166.7 | 59.7 | 19.0 | 999.0 | 2.1 |
| X= 329.2 Y= 251.3 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 38.9 | 150.1 | 53.7 | 17.2 | 999.0 | 999.0 |
| X= 329.8 Y= 262.4 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 25.5 | 133.1 | 48.3 | 15.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 337.9 Y= 232.3 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 34.6 | 187.1 | 63.2 | 19.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 338.4 Y= 241.5 | Coef. 332.4 | 1.7 358.8 | 5.2 103.3 | 2.8 107.1 | 9.1 240.9 | 5.2 232.9 | 33.4 249.9 | 173.7 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 1.4 159.9 |
| X= 338.8 Y= 250.0 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 29.1 | 150.7 | 52.9 | 16.7 | 999.0 | 999.0 |
| X= 339.0 Y= 214.3 | Coef. -30.4 | 1.3 -0.2 | 5.7 108.1 | 2.8 107.1 | 10.0 -79.5 | 6.2 243.0 | 40.3 260.0 | 200.2 305.0 | 72.9 303.0 | 21.4 19.1 | 15.0 194.8 | 4.0 |
| X= 340.2 Y= 280.4 | Coef. 325.4 | 1.3 346.3 | 4.9 104.2 | 2.7 109.1 | 9.2 223.5 | 3.8 249.8 | 22.3 265.5 | 116.7 999.0 | 999.0 | 999.0 | 12.9 12.0 | 999.0 |
| X= 340.4 Y= 209.9 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 40.3 | 217.4 | 74.1 | 22.1 | 999.0 | 999.0 |
| X= 341.1 Y= 323.1 | Coef. 315.0 | 1.0 339.6 | 4.6 103.2 | 2.7 109.0 | 9.3 181.3 | 2.8 999.0 | 999.0 | 82.6 299.9 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 341.5 Y= 354.6 | Coef. 318.8 | 0.9 334.8 | 4.1 104.1 | 2.7 109.9 | 9.5 345.3 | 3.4 999.0 | 999.0 | 139.9 328.1 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 342.4 Y= 226.5 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 36.7 | 999.0 | 999.0 | 20.4 | 999.0 | 999.0 |
| X= 342.5 Y= 228.3 | Coef. 339.5 | 1.8 1.7 | 5.4 104.8 | 2.9 108.5 | 9.4 271.1 | 5.2 999.0 | 999.0 | 194.3 257.5 | 999.0 | 999.0 | 9.4 351.0 | 1.2 190.5 |
| X= 342.9 Y= 311.0 | Coef. 317.7 | 1.1 341.4 | 4.8 102.1 | 2.6 107.7 | 9.1 200.1 | 2.5 999.0 | 999.0 | 83.1 291.3 | 25.7 325.4 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 343.1 Y= 215.3 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 39.8 | 212.8 | 72.4 | 21.8 | 999.0 | 999.0 |
| X= 343.7 Y= 202.3 | Coef. -25.5 | 1.4 1.1 | 5.9 109.9 | 2.8 107.6 | 10.2 -79.0 | 6.6 245.0 | 42.9 265.0 | 213.0 310.0 | 76.8 308.0 | 22.2 308.0 | 20.0 29.1 | 8.0 195.8 |
| X= 345.4 Y= 237.5 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 58.9 | 18.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 346.5 Y= 209.6 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 40.4 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 347.0 Y= 220.7 | Coef. 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 37.9 | 203.1 | 69.0 | 20.8 | 999.0 | 999.0 |

| Position | Ondes | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Coordonnées Lambert 1 (en km) | Q1 | O1 | P1 | K1 | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M6 | |
| X= 347.4 Y= 230.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 36.5 241.4 | 183.6 260.2 | 64.3 304.5 | 19.5 299.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 347.9 Y= 241.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 33.7 241.4 | 174.9 258.8 | 59.2 304.1 | 18.0 298.9 | 999.0 999.0 | 1.4 200.0 | |
| X= 347.9 Y= 189.1 | Coef. 1.5 -20.5 | 6.2 2.4 | 2.8 112.0 | 10.4 108.2 | 6.9 -81.0 | 45.4 250.0 | 225.0 271.0 | 80.3 315.0 | 22.7 313.0 | 22.5 36.9 | 11.0 196.2 | |
| X= 348.9 Y= 261.4 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 28.3 247.4 | 145.8 268.1 | 48.9 309.0 | 15.0 302.5 | 999.0 999.0 | 1.8 177.3 | |
| X= 350.8 Y= 252.1 | Coef. 999.0 999.0 | 51.8 308.2 | 15.8 302.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 353.3 Y= 226.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 192.1 263.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 356.5 Y= 350.2 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 1.1 80.6 | 999.0 999.0 | 148.5 318.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 356.9 Y= 331.6 | Coef. 0.8 318.2 | 4.0 330.0 | 2.6 100.8 | 9.1 102.5 | 1.2 62.6 | 999.0 999.0 | 122.1 318.1 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 357.3 Y= 209.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 39.9 251.1 | 215.0 266.7 | 72.3 312.8 | 21.4 308.4 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 357.5 Y= 344.6 | Coef. 0.7 312.2 | 3.9 329.6 | 2.7 101.5 | 9.4 107.2 | 999.0 999.0 | |
| X= 357.8 Y= 220.2 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 38.6 249.1 | 203.2 265.8 | 68.3 311.4 | 20.4 307.0 | 999.0 999.0 | 4.2 218.1 | |
| X= 358.2 Y= 229.5 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 36.3 248.7 | 194.8 265.5 | 64.9 311.0 | 19.5 306.3 | 999.0 999.0 | 2.3 222.4 | |
| X= 358.6 Y= 238.7 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 176.7 266.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 358.9 Y= 216.5 | Coef. 999.0 999.0 | 69.5 312.3 | 20.8 307.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 359.1 Y= 249.8 | Coef. 1.6 336.2 | 4.8 355.7 | 2.7 101.1 | 9.2 104.9 | 3.4 272.0 | 32.3 252.3 | 166.7 268.5 | 54.8 313.5 | 16.5 307.4 | 13.6 26.5 | 1.4 202.3 | |
| X= 360.0 Y= 270.2 | Coef. 1.2 338.1 | 4.7 351.4 | 2.7 104.3 | 9.0 108.5 | 2.6 269.3 | 27.9 258.2 | 144.5 275.6 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 362.8 Y= 305.3 | Coef. 1.0 325.5 | 4.1 340.9 | 2.6 100.8 | 8.9 105.9 | 1.3 281.3 | 999.0 999.0 | 126.0 298.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 11.7 8.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 363.3 Y= 234.8 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 187.3 269.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 364.5 Y= 206.9 | Coef. 1.8 341.7 | 5.0 2.0 | 2.8 105.1 | 9.4 108.3 | 4.3 307.9 | 40.5 254.7 | 217.8 272.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 21.7 45.8 | 7.2 229.6 | |
| X= 366.6 Y= 199.4 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 41.4 253.5 | 999.0 999.0 | 76.5 316.4 | 22.8 312.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 367.4 Y= 219.8 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 39.5 251.5 | 207.2 271.0 | 70.1 316.6 | 20.8 312.1 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 367.6 Y= 334.8 | Coef. 0.8 314.2 | 4.0 323.2 | 2.6 101.0 | 9.2 106.6 | 1.9 63.1 | 999.0 999.0 | 142.4 315.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 367.8 Y= 229.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 38.5 253.1 | 196.5 272.4 | 66.8 318.1 | 19.7 313.2 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 368.3 Y= 240.2 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 35.8 254.9 | 183.4 272.2 | 61.7 318.9 | 18.3 313.6 | 999.0 999.0 | 2.7 227.7 | |
| X= 369.1 Y= 258.7 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 32.2 259.7 | 159.7 279.2 | 54.5 324.4 | 16.0 318.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 372.0 Y= 214.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 213.0 273.1 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 372.9 Y= 234.4 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 191.5 275.1 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 374.6 Y= 188.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 5.6 309.3 | 43.4 256.4 | 234.1 273.9 | 80.4 319.5 | 23.5 318.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 374.9 Y= 340.1 | Coef. 0.7 318.6 | 3.7 321.8 | 2.6 100.3 | 9.1 105.8 | 1.6 71.3 | 999.0 999.0 | 149.6 315.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |

| Position | Ondes | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Coordonnées Lambert 1 (en km) | Q1 | O1 | P1 | K1 | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M6 | |
| X= 376.6 Y= 208.3 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 42.0 256.4 | 219.3 274.8 | 73.8 321.5 | 21.7 317.6 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 377.1 Y= 219.4 | Coef. 1.6 345.3 | 4.7 0.9 | 2.9 107.3 | 9.5 110.7 | 4.2 313.9 | 40.4 258.1 | 216.9 276.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 17.6 50.4 | 6.4 243.7 | |
| X= 377.2 Y= 223.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 377.4 Y= 228.7 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 38.8 257.4 | 203.8 275.6 | 68.7 321.6 | 20.7 316.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 378.3 Y= 249.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 35.0 262.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 3.1 244.0 | |
| X= 383.5 Y= 319.3 | Coef. 0.8 325.4 | 3.6 331.5 | 2.5 100.6 | 8.8 105.6 | 2.2 30.5 | 999.0 999.0 | 159.7 311.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 384.5 Y= 193.1 | Coef. 1.7 345.9 | 5.0 6.8 | 2.8 106.1 | 9.2 108.8 | 999.0 999.0 | 43.8 258.1 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 23.4 53.6 | 8.6 237.9 | |
| X= 387.1 Y= 198.6 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 232.6 275.7 | 78.8 322.4 | 23.1 318.6 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 387.8 Y= 217.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 42.0 260.5 | 219.1 277.4 | 74.2 324.5 | 21.3 320.4 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 388.6 Y= 237.5 | Coef. 1.6 345.1 | 4.4 3.5 | 2.7 107.6 | 9.0 110.9 | 3.7 327.3 | 38.0 264.0 | 206.7 282.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 13.1 43.8 | 5.0 255.1 | |
| X= 389.4 Y= 257.9 | Coef. 1.3 346.2 | 4.7 0.6 | 2.7 108.9 | 8.9 112.5 | 2.9 343.1 | 35.7 269.0 | 188.1 288.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 3.7 260.6 | |
| X= 392.2 Y= 298.6 | Coef. 1.0 338.7 | 3.6 345.1 | 2.5 104.0 | 8.7 108.3 | 2.5 12.9 | 32.5 283.0 | 170.8 304.7 | 54.6 340.5 | 999.0 999.0 | 6.7 29.6 | 999.0 999.0 | |
| X= 396.4 Y= 189.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 5.4 320.4 | 45.7 259.5 | 242.6 277.7 | 82.7 325.1 | 24.1 321.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 397.1 Y= 207.5 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 43.7 261.4 | 233.3 279.8 | 79.2 326.7 | 23.2 322.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 397.4 Y= 216.7 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 42.2 262.8 | 227.6 280.4 | 76.6 327.2 | 22.4 323.2 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 397.9 Y= 227.9 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 41.0 264.9 | 217.0 282.2 | 73.7 328.5 | 21.4 324.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 400.9 Y= 212.9 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 79.7 327.0 | 23.3 324.2 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 404.4 Y= 340.8 | Coef. 0.6 329.2 | 3.2 322.0 | 2.4 96.8 | 8.7 101.8 | 5.0 30.3 | 36.0 297.8 | 195.7 318.9 | 61.7 4.6 | 16.2 0.8 | 2.9 345.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 406.3 Y= 196.0 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 45.5 261.8 | 242.5 280.3 | 82.2 327.8 | 24.0 324.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 407.1 Y= 216.4 | Coef. 1.7 351.5 | 4.7 7.6 | 2.8 109.6 | 9.2 112.5 | 5.9 326.0 | 43.7 264.8 | 235.3 283.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 17.3 67.6 | 7.5 264.9 | |
| X= 407.3 Y= 223.8 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 76.8 331.6 | 22.3 327.7 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 407.8 Y= 236.8 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 41.7 268.3 | 222.1 287.4 | 73.8 334.1 | 21.3 330.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 409.4 Y= 247.8 | Coef. 1.4 348.6 | 4.0 4.0 | 2.5 109.6 | 8.5 112.5 | 5.2 338.2 | 40.6 271.4 | 214.7 290.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 409.7 Y= 257.1 | Coef. 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 39.9 272.9 | 206.7 293.1 | 69.4 340.1 | 19.8 336.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 411.8 Y= 179.1 | Coef. 1.8 318.6 | 5.6 11.7 | 3.1 111.9 | 9.6 117.1 | 7.9 333.5 | 48.5 263.3 | 259.3 283.9 | 85.0 331.2 | 25.3 330.6 | 28.4 72.4 | 16.5 287.1 | |
| X= 412.0 Y= 184.7 | Coef. 1.8 352.7 | 5.4 10.9 | 2.9 109.3 | 9.4 112.2 | 5.9 325.3 | 49.0 263.5 | 254.0 282.1 | 86.0 327.0 | 24.9 327.0 | 25.0 65.0 | 14.5 273.6 | |
| X= 412.3 Y= 297.8 | Coef. 0.9 350.7 | 3.5 336.1 | 2.5 105.3 | 8.6 109.1 | 5.1 8.3 | 999.0 999.0 | 194.9 306.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | |
| X= 412.6 Y= 203.2 | Coef. 999.0 999.0 | 5.0 9.0 | 2.8 110.0 | 9.3 113.0 | 6.3 327.7 | 47.0 263.0 | 245.0 282.0 | 82.8 329.0 | 24.1 329.0 | 21.3 66.0 | 11.5 270.0 | |

| Position | | Ondes | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coordonnées Lambert 1 (en km) | | Q1 | O1 | P1 | K1. | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M5 |
| X= 413.0 Y= 318.2 | Coef. | 0.6 | 2.9 | 2.4 | 8.6 | 5.1 | 999.0 | 195.1 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 5.2 | 347.7 | 101.5 | 105.8 | 20.2 | 999.0 | 312.7 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 415.7 Y= 106.4 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 253.4 | 85.9 | 25.1 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 281.4 | 328.8 | 325.2 | 999.0 | 999.0 |
| X= 416.0 Y= 195.7 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 46.8 | 247.4 | 83.9 | 24.4 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 263.7 | 202.4 | 330.0 | 326.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 416.2 Y= 271.7 | Coef. | 1.7 | 3.6 | 2.5 | 8.6 | 4.7 | 39.1 | 205.4 | 999.0 | 999.0 | 7.4 | 999.0 |
| | | 349.7 | 358.9 | 108.0 | 111.0 | 354.5 | 279.7 | 299.2 | 999.0 | 999.0 | 73.0 | 999.0 |
| X= 417.7 Y= 351.4 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 5.8 | 999.0 | 204.1 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 29.4 | 999.0 | 318.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 417.9 Y= 216.0 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 45.3 | 239.1 | 80.4 | 23.3 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 266.9 | 285.4 | 332.7 | 329.2 | 999.0 | 999.0 |
| X= 418.3 Y= 227.1 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 44.3 | 232.7 | 78.9 | 22.9 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 268.4 | 287.2 | 334.3 | 330.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 425.9 Y= 349.3 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 6.6 | 999.0 | 208.8 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 25.2 | 999.0 | 319.3 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 426.6 Y= 186.1 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 48.2 | 256.5 | 87.2 | 25.5 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 264.0 | 282.3 | 330.1 | 326.6 | 999.0 | 999.0 |
| X= 426.9 Y= 195.3 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 48.0 | 254.0 | 86.1 | 25.2 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 265.0 | 284.2 | 331.2 | 327.8 | 999.0 | 999.0 |
| X= 427.5 Y= 215.7 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 46.4 | 245.7 | 82.8 | 24.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 268.3 | 286.7 | 334.5 | 331.1 | 999.0 | 999.0 |
| X= 427.9 Y= 226.8 | Coef. | 1.6 | 4.2 | 2.6 | 8.8 | 6.6 | 45.6 | 244.1 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 357.7 | 13.3 | 112.3 | 114.6 | 334.8 | 270.7 | 289.5 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 428.2 Y= 236.1 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 45.0 | 237.0 | 80.3 | 23.1 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 272.9 | 291.3 | 338.4 | 335.2 | 999.0 | 999.0 |
| X= 429.7 Y= 247.2 | Coef. | 1.5 | 3.9 | 2.6 | 8.9 | 6.0 | 44.6 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 10.9 | 5.2 |
| | | 355.3 | 11.7 | 112.0 | 114.7 | 343.5 | 274.8 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 73.6 | 277.5 |
| X= 430.0 Y= 256.4 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 43.9 | 229.3 | 77.2 | 22.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 278.0 | 297.2 | 343.9 | 341.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 431.6 Y= 191.5 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 48.7 | 270.8 | 87.8 | 25.7 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 265.1 | 284.3 | 331.1 | 327.9 | 999.0 | 999.0 |
| X= 432.1 Y= 286.0 | Coef. | 1.0 | 2.9 | 2.3 | 8.1 | 6.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| | | 0.5 | 359.1 | 107.2 | 110.0 | 1.9 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 |
| X= 434.5 Y= 206.2 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 47.7 | 253.3 | 85.9 | 24.9 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 267.8 | 286.5 | 333.8 | 330.5 | 999.0 | 999.0 |
| X= 435.4 Y= 196.9 | Coef. | 1.8 | 5.0 | 2.9 | 9.5 | 7.3 | 48.8 | 263.7 | 89.1 | 25.9 | 24.7 | 15.1 |
| | | 351.5 | 15.2 | 113.2 | 116.0 | 325.2 | 266.8 | 285.2 | 332.0 | 330.0 | 74.2 | 287.0 |
| X= 437.4 Y= 224.7 | Coef. | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 47.2 | 247.6 | 84.0 | 24.2 | 999.0 | 999.0 |
| | | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 999.0 | 99.0 | 271.5 | 291.2 | 330.5 | 335.6 | 999.0 | 999.0 |

| Position | | Ondes | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Coordonnées Lambert 1 (en km) | | Q1 | O1 | P1 | K1 | P2 | N2 | M2 | S2 | K2 | M4 | M6 |
| X= 437.8 Y= 317.4 | Coef. | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 6.1 20.1 | 999.0 999.0 | 217.4 315.3 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 438.3 Y= 213.5 | Coef. | 999.0 999.0 | 18.9 79.1 | 0.6 269.1 |
| X= 439.0 Y= 341.4 | Coef. | 0.2 331.4 | 2.3 314.7 | 2.2 95.8 | 8.1 100.3 | 7.1 27.5 | 999.0 999.0 | 217.1 319.9 | 69.7 9.5 | 20.0 8.5 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 442.4 Y= 219.1 | Coef. | 1.6 333.9 | 4.8 15.7 | 3.0 111.1 | 9.0 120.3 | 7.3 343.2 | 49.6 270.0 | 258.4 288.7 | 85.6 335.6 | 25.7 330.5 | 19.9 82.9 | 10.2 291.2 |
| X= 448.6 Y= 235.5 | Coef. | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 47.8 276.9 | 256.2 295.6 | 86.1 343.2 | 24.8 340.9 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 450.3 Y= 255.8 | Coef. | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 47.4 281.2 | 251.2 300.6 | 84.8 348.6 | 24.2 346.7 | 8.3 109.2 | 999.0 999.0 |
| X= 451.1 Y= 285.5 | Coef. | 1.0 12.8 | 3.0 10.5 | 2.3 111.1 | 7.9 113.0 | 7.1 4.0 | 999.0 999.0 | 241.0 308.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 8.1 155.0 | 999.0 999.0 |
| X= 454.9 Y= 337.3 | Coef. | 0.3 16.3 | 1.6 298.6 | 2.0 92.6 | 7.5 96.8 | 8.6 26.4 | 999.0 999.0 | 237.6 321.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 455.4 Y= 265.0 | Coef. | 999.0 999.0 | 3.3 15.9 | 2.3 113.3 | 8.0 114.8 | 7.8 359.3 | 51.5 287.8 | 233.4 301.4 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 |
| X= 456.9 Y= 231.5 | Coef. | 1.7 1.6 | 4.1 22.9 | 2.6 116.3 | 8.6 118.2 | 7.8 355.7 | 49.5 277.2 | 266.3 297.1 | 88.7 344.6 | 25.8 343.5 | 12.4 113.1 | 6.2 286.9 |
| X= 463.1 Y= 240.7 | Coef. | 1.7 6.3 | 4.1 26.2 | 2.6 116.9 | 8.5 118.5 | 999.0 999.0 | 50.7 279.4 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 10.4 123.1 | 5.2 296.3 |
| X= 463.8 Y= 314.8 | Coef. | 0.6 24.0 | 1.6 342.4 | 2.0 103.6 | 7.4 106.0 | 8.2 15.5 | 999.0 999.0 | 244.3 316.8 | 999.0 999.0 | 999.0 999.0 | 13.0 208.0 | 999.0 999.0 |
| X= 469.7 Y= 312.8 | Coef. | 0.7 397.8 | 1.5 355.0 | 1.8 103.4 | 7.0 107.7 | 999.0 999.0 | 47.2 295.2 | 251.0 317.1 | 83.3 6.5 | 21.5 4.5 | 15.0 198.3 | 1.0 123.0 |
| X= 505.1 Y= 312.1 | Coef. | 999.0 999.0 | 1.5 55.0 | 1.5 115.5 | 5.6 102.0 | 11.9 21.6 | 51.8 300.9 | 281.6 322.1 | 94.8 13.1 | 26.9 10.3 | 25.4 199.4 | 3.0 90.0 |
| X= 510.0 Y= 248.9 | Coef. | 999.0 999.0 | 4.1 36.3 | 2.7 116.9 | 7.7 123.1 | 10.9 10.9 | 57.4 290.9 | 307.9 311.1 | 101.5 1.1 | 29.7 358.6 | 26.2 185.3 | 1.9 298.4 |
| X= 519.1 Y= 376.7 | Coef. | 1.3 134.0 | 3.4 168.0 | 1.2 58.0 | 3.7 58.0 | 999.0 999.0 | 38.7 310.0 | 243.5 330.0 | 83.8 19.0 | 22.6 19.0 | 28.3 226.0 | 999.0 999.0 |
| X= 523.3 Y= 339.6 | Coef. | 1.3 94.0 | 2.0 999.0 | 1.4 114.5 | 6.3 105.9 | 11.3 18.3 | 51.8 304.2 | 277.5 324.4 | 90.0 375.8 | 26.4 386.4 | 32.0 210.1 | 6.6 78.6 |
| X= 528.5 Y= 380.3 | Coef. | 2.1 140.5 | 5.7 174.8 | 1.8 10.8 | 4.9 43.7 | 9.4 48.6 | 41.4 310.6 | 225.1 332.3 | 71.6 23.7 | 21.0 19.6 | 26.5 221.8 | 6.7 103.0 |
| X= 541.2 Y= 367.2 | Coef. | 2.0 111.6 | 4.5 158.2 | 1.6 23.8 | 2.3 44.8 | 10.3 47.1 | 44.9 314.0 | 244.3 335.6 | 78.2 387.7 | 23.0 387.6 | 28.2 228.5 | 6.6 109.9 |
| X= 547.0 Y= 337.0 | Coef. | 1.9 72.5 | 3.1 101.4 | 1.6 132.7 | 5.0 122.9 | 11.7 23.1 | 53.6 308.9 | 289.6 329.6 | 92.9 21.6 | 28.7 34.0 | 34.0 219.2 | 6.8 83.9 |
| X= 566.0 Y= 363.0 | Coef. | 2.5 86.5 | 5.0 145.7 | 1.0 2.9 | 2.6 302.8 | 11.3 64.8 | 44.1 323.7 | 245.9 346.3 | 77.9 38.8 | 22.0 36.4 | 25.5 251.2 | 6.0 144.2 |
| X= 602.1 Y= 372.4 | Coef. | 2.1 93.5 | 7.5 157.2 | 2.1 343.9 | 4.3 9.5 | 10.3 91.1 | 36.5 330.0 | 210.8 353.1 | 62.6 45.6 | 17.1 47.0 | 15.1 278.8 | 3.2 214.1 |

ANNEXE 4

Dossiers de mesures de courants

Dans cette annexe, on a rappelé les mesures de courants effectués du 1^{er} mars 1980 au 30 avril 1983; on a également cité la documentation utile pour l'étude du courantographe Suber SLS 11.

1. Mesures

| Levé | Dossier | Période du mouillage | Position | Immersion mètres | M = Mecabo. S = Suber n° Couranto. | Observation |
|---------------|---------|----------------------|---|------------------|--|------------------|
| Dieppe | 1090 | 28/05/80 au 12/06/80 | L = 49°58', 9 N; G = 1°01', 5 E 320/jetée Ouest Dieppe/6 700 m | 5 m | M 63 B | Exploitable |
| Dieppe | 1091 | 28/05/80 au 12/06/80 | L = 49°57', 2 N; G = 1°01', 2 E 293/Feu jetée W Dieppe/4 800 m sur bouée d'épave | 5 m | M 72 B | Exploitable |
| Dieppe | 1092 | 12/06/80 au 18/06/80 | L = 49°56', 5 N; G = 1°04', 7 E 328/Feu jetée Ouest Dieppe/650 m | 5 m | M 117 B | Exploitable |
| Dieppe | 1093 | 29/05/80 au 12/06/80 | 328/Feu jetée Ouest Dieppe/650 m | 5 m | M 117 B | Exploitable |
| Dieppe | 1094 | 28/05/80 au 17/06/80 | L = 49°58', 9 N; G = 1°01', 5 E 320/Feu jetée Ouest Dieppe/6 700 m | 20 m | M 118 B | Exploitable |
| Dieppe | 1095 | 12/06/80 au 02/07/80 | L = 49°57', 2 N; G = 1°01', 2 E 293/Feu jetée Ouest Dieppe/4 800 m | 5 m | M 72 B | Exploitable |
| Rade de Brest | 1117 | 05/12/80 au 17/12/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W 005/Feu W Passe Sud/130 m | 7 m | M 118 B | Exploitable |
| Rade de Brest | 1118 | 25/11/80 au 05/12/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W 005/Feu W Passe Sud/130 m | 5 m | M 119 B | Cap bloqué |
| Rade de Brest | 1119 | 29/10/80 au 10/11/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W | 7 m | M 118 B | Cap bloqué |
| Rade de Brest | 1120 | 29/10/80 au 10/11/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | M 119 B | Cap bloqué |
| Baie de Seire | 1121 | 11/11/80 au 20/11/80 | L = 49°28', 8 N; G = 0°03', 8 W 171/Bouée LH zone d'attente du Havre/280 m | 7 m | M 72 B | Inexploitable |
| Baie de Seine | 1122 | 11/11/80 au 19/11/80 | L = 49°29', 0 N; G = 0°04', 0 W Bouée LH zone d'attente | 5 m | M 117 B | Boussole bloquée |
| Rade de Brest | 1145 | 10/11/80 au 25/11/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W 005/Feu W Passe Sud/130 m | 7 m | M 118 B | Exploitable |
| Rade de Brest | 1146 | 10/11/80 au 25/11/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W 005/Feu W Passe Sud/130 m | 5 m | M 119 B | Exploitable |
| Ile Longue | 1147 | 04/03/81 au 20/03/81 | L = 48°18', 4 N; G = 4°29', 5 W 101/Feu rouge Ile Longue/280 m | 5 m | M 121 B | Exploitable |
| Ile Longue | 1148 | 09/02/81 au 26/02/81 | L = 48°18', 5 N; G = 4°28', 3 W | 5 m | M 115 B | Cap bloqué |
| Ile Longue | 1149 | 04/03/81 au 20/03/81 | L = 48°18', 7 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | M 115 B | Cap bloqué |
| Ile Longue | 1150 | 09/02/81 au 26/02/81 | L = 48°17', 9 N; G = 4°29', 0 W 117/Feu rouge Ile Longue /1760 m | 5 m | M 121 B | Exploitable |
| Ile Longue | 1151 | 26/03/81 au 17/04/81 | L = 48°17', 8 N; G = 4°27', 2 W 245/extrémité NW appontement pétrolier de Lanvéoc/250 m | 5 m | M 121 B | Exploitable |

| Levé | Dossier | Période du mouillage | Position | Immersion mètres | M = Mecabo. S = Suber n° Couranto. | Observation |
|---------------|---------|----------------------|---|------------------|--|---|
| Ouistreham | 1152 | 22/04/81 au 12/05/81 | L = 49°18', 6 N; G = 0°14', 6 W | 5 m | M 121 B | Exploitable mais manque une pale à l'hélice |
| Dyck | 1153 | 25/06/81 au 04/07/81 | L = 51°09', 4 N; G = 2°19', 5 E sous la bouée rouge Dyck DY2, 349/Feu rouge jetée E Dunkerque/11000 m | 5 m | M 59 | Exploitable |
| Out Ruytingen | 1156 | 25/06/81 au 02/07/81 | L = 51°06', 5 N; G = 1°50', 2 E bouée Out Ruytingen W noire 336/phare de Walde/13900 m | 22 m | M 110 B | Exploitable |
| Rade de Brest | 1177 | 25/11/80 au 04/12/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W 005/Feu jetée W Passe Sud /130 m | 7 m | M 118 B | Exploitable |
| Flandre | 1184 | 12/09/82 au 16/09/82 | L = 50°58', 7 N; G = 1°50' E | 10 m | M 116 B | Hélice bloquée au bout de 735 mesures |
| Flandre | 1185 | 12/09/82 au 16/09/82 | L = 50°58', 3 N; G = 1°46', 7 E | 10 m | M 116 B | En cours d'exploitation |
| Flandre | 1186 | 09/09/82 au 12/09/82 | L = 51°13', 8 N; G = 2°22', 1 E | 5 m | M 116 B | En cours d'exploitation |
| Flandre | 1187 | 09/09/82 au 12/09/82 | L = 51°04', 5 N; G = 1°56', 7 E | 10 m | M 110 B | En cours d'exploitation |
| Flandre | 1188 | 10/09/82 au 12/09/82 | L = 51°09', N; G = 2°15' E | 5 m | M 111 | En cours de validation |
| Flandre | 1189 | 09/09/82 au 12/09/82 | L = 51°09', N; G = 2°15' E | 10 m | M 59 | En cours de validation |
| Baie de Seine | BDS 1 | 11/11/80 au 20/11/80 | L = 49°29', 3 N; G = 0°03', 4 W 117/Bouée LH/800 m | 5 m | S 40 | Exploitable |
| Rade de Brest | RAB 2 | 10/11/80 au 20/11/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | S 39 | 1423 mesures exploitables |
| Rade de Brest | RAB 3 | 26/11/80 au 05/12/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | S 40 | Exploitable |
| Rade de Brest | RAB 4 | 05/12/80 au 16/12/80 | L = 48°22', 2 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | S 40 | Exploitable |
| Rade de Brest | 8111 | 09/02/81 au 26/02/81 | L = 48°18', 8 N; G = 4°29', 3 W | 5 m | S 33 | Exploitable |
| Rade de Brest | 8112 | 09/02/81 au 26/02/81 | L = 48°18', 3 N; G = 4°29', 5 W | 5 m | S 30 | Exploitable |
| Rade de Brest | 8116 | 10/02/81 au 26/02/81 | L = 48°17', 8 N; G = 4°27', 3 W | 5 m | S 39 | Exploitable |
| Rade de Brest | 8123 | 04/03/81 au 20/03/81 | L = 48°18', 5 N; G = 4°29', 8 W | 5 m | S 30 | Exploitable |
| Out Ruytingen | 8131 | 25/06/81 au 02/07/81 | L = 51°05', 0 N; G = 1°49', 9 E 187/Bouée noire Out Ruytingen /1 900 m | 22 m | S 39 | Exploitable |
| Out Ruytingen | 8132 | 25/06/81 au 18/07/81 | L = 51°05', 0 N; G = 1°46', 8 E bouée verte Out Ruytingen SW | 12 m | S 38 | Exploitable |
| Rade de Brest | 8133 | 26/03/81 au 16/04/81 | L = 48°18', 4 N; G = 4°29', 8 W 102/Feu vert Ile Longue/1020 m | 5 m | S 39 | Courantographe grillagé* |
| Rade de Brest | 8134 | 26/03/81 au 17/04/81 | L = 48°18', 4 N; G = 4°29', 5 W | 5 m | S 38 | Exploitable Courantographe grillagé* |

(*) Voir paragraphe 2 ci-après.

2. Documentation à consulter lors d'essais des courantomètres Suber

| Document | Titre et Observations |
|--------------------------------|---|
| 0500XIL | <p><i>Titre :</i> « Marégraphe et Courantographe Suber; mise en œuvre et traitement des observations ».</p> <p><i>Note :</i> Manuel d'utilisation édité en 1982.</p> |
| 672 EPSHOM/IS du 4/09/80 | <p><i>Titre :</i> « Rapport partiel d'évaluation du courantomètre Suber SLS 11 ».</p> <p><i>Note :</i> Rapport descriptif du courantomètre, indiquant les différents essais effectués entre septembre 1977 et août 1980 par l'Etablissement Principal (EPSHOM), le Centre Océanologique de Bretagne (COB) et le Centre d'Electronique de l'Armement (CELAR).</p> |
| 669 EPSHOM/IS du 28/08/81 | <p><i>Titre :</i> « Rapport d'essais de 4 courantomètres Suber mouillés au large du COB du 12 au 15 juin 1981 ».</p> <p><i>Note :</i> Une des craintes des utilisateurs est le blocage du rotor de Savonius par les algues. Pour éviter ce fait, l'Etablissement Principal a confectionné un grillage (en plastique) protégeant la partie tournante du courantomètre. Les mesures effectuées par l'EPSHOM, puis par la MHA (dossiers 8133 et 8134) n'ont pas été probantes.</p> |
| 466 EPSHOM/IS du 25/05/81 | <p><i>Titre :</i> « Rapport d'essais et d'étalonnage du courantomètre Suber durant la période janvier-avril 1981 ».</p> |
| 163 EPSHOM/E/OC/NP du 15/04/83 | <p>Etalonnage en direction et en vitesse.</p> |

ANNEXE 5

Véhicules et engins flottants

1. Engins flottants

L'ICA Souquière décrit les vedettes de 8 mètres (type de vedettes embarquées sur l'*Astrolabe*) et les vedettes de 9,5 mètres (type de vedettes embarquées sur *L'Espérance*) dans les *Annales Hydrographiques* n° 757 (1982); on s'y reportera.

Les vedettes de 8 mètres sont bruyantes et ont des mouvements rapides qui rendent difficile toute activité par mer supérieure à 2.

Les vedettes de 9,5 mètres sont beaucoup plus marines, elles sont puissantes, mais ont l'inconvénient de manquer de finition et surtout de séparer le barreur du chef d'équipe. Peu utilisées en 1980 et 1981 ces vedettes ont montré leur fiabilité à l'occasion des levés du Ruytingen, des Ridens de Calais, d'un canal secondaire à Lorient, enfin du Golfe du Morbihan.

Lors de ce dernier levé l'usage d'un autre type d'embarcation était utile, celui d'un dinghy.

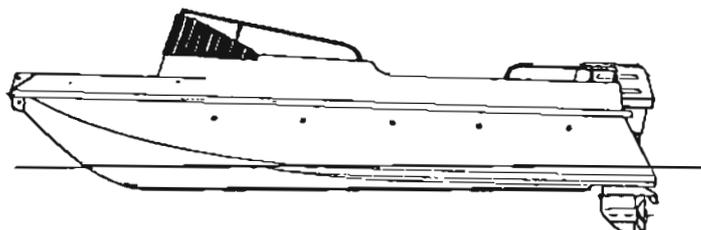
Un dinghy gonflable classique a d'abord été mis en œuvre, mais son emploi présentait quelques risques du fait des piquets des vasières. A l'exemple des Services de l'Équipement, un dinghy en plastique a été demandé.

Au modèle New-Matic, caractérisé par un faible franc-bord, on a préféré le modèle Tri-Matic plus sûr, plus logeable, suffisamment léger pour être mis en œuvre facilement par un petit détachement de trois hydrographes se déplaçant par voie routière en véhicule léger muni d'une remorque.

A titre documentaire indiquons les caractéristiques de cette embarcation, peu onéreuse (moins de 9 000 F en 1982) fabriquée par les constructions nautiques Jeanneau.

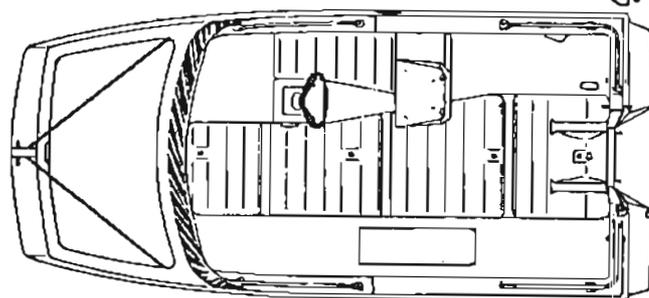
Caractéristique du Tri-Matic

Longueur : 3,60 m
Largeur : 1,60 m
Creux : 0,65 m
Poids : 140 kg environ.



Équipement « moteurs »

Moteur hors bord arbre court
(Puissance maximale : 35 ch).



Inventaire standard :

- 2 points d'amarrage et treillage avant
- 2 points de fixation pour lignes de ski
- 1 support pour dame de godille avec dame
- 1 taquet d'amarrage arrière
- 1 taquet de côté
- 1 coffre avant
- 1 panneau de coffre avant en bois
- 1 pare-brise en plexiglass
- 1 balcon inox de pare-brise
- 2 balcons arrière inox
- 1 direction complète sur console avec volant et câble « push pull »
- 1 vide poche
- 1 siège pilote
- 2 banquettes latérales intégrées à la coque
- 1 coffre dans la banquette babord avec un couvercle en bois
- Tableau arrière renforcé en bois et inox.

2. Véhicules

Le parc de véhicules a donné satisfaction. Il se composait de :

- deux breaks Peugeot 504,
- deux camionnettes Citroën HY,
- une fourgonnette Renault 4L,
- un camion Saviem SG4 tout terrain,
- un break Peugeot 404,
- quatre caravanes,
- une petite remorque pour dinghy
- une petite remorque pour matériel.

Récapitulons les appréciations essentielles sur ces véhicules.

| Véhicule | Kilométrage annuel (kilomètres) | Appréciations, observations |
|--------------------------|---------------------------------|--|
| Break Peugeot 504 diesel | 40 000 | Excellente routière; véhicule adapté à l'activité de la mission; véhicule à remplacer en 1984 du fait du kilométrage atteint. |
| Citroën HY puis C35 | 20 000 | Les HY arrivaient en fin de vie en 1982. Ils ont été remplacés avantageusement par des fourgonnettes C35 plus nerveuses, plus silencieuses, et plus confortables. Ces C35 sont d'excellentes routières aussi appréciées que les 504 mais la consommation est plus importante (13 litres de gas-oil au lieu de 9 aux 100 km). |
| Fourgonnette 4L | 25 000 | Ce véhicule a été utilisé lors des déplacements aux abords de Brest pour le dépannage des stations de localisation, pour les petits déplacements du vaguemestre. C'est un excellent véhicule. |
| Camion tous terrains SG4 | 2 000 | Sa conduite demande le permis « Poids lourds ». Son emploi est utile pour les matériels encombrants. |
| Remorque à matériel | 5 000 | Une telle remorque permet d'utiliser un break plutôt qu'un C35 quand on a du petit matériel à transporter. Cette remorque ferme à clé. |
| Remorque pour dinghy | acquisition en 1983 | Cette remorque permet le transport d'un moyen nautique pour une équipe de 3 hommes en mission de reconnaissance côtière par voie routière. |
| Caravane | 2 000 | Une caravane a été utilisée pour le levé de Gascogne (station Toran), pour l'évaluation du Syledis, pour le stockage de matériel lors du levé du Golfe du Morbihan. |

ANNEXE 6

Adaptation des équipements utilisés aux travaux

1. Généralités

La mission n'a pas connu de difficultés matérielles graves mais le fonctionnement des équipements a été cependant une préoccupation constante.

Un levé demande la mise en œuvre simultanée de nombreux équipements : sondeur, récepteur de localisation, magnétomètre, sondeur latéral, suivi de profils, calculateur... Qu'un seul équipement soit en panne et il faut modifier l'activité.

Après avoir mentionné les pertes de matériel importantes j'ai rassemblé les notes sur le fonctionnement des matériels mis en œuvre entre 1980 et 1983.

2. Les pertes d'équipements

| Matériel | Observations |
|---------------------------------|--|
| Marégraphe Suber | Perte de 2 marégraphes immergés Suber SLS13 (n° 133 et 137) avec cages et largueurs Suber (n° 49 et 41) dans le Pas de Calais; perte due au chalutage. |
| Largueur Suber | Perte de 3 largueurs Suber (132, 135, 136) au cours de leur essai dans la campagne Envat 1981. (Le câble qui les supportait avait été filé trop vite et n'était plus sous tension, des coques se sont formées; à la remontée, le câble s'est rompu). |
| Courantographe Mécaboliér | Câble du mouillage du courantographe 115B sectionné à Ouistreham par l'hélice d'un navire. |
| Sonde du magnétomètre Barringer | Perte en levé régulier (rupture du câble). |
| Feu à éclats « OAR » | Perte de 2 feux due à la rupture du mât en PVC des flotteurs des balises acoustiques. La perte mérite d'être signalée en raison du coût d'un feu (7 000 F). |

3. Les pannes importantes

| | |
|---|--|
| Electronique de traitement du système « balises acoustiques » | L'électronique des meubles de commande a dû être révisée par le constructeur à la suite d'une erreur de branchement de la base de coque lors de son installation initiale. |
| Interogateurs Trident | Beaucoup de sécurités de fonctionnement ne remplissaient plus leur rôle (voyants « rouge » allumés en permanence). Le dépannage de ces interrogateurs était long (7 mois). |

4. Matériel lourd consommé

La consommation de câbles pour sondeur remorqué est supérieure à 2 câbles par an depuis 1980. Cette consommation s'explique en partie par l'usage du dépresseur lors du levé au large des Sept-Iles en 1979.

Le dépresseur n'a pas été utilisé par la suite, les fonds en Baie de Seine et dans le Pas de Calais étant moindres; on a aussi sondé à la vitesse la plus lente (de l'ordre de 6,5 nœuds).

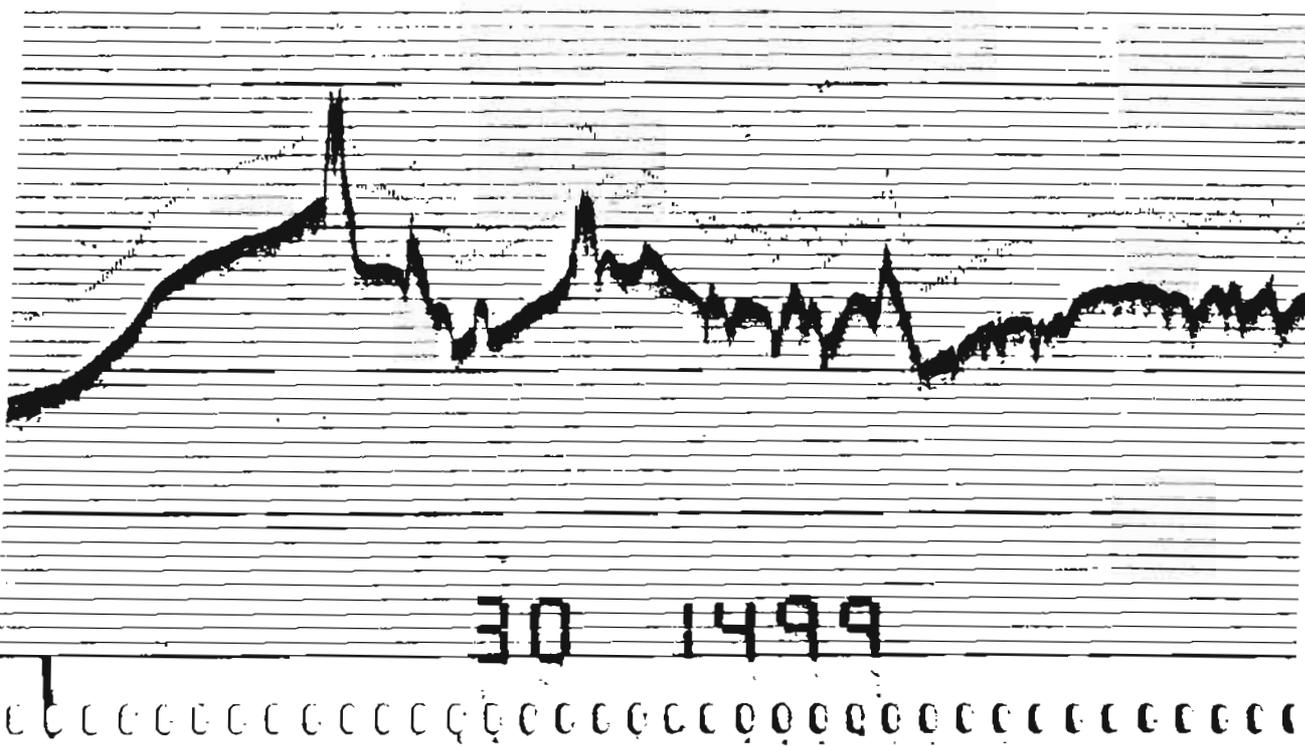
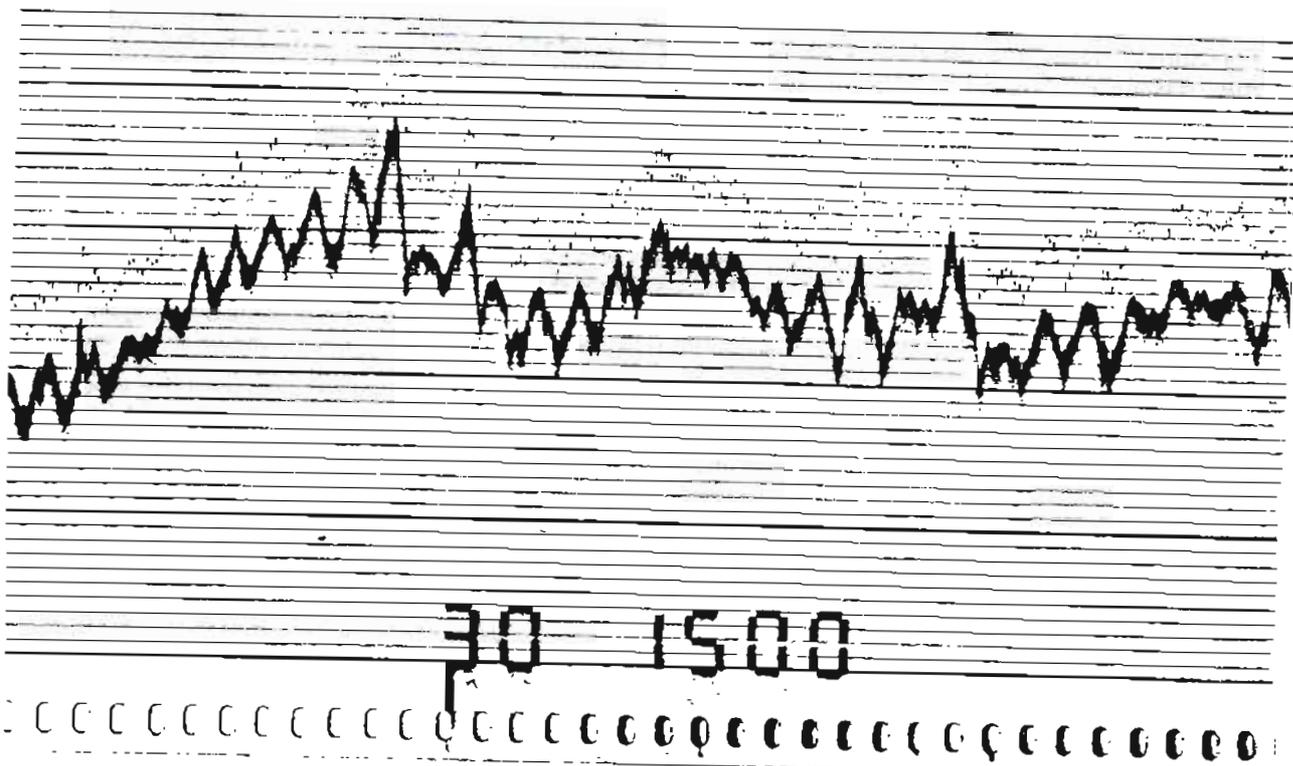
5. Fonctionnement du matériel de positionnement

| Matériel | Observations |
|---------------------------------------|--|
| Géodimètre Aga 14 | Ce type d'appareil est très pratique pour des mesures rapides de distances au plus égales à 6 kilomètres. La mise en œuvre est particulièrement simple; la seule difficulté est le pointage convenable des prismes réflecteurs et celui du géodimètre. |
| Telluromètre MRA 5 | L'emploi de cet appareil est comparable à celui du MRA 3. La MHA n'a pas eu un usage important de cet appareil de 1980 à 1983. |
| Trident III Interrogateur | Bon équipement mais quelques pannes aléatoires (faux contacts et pannes thermiques). |
| Suivi de profil Trident de la Thomson | Idem. Un suivi de profil de type numérique paraît préférable. |
| Balise Trident | Carte « alimentation » fragile. |
| Antenne Trident à bord des vedettes | Pour diminuer les interférences sur le sondeur Deso 20, l'antenne d'origine (bâton LERC) a été remplacée par une antenne AN 24 A (antenne Caroline) qui a l'inconvénient d'être assez lourde. En fait cette antenne ne supprime pas le brouillage des sondeurs Atlas. Dans le Golfe du Morbihan, pour éviter les erreurs des distances dues à la réception des ondes directes et des ondes réfléchies sur le plan d'eau (phénomène constaté lors du levé de Charente et du levé de Lorient) on a installé à nouveau les antennes bâton, mais à grande hauteur (4 mètres). |
| Chaîne Toran P 100 | Cette chaîne a été utilisée en 1980 pour le levé du Golfe de Gascogne. L'absence de sécurité sur l'alimentation des batteries en tampon sur le secteur a entraîné leur détérioration lors d'une panne du secteur. L'Etablissement Principal a réalisé une sécurité pour éviter à l'avenir cette perte. |
| Récepteur Toran type P | 1) La Sercel a arrêté la fabrication des récepteurs type P malgré l'intérêt de ces équipements sur les côtes de l'Atlantique, en particulier dans les réseaux « Sud-Bretagne » et « Golfe de Gascogne ». 2) Une version « pêche » existe mais seuls les centièmes des phases sont disponibles en sorties digitales. 3) Les récepteurs type P vieillissent; les multivibrateurs se décalent; notons des faux contacts dus à l'usure des connecteurs. |
| Rana P17 | Bon fonctionnement; cet équipement de présentation ancienne n'a pas de sortie digitale; il a été peu utilisé entre 1981 et 1983. Le Rana P17 serait prochainement remplacé par un nouveau récepteur. |
| SR3 (Syledis) | Très bon équipement; ce récepteur a fait l'objet d'une étude particulière à l'occasion de l'évaluation du réseau Syledis-Bretagne (voir chapitre 3.8). |
| M6 (Oméga) | Très bon équipement : ce récepteur a fait l'objet d'une étude particulière (chapitre 3.4). |

| Matériel | Observations |
|---|---|
| Récepteur Transit | <p>Le BH1 <i>L'Espérance</i> au cours des campagnes en Atlantique Nord était équipé de deux JMR dont un était effectivement utilisé pour les observations.</p> <p>Deux versions ont été mises en œuvre.</p> <p><i>La première</i>, utilisée en 1980, avait des performances limitées.</p> <p>En effet :</p> <ul style="list-style-type: none"> — un passage de satellite donnant un point de qualité optimale selon les critères du constructeur (passage « SM01 ») pouvait être erroné de plusieurs milliers de mètres. — l'étude statistique de 50 passages aboutissait à une précision du point moyen à la mer de 200 mètres (avec pour référence le point Loran C). — la proportion de points de qualité « SM01 » à rejeter était trop forte, la moitié, voire les deux tiers; de plus l'élimination des points à partir de certains paramètres de qualité (DFREQ, LFREQ, DRMS) était bien laborieuse. <p><i>La seconde version</i> (version G5B) s'est révélée plus satisfaisante. La précision du positionnement était, dans 95 pour cent des cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> — 400 mètres pour un point isolé à la mer (point « SM01 » avec estime acquise par l'interface JMR22), — 40 mètres après étude statistique de 60 passages (le point de référence étant le point Loran), — 50 mètres pour un point isolé à quai, — 5 mètres pour un point cumulé à quai après 30 passages. <p>Une meilleure précision du point à la mer supposerait une meilleure estime entretenue par exemple à partir des données d'un système de localisation précise (Loran C, balises acoustiques...).</p> <p>Le rejet des points SM01 est devenu exceptionnel pour des passages de satellites à la culmination supérieure à 12 degrés.</p> <p>L'étude des paramètres de qualité LFREQ (dérive interne du récepteur) et DFREQ (dérive en fréquence continue des oscillateurs du satellite et du récepteur) s'est révélée inutile sauf pour un suivi du bon fonctionnement des récepteurs.</p> |
| Récepteur Decca D1 91 | Bon récepteur mais il faut faire attention aux sauts de 10 microsecondes. |
| <i>Matériel de positionnement par balises acoustiques</i> | |
| Poisson remorqué | Le poisson remorqué du système de positionnement par balises acoustiques a été utilisé pour des essais sur le pont. Il n'est pas utilisable en opérations à la mer sur le BH1 <i>L'Espérance</i> qui est probablement trop bruyant. |
| Poisson de coque | Le poisson de coque a un bon fonctionnement. Un recharge est utile. |
| Table traçante ADP3 | La table traçante ADP3 n'a pas été utilisée car elle est trop encombrante. L'utilisation de table traçante Hewlett Packard a été préférée. |

6. Fonctionnement des équipements utilisés en sondage (sondeurs, compensateur de houle, magnétomètre...)

| | |
|--|--|
| 6.1. Sondeur Grand fond Raytheon | Ce sondeur est un appareil de très bonne qualité. Notons cependant : – l'encrassement assez rapide de l'enregistreur dans une utilisation classique du sondeur (de type analogique). – la nécessité du changement de cartes et de débranchement de connecteurs (dans le PC) quand on veut changer la fréquence de fonctionnement (12 kHz ou 34 kHz). |
| 6.2. Sondeur Deso 20 | Ce sondeur a remplacé le Deso 10; il en diffère par la technologie et ses sorties digitales. Sa fiabilité, pour le moment, est plus faible que celle du Deso 10. Il subit les interférences dues au fonctionnement du Trident. Son utilisation en version « fond moyen » n'est pas satisfaisante et au-delà de 1000 mètres il ne peut pas servir à des levés à l'échelle plus grande que le 1/100 000 en admettant les normes de la rédaction manuelle. <i>Explication</i> En effet, par plus de 1000 mètres de profondeur, pour avoir le fond sur l'enregistreur du Deso 20 il fallait adopter une vitesse de défilement de la bande de sonde égale à 0,36 cm/min, vitesse adaptée au mieux à une rédaction au 1/80 000. |
| 6.3. Compensateur de houle (voir enregistrement joint) | Cet équipement a été évalué à la MOA par beau temps. La MHA l'a utilisé en levé régulier sans évaluation particulière, la qualité de fonctionnement étant confirmée lors de l'exploitation des levés effectués. |
| 6.4. Marégraphe Ott R16 | Il paraît souhaitable de prévoir une acquisition automatique des données sur les marégraphes à flotteurs. Les contraintes techniques paraissent mineures puisqu'elles ont été réglées pour le marégraphe immergé Suber. |
| 6.5. Sonde lumineuse | Il faut se méfier des réparations. (une sonde raccourcie de 20cm a été ainsi mise en service). |
| 6.6. Magnétomètre Barringer M 123 | Son utilisation demande une alimentation pure, si possible par batteries. Il faut vérifier l'isolement de la sonde (grande sensibilité de l'humidité). Des dérives linéaires du magnétomètre ont été souvent observées; on stoppait alors l'appareil; au bout de 10 min on le remettait en route avec succès. Le magnétomètre a été souvent utilisé en levé régulier (à 11 nœuds au maximum); il n'a pas été utilisé avec le sondeur latéral (utilisé à 6 nœuds) pour ne pas risquer la perte des capteurs par emmêlement des câbles. |
| 6.7. Sondeur latéral Edgerton : l'enregistreur | Les réglages sont à reprendre fréquemment. Les balais frottent vite contre le papier qui se déchire. La conception de l'enregistreur et le choix du papier électrolytique paraissent dépassés. |
| Le câble | Il faut faire attention aux coques. La prise « Océanics » d'origine est fragile; elle a été remplacée par une prise « Jupiter ». |
| Le poisson | La perte des ailerons du poisson est assez fréquente. |
| Le dépresseur | Le dépresseur peut être utilisé mais avec une « chaussette » en nylon pour ne pas abîmer le câble du sondeur latéral. |
| Treuil Klein | Notons la mauvaise étanchéité du moteur et des commandes de ce treuil. |
| Contacteur tournant | Notons le blocage fréquent de ce contacteur dû à la déformation du plastique des parties fixe et mobile; elle provoque l'arrachement des connexions. |



Essais du compensateur de houle du BH1 *L'Espérance*

Le 4 mai 1982 sur la base de vitesse de Douarnenez. Cap au 091, vitesse 14 nœuds, houle de l'arrière.

Graphique du haut : compensateur stoppé

Graphique du bas : compensateur en fonction

échelle des enregistrements : 1 cm pour 1 mètre (1/100).

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN
Publications scientifiques et littéraires
05002 GAP — Tél. 92.51.35.23
Dépôt légal: 291 — Juin 1986

AVIS AUX AUTEURS

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

Texte

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

Illustration

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

Tirés à la suite

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

SOMMAIRE

| | Pages |
|---|-------|
| L'Ingénieur Hydrographe Général (CR) Pierre COVILLAULT (1905-1983), par M. J. BOURGOIN, Ingénieur Général de l'Armement (Hydrographe), Directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine | 5 |
| Première partie | |
| Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. Deuxième partie (B) : triangulation des données de Cauchy; étude qualitative des courbes et surfaces caractéristiques, par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO, Université Scientifique et Médicale, Grenoble | 7 |
| Géodésie de la Martinique, par M. G. BESSERO, Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe)..... | 27 |
| Deuxième partie | |
| Mission Hydrographique de l'Atlantique (29 février 1980 — 30 avril 1983) par M. J.C. GUYON, Ingénieur Principal de l'Armement (Hydrographe) | 41 |