

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

5<sup>ème</sup> Série - Vol. 15 - 1988

N° 762



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.
- Les idées exprimées dans les articles sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement le point de vue du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
- Toute correspondance relative au service de cette publication doit être adressée à l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la marine, 13, rue du Chatellier, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

---

## TABLE DES MATIÈRES

### Première partie

	Pages
Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. Troisième partie (B) : compléments sur la théorie des enveloppes. Etude de quelques solutions régularisables de (E) par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHEKNO, Université Scientifique et Médicale, Grenoble.....	5
Localisation d'un avion de prise de vues aériennes (II), par MM. J.M. CHIMOT et M. LE GOUIC, Ingénieurs Principaux de l'Armement (Hydrographe) .....	25
Une méthode indirecte d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment sur le plateau continental : la thermométrie du sédiment superficiel, par MM. Y. DELANOË, Laboratoire de Géologie marine de Nantes et, J.P. PINOT, Laboratoire de Géographie de la mer de Brest.....	31

### Deuxième partie

Mission Océanographique du Pacifique (mai 1978 — mai 1980), par M. E. CAILLIAU, Ingénieur en Chef de l'Armement (Hydrographe).....	43
--	----



*PREMIÈRE PARTIE*

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

## TROISIÈME PARTIE (B) COMPLÉMENTS SUR LA THÉORIE DES ENVELOPPES ÉTUDE DE QUELQUES SOLUTIONS RÉGULARISABLES DE (E)

par

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

### RÉSUMÉ

Cette partie de notre analyse contient d'abord une approche qualitative concernant les enveloppes de surfaces bicaractéristiques. Elle complète et précise quelques aspects de la troisième partie (A). Le paragraphe 3.4 aborde l'étude de la dégénérescence des surfaces  $S_p$ , ainsi que de leur représentation sous forme de développement de Taylor limité. Enfin, en introduisant un système de coordonnées curvilignes approprié, on détermine le comportement local des traces de  $S_p$  dans un plan normal à la frontière marine et contenant une génératrice du demi-cylindre  $D = d \times [0, \infty[ \subset Oxyt$ .

### ABSTRACT

This part of our paper first includes a qualitative approach which concerns the envelopes of characteristic surfaces. It completes and gives precise details about some aspects of the third part (A). The paragraph 3.4 deals with the study of the degenerate surfaces  $S_p$ , as also of their representation in the form of limited Taylorian development. Finally, introducing an appropriate system of curvilinear coordinates, one determines the local behaviour of the traces of  $S_p$  in a normal plane to the marine frontier and which includes a generating line of the semi-cylinder  $D = d \times [0, \infty[ \subset Oxyt$ .

### Rappel des notations utilisées pour les références :

Les numéros des formules établies dans la première partie de ce travail (*Annales Hydrographiques* vol. 11, 758 (1983)) portent, en indice, le chiffre romain I; ceux correspondant à la 2<sup>e</sup> partie (A) ou (B) (*Ann. Hydr.* vol. 12, 759 (1984) et vol. 13, 760 (1985)) sont complétés par les chiffres II ou III. Le chiffre IV renvoie à la 3<sup>e</sup> partie (A) (*Ann. Hydr.* vol. 14, 761 (1986)).

Dans le souci de faciliter la tâche de nos lecteurs, quelques collègues nous ont suggéré de compléter l'alinéa 3.3.2. de la troisième partie (A) par la démonstration sommaire d'un résultat classique de la théorie des enveloppes, sur lequel repose notre étude des singularités régularisables des solutions de (E) et que nous nous sommes

bornés à énoncer. En effet, on nous a fait observer que les ouvrages classiques se limitent souvent à présenter la théorie des enveloppes dans le cas d'une famille de courbes dépendant d'un paramètre et représentées paramétriquement au moyen d'une variable auxiliaire, laissant de côté le cas d'une famille de surfaces dépendant d'un paramètre et admettant une représentation paramétrique au moyen de deux variables auxiliaires. Dès lors, nous avons cru opportun de présenter ci-après une démonstration directe du résultat visé, sans faire appel à la théorie de contacts entre courbes et surfaces; toutefois, nous supposons connues quelques propriétés élémentaires des enveloppes. Ajoutons que le texte de cet alinéa a été révisé postérieurement à la rédaction des derniers paragraphes de cet article: c'est pourquoi nous désignerons les formules de cet additif par des chiffres suivis d'un astérisque.

### 3.3.3. Compléments sur la théorie des enveloppes

Réécrivons, pour la commodité du lecteur, les formules (1.1)<sub>1</sub> et (1.2)<sub>1</sub>:

$$x = x(\alpha, \beta, \gamma); \quad y = y(\alpha, \beta, \gamma); \quad t = t(\alpha, \beta, \gamma) \quad (1^*)$$

$$u = u(\alpha, \beta, \gamma); \quad v = v(\alpha, \beta, \gamma); \quad \zeta = \zeta(\alpha, \beta, \gamma) \quad (2^*)$$

$$\Delta = \Delta(\alpha, \beta, \gamma) = \frac{\partial(x, y, t)}{\partial(\alpha, \beta, \gamma)} \quad (3^*)$$

et rappelons la définition des solutions régularisables de (E), donnée en 3.3.2<sub>IV</sub>.

Nous admettons que les seconds membres de (1\*) et (2\*) sont solutions régulières  $R^{(2)}$ , données, d'un des trois systèmes (e), associés à (E), définies dans un domaine quelconque  $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$ . Il s'ensuit d'abord que les relations (1\*) représentent paramétriquement trois familles de surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  paramétrées respectivement par  $\alpha, \beta, \gamma$ , définies dans  $D \subset Oxyt$  — domaine image de  $\mathcal{D}$  par (1\*) — qui, dans le cas général, n'est pas un cylindre (ou demi-cylindre) à génératrices parallèles à  $Ot$ . Ensuite, on voit, d'après ce qui précède, que les formules (1\*) et (2\*) définissent paramétriquement au moyen des variables caractéristiques trois multiplicités bicaractéristiques de (E), portées respectivement par les  $S_\alpha, S_\beta$  et  $S_\gamma$ . L'hypothèse de régularité admise ci-dessus relativement aux seconds membres des relations (1\*) et (2\*) permet d'affirmer que l'application  $(\alpha, \beta, \gamma) \Rightarrow (x, y, t)$  ainsi définie est injective: tout  $(x, y, t) \in D$  admet au moins un homologue  $(\alpha, \beta, \gamma)$  dans la correspondance inverse:  $(x, y, t) \Rightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$ ; le cas où l'ensemble de tels points constituerait une surface ou une courbe du repère  $O\alpha\beta\gamma$  n'est pas exclu. Cela tient à ce que nous n'avons pas repris ici la condition (1.2)<sub>1</sub>, que nous réécrivons:

$$\Delta \neq 0 \quad (4^*)$$

de sorte que dans toute la suite de cet alinéa nous ne postulons pas que l'application  $\mathcal{D} \Rightarrow D$ , définie par (1\*), soit bijective. Il suit de là que nous n'excluons pas ci-après l'éventualité où les surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  admettent des lignes multiples, ou des arêtes, ou que les surfaces d'une même famille admettent des enveloppes etc. Toutefois, il est essentiel, pour notre objet, d'insister sur le fait que, moyennant l'hypothèse de régularité adoptée, on peut aisément établir que chacune des surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  peut être partagée en des nappes simples, régulières  $R^{(2)}$ , à chacune desquelles s'applique la théorie usuelle des enveloppes: nous admettons ce résultat comme intuitivement évident. Pour simplifier les écritures, nous noterons encore  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  les nappes possédant la propriété précédente, engendrées soit par  $\Gamma(M_\alpha)$  ou par  $\Gamma(M_0, p_0, q_0)$ , selon la nature de la surface dont cette courbe fait partie.

Ceci étant, observons que les valeurs de  $u, v, \zeta$  ne sont pas toujours univoquement définies en  $(x, y, t) \in D$ . Cela tient à ce qu'il peut y avoir plusieurs points  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \mathcal{D}$ , homologues de

$(x, y, t)$  dans l'application inverse de celle définie par (1\*), points dont l'ensemble peut être infini, comme on l'a dit ci-dessus. Comme en chaque point  $(\alpha, \beta, \gamma)$  possédant la propriété précédente, les valeurs de  $u, v, \zeta$  en ce point sont univoquement définies par les seconds membres de (2\*) mais varient avec  $(\alpha, \beta, \gamma)$ , notre assertion est justifiée.

Le raisonnement qui précède complète celui exposé en 3.3.2<sub>IV</sub> en vue d'interpréter l'origine analytique des solutions de (E) discontinues sur certains ensembles de points  $\in D$ . On saisit ainsi les raisons pour lesquelles certaines expressions discontinues de  $u, v, \zeta$ , définies en  $(x, y, t)$  fixé, peuvent être représentées paramétriquement au moyen des fonctions régulières des variables bicaractéristiques  $\alpha, \beta, \gamma$ . C'est là que réside l'intérêt pratique des solutions régularisables de (e). D'ailleurs, nous reviendrons ultérieurement, avec plus de détails, sur la nature des singularités des solutions de (E) susceptibles d'être étudiées par le procédé qu'on vient de décrire.

Ceci posé, insistons, avant de passer aux applications, sur le caractère plus ou moins local des propriétés utiles, mentionnées ci-dessus, des solutions régularisables de (E): on a déjà annoncé, en effet, que la validité des quelques résultats qui suivent ne sera assurée que sur les portions régulières des surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ . Et c'est pour accroître la portée de la propriété ci-après, qui joue un rôle central dans la théorie des solutions régularisables de (E) que nous donnons une forme locale à l'énoncé ci-dessous, quitte à en déduire les conséquences globales dans les cas particuliers que nous aurons à étudier.

**Théorème.** Soit: la solution de (e), régulière  $R^{(2)}$ , définie dans  $\mathcal{D}$  au moyen des formules (1\*) et (2\*);  $(x, y, t)$  un point quelconque  $\in D$ ;  $(\alpha, \beta, \gamma)$ , son homologue dans  $\mathcal{D}$  — qui peut n'être pas unique —. Admettons que la famille de surfaces  $S_\alpha$  (pour fixer les idées) admette dans  $D$  une enveloppe  $\Sigma$ . Alors la condition *nécessaire* pour que  $(x, y, t) \in \Sigma$  est que son homologue  $(\alpha, \beta, \gamma)$  vérifie l'équation (cf. (3\*)):

$$\Delta(\alpha, \beta, \gamma) = 0 \quad (5^*)$$

Rappelons que dans le cas général  $\Sigma$  peut se composer de plusieurs éléments distincts (surfaces, courbes, points isolés). Mais dans ce qui suit nous porterons notre attention sur un seul de ces éléments, que nous noterons encore  $\Sigma$ . De plus, répétons que l'énoncé précédent ne suppose pas bijective l'application  $\mathcal{D} \Rightarrow D$ . Trois cas sont dès lors à distinguer.

a)  $\Sigma$  est une surface. Alors on sait que sur chaque  $S_\alpha$  il existe une courbe  $C_\alpha$ , dite caractéristique (au sens de la théorie des enveloppes), le long de laquelle  $S_\alpha$  et  $\Sigma$  sont tangentes et qui engendre  $\Sigma$  lorsque  $C_\alpha$  varie. Or, toute courbe tracée sur  $S_\alpha$  peut être définie analytiquement sous forme paramétrique par les équations (1\*) où l'on suppose que

$\beta$  et  $\gamma$  sont des fonctions d'un paramètre auxiliaire; il est d'ailleurs licite de faire jouer le rôle de celui-ci à l'une, au moins, de ces variables. Comme  $C_\alpha$  dépend évidemment de  $\alpha$ , nous admettrons que l'on puisse écrire les équations de cette courbe sous la forme suivante (cf. (1\*) et la page 9 de 2.3.1<sub>II</sub> où sont introduites les notations  $\underline{x}$  et  $\underline{y}$  que nous utilisons dans la suite) :

$$\underline{x} = x(\alpha, \beta, \gamma); \quad \underline{y} = y(\alpha, \beta, \gamma); \quad \underline{t} = t(\alpha, \beta, \gamma)$$

où nous avons posé  $\gamma = \gamma(\alpha, \beta)$  et fixé la valeur de  $\alpha$ . Mais comme  $C_\alpha$  est génératrice de  $\Sigma$ , ces équations représentent paramétriquement  $\Sigma$  si on interprète leurs seconds membres comme des fonctions composées des deux variables indépendantes :  $\alpha$  et  $\beta$ ; c'est pourquoi nous définirons les équations paramétriques de  $\Sigma$  en notant :

$$\underline{x} = x(\alpha, \beta, \gamma); \quad \underline{y} = y(\alpha, \beta, \gamma); \quad \underline{t} = t(\alpha, \beta, \gamma)$$

Cela étant, les paramètres directeurs de la normale à  $S_\alpha$  sont donnés par :

$$\frac{\partial(y, t)}{\partial(\beta, \gamma)} \Big|_{\alpha=\text{const}}, \quad \frac{\partial(t, x)}{\partial(\beta, \gamma)} \Big|_{\alpha=\text{const}}, \quad \frac{\partial(x, y)}{\partial(\beta, \gamma)} \Big|_{\alpha=\text{const}}$$

alors que les paramètres correspondants de la normale à  $\Sigma$  valent respectivement :

$$\frac{\partial(y, t)}{\partial(\alpha, \beta)}, \quad \frac{\partial(t, x)}{\partial(\alpha, \beta)}, \quad \frac{\partial(x, y)}{\partial(\alpha, \beta)}$$

Or, en tout point  $M \in C_\alpha$ , les normales à  $S_\alpha$  et  $\Sigma$  doivent être confondues; par suite, on doit avoir le long de cette courbe,  $\lambda$  étant un paramètre :

$$\frac{\partial(y, t)}{\partial(\beta, \gamma)} = \lambda \frac{\partial(y, t)}{\partial(\alpha, \beta)}$$

et deux autres relations qu'on obtient en remplaçant successivement dans celle qui précède le couple  $(y, t)$  par  $(t, x)$  et  $(x, y)$ . Observons à présent que les dérivées premières de  $x, y, t$  en  $\alpha, \beta$  en tout point  $M(\underline{x}, \underline{y}, \underline{t}) \in \Sigma$  sont données par les formules telles que :

$$\frac{\partial \underline{x}}{\partial \alpha} = \frac{\partial x}{\partial \alpha} + \frac{\partial x}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}, \quad \text{etc}$$

où la notation telle que  $\frac{\partial \underline{x}}{\partial \alpha}$  désigne la dérivée en  $\alpha$  de la fonction  $x(\alpha, \beta, \gamma)$  des trois variables indépendantes  $\alpha, \beta, \gamma$  (cf. (1\*)) en convenant de remplacer dans le résultat obtenu  $\gamma$  par  $\underline{\gamma}$ . Moyennant cette convention d'écriture, la relation ci-dessus, valable  $\forall M \in C_\alpha \subset S_\alpha \cap \Sigma$ , s'explicite sous la forme :

$$\frac{\partial(y, t)}{\partial(\beta, \gamma)} \cdot \left( 1 + \lambda \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} \right) + \lambda \left[ \frac{\partial(y, t)}{\partial(\gamma, \alpha)} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} - \frac{\partial(y, t)}{\partial(\alpha, \beta)} \right] = 0 \text{ sur } C_\alpha$$

relation à laquelle il convient d'ajouter celles qu'on obtient en  $\gamma$  substituant successivement au couple  $(y, t)$  les couples  $(t, x)$  et  $(x, y)$ . Il s'ensuit qu'en chaque point de  $C_\alpha$  les éléments de chaque ligne du déterminant adjoint  $\Delta_1$  de  $\Delta$  vérifient une même

relation linéaire, en sorte que  $\Delta_1 = 0$ . Comme on a :  $\Delta_1 = \Delta^2$ , on doit bien avoir  $\Delta = 0$  en chaque point de contact de  $S_\alpha$  avec son enveloppe  $\Sigma$ .

Insistons sur le fait que la conclusion précédente s'applique à la fois au cas où la famille  $S_\alpha$  est constituée de surfaces intégrales de (2.10)<sub>II</sub> et au cas où les  $S_\alpha$  sont les surfaces intégrales de (2.11)<sub>II</sub>. Voici quelques conséquences immédiates des résultats obtenus ci-dessus, valables quelque soit la nature des  $S_\alpha$ .

1) L'enveloppe  $\Sigma$  des  $S_\alpha$  et les données  $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$  qu'elle porte définissent une multiplicité bicaractéristique de (E), de la même famille que les  $S_\alpha$ .

En effet,  $S_\alpha$  et  $\Sigma$  étant tangents le long de  $C_\alpha, \forall \alpha$ , il s'ensuit que si  $S_\alpha$  est surface intégrale de (2.10)<sub>II</sub> (ou si  $S_\alpha$  est surface intégrale de (2.11)<sub>II</sub>) le plan tangent en  $M \in \Sigma$  contient,  $\forall M$ , la droite  $\delta_M$  (ou est aussi tangent au cône caractéristique  $C(M)$ ). Cela prouve que la multiplicité  $m(\Sigma, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ , où  $\underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta}$  sont les valeurs prises en  $M \in \Sigma$  par la solution de (e) donnée au moyen des formules (1\*) et (2\*) est bien bicaractéristique de (E), de la même famille que  $m(S_\alpha, \underline{u}, \underline{v}, \underline{\zeta})$ .

2) Chaque courbe de contact  $C_\alpha = S_\alpha \cap \Sigma$  est une caractéristique génératrice de la famille  $S_\alpha$ , c'est-à-dire, selon le cas, soit  $\Gamma(M_0)$ , soit  $\Gamma(M_0, \rho_0, q_0)$ .

En effet, chacune des surfaces  $S_\alpha$  et  $\Sigma$ , est porteuse d'une multiplicité bicaractéristique de (E) de la même famille. Dès lors,  $S_\alpha$  et  $\Sigma$  ne peuvent être tangentes entre elle que le long d'une caractéristique génératrice de la famille  $S_\alpha$ . (cf. les alinéas 2.3.3<sub>II</sub> et 2.3.4<sub>III</sub>).

3) Il est aisé de réaliser les situations que l'on vient d'analyser non seulement dans le cas des solutions régularisables de (E) mais même dans le cas des solutions régulières de ce système.

Supposons, par exemple, qu'on ait défini une solution régulière  $R^{(2)}$  de (E) dans un domaine quelconque  $D \subset Oxyt$ . Notons encore  $d(t_0)$  la section de  $D$  par le plan :  $t = t_0 = \text{const}$ .

Envisageons alors dans  $d(t_0)$  une famille de courbes simples régulières  $R^{(2)} : K_\alpha$ , paramétrées par  $\alpha$ , qui admet une enveloppe  $\sigma$ .

Soient :  $S_\alpha$ , la famille de surfaces porteuses de multiplicités bicaractéristiques de (E), telle que chaque  $S_\alpha$  contienne  $K_\alpha$ , paramétrée par le même  $\alpha$ ;  $\Sigma$ , la surface porteuse de la multiplicité de la même famille passant par  $\sigma$ . On sait que les  $S_\alpha$  et  $\sigma$  seront régulières dans le voisinage assez petit de  $d(t_0)$ , d'une part et il résulte d'autre part de ce qui précède que  $\Sigma$  est une enveloppe des  $S_\alpha$ ; car les deux surfaces en cause, étant tangentes en un point  $M_\alpha \in \sigma$ , le seront encore le long de la même caractéristique  $\Gamma(M_\alpha)$  ou  $\Gamma(M_\alpha, \rho_0, q_0)$  — selon la nature des  $S_\alpha$  — dans ce dernier cas telle que le plan tangent au cône  $C(M)$  le sera encore en  $M_\alpha$  à cette courbe et à  $\sigma$ . Cela justifie notre assertion.

Ainsi, la situation qu'on vient de décrire — déjà annoncée en 3<sub>i</sub>, se présente comme un fait banal dans le cas des solutions régulières de (E) — et, donc, à fortiori dans le cas des solutions régularisables de ce système —. Pour aller plus loin, nous allons compléter les définitions de l'alinéa 2.3.5<sub>iii</sub> en introduisant la notion suivante : nous dirons que le réseau des courbes  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$  réalise une triangulation, au sens strict, du domaine  $d(t_0)$  si aucune des trois familles précédentes n'admet d'enveloppe sur  $d(t_0)$ . L'intérêt de la distinction précédente réside en ce qu'il existe — comme nous le verrons à propos d'exemples simples — des triangulations de  $d(t_0)$  qui ne le sont pas au sens strict et qui ne possèdent pas, dès lors, les propriétés que nous allons énoncer.

Il convient maintenant d'insister sur le fait, qu'aucune des familles  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  ne peut admettre d'enveloppe lorsqu'elles sont associées à une solution de (E), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans  $d(t_0)$  et construites à partir d'une triangulation, au sens strict, de cette section de D par le plan  $t = t_0$  (cf. 2.3.5<sub>iii</sub>). Pour le voir, raisonnons par l'absurde et supposons que la famille  $S_\alpha$ , par exemple, admette une enveloppe  $\Sigma$ . Il en résulterait que la courbe  $\sigma = \Sigma \cap d(t_0)$ , serait tangente en chacun de ses points  $M_\alpha$  à la courbe  $K_\alpha$  passant par  $M_\alpha$ , en sorte que  $\sigma$  serait l'enveloppe des  $K_\alpha$ . Or, cela est impossible en raison de la définition même de la famille  $K_\alpha$ , formant partie d'une triangulation au sens strict.

Observons que cette conclusion résulte aussi immédiatement d'un résultat déjà établi. Si, en effet, les  $S_\alpha$  admettaient une enveloppe  $\Sigma \subset D$ , l'équation  $\Delta = 0$  serait satisfaite, comme nous venons de le prouver, en chaque point  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \mathcal{D}$ , homologue d'un point  $M \in \Sigma$ . Il s'en suivrait que le trièdre formé par les plans tangents aux surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  passant par  $M$  serait dégénéré. Or, nous avons montré en (2.3.5)<sub>iii</sub> que cette situation est impossible lorsque les familles  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  résultent d'une triangulation de  $d(t_0)$  au sens strict.

4) L'équation (5\*) :  $\Delta = 0$  a été formée dans l'hypothèse où la famille  $S_\alpha$  possédait l'enveloppe  $\Sigma$  que nous noterons provisoirement  $\Sigma_\alpha$  pour éviter toute confusion. Mais le même raisonnement s'applique aussi aux familles  $S_\beta$  et  $S_\gamma$ ; si elles admettent les enveloppes  $\Sigma_\beta$  et  $\Sigma_\gamma$  respectivement, celles-ci sont encore définies en résolvant la même équation (5\*) mais, cette fois, en  $\beta = \beta(\gamma, \alpha)$  et  $\gamma = \gamma(\alpha, \beta)$  respectivement. Pour simplifier la discussion, nous supposons que chacune des racines du triplet  $\alpha, \beta, \gamma$  est unique et simple : il s'en suit que l'enveloppe  $\Sigma_\alpha$  des  $S_\alpha$  correspondants ( $\Sigma_\alpha$  pour fixer les idées) sera constituée par une seule nappe. Enfin, on vérifiera que (5\*) peut avoir une, deux ou trois racines du triplet  $\alpha, \beta, \gamma$ ; par suite, il peut exister une, deux ou trois surfaces du triplet :  $\Sigma_\alpha, \Sigma_\beta, \Sigma_\gamma$ .

Nous allons illustrer chacune des situations qu'on vient de décrire par des exemples concrets. Il est significatif que pour construire explicitement ceux-ci, il nous suffira de se limiter aux solutions régulières  $R^{(2)}$  de (E), représentées paramétriquement par (1\*) et (2\*), solution régulière  $R^{(2)}$  de (E) qui vérifie la condition (1.2)<sub>i</sub> :  $\Delta \neq 0$  sur D, en sorte que l'application  $\mathcal{D} \rightarrow D$  est une bijection; cette conséquence de la condition locale qui précède résulte de l'hypothèse formulée en 1.2<sub>i</sub>. Par suite, les raisonnements qui suivent s'appliquent à fortiori aux solutions régularisables de (E). Dès lors, l'intérêt de la remarque précédente réside en ce que les situations ci-dessus mentionnées ne sont pas adaptées à la description des ensembles de points  $\in D$  en lesquels la solution  $u(x, y, t), v(x, y, t), \zeta(x, y, t)$  du système (E) présente des discontinuités du type étudié : ce qui suit met en évidence le fait, déjà annoncé en 3.3.2<sub>iv</sub>, que l'équation (5\*) ne constitue qu'une condition nécessaire mais nullement suffisante de l'existence de telles singularités. D'une manière précise, nous allons établir que toute solution de (E), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans un domaine  $D \subset Oxyt$  quelconque, admet une infinité de représentations paramétriques en variables caractéristiques  $\alpha, \beta, \gamma$  au moyen des relations (1\*) et (2\*), définies et régulières  $R^{(2)}$  dans un domaine  $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$ , associé à chaque représentation en cause, et telles que l'équation (5\*) admette des solutions appartenant au triplet  $\alpha, \beta, \gamma$ ; le nombre de ces racines peut être fixé a priori arbitrairement à 1, 2 ou 3.

Pour le voir, reprenons les notations de l'alinéa 2.3.5<sub>iii</sub> — à cela près que le domaine de définition  $D \subset Oxyt$  de  $u, v, \zeta$  est quelconque —. Considérons dans  $d(t_0)$  le réseau de trois familles de courbes réalisant une triangulation de  $d(t_0)$  sans postuler, que celle-ci le soit du sens strict (cf. la remarque 3 qui précède). Supposons alors que la famille  $K_\alpha$  (pour fixer les idées) admette dans  $d(t_0)$  une enveloppe  $\sigma_\alpha$ , sans cesser pour autant, de trianguler  $d(t_0)$  avec  $K_\beta$  et  $K_\gamma$ . Cela étant, notons encore  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ , les trois familles de surfaces coordonnées, introduites en 2.3.5<sub>iii</sub> — donc passant respectivement par  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$  —. Il résulte alors de ce qui précède que  $\exists \Sigma_\alpha$ , surface-enveloppe de la famille  $S_\alpha$ , qui est porteuse d'une multiplicité bicaractéristique, attachée à la solution considérée ( $u, v, \zeta$ ) de (E), de la même famille que  $S_\alpha$ , d'une part et qui contient  $\sigma_\alpha$ , d'autre part. Cela entraîne, comme on vient de le voir, l'existence d'une solution  $\underline{\alpha}$  de l'équation (5\*). Et cette solution sera la seule si on postule qu'aucune des deux familles  $K_\beta$  et  $K_\gamma$  n'admet d'enveloppe. Le même raisonnement prouve que (5\*) admet deux racines,  $\alpha$  et  $\beta$  si la famille  $K_\beta$  possède à son tour une enveloppe  $\sigma_\beta$  — sans qu'il en soit de même de la famille  $K_\gamma$  — sinon, il existerait trois racines de (5\*), à savoir  $\alpha, \beta, \gamma$ . Observons, enfin, que le réseau des courbes  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$  pouvant être, dans une large mesure fixé arbitrairement, on voit que



le domaine de définition  $\mathcal{D}$  de la représentation paramétrique (1\*), (2\*) de  $(u, v, \zeta)$  dépend essentiellement du choix des variables caractéristiques  $\alpha, \beta, \gamma$ . Le résultat énoncé est ainsi établi pour la zone d'influence de la donnée de Cauchy :  $m[d(t_0), u, v, \zeta]$ . Nous laissons au lecteur le soin d'étendre la conclusion précédente à tout le domaine  $D$ , en prolongeant la solution à l'extérieur de cette zone au moyen des raisonnements de l'alinéa 2.3.5<sub>III</sub>.

La proposition précédente entraîne une conséquence déjà explicitement énoncée ci-dessus mais dont il importe de préciser la signification en la formulant comme il suit : une condition suffisante pour que la représentation (1\*), (2\*) de la solution  $(u, v, \zeta)$  de (E) vérifie la condition :  $\Delta \neq 0$  est que la triangulation  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$  de  $d(t_0)$  ait été réalisée au sens strict.

Rappelons, pour finir, qu'en général, une triangulation de  $d(t_0)$  l'est au sens strict. On sait, en effet, que dans les cas usuels le point caractéristique  $M_\alpha$  (au sens de la théorie des enveloppes) de  $K_\alpha$  peut — quand il existe — être considéré comme la limite d'un point d'intersection  $K_\alpha$  et  $K_{\alpha+\Delta\alpha}$  lorsque  $\Delta\alpha \rightarrow 0$ . Or, une telle éventualité est exclue en vertu de la définition même des  $K_\alpha$  (cf. 2.3.5<sub>III</sub>). Mais il est aisé de construire des exemples de triangulations qui ne le sont pas au sens strict. Supposons que les  $K_\alpha$  admettent l'enveloppe  $\sigma_\alpha \subset d(t_0)$  (que nous supposons constituée par un arc simple, dont les deux extrémités  $\in d(t_0)$ ). Considérons alors la famille des arcs  $K_{1\alpha} \subset K_\alpha$ , dont  $M_\alpha \in \sigma_\alpha$  est une des extrémités, situés d'un même côté de  $\sigma_\alpha$ . Il est alors intuitivement évident qu'on peut prolonger chaque  $K_{1\alpha}$  à travers  $\sigma_\alpha$  de manière à former avec  $K_{1\alpha}$  une courbe régulière  $R^{(2)}$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} + \frac{\partial \gamma}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} = f'(x) \left( \frac{\partial x}{\partial \alpha} + \frac{\partial x}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial x}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} \right) \quad (6^*)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \alpha} + \frac{\partial t}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial t}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} = g'(x) \left( \frac{\partial x}{\partial \alpha} + \frac{\partial x}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial x}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} \right)$$

qui traduisent le fait que  $\sigma$  est indépendante de  $\alpha$  et où les symboles tels que  $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}$  ont la même signification que ci-dessus. Soit alors  $F(\alpha, \beta, \gamma)$ , une fonction des trois variables indépendantes; introduisons l'opérateur  $U_\alpha$  défini par :

$$U_\alpha[F(\alpha, \beta, \gamma)] = \frac{\partial F}{\partial \alpha} + \frac{\partial F}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial F}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}$$

Compte tenu de (3\*) et des deux relations précédentes, on vérifie aisément que l'on a :

$$\Delta = U_\alpha[x] \begin{vmatrix} 1 & f'(x) & g'(x) \\ \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial \gamma}{\partial \beta} & \frac{\partial t}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x}{\partial \gamma} & \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma} & \frac{\partial t}{\partial \gamma} \end{vmatrix}$$

dont l'ensemble serait susceptible de servir à une triangulation de  $d(t_0)$ . Voici d'ailleurs un exemple élémentaire d'une triangulation du plan entier  $Oxy$ , réalisé au moyen des familles  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$  analytiques et régulières. Il suffit de prendre les équations respectives de ces courbes sous les formes :

$$y - (x - \alpha)^3 = 0, \quad y + x = \beta, \quad y + 2x = \gamma$$

On vérifie immédiatement qu'il passe une courbe et une seule de chaque famille par tout point  $(x, y) \in Oxy$  d'une part et que la famille  $K_\alpha$  admet l'axe  $Ox$  pour enveloppe.

b)  $\Sigma$  se réduit à une courbe. Alors, il existe une courbe  $\sigma$ , commune à toutes les surfaces de la famille  $S_\alpha$ . Or, les équations de toute courbe  $\sigma_\alpha$ , tracée sur  $S_\alpha$  et variable avec  $\alpha$  peuvent être écrites sous la forme paramétrique :

$$\underline{x} = x(\alpha, \beta, \gamma), \quad \underline{y} = y(\alpha, \beta, \gamma), \quad \underline{t} = t(\alpha, \beta, \gamma)$$

où l'on a posé :  $\alpha = \text{const.}$ ,  $\beta = \beta(s, \alpha)$ ,  $\gamma = \gamma(s, \alpha)$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  étant des fonctions régulières  $R^{(2)}$  de leurs arguments et  $s$  une variable auxiliaire. On obtiendrait encore la surface engendrée par  $\sigma_\alpha$  en faisant varier  $\alpha$  dans les formules qui précèdent. Si maintenant on admet que  $\sigma_\alpha$  est indépendante de  $\alpha$  — tout en étant commune à toutes les  $S_\alpha$  —, il doit exister  $\underline{\beta}$  et  $\underline{\gamma}$  telles que l'on ait, par exemple :

$$\underline{y} = f(\underline{x}), \quad \underline{t} = g(\underline{x})$$

et où  $f$  et  $g$  sont des fonctions régulières de la seule variable  $\underline{x}$  — et ceci  $\forall \alpha$  —; il est évident que les raisonnements ci-après s'adaptent immédiatement au cas où  $\underline{t}$  et  $\underline{x}$  (ou  $\underline{y}$ ) soient représentables le long de  $\sigma$  par des fonctions régulières de  $\underline{y}$  seul — et de  $\underline{y}$  seul (ou de  $\underline{t}$  seul) —. Cela étant, on déduirait de l'hypothèse les relations :

Un raisonnement analogue, appliqué à la variable  $s$ , permet de déduire de la définition même des fonctions  $f$  et  $g$  les deux relations :

$$U_s[\underline{y}] = f'(x) U_s[x], \quad U_s[\underline{t}] = g'(x) U_s[x] \quad (6^*)$$

dans lesquelles  $U_s$  désigne l'opérateur :

$$U_s[F(\alpha, \beta, \gamma)] = \frac{\partial F}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial s} + \frac{\partial F}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial s}$$

Compte tenu de ce résultat, l'expression précédente de  $\Delta$  s'écrit :

$$\Delta = (U_\alpha[x])(U_s[x]) \cdot \begin{vmatrix} 1 & f'(x) & g'(x) \\ 1 & f'(x) & g'(x) \\ \frac{\partial x}{\partial \gamma} & \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma} & \frac{\partial t}{\partial \gamma} \end{vmatrix}$$

en sorte qu'on a bien  $\Delta = 0$ .

Cela étant, deux éventualités peuvent se présenter, selon que la famille  $S_\alpha$  est formée par les surfaces intégrales de (2.10)<sub>II</sub> ou celles de (2.11)<sub>II</sub>.

1) Plaçons-nous dans le premier cas. Comme la solution considérée de (e), définie par (1\*) et (2\*) est, par hypothèse, régulière  $R^{(2)}$ , il s'en suit que  $\sigma$ , étant ligne d'intersection des surfaces  $S_\alpha$ , ne peut être qu'une caractéristique  $\Gamma(M_0)$  de (2.10)<sub>II</sub>. Alors deux éventualités peuvent se présenter. La première, tout à fait banale, a déjà été sommairement décrite en 3.3.2<sub>IV</sub>. C'est le cas où la solution (1\*), (2\*) de (e), définie et régulière  $R^{(2)}$  sur  $\mathcal{D}$ , représente paramétriquement une solution  $(u, v, \zeta)$  de (E), définie et régulière  $R^{(2)}$  sur  $D \subset Oxyt$ , astreinte à vérifier la condition supplémentaire :  $V^2 = u^2 + v^2 \neq 0$  sur  $D$ , dont nous allons préciser la signification et l'importance. Cela entraîne que la famille  $S_\alpha$ , définie par (1\*), découpe sur  $d(t_0)$  une famille  $K_\alpha$  de courbes passant,  $\forall \alpha$ , par le point  $M_0(x_0, y_0, t_0)$ , qui est :  $d(t_0) \cap \Gamma(M_0)$ , de sorte que les  $K_\alpha$  ne peuvent faire partie d'un réseau constituant une triangulation de  $d(t_0)$ . Cela étant, observons que les lignes instantanées de courant (c'est-à-dire les lignes de forces du champ des vitesses  $\vec{V}$  à l'instant  $t = t_1$  sont définies dans le plan  $t = t_1 \in Oxyt$  par le système différentiel :

$$\frac{dx}{dt} = u(x, y, t_1), \quad \frac{dy}{dt} = v(x, y, t_1)$$

Il s'en suit que dans le voisinage du point  $M_1(x_1, y_1, t_1) \in \Gamma(M_0)$ , ces lignes sont régulières, moyennant la condition  $|\vec{V}(M_1)| \neq 0$ ; il en passe une et une seule par  $M_1$ . En d'autres termes, les hypothèses faites ne caractérisent pas une singularité du mouvement étudié. Il en est tout autrement lorsque  $\vec{V}(M_1) = \vec{0}$ ; c'est la deuxième éventualité annoncée. La description des lignes instantanées de courant dans le plan  $t = t_1$  et dans le voisinage de  $M_1$  relève alors de la théorie classique de H. Poincaré. Il en est a fortiori ainsi si cette circonstance se produit  $\forall M_1 \in \Gamma(M_0)$ . Nous étudierons plus en détail cette situation à la fin du présent alinéa et indiquerons le parti pratique qu'on peut tirer de la discussion que nous n'avons fait qu'amorcer ici. Pour préciser la signification des résultats obtenus, nous allons les énoncer comme suit, sous une forme un peu différente de celle adoptée ci-dessus.

Etant donné une solution  $(u, v, \zeta)$  du système (E), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans le domaine  $D \subset Oxyt$ , on peut toujours lui associer — et cela d'une infinité de manières — une représentation paramétrique (1\*), (2\*) au moyen d'une solution de (e), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans le domaine correspondant  $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$ , de façon que l'équation (5\*) soit satisfaite le long d'une caractéristique  $\Gamma(M_0)$ , arbitrairement choisie dans  $D$ ; alors, une des familles des surfaces coordonnées —  $S_\alpha$ , pour fixer les idées — est constituée par des surfaces intégrales de (2.10)<sub>II</sub>, passant,  $\forall \alpha$ , par  $\Gamma(M_0)$ . Si, de plus,  $V^2 = u^2 + v^2 \neq 0$  en  $M_1(x_1, y_1, t_1) \in \Gamma(M_0)$ , il passe par  $M_1$  une ligne de courant instantané et une

seule, régulière, située dans le plan  $t = t_1 = \text{const.}$ ; il en est de même de ces lignes dans tout le voisinage de  $M_1$ .

Le résultat précédent est — dans le cas où les  $S_\alpha$  admettent  $\sigma$  pour enveloppe — homologue de celui, justifié ci-dessus, où les  $S_\alpha$  admettraient pour enveloppe une surface  $\Sigma$  : l'existence des racines de l'équation (5\*) n'est pas une condition suffisante pour caractériser les points singuliers d'une solution du système (E). On peut encore traduire ce fait en disant qu'une solution régularisable de (E) peut, en réalité, être régulière  $R^{(2)}$ . Et notre analyse montre d'ailleurs qu'il suffit pour qu'il en soit ainsi, d'associer à une solution régulière de (E) une représentation paramétrique (1\*), (2\*), définie au moyen du réseau  $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ , qui ne réalise pas une triangulation, au sens strict, de  $d(t_0)$  ou dont la famille  $K_\alpha$  soit formée de courbes passant par un même point  $M_0$ .

Au (§3)<sub>IV</sub>, pages 20-23, on a montré l'intérêt pratique que présente l'étude a priori de l'allure des lignes instantanées de courant dans le voisinage des points  $M_1$  tels que  $V(M_1) = 0, \forall t$ . Mais répétons que notre analyse repose sur l'hypothèse que le champ des vitesses est décrit au moyen d'une solution régularisable de (E) : on a vu, en effet, que dans le cas envisagé la seule singularité qui affecte le mouvement est celle des lignes précitées en  $M_1$ . La marche à suivre pour explorer le voisinage de  $M_1$  au moyen des solutions régularisables de (E) est esquissée en 3.4.3 ci-après.

Pour finir, il convient de remarquer que dans l'exemple qui précède on peut interpréter  $\Gamma(M_0)$  comme une surface intégrale de (2.10)<sub>II</sub> dégénérée. Considérons, en effet, une circonférence  $K \subset D$ , de centre  $M_0$  et de petit rayon  $r$ . Admettons que le plan de  $K$  ne contienne pas la droite  $\delta_P, \forall P \in K$ . Alors le « tube »  $S$ , engendré par les courbes  $\Gamma(P)$  quand  $P$  décrit  $K$  est une surface régulière, intégrale de (2.10)<sub>II</sub>. De cette construction il résulte qu'on a :

$$\lim_{r \rightarrow 0} S = \Gamma(M_0)$$

ce qui justifie notre assertion. Cette remarque évidente nous sera utile.

2) Passons maintenant à l'examen du second cas, signalé ci-dessus : admettons donc que  $\sigma$  soit l'enveloppe dégénérée de la famille  $S_\alpha$  de surfaces intégrales de (2.11)<sub>II</sub>. Nous nous proposons maintenant de préciser et de développer les indications sommaires, données à ce sujet en 3.3.2<sub>IV</sub> et, spécialement dans la remarque finale de cet alinéa. Nous établirons, entre autres, ce fait qu'une solution régulière  $R^{(2)}$  de (e), donnée, telle que la condition (4\*) ci-dessus ne soit pas remplie, représente paramétriquement, au moyen des formules (1\*) et (2\*), une solution de (E) discontinue le long de  $\sigma$  lorsque cette enveloppe existe.

Observons alors que dans les situations pratiques  $\sigma$  est une donnée a priori (cf. 3.4.2), en sorte que les fonctions  $f(x)$  et  $g(x)$ , introduites ci-dessus pour définir analytiquement cette courbe, sont

aussi des données. Et c'est en vue de justifier une méthode effective de résolution approchée des problèmes aux limites réalistes, posés relativement au système (E), que nous allons étudier les propriétés des solutions de (E) dans le voisinage de la ligne singulière que nous venons d'introduire. Soient : une solution (1\*), (2\*) de (e), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans  $\mathcal{D}$  que nous considérons comme donnée et qui est telle que la famille  $S_\alpha$  correspondante, constituées de surfaces intégrales de (2.11)<sub>II</sub>, admet, par hypothèse, une courbe  $\sigma$  pour enveloppe. Proposons nous de préciser les conditions d'existence de cette singularité.

A cet effet, éliminons  $f'(x)$  et  $g'(x)$  entre les quatre relations (6\*<sub>1</sub>) et (6\*<sub>2</sub>); on trouve :

$$\frac{U_\alpha[x]}{U_s[x]} = \frac{U_\alpha[y]}{U_s[y]} = \frac{U_\alpha[t]}{U_s[t]} \quad (7^*)$$

Adjoignons à (7\*) l'équation :

$$\Delta = 0 \quad (8^*)$$

déduite de (5\*) en remplaçant dans ce déterminant les éléments tels que  $\frac{\partial x}{\partial \alpha}$  par  $\frac{\partial x}{\partial \alpha}$ . Dès lors, on peut interpréter (7\*) — lorsque les seconds membres de (1\*) sont des données a priori — comme un système de deux équations aux dérivées partielles de premier ordre en  $\beta$  et  $\gamma$  dont aucune — observons-le en passant — n'est linéaire ni, même, quasi-linéaire; (8\*), au contraire, joue alors le rôle d'une équation ordinaire de la forme :  $\Delta(\alpha, \beta, \gamma) = 0$ . Or, nous avons vu que les systèmes (6\*<sub>1</sub>) et (6\*<sub>2</sub>) traduisent la condition nécessaire d'existence des fonctions  $\beta$  et  $\gamma$  qui définissent l'enveloppe dégénérée  $\sigma$  des  $S_\alpha$ . Il s'ensuit que les deux inconnues,  $\beta$  et  $\gamma$ , sont astreintes à vérifier le système de trois équations : (7\*) et (8\*) qui doivent, dès lors, être compatibles.

Nous allons préciser ce point et montrer que (e) peut admettre effectivement des solutions régulières  $R^{(2)}$  qui représentent paramétriquement des solutions régularisables mais non régulières de (E), du type qu'on vient de mentionner.

En effet, nous décrirons en 3.4 et 3.5 ci-après un algorithme résolutif approché des problèmes aux limites posés relativement à (E) dont les solutions présentent une ligne de discontinuité  $\sigma$ , mais en même temps, susceptibles d'être définies paramétriquement au moyen des relations (1\*), (2\*) dont on vient de rappeler la signification. Or, on a postulé, en 1.1<sub>1</sub>, in fine, la validité de l'hypothèse selon laquelle l'existence d'un procédé de calcul numérique d'une solution de (e) entraîne son existence au sens strict du terme. Ce raisonnement, sommaire et dépourvu de rigueur, montre que l'ensemble des

solutions, seulement régularisables de (E), n'est pas vide : il ouvre aussi, en même temps, la voie à leur étude qualitative.

D'ailleurs, nous présenterons dans la suite une autre méthode de construction des solutions régulières  $R^{(2)}$  de (e) du type étudié, en ramenant la question à la résolution d'un problème mixte aux limites suivant, classique dans la théorie des systèmes d'équations hyperboliques : déterminer les seconds membres de (1\*) et de (2\*), connaissant les valeurs que ceux-ci prennent sur des multiplicités bicaractéristiques de (e), portées, respectivement, par les plans  $\alpha = \alpha_0 = \text{const}$  et  $\beta = \beta_0 = \text{const}$ ,  $\alpha$  (ou  $\beta$ ) étant la variable caractéristique correspondant aux intégrales de (2.11)<sub>II</sub> (ou de (2.10)<sub>II</sub>). Cette variante constituera un exemple spécialement significatif des avantages qu'offre l'emploi des solutions régularisables de (E).

Avant d'aller plus loin, observons que l'étude de la compatibilité du système (7\*) et (8\*) dont  $\beta$  et  $\gamma$  ne sont les seules inconnues que si les seconds membres de (1\*) et (2\*) figurant dans (7\*) et (8\*) ont été explicités préalablement. Or, cette hypothèse n'est, pratiquement, jamais remplie dans les cas concrets. Pour cette raison, le problème de compatibilité ci-dessus énoncé ne présente qu'un intérêt théorique : celui de mettre davantage en évidence la nature analytique de la question. Et c'est pourquoi nous ne réserverons ci-après à celle-ci qu'un bref commentaire.

L'exploitation directe du système (7\*), (8\*) se heurte à une difficulté majeure — à supposer même que l'expression de  $\Delta(\alpha, \beta, \gamma)$  ait été explicitée à partir des seconds membres de (1\*), connus, par hypothèse —. En effet, il est impossible, en général, de résoudre exactement l'équation (8\*) en  $\gamma$  (ou en  $\beta$ ) et de réduire ainsi le système (7\*) à deux équations à une seule inconnue,  $\beta$  (ou  $\gamma$ ), dont il faudra discuter la compatibilité. Mais nous allons montrer qu'on peut déduire de (7\*) et (8\*) une relation de la forme :  $H(\alpha, \beta, \gamma) = 0$  qui traduit la condition nécessaire de compatibilité de ce système et où la fonction  $H$  est explicitement connue dès que le sont les seconds membres de (1\*). On tire, en effet, de (7\*) :

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial s} + \frac{\partial \Delta}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial s} = 0,$$

la dérivation faite de  $\Delta$  en  $\beta$  et  $\gamma$  étant légitime, car les seconds membres de (1\*) sont, par hypothèse, des fonctions régulières  $R^{(2)}$  de leurs trois arguments. Eu égard à la définition de  $U_s[F]$ , la relation précédente permet de transcrire (7\*) sous la forme :

$$\frac{1}{U_\alpha[x]} \left( \frac{\partial \Delta}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial x}{\partial \beta} - \frac{\partial \Delta}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial x}{\partial \gamma} \right) = \frac{1}{U_\alpha[y]} \left( \frac{\partial \Delta}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial y}{\partial \beta} - \frac{\partial \Delta}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial y}{\partial \gamma} \right)$$

une deuxième relation se déduisant de celle qu'on vient d'écrire par substitution de  $\gamma(\alpha, \beta, \gamma)$  par  $t(\alpha, \beta, \gamma)$ . Il résulte alors de la définition de l'opérateur  $U_\alpha[F]$  que les deux équations précédentes sont linéaires

en  $\frac{\partial \beta}{\partial \alpha}$  et  $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}$ , à coefficients dépendant de  $\alpha, \beta, \gamma$ , qu'on peut considérer, comme connus. Comme (8\*) est, d'autre part, une identité en variables indépendantes  $\alpha$  et  $s$ , on en tire une troisième relation du même type entre les deux dérivées de  $\frac{\partial \beta}{\partial \alpha}$  et  $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}$ :

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \alpha} + \frac{\partial \Delta}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + \frac{\partial \Delta}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} = 0$$

En éliminant alors  $\frac{\partial \beta}{\partial \alpha}$  et  $\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}$  entre les trois équations ainsi obtenues on aboutit à la condition nécessaire de compatibilité entre (7\*) et (8\*) sous la forme annoncée:  $H = 0$ , que nous avons en vue mais que nous n'explicitons pas ici.

Il importe de préciser le sens de cette conclusion, qui ne fournit pas un critère suffisant pour que la solution considérée de (e) représente paramétriquement une solution régularisable de (E), telle que la famille correspondante  $S_\alpha$  admette pour enveloppe une courbe  $\sigma$ : notre résultat énonce seulement la condition nécessaire pour qu'une solution donnée de (e) de l'espèce indiquée, telle, de plus, que l'ensemble de points  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \mathcal{D}$  en lesquels l'équation correspondante (5\*) est satisfaite, n'est pas vide, représente paramétriquement une solution régularisable de (E) possédant la propriété précédente.

Rappelons une fois de plus à cette occasion que les restrictions imposées quant à l'interprétation des racines de l'équation (5\*) tiennent à ce que ces racines peuvent définir éventuellement le lieu des points singuliers de surfaces de la famille  $S_\alpha$  quand  $\alpha$  varie: nous reviendrons sur ce point à la fin du présent alinéa.

Ceci étant, reprenons l'examen du cas où  $\exists \gamma = \gamma(\alpha, \beta)$  — ou  $\exists \beta = \beta(\gamma, \alpha)$  —, racine de l'équation (5\*) et supposons que les seconds membres de (1\*) représentent paramétriquement une courbe  $K \subset D$ , enveloppe dégénérée des  $S_\alpha$ , surfaces intégrales de (2.11)<sub>ii</sub>, lorsqu'on substitue dans (1\*)  $\gamma$  par  $\underline{\gamma}$ . D'après cela,  $\underline{\gamma} = \gamma(\alpha, \beta)$  définit dans  $\mathcal{D}$  une surface  $\sigma$ , qui admet  $K$  pour image dans l'application  $\mathcal{D} \rightarrow D$ , déterminée au moyen des formules (1\*); il est entendu, jusqu'à nouvel ordre, que les relations (1\*) et (2\*) décrivent une solution de (e), régulière  $R^{(2)}$  sur  $\mathcal{D}$ , astreinte à satisfaire l'équation (5\*). Parmi l'infinité de représentations paramétriques de  $\sigma$  qu'on peut déduire de l'équation cartésienne  $\underline{\gamma} = \gamma(\alpha, \beta)$  de celle-ci, nous aurons à utiliser celles qui sont de la forme:

$$\alpha = \alpha, \quad \beta = \beta(\ell, \alpha), \quad \underline{\gamma} = \gamma(\ell, \alpha)$$

où  $\ell$  désigne un paramètre auxiliaire qui fixe les

coordonnées dans  $O\alpha\beta\gamma$  d'un point courant de la section de  $\sigma$  par le plan  $\alpha = \text{const}$ , en sorte que le choix de  $\ell$  reste largement arbitraire. Moyennant les conventions d'écriture et les résultats qui précèdent, nous allons, à présent, développer les brèves indications de 3.3.2<sub>iv</sub> concernant les singularités que présentent le long de  $K$  les solutions de (E), représentées paramétriquement dans  $D$  par une solution de (e) du type que nous venons d'introduire. On notera que les raisonnements qui suivent font un large appel à l'intuition: la justification rigoureuse des résultats ci-après sera publiée ailleurs.

Revenant à la remarque finale de l'alinéa précité, commençons par compléter, en les modifiant légèrement, les notations du 3.3.2<sub>iv</sub> ainsi que celles de 3.4. Soient:  $M$ , un point courant de  $K$ ;  $s$ , son abscisse curviligne:  $\pi = \pi(M, \alpha)$ , le plan tangent à  $S_\alpha$  en  $M$ ;  $\theta(s, \alpha)$ , l'angle dièdre formé par  $\pi$  avec le plan  $Oxy$  en  $M$  (bien entendu, on pourra, en cas de besoin, préciser ce point et définir  $\theta$  à  $2k\pi$  près, après avoir orienté cet angle: cf. l'exemple particulier de l'alinéa 3.4.5, où sont introduites des notations voisines;  $\underline{x} = x(s)$ ;  $\underline{y} = y(s)$ ;  $\underline{t} = t(s)$ , les équations intrinsèques de  $K$  dans  $Oxyt$ . Enfin, on affectera de l'indice zéro tout ce qui se rapporte au point  $M_0 \in K$ :  $\theta_0, \pi_0, s_0$  etc.

Cela étant, il résulte de ce qui précède que  $\forall M \in K$ , ce point, paramétré par  $s$ , est l'image d'un ensemble de points de  $\sigma$ , paramétrés par  $\ell$  et  $\alpha$ . Il s'en suit que les trois équations en  $s$  ci-après:

$$\begin{aligned} \underline{x} &= x(s) = x[\alpha, \beta(\ell, \alpha), \gamma(\ell, \alpha)], \\ \underline{y} &= y(s) = y[\alpha, \beta(\ell, \alpha), \gamma(\ell, \alpha)], \\ \underline{t} &= t(s) = t[\alpha, \beta(\ell, \alpha), \gamma(\ell, \alpha)] \end{aligned}$$

doivent avoir une racine commune si les seconds membres de ces relations sont donnés par la solution (1\*), (2\*) de (e) vérifiant la condition (5\*). Nous nous limiterons alors à l'examen du cas le plus simple où le système précédent admet une solution de la forme:  $\underline{s} = s(\ell, \alpha)$  où  $\underline{s}$  est une fonction régulière de ses arguments, ne se réduisant pas à une constante et telle que l'ensemble de points de  $\sigma$ , paramétrés par  $(\ell, \alpha)$  liés par la relation  $s_0 = s(\ell, \alpha)$  soit,  $\forall s_0$ , une courbe tracée sur cette surface. En d'autres termes, nous écartons à la fois le cas où  $K$  se réduit à un point et le cas où  $K$  serait l'homologue d'une portion de la surface  $\sigma$ . Nous reviendrons ci-après sur la première éventualité qu'on vient d'énoncer et nous réserverons l'examen de la seconde à une publication ultérieure (cf. la remarque finale de 3.3.2<sub>iv</sub>). Ainsi, l'hypothèse précédente revient à ne porter notre attention que sur l'éventualité où  $\ell$  et  $\alpha$  sont fonctions d'un seul paramètre auxiliaire en chaque point  $M \in K$ . Comme  $\alpha$  varie en chaque  $M$ , il est loisible d'admettre que la relation  $\underline{s} = s(\ell, \alpha)$  soit résoluble en  $\ell$ , ce qui permet d'écrire:  $\underline{\ell} = \ell(s, \alpha)$ . Mais il est évident géométriquement que  $\theta(s, \alpha)$ , pour  $s$  fixé, varie d'une manière monotone avec  $\alpha$ : on peut donc

inverser cette formule et écrire :  $\alpha = \alpha(s, \theta)$ . Si donc on choisit sur  $K$  un point fixe  $M_0$ , on déduit de là et de la propriété d'invariance de (E) (cf. 3.) qu'on peut prendre  $\theta_0$  comme variable caractéristique à la place de  $\alpha$ . De ce qui précède et compte tenu des formules (2\*) il résulte alors que les inconnues  $(u, v, \zeta)$  de (E) peuvent être représentées paramétriquement le long de  $K$  au moyen des relations telles que :

$$u(M) = u(\theta_0, \beta[\ell(s, \theta_0), \theta_0], \gamma[\ell(s, \theta_0), \theta_0]) \\ = F(s, \theta_0) \quad (9^*)$$

qui mettent en évidence le fait qu'en  $M \in K$  fixé ( $s = \text{const}$ ),  $u, v, \zeta$  varient avec  $\theta_0$  :  $K$  est bien une ligne de discontinuité de la solution régularisable de (E), comme on l'a déjà indiqué en 3.3.2<sub>v</sub>.

Voici quelques conséquences des résultats qu'on vient d'établir :

a) Comme  $\ell = \ell(s, \theta_0)$ , il résulte de ce qui précède que  $\sigma$  admet la représentation paramétrique :

$$\alpha = \underline{\alpha} = \alpha(s, \theta_0), \quad \beta = \underline{\beta} = \beta(s, \theta_0), \\ \gamma = \underline{\gamma} = \gamma(s, \theta_0).$$

Cela montre que l'image de  $M$  dans l'application  $K \rightarrow \sigma$  est la courbe  $\lambda \subset \sigma$  définie paramétriquement en faisant  $s = \text{const}$ . dans les formules précédentes. Ainsi, le point courant  $m \in \lambda$  est paramétré par  $\theta_0$ , propriété que nous traduisons par la notation  $m = m(\theta_0)$ . Comme la solution considérée de (e) est régulière sur  $\sigma$  et dans le voisinage de cette surface, on voit que les  $u, v, \zeta$  sont univoquement définis en  $m(\theta_0)$  : on retrouve ainsi une conséquence évidente de (9\*). On voit, de même, qu'à chaque  $m(\theta_0)$  correspond un cône caractéristique et un seul  $C(M, \theta_0) \subset D$ , de sommet  $M(s)$ .

Notons alors :  $S_{\theta_0} \subset D$ , la surface porteuse, paramétrée par  $\theta_0$ , de la multiplicité bicaractéristique de la famille considérée, qui admet  $K$  pour enveloppe dégénérée, tangente en  $M$  à  $C(M, \theta_0)$ ;  $\pi(M, \theta_0)$ , le plan tangent en  $M$  à ces deux surfaces. On peut donc définir encore  $K$  comme le lieu des sommets des  $C(M, \theta_0)$  à deux paramètres, dont la sous-famille  $\theta_0 = \text{const}$ . admet  $S_{\theta_0}$  pour enveloppe.

On remarquera que ces résultats sont intuitivement évidents si on raisonne directement sur le voisinage de  $K \subset D$ ; nous n'en avons exposé les justifications détaillées et très élémentaires qu'à titre d'exemple des raisonnements rigoureux fondés sur la notion, si simple, de solution régularisable de (E). Mais dans la suite, de cet alinéa, nous opérerons souvent directement dans l'espace  $Oxyt$  et, pour ce qui est des résultats qui suivent, nous nous contenterons des raisonnements intuitifs qu'on rendra aisément rigoureux en utilisant l'intermédiaire de l'espace  $O\alpha\beta\gamma$ . Nous donnerons dans la suite des exemples moins triviaux où la notion de solution régularisable s'avère utile.

b) Jusqu'à nouvel ordre nous supposons que  $\theta_0 = \text{const}$ .; pour simplifier les écritures, nous supprimerons alors dans les formules l'argument  $\theta_0$ , en sorte qu'au lieu de  $u(M, \theta_0)$ , par exemple, nous écrirons  $u(M)$ , etc. Proposons-nous à présent de traiter le problème suivant, voisin de celui étudié ci-dessus en a). Donnons-nous une courbe régulière  $K \subset D$  et  $\pi(M)$ , un plan tangent à  $K$  en  $M$ . Postulons l'existence d'une solution  $(u, v, \zeta)$ , régularisable de (E) telle que la famille  $S_{\theta_0}$  correspondante admette  $K$  pour enveloppe dégénérée. Trouver les relations qui lient  $u(M), v(M), \zeta(M)$ .

Comme  $\pi(M)$  est une donnée, les paramètres  $\underline{p}$  et  $\underline{q}$  figurant dans l'équation de ce plan :

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

sont connus a priori. Or, on tire de (2.22)<sub>1</sub>, après avoir choisi  $X, Y, T \in \pi(M)$  :

$$\underline{p} = \frac{(X - \underline{x}) - u(M)(T - \underline{t})}{g[\zeta(M) + h(M)](T - \underline{t})}, \\ \underline{q} = \frac{(Y - \underline{y}) - v(M)(T - \underline{t})}{g[\zeta(M) + h(M)](T - \underline{t})}$$

en adaptant à notre cas les notations de cette formule. Cela montre que  $u(M), v(M)$  et  $\zeta(M)$  vérifient deux équations linéaires à coefficients constants; c'est cette propriété qui sera exploitée en 3.4 ci-après dans la construction approchée des solutions régularisables de (E).

Ce rappel des propriétés élémentaires des fonctions multiformes, inverses des fonctions régulières, nous a paru utile pour essayer de bien mettre en évidence l'avantage qu'il y a à utiliser les variables caractéristiques dans l'étude des solutions régularisables de (E), sur lequel on a souvent insisté : on se ramène ainsi à la recherche des solutions régulières de (e). Voici un résumé de la marche que nous avons suivie.

c) Soit maintenant l'arc  $\Lambda(M) \subset D$ , d'extrémité  $M \in K$ , tel que  $\Lambda(M) \cap K = M$  et ayant une orientation d'espace. Cette notion est à préciser pour être appliquée en  $M \in K$  qui est le sommet d'une infinité de cônes caractéristiques  $C(M, \theta_0)$  (cf. (9\*)); nous dirons que  $\Lambda$  présente en  $M$  l'orientation d'espace s'il existe au moins un des cônes de la famille par rapport auquel  $\Lambda$  présente l'orientation d'espace. D'après cela,  $K$  possède cette propriété,  $\forall M \in K$ .

Postulons alors, comme nous l'avons fait jusqu'ici, la validité des résultats d'existence et d'unicité des solutions des problèmes aux limites posés relativement à (e). Il en résulte alors qu'il existe une et une seule surface  $\sigma(\mu) \subset D$ , passant par la courbe  $\mu$  et porteuse d'une multiplicité bicaractéristique régulière de (e) attachée à la solution considérée de ce système, à laquelle s'appliquent nos conclusions précédentes; bien entendu, on suppose que  $\mu$  est l'homologue d'une courbe  $\subset D$  ayant une orientation d'espace.

d) Les résultats qui précèdent permettent d'étudier la représentation (1\*), (2\*) d'une solution régularisable de (E) dans le voisinage de la surface singulière  $\sigma$ . Nous reprenons ici toutes les notations antérieures et nous supposons que tous les éléments que nous aurons à considérer (courbes, surfaces, fonctions, etc.) sont assez réguliers pour justifier nos raisonnements. Pour s'en tenir à l'essentiel, nous n'examinerons ci-après que la situation la plus courante où les équations paramétriques de  $\sigma$  peuvent être mises sous la forme, déjà utilisée

$$\alpha = \underline{\alpha} = \alpha(s, \theta), \quad \beta = \underline{\beta} = \beta(s, \theta), \quad \gamma = \underline{\gamma} = \gamma(s, \theta)$$

où  $s$  est encore l'abscisse curviligne du point courant  $M \in K$  et  $\theta$  est un paramètre auxiliaire dont nous ne précisons pas, pour l'instant, la signification géométrique; rappelons qu'en chaque point  $m \in \sigma$ ,  $u, v, \zeta$  ont des valeurs bien définies. Alors les courbes tracées sur  $\sigma$  peuvent être classées en deux catégories :

1. dans la première, nous rangeons toute courbe coordonnée  $\lambda$ , d'équations  $s = \text{const}$ . D'après la définition même de  $s$ , l'image de  $\lambda$  dans  $D$  se réduit au point  $M$ ;

2. toute autre courbe  $\lambda_1 \subset \sigma$  sera classée dans la seconde, étant bien entendu que  $\lambda \cap \lambda_1$  ne contient pas d'arc  $\subset \lambda_1$ ; d'après cela, l'image de  $\lambda_1$  dans  $D$  se réduit à  $K$ ,  $\forall \lambda_1$ . Il suit de là que : toute surface  $\subset \mathcal{D}$ , passant par  $\lambda$ , se transforme, dans l'application (1\*) en une surface  $\subset D$  et coupant  $K$  en le seul point  $M$ ; toute surface  $\subset \mathcal{D}$  passant par  $\lambda_1$  se transforme, dans les mêmes conditions, en une surface  $\subset D$  et contenant  $K$ . Or, en vertu des hypothèses admises de régularité, nous pourrions affirmer que toute  $\lambda_1$  a une orientation d'espace (puisqu'elle admet  $K$  pour homologue);  $\forall \lambda_1$ , il passe une surface et une seule, notée  $\sigma(\lambda_1)$ , dont l'homologue dans  $D$  est une surface intégrale de (2.11)<sub>II</sub>, passant par  $K$ . Comme l'ensemble des  $\lambda_1$  ne saurait être défini au moyen de fonctions dépendant d'un seul paramètre, mais dépend d'une fonction arbitraire d'une seule variable, on voit que l'ensemble des surfaces bicaractéristiques de l'espèce considérée passant par  $K$ , est infiniment plus riche que celui constitué par la seule famille  $S_\alpha$  de surfaces coordonnées — ce qui, d'ailleurs, était aisément prévisible a priori —. En effet, le long de  $K$ , les conoïdes caractéristiques  $S[M(s), \theta]$  dépendent des deux paramètres :  $s$  et  $\theta$ . Supposons qu'on établisse entre ceux-ci une relation. Alors, la famille de surfaces  $S[M(s), \theta]$  ne dépend plus que d'un seul paramètre et on vérifie qu'elle admet une enveloppe à deux nappes  $\sigma(\lambda_1)$ , chacune desquelles étant porteuse d'une multiplicité bicaractéristique de (E) et définie, d'après ce qu'on vient de voir, au moyen d'une fonction arbitraire d'une seule variable. Cette conclusion est en accord avec le résultat précédent, car une courbe  $\lambda_1$  tracée sur une surface  $\sigma$  donnée est déterminée également à partir d'un tel arbitraire.

La surface bicaractéristique  $\sigma(\lambda) \subset \mathcal{D}$  est d'une autre nature. Observons d'abord que  $\forall m(\theta) \in \lambda$ , le conoïde caractéristique  $\Sigma[m(\theta)] \subset \mathcal{D}$  de ( $e$ ), de sommet  $m(\theta)$  est univoquement défini, une fois fixé  $\theta$ . Ainsi,  $\sigma(\lambda)$  apparaît comme l'enveloppe de la famille des surfaces  $\Sigma[m(\theta)]$  dépendant du seul paramètre  $\theta$ . Comme  $s = \text{Cte}$  sur  $\lambda$ , il s'ensuit que l'image dans  $D$  de  $\sigma(\lambda)$  est encore un conoïde  $S_1(M)$  de sommet  $M$ , enveloppe des conoïdes de la famille  $S(M, \theta)$ , dont l'ensemble, quand  $s$  varie, constitue une famille paramétrée par  $s$ . Celle-ci admet à son tour une enveloppe passant par  $K$ ; à noter que cette courbe est le lieu des points singuliers  $M$  des  $S_1(M)$ .

Montrons maintenant qu'il n'existe pas de surface  $\sigma_1 \subset \mathcal{D}$ , bicaractéristique de ( $e$ ), passant par  $m(s, \theta) \in \sigma$  et tangente en  $m$  à  $\sigma$ . Raisonnons par l'absurde et supposons que  $\sigma_1$  existe. Il s'ensuivrait qu'il en serait de même de la caractéristique  $\ell(m)$  attachée à ( $e$ ), génératrice de  $\sigma_1$ , issue de  $m$ . Tout revient alors à prouver que, dans cette éventualité, la courbe  $\Gamma[M, p_0, q_0]$  — caractéristique de (2.11)<sub>II</sub>, image de  $\ell(m)$  dans l'application  $\mathcal{D} \rightarrow D$  et, par suite, issue de  $M \in K$ , point homologue de  $m$  — serait tangente à  $K$  en  $M$ . Or cette situation est impossible, attendu que  $K$  est orientée dans l'espace  $\forall M \in K$ .

Soient alors :  $m_1(s_1, \theta_1) = \sigma \cap \ell(m)$ , un point infiniment voisin de  $m(s, \theta)$  et  $M_1$  son image dans  $D$ . Deux cas sont à envisager :  $s_1 \neq s$  ou  $s_1 = s$ . Dans le premier,  $M_1 \neq M$  et  $M_1 \in K$ , car  $\sigma \rightarrow K$ ,  $\forall m_1$ ; cela montre que  $\Gamma[M, p_0, q_0]$  et  $K$  sont tangentes en  $M$ . Si, au contraire,  $s_1 = s$ , le raisonnement précédent est en défaut, puisqu'alors  $\ell(m)$  et  $\sigma(m) \subset \sigma$  — courbe, rappelons-le, dont l'homologue dans  $D$  se réduit au point  $M$  — sont tangentes en  $m$  et  $M_1 \equiv M$ ,  $\forall m_1 \in \lambda$ . Soit alors  $\lambda_1(m) \subset \sigma$ , une courbe du type  $\lambda_1$ , issue de  $m$  et tangente à  $\lambda(m)$  en  $m$ . Le raisonnement précédent montre que l'image de  $\lambda_1(m)$  dans  $D$  est tangente à  $K$  en  $M$ . Mais l'application  $\mathcal{D} \rightarrow D$  étant régulière, elle est une transformation qui conserve le contact entre deux courbes  $\subset \mathcal{D}$ , tangentes entre elles, lorsqu'aucune de leurs homologues dans  $D$  ne se réduit à un point (comme ce serait le cas si  $\lambda(m)$  était une de ces courbes). Il s'ensuivrait que l'image  $\Gamma[M, p_0, q_0]$  de  $\ell(m)$  serait bien tangente à  $K$ . Cela achève d'établir la propriété que nous avons en vue.

Notons que le résultat qui précède constitue une extension facile d'une propriété élémentaire des transformations de contact définies par (1\*) dans le voisinage des points  $\in \mathcal{D}$  où (4\*) est en défaut.

e) Adoptons encore les mêmes hypothèses que ci-dessus et supposons que  $K$  soit une enveloppe dégénérée des surfaces bicaractéristiques de (E) de l'espèce considérée. Nous allons alors montrer que  $K$  est aussi l'enveloppe dégénérée d'une infinité non dénombrable de surfaces bicaracté-

ristiques de (E) possédant la propriété  $(\pi)$ . En effet, nous avons vu qu'en chaque point  $m(s, \theta) \in \sigma$ , les grandeurs  $u, v, \zeta$  sont univoquement déterminées. Notons encore  $\ell_1(m)$  l'image dans  $\mathcal{D}$  d'une caractéristique des surfaces intégrales de (2.10)<sub>II</sub>. D'après ce qui précède, il existe une  $\Gamma_1(m)$  et une seule,  $\forall m \in \sigma$ ; il s'ensuit qu'il passe une surface bicaractéristique de (e) de l'espèce indiquée et une seule par toute courbe  $\lambda_1 \subset \sigma$ . Comme  $\sigma \Rightarrow K$ , on voit qu'il existe une infinité de surfaces bicaractéristiques de (E) possédant la propriété  $(\pi)$ , passant par K, dépendant d'une seule fonction d'une seule variable, définissant  $\lambda_1$  tracée sur  $\sigma$  (c.q.f.d.).

f) Les résultats qui précèdent comportent une réciproque que voici, à peu près évidente. Supposons encore que la solution  $(u, v, \zeta)$  de (E) possède la propriété suivante : elle est régulière  $R^{(2)}$  et vérifie la condition (1,2)<sub>I</sub>,  $\forall (x, y, t) \in D$ , et peut-être, le long d'une courbe K; mais on sait a priori qu'en chaque point de celle-ci,  $u, v, \zeta$  prennent des valeurs dépendant régulièrement des deux paramètres  $s$  et  $\theta$  ( $s$  étant toujours l'abscisse curviligne du point courant M sur K, et  $\theta$  étant un paramètre auxiliaire). Montrons que ces hypothèses entraînent que K : 1) est l'enveloppe d'une famille de surfaces bicaractéristiques de (E) possédant la propriété  $(\pi)$  et d'une famille de surfaces bicaractéristiques de (E), intégrales de (2.11)<sub>II</sub>, chacune de ces familles dépendant d'une seule fonction d'une seule variable; 2) le long de K, la solution vérifie la condition  $\Delta = 0$  (cf. (1.2)<sub>I</sub>).

En effet, des hypothèses faites et des raisonnements antérieurs, il résulte que si on établit une relation entre  $s$  et  $\theta$ , il existe une infinité de surfaces passant par K et possédant la propriété  $(\pi)$ . Autrement dit, K est l'enveloppe dégénérée d'une famille de surfaces bicaractéristiques de (E), en sorte que la représentation paramétrique (1\*) et (2\*) correspondante de la solution considérée vérifie l'équation (E) en chaque point  $\in K$ . On notera qu'il est loisible d'utiliser dans le raisonnement qui précède la famille de surfaces coordonnées, intégrales de (2.11)<sub>II</sub>.

Observons, pour finir, que la portée de cette réciproque réside en ce qu'elle précise la signification physique de la notion des solutions régularisables de (E).

3) Il nous reste maintenant à examiner le cas d'une solution régularisable de (E), représentée paramétriquement par la solution régulière (1\*) et (2\*) de (e), telle que la famille  $S_\alpha$  de surfaces bicaractéristiques de (E) admet une enveloppe réduite à un point isolé :  $M_0 \in D$ . Comme nous l'avons déjà mentionné, l'étude de cette éventualité est en cours. Nous nous bornerons, dès lors, à indiquer ci-après quelques-unes des éventualités analytiques qui peuvent se présenter a priori mais dont plusieurs sont dépourvues d'intérêt physique :

1) si  $\Lambda$  est une courbe d'extrémité  $M_0$ ,  $a$  et  $b$  étant les paramètres directeurs de la tangente en  $M_0$  à  $\Lambda$ , on peut envisager la situation où les valeurs de  $u, v, \zeta$  en  $M_0$  dépendent de  $a$  et  $b$ .

2) le conoïde caractéristique  $S(M_0)$  présente en son sommet un point-pince.

3) il existe une surface bicaractéristique possédant la propriété  $(\pi)$  et qui présente aussi en  $M_0$  un point-pince.

4) si  $M_0$  est un point régulier de la solution considérée de (E), on peut rappeler l'exemple banal, déjà mentionné à plusieurs reprises où les surfaces  $S_\alpha$  passent toutes par  $M_0$ ; alors, leur enveloppe se réduit au conoïde caractéristique  $S(M_0)$ .

Pour terminer cet alinéa, rappelons à présent un résultat classique de la théorie des enveloppes d'une famille de surfaces  $S_\alpha$ , dépendant d'un seul paramètre, résultat que nous formulerons comme suit sous une forme qualitative : quel que soit le mode de représentation analytique des  $S_\alpha$ , l'enveloppe  $\Sigma$  — quand elle existe — et l'ensemble de points singuliers des  $S_\alpha$  — quand de tels points existent — sont déterminés par une même équation. C'est pour cette raison que nous avons dû, au cours du résumé de la théorie qui précède, toujours préciser que ces énoncés n'étaient valables que sous réserve de l'existence des  $\Sigma$ .

Cela étant, il nous reste donc à montrer que, dans le cas où une famille de surfaces  $S_\alpha$  admet la représentation paramétrique (1\*), l'équation correspondante (E) définit analytiquement non seulement les nappes de l'enveloppe éventuelle  $\Sigma$  mais aussi l'ensemble des éventuels points singuliers des  $S_\alpha$ .

Reprenons à cet effet nos hypothèses ci-dessus énumérées et soient :  $(u, v, \zeta)$ , une solution de (E), définie et régulière  $R^{(2)}$  dans le domaine  $D \subset Oxyt$ ; (1\*), (2\*) sa représentation paramétrique, définie et régulière dans  $\mathcal{D} \subset O\alpha\beta\gamma$ , supposée telle que l'équation correspondante (5\*) admette des racines en  $\alpha$  (pour fixer les idées). Montrons alors que (5\*) définit à la fois  $\Sigma$  — quand elle existe — et l'ensemble des points singuliers des  $S_\alpha$  — quand cet ensemble n'est pas vide — ou l'un de ces éléments quand l'autre n'existe pas.

La première des affirmations de l'énoncé qui précède ayant été déjà établie, passons à l'étude de la seconde. Soient :  $M_\alpha$ , un point singulier de  $S_\alpha$ ;  $\mu_\alpha(\alpha, \beta, \gamma)$  son image dans  $\mathcal{D}$ . On sait qu'en  $\mu_\alpha$ , l'un au moins, des deux groupes ci-après des trois relations doit être compatible en  $\beta, \gamma$  pour un  $\alpha$  fixé :

$$\frac{\partial x}{\partial \beta} = \frac{\partial y}{\partial \beta} = \frac{\partial t}{\partial \beta} = 0 \quad (10_1^*)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \gamma} = \frac{\partial y}{\partial \gamma} = \frac{\partial t}{\partial \gamma} = 0 \quad (10_2^*)$$

ce qui entraîne qu'en chaque  $\mu_\alpha$  l'équation (5\*) est vérifiée; cela établit notre proposition. Nous note-

rons  $k_\gamma$  et  $k_\beta$  les ensembles de points  $M_\alpha \in S_\alpha$  où  $(10_1^*)$  et  $(10_2^*)$  sont respectivement satisfaites. Paramétrés par  $\gamma = \text{const.}$  et  $\beta = \text{const.}$ ,  $k_\gamma$  et  $k_\beta$  peuvent être des points isolés et, plus exceptionnellement des courbes et même des surfaces.

Pour fixer les idées, portons notre attention sur l'ensemble  $k_\gamma$ . Si  $k_\gamma$ , se réduit à un point isolé P,  $S_\alpha$  présentera en  $k_\gamma \equiv P$  une singularité isolée,  $\forall \alpha$ . Or, on sait qu'une telle circonstance ne peut se produire que si P est un point conique commun à toutes les  $S_\alpha$ . Il est aisé de construire des exemples où il en est bien ainsi. Reprenons le cas d'une solution régularisable de (E), telle que les  $S_\alpha$  admettent pour enveloppe dégénérée la courbe K. Utilisant les mêmes notations que celles introduites lors de l'étude de cette situation, on a établi que  $\forall M(s) \in K, s = \text{Cte}$ , il existe une famille de conoïdes caractéristiques  $S[M(s), \theta_0]$  — le sommet  $M(s)$  dépendant du seul paramètre  $s$  — qui peut admettre une enveloppe d'une part et qui possède en  $M(s)$  un point conique fixe d'autre part, quand  $\theta_0$  varie.

Envisageons maintenant le cas où  $k_\gamma$  est une courbe. Cette situation se présente même dans le cas d'une solution régulière  $R^{(2)}$  de (E). Considérons encore une courbe  $K \subset D$  et notons  $M(s)$ , le point courant  $\in K; S[M(s)]$ , le conoïde caractéristique de sommet  $M(s)$ . Rappelons alors un fait banal : les  $S[M(s)]$  constituent, quand  $s = \alpha$  varie, une famille à un paramètre, admettant pour enveloppe à deux nappes les deux surfaces intégrales de (2.11)<sub>II</sub> passant par K, alors que cette courbe est le lieu des points singuliers des  $S[M(s)]$ .

Voici maintenant un exemple, relatif encore à une solution de (E) régulière  $R^{(2)}$ , où  $k_\gamma$  est une surface. Reprenant l'éventualité représentée sur la fig. 5b (cf. deuxième partie (B)) ainsi que les notations qui s'y rapportent, supposons que la ligne L dépende d'un paramètre  $\alpha$  :  $L = L(\alpha)$ , les  $L(\alpha)$  admettant une enveloppe. Alors les surfaces intégrales  $S_\alpha$  de (2.11)<sub>II</sub> passant par  $L(\alpha)$ , présenteront le long de l'arc  $\lambda_\mu(\alpha)$  des points singuliers dont l'ensemble sera situé sur la surface engendrée par  $\lambda_\mu(\alpha)$ .

### 3.4. Etude de quelques solutions régularisables de (E)

#### 3.4.1. Introduction

Nous nous proposons à présent d'expliciter les expressions approchées de quelques solutions régularisables définies en 3.3.2, principalement dans le voisinage d'une courbe qui est une enveloppe dégénérée des surfaces intégrales de (2.11)<sub>II</sub> et d'en indiquer quelques propriétés directement utilisables en vue du traitement numérique des problèmes aux limites concrets de la théorie des marées littorales.

#### 3.4.2. Etude de la dégénérescence de la surface intégrale de (2.11)<sub>II</sub> en variables caractéristiques

Dans ce qui suit nous postulons l'existence des solutions régularisables de (E) et nous en entreprenons l'étude, principalement dans le cas où la surface dégénérée est intégrale de (2.11)<sub>II</sub>.

Considérons un point  $M_0(x, y, 0)$  sur la frontière marine  $\bar{d}_1 \subset \bar{d}$ , et soit  $\overline{IJ} = \ell_{M_0}$  un arc régulier de  $\bar{d}_1$  situé dans le voisinage de  $M_0$ . Cet arc appartient à la frontière de l'un des triangles curvilignes de  $\bar{d}$ , par les côtés duquel passent les surfaces  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ . Imposons alors que la surface  $S_\gamma$ , tangente au cône caractéristique, passe par  $\ell_{M_0}$ , et soit  $L_0$  la courbe intersection de  $S_\gamma$  par le plan normal à  $\ell_{M_0}$  en  $M_0$ . Nous noterons  $\theta_0$  l'angle entre  $L_0$  et sa projection sur  $Oxy$  au point  $M_0$  (voir figure 17). Le domaine délimité par cet angle dans le voisinage de  $M_0$  fait partie de la zone d'influence des données initiales c'est-à-dire que  $u, v$  et  $\zeta$ , solutions du problème de Cauchy posé relativement à (E) y sont connus.

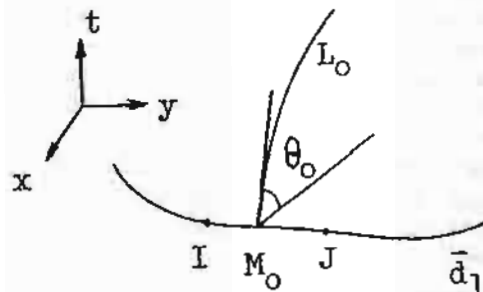


FIG. 17

Or, en  $M_0$ , l'équation du cône caractéristique s'écrit, selon (2.22)<sub>I</sub>,  $(X - x)^2 + (Y - y)^2 = ghT^2$ , d'où l'on tire la relation, déjà utilisée en 3.2.4<sub>IV</sub> (où  $\theta_0$  était le complémentaire de l'angle introduit ci-dessus) :

$$tg \theta_0 = 1/\sqrt{gh} \tag{3.1}$$

Supposons alors que  $\ell_{M_0}$  soit une surface bicaractéristique dégénérée  $S_{\beta_0}$ . Il s'ensuit que

$x = x(\alpha, \beta_0, \gamma), y = y(\alpha, \beta_0, \gamma), t = t(\alpha, \beta_0, \gamma) \equiv 0$ , où  $\alpha$  et  $\gamma$  sont variables, est une représentation paramétrique de l'arc  $\ell_{M_0}$ . Sur cet arc,  $x$  et  $y$  sont liés, ce qui implique que

$$\frac{\partial(x, y)}{\partial(\alpha, \gamma)} \Big|_{\beta=\beta_0} = 0 \tag{3.2}$$

D'autre part, puisque  $t(\alpha, \beta_0, \gamma) \equiv 0$ , on a :

$$t_\alpha \Big|_{\beta=\beta_0} = t_\gamma \Big|_{\beta=\beta_0} = 0 \tag{3.3}$$

Il résulte de (3.2) et (3.3), que pour  $\beta = \beta_0, D_{\alpha\gamma}^{xy} = D_{\alpha\gamma}^{xt} = D_{\alpha\gamma}^{xt} = 0$  et donc que

$$\Delta = \frac{\partial(x, y, t)}{\partial(\alpha, \beta, \gamma)} = 0$$

contrairement à (1.2)<sub>I</sub>, condition qui, comme nous



l'avons vu, est nécessaire dans le cas d'une solution régulière. C'est la réciproque énoncée en 3.3.2<sub>IV</sub>.

Reprenons maintenant le système associé ( $e$ ) de la première partie et considérons les équations (2.9)<sub>I</sub>, (2.11)<sub>I</sub> qui déterminent les surfaces caractéristiques; introduisons-y les relations (3.2) et (3.3). La première équation de (2.11)<sub>I</sub> est identiquement satisfaite; la deuxième devient :

$$D_{\alpha\beta}^{xy} + (uy_\alpha - vx_\alpha) t_\beta - \sqrt{g(\zeta + h)} \cdot (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| = 0 \quad (3.4)$$

Pour (2.9)<sub>I</sub>, on trouve :

$$D_{\beta\gamma}^{xy} + (-uy_\gamma + vx_\gamma) t_\beta = 0 \quad (3.5)$$

En multipliant (3.4) par  $x_\gamma$  et (3.5) par  $x_\alpha$ , puis en sommant ces équations, on obtient alors :

$$(x_\alpha y_\beta - x_\beta y_\alpha) x_\gamma + (x_\beta y_\gamma - x_\gamma y_\beta) x_\alpha + u(x_\gamma y_\alpha - x_\alpha y_\gamma) t_\beta - \sqrt{g(\zeta + h)} \cdot x_\gamma (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| = 0$$

d'où

$$\sqrt{g(\zeta + h)} \cdot x_\gamma (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| - (x_\beta - ut_\beta) D_{\alpha\gamma}^{xy} = 0,$$

ce qui implique, en tenant compte de (3.2), que

$$\sqrt{g(\zeta + h)} \cdot x_\gamma (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| = 0 \quad (3.4')$$

De même, après multiplication par  $y_\gamma$  et  $y_\alpha$  respectivement, puis addition, on trouve :

$$\sqrt{g(\zeta + h)} \cdot y_\gamma (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| - (y_\beta - vt_\beta) D_{\alpha\gamma}^{xy} = \sqrt{g(\zeta + h)} \cdot y_\gamma (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2} |t_\beta| = 0 \quad (3.5')$$

Des relations ci-dessus, il s'ensuit que, pour  $\beta = \beta_0$ , les équations (3.4) et (3.5) sont vérifiées lorsque  $t_\beta = 0$  ou  $x_\alpha = y_\alpha = 0$  ou  $x_\gamma = y_\gamma = 0$ .

Si  $t_\beta = 0$ , on a alors, avec (3.3),  $\text{grad } t|_{\beta=\beta_0} = \vec{0}$ ; de plus, (3.4) et (3.5) se réduisent à  $D_{\alpha\beta}^{xy} = D_{\beta\gamma}^{xy} = 0$ , de sorte que tous les mineurs d'ordre 2 de  $\Delta$  sont nuls. Nous écarterons ce cas singulier.

Si  $x_\alpha = y_\alpha = 0$ , (3.4) est vérifiée, c'est-à-dire que la 2<sup>e</sup> équation de (2.11)<sub>I</sub> est, elle aussi, identiquement satisfaite : les 3 équations des surfaces caractéristiques se réduisent ainsi à une seule.

Si  $x_\gamma = y_\gamma = 0$ , l'équation (3.5) est identiquement satisfaite et il ne reste que (3.4). On peut considérer dans ce cas la surface dégénérée  $S_{\beta_0}$  comme « ligne nodale » par laquelle on pourra faire passer un faisceau de surfaces  $S_\gamma$ . La surface  $S_{\beta_0}$  étant ici la ligne  $\ell \subset \bar{d}_1$ , il s'ensuit que le vecteur  $(x_\alpha(\alpha, \beta_0, \gamma), y_\alpha(\alpha, \beta_0, \gamma))$ , supposé  $\neq \vec{0}$ , est parallèle à un vecteur indépendant du paramètre  $\gamma$ . En effet,  $\ell$  étant un arc intersection de la surface  $S_{\gamma_i}$  par le plan  $t = 0$ , le vecteur  $\tau$ , tangent à  $\ell$  est de direction parallèle à celle du vecteur

$$\begin{aligned} \vec{w}_{(\gamma_i)} &= \vec{n}_{S_{\gamma_i}} \times (0, 0, 1)|_{\beta=\beta_0} = (n_{S_{\gamma_i}}^{(2)} - n_{S_{\gamma_i}}^{(1)}, 0)|_{\beta=\beta_0} \\ &= (x_\beta t_\alpha - x_\alpha t_\beta, y_\beta t_\alpha - y_\alpha t_\beta, 0)|_{\beta=\beta_0, \gamma=\gamma_i} \\ &= -t_\beta (x_\alpha, y_\alpha, 0)|_{\beta=\beta_0, \gamma=\gamma_i}, \end{aligned}$$

en tenant compte de (3.3).

Le même raisonnement s'applique quand on considère la surface  $S_{\gamma_j}$ ,  $\forall \gamma_j \neq \gamma_i$ , d'où découle directement la remarque ci-dessus.

Considérons alors le faisceau de surfaces  $S_\gamma$  passant par  $\ell_{M_0}$  et imposons que le plan tangent à l'une des surfaces en  $M_0$  forme, avec le plan  $t = 0$ , un angle donné. Soit  $\theta$  cet angle, tel que  $0 < \theta_0 < \theta < \pi/2$ , avec  $\text{tg } \theta_0 = 1/\sqrt{gh}$  [cf. (3.1)]. Plaçons-nous dans le cas où la projection de la ligne  $L_0$  dans le voisinage de  $M_0$  (voir figure 17) se trouve à l'intérieur du domaine  $d$ . Nous orienterons alors la normale à  $S_\gamma$  par le vecteur

$$\begin{aligned} \vec{n}_{S_\gamma} &= (x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha) \times (x_\beta, y_\beta, t_\beta)|_{\beta=\beta_0} \\ &= (t_\beta y_\alpha - x_\alpha t_\beta, D_{\alpha\beta}^{xy}) \quad (3.6) \end{aligned}$$

en choisissant  $D_{\alpha\beta}^{xy}$  positif. Il s'ensuit que le vecteur  $(t_\beta y_\alpha - x_\alpha t_\beta)$ , projection de  $\vec{n}_{S_\gamma}$  sur le plan  $xOy$  est orthogonal au vecteur  $(x_\alpha, y_\alpha)$  tangent à  $\ell$  en  $M_0$ , et a, par conséquent, la direction du vecteur normal extérieur. D'autre part, pour  $\beta = \beta_0$ ,

$$\cos \theta = \vec{n}_{S_\gamma} \cdot (0, 0, 1) / |\vec{n}_{S_\gamma}| = D_{\alpha\beta}^{xy} / |\vec{n}_{S_\gamma}|,$$

d'où

$$\begin{aligned} \cotg \theta &= \frac{1}{\sqrt{|\vec{n}_{S_\gamma}|^2 - (D_{\alpha\beta}^{xy})^2}} D_{\alpha\beta}^{xy} \\ &= |t_\beta|^{-1} (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{-1/2} \cdot D_{\alpha\beta}^{xy}|_{\beta=\beta_0} \quad (3.7) \end{aligned}$$

Revenons maintenant à l'équation (3.4), que l'on peut écrire :

$$\begin{aligned} \sqrt{g(\zeta + h)} &= \frac{D_{\alpha\beta}^{xy}}{|t_\beta| (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2}} \\ &+ (u, v) \cdot \frac{(t_\beta y_\alpha - t_\beta x_\alpha)}{|t_\beta| (x_\alpha^2 + y_\alpha^2)^{1/2}} \end{aligned}$$

soit aussi

$$\sqrt{g(\zeta + h)} = \cotg \theta + V_n \quad (3.8)$$

Cette relation lie la vitesse normale extérieure  $V_n(M_0, 0)$  et la dénivellation  $\zeta(M_0, 0)$  pour un angle donné  $\theta$ , lorsque l'on considère l'arc  $\ell \subset \bar{d}_1$  comme surface dégénérée  $S_{\beta_0}$ . Remarquons que si  $\theta = \theta_0$ ,  $\zeta$  et  $V_n$  sont nuls (conditions initiales), d'où, par (3.8),  $\sqrt{gh} = \cotg \theta_0$ : on retrouve ainsi l'équation (3.1).

### 3.4.3. Sur la détermination des développements tayloriens limités des solutions en variables caractéristiques

On va utiliser, dans ce paragraphe, la méthode classique de résolution approchée d'un système d'équations aux dérivées partielles sous forme de développements tayloriens limités des inconnues en variables caractéristiques. Mais comme on le verra, les équations qui lient les constantes à déterminer sont difficiles à exploiter en raison de la complexité des relations obtenues. C'est pour cette raison que nous ne donnerons ci-après que quelques résultats des calculs se rapportant à ce sujet.

A) Formes développées

Supposons tout d'abord  $x(\alpha, \beta, \gamma)$ ,  $y$ ,  $t$  suffisamment régulières pour admettre une représentation en séries de Taylor et écrivons

$$x(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{p,q,r} X_{1,12,23,3} \alpha^p \beta^q \gamma^r, \quad p, q, r \in \mathbb{N} \tag{3.8}$$

où les indices 1, 2 ou 3 se retrouvent  $p$ ,  $q$  ou  $r$  fois respectivement. (Si, par exemple,  $q = 0$ , l'indice 2 n'apparaît pas; en particulier, le coefficient correspondant à  $p = q = r = 0$  est  $X$ ). Ainsi,

$$x(\alpha, \beta, \gamma) = X + (X_1\alpha + X_2\beta + X_3\gamma) + (X_{11}\alpha^2 + X_{12}\alpha\beta + X_{13}\alpha\gamma + X_{22}\beta^2 + X_{23}\beta\gamma + X_{33}\gamma^2) + (X_{111}\alpha^3 + \dots) + \dots \tag{3.9}$$

Pour  $y$  et  $t$ , fonctions de  $\alpha, \beta, \gamma$ , on écrira  $Y$  et  $T$  à la place de  $X$ . Il suit de (3.9) que

$$x(\alpha, \beta, \gamma)|_{\beta=0} = X + \sum_{k=1}^{\infty} P_k$$

où  $P_k$  est un polynôme homogène en  $\alpha, \gamma$  de degré  $k$ .

Supposons d'autre part que l'on puisse définir la frontière marine  $d_1$  par

$$y = F(x) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n, \tag{3.10}$$

de telle sorte que la série satisfasse les conditions nécessaires légitimant l'utilisation des opérations analytiques qui suivront. Nous imposerons, de plus, que  $x = X$  est un point de l'intervalle de convergence de la série (3.10).

Admettons enfin que la surface  $S_\beta$  dégénère (cf. § 3.4.2) pour  $\beta = \beta_0 = 0$ . Alors, en  $\beta = 0$ ,

$$\begin{aligned} x^n &= (X + P_1 + P_2 + P_3 + \dots)^n = \\ &X^n + n(P_1 + P_2 + P_3 + \dots) X^{n-1} \\ &+ \frac{n(n-1)}{2!} (P_1 + P_2 + \dots)^2 X^{n-2} \\ &+ \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} (P_1 + P_2 + \dots)^3 X^{n-3} + \dots \\ &= X^n + nX^{n-1}P_1 \\ &+ \left( nX^{n-1}P_2 + \frac{n(n-1)}{2!} X^{n-2}P_1^2 \right) \\ &+ \left( nX^{n-1}P_3 + n(n-1)X^{n-2}P_1P_2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} X^{n-3}P_1^3 \right) + \dots \end{aligned}$$

Par conséquent, eu égard à (3.10), on obtient :

$$y = \sum_{n=0}^{\infty} c_n X^n + P_1 \sum_{n=0}^{\infty} n c_n X^{n-1} + \left( P_2 \sum_{n=0}^{\infty} n c_n X^{n-1} + P_1^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n(n-1)}{2!} c_n X^{n-2} \right) + \dots$$

d'où

$$y(\alpha, 0, \gamma) = F(X) + F'(X) P_1 + \left[ F'(X) P_2 + \frac{F''(X)}{2!} P_1^2 \right]$$

$$+ \left[ F'(X) P_3 + \frac{F''(X)}{2!} \cdot 2P_1 P_2 + \frac{F'''(X)}{3!} P_1^3 \right] + \dots$$

ou encore, en posant  $\eta_j = \frac{1}{j!} F^{(j)}(X)$ ,

$$y(\alpha, 0, \gamma) \simeq \eta_0 + \eta_1 P_1 + (\eta_1 P_2 + \eta_2 P_1^2) + (\eta_1 P_3 + 2 \eta_2 P_1 P_2 + \eta_3 P_1^3) \tag{3.11}$$

On vérifie alors aisément qu'en prenant  $x(\alpha, 0, \gamma) \simeq X + P_1 + P_2 + P_3$  et qu'en se limitant pour  $y(\alpha, 0, \gamma)$  à l'approximation (3.11), on a :  $\frac{\partial(x, y)}{\partial(\alpha, \beta)} \Big|_{\beta=0} = 0$  pour les termes de degré 0, 1 ou 2, en accord avec (3.2).

Enfin, si l'on écrit  $x$  sous la forme

$x(\alpha, \beta, \gamma) = \xi_0(\alpha, \gamma) + \beta \xi_1(\alpha, \gamma) + \beta^2 \xi_2(\alpha, \gamma) + \dots$  (où les  $\xi_m$  sont des séries de puissances en  $\alpha$  et  $\gamma$ ), on tire de la « relation de dégénérescence »  $x_\gamma = y_\gamma = 0$ , la condition  $\frac{\partial \xi_0}{\partial \gamma} = 0$ , c'est-à-dire que parmi les coefficients de (3.8), ceux qui possèdent au moins 1 fois l'indice 3 (mais pas l'indice 2) sont nuls : en particulier,

$$X_3 = 0, \quad X_{13} = 0 \tag{3.12}$$

B) Relations liant les coefficients des développements limités

Récrivons (3.9) en tenant compte de (3.11) et (3.12), d'une part, et des relations  $t(\alpha, 0, \gamma) = 0$  et  $t_\alpha(\alpha, 0, \gamma) = t_\gamma(\alpha, 0, \gamma) = 0$ , d'autre part [cf. (3.3)]; on obtient le système :

$$\left. \begin{aligned} x &= X + X_1\alpha + X_2\beta + X_{11}\alpha^2 + X_{12}\alpha\beta \\ &\quad + X_{22}\beta^2 + X_{23}\beta\gamma + X_{111}\alpha^3 + \dots \\ y &= \eta_0 + \eta_1 X_1\alpha + Y_2\beta + (\eta_1 X_{11} + \eta_2 X_1^2)\alpha^2 \\ &\quad + Y_{12}\alpha\beta + Y_{22}\beta^2 + Y_{23}\beta\gamma + \dots \\ t &= T_2\beta + T_{12}\alpha\beta + T_{22}\beta^2 + T_{23}\beta\gamma + \dots \end{aligned} \right\} \tag{3.13}$$

On a vu au paragraphe 3.4.2 que dans le cas de dégénérescence étudié (où  $t_\beta(\alpha, 0, \gamma) \neq 0$ ), (2.9)<sub>1</sub> et la première équation de (2.11)<sub>1</sub> étaient identiquement satisfaites. Par conséquent, si l'on admet que lorsque  $\beta \rightarrow 0$ , les surfaces bicaractéristiques varient continûment, ces dernières équations, quand on y introduit les développements limités du type (3.8), doivent posséder un facteur multiplicatif qui est une puissance entière de  $\beta$ . Ainsi, en introduisant (3.13) dans (2.9)<sub>1</sub> et (2.11)<sub>1</sub>, on obtient — après simplification par  $\beta$  — les relations suivantes par identification des coefficients des mêmes puissances de  $\beta$  des deux membres de chaque équation en cause :

$$\begin{aligned} (Y_2 T_{23} - T_2 Y_{23})U - (X_2 T_{23} - T_2 X_{23})V \\ + (X_2 Y_{23} - Y_2 X_{23}) = 0 \\ \left[ \eta_1 U - V + \frac{1}{T_{23}} (Y_{23} - \eta_1 X_{23}) \right]^2 \\ = g(Z + H) (1 + \eta_1^2) \end{aligned} \tag{3.14}$$

$$\left[ \eta_1 U - V + \frac{1}{T_2} (Y_2 - \eta_1 X_2) \right]^2 = g(Z + H) (1 + \eta_1^2)$$

Dans ce système,  $U, V, Z$  et  $H$  sont les premiers termes de l'approximation en  $\alpha, \beta, \gamma$  des développements limités de  $u, v, \zeta$  et  $h$ , la profondeur étant supposée être une fonction régulière de  $x$  et  $y$ . Le même procédé de calcul, appliqué aux équations (2.13)<sub>1</sub> à (2.15)<sub>1</sub>, nous permet d'établir de nouvelles relations entre les coefficients des développements (notons, en passant, que comme précédemment, (2.13)<sub>1</sub> et (2.15)<sub>1</sub> sont identiquement satisfaites : il faut, avant d'identifier, simplifier par  $\beta$ ). Mais, les équations obtenues sont compliquées et d'un emploi malcommode.

Autrement dit, la méthode analytique considérée, quoique simple de principe, présente l'inconvénient d'aboutir à des calculs algébriques fort longs ou à une approximation trop grossière si l'on se limite aux premiers termes des développements. Mais on parvient à éviter ces difficultés en introduisant un système particulier de coordonnées curvilignes : cette méthode fera l'objet de la suite de notre étude. Rappelons à cette occasion que les remarques précédentes ont une portée générale et s'appliquent aux solutions singulières d'un grand nombre de problèmes de la physique mathématique. L'approximation des solutions régularisables au moyen des développements tayloriens limités s'avère souvent mal adaptée et peut masquer de ce fait plusieurs propriétés analytiques des inconnues; cela tient à ce que ce mode de représentation s'applique à toutes les fonctions régulières, faisant ainsi abstraction des aspects spécifiques du problème posé. L'étude locale de la singularité ponctuelle de Prandtl (cf. [7]<sub>1</sub>) ainsi que la discussion de 3.4.4 illustrent ce point de vue.

Ajoutons cependant qu'en dépit de leur complexité, les développements limités qui précèdent offrent un grand intérêt pratique. Ils donnent le moyen de décrire la nature des solutions dans le voisinage d'un cap ou d'une baie et de préciser, en particulier, l'allure du champ des vitesses des trajectoires et l'évolution des niveaux près de ces singularités ponctuelles.

Observons, pour terminer, qu'au cours de cet alinéa, les variables caractéristiques étaient choisies d'une manière générale, sans tenir compte de

la géométrie spécifique du problème posé. On va, à présent, exploiter la propriété d'invariance d'une part et la marge d'arbitraire qui subsiste dans le choix des variables caractéristiques d'autre part, pour simplifier les formules résolutives.

3.4.4. Un système de coordonnées curvilignes appliqué aux équations de (E)

Considérons, dans l'espace (non physique)  $x, y, t$ , un point  $P$  repéré à l'aide des coordonnées  $s, \rho, \theta$  définies comme suit (cf. figure 18) :  $s = O'P'$  = longueur d'arc de la frontière marine  $\bar{d}_1$  mesurée entre une origine choisie  $O' \in \bar{d}_1$  et le point  $P'$ , intersection de  $\bar{d}_1$  par le plan  $v$  passant par  $P$ , normal à  $\bar{d}_1$  — donc parallèle à  $O't$  —. (Dans  $Oxyt$ , les coordonnées de  $P'$  seront notées  $(x'(s), y'(s), 0)$ ,  $s \in [0, \lambda^2]$ ; ainsi,  $x'(0) = x_0, y'(0) = y_0$ ).

$\rho = |PP'|$  (= distance entre  $P'$  et  $P$ ).

$\theta$  = angle entre  $PP'$  et le plan  $t = 0$ ; plus précisément, si  $\vec{n}_{P'}$  est la normale extérieure au domaine orienté  $d$  en  $P'$ , alors

$$\cos(\pi - \theta) = \frac{\vec{n}_{P'} \cdot \vec{P'P}}{\|\vec{n}_{P'}\| \cdot \|\vec{P'P}\|},$$

avec  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ .

Appelons  $\psi'$  l'angle entre la direction  $Ox$  et  $\vec{n}_{P'}$  ( $0 \leq \psi' < 2\pi$ ).

$\psi'$  est une fonction connue de  $s$  et l'on a :

$$\cos \psi' = \frac{dy'}{ds}, \quad \sin \psi' = - \frac{dx'}{ds} \quad (3.15)$$

Il s'ensuit que  $\forall P$  dont la projection sur  $Oxy$  appartient à  $d$ , on a :

$$\left. \begin{aligned} x &= x'(s) - \rho \cos \theta \cos \psi'(s) \\ y &= y'(s) - \rho \cos \theta \sin \psi'(s) \\ t &= \rho \sin \theta \end{aligned} \right\} (3.16)$$

Compte tenu de ce changement de coordonnées, posons enfin

$$u(x, y, t) = u(x'(s) - \rho \cos \theta \cos \psi'(s), \dots, \dots) = U(s, \rho, \theta),$$

et de même pour  $v, \zeta$  notés  $V, Z$ .

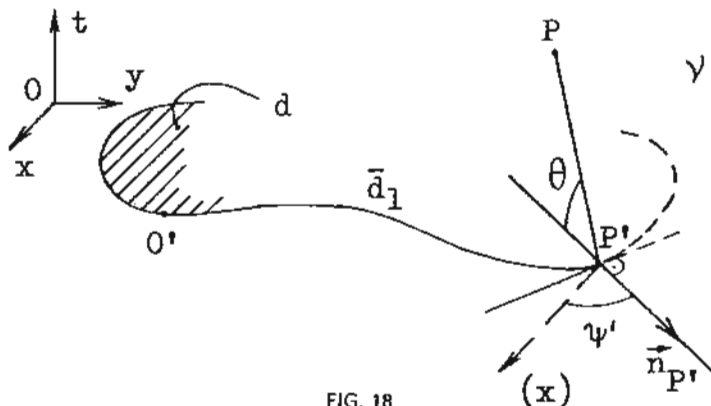


FIG. 18

$$\text{Alors, soit } D' = \frac{\partial(x, y, t)}{\partial(s, \rho, \theta)} = \begin{vmatrix} \frac{dx'}{ds} + \rho \cos \theta \sin \psi' \frac{d\psi'}{ds} & \frac{dy'}{ds} - \rho \cos \theta \cos \psi' \frac{d\psi'}{ds} & 0 \\ -\cos \theta \cos \psi' & -\cos \theta \sin \psi' & \sin \theta \\ \rho \sin \theta \cos \psi' & \rho \sin \theta \sin \psi' & \rho \sin \theta \end{vmatrix}$$

$$= -\rho \sin \psi' \frac{dx'}{ds} + \rho \cos \psi' \frac{dy'}{ds} - \rho^2 \cos \theta \frac{d\psi'}{ds}$$

d'où, avec (3.15),

$$D' = \rho \left( 1 - \rho \cos \theta \frac{d\psi'}{ds} \right) \quad (3.17)$$

Il s'ensuit, en posant  $\Delta' = \frac{1}{\rho} D'$ , que

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial s} = U_s &= -\sin \psi' \Delta' u_x + \cos \psi' \Delta' u_y \\ U_\rho &= -\cos \theta \cos \psi' u_x - \cos \theta \sin \psi' u_y + \sin \theta u_t \\ U_\theta &= \rho \sin \theta \cos \psi' u_x + \rho \sin \theta \sin \psi' u_y + \rho \cos \theta u_t \end{aligned}$$

et, par conséquent, en inversant ce système, que

$$\left. \begin{aligned} u_x &= -\frac{1}{\Delta'} \sin \psi' U_s - \cos \psi' \cos \theta U_\rho + \cos \psi' \cdot \frac{1}{\rho} \sin \theta U_\theta \\ u_y &= \frac{1}{\Delta'} \cos \psi' U_s - \sin \psi' \cos \theta U_\rho + \sin \psi' \cdot \frac{1}{\rho} \sin \theta U_\theta \\ u_t &= \sin \theta U_\rho + \frac{1}{\rho} \cos \theta U_\theta \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Introduisons  $u_x, u_y, u_t$  et les expressions  $v_x, v_y, v_t, \zeta_x, \zeta_y, \zeta_t$  analogues à (3.18) dans (1.6)<sub>1</sub>, et n'explicitons que les termes contenant le facteur multiplicatif  $\frac{1}{\rho}$ .

En posant, par commodité,

$$W(s, \rho, \theta) = \cos \theta + \cos \psi' \cdot \sin \theta \cdot U + \sin \psi' \cdot \sin \theta \cdot V \quad (3.19)$$

on obtient alors :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} [(Z+h) \cos \psi' \sin \theta U_0 + (Z+h) \sin \psi' \sin \theta V_0 + WZ_0] + \dots &= 0 \\ \frac{1}{\rho} [WU_\theta + g \cos \psi' \sin \theta Z_0] + \dots &= 0 \\ \frac{1}{\rho} [WV_\theta + g \sin \psi' \sin \theta Z_0] + \dots &= 0. \end{aligned}$$

Admettons maintenant que l'on puisse exprimer U sous forme d'un développement taylorien limité en  $\rho$  :

$$U(s, \rho, \theta) = \sum_{n=0}^k U_n(s, \theta) \cdot \rho^n$$

$$M \cdot \begin{pmatrix} \partial U_0 / \partial \theta \\ \partial V_0 / \partial \theta \\ \partial Z_0 / \partial \theta \end{pmatrix} = 0 \quad \text{où } M = \begin{pmatrix} (Z_0 + h) \cos \psi' \sin \theta & (Z_0 + h) \sin \psi' \sin \theta & W_0 \\ W_0 & 0 & g \cos \psi' \sin \theta \\ 0 & W_0 & g \sin \psi' \sin \theta \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

où  $k$  dépend de la régularité des  $u, v, \zeta$  et de  $\bar{d}_1$ , et qu'il en soit de même pour  $V$  et  $Z$ . Introduites dans le système précédent, ces grandeurs déterminent des polynômes en  $\rho$  ainsi qu'un terme en  $\frac{1}{\rho}$ ; les coefficients de  $\rho^{-1}$  sont données par les expressions entre crochets ci-dessus où il faut remplacer  $Z$  par  $Z_0, W$  par

$$W_0 = \cos \theta + \cos \psi' \sin \theta U_0 + \sin \psi' \sin \theta V_0$$

et  $U_\theta, V_\theta, Z_\theta$  par  $\frac{\partial U_0}{\partial \theta}, \text{ etc.}$

Cela étant, faisons tendre  $\rho$  vers 0 : le système obtenu n'a de sens que si les crochets considérés sont, à la limite, nuls. On définit ainsi un système linéaire homogène en  $\frac{\partial U_0}{\partial \theta}, \frac{\partial V_0}{\partial \theta}, \frac{\partial Z_0}{\partial \theta}$  noté sous forme matricielle :

et dont la solution triviale implique que  $U_0, V_0, Z_0$  sont constants, donc indépendants de  $\theta$ .

Or, en vue d'une étude des cas dégénérés, cette solution est à abandonner puisqu'elle est solution régulière. Par conséquent, pour qu'il existe une solution singulière, on doit avoir  $\text{Dét } M = 0$ , c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} W_0 [W_0^2 - g \sin^2 \theta \cdot (Z_0 + h)] &= 0 \\ \sin^2 \theta \cdot W_0 [(\cotg \theta + \cos \psi' U_0 + \sin \psi' V_0)^2 \\ &\quad - g(Z_0 + h)] = 0 \end{aligned} \quad (3.21)$$

En vertu de la définition de l'angle  $\psi'$  introduit au début de l'alinéa, on peut écrire :

$$\cos \psi' U_0 + \sin \psi' V_0 = V_n^{(0)};$$

l'équation (3.21) devient alors :

$$\sin^2 \theta (\cotg \theta + V_n^{(0)}) [(\cotg \theta + V_n^{(0)})^2 - g(Z_0 + h)] = 0$$

ou encore

$$V_n^{(0)} = -\cotg \theta \quad (3.22)$$

$$V_n^{(0)} = -\cotg \theta \pm \sqrt{g(Z_0 + h)} \quad (3.23), (3.24)$$

On remarque immédiatement que la relation (3.23), que l'on peut écrire

$$\sqrt{g(Z_0 + h)} = \cotg \theta + V_n^{(0)}$$

n'est autre que (3.8).

### 3.4.5. Relations liant $U_0, V_0, Z_0$ à $\theta$ dans le cas dégénéré

Si l'on suppose que le point  $P$  est un point de la surface  $S_\gamma$ , intégrale de (2.11)<sub>II</sub>, l'angle  $\theta$  est le même que celui défini dans l'alinéa précédant l'équation (3.6) lorsque  $\rho \rightarrow 0$ . Considérons tout d'abord la relation (3.22) qui est équivalente à l'équation  $W_0 = 0$ . Ainsi, la première équation du système (3.20) devient :

$$\begin{aligned} (Z_0 + h) \cos \psi' \sin \theta \frac{\partial U_0}{\partial \theta} \\ + (Z_0 + h) \sin \psi' \sin \theta \frac{\partial V_0}{\partial \theta} = 0, \end{aligned}$$

c-à-d.

$$\begin{aligned} \cos \psi' (\partial U_0 / \partial \theta) + \sin \psi' (\partial V_0 / \partial \theta) &= 0 \\ \Rightarrow \cos \psi' U_0(s, \theta) + \sin \psi' V_0(s, \theta) &= K(s) \end{aligned}$$

où  $K(s)$  est une fonction arbitraire de  $s$  uniquement, ce qui est impossible, puisque l'on aurait, par (3.22) :

$$V_n^{(0)} = -\cotg \theta = K(s).$$

Arrêtons-nous maintenant à l'équation (3.23); on en tire :

$$W_0 = \sqrt{g(Z_0 + h)} \sin \theta \quad (3.25)$$

Compte tenu de cette dernière relation, le système (3.20) peut se réduire à

$$\begin{aligned} \sin \theta \sqrt{g(Z_0 + h)} \cdot \partial U_0 / \partial \theta \\ + g \cos \psi' \sin \theta \cdot \partial Z_0 / \partial \theta &= 0 \\ \sin \theta \sqrt{g(Z_0 + h)} \cdot \partial V_0 / \partial \theta \\ + g \sin \psi' \sin \theta \cdot \partial Z_0 / \partial \theta &= 0, \end{aligned}$$

soit encore à :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U_0}{\partial \theta} &= -\sqrt{g} \cos \psi' \frac{1}{\sqrt{Z_0 + h}} \frac{\partial Z_0}{\partial \theta} \\ \frac{\partial V_0}{\partial \theta} &= -\sqrt{g} \sin \psi' \frac{1}{\sqrt{Z_0 + h}} \frac{\partial Z_0}{\partial \theta} \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

Or, lorsque  $\rho \rightarrow 0$ , la fonction  $h = h(x, y) \rightarrow h(x'(s), y'(s)) = h'(s)$ , indépendante de  $\theta$ . Par conséquent, après intégration de (3.26), on trouve

$$U_0 = -2\sqrt{g} \cos \psi' \sqrt{Z_0 + h'} + U'(s) \quad (3.27)$$

$$V_0 = -2\sqrt{g} \sin \psi' \sqrt{Z_0 + h'} + V'(s)$$

d'où

$$\begin{aligned} V_n^{(0)} &= -2\sqrt{g(Z_0 + h')} + [\cos \psi' U' + \sin \psi' V'] \\ &= -2\sqrt{g(Z_0 + h')} + V_n(s). \end{aligned}$$

En introduisant ce résultat dans (3.23), il s'ensuit que

$$3\sqrt{g(Z_0 + h')} = \cotg \theta + V_n(s) \quad (3.28)$$

Admettons alors que les données initiales de Cauchy soient l'état de repos, c'est-à-dire que  $U_0(P') = V_0(P') = Z_0(P') = 0$  lorsque l'on se rapproche de  $P'$  le long de la courbe  $L_0$  (cf. figure 17, où  $M_0 = P'$ ). Dans cette éventualité,  $\theta \rightarrow \theta_0$  et l'on a par (3.28) :

$$3\sqrt{gh'} = \cotg \theta_0 + V_n|_{P'}$$

d'où l'on tire, en utilisant (3.1), que

$$V_n|_{P'} = 2 \cotg \theta_0.$$

Finalement :

$$\sqrt{g(Z_0 + h')} = \frac{1}{3} (\cotg \theta + 2 \cotg \theta_0) \quad (3.29)$$

D'autre part, il suit également de (3.27) que

$$U'(s) = 2\sqrt{gh'} \cos \psi',$$

$$V'(s) = 2\sqrt{gh'} \sin \psi' = 2 \cotg \theta_0 \cdot \sin \psi',$$

d'où l'on tire, eu égard à (3.29), que

$$\left. \begin{aligned} U_0(s, \theta) &= \frac{2}{3} \cos \psi' (\cotg \theta_0 - \cotg \theta) \\ V_0(s, \theta) &= \frac{2}{3} \sin \psi' (\cotg \theta_0 - \cotg \theta) \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

$$\text{et} \quad V_n^{(0)} = \frac{2}{3} (\cotg \theta_0 - \cotg \theta) \quad (3.31)$$

Montrons comment on peut appliquer la relation précédente, et sous quelle condition. Supposons, comme c'est le cas généralement, que l'on se donne  $V_n(P', t) = F(s, t)$  (ou que cette grandeur soit connue à la suite de mesures). Alors, par (3.31),

$$\cotg \theta_0 - \frac{3}{2} \lim_{t \rightarrow 0} F(s, t) = \cotg \theta|_{P'} = \cotg \theta'.$$

En général,  $\theta' \neq \theta_0$ ; on définit de la sorte, dans le plan  $v$  (cf. figure 18), un domaine angulaire limité par  $\theta_0$  et  $\theta'$ . Observons que ce domaine est extérieur à la zone d'influence des données de Cauchy — ici l'état de repos — pour autant que  $\lim_{t \rightarrow 0} F(s, t) > 0$ .

Sous cette condition, on pourra trouver, à l'aide des équations (3.29) et (3.30),  $U_0, V_0, Z_0(P', 0)$  lorsqu'on se rapproche de  $P'$  le long d'un arc de courbe  $\Lambda \subset v$ , situé à l'extérieur de la zone d'influence, et dont la tangente en  $P'$  possède une pente égale à  $\operatorname{tg} \theta, \forall \theta \in [\theta_0, \theta']$ .

*Remarque.* Les développements qui précèdent présentent une grande analogie avec la théorie de la singularité bien connue sous le nom de la singularité de Prandtl en la théorie de l'équilibre limite plan en plasticité coulombienne (cf. [7]). En effet,  $\bar{d}_1$  joue encore ici le rôle d'une surface  $S_\gamma$ , intégrale de (2.11)<sub>ii</sub> dégénérée en une courbe dans l'espace  $Oxyt$  mais qui « s'étale » en une bande du plan  $\rho = 0$  dans l'espace  $Os\theta\rho$ , en chaque point de laquelle on connaît les valeurs de  $u, v, \zeta$ . Dans cet espace, on a donc à résoudre un problème analogue de celui de Cauchy - Goursat dans le cas de deux variables indépendantes et qui consiste à trouver la solution de (E) :  $u(s, \theta, \rho), v(s, \theta, \rho), \zeta(s, \theta, \rho)$  assez régulière dans le dièdre curviligne dont les deux faces :  $\rho = 0$ , d'une part, et l'image dans  $Os\theta\rho$  de la portion de frontière de la zone d'influence de la donnée  $m(d, u, v, \zeta)$  passant par  $\bar{d}_1$ , d'autre part, sont porteuses de multiplicités bicaractéristiques données de (E). Dans la suite, on reviendra sur ce point; notons, en passant, qu'il y a là un exemple de l'application à (E) des coordonnées cylindro-polaires.

Enfin, observons que la simplicité relative des résultats obtenus au cours du précédent alinéa tient à ce que nous avons utilisé implicitement la propriété d'invariance des variables caractéristiques. En effet, on peut prendre pour la variable caractéristique  $\gamma$  un paramètre quelconque qui permet d'individualiser une surface du faisceau des  $S_\gamma$  passant par  $\bar{d}_1$  et choisir pour  $\alpha$  et  $\beta$  les paramètres des familles de surfaces coordonnées  $S_\alpha$  et  $S_\beta$ , de manière que  $s, \theta, \rho$  s'expriment aisément au moyen de  $\alpha, \beta, \gamma$ .

#### 3.4.6. Comparaison entre divers développements limités. Comportement local des traces de $S_\beta$ .

##### A) Equivalence des approximations en variables caractéristiques et en coordonnées curvilignes

Considérons un point  $(x, y) \in \bar{d}_1$  et soit  $x = X$  sa première coordonnée. Il suit de la relation (3.10) et de la définition des  $\eta_1$ , [cf. (3.11)] que  $y = F(X) = \eta_0$  et que le vecteur tangent à  $\bar{d}_1$  en ce point (quand il existe) est parallèle à  $\vec{w} = (1, \eta_1)$ .

Alors, la direction de la droite  $g$ , intersection du plan  $v$  défini en 3.4.4 et du plan  $\pi$  tangent à  $S_\gamma$  en  $P'$  et formant un angle  $\theta$  avec  $t = 0$ , est donnée par le vecteur

$$\vec{g} = (-\eta_1, 1, \sqrt{1 + \eta_1^2} \cdot \operatorname{tg} \theta).$$

[Faisons remarquer à ce sujet que les vecteurs  $P' \vec{P}$  (cf. figure 18) et  $\vec{g}$  sont colinéaires et de même sens].

Par conséquent, un vecteur  $\vec{n}_\pi$  normal au plan  $\pi$  peut être défini par :

$$(1, \eta_1, 0) \times (-\eta_1, 1, \sqrt{1 + \eta_1^2} \operatorname{tg} \theta) \\ = \sqrt{1 + \eta_1^2} \operatorname{tg} \theta (\eta_1, -1, \sqrt{1 + \eta_1^2} \operatorname{ctg} \theta) \quad (3.32)$$

Observons maintenant que la solution considérée de (e) étant régularisable par hypothèse, on peut, sans restreindre la généralité, supposer qu'on a choisi les surfaces coordonnées  $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$  de manière qu'elles soient régulières dans le voisinage de  $\bar{d}_1$ . Dès lors, le vecteur  $(x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha) \times (x_\beta, y_\beta, t_\beta)$ , défini sans ambiguïté, est normal à  $\pi$ ; on le notera  $\vec{n}_\pi$ ;  $\vec{n}_\pi$  et  $\vec{n}_\pi'$  sont donc colinéaires, c'est-à-dire que l'on a :  $\vec{n}_\pi = k \vec{n}_\pi'$ . Ainsi, eu égard à (3.13), on obtient, en première approximation :

$$\vec{n}_\pi' = (X_1, \eta_1 X_1, 0) \times (X_2, Y_2, T_2) \\ = X_1 T_2 \left( \eta_1, -1, \frac{1}{T_2} (Y_2 - \eta_1 X_2) \right) \quad (3.33)$$

d'où l'on tire :

$$\sqrt{1 + \eta_1^2} \operatorname{ctg} \theta = \frac{1}{T_2} (Y_2 - \eta_1 X_2) \quad (3.34)$$

Introduisons alors (3.34) dans la troisième équation de (3.14); on trouve :

$$(\eta_1 U - V + \sqrt{1 + \eta_1^2} \operatorname{ctg} \theta)^2 = g(Z + H)(1 + \eta_1^2) \\ \Rightarrow g(Z + H) = \left( \frac{\eta_1 U - V}{(\eta_1^2 + 1)^{1/2}} + \operatorname{ctg} \theta \right)^2 \\ = \left[ \frac{(\eta_1, -1)}{(\eta_1^2 + 1)^{1/2}} \cdot (U, V) + \operatorname{ctg} \theta \right]^2$$

Or, le vecteur  $(\eta_1, -1)$  est un vecteur normal extérieur au domaine  $d \subset Oxy$ , au point  $(X, F(X))$  (noté  $\vec{n}_p$  sur la figure 18). Il s'ensuit que l'équation qui précède peut s'écrire :

$$g(Z + H) = (V_n^{(0)} + \operatorname{ctg} \theta)^2,$$

c'est-à-dire que l'on retrouve (3.23), première approximation de (3.8).

##### B) Equation, en 1<sup>ère</sup> approximation, des traces de $S_\beta$ situées dans le plan $v$

Reprenons les notations du § 3.4.4 et notons  $P'$  le point de coordonnées  $(X, F(X))$ . Il s'ensuit que

$$(1, \eta_1) \cdot (\cos \psi', \sin \psi') = 0 \Rightarrow \eta_1 = -\operatorname{ctg} \psi'.$$

Introduisons cette égalité dans la deuxième équation de (3.14). On obtient :

$$\left[ -\operatorname{ctg} \psi' U - V + \frac{1}{T_{23}} (Y_{23} + \operatorname{ctg} \psi' X_{23}) \right]^2 \\ = g(Z + H) \cdot \frac{1}{\sin^2 \psi'}$$

soit aussi :  $[-V_n^{(0)} + K_{23}]^2 = g(Z + H)$

où l'on a posé

$$K_{23} = \frac{1}{T_{23}} (\cos \psi' X_{23} + \sin \psi' Y_{23})$$

$$= (1 + \eta_1^2)^{-1/2} \left( \frac{X_{23}}{T_{23}} \eta_1 - \frac{Y_{23}}{T_{23}} \right) \quad (3.35)$$

qui est une grandeur ne dépendant que de la position du point  $P'$  choisi sur  $d_1$ .

Nous noterons, pour simplifier l'écriture,  $K$  à la place de  $K_{23}$ .

En tenant compte de (3.23), il s'ensuit que

$$g(Z + H) = \pm (-V_n^{(0)} + K) = V_n^{(0)} + \cotg \theta$$

d'où  $\begin{cases} K - \cotg \theta = 2V_n^{(0)} & (3.36) \\ K + \cotg \theta = 0 & (3.37) \end{cases}$

Nous verrons ci-après qu'entre ces deux solutions, seule la première équation est à retenir.

Explicitons maintenant, en première approximation, les composantes  $\omega$ , d'un vecteur directeur de la droite intersection du plan tangent à  $S_\beta$  en  $P'$  par le plan normal  $v$ . On a :

$$\vec{n}_{S_\beta} = (x_\alpha, y_\alpha, t_\alpha) \times (x_\gamma, y_\gamma, t_\gamma)$$

$$\simeq (X_1, \eta_1 X_1, 0) \times (X_{23}\beta, Y_{23}\beta, T_{23}\beta)$$

$$= \beta X_1 (\eta_1 T_{23}, -T_{23}, Y_{23} - \eta_1 X_{23}),$$

d'où,

$$\vec{\omega} = \lambda (\eta_1 T_{23}, -T_{23}, Y_{23} - \eta_1 X_{23}) \times (1, \eta_1, 0) \quad (\lambda \in \mathbb{R})$$

$$= \lambda (\eta_1 (\eta_1 X_{23} - Y_{23}), Y_{23} - \eta_1 X_{23}, (1 + \eta_1^2) T_{23}).$$

En utilisant la relation  $\eta_1 = -\cotg \psi'$ , on trouve, après quelques transformations élémentaires, que

$$\vec{\omega} = \frac{\lambda}{\sin \psi'} (Y_{23} - \eta_1 X_{23}) \cdot \left( \cos \psi', \sin \psi', \frac{T_{23}}{\cos \psi' X_{23} + \sin \psi' Y_{23}} \right)$$

Ainsi, nous pouvons choisir  $\omega_1 = -\cos \psi'$ ; par conséquent,  $\omega_2 = -\sin \psi'$  et  $\omega_1^2 + \omega_2^2 = 1$ ,  $\omega_3 = -1/K$ , compte tenu de (3.35). Introduisons alors, dans le plan  $v$ , le système cartésien local  $(\Omega; \xi, \eta)$  suivant :

l'origine  $\Omega$  est le point  $P' \in \bar{d}_1$ ;

l'axe des  $\xi$  est la direction  $-\vec{n}_P$  (normale intérieure à  $d$  en  $P'$ );

l'axe des  $\eta$  est la direction  $Ot$ .

Il s'ensuit que l'on a, le long des traces de  $S_\beta$  prises en considération, la relation différentielle

$$\frac{d\eta}{d\xi} = -\frac{1}{K}, \text{ d'où l'on tire, en introduisant (3.36) et (3.37) :}$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = -(2V_n^{(0)} + \cotg \theta)^{-1} \quad (3.36')$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \tg \theta = \frac{\eta}{\xi} \quad (3.37')$$

Il est clair que l'équation (3.37') — dont la solution est évidente — ne peut être retenue puisqu'elle définit les droites d'angle polaire  $\theta$  passant par  $P'$  et qui correspondent, sur  $v$ , aux traces des plans tangents aux surfaces  $S_\gamma$ . Cherchons alors la solu-

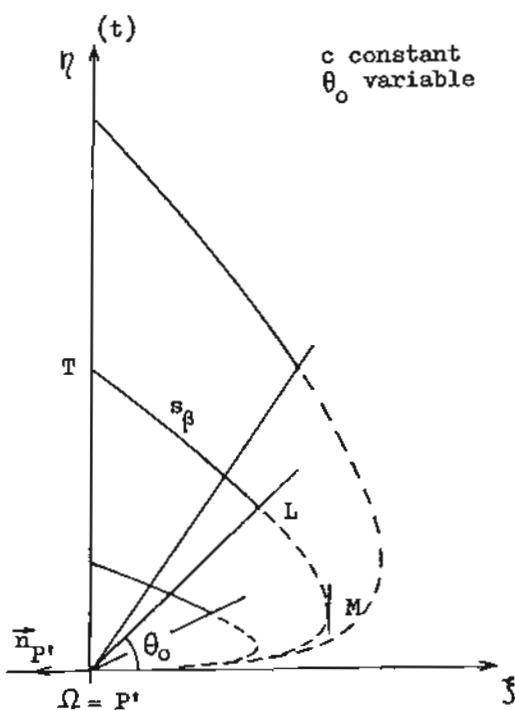


FIG. 19a

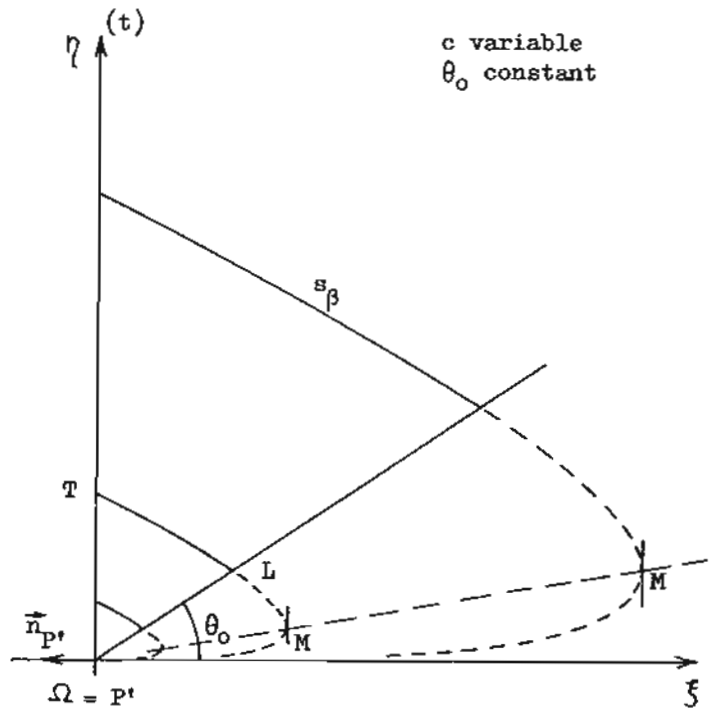


FIG. 19b

tion de (3.36') en y remplaçant  $V_n^{(0)}$  par son expression obtenue en (3.31). On a :

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \frac{-1}{\frac{4}{3} \cotg \theta_0 - \frac{1}{3} \cotg \theta} = \frac{3\eta}{\xi - 4\eta \cotg \theta_0}$$

La solution de cette équation différentielle homogène est la famille de courbes  $s_p$  donnée par :

$$|\xi + 2 \cotg \theta_0 \cdot \eta| = c |\eta|^{1/3} \quad (c > 0) \quad (3.38)$$

Déterminons les coordonnées des points T, L, M (cf. figures 19a,b). On obtient, en posant  $b = \frac{c}{6} \operatorname{tg} \theta_0$ , les valeurs suivantes :

$$(\xi_T, \eta_T) = (0, (3b)^{3/2}); \quad \left. \frac{d\eta}{d\xi} \right|_T = -\frac{3}{4} \operatorname{tg} \theta_0;$$

$$(\xi_L, \eta_L) = \left( \frac{c}{3} (2b)^{1/2}, (2b)^{3/2} \right); \quad \left. \frac{d\eta}{d\xi} \right|_L = -\operatorname{tg} \theta_0;$$

$$(\xi_M, \eta_M) = \left( \frac{c}{3} (4b)^{1/2}, b^{3/2} \right).$$

Ainsi, on a  $\xi_M > \xi_L$  et  $\eta_M < \eta_L$  lorsque  $c$  est positif : il n'y a pas de point à tangente verticale autre que le point M et celui-ci ne fait pas partie du domaine extérieur à la zone d'influence. Notons enfin que le point (singulier) P' est un point de tangence, et l'arc  $\overline{TL} \rightarrow 0$  lorsque  $L \rightarrow P'$ . Il s'ensuit que dans le domaine angulaire  $TP'L$  ( $\theta_0 < \theta < \pi/2$ ), les arcs de la famille (3.38) forment, avec les demi-droites issues de P' un réseau bien défini.

(Indiquons, pour terminer, que l'équation du lieu des points  $(\xi_M, \eta_M)$  (où les tangentes sont parallèles à Ot) est une droite définie par  $\eta = \frac{1}{4} \operatorname{tg} \theta_0 \cdot \xi$ ).

*(Une conclusion englobant les parties I à V de cette étude paraîtra ultérieurement dans les Annales Hydrographiques).*



# LOCALISATION D'UN AVION DE PRISE DE VUES AÉRIENNES (II)

par

MM. J.M. CHIMOT et M. LE GOUIC  
Ingénieurs Principaux de l'Armement (Hydrographe)  
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

## RÉSUMÉ

La télédétection du littoral par moyen aéroporté permet de préparer et d'alléger les travaux hydrographiques sur le terrain. En l'absence de repères terrestres, il est nécessaire de localiser l'avion pour le guider lors du déroulement de sa mission : certaines applications (photogrammétrie, bathymétrie laser...) nécessitent en outre une très grande précision de positionnement.

Cet article présente un équipement et des méthodes de traitement capables de fournir avec une précision métrique, la position d'un avion de prise de vues aériennes.

## ABSTRACT

Remote sensing of coastal areas is an efficient tool to prepare and reduce the volume of hydrographic surveys. Localization of the aircraft is needed for guiding it during a flight over water: in addition some applications (photogrammetry, laser bathymetry...) require a very precise positioning.

This paper presents an equipment and computing methods which can be used to determine the position of a photographic aircraft with a metric accuracy.

## AVANT PROPOS

Dans un précédent article [réf. 1], les auteurs ont souligné et discuté les difficultés de déterminer dans les 3 dimensions la position d'un avion de prise de vues aériennes, avec une précision suffisante pour être introduite dans les calculs d'aérotriangulation d'une restitution photogrammétrique des clichés. La connaissance de l'instant précis de déclenchement de la caméra et la détermination de l'altitude sont les deux problèmes majeurs. L'étude sur le positionnement d'un avion a donc été poursuivie pour résoudre ces deux problèmes.

## INTRODUCTION

Localiser un avion de prises de vues aériennes doit permettre de guider le vol en l'absence de repères terrestres, d'optimiser le déroulement de la mission photographique et de préparer la res-

titution photogrammétrique qui sera faite des clichés. Si les deux premiers objectifs sont atteints, même avec une précision de positionnement médiocre (quelques dizaines de mètres), il faut pour introduire la localisation des points de prise de vues dans un calcul d'aérotriangulation disposer d'une précision métrique.

Des systèmes de positionnement tels le Trident III A de la société Thomson-CSF fournissent des mesures de distances très précises entre une balise implantée à terre sur un point géodésique, et un mobile se déplaçant à grande vitesse (jusqu'à 2 000 km/h). Des considérations géométriques élémentaires montrent une dilution importante de la précision de détermination de l'altitude avec l'éloignement du mobile par rapport aux balises.

Des mesures complémentaires sont donc nécessaires et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a ainsi équipé en 1984 un avion de prise de vue d'un système Trident couplé à un altimètre laser. Les résultats de cette localisation sont discutés dans le présent article.

## 1. ÉQUIPEMENT

### 1.1. Objectifs

La mission photographique aérienne réalisée les 12 et 13 juin 1984 en Baie de Seine par le SHOM avait pour but de recueillir des clichés du littoral dans des conditions bien adaptées à une restitution à vocation hydrographique (topographie, description de l'estran jusqu'à la ligne des plus basses mers, bathymétrie peu profonde) :

- marée basse de vive eau observée pendant le vol
- éclairage solaire suffisant pour voir le fond de la mer
- réflexion spéculaire minimum
- temps clair sans brume (tout filtre est prohibé)
- vent faible pour éviter la présence de houle.

Du fait de ces conditions très contraignantes, le déroulement de la mission est réalisé suivant un planning très strict et une localisation de l'avion est nécessaire pour respecter les horaires prévus.

### 1.2. Equipement de l'avion

Le matériel embarqué était composé :

- d'un interrogateur Trident III A (1 219 MHz) couplé à un ordinateur Hewlett-Packard 9816
- du système de mesure altimétrique de l'Institut Géographique National (IGN) comprenant un altimètre laser Cilas Tay 130 couplé à un ordinateur Hewlett-Packard 9825 qui recevait en outre les données de 2 accéléromètres et d'un statoscope Crouzet
- d'une caméra de prise de vues Wild RC 10 A munie d'un objectif Universal-Aviogon 15/4 Uaga 153 mm fournie par la société Wild France
- deux convertisseurs 24 V — 220 V pour l'alimentation des ordinateurs.

Le poids et la consommation électrique de l'ensemble, et la nécessité de disposer de deux trappes sur le plancher (pour la caméra et l'altimètre) ont conduit à utiliser un appareil relativement important : un Aerocommander loué à la société Helmett Exploration.

### 1.3. A « terre »

Quatre balises Trident étaient implantées sur des positions géodésiques connues suivant le schéma de l'annexe et cinq marégraphes ont été installés pour observer la hauteur du plan d'eau pendant le vol et affiner les modèles de propagation de la marée dans la zone photographiée.

## 2. FONCTIONNEMENT DU MATÉRIEL

### 2.1. Acquisition des données Trident

Un logiciel spécifique a été écrit par le SHOM pour préparer et guider une mission de photographies aériennes d'une part, archiver les données observées d'autre part. Ce logiciel est implanté sur un ordinateur HP 9816; il permet :

- de préparer un plan de vol en décrivant les points origine et fin des axes de prises de vue (profils) : la position prévue des centres de prises de vue est calculée en fonction de l'altitude, du format et de l'échelle des clichés, des recouvrements longitudinaux entre clichés;
- de guider le pilote vers un profil sélectionné (calcul de la position avec au moins deux balises Trident, l'altitude étant fixée) en affichant sur un moniteur Sony les positions relatives de l'avion et du profil à joindre ainsi que les coordonnées polaires du point début de profil par rapport à la position instantanée de l'avion;
- de guider le pilote sur un axe de prise de vue en faisant défiler sur le moniteur Sony la route à suivre habillée des positions prévues des clichés, le centre de l'écran étant la position de l'avion. L'écart transversal au profil, la distance à parcourir jusqu'au prochain cliché et jusqu'à la fin du profil sont par ailleurs affichés;
- de transmettre à la caméra de prise de vue l'ordre de déclenchement via l'interrogateur Trident et recevoir les signaux générés par la caméra avant et après l'ouverture du diaphragme;
- d'archiver 5 mesures Trident (distances et état de l'horloge) pendant la séquence de déclenchement : deux à l'envoi de la commande de prise de vue, une sur le front descendant du signal caméra d'ouverture du diaphragme, une sur le front montant du signal de fermeture, une dernière aussitôt l'acquisition précédente effectuée. Ce dispositif permet d'éliminer les éventuelles fluctuations à courte période grâce à un ajustement linéaire éliminant les mesures dispersées.

### 2.2. L'altimètre laser [réf. 2]

Le système prêté par l'IGN permet l'enregistrement à bord d'un avion d'un profil altimétrique représentant la distance séparant l'avion (émetteur) de la terre (réflecteur). Lors du survol d'éteindues maritimes, l'altitude de la surface de réflexion est connue par observation marégraphique et l'on en déduit l'altitude de l'avion.

Le télémètre Tay 130 construit par la Compagnie des Lasers (Cilas) utilise un émetteur laser YAG (Grenat d'Yttrium Aluminium) dopé au Néodyme, de fréquence 1,06  $\mu\text{m}$ . La divergence d'émission

est de 0,5 mrad, l'énergie émise est de 40 mJ (max) pendant 19 ns; la précision de la mesure pour un tir à 3 000 mètres vers la surface de la mer est ainsi d'environ 0,5 m. La cadence d'émission est de 10 Hz.

La durée du trajet séparant l'émission et la réception est mesurée par un capteur HP 5345 A et enregistrée sur le calculateur HP 9825 sous forme de distance (la vitesse de propagation correspond à des conditions standard de l'atmosphère).

Deux gyroscopes orthogonaux mesurent les angles du roulis et du tangage de l'avion. Un statoscope Crouzet permet de mesurer à la cadence 0,5 Hz les variations barométriques de l'altitude autour d'une valeur moyenne. La mesure enregistrée sur le calculateur HP 9825 est une tension qu'un étalonnage permet de transformer en variations métriques d'altitude : dans la configuration embarquée la sensibilité du statoscope était limitée à 10 mètres, alors que dans des conditions normales le statoscope permet de différencier le mètre.

### 2.3. La caméra de prise de vue

Une caméra Wild RC 10 A munie d'un objectif 153 mm a été utilisée. Une adaptation de l'électronique de commande de cette caméra a été réalisée à Heerbrugg (Suisse) au siège de la société Wild, pour transmettre vers un interrogateur Trident les signaux d'ouverture et de fermeture de diaphragme, normalement relayés vers une 2<sup>e</sup> caméra asservie au déclenchement de la première.

Un étalonnage a permis de repérer par rapport à ces deux signaux, l'instant exact d'ouverture du diaphragme (précision : 10 ms à 1/400 s).

### 2.4. Remarques sur le déroulement de la mission

2.4.1. Il n'y avait pas de couplage entre les calculateurs pilotant l'interrogateur Trident et la caméra : la synchronisation a été effectuée « manuellement » avec une précision de 0,1 seconde.

2.4.2. Une des balises Trident est tombée en panne d'alimentation dès le début du vol. De plus, les conditions météorologiques mauvaises n'ont permis de recueillir qu'un nombre limité de clichés (71).

## 3. TRAITEMENT DE L'ALTITUDE

### 3.1. Comparaison des altitudes laser et statoscope

La comparaison des mesures fournies par l'altimètre Tay 130 et le statoscope Crouzet a été faite sur toutes les portions de profil parcourues au-dessus du plan d'eau, sans se limiter aux seules mesures enregistrées lors de la réalisation d'un cliché. Les altitudes laser ont été corrigées du roulis et du tangage, et lissées. On obtient le tableau 1 :

TABLEAU 1

		Profil 1	Profil 2
Nombre de mesures communes		300	420
Mesures laser	Moyenne	3 089 m	3 089 m
	Ecart type	9 m	8 m
Altitude statoscope	Moyenne	3 166 m	3 169 m
	Ecart type	9 m	8 m
Différence statoscope — laser	Moyenne	77 m	80 m
	Ecart type	5 m	5 m

On peut déduire de cette comparaison deux conclusions :

- sur un vol effectué à altitude constante (le pilote utilise son manomètre), l'écart type sur l'altitude est d'une dizaine de mètres;
- la mesure fournie par le statoscope est entachée d'un biais constant, mais suit bien l'indication de l'altimètre laser (écart type des différences moitié de celui de l'altitude laser), et ce malgré sa résolution dégradée lors du vol Baie de Seine (cf. § 2.2.).

### 3.2. Traitement des données de radiolocalisation

3.2.1. Pour évaluer l'apport des divers capteurs, 4 situations ont été analysées indépendamment

- S1 : aucune mesure d'altitude n'est effectuée, seules les 4 distances Trident permettent d'évaluer la hauteur de vol : à cette situation s'applique l'analyse décrite en [réf. 1].
- S2 : un statoscope a été embarqué : on connaît donc une loi de variation relative de l'altitude : dans le cas présent et du fait de sa trop faible résolution, l'analyse des mesures fournies par le statoscope montre seulement que l'altitude des profils est à peu près constante (écart type de 10 m).
- S2 bis : outre les variations d'altitude barométrique fournies par le statoscope, l'axe de

TABLEAU 2

Hypothèse retenue	Paramètres de traitement			Ecart en X		Ecart en Y	
	Altitude	Étalonnage*	nalt/odist	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
S1 et étalonnage connu	optimisée : 3 043 m	connu : 3, 0, 4, 2	1	2,2 m	2,4	1,8 m	4,0
S1 et « auto-étalonnage »	optimisée : 3 054 m	optimisé : 0, 4, 9, 2	1	1,3 m	2,7	- 2,2 m	3,3
S2 et étalonnage connu	optimisée : 3 038 m	connu : 3, 0, 4, 2	5	2,6 m	2,3	2,2 m	4,1
S2 et « auto-étalonnage »	optimisée : 3 064 m	optimisé : 2, 6, 11, 3	5	2,3 m	2,8	- 1,1 m	2,9
S2 bis et « auto-étalonnage »	constante : 3 083 m	optimisé : 5, 6, 11, 6	5	3,1 m	3,2	3,3 m	2,6
S3 et « auto-étalonnage »	connue : altimètre	optimisé : 8, 7, 12, 10	1	3,5 m	4,2	6,3 m	3,0

\* Les quatre valeurs indiquées dans cette colonne sont les corrections d'étalonnage apportées aux quatre balises Trident.

vol passe à proximité d'une balise ce qui permet d'approcher en un point l'altitude absolue (aux erreurs de mesure et de détermination de l'étalonnage du système Trident III A près) et par report des variations, en tout point.

- S3 : un altimètre laser a permis d'obtenir l'altitude des stations situées au-dessus du plan d'eau.

3.2.2. Dans une première étape, on a adopté la méthode suivante de traitement :

- i) Les distances Trident sont corrigées d'après les valeurs déterminées par un étalonnage sur base géodésique (3 m pour la balise 1, 0 m pour la 2, 4 m pour la 3 et 2 m pour la 4).
- ii) Le calcul de position s'obtient par la résolution d'un système pondéré d'équations relatives aux distances réellement mesurées et à une altitude qui résulte d'une optimisation pour les situations S1 et S2 ou d'une mesure pour S2 bis et S3. (Dans le cas de S1 et S2, l'optimisation consiste à retenir la valeur de l'altitude qui minimise l'ensemble des résidus entre distances mesurées et distances calculées en tout point adopté. Pour S2 bis, l'altitude calculée au voisinage d'une balise est considérée comme celle du profil. Quant à S3, l'altitude est fournie par l'altimètre laser puis corrigée du roulis, du tangage et de la marée avant introduction).

Les 71 stations examinées sont situées au-dessus du plan d'eau.

3.2.3. A l'analyse des résidus, on constate la présence de biais et on peut penser que l'étalonnage du système Trident déterminé sur base géodésique n'est pas optimal. On est donc tout naturellement amené à rechercher l'étalonnage, pour les situations S2 bis et S3, ou l'étalonnage et l'altitude du vol pour S1 et S2, qui minimisent la taille des chapeaux lors des calculs de position (cet « auto-étalonnage » intégrera les retards électroniques des balises Trident et la variation

moyenne de célérité des ondes UHF avec l'altitude).

3.2.4. Les résultats des calculs d'altitude et de position (présentés en 3.2.2. et 3.2.3.) pour les différentes situations (décrites en 3.2.1.) sont donnés dans le tableau 2, où apparaissent aussi les écarts en X, Y (projection Lambert 1) obtenus en prenant comme référence la position de la situation [S3 — étalonnage déterminé sur base géodésique].

3.2.5. On peut ainsi constater que :

- l'optimisation de l'altitude (situation S1 et S2) effectuée en tenant compte de l'étalonnage déterminé sur base donne des valeurs s'écartant nettement de l'altitude moyenne observée par le laser;
- par contre le traitement consistant à optimiser conjointement l'altitude et l'étalonnage donne des résultats plus proches de celui obtenu avec l'altimètre laser. Les étalonnages obtenus (0, 4, 9, 2; 2, 6, 11, 3 et 5, 6, 11, 6) sont assez proches : ceci est dû au fait que le traitement « vol à altitude constante » prise pour S1 coïncide avec le résultat des mesures du statoscope; cette constante masque certainement une partie de l'apport du statoscope;
- les positions planimétriques sont assez proches l'une de l'autre, quelle que soit l'hypothèse retenue.

#### 4. PRÉCISION ABSOLUE DE LA LOCALISATION

Une restitution photogrammétrique a été faite des clichés réalisés au cours de la mission photo-aérienne de Baie de Seine. Les couples stéréoscopiques ont été mis en place sur un restituteur analytique : les coordonnées des sommets des

gerbes perspectives sont obtenues lors des calculs d'aérotriangulation avec une précision absolue de  $\pm 5$  m.

26 couples ont été mis en place. Pour les 26 centres de prise de vue correspondant une statistique des écarts entre coordonnées calculées lors de la mise en place photogrammétrique et celles calculées dans la situation (S3 — étalonnage connu) qui a déjà servi de référence au § 3 a été établie. On obtient :

Ecart en X : moyenne : 1,6 m  
écart type : 3,3 m  
Ecart en Y : moyenne : 7,4 m  
écart type : 2,5 m  
Ecart en Z : moyenne : - 4,3 m  
écart type : 3,6 m

Ces écarts sont comparables à ceux observés pour la situation (S3 et auto-étalonnage) : pour ce dernier cas, l'écart entre les coordonnées photogrammétriques et celles déduites de la localisation est le suivant :

$\Delta X = - 1,9$  m;  $\Delta Y = + 1,1$  m;  $\Delta Z = - 3,2$  m

Biais et écarts types sont voisins : les populations de points sont donc très semblables.

## 5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1. Différentes méthodes d'exploitation de la localisation d'un aéronef par trilatération radioélectrique peuvent être proposées :

— si aucune mesure d'altitude n'est effectuée, le traitement consiste à optimiser conjointement l'étalonnage du système de radiolocalisation et les altitudes : les mesures fictives d'altitude (les différentes portions de profil effectuées à même altitude sont regroupées) sont affectées d'un poids 5 fois plus faible que pour les mesures de distances. La précision obtenue est de l'ordre de 10 mètres en planimétrie et 20 mètres pour l'altitude;

— si un appareil enregistrant avec précision les variations d'altitude est embarqué (type statoscope), les mesures fournies sont utilisées pour déterminer une loi de variation de l'altitude, connue à une constante près (si les conditions météorologiques ne sont pas suffisamment stables, on sera amené à considérer plusieurs constantes) et un poids à affecter aux équations correspondantes.

Cette — ou ces — constantes sont déterminées lors du passage à la verticale d'une balise, à défaut par optimisation;

— si l'on dispose d'un altimètre précis (radio ou laser), les mesures fournies permettent après correction et lissage d'obtenir, au-dessus des plans d'eau, une équation traitée avec un poids égal à celui des distances, le problème de la détermination de l'altitude des stations situées au-dessus de la terre restant à résoudre par ailleurs.

5.2. Quel que soit l'équipement altimétrique embarqué, il est très souhaitable de prévoir des axes de vol passant à la verticale des balises (détermination des altitudes de quelques stations, calage d'un statoscope ou vérification de l'altitude fournie par l'altimètre laser).

5.3. Un contrôle de la validité d'un étalonnage sur base géodésique du système de localisation lors du traitement des mesures est nécessaire.

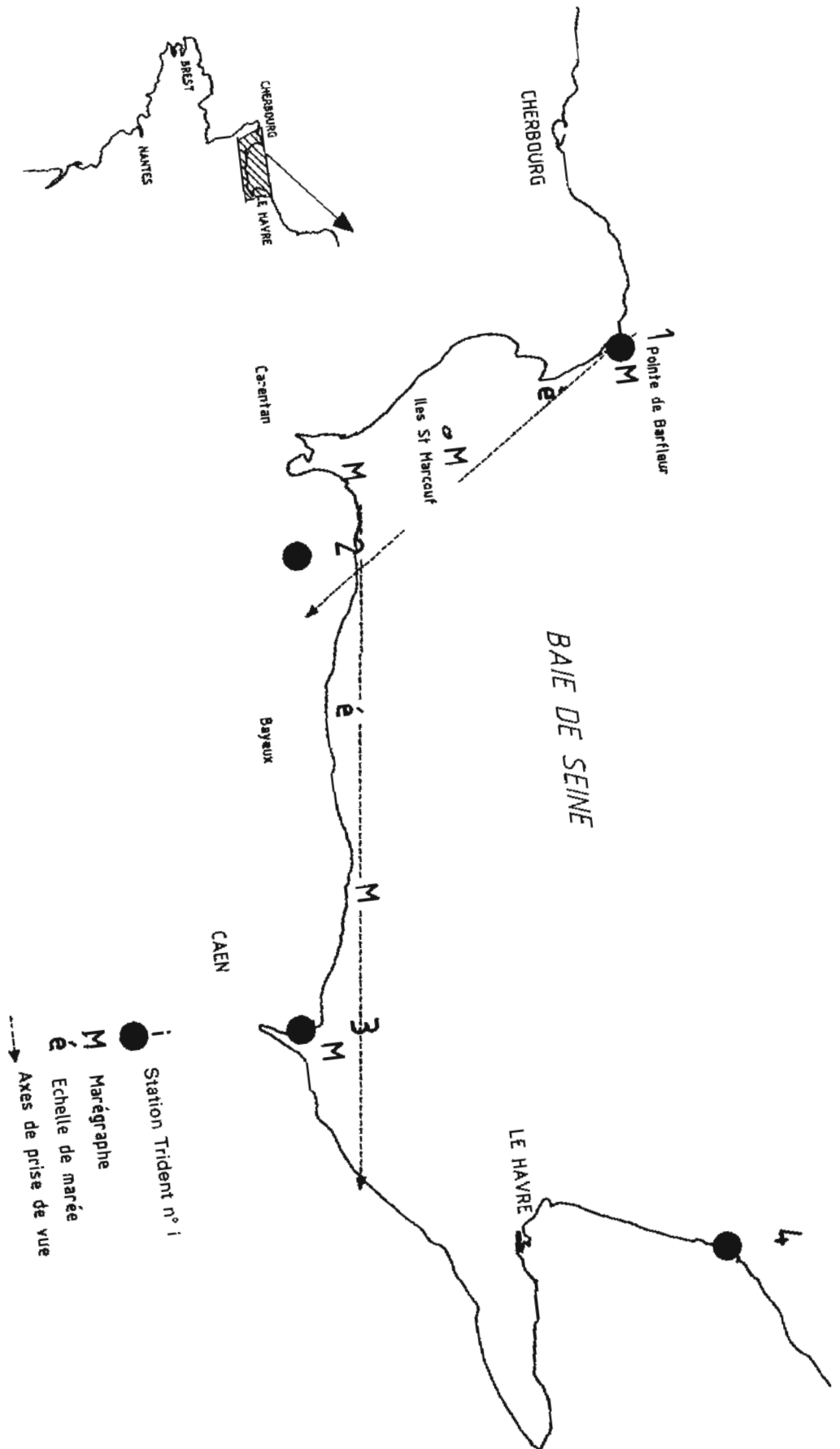
5.4. Si l'on dispose d'une caméra pour laquelle le retard d'ouverture du diaphragme à un ordre de déclenchement est parfaitement connu, et d'un outil permettant une détermination directe (altimètre laser) ou indirecte (statoscope) de l'altitude, il est possible de localiser l'avion de prise de vue avec une précision suffisante pour intégrer cette position dans les calculs d'aérotriangulation.

Dans cette optique photogrammétrique, l'apport d'un altimètre radio ou laser ne peut être cependant que marginal. Le centre du cliché doit en effet être situé à la verticale d'une surface d'altitude connue (en hydrographie la surface de la mer) pour que l'altitude de l'avion puisse être déduite de la mesure laser. Cependant, ceci peut provoquer un basculement des horizontales autour de l'axe de vol dans le cas fréquent où celui-ci longe la côte, et rendre les calculs d'aérotriangulation plus imprécis (sauf à effectuer des pointés d'enchaînement sous la surface d'une eau claire).

## RÉFÉRENCES

- [1] CHIMOT J.M. et LE GOUIC M. — Localisation d'un avion de prise de vues aériennes au cours de missions photoaériennes, *Annales Hydrographiques*, vol. 14, n° 761, 1986.
- [2] BROSSIER. — Le nouveau système APR Laser de l'IGN — Conception et description, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, n° 94, 1984.

# ANNEXE



# UNE MÉTHODE INDIRECTE D'APPROCHE DE LA DYNAMIQUE DE L'INTERFACE EAU-SÉDIMENT SUR LE PLATEAU CONTINENTAL : LA THERMOMÉTRIE DU SÉDIMENT SUPERFICIEL

par

Yann DELANOË\* et Jean-Pierre PINOT\*\*

## RÉSUMÉ

Il est montré que la mesure de la température des sédiments meubles opérée sitôt après l'arrivée à bord de la benne de prélèvement est représentative de celle de la couche superficielle des sédiments en place, elle-même liée à la température de l'eau immédiatement au contact du fond. Les exemples présentés montrent que la thermométrie des sédiments peut servir à mettre en évidence des écoulements localisés au ras du fond difficilement accessibles aux techniques de mesure directe.

## ABSTRACT

*A method for the indirect approach to the dynamics of the water-sediment interface : the thermometry of the superficial sediment*

The temperature measured in a sampling grab as soon as it arrives on board is that of the in-situ superficial sediment. This temperature is connected to that of the sea water immediately over the bottom. Some examples are given which show that the thermometry of the superficial sediment can give evidence of local near bottom water circulations which would be very difficult to study by other means.

Dans le cadre de nos études de la dynamique sédimentaire sur la plateforme continentale sud-armoricaine, nous effectuons depuis 1972 des prélèvements systématiques à la benne Shipek (figure 1).

Nos premières valeurs de température sur des échantillons sédimentaires ont été obtenues en décembre 1974 à l'occasion d'une série de mesures au bathythermographe Richard : nous espérons ainsi améliorer les résultats en procédant à un calage de la partie profonde de l'enregistrement. Si ce but n'a pu être totalement atteint, nous avons par contre remarqué une curieuse distribution des températures de sédiment qui ne coïncidait pas avec l'homogénéité thermique des eaux profondes : ces valeurs différaient souvent de plusieurs dixièmes de degrés en plus ou en moins. Cette constatation nous a conduit à relever systématiquement les températures de nos échantillons immédiatement après leur prélèvement.

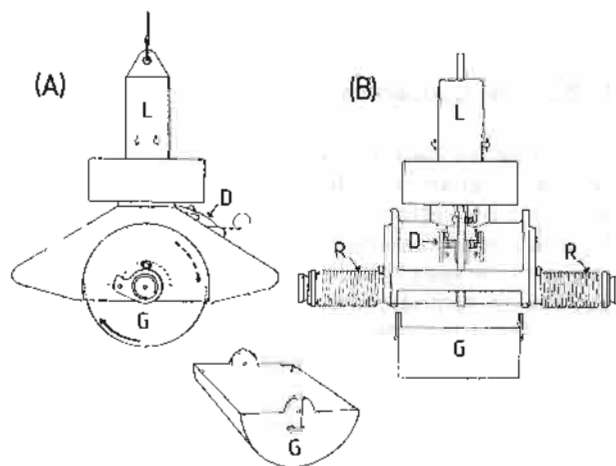


FIG. 1. — Benne Shipek : vues perpendiculaire (A) et parallèle (B) à l'axe de rotation du godet de prélèvement G. L : lest D : système de déclenchement R : ressorts de rappel.

\* Université de Nantes — Laboratoire de Géologie marine, 44072 Nantes Cédex 03.

\*\* Université de Brest — Laboratoire de Géographie de la mer, BP. 860, 29279 Brest Cédex.

## I. MÉTHODE DE MESURE

Nous n'avons utilisé pour cette étude que des sédiments meubles prélevés à la benne Shipek. Avec cet appareil, la prise d'échantillon est ponctuelle et instantanée; la récupération à bord est rapide (dans la quasi totalité des cas, le godet contenant l'échantillon a été disponible pour la mesure moins de 3 minutes après le prélèvement sur le fond).

Les mesures ont été faites au centre du godet en utilisant un thermomètre à mercure donnant le dixième de degré centigrade. Nous n'avons pris en considération pour cette étude que les échantillons rapportés dans des bennes bien remplies.

Nous sommes maintenant en possession d'une série suffisante de mesure pour pouvoir présenter nos résultats, les discuter et proposer l'extension et l'amélioration de cette technique de travail.

## II. RÉSULTATS

Les mesures de température dont nous disposons ont été obtenues lors de prélèvements qui sont dans la majorité des cas trop espacés dans le temps et dans l'espace pour permettre des comparaisons précises. Nous avons cependant pu isoler dix séries de mesures suffisamment groupées et faites dans trois zones différentes (Baie de Concarneau, Grande Vasière et plateau continental externe) dont nous présentons ici les résultats.

### 1. Baie de Concarneau

Huit séries de mesures réparties sur un réseau couvrant l'ensemble de la partie profonde de la baie ont été effectuées entre 1974 et 1980. Les figures 2 et 3 présentent les répartitions de température observées dans chacun des cas. Les distributions de température ne sont jamais aléatoires, elles permettent de tracer des isothermes qui se répartissent suivant des schémas ordonnés mais dont le dessin varie d'une observation à l'autre.

On peut distinguer en particulier :

- des répartitions en zones concentriques autour d'une zone centrale plus froide (décembre 74 et octobre 75),
- la présence très fréquente d'un axe froid prenant la baie en écharpe et suivant approximativement le tracé des thalwegs issus des vallées pléistocènes (mesures d'octobre 78, juillet et septembre 79, mai et septembre 80),
- une répartition singulière qui n'a été observée

qu'en mars 1975 et qui présente une structure plus complexe avec un axe froid au Nord de la baie, un autre au Sud et l'amorce de l'axe froid habituel au Sud-Est de la baie.

L'écart de température à l'intérieur de chacune des séries de mesures varie de 0,4 à 3,1° C, il est plus important à la belle saison (mai à septembre) que pendant la période froide de l'année (mesures d'octobre, décembre et mars). Le plus grand étalement des températures a été observé le 21 septembre 1980 (3,1° C entre les valeurs extrêmes); les figures 4 et 5 présentent l'analyse de la répartition de ces 25 mesures en fonction d'une part de la profondeur et d'autre part de l'éloignement au point le plus froid (entrée Sud-Est de la baie).

On constate une relation assez étroite entre la bathymétrie et la température, le gradient moyen est de  $-0,09^{\circ}\text{C/m}$  entre 20 et 30 m; il passe à  $-0,2^{\circ}\text{C/m}$  au-dessous de 30 m. La relation entre la température et la distance au point le plus froid est moins nettement marquée : on observe une certaine dispersion des mesures autour d'un gradient moyen de  $0,2^{\circ}\text{C/km}$ .

### 2. La Grande Vasière

En mai 1980, 19 mesures effectuées sur la Grande Vasière au Sud du chenal de l'île Verte par des fonds de 60 à 85 mètres ont montré, en dépit d'un faible écart entre les valeurs extrêmes ( $0,4^{\circ}\text{C}$ ), la présence d'un axe froid confondu avec celui du thalweg hérité d'une vallée pléistocène (figure 6).

Cet axe froid se trouve dans le prolongement de celui observé en Baie de Concarneau quatre jours plus tôt (figure 7). On peut regretter que nous n'ayons pas eu le loisir d'effectuer des mesures entre ces deux zones pour vérifier la continuité du phénomène.

### 3. Plateau continental externe

Bien que nous disposions de nombreuses mesures de température sur le plateau continental, la maille des prélèvements est, dans la plupart des cas, beaucoup trop lâche pour que des comparaisons puissent être faites. Au cours d'une étude sur une zone restreinte, nous avons cependant obtenu, en février 1978, un exemple intéressant sur le plateau continental externe à quelques kilomètres en amont du canyon d'Audierne. Les résultats sont portés sur la figure n° 8. On constate une différence de  $1,2^{\circ}\text{C}$  entre les valeurs extrêmes, le minimum est très localisé et correspond à l'axe d'une vallée très peu encaissée.

Nous avons par ailleurs noté des variations sensibles de la température entre les mesures



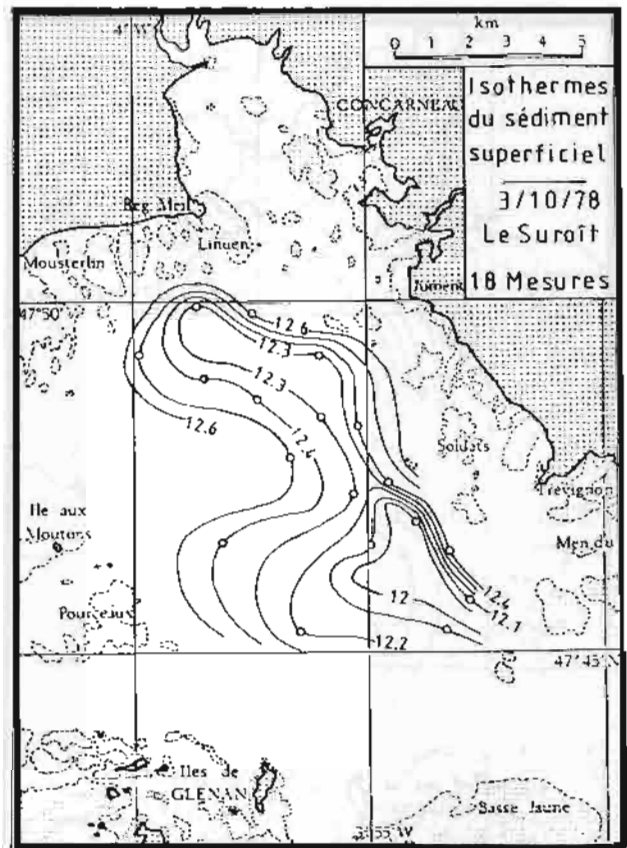
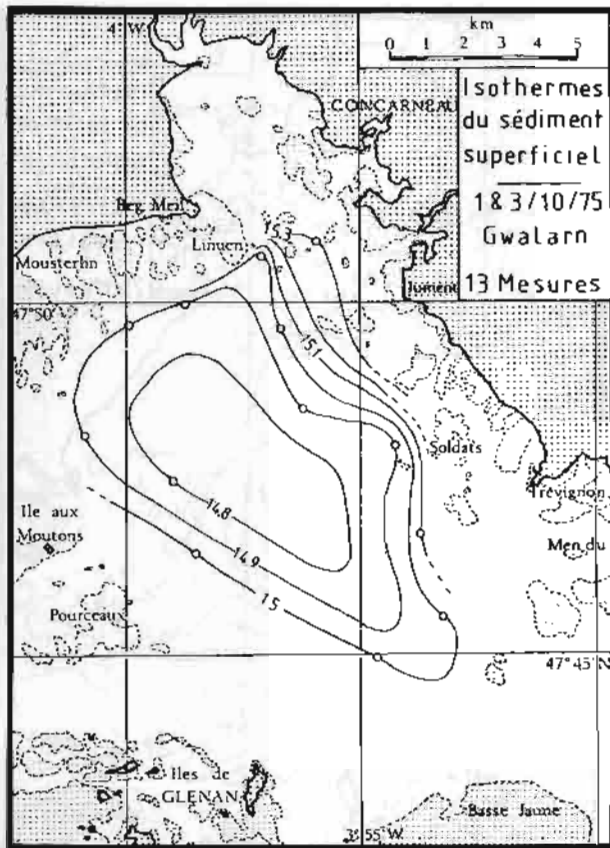
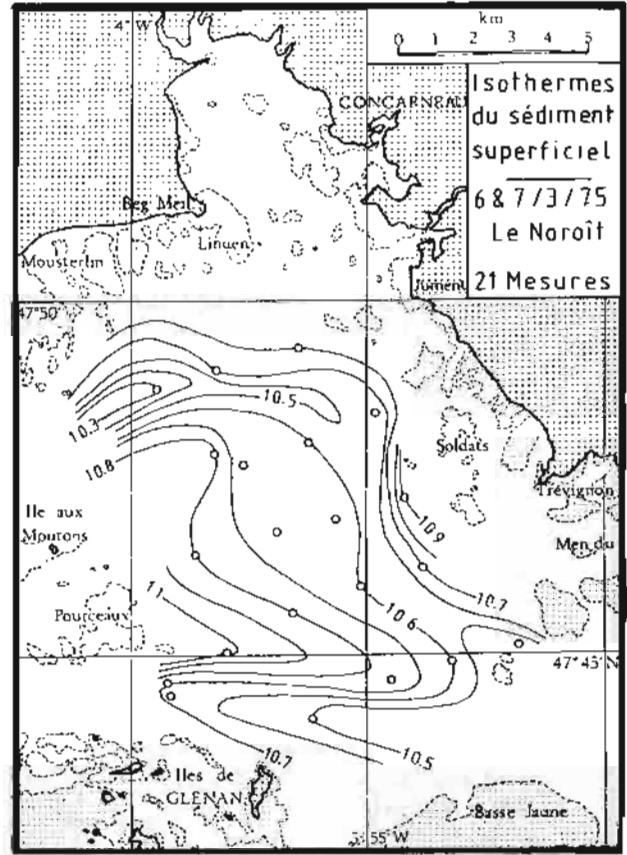
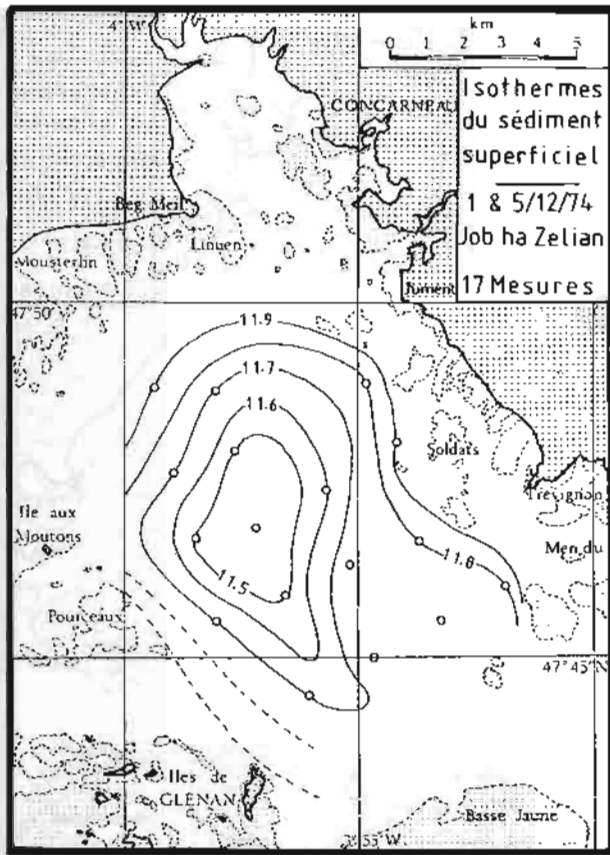


FIG. 2. — Baie de Concarneau, 4 séries de mesures de la température des sédiments superficiels.

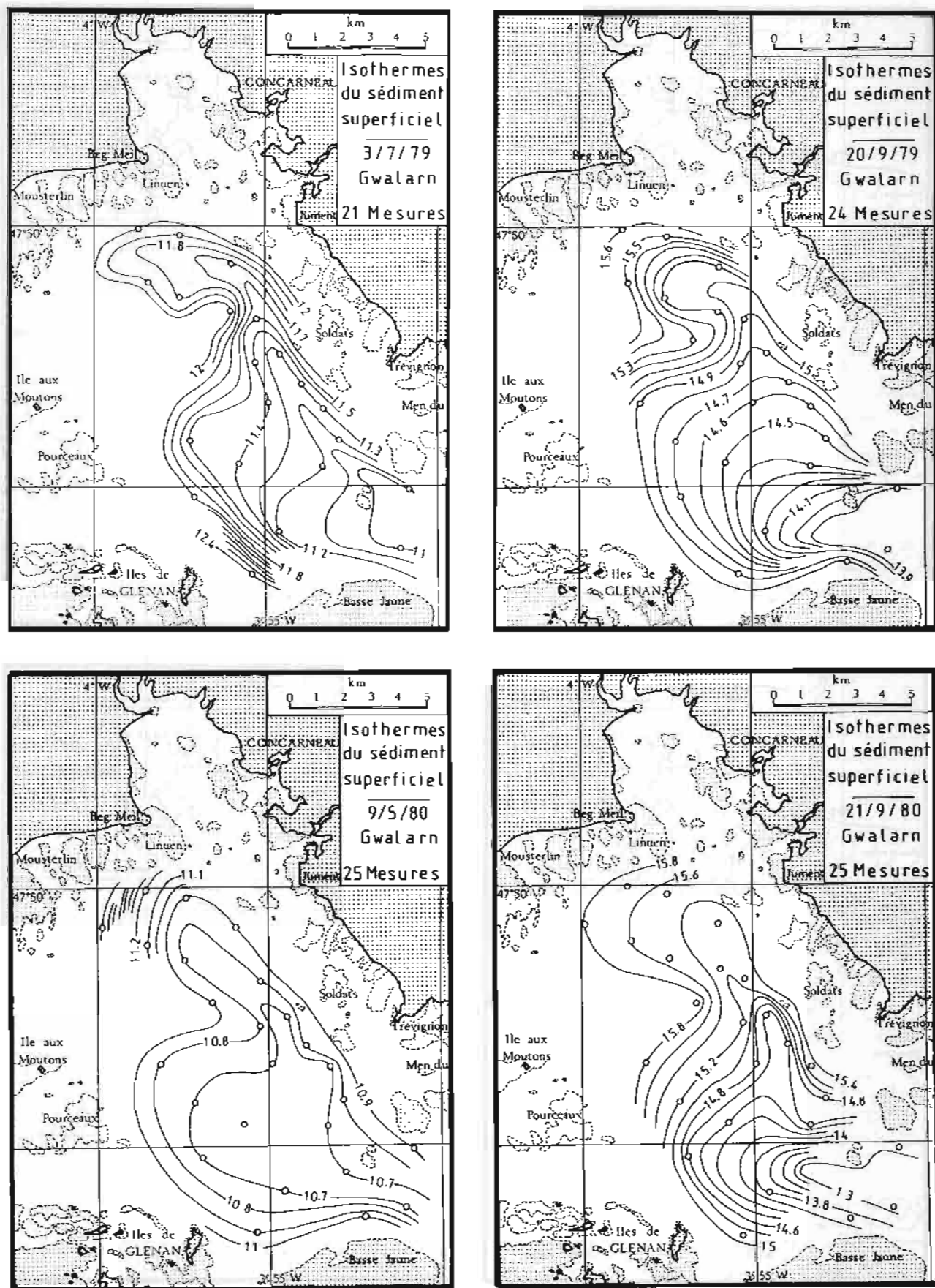


FIG. 3. — Baie de Concarneau, isothermes du sédiment superficiel lors des mesures de 1979 et 1980.

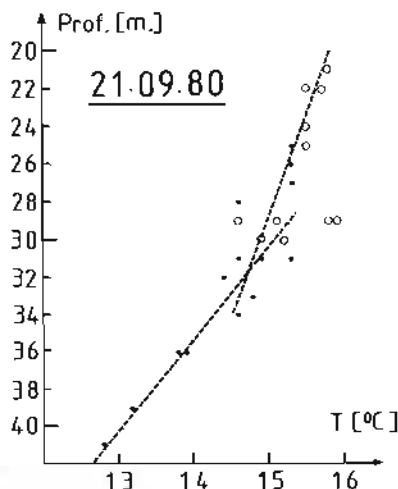


FIG. 4. — Mesures du 21 septembre 1980. Relation entre la profondeur et la température du sédiment superficiel.

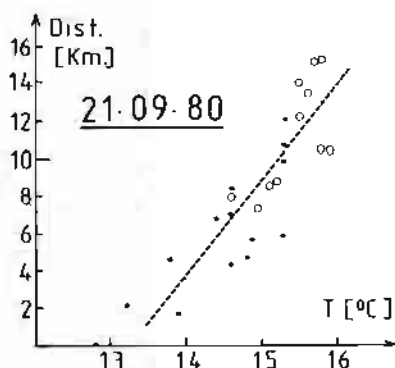


FIG. 5. — Mesures du 21 septembre 1980. Relation entre la distance au point le plus froid et la température du sédiment superficiel.

effectuées aux mêmes points à des périodes différentes.

Dans l'ensemble de ces exemples, les répartitions des températures observées semblent s'organiser suivant un schéma ordonné qui doit être l'expression d'un phénomène physique. Mais avant de s'interroger sur l'origine possible de ces distributions de température, il importe de faire une analyse critique des mesures du point de vue de leur représentativité et de leur fiabilité.

### III. DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les mesures de températures ayant été faites sur des échantillons remontés du fond, deux questions se posent :

— les mesures sur échantillons peuvent-elles être

représentatives de la température des sédiments en place ?

— la méthode employée est-elle fiable ?

#### 1. Quelle température mesure-t-on à bord du navire ?

Entre le moment de la prise de sédiment sur le fond marin et celui de la mesure de sa température à bord, l'échantillon transite par des milieux de températures plus ou moins contrastées; on peut légitimement se demander si son inertie thermique est suffisante pour écarter une dérive de température. Pour répondre à cette question, nous avons effectué une série de mesures d'étalonnage à bord et en laboratoire sur un échantillon de vase molle prélevé par 93 mètres de fond dans la Grande Vasière à 15 km dans le S-SW des îles de Glénan. Les courbes de réchauffement ou de refroidissement obtenues, à l'air, ou sous courant d'eau de température constante, sont données dans la figure 9. On constate que pour ce type de sédiment, on n'observe un début de dérive de température qu'à partir de cinq minutes dans le pire des cas (pour une différence de température de 15° C, ce qui est très largement supérieur aux écarts les plus importants que l'on ait observés et qui sont de l'ordre de 10° C).

On peut donc dire que dans des conditions d'opération normales, la température mesurée sur un échantillon immédiatement après son arrivée à bord est bien celle de la couche superficielle de sédiments au point de prélèvement.

On remarquera par ailleurs que ces mesures d'étalonnage sur un échantillon isolé ne peuvent rendre compte du comportement thermique du sédiment en place, puisqu'elles ont été faites sur un volume réduit de sédiment (environ 3 000 cm<sup>3</sup>) séparé de sa masse d'origine et ne bénéficiant donc pas du volant thermique de celle-ci.

Les échanges de chaleur ont, en outre, été facilités par une surface de contact multipliée approximativement par 3,5.

#### 2. La mesure est-elle fiable ?

Les mesures d'étalonnage ont été effectuées dans des conditions optimales au centre d'un godet bien rempli de vase molle et homogène et prélevé par beau temps, donc avec un minimum de secousses au cours de la remontée de la benne. Dans la pratique, il arrive relativement fréquemment que le godet ne soit pas plein, qu'il soit plus ou moins remué à la remontée et que l'échantillon soit hétérogène. Nous ne prenons en compte que les mesures faites sur des godets suffisamment remplis; en cas de doute, on multiplie les points de mesure dans la région centrale du godet et si

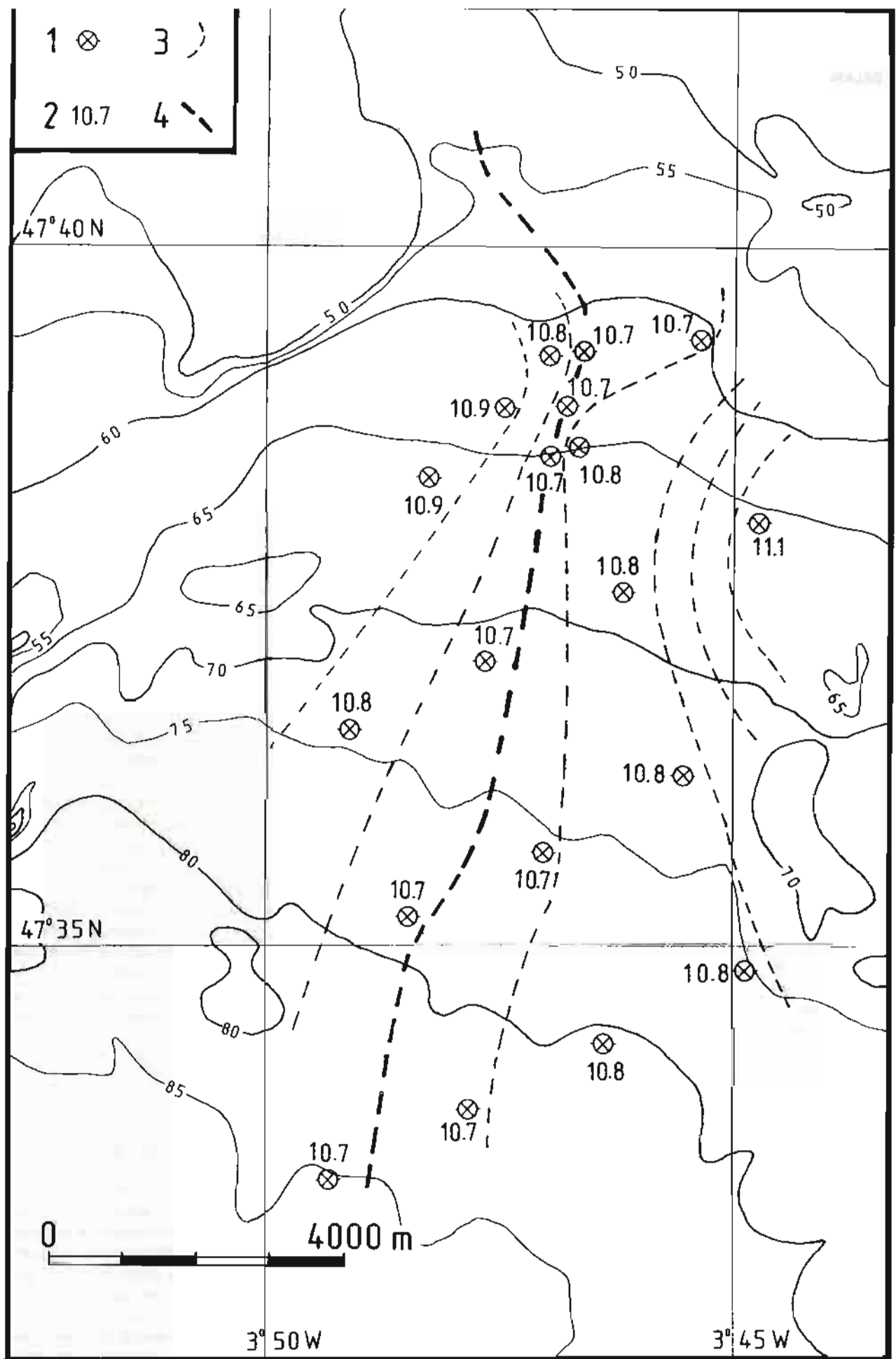


FIG. 6. — Isothermes des sédiments superficiels dans la Grande Vasière en mai 1980.

1 : Point de mesure  
3 : Isotherme

2 : Température du sédiment  
4 : Axe froid.

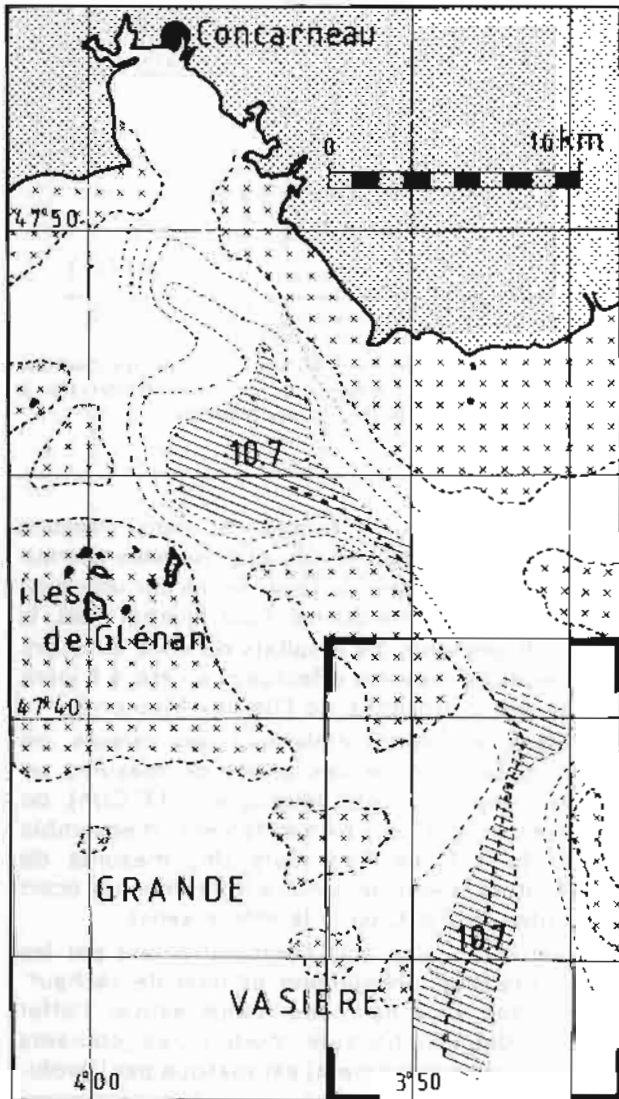


FIG. 7. — Relations entre les températures des sédiments en Baie de Concarneau et sur la Grande Vasière en mai 1980. Les croix indiquent les fonds rocheux; l'emplacement de la figure 6 est donné par les amorces au Sud-Est de la figure.

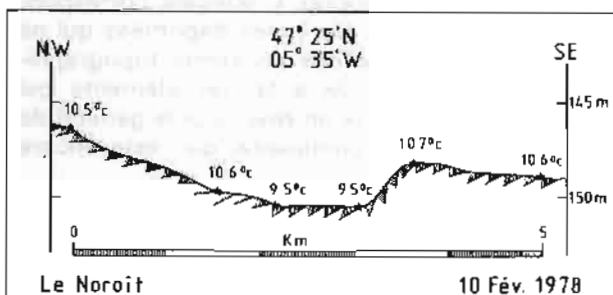


FIG. 8. — Température des sédiments en février 1978 sur le plateau continental externe (l'exagération verticale est de 200).

FIG. 6. — Isothermes des sédiments superficiels dans la Grande Vasière en mai 1980.

- 1 : Point de mesure
- 2 : Température du sédiment
- 3 : Isotherme
- 4 : Axe froid.

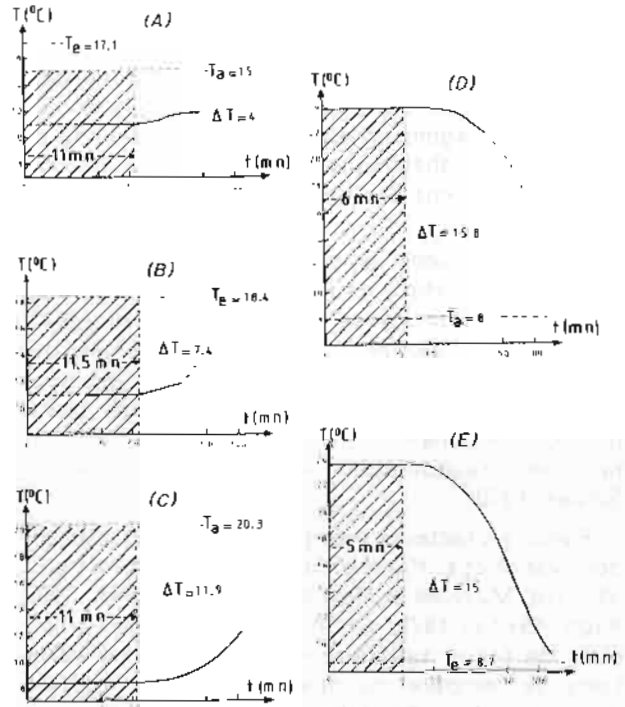


FIG. 9. — Mesure d'étalonnage sur un échantillon de vase molle.

- A) à bord : réchauffement à l'air libre.
  - B) à bord : réchauffement sous courant d'eau de mer.
  - C) en laboratoire : réchauffement à l'air libre.
  - D) en laboratoire : refroidissement à l'air libre.
  - E) en laboratoire : refroidissement sous courant d'eau douce.
- Ta : température de l'air en °C.  
 Te : température de l'eau en °C.  
 ΔT : différence (en °C) entre la température de départ de l'échantillon et celle du milieu ambiant.

les résultats sont dispersés, la mesure est éliminée.

Il y a lieu d'être particulièrement attentif pour les mesures faites sur des sables grossiers dans lesquels un enfoncement trop brutal du thermomètre apporte des perturbations qui peuvent fausser la mesure (réchauffement par friction). On peut aussi regretter un manque de finesse de la mesure, la précision du dixième de degré de notre moyen de mesure rudimentaire est loin d'être suffisante lorsque les températures ne sont pas très contrastées d'un point à un autre.

En tenant compte de ces limites et à conditions d'opérer avec autant de soin qu'il est possible de le faire, dans les conditions parfois éprouvantes des manipulations en mer, on peut considérer que cette technique de mesure est parfaitement fiable.

#### IV. ESSAIS D'INTERPRÉTATION

Si l'on tient maintenant pour acquis que les valeurs de températures obtenues sur des échan-

tillons sitôt leur arrivée à bord sont celles du sédiment en place au fond de la mer, il reste à trouver une explication aux distributions de températures qui sont présentées plus haut et donc à rechercher l'agent physique qui est à l'origine de ces variations thermiques extrêmement localisées et qui présentent des fluctuations marquées dans le temps.

Jusqu'à présent, les phénomènes d'échange de chaleur à l'interface eau-sédiment n'ont été abordés qu'en relation avec les mesures de flux thermiques et uniquement dans les zones océaniques profondes dans lesquelles la température des eaux au contact du fond est particulièrement stable (Pugh, 1970). Les mesures sur le plateau continental sont pratiquement inexistantes (Foucher et Sibuet, 1979).

Parmi les facteurs invoqués pour rendre compte des variations thermiques dans les sédiments (Bullard, Maxwell et Revelle, 1956, Langseth, 1965, Pugh, 1970 et 1975) un seul semble pouvoir expliquer de façon satisfaisante l'ampleur des variations de température observées en surface des dépôts meubles du plateau continental, il s'agit de phénomènes d'échanges thermiques entre les sédiments superficiels et les eaux de fond circulant à leur contact.

En effet, ni les variations du flux thermique d'origine interne sous l'action de phénomènes sédimentaires (dépôts ou érosions rapides, glissements etc.) ni des changements dans les dégagements de chaleur d'origine biologique ou physico-chimique ne peuvent rendre compte des gradients horizontaux élevés au sein d'une série de mesure et encore moins des écarts importants observés d'une série de mesures à une autre (en Baie de Concarneau, on note des écarts supérieurs à 4°C entre plusieurs mesures effectuées au même point à différentes périodes, l'amplitude maximum observée étant de 5,5°C).

Les mesures d'étalonnage présentées en III ont mis en relief la grande inertie thermique des sédiments meubles (il faut plusieurs heures pour atteindre l'équilibre de température en laboratoire), elle découle directement de leur faible conductivité thermique (comprise entre 0,6 et 1 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>); bien que peu élevée, celle-ci n'est pas nulle et de toute façon très supérieure à celle de l'eau de mer (Ratcliffe, 1960). En conséquence, toute variation même peu marquée, mais suffisamment prolongée, de la température de l'eau de mer au niveau du fond va se traduire par une modification de celle de la tranche sédimentaire la plus superficielle, l'interface eau-sédiment tendant constamment vers un état d'équilibre thermique.

Les phénomènes thermiques transitoires rapides ou plus généralement ceux à fréquence élevée ne seront qu'imparfaitement ou pas du tout enregistrés par les sédiments dont les variations de

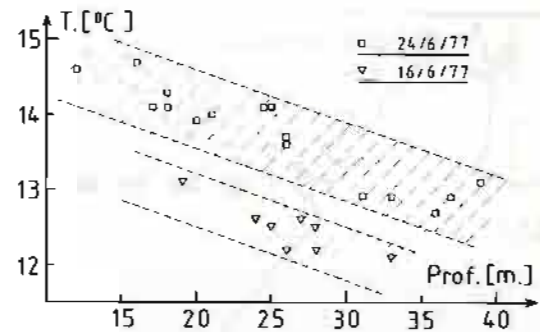


FIG. 10. — Evolution de la température du sédiment superficiel entre deux séries de mesures à huit jours d'intervalle à proximité de l'île aux Moutons.

température dans le temps ou dans l'espace résultent essentiellement de phénomènes thermiques présentant une certaine durée ou une évolution dans un sens donné. Pour illustrer ceci, la figure 10, présente les résultats obtenus au cours de 2 séries de mesures effectuées en été, à 8 jours d'intervalle à proximité de l'île aux Moutons.

Malgré un certain étalement des valeurs, on trouve pour chacune des séries de mesures un gradient vertical moyen identique (0,13°C/m), on observe surtout un réchauffement d'ensemble voisin de 1°C en huit jours (les mesures de température d'eau de surface montrent un écart de l'ordre de 0,8°C dans le même sens).

Il est clair qu'on a là l'enregistrement par les sédiments d'un phénomène général de réchauffement des eaux par beau temps estival, l'effet éventuel des variations de courte durée (courants de marée essentiellement) est masqué par l'évolution générale.

Sur un plan plus général, la majorité des exemples présentés montre des distributions de températures (figure 8) ou des répartitions de courbes isothermes (figures 2, 3 et 6) qui mettent en évidence la canalisation de courants de fond froids le long d'itinéraires privilégiés correspondant généralement à des zones déprimées qui ne forment pas toujours des accidents topographiques très marqués. On a là des éléments qui doivent s'intégrer dans un réseau plus général de drainage du plateau continental qui reste encore à préciser.

## V. CONCLUSION

La mesure de la température des sédiments est donc une méthode d'approche indirecte et extrêmement simple pour l'étude des circulations d'eaux au niveau du fond sur le plateau continental.

Par rapport aux mesures courantométriques classiques, elle offre en outre l'avantage de permettre la mise en évidence de phénomènes difficilement accessibles à des mesures directes comme par exemple, des écoulements laminaires d'eaux plus denses au niveau du fond.

Il reste enfin à souhaiter que l'on puisse disposer d'un matériel de mesure plus sensible et moins fragile que les thermomètres à mercure que nous avons utilisés jusqu'ici, afin de développer cette technique prometteuse.

## BIBLIOGRAPHIE

- PUGH D.T., 1970. — Mesures géothermiques en mer, in Muraour, P. et al., *Eléments de Géophysique marine* : Paris Masson et Cie Ed. pp. 4-24.
- FOUCHER J.P. et SIBUET J.C., 1979. — Thermal regime of the Northern Bay of Biscay Continental Margin in the vicinity of DSDP Sites 400 to 402, in Montadert L., Roberts D.G. et al. *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, V 48 : Washington (U.S. Government Printing Office) pp. 289-296.
- BULLARD E.L., MAXWELL A.E. et REVELLE R., 1956. — Heat flow through the deep sea floor. *Advan. Geophys.*, 3, pp. 153-181.
- LANGSETH M.G., 1965. — Techniques of measuring heat flow through the ocean floor in Lee W.H.K., *Terrestrial heat flow* : Geophysical Monograph series, *Am. Geophys. Union*, V. 8, pp. 58-77.
- PUGH D.T., 1975. — Deep sea temperature variations and their influence on the heat flow measurements, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, V. 27, pp. 121-126.
- RATCLIFFE E.H., 1960. — The thermal conductivity of ocean sediments. *J. Geophys. Res.*, 65, pp. 1 535-1 541.
- DELANOË Y. et PINOT J.P., 1981. — La mesure de la température du sédiment superficiel : une méthode simple d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment. Résumé. *J. Rech. Océanogr.* Vol. VI, n° 1, pp. 14-15.

## *DEUXIÈME PARTIE*



# MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

(mai 1978 — mai 1980)

par

M. E. CAILLIAU

Ingénieur en Chef de l'Armement (Hydrographe)

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE : La Mission Océanographique du Pacifique de 1978 à 1980. Le cadre de son action, son organisation, ses moyens.

DEUXIÈME PARTIE : Les principales méthodes et techniques hydrographiques employées à la Mission Océanographique du Pacifique entre 1978 et 1980.

TROISIÈME PARTIE : Les travaux effectués par la Mission Océanographique du Pacifique de mai 1978 à mai 1980.

Chapitre I. — Généralités.

Chapitre II. — Nouvelle-Calédonie : Levé au Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie entre la Grande-Terre et l'Île des Pins.

Chapitre III. — Nouvelle-Calédonie : Levé de la côte Est de la Nouvelle-Calédonie entre les baies de Nakéty et de Port Bouquet (région de Thio).

Chapitre IV. — Nouvelle-Calédonie : Levé au Nord de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie entre Koumac et Gomen.

Chapitre V. — Nouvelle-Calédonie : Levé de détail du chenal d'accès à Nouméa depuis la passe de la Dumbéa.

Chapitre VI. — Polynésie Française : Levé au large de la côte Est de Tahiti, entre Mahaena et Tautira.

Chapitre VII. — Polynésie Française : Levés divers à Tahiti dans la région de Papeete.

Chapitre VIII. — Polynésie Française : Révision du balisage et de la topographie des îles de Raiatea et Tahaa.

Chapitre IX. — Travaux divers en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française.

*Annexe technique n° 1* : Certains aspects particuliers de l'hydrographie en milieu corallien.

*Annexe technique n° 2* : L'emploi du sondeur latéral en milieu corallien.

*Annexe technique n° 3* : La marée et les courants dans la zone Grande-Terre — Île des Pins (Nouvelle-Calédonie).

*Annexe technique n° 4* : La déclinaison magnétique dans la zone Grande-Terre — Île des Pins (Nouvelle-Calédonie).

## INTRODUCTION

Ce rapport décrit l'activité de la Mission Océanographique du Pacifique (M.O.P) pendant la période comprise entre mai 1978 et mai 1980, période pendant laquelle cette Mission a été dirigée par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Cailliau.

Cet ingénieur avait succédé le 10 mai 1978 à l'Ingénieur en Chef de l'Armement Bonnot. Il fut remplacé le 5 mai 1980 par l'Ingénieur Principal de l'Armement Souquière.

La M.O.P. est née en 1974 du fusionnement de l'ex « Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie » et de l'ex « Mission Hydrographique de Polynésie Française ». Depuis cette date, elle est basée à Nouméa (Nouvelle-Calédonie) et ses travaux se répartissent inégalement entre la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie. Entre 1978 et 1980, on a assisté à un net redéploiement géographique des activités de la M.O.P. vers la Polynésie, phé-

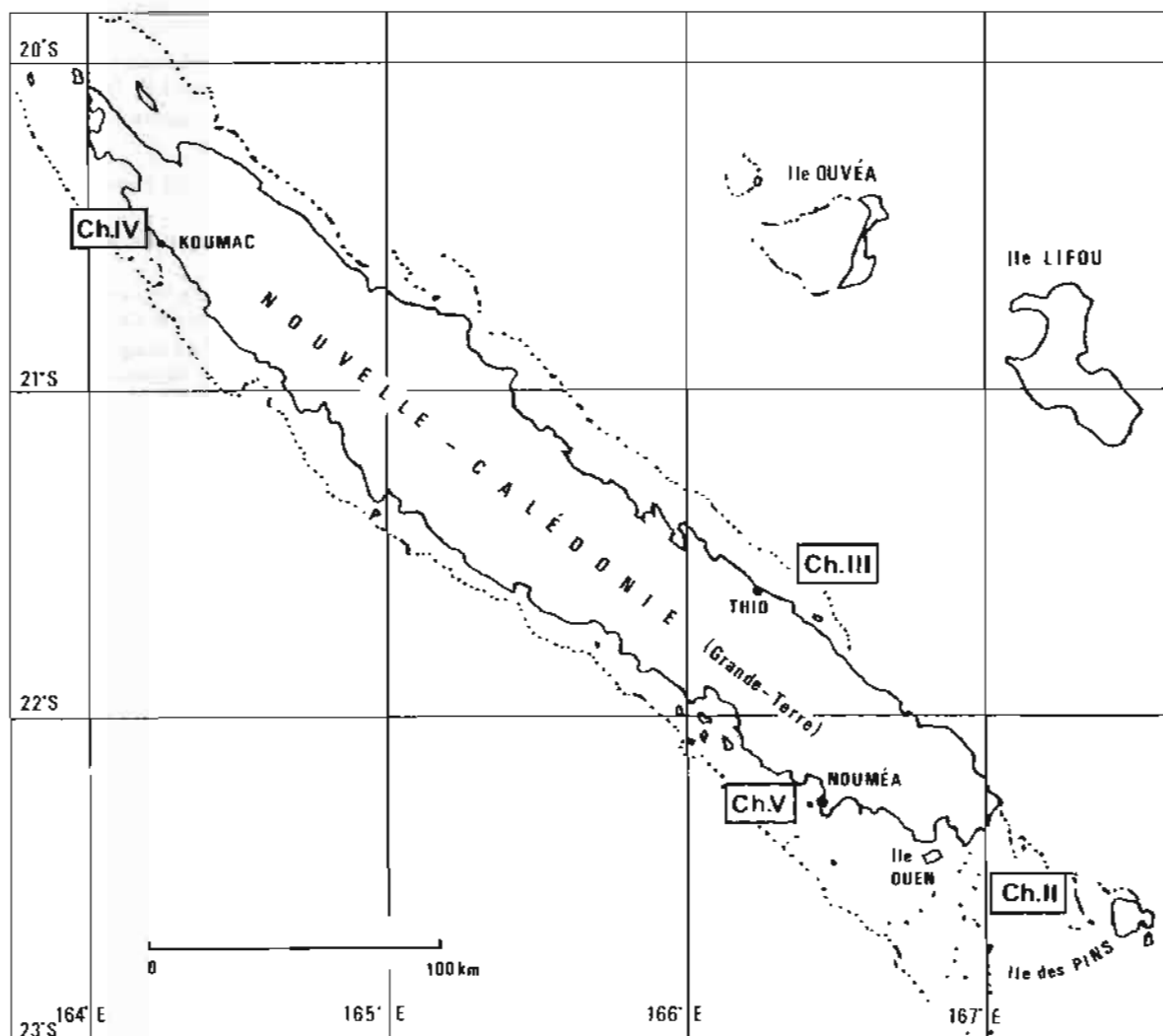
nomène amorcé en fait dès 1977. Quoique les travaux hydrographiques en Nouvelle-Calédonie soient restés majoritaires, l'accroissement des levés et des interventions de la M.O.P. en Polynésie française est un élément marquant de la période considérée.

Les planches n° 1 et 2 situent les différents levés effectués, respectivement en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française.

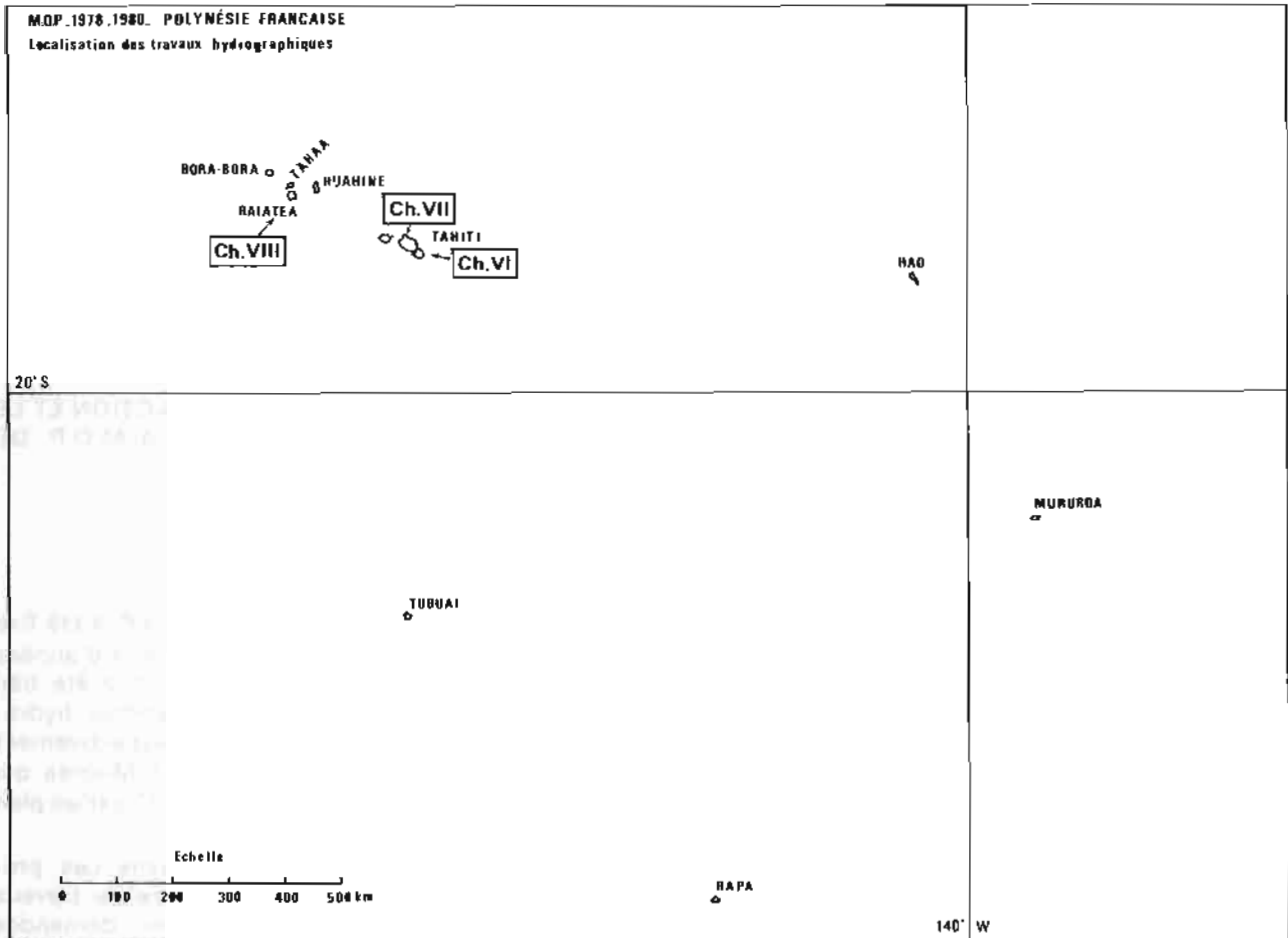
La première partie du rapport décrit les lignes directrices d'action et le cadre des activités de la M.O.P. entre 1978 et 1980, ainsi que son organisation et ses moyens qui furent d'ailleurs très semblables à ce qu'ils étaient précédemment (1).

(1) Voir :

- Rapport de mission de l'ICA Boulard (10 mai 1974-10 mai 1976) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1 — 1980, n° 754.
- Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976-10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



PL. 1. — Situation des levés effectués en Nouvelle-Calédonie.



PL. 2. — Situation des levés effectués en Polynésie Française.

La deuxième partie est consacrée aux méthodes et techniques hydrographiques employées à la M.O.P. entre 1978 et 1980, l'accent étant mis sur celles qui présentent une certaine originalité, qu'elles concernent des équipements nouveaux ou non. Le caractère corallien des fonds pose en effet des problèmes spécifiques, nécessitant parfois une adaptation des méthodes de l'hydrographie classique.

La troisième partie relate le détail des travaux de levé effectués. Elle donne la liste des documents de rédaction établis et un certain nombre de données numériques ainsi que, lorsque cela est possible, un aperçu de synthèse des résultats de ces levés. Les travaux sont classés par « chantier » individualisé en distinguant ceux qui ont été réali-

sés en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie. Certains levés, dont le caractère est confidentiel, sont décrits dans un rapport séparé.

Enfin quatre annexes donnent quelques développements à certains points techniques. Elles concernent :

- 1) Quelques aspects particuliers de l'hydrographie en milieu corallien.
- 2) L'emploi du sondeur latéral en milieu corallien.
- 3) Le développement de l'onde marée et les courants de surface dans les approches Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie.
- 4) Les mesures de la déclinaison magnétique au Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'Île des Pins.

## PREMIÈRE PARTIE

### LA MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE DE 1978 À 1980 LE CADRE DE SON ACTION, SON ORGANISATION ET SES MOYENS

#### I.1. GÉNÉRALITES

Depuis sa création en 1974, la zone d'action de la M.O.P. couvre l'ensemble des zones françaises du Pacifique c'est-à-dire les eaux de Nouvelle-Calédonie et Dépendances, des îles Wallis et de Polynésie Française.

Entre 1978 et 1980, on a pu constater :

- d'une part, la continuité de l'action hydrographique en Nouvelle-Calédonie selon un plan à long terme élaboré à la fin des années soixante;
- d'autre part, le développement des travaux hydrographiques en Polynésie après un net ralentissement entre 1974 et 1977 <sup>(1)</sup>.

Alors que les levés calédoniens ont surtout consisté en chantiers de moyenne ou longue durée, éventuellement organisés en plusieurs phases interrompues par des périodes d'exploitation partielle, les interventions en Polynésie ont été tout à la fois nombreuses, relativement courtes et discontinues. Elles ont permis l'exécution de travaux d'importance variable souvent demandés avec des préavis réduits.

Du point de vue organisation et moyens, très satisfaisants dans l'ensemble par rapport au cadre environnant et au plan de charge, une certaine constance est à constater depuis plusieurs années ce qui est certainement favorable au rendement. C'est ainsi que la flotte hydrographique française dans le Pacifique comporte les mêmes trois bâtiments — *L'Estafette*, la *Boussole* et le *Corail* — depuis 1974, qui constituent une panoplie très bien adaptée aux besoins.

Ce chapitre développe le cadre de l'action, l'organisation et les moyens de la M.O.P. en 1980. Il a en effet paru intéressant de faire le point sur ces questions à cette date mais on se reportera naturellement aux rapports des précédents directeurs de la M.O.P., notamment, pour ce qui concerne la description des bâtiments, à celui de l'ICA Boulard <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Aucun levé n'a été effectué aux îles Wallis.

<sup>(2)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Boulard (10 mai 1974-10 mai 1976) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1-1980, n° 754.

#### I.2. LES LIGNES DIRECTRICES D'ACTION ET LE CADRE DES ACTIVITÉS DE LA M.O.P. DE 1978 À 1980

##### I.2.1. Les lignes directrices d'action

Le programme de travail de la M.O.P. a été fixé annuellement, les modifications en cours d'années ayant ensuite été peu nombreuses. Il a été bâti essentiellement selon deux programmes hydrographiques à long terme établis respectivement pour la Nouvelle-Calédonie et Tahiti-Moorea qui avaient été concrétisés chacun en 1972 par un plan de cartographie marine.

D'autre part étaient prescrits dans ces programmes annuels un certain nombre de travaux « hors plan » correspondant à des demandes exprimées, avec des préavis variables, par les autorités militaires et par divers services des Territoires <sup>(3)</sup>.

De l'application de ce processus classique, on peut relever les points suivants :

- le renforcement des relations entre la M.O.P. et les différents services demandeurs, qu'ils soient militaires ou civils, ce qui a facilité sans doute l'expression précise des besoins hydrographiques de ces services et des autorités locales;
- l'exemple de l'établissement d'une convention avec la Direction du Port Autonome de Nouméa qui laisse à ce dernier organisme la faculté de fixer en cours d'année la nature des travaux hydrographiques à effectuer par la M.O.P. dans le port de Nouméa, étant entendu que le volume global de ces travaux est limité annuellement par la convention, que le Directeur de la Mission reste maître du calendrier de réalisation et que la facturation est établie au prorata des travaux effectivement réalisés.

Les règles d'exécution des travaux, ainsi prescrits annuellement, qui fixent certaines priorités et marquent le souci d'éviter la dispersion des efforts ont été respectées dans toute la mesure du possible.

<sup>(3)</sup> Relayant éventuellement des demandes privées.

Certaines activités permanentes ou particulières de la M.O.P. sont enfin à relever :

- entraînement et formation permanente du personnel aux techniques et méthodes hydrographiques;
- essais et évaluations de matériels hydro-océanographiques nouveaux;
- participation à la « période d'hydrographie » de l'enseignement de la *Jeanne d'Arc* (1979) sous la forme d'un détachement d'un Ingénieur de l'Armement et deux Officiers-Mariniers Hydrographes pendant trois semaines environ.

### 1.2.2. Le cadre des activités et les relations extérieures de la M.O.P.

Malgré le regain d'activité de la M.O.P. en Polynésie Française, la Nouvelle-Calédonie reste essentiellement le cadre d'existence et d'action de la Mission dont la base à terre et le lieu d'entretien et d'escale des bâtiments est Nouméa. C'est le Commandant de la Marine en Nouvelle-Calédonie qui assure le commandement organique de la M.O.P. et qui lui apporte les soutiens et concours nécessaires à son existence et à son activité.

Pendant la période concernée par ce rapport, ces soutiens et concours ont été dispensés largement, avec la plus grande bonne volonté à tous les échelons, malgré la limitation des moyens disponibles : concours de bâtiments et d'aéronefs, interventions d'embarcations et de véhicules, soutiens logistique et administratif permanents, etc.

Les relations avec les autres éléments des Forces Armées en Nouvelle-Calédonie ont été très bonnes mais beaucoup moins étroites. Il faut souligner ici que, comme par le passé, la Gendarmerie Nationale, notamment avec sa section d'hélicoptères, a rendu de fréquents et signalés



Le Neptune P2H au décollage pour mission photo.

services à la Mission en rapatriant du personnel hydrographe isolé en difficulté.

La M.O.P., bien implantée et bien connue en Nouvelle-Calédonie, ayant succédé à la M.H.N.C. dont la création remonte maintenant à 20 ans, a des contacts aisés et parfois assez suivis avec un grand nombre de services publics et d'organismes privés du Territoire. Citons sans que l'ordre en soit significatif : la haute administration du Territoire; les Services des Affaires Maritimes, des Travaux Publics, Topographique, des Mines, des Phares et Balises, de l'Aviation Civile et de la Météorologie; Port Autonome de Nouméa; ORSTOM Nouméa; Société Le Nickel etc.

En Polynésie Française, la structure d'accueil de la M.O.P. et de ses bâtiments est la Marine (Commandant de la Marine à Papeete) tandis que le Centre d'Expérimentations du Pacifique (C.E.P.), par ailleurs demandeur principal de travaux hydrographiques, assure le soutien des éléments de la Mission intervenant sur les sites. Là aussi la Mission a toujours reçu un soutien très efficace.

Les relations publiques de la M.O.P. à Tahiti ne sont pas a priori de même nature qu'en Nouvelle-Calédonie. La disparition de la Mission Hydrographique de Polynésie Française en 1974 a été souvent ressentie comme un véritable départ du SHOM de Polynésie et les quelques travaux que la M.O.P. avait réalisés depuis à Tahiti n'avaient pas effacé cette impression. L'année 1979 a vu une reprise des contacts, soit directement, soit par l'intermédiaire du C.E.P., notamment à l'occasion de l'établissement de l'état de besoin annuel en travaux hydrographiques. La présence fréquente, en 1979 et 1980, d'éléments de la Mission a renforcé cette action et de nombreuses relations sont désormais consolidées avec plusieurs organismes du Territoire parmi lesquels on peut citer : les Services des Travaux Publics et des Phares et



L'EDIC déchargeant un camion de la M.O.P.

Balises, de l'Urbanisme, des Affaires Maritimes; le Port Autonome de Papeete; le Centre Océanologique du Pacifique. On doit également signaler ici l'excellent accueil et les nombreux services rendus à la Mission à Raiatea et Tahaa de la part des autorités locales lors des travaux de février et mars 1980.

Les principales autres relations extérieures que la M.O.P. a pu avoir, tant sur le plan national qu'international, entre 1978 et 1980 sont :

— la participation, en tant que représentant du SHOM, de l'ICA Cailliau au colloque « sur l'utilisation des ressources de la mer dans les Territoires Français du Pacifique » qui s'est tenu à Nouméa du 16 au 20 septembre 1979 sous la présidence de M. Paul Dijoud, Secrétaire d'Etat chargé des Départements et Territoires d'Outre-Mer;

— la présentation de la M.O.P. et plus généralement des activités du SHOM dans le Pacifique à M. Yvon Bourges, Ministre de la Défense, à Nouméa le 29 mars 1980;

— la participation, en tant que représentant du SHOM, de l'IA Bessero, adjoint au Directeur de la M.O.P., aux travaux de la 17<sup>e</sup> Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale qui s'est tenue à Canberra (Australie) du 1<sup>er</sup> au 16 décembre 1979;

— la liaison continue avec le Tsunami Warning Center d'Hawaï sous la forme de l'entretien de l'observatoire de marée permanent « U.S. » de Nouméa, du contrôle et de l'expédition réguliers des données, de correspondance et de l'accueil de visiteurs du Centre. L'exploitation proprement dite des avis de tsunamis était assurée par la Marine en Nouvelle-Calédonie;

— la participation régulière à l'accueil à Nouméa de personnalités métropolitaines, civiles ou militaires;

— la tenue d'un « stand M.O.P. » à l'annuelle « Journée des Armées » de Nouméa;

— quelques escales de bâtiments (*L'Estafette, Boussole*) à l'étranger, d'ailleurs en nombre très limité et uniquement à l'occasion des transits entre Nouméa et Papeete : Nukualofa (Tonga), Apia (Western Samoa), Pago Pago (American Samoa) et Suva (Fiji).

En résumé, la M.O.P. travaille, comme d'ailleurs les Missions Hydrographiques qui l'ont devancée dans le Pacifique, dans un cadre humain très favorable. Les organismes et personnes cotoyés lui ont toujours manifesté intérêt et compréhension et lui apportent, selon les cas, soutien régulier ou concours occasionnels.

Les conditions naturelles dans lesquelles s'exerce l'hydrographie dans cette région du monde sont plus difficiles. Quoiqu'elles soient connues car très souvent relatées, il est peut-être utile de rappeler ici les principales difficultés rencontrées.

Les conditions météorologiques sont la plupart



Accostage difficile en zodiac.

du temps peu favorables aux travaux hydrographiques dans les zones concernées par les levés.

La Nouvelle-Calédonie et le Sud de la Polynésie Française sont soumis à un alizé de Sud-Est fort, souvent supérieur à 20 ou 25 nœuds. Surtout dans le Pacifique Ouest, cet alizé souffle toute l'année avec des périodes de rémission peu nombreuses et aléatoires. Dans ces zones de latitude supérieure à 20°S, l'hiver austral apporte également de forts coups de vent d'Ouest, d'origine dépressionnaire, semblables dans leurs causes et dans leurs effets à ceux que subissent, l'hiver, les côtes atlantiques Françaises.

La planche n°3 figure pour l'exemple des statistiques de vitesse du vent à Nouméa de 1975 à 1977 (pourcentage, par mois, des jours où la vitesse maximum enregistrée a été supérieure à 10 m/s). On notera l'importance de ce pourcentage, la dispersion des valeurs sur 3 ans et la relative atténuation pendant l'hiver austral.

Dans les parages des îles de la Société, on rencontre des alizés moins violents mais, pendant l'été austral, les fortes précipitations qui leur sont associées rendent difficiles les travaux sur les îles.



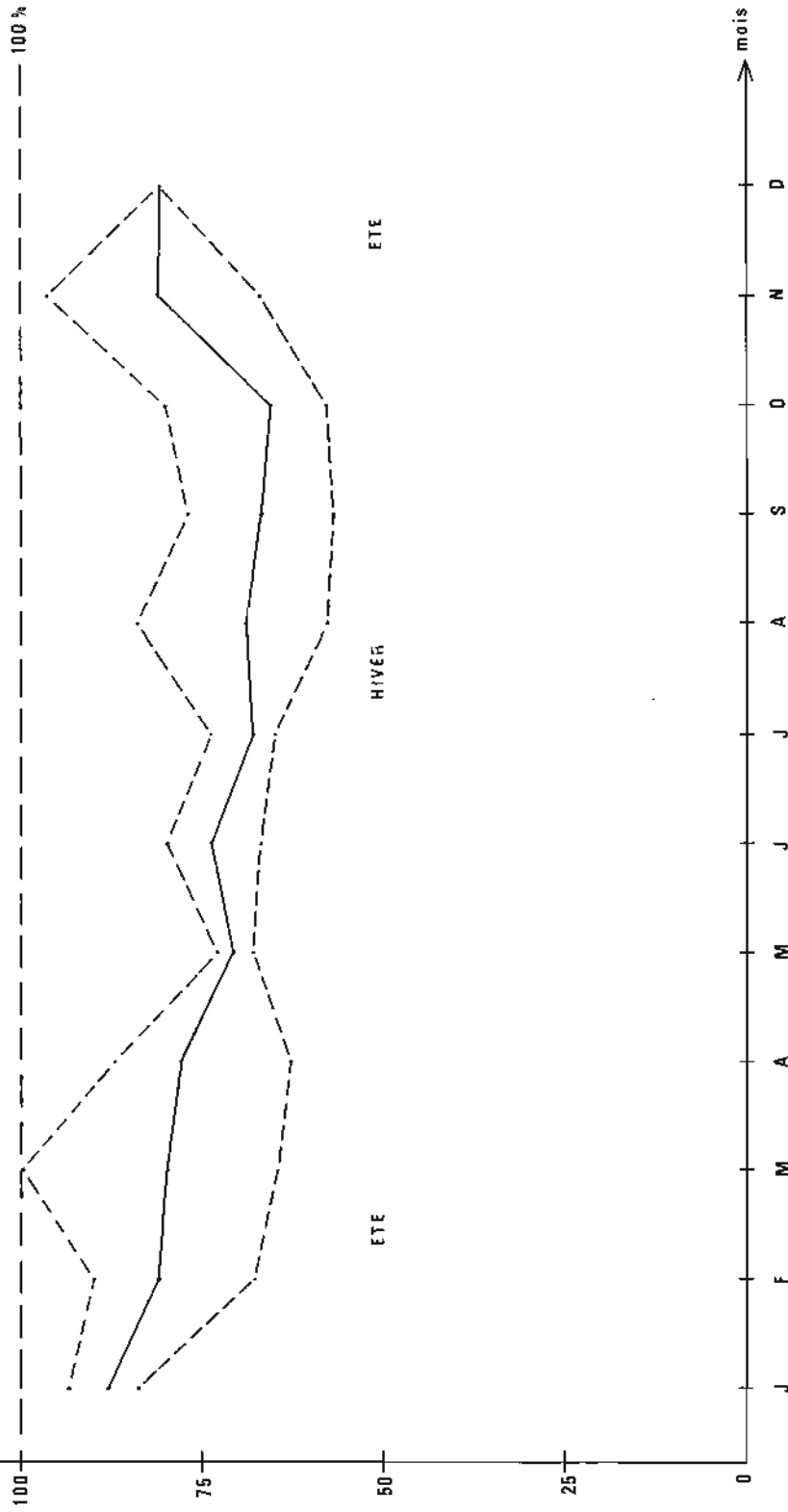
Campement sous les filaos d'un îlot.

**STATISTIQUES DE VITESSES DU VENT**

**A NOUMEA**

(Vent maximum enregistré : Vm)  
 ——— moyenne 1975-1976-1977  
 - - - - - maximum et minimum de 1975 à 1977  
 ——— 100 %

% de jours où le V<sub>m</sub> à NOUMEA a été supérieur à 10 m/s ( ≈ 20 kts)



PL. 3. — Statistiques de vitesses du vent à Nouméa.

Les cyclones et les dépressions tropicales sont des phénomènes relativement fréquents pendant l'été austral qui intéressent surtout la partie Ouest du Pacifique Français. Ils ont finalement des conséquences moindres que celles du mauvais temps régulier sur le rendement des levés mais ils constituent un souci permanent pour la sécurité des bâtiments, surtout celle du *Corail*, et des embarcations ainsi que celle des équipes à terre isolées.

Ces conditions météorologiques, médiocres ou mauvaises en moyenne, offrent de plus une particularité importante par rapport à celles d'autres régions du globe, celle d'être très aléatoires et en tout cas mal corrélées aux saisons (notamment en Nouvelle-Calédonie). Ceci rend illusoire, selon le critère météo tout au moins, de vouloir organiser de manière optimale un calendrier des chantiers et des immobilisations pour entretien des bâtiments. Il est important de disposer, si cela est possible, de chantiers « de repli » pour réduire les conséquences de conditions météorologiques continûment trop sévères.

Les difficultés nautiques, toujours grandes dans la région du Pacifique, ont été évidemment variables selon la zone et la nature du levé. Les risques de la navigation pour les bâtiments de la Mission ont été réels lorsque ces bâtiments (*L'Estafette* et la *Boussole*) ont été amenés à sonder par eux-mêmes. Cela a été le cas lors des sondages au large au retournement à l'accroche des récifs coralliens. Mais ces dangers ont été particulièrement perçus pour le levé au S.E. de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'Île des Pins, qui a dû être effectué dans sa plus grande partie par les bâtiments eux-mêmes avec des fonds importants (de 40 à 100 mètres) parsemés de hauts-fonds inconnus et le plus souvent invisibles de la passerelle. L'examen attentif des photographies aériennes a été un préalable indispensable à cette navigation hors des « sentiers battus ». Voir à ce sujet l'annexe technique n° 1. « Certains aspects particuliers de l'hydrographie en milieu corallien ».

Le mouillage de nuit, par fonds importants et hors de tout abri, a été parfois nécessaire malgré le risque et l'inconfort qui en résultaient.

Il faut relever ici la compétence et le sang-froid de tous les Commandants ayant exercé sur les trois bâtiments de la M.O.P. pendant la période ici relatée. Aucun incident n'a été à relever.

Les autres difficultés naturelles rencontrées sont relatives au terrain dont le relief et la végétation contrarient la pénétration, aussi bien en Nouvelle-Calédonie qu'en Polynésie. La plupart des levés effectués par la M.O.P. de 1978 à 1980 n'ont pas posé de gros problèmes à cet égard, même en l'absence d'hélicoptère. La raison en est que l'infrastructure géodésique des régions côtières concernées par ces levés avait été préalable-

ment mise en place par l'Institut Géographique National ou par les Missions précédentes. Les opérations géodésiques complémentaires, l'installation d'émetteurs de radiolocalisation et de postes de guidage optique n'ont généralement conduit qu'à des opérations de volume limité.

### 1.3. L'ORGANISATION DES MOYENS ET DU TRAVAIL À LA M.O.P. EN 1980

#### 1.3.1. Généralités

Pour réaliser les travaux prescrits, dans le cadre qui vient d'être décrit, la M.O.P. disposait d'un certain nombre de moyens qui sont répertoriés ci-dessous. L'objet du présent paragraphe est d'exposer l'organisation de ces moyens — bâtiments, locaux à terre, personnel, matériels etc. — et du travail qui a été adopté sans modifier essentiellement d'ailleurs ce qui avait été choisi antérieurement.

Cette organisation devait tenir compte d'une caractéristique particulière de la M.O.P., celle d'une dispersion extrêmement grande des moyens due à la dimension de son champ d'action et à un programme de travaux très diversifiés. D'autre part, tous les bâtiments de la Mission sont de dimensions modestes, même *l'Estafette*, et chacun ne peut recevoir qu'un élément partiel du personnel et du matériel hydrographiques.

Dans ces conditions, la conception modulaire de l'organisation, mise au point en 1976 par l'ICA Bonnot<sup>(4)</sup> est bien conçue et elle fut reconduite avec certaines adaptations. Elle s'est révélée très satisfaisante, que ce soit pour répondre aux activités à caractère continu comme en Nouvelle-Calédonie ou aux interventions plus ponctuelles comme en Polynésie. Donnant aux Commandants des bâtiments des responsabilités réelles dans la conduite des opérations hydrographiques, elle facilite sans nul doute les rapports entre ces Commandants et le Directeur de la Mission. Elle semble d'autre part répondre aux préoccupations d'efficacité et de rendement tout en permettant l'indispensable contrôle de qualité.

#### 1.3.2. La mise en œuvre des bâtiments

La caractéristique principale de l'organisation modulaire de la M.O.P. consiste à compléter l'armement de chaque bâtiment hydrographique de la Mission par une équipe — Officiers-Mariniers

(4) Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976-10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



Hydrographes, Officiers-Mariniers du service général, quartiers-maîtres et matelots — permanente attachée à chaque bord pendant une période continue d'assez longue durée. La composition de cette équipe, dont le volume dépend naturellement du bâtiment considéré, évolue au gré des départs et arrivées de personnel mais n'est remise globalement en question que lors des indisponibilités prolongées du bâtiment. Dans la pratique, ces indisponibilités sont les IPER (indisponibilités périodiques pour entretien et réparations) pendant lesquelles le bâtiment est normalement et provisoirement « désarmé à l'hydrographie ».

Ce personnel est placé sous l'autorité du Commandant qui reçoit une tâche définie, notamment dans les domaines du levé et de l'exploitation primaire des données recueillies<sup>(5)</sup>. Un officier de la Mission<sup>(6)</sup> est embarqué normalement à bord<sup>(7)</sup>. Chacun de ces officiers de la Mission<sup>(6)</sup>, non attaché à un bâtiment déterminé, exerce des fonctions, hors hiérarchie, de contrôle et de conseil techniques. Il est bien entendu que la responsabilité technique finale, notamment pour ce qui concerne la présentation des documents-résultats, demeure celle du Directeur Technique de la Mission<sup>(8)</sup>.

Les tâches ont été réparties entre les trois bâtiments de la M.O.P. selon un plan et un calendrier définis par périodes de plusieurs mois. Des adaptations ont parfois été nécessaires pour tenir compte de la notification de levés nouveaux imprévisibles ou à la suite de défaillances matérielles d'un navire ou d'un matériel.

Aucune règle rigide n'a présidé à l'établissement de cette répartition même si l'on s'est efforcé d'éviter la dispersion des responsabilités. Un bâtiment pouvait être seul attaché à un levé déterminé mais certaines circonstances ont parfois nécessité de mettre simultanément en œuvre le maximum de « porte-sondeurs » — et donc de bâtiments — sur le même levé. Ce fut notamment le cas lorsque la chaîne de radiolocalisation Toran fut mise en place et qu'il était important de la rentabiliser.

Les rythmes de travail des bâtiments ont été variables selon le levé. En régime courant, à proximité du port de base, il était adopté un rythme de 11 jours de mer par période de 2 semaines avec interruption des travaux le dimanche intermédiaire. Les exigences de la sécurité nautique interdisaient pratiquement tout travail de nuit mais les heures diurnes étaient pleinement employées avec démarrage effectif des opérations

<sup>(5)</sup> Et d'une manière plus continue pour ce qui concerne la formation du personnel, l'entretien du matériel spécifique et sa gestion.

<sup>(6)</sup> Ingénieur (y compris le Directeur) ou officier spécialisé hydrographe.

<sup>(7)</sup> Sur *L'Estafette* ou la *Boussole*, exceptionnellement sur le *Corail*.

<sup>(8)</sup> Qui est, en l'occurrence, le Directeur de Mission.

hydrographiques dès l'aube. Ce point est important dans la mesure où les premières heures de la matinée voient en général une réduction de la force de l'alizé.

### 1.3.3. L'organisation de la base de Nouméa et l'emploi du personnel non réparti

Il n'existe pas à proprement parler de « base » de la Mission au sens où aucun personnel n'est placé de manière permanente à terre. La M.O.P. dispose néanmoins de locaux importants à Nouméa dans l'enceinte de la Base Maritime. Ces locaux sont décrits ci-après.

Le personnel de la Mission qui n'est pas réparti sur les bâtiments est affecté à l'un ou l'autre des trois services suivants :

- le Service Général chargé d'assurer la vie courante de la Mission, sur les plans militaire et administratif notamment, en liaison avec les bureaux de la Marine en Nouvelle-Calédonie (et en Polynésie), ainsi que les transports;
- le Service Matériel chargé de la gestion et de l'entretien de tous les matériels : drôme, véhicules, instruments électroniques et scientifiques, moteurs etc., en liaison avec les Services Techniques de la Marine;
- la Salle de Dessin chargée classiquement de l'exploitation des levés, soit directement, soit en aval des salles de dessin embarquées.

Tout le personnel de ces services est employé en outre et à tour de rôle pour armer :

- les équipes à terre mises à la disposition des bâtiments pour l'exécution des opérations hydrographiques terrestres (géodésie, guidage optique, gardiennage des stations radioélectriques et des observatoires divers etc.);
- les équipes embarquées en complément;
- les interventions effectuées avec d'autres moyens nautiques que les bâtiments de la Mission.

### 1.3.4. Organisation de la rédaction

Le schéma d'organisation présenté ci-dessus est très semblable à celui qui avait été mis en place dans les années précédentes pour ce qui concerne au moins la répartition du potentiel de levé sur le terrain et à la mer. Il a par contre rapidement paru nécessaire d'élaborer un schéma nouveau pour l'exécution et le contrôle de l'exploitation des données c'est-à-dire la « rédaction ». La structure forcément éclatée de la M.O.P. pose en effet des problèmes spécifiques à cet égard et demande un contrôle rigoureux que ce soit pour assurer l'efficacité et un bon rendement ou pour maintenir le niveau de la qualité des documents établis.

Le relativement grand nombre de chantiers simultanés et surtout l'extension de certains d'entre eux — celui de la zone calédonienne Grande-Terre — Ile des Pins a par exemple conduit à l'établissement de près de 250 documents graphiques au format Grand Aigle — né-

cessitait de plus une gestion très stricte des travaux de rédaction.

On ne rentrera pas ici dans le détail technique de l'organisation mise en place à partir du début de l'année 1979. Seuls les principes de base en sont relatés :

<b>UR N° 383</b>	<b>SDD</b> 1 BOUSSOLE
Chantier : THIO	2 NOUMEA
LEVE	Responsable : 3
Sous-chantier : TOUPETI	Ingenieur 1 IA BESSERO
I.T. N° 632 SHOM/EM-6/7/78	Responsable 2
Date d'attribution : 6/6/79	

Nature de l'UR : ..	Baptême de l'UR : R10 4.2
Minute d'écriture de recherches 1/10 000	
<u>Documents complémentaires.</u>	
Cahiers d'observation THIO n° 4 - n° 5	
Cahier de calcul THIO n° 1	

### Contrôles

Date	Nom du responsable	Observations	Signature
8.7.79	PM PANIEL	voir fiche	<i>[Signature]</i>
22.7.79	PM LEPERCQ	voir fiche	<i>[Signature]</i>
3.9.79	IA BESSERO	3 corrections	<i>[Signature]</i>
17.9.79	Directeur ICA CAILLIAU	S.O.	<i>[Signature]</i>

### Expédition

Date	Destinataire	Observations
11.3.80	SHOM	Bordereau 91 MDP du 11.3.80

— le travail de rédaction est comptabilisé en « unités de rédaction » parfaitement définies et individualisées : une projection de construction, une minute de rédaction, un ensemble cohérent de fiches géodésiques, un dossier de courant constituent une unité de rédaction ;

— chaque salle de dessin, embarquée ou à Nouméa, reçoit la responsabilité de l'exécution et du contrôle primaire d'un certain nombre d'unités de rédaction ;

— la salle de dessin de Nouméa, outre la réalisation d'unités de rédaction qui lui sont attribuées en propre, assure :

— la gestion des unités de rédaction, gestion qui est supervisée par le Directeur de Mission ;

— le contrôle au niveau 2 de toutes les unités de rédaction ;

— chaque ingénieur ou officier hydrographe adjoint exerce un contrôle au niveau 3 d'une partie des unités de rédaction ;

— le Directeur de Mission assure finalement, au niveau 4, le contrôle de toutes les unités de rédaction.

La planche n° 4 donne un exemple de fiche d'unité de rédaction.

Cette procédure a donné toute satisfaction. Il suffit de préciser que plus de 600 unités de rédaction avaient été comptabilisées 15 mois après la mise en route de cette organisation pour se convaincre de sa nécessité.

### 1.3.5. Conclusion

Nous avons développé la présentation de l'organisation interne de la M.O.P. en 1980 parce qu'il a paru intéressant de relater les dispositions prises ou reconduites pour rendre efficaces, aussi bien au plan du rendement que du contrôle de qualité, des moyens dispersés et même parfois éparpillés par la force des choses. Le résultat paraît convenable même si des améliorations peuvent sans doute être encore apportées.

## 1.4. LES MOYENS DE LA M.O.P. EN 1978-1980

### 1.4.1. Généralités

Entre 1978 et 1980, la Mission Océanographique du Pacifique a disposé sensiblement des mêmes moyens en personnel et en matériel que ceux qui ont été mis en place à la création de la Mission en 1974. Les trois bâtiments hydrographiques qui lui étaient affectés depuis cette date : le BH1 *L'Estafette*, le BH2 *Boussole* et le BH2 *Corail* sont restés les mêmes.

On peut noter une amélioration de la dotation

en matériels spécifiques hydro-océanographiques avec l'attribution d'instruments modernes notamment dans le domaine de la localisation radioélectrique et dans celui des sondeurs.

D'une manière générale, on peut constater une très bonne adéquation de ces moyens au plan de charge actuel de la Mission.

Les paragraphes suivants donnent une description sommaire du personnel et du matériel affectés à la M.O.P. et relatent les quelques problèmes qui se sont posés à leur propos. Signalons cependant que les équipements hydro-océanographiques relatifs à des techniques particulières ne seront cités que dans la deuxième partie, « Méthodes et techniques hydrographiques employées », de ce rapport.

### 1.4.2. Le personnel

Il n'est tenu compte ici que du personnel directement placé sous les ordres du Directeur de Mission à l'exclusion des équipages des bâtiments.

#### 1.4.2.1. Le plan d'armement de la M.O.P.

En 1980, le plan d'armement de la M.O.P. comportait :

- un Etat-Major de 5 officiers dont 3 Ingénieurs de l'Armement<sup>(9)</sup><sup>(10)</sup>, 1 Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (électronicien), 1 Enseigne de Vaisseau Spécialisé (hydrographe) ;
- 15 Officiers-Mariniers Hydrographes<sup>(11)</sup> ;
- 8 Officiers-Mariniers du Service Général ;
- 4 Quartiers-Maîtres ou Matelots engagés ;
- 15 Quartiers-Maîtres ou Matelots recrutés.

La seule modification intervenue récemment (1979) a consisté en l'adjonction d'un Maître Radio breveté supérieur, accompagnée de la suppression d'un poste de Quartier-Maître manœuvrier. Cette modification officialisait l'existence de cet Officier-Marinier, en supplément à l'armement depuis 1977, et qui est indispensable à la M.O.P. pour l'entretien de son matériel électronique.

Ainsi constitué, ce plan d'armement convient d'une excellente manière au besoin présent de la Mission.

#### 1.4.2.2. La réalisation du plan d'armement, les moyens réellement disponibles

D'une manière générale, sauf peut-être en ce qui concerne les officiers, le plan d'armement a été respecté. Les niveaux de qualification ont été conformes à l'exception des « certifiés plon-

<sup>(9)</sup> Y compris le Directeur de Mission.

<sup>(10)</sup> Pouvant être l'un d'entre eux remplacé par un Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (hydrographe).

<sup>(11)</sup> Non compris le Commandant du BH2 *Corail*.

geurs ». Cette lacune, qui avait déjà été relevée par les Directeurs de Mission précédents, a constitué une difficulté certaine le plus souvent palliée par l'emploi d'Officiers-Mariniers Hydrographes certifiés. La gestion du personnel a été satisfaisante, la continuité étant généralement assurée.

#### *Les officiers*

De mai 1978 à mai 1980, le plan d'armement en officiers ne fut pas totalement honoré.

Les ingénieurs adjoints au Directeur furent successivement l'IA Laporte jusqu'au 3 juillet 1979, l'IA Bessero du 6 juillet 1978 au 6 mars 1980, l'IA Siess à partir du 18 janvier 1980 et l'IETA Auffret à partir du 14 février 1980. Ceci correspond en moyenne à 1,7 ingénieur adjoint.

La continuité fut assurée pour les IETA électroniques qui furent successivement l'IETA Gaudon jusqu'au 9 août 1979 et l'IETA Mondot à partir du 7 juillet 1979.

L'EVS Olivier, officier spécialisé d'origine hydrographe, fut affecté à la Mission le 10 août 1979, soit deux ans après le départ de son prédécesseur dans ce poste. Entre temps, un Major Hydrographe avait été désigné en remplacement numérique. Son arrivée fut l'occasion de créer un « service général » de la M.O.P. dont le besoin se faisait nettement ressentir. En dehors de ces fonctions, l'EVS Olivier participa à de nombreuses missions sur le terrain et à la mer à l'instar des ingénieurs adjoints.

Certains IETA hydrographes en période d'instruction militaire furent affectés sur l'un des bâtiments de la Mission : l'IETA Dolou sur *L'Estafette* de 1977 à 1978, l'IETA Deniel sur la *Boussole* en 1978, l'IETA Le Visage sur *L'Estafette* en 1980. En supplément à leur formation militaire et nautique, ces jeunes ingénieurs eurent ainsi un aperçu du travail des missions hydrographiques.

#### *Les officiers-mariniers hydrographes*

Le plan d'armement fut toujours scrupuleusement honoré, les remplacements se faisant sans solution de continuité. Il y a lieu de s'en féliciter car la diversité des opérations nécessitait un potentiel important de personnel de cette catégorie.

#### *Le personnel du Service Général*

Là aussi le plan d'armement fut le plus souvent honoré, malgré les quelques retards dans les remplacements qui ont été déjà signalés.

Le seul problème important concernant cette catégorie de personnel fut celui du niveau de qualification et donc de la possibilité d'emploi des 4 recrutés locaux qui furent affectés systématiquement après 1978 au titre des 4 postes « contingent sans spécialité » du plan d'armement. A part quelques exceptions, ce personnel se révéla en effet inapte à tenir un quelconque emploi d'aide-opérateur hydrographe.

#### *Les concours extérieurs*

Quelques concours occasionnels furent apportés par la Marine en Nouvelle-Calédonie et par le Centre d'Expérimentations du Pacifique. L'Armée de Terre continua, comme en 1977 et jusqu'à la fin de 1978, à fournir du personnel pour garder les stations à terre du système Toran installé au S.E. de la Grande-Terre.

Signalons enfin qu'aux termes d'un accord entre le Vice-Amiral Commandant Supérieur des Troupes en Polynésie Française et l'Administration de ce Territoire, Mr Pacaud, adjoint au Chef du Service des Phares et Balises de Polynésie Française, embarqua du 16 au 29 mars 1980 pour apporter son concours à la Mission dans son travail de vérification systématique du balisage de Raiatea et Tahaa.

#### *1.4.2.3. Le niveau de qualification et la disponibilité des personnels*

D'une manière générale, la M.O.P. eut à sa disposition du personnel de très bonne qualification. La seule limite à ce propos vient de la durée relativement courte des affectations des quartiers-maîtres et matelots (15 mois pour les engagés, 10 mois pour les recrutés) dont la formation était donc à reprendre fréquemment.

Des séances de formation technique systématique furent organisées pour ces personnels mais également pour les officiers-mariniers, hydrographes ou non. Des épreuves du certificat d'aide-hydrographe, désormais ouvert à toutes les spécialités de la Marine, eurent lieu semestriellement au profit des candidats de la M.O.P. ayant participé aux travaux de la Mission depuis au moins un an.

La formation générale, militaire et sportive fut assurée, soit par les bâtiments à bord desquels le personnel de la M.O.P. était embarqué, soit par l'Unité Marine Nouméa.

De même que leur niveau de qualification, la disponibilité des personnels de la Mission fut très bonne, voire excellente. Les opérations en Polynésie, souvent organisées depuis Nouméa avec un faible préavis, furent « couvertes » sans difficulté. Il est néanmoins certain qu'elles furent ressenties sur le plan moral et l'on n'oubliera pas à ce sujet les équipages des bâtiments. Ce problème pourra devenir important si le volume des travaux hydrographiques en Polynésie Française devait croître sans atteindre pour autant la « masse critique » qui permettrait d'envisager le détachement permanent à Tahiti d'une partie de la Mission avec un bâtiment.

### 1.4.3. Les navires et les moyens aériens de levé

#### 1.4.3.1. Généralités

De mai 1978 à mai 1980, la M.O.P. a disposé pour l'exécution de ses travaux de levé d'un certain nombre de moyens nautiques et aériens permanents ou occasionnels. Ils sont cités ici. Il n'en est pas donné une description technique mais sont formulées les quelques remarques qui ont paru les plus intéressantes quant à leur condition d'emploi et quant à la mise en disponibilité des moyens permanents. Les problèmes liés au transport du personnel et du matériel font l'objet d'un paragraphe séparé (voir ci-dessous paragraphe 1.4.5. du présent chapitre).

Les bâtiments hydrographiques mis en permanence à la disposition de la M.O.P. sont les suivants :

- le Bâtiment Hydrographique de 1<sup>ère</sup> classe *L'Estafette* (1 200 t), affecté aux travaux hydrographiques dans le Pacifique depuis 1974;
- le Bâtiment Hydrographique de 2<sup>e</sup> classe *Boussole* (450 t) stationné dans le Pacifique depuis 1968 et à Nouméa depuis 1970;
- le Bâtiment Hydrographique de 2<sup>e</sup> classe *Corail* (75 t) acquis par la Marine pour les besoins hydrographiques en Nouvelle-Calédonie en 1973.

La M.O.P. a eu pendant toute la période le plein d'emploi de ces trois bâtiments<sup>(12)</sup>. Elle n'a pas été pénalisée par les règles édictées en matière de restriction des dépenses de combustible de navigation.

La Mission reçut d'autre part les concours occasionnels suivants :

- pour les travaux à Raiatea-Tahaa de février et mars 1980, 35 « jours-navires » fournis par l'Amiral, Commandant la Marine dans le Pacifique (AL-PACI) :
  - EDIC 9082 du 1<sup>er</sup> au 10 février 1980,
  - Remorqueur de Haute Mer *Hippopotame* du 9 au 22 février 1980,
  - Patrouilleur *La Lorientaise* du 16 au 28 mars 1980;
- moyens divers fournis par l'Amiral, Commandant le Centre d'Expérimentations du Pacifique (C.E.P.) pour les travaux sur les sites et qui sont décrits par ailleurs;
- aéronefs de l'Aéronautique Navale en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie pour la prise de photographies aériennes;
- pour l'exécution d'un levé sommaire de reconnaissance des îles et récifs au Nord-Ouest de la Nouvelle-Calédonie, le Patrouilleur *La Dunkerquoise* du 8 au 14 février 1980.

<sup>(12)</sup> Dans la mesure où ces bâtiments étaient matériellement disponibles. Une exception néanmoins : du 19 mai 1979 au 18 juin 1979, le BH1 *L'Estafette* a été déclaré « disponible sauf pour travaux hydrographiques », n'ayant pas l'usage de sa grue pour la mise en œuvre des vedettes hydrographiques.

Quelques chiffres peuvent être fournis ici pour évaluer les taux de disponibilité et d'emploi des navires de la M.O.P. en moyenne pendant la période 1978-1980 :

- taux moyen de disponibilité : 64 %
- taux moyen d'activité (travaux) calculé par rapport au temps de disponibilité : 53 %
- nombre moyen, annuel et par bâtiment, de jours de travaux à la mer : 125
- taux d'absence du port de base de Nouméa :
  - ensemble des 3 bâtiments : 52 %
  - *L'Estafette* et *Boussole* : 61 %

Ces chiffres peuvent être considérés comme convenables si on les examine par rapport aux normes en vigueur.

#### 1.4.3.2. L'entretien des bâtiments hydrographiques dans le Pacifique

Le rythme théorique et réglementaire des IPER<sup>(13)</sup> des bâtiments hydrographiques est d'une IPER annuelle de 2 à 2,5 mois. Ces normes sont respectées pour les navires de la M.O.P. si ce n'est que la fréquence des IPER de *L'Estafette* est légèrement allongée. Par suite de l'absence à Nouméa de toute cale d'assèchement ou dock susceptible de le recevoir, ce bâtiment doit en effet obligatoirement être caréné à Papeete ce qui est fortement pénalisant sur le plan de la disponibilité hydrographique. Le slip de Nouméa peut recevoir la *Boussole* et les IPER de ce navire ont le plus souvent lieu dans ce port mais la limitation des moyens industriels des Services Techniques de la Marine en Nouvelle-Calédonie a conduit à maintenir une IPER de la *Boussole* à l'arsenal de Papeete tous les 3 ou 4 ans. Cette périodicité sera réduite à 2 ans à partir de 1980 pour tenir compte de l'état d'usure du bâtiment. Le *Corail* est quant à lui entretenu en Nouvelle-Calédonie.

A ces IPER, s'ajoutent des périodes d'IE<sup>(14)</sup> de 2 à 4 semaines selon un montant global, égal pour les 3 navires, qui est de 10 semaines par an. Ces IE se déroulent normalement à Nouméa sauf naturellement si le bâtiment se trouve être en travaux en Polynésie, auquel cas l'IE peut se situer à Papeete ou à Mururoa.

Il y a lieu de se féliciter de la bonne coordination entre les différentes parties qui, localement, interviennent pour l'organisation et l'exécution de cet entretien : autorités organiques de Nouméa et de Papeete, Direction des Constructions et Armes Navales de Papeete, Services Techniques de la Marine en Nouvelle-Calédonie, bâtiments eux-mêmes et M.O.P. La plus grande compréhension a toujours été trouvée pour limiter au maximum les conséquences des contraintes d'entretien ou de réparations sur le déroulement des travaux.

<sup>(13)</sup> Période d'« Indisponibilité Périodique pour Entretien et Réparations ».

<sup>(14)</sup> Période d'« Indisponibilité pour Entretien ».

Les problèmes d'entretien des bâtiments, quoique nombreux et permanents, n'ont en définitive pas gêné outre mesure le déroulement des travaux. Certaines difficultés doivent cependant être soulignées. Elles ne sont d'ailleurs pas nouvelles :

— l'impossibilité pour *L'Estafette* d'être mise à sec en Nouvelle-Calédonie a déjà été signalée. Outre l'impact de ce fait sur l'organisation des IPER, ceci est particulièrement grave en cas d'avarie accidentelle au niveau des œuvres vives. L'ICA Bonnot<sup>(15)</sup> avait déjà évoqué les conséquences d'un échouage. En octobre 1979, une pollution importante du système hydraulique du pas d'hélice par entrée d'eau de mer a entraîné le retour immédiat du bâtiment à Papeete et la modification du programme d'IPER. Aucune solution n'existe malheureusement hors de la construction d'une nouvelle structure d'échouage à Nouméa plus puissante que le slip actuel, construction qui est d'ailleurs envisagée à moyen terme;

— les délais extrêmement longs pour approvisionner à Nouméa et à Papeete des pièces de rechange depuis la Métropole. Cette situation, commune à tous les bâtiments de la Marine Nationale dans le Pacifique est aggravée dans le cas des bâtiments hydrographiques par leur caractère unique et spécifique;

— la limitation des moyens industriels des organismes réparateurs et parfois de leur compétence pour ce qui concerne certains équipements spécifiques. Cela est vrai pour les Services Techniques de Nouméa mais également, à un moindre degré, pour l'arsenal de Papeete (systèmes hydrauliques, sondeurs, gyrocompas par exemple).

#### 1.4.3.3. Le BH1 *L'Estafette*

Au cours de la période considérée, le BH1 *L'Estafette* a été commandé successivement par le Lieutenant de Vaisseau puis Capitaine de Corvette Aublet (mai 1978-août 1979) et par le Lieutenant de Vaisseau puis Capitaine de Corvette Boiselle.

Le plan d'armement de ce bâtiment est restreint ce qui conduit à une participation relativement réduite de l'équipage aux opérations hydrographiques. Il est néanmoins bien conçu si ce n'est l'absence de tout officier-marinier réellement apte à suivre le toujours plus important et sophistiqué matériel électronique installé à bord (sondeurs, récepteurs de localisation électrique, etc.).

Contrairement à certains avis précédemment exprimés, il est considéré ici que *L'Estafette* est très bien adapté aux tâches qui sont actuellement les siennes dans le Pacifique. Ce point n'a jamais été controversé pour ce qui concerne les travaux hauturiers, hydrographiques ou océanographiques. L'expérience approfondie de sondages par

<sup>(15)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



*L'Estafette* au mouillage.

grands fonds mais poussés jusqu'à l'accroche des barrières récifales a montré que le bâtiment était capable de les mener avec des résultats très satisfaisants. Le fort tirant d'eau (5,5 m) le pénalise évidemment pour sonder et même se déplacer dans les zones où des récifs immergés risquent d'être rencontrés. Les performances d'une télé-détection, à réaliser impérativement au préalable, limitent cet inconvénient. On a en effet acquis la conviction qu'une bonne couverture photographique, aussi bien en noir et blanc qu'en couleur, permettait d'acquiescer avec une quasi-certitude la connaissance de tous les hauts-fonds immergés à moins de 6 mètres. Enfin les capacités de *L'Estafette* dans le domaine du soutien logistique d'embarcations et d'équipes à terre sont très convenables.

Il est certain que d'assez nombreuses avaries sont venues perturber la disponibilité du bâtiment pendant la période, cependant de façon moins sensible que lors des années précédentes. Il faut remarquer que ces incidents ont été le plus souvent peu graves et que seules les difficultés déjà recensées (absence de slip suffisant à Nouméa, délais d'intervention et d'approvisionnement des pièces de rechange) multiplient les conséquences opérationnelles d'avaries souvent mineures.

En reprenant les « sujets d'inquiétudes » relevés en mai 1978 par l'ICA Bonnot<sup>(16)</sup>, on peut indiquer :

— que les problèmes du système d'hélice à pas variable Escher Wyss semblent réglés en 1980.

— que les difficultés de fonctionnement de plusieurs auxiliaires dont le bouilleur ne se sont pas reproduites,

— que la grue fonctionne convenablement mais qu'il faut continuer à la considérer comme sujet d'inquiétude comme l'ont montré les incidents de 1979 (grue restée indisponible 3 mois après la fin

<sup>(16)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



Vedette hydrographique de *L'Estafette*.



La *Boussole* au wharf de l'île des Pins.

de l'IPER faute de quelques pièces secondaires de rechange) et les difficultés de mise au point rencontrées à la fin de l'IPER 1980.

— que les vedettes hydrographiques anciennes, dont le fonctionnement a été extrêmement difficile à assurer ces dernières années seront remplacées par des vedettes neuves (dites « de 9 mètres ») à la fin de l'année 1980;

— que l'installation d'une climatisation générale, accompagnée de la nécessaire modification partielle de la production et de la distribution électrique, est prévue en 1981<sup>(17)</sup>.

Une importante difficulté, qui n'est pas nouvelle mais qui est devenue très sensible par suite de l'orientation des activités vers les levés bathymétriques par grands fonds, est celle du mauvais fonctionnement du sondeur grands fonds Elac. L'installation en 1980 d'un sondeur moderne Raytheon devrait résoudre ce problème.

Avec la mise en place d'un récepteur de localisation par satellites du type JMR, réalisée au début 1980 et celle d'un treuil télécommandé Klein pour mise en œuvre d'engins remorqués et notamment du sondeur latéral Edgerton (fin 1980), les équipements du BH1 *L'Estafette* commencent à être très complets. Si de nouveaux problèmes de fiabilité ne se posent pas brutalement, ce navire devrait constituer un très bon outil de levé dans le Pacifique surtout dans la perspective des travaux hauturiers qui y sont prévus.

#### 1.4.3.4. Le BH2 *Boussole*

Au cours de la période considérée, le BH2 *Boussole* a été commandé successivement par le Capitaine de Corvette Teule (jusqu'en avril 1979) et par le Lieutenant de Vaisseau puis Capitaine de Corvette Souleau.

Le plan d'armement en personnel de ce bâtiment donne toute satisfaction.

(17) Des améliorations ponctuelles de la climatisation autonome de certains locaux-vie ont été apportées en 1979 et 1980.

En 1979, le BH2 *Boussole* a effectué un nombre inhabituel de jours de mer en travaux ou en transit au large qui ont confirmé l'assez mauvais comportement et l'inconfort de ce type de bâtiment par forte mer. Malgré ses capacités de logement réduites — et la transformation effectuée en 1976 pour loger 3 personnes dans la salle de dessin est précieuse de ce point de vue — ses capacités manœuvrières, sa bonne tenue au mouillage, son faible tirant d'eau et sa disposition générale en font un très bon instrument de petite et moyenne sondes.

L'entretien en est relativement facile mais la nécessité d'effectuer assez fréquemment une IPER plus approfondie à l'arsenal de Papeete a été reconnue. D'assez nombreux incidents ont d'ailleurs émaillé la période 1978-1980. Les plus importants concernent le réducteur qui a dû être démonté et dont le pignonnage a été changé en 1978, le gyrocompas très longtemps indisponible en 1978 et depuis mi-1979, le sondeur grands fonds Elac et les vedettes hydrographiques. Ces dernières ont heureusement été remplacées par des vedettes neuves du type VH8 au début de l'année 1980, ce qui a obligé à rectifier les bossoirs de manœuvre. Le BH2 *Boussole* a reçu à cette même date un treuil manuel Klein pour le remorquage



La salle de dessin de la *Boussole*.

d'engins légers (sondeur latéral Edgerton) et l'infrastructure d'accueil du récepteur de localisation par satellites JMR.

Comme pour *L'Estafette*, il est permis de bien augurer de l'avenir de la *Boussole* dans le Pacifique. Le principal problème pour ce bâtiment est celui de la définition de la date de sa condamnation, ce qui n'est pas sans conséquence sur les efforts d'entretien qui lui seront prochainement accordés.

#### 1.4.3.5. Le BH2 *Corail*

Au cours de la période considérée, le BH2 *Corail* a été commandé par le Premier-Maître Hydrographe Deransi (jusqu'en mars 1979), par le Premier-Maître Hydrographe Lucas (jusqu'en mars 1980) puis par le Premier-Maître Hydrographe Penven.

Ce petit bâtiment, qui est en fait une grosse vedette de 75 tonnes, a un équipage de 8 personnes et ne peut guère embarquer que 2 personnes en supplément pour travaux et encore dans des conditions très précaires.

Sa tenue à la mer est mauvaise et il lui est interdit de sortir des parties abritées du lagon calédonien dès que la mer se lève. Malgré ces défauts et en dépit d'un bon nombre d'avaries dont la plus importante a été une rupture de ligne d'arbre à la mer (février 1980), le *Corail* a réalisé un très gros travail ces dernières années. Ceci s'explique par le fait que les conditions météorologiques — état de la mer — et hydrographiques dans le lagon sont telles qu'elles interdisent le plus souvent le levé par les bâtiments hydrographiques eux-mêmes ou par leurs trop légères vedettes. Le *Corail* cumule les avantages d'un bâtiment habitable, apte à transporter du matériel, et ceux d'une vedette très maniable avec une large plage arrière au niveau du plan d'eau.



Le *Corail* en baie de Kuto.



L'abri de navigation du *Corail*.

Depuis 1978, le *Corail* a été particulièrement handicapé :

- par une avarie prolongée du treuil avant, qui n'a été réparé qu'en février 1979, et qui avait laissé le bâtiment pendant 15 mois avec un treuil manuel comme seul moyen de mouillage;
- par des pannes répétées du radar Decca 101 et dont le remplacement a été décidé pour la fin de l'année 1980;
- par une faiblesse chronique au niveau de la ligne d'arbre, peut-être due à des vibrations excessives entraînant jeu et délignage.

Malgré sa fiabilité incertaine, l'actuel *Corail* devrait pouvoir encore plusieurs années participer efficacement au levé des côtes calédoniennes.

#### 1.4.3.6. Conclusion

Entre 1978 et 1980, la M.O.P. a disposé d'un groupe de trois bâtiments très différents les uns des autres mais qui se complétaient fort bien et dont l'ensemble était très bien adapté aux tâches qui furent celles de la Mission pendant cette période. Cette situation favorable peut naturellement se modifier si le programme d'activité devait radicalement évoluer et si la fiabilité de ces navires devait diminuer plus rapidement qu'il n'est raisonnablement permis d'espérer aujourd'hui.

#### 1.4.4. Les locaux à terre

A Nouméa, la M.O.P. dispose d'un certain nombre de locaux — bureaux, salles de dessin, ateliers et magasins — qui sont disséminés à travers la Base Maritime de la pointe Chaleix. Aucune logique n'a historiquement présidé à l'établissement de cette infrastructure, les locaux ayant été affectés au cours des années passées au coup par coup selon les disponibilités et les besoins exprimés.

Cette situation présente des inconvénients sérieux sinon essentiels mais le problème est devenu





Les installations de la Marine Nationale à Nouméa.

plus sensible à partir de 1978 quand on a pu constater l'insuffisance de la surface globale disponible pour le travail de rédaction. Des solutions à caractère plus ou moins provisoire ont été successivement dégagées mais il a été admis qu'un règlement d'ensemble de ce problème devrait intervenir rapidement. C'est ainsi que le principe de la construction d'un bâtiment neuf réservé à la M.O.P. où seraient rassemblés tous ses locaux de travail <sup>(18)</sup> a été retenu et sa mise en service devrait intervenir à moyen terme. Cette action sera engagée dans un contexte plus général de restructuration immobilière de la Base Chaleix.

En attendant, la Mission a disposé des mêmes locaux que ceux décrits dans le rapport de l'ICA Bonnot <sup>(19)</sup> auxquels il faut ajouter une salle de dessin secondaire qui a été installée successivement dans trois locaux différents au cours des deux dernières années.

D'autre part, le redéploiement des activités de la M.O.P. vers la Polynésie s'est accompagné de la naissance d'un besoin sensible de disposer en permanence à Papeete d'un petit local pour y stocker du matériel. Une décision dans ce sens a été prise mais n'avait pas encore été concrétisée au début de 1980.

#### 1.4.5. Les moyens de transport

La dispersion des chantiers de la Mission répartis sur l'ensemble du Pacifique et les difficultés naturelles de pénétration qui ont été déjà relevées posent des problèmes difficiles de transports, qu'il s'agisse du personnel ou du matériel. Les moyens logistiques dont disposait la Mission, en propre ou à titre de concours permanent ou occasionnel, sont répertoriés ainsi :

<sup>(18)</sup> En ce qui concerne les magasins pour stockage du gros matériel, un local neuf de 150 m<sup>2</sup> sera réservé à la M.O.P. dans un ensemble, à construire en 1980, où seront regroupés tous les parcs à matériel de la Marine à Nouméa.

<sup>(19)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 - 10 mai 1978) - *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 - 1980, n° 755.



Les magasins de la MOP à la pointe Chaleix.

#### 1.4.5.1. Navires

En plus de ses propres bâtiments, la M.O.P. a fréquemment disposé des bâtiments de la Marine Nationale, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie, pour effectuer des transports divers entre les ports de base et les chantiers.

Certains transits de bâtiments de la Marine Nationale entre Nouméa et Papeete ou inversement ont été utilisés, notamment ceux des avisos-escorteurs. Leur relative rareté et leur durée ont fait cependant qu'ils n'ont constitué qu'une solution d'appoint, par rapport aux moyens aériens, notamment pour les déplacements du personnel.

Certains matériels lourds ont été normalement acheminés par la voie maritime commerciale dont les capacités et la rapidité sont désormais bien améliorées avec les rotations de porte-conteneurs.

#### 1.4.5.2. Batellerie

La M.O.P. possède en propre <sup>(20)</sup> une drôme bien adaptée à ses besoins logistiques autant que techniques. Cette drôme a été enfin officiellement reconnue en 1978. Elle comporte :

— 4 plates métalliques en alliage léger (corallines) de 4,37 m, fabriquées en Australie (marque Quintrex) et achetées dans le commerce local de Nouméa. Les qualités — solidité, facilité d'usage en milieu corallien et d'entretien, tenue à la mer, faible coût d'achat et de fonctionnement — de ces embarcations qui ont été maintes fois soulignées doivent ici être entièrement confirmées. C'est pourquoi la politique d'approvisionnement de ces corallines a été poursuivie et développée aussi

<sup>(20)</sup> Les bâtiments de la Mission possèdent une drôme dont la composition a été revue et qui est, qualitativement et quantitativement, bien adaptée aux besoins, grâce notamment à l'approvisionnement des nouvelles vedettes hydrographiques (*L'Estafette* en fin 1980 seulement) et de plates en aluminium (« corallines »).



Transport de matériel par coralline.



Coralline sur un plattier sub-affleurant.

bien pour la batellerie propre de la M.O.P. que pour la drôme de ses bâtiments;

- 3 embarcations pneumatiques, qui demeurent préférables aux corallines dans certaines circonstances du fait de leur légèreté et dont la fragilité aux contacts du corail est maintenant réduite grâce aux nouvelles quilles en matière plastique;
- 15 propulseurs de 20 ou 25 ch, dont la fiabilité a été bonne au prix d'un entretien attentif de la part de l'atelier de mécanique de la Mission. Les pièces de rechange étaient fournies sans difficulté majeure par la Direction des Constructions et Armes Navales de Papeete;

- la pinasse de 11 mètres, décrite en détail dans les rapports des Directeurs de Mission précédents<sup>(21)</sup> qui en ont souligné les possibilités d'emploi d'hydrographique, a été condamnée en 1980 après que de multiples avaries (coque, ligne d'arbre etc.) aient été recensées au cours des deux dernières années. Pendant cette période, cette embarcation a néanmoins rendu de bons services en rade de Nouméa pour les besoins de la formation du personnel et de la mise au point du matériel.

Cette drôme était utilisée pour certaines opérations hydrographiques et surtout pour les transports de personnel et de matériel soit par des équipes isolées, soit par les bâtiments à bord desquels les embarcations étaient alors embarquées provisoirement au titre de drôme de complément.

(<sup>21</sup>) Voir :

- Rapport de mission de l'ICA Boulard (10 mai 1974-10 mai 1976) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1 1-1980, n° 754.

- Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

La Mission a bénéficié en outre épisodiquement des services d'embarcations de la Marine en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie.

#### 1.4.5.3. Véhicules

En 1980, la M.O.P. disposait des 6 véhicules suivants :

- deux Land Rover type 88, moteur diesel;
- deux camionnettes Peugeot type 404, moteur diesel;
- deux camions Saviem, type TP3, moteur à essence.

Le Directeur de la Mission disposait en outre d'une voiture de liaison Peugeot, type 204, moteur à essence, fournie par l'Unité Marine de Nouméa.

Ces véhicules, en bon état général, constituent un ensemble bien adapté aux besoins présents de la Mission.

Des concours extérieurs, principalement de la Marine et du Centre d'Expérimentations du Pacifique, ont été fréquemment fournis à la M.O.P., notamment dès qu'il lui devenait difficile ou impossible d'acheminer ses propres véhicules sur le chantier. Ce fut le cas pour tous les levés entrepris dans les îles polynésiennes.

#### 1.4.5.4. Moyens aériens

L'extension géographique des levés a amené la M.O.P. à utiliser fréquemment les moyens aériens, de toutes sortes, pour ses transports. Les aéronefs de l'Aéronavale et du Centre d'Expérimentations du Pacifique ont été utilisés en priorité, pour les besoins en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie et pour ceux des transports entre ces deux Territoires.

L'extrême rareté des liaisons logistiques entre Nouméa et Papeete a néanmoins obligé à recourir souvent aux liaisons de la voie aérienne commerciale (U.T.A.). C'est ainsi que près d'une centaine de passages individuels Nouméa-Papeete ou Papeete-Nouméa ont été utilisés de fin 1978 au début 1980 pour les besoins de la Mission sans compter plusieurs transports de fret aérien.

L'hélicoptère a été un peu utilisé en Nouvelle-Calédonie (Alouettes de la Gendarmerie Nationale, Pumas de l'Armée de l'Air), beaucoup plus sur les sites du C.E.P.

#### 1.4.5. Combustibles

Les combustibles nécessaires aux véhicules, embarcations et moteurs de la Mission (essence et gazole) ont été fournis par la Marine en Nouvelle-Calédonie ou par le Centre d'Expérimentations du Pacifique. On s'est efforcé de respecter les prescriptions d'économie, en limitant les déplacements et en employant de préférence les engins alimentés en gazole (vedettes hydrographiques, véhicules à moteur diesel). Aucune limitation opérationnelle, du fait d'une insuffisance d'allocation en combustible, ne doit être signalée.

### 1.4.6. Le matériel

#### 1.4.6.1. Généralités

D'une manière générale, la M.O.P. est dotée d'un ensemble de matériel très convenable, que l'on se place sur le plan de la quantité en regard de la dispersion des chantiers activés simultanément ou sur celui de la qualité et des performances.

La dotation est satisfaisante, la gestion l'est également qu'il s'agisse du matériel « Marine Nationale » ou du matériel « SHOM »<sup>(22)</sup>. Les difficultés classiquement rencontrées dans les Missions d'Outre-Mer pour renouveler le matériel ont été très atténuées à la M.O.P. par suite :

- de l'amélioration des moyens de transports avec la Métropole liée à des procédures administratives souples et efficaces<sup>(23)</sup>. C'est ainsi que l'autorisation a toujours été donnée d'acquérir localement du matériel ce qui réduit les coûts et diminue fortement les délais;
- du développement économique des Territoires de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie où il est désormais plus facile de trouver des techniciens compétents et des pièces de rechange;

<sup>(22)</sup> Matériel administré et géré par l'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (EPSHOM).

<sup>(23)</sup> Les difficultés signalées plus haut pour ce qui concerne les pièces de rechange des bâtiments montrent que cette deuxième condition est nécessaire.

— du soutien attentif qui a toujours été apporté à la Mission par les échelons métropolitains du SHOM.

L'entretien du matériel, souvent sophistiqué et de fiabilité inégale, n'a pas posé de graves problèmes grâce au personnel de la Mission, suffisant en nombre et le plus souvent compétent, et aux concours extérieurs qui ont été reçus.

La part de matériel de la Mission qui était embarquée à bord des bâtiments était bien suivie, dans le cadre de l'organisation déjà exposée, qui bénéficie de la présence d'équipes permanentes.

La période relatée a vu le développement du laboratoire électronique de la Mission à Nouméa qui a dû faire face à l'accroissement constant, en nombre et en variété, du matériel électronique. L'affectation officielle d'un Maître Radio breveté supérieur est un gage de stabilité à cet égard. Les locaux de ce laboratoire ont été agrandis tandis que sa dotation en matériel de mesures était améliorée.

Des efforts particuliers ont été faits pour accroître les performances du matériel sur le terrain :

- formation du personnel utilisateur aux opérations de maintenance primaire;
- embarquements prolongés du personnel spécialiste pour « suivre » les matériels nouveaux;
- organisation de séances d'essais et d'évaluations à la mer ainsi que d'étalonnages des instruments de mesure.

#### 1.4.6.2. Le matériel de terrain

Le matériel spécifique de levé sera décrit au chapitre suivant, qui est consacré aux méthodes et techniques hydrographiques. Il concerne les opérations géodésiques, la localisation à la mer, les sondages et l'obtention des autres données hydro-océanographiques.

Le matériel de transmissions dont disposait la M.O.P. pour ses travaux de levé et pour ses liaisons logistiques internes (communications inter bâtiments et embarcations, contrôle des équipes à terre etc.) a été convenable. Les ensembles TRMM 3 A (HF) ont d'excellentes performances mais le temps de leur installation à terre n'est pas négligeable. Les appareils UHF de campagne, réellement portatifs, que sont les émetteurs-récepteurs TRPP 13 et TRPP 11 sont fiables, de bonnes performances, mais leur emploi est trop souvent pénalisé par la fragilité des combinés et les éternels problèmes de piles. Ces dernières sont souvent périmées dès leur approvisionnement Outre-Mer. En quantité, le matériel de transmissions de la M.O.P. était suffisant.

Les travaux à terre (géodésie, mise en place et occupation des stations de guidage et des stations radioélectriques, installations d'observatoires, etc.) nécessitaient naturellement un abondant matériel de campagne dont la Mission était bien



Entretien à terre d'un émetteur Toran.



Magasin de la M.O.P. à Nouméa.

dotée : baraques, tentes, matériel de camping, instruments de défrichage, vêtements spéciaux, bois, matières diverses consommables, groupes chargeurs de batteries, batteries etc. Les seuls problèmes sérieux rencontrés sont relatifs à ces groupes électrogènes qui sont utilisés dans des conditions difficiles et dont l'usure est rapide. Un effectif important fréquemment renouvelé est nécessaire, de même qu'un entretien soigné et permanent.

Le matériel d'accastillage (bouées, drisses, etc.) pour, notamment, la confection de dispositifs de courantométrie fut le plus souvent approvisionné depuis la métropole car il était plus difficile et surtout plus onéreux de se le procurer localement.

#### 1.4.6.3. Le matériel d'exploitation des données

Le matériel de bureau proprement dit était reçu dans sa plus grande partie de la métropole, en quantité très suffisante. Les quelques difficultés rencontrées concernent les procédés de reproduction des documents graphiques transparents (machines à reproduire, d'entretien délicat) et l'approvisionnement des rouleaux de feuilles de matière plastique supports de dessin.

Les instruments de salle de dessin nécessaires aux calculs et à l'élaboration des documents graphiques (calculatrices de bureau, appareils d'examen et de restitution des photographies aériennes, visionneuse de films de courantographes, pantographes etc.) étaient classiques et méritent peu de commentaires. Les calculatrices étaient des HP 67 <sup>(24)</sup> et correspondaient bien aux

besoins. Le stéréorestituteur Stéréoflex qui avait été reçu en 1976 fut assez peu utilisé (voir § 11.3.5.3.). Si l'on a été peu gêné par l'absence à la Mission de traceur automatique <sup>(25)</sup>, on a souvent regretté de ne pas disposer d'un appareil de reproduction de documents graphiques avec possibilité de changement d'échelle.

## 1.5. CONCLUSION

Après six ans d'existence <sup>(26)</sup>, la Mission Océanographique du Pacifique est une Mission bien rodée. Son intégration dans le contexte des Territoires Français du Pacifique et plus précisément dans le cadre militaire et maritime local est réalisée. La stabilité des moyens dont elle dispose et la bonne adéquation de ces moyens aux tâches qui sont les siennes actuellement sont des gages d'efficacité. Les difficultés résident principalement dans le domaine logistique du fait de l'éloignement et des dimensions de la zone d'action, encore que le développement des moyens modernes de transports rende dorénavant moins aigu ce problème. Une difficulté rencontrée plus récemment se situe sur le plan de l'organisation des opérations de levé face à la multiplication des tâches hydrographiques et surtout à leur diversification géographique et technique. L'amélioration de l'instrumentation scientifique ne pourra constituer qu'une solution partielle à ce problème potentiel.

<sup>(24)</sup> Hewlett-Packard.

<sup>(25)</sup> Les travaux relatifs à ce genre de matériel furent tous réalisés à l'EPSHOM de Brest dans des délais raisonnables.

<sup>(26)</sup> Sans compter les 15 années environ d'expérience de la M.H.N.C. et de la M.H.P.F.

## DEUXIÈME PARTIE

### LES PRINCIPALES MÉTHODES ET TECHNIQUES HYDROGRAPHIQUES EMPLOYÉES À LA MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE ENTRE 1978 ET 1980

#### II.1. GÉNÉRALITES

Entre 1978 et 1980, la Mission Océanographique du Pacifique eut des activités quasi-exclusivement orientées vers les levés hydrographiques où la bathymétrie et la détection des obstructions sous-marines avaient la plus grande part. Les travaux furent néanmoins variés sur le plan technique. En effet, les « échelles de levé » furent diverses allant de celles de site portuaire à celles de sondage de reconnaissance au large. D'autre part, les conditions bathymétriques furent très variables d'un chantier à l'autre.

Dans cette seconde partie du rapport, on apporte quelques commentaires sur les méthodes et techniques hydrographiques utilisées lors des opérations de levé ou pour exploiter les données recueillies. On insiste surtout sur celles qui, quoique classiques, présentent une certaine originalité du fait des conditions spécifiques rencontrées.

Il a paru utile de dresser auparavant un panorama sommaire de l'état d'avancement de l'hydrographie moderne préexistant dans les régions concernées ainsi que des autres données — géodésiques, topographiques, géophysiques, géologiques, etc. — qui étaient disponibles et sur lesquelles s'appuient les nouveaux levés. Cet état a en effet contribué à orienter les méthodes employées.

#### II.2. LA SITUATION DES LEVÉS ANTÉRIEURS, LES DONNÉES DISPONIBLES ET LES MÉTHODES GÉNÉRALES UTILISÉES

##### II.2.1. Bilan des travaux hydrographiques antérieurs et politique hydrographique

En Nouvelle-Calédonie, la création en 1960 de la Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (M.H.N.C.) marque le véritable début de l'hydrographie dans ce pays, les travaux antérieurs devant être considérés comme entièrement à reprendre. Depuis cette création, on a effectué

simultanément des levés parcellaires destinés à répondre à des besoins ponctuels <sup>(1)</sup> et des levés plus étendus correspondant au début de l'hydrographie générale des parties navigables du lagon calédonien. Le début des années 70 a vu davantage planifiée cette hydrographie systématique du lagon avec notamment l'établissement d'un plan d'ensemble cartographique.

A partir de 1978, le programme de la M.O.P. fut axé sur la poursuite de l'hydrographie régulière des zones de petits et moyens fonds entourant la Grande-Terre dans les parties suivantes :

- au Sud-Est, entre la Grande-Terre et l'île des Pins;
- dans le lagon de la côte Est, à partir de Thio en direction du Sud <sup>(2)</sup>;
- dans le lagon de la côte Ouest, au Sud de Paagoumène en direction de Koumac et de Gomen.

En ce qui concerne les méthodes hydrographiques et donc les techniques à employer pour réaliser ce programme, il pouvait sembler que la simple reprise des méthodes antérieures serait suffisante. Ces méthodes furent en fait remaniées pour tenir compte des éléments suivants :

- On a considéré que l'inégalité d'intérêt nautique des zones à hydrographier, par ailleurs excessivement étendues (surtout pour la première citée), nécessitait de distinguer celles où l'hydrographie devait être particulièrement poussée, celles où l'hydrographie pouvait rester « classique » et celles où l'on pouvait se contenter d'une reconnaissance incomplète, voire expéditive des fonds. On reviendra plus en détail sur cette distinction qui paraît fondamentale.
- Les besoins accrus de la navigation dans le lagon <sup>(3)</sup> demandaient un effort particulier pour améliorer la qualité hydrographique c'est à dire ici la probabilité de la détection exhaustive de tous les dangers coralliens. Le développement de certaines techniques comme celles du sondage laté-

<sup>(1)</sup> Notamment la vérification des accès aux points de chargement du minerai de nickel.

<sup>(2)</sup> Ceci correspond à la reprise d'un levé arrêté en 1968.

<sup>(3)</sup> Accroissement de la fréquentation de navires à grand tirant d'eau comme des pétroliers de moyen tonnage et des paquebots.

ral permettait d'atteindre ce résultat, plus de temps étant consacré aux « travaux de complément ».

— La finalité cartographique, dont l'appréhension était facilitée par la connaissance d'un plan rationnel de cartographie marine, a été considérée comme essentielle dans le choix des normes de précision.

Pour la Polynésie Française, nous ne donnerons de bilan hydrographique que pour les zones de Tahiti, de Raiatea/Tahaa et Mururoa. En ce qui concerne ce dernier site, on se reportera au rapport particulier rédigé sur ce sujet.

A Tahiti, l'hydrographie de l'étréot lagon qui entoure plus ou moins complètement l'île avait été achevée. Depuis quelques années, la M.O.P. exécutait à l'occasion<sup>(4)</sup> les sondages par grands fonds permettant d'acquérir la connaissance bathymétrique des zones extérieures au récif et couvertes par la chaîne de cartes à l'échelle de 1/25 000 du plan de cartographie de l'île. En 1979, la M.O.P. a poursuivi ce travail selon les mêmes normes sinon les mêmes procédés. Le développement économique de la région de Papeete a conduit à reprendre à très grande échelle le levé hydrographique de certaines portions de zones portuaires et lagonaires qui n'avaient été levées antérieurement que d'une manière beaucoup moins dense.

Les travaux à Raiatea et Tahaa effectués en 1980 consistaient en une vérification et une relocalisation du balisage. Les levés antérieurs<sup>(5)</sup> n'ont pas été repris sauf sur certains points de topographie.

## II.2.2. Les données disponibles

### *En géodésie et topographie terrestre*

La M.O.P. bénéficie dorénavant pleinement des travaux récents et très complets entrepris pour améliorer l'infrastructure géodésique et topographique des Territoires Français du Pacifique, notamment par l'Institut Géographique National.

En Nouvelle-Calédonie, si la cartographie terrestre à grande échelle n'a pas encore été renouvelée et date d'une vingtaine d'années, le Territoire est entièrement couvert par un réseau géodésique dense, y compris sur les côtes ce qui est important pour les travaux de la Mission. On dispose également d'une couverture photographique aérienne à moyenne échelle récente mais qui ne s'étend pas malheureusement au lagon. Seule exception, la zone comprise entre la Grande-Terre et l'Île des Pins, l'I.G.N. y ayant effectué une couverture particulière à l'échelle de 1/20 000 pour les besoins

<sup>(4)</sup> A l'occasion de la présence en Polynésie d'un bâtiment pour carénage.

<sup>(5)</sup> ICA Boulard — 1970.

du SHOM (1976). Certains autres renseignements d'ordre topographique ou cartographique (plans) sont disponibles d'autant plus facilement qu'une structure de concertation a été récemment créée à Nouméa à l'initiative du Service Topographique local et à laquelle la M.O.P. participe. Malheureusement les documents offerts sont le plus souvent à des échelles très supérieures à celles auxquelles s'intéresse la Mission.

A Tahiti, les progrès ont été encore plus récents et ont nécessité au départ la reprise de la géodésie fondamentale par les soins de l'I.G.N. (1979) dont les calculs sont en cours mais dont on a pu avoir les premiers résultats. La M.O.P. a également pu se procurer récemment (1980) les résultats de déterminations géodésiques de complément dans la zone de Papeete ce qui lui a été précieux pour ses travaux à grande échelle dans cette partie de l'île. Les cartes terrestres à grande échelle de la ville de Papeete et de ses environs ont été rééditées (1979).

Aucune donnée nouvelle n'existait à Raiatea et Tahaa où les travaux de la M.O.P. en 1980 ont dû être basés sur ce qui restait de l'infrastructure mise en place en 1970 par la M.H.P.F.

### *En géophysique, géologie et océanographie*

La M.O.P. se tenait en relation relativement étroite avec les organismes scientifiques français installés dans le Pacifique et notamment avec l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (O.R.S.T.O.M.) à Nouméa et à Papeete.

Malgré ce contexte scientifique développé et intéressant, assez peu de données ont pu être récoltées. La raison principale est que ces organismes avaient alors une politique de recherche plutôt orientée vers le large que vers les zones littorales.

Dans la pratique, on a pu utiliser :

- les résultats de déterminations sédimentologiques dans la partie Sud-Est du lagon calédonien;
- diverses études géophysiques et bathymorphologiques dans la même région;
- pour consultation, des photographies de télédétection Landsat couvrant la Nouvelle-Calédonie et ses récifs du large;
- les services du laboratoire de Pamatai (Tahiti) pour effectuer l'étalonnage des théodolites Wild T0 de mesure de la déclinaison magnétique<sup>(6)</sup>.

En fait, la quasi totalité des données antérieures disponibles sont celles fournies par les précédents travaux des Missions Hydrographiques.

<sup>(6)</sup> Poursuivant ainsi une collaboration ébauchée depuis de nombreuses années.

## II.3. MÉTHODES ET TECHNIQUES DE LEVÉ

### II.3.1. Géodésie

La plupart des travaux hydrographiques effectués par la M.O.P. entre 1978 et 1980 se sont déroulés dans des zones prééquipées du point de vue géodésique, soit par l'I.G.N., soit par les Missions Hydrographiques antérieures. Seule, une opération de géodésie proprement dite fut réalisée; elle concerne le rattachement de l'île des Pins à la Grande-Terre de Nouvelle-Calédonie (62 km). Elle est relatée au paragraphe II.2.2. de la troisième partie de ce rapport.

En général ne furent effectuées que des mesures de rattachement à moyenne ou courte distance pour déterminer les positions de stations de guidage optique, d'émetteurs de localisation radioélectrique, d'amers et de marques de balisage ou de points de référence topographique nécessaires à la restitution des photographies aériennes. La finalité de la détermination fut évidemment à chaque fois examinée avec attention pour fixer la précision recherchée et donc la technique et l'instrumentation à utiliser. La seule difficulté rencontrée provient en fait du grand nombre de bornes et repères antérieurs, pas toujours très anciens, et qui ne purent être retrouvés. Cet état de fait provient moins d'une insuffisance de bornage que des déprédations humaines, surtout en Nouvelle-Calédonie.

Ces rattachements furent effectués le plus souvent par mesures angulaires au théodolite Wild T2, plus rarement Wild T3. Le telluromètre MRA3 ou MRA5 (reçu en 1980) fut assez peu utilisé. Un géodimètre Aga 14 fut reçu en 1980 et tout de suite essayé puis employé à la détermination de points de référence topographique pour lesquels la précision recherchée est moindre. Les caractéristiques de cet instrument — portée de quelques kilomètres, précision de quelques décimètres, légèreté, facilité d'emploi — en font un appareil précieux, particulièrement bien adapté aux besoins de la M.O.P.

Les méthodes d'emploi des instruments précités furent très classiques. Les mesures étaient effectuées quasi-exclusivement de jour. Pour les raisons déjà évoquées, le bornage fut très systématique, même concernant des points secondaires et l'on n'hésita pas à disposer des repères secondaires dont la relative discrétion est un gage de durabilité. Les distances de rattachement étant généralement peu grandes, on érigea des signaux simples et rapidement montés. Quelques tours d'observation plus importantes furent néanmoins parfois nécessaires pour se dégager d'une végétation abondante.

Les calculs, effectués à l'aide de calculatrices programmables HP 65 et HP 67, furent menés en

projection MTU, ellipsoïde international, dans le système géodésique le plus récent. En Nouvelle-Calédonie, il s'agit du système « IGN 72 ». A Tahiti, les derniers travaux de géodésie fondamentale et complémentaire entrepris par l'I.G.N. et qui ont déjà été signalés n'avaient pas encore débouché sur un système géodésique rénové.

Enfin nous pouvons signaler dans ce paragraphe l'emploi du récepteur de localisation par satellites Transit JMR IV, reçu à la Mission au mois de décembre 1979. A titre d'évaluation et d'essais, trois rattachements géodésiques furent effectués à terre (Nouméa) ou au mouillage (Papeete et Mururoa) qui contribueront à la détermination des écarts entre le système géodésique mondial WGS 72 et les systèmes locaux. On a surtout tiré de ces mesures une évaluation des performances au point fixe de ce nouveau matériel dans sa configuration logicielle du moment.

### II.3.2. Localisation à la mer

#### II.3.2.1. Généralités

Les méthodes et les matériels employés pour la localisation des bâtiments et des embarcations en levé furent nombreuses et diverses. Le choix fut effectué en fonction des disponibilités mais aussi des problèmes d'infrastructures que pouvait poser la mise en œuvre de tel ou tel équipement. C'est ainsi que la chaîne Toran, principal système radioélectrique mobile dont disposait la M.O.P., ne fut mise en place que lorsque l'importance du chantier ou les contingences techniques — la portée principalement — l'exigeaient.

Une des principales caractéristiques de la période est donc l'emploi soutenu des méthodes traditionnelles de localisation optique (guidage au théodolite, cercle hydrographique, cordelle) concurremment au développement des systèmes radioélectriques (Toran, Trident, JMR, Oméga).

Des systèmes mixtes (Toran ou Trident plus localisation optique) furent également utilisés.

#### II.3.2.2. Les procédés optiques de localisation à la mer

Ce sont des procédés très classiques dont l'emploi à la M.O.P. ne demande guère de commentaires.

Le guidage optique (« radioguidage ») où le bâtiment est relevé par trois (exceptionnellement deux) théodolites, la synchronisation des mesures de relèvements étant assurée par radio, n'a posé que les problèmes courants dus au fonctionnement des postes radios et aux limitations de portée du fait de la distance et de la visibilité. L'emploi de projecteurs braqués sur le poste de guidage s'est révélé souvent très efficace. Rappelons que le danger de la navigation dans les

eaux coralliennes interdit pratiquement tout travail de nuit.

Le vieux procédé de « la cordelle » a été fréquemment utilisé pour les nombreux levés de contrôle effectués à l'aplomb et aux abords de quais. La distance de l'embarcation au quai était déterminée avec la cordelle, mais le guidage en était effectué, soit par alignement, soit à l'aide d'un théodolite. Dans ce dernier cas, il s'agissait plutôt d'une méthode mixte « cordelle/radioguidage ».

Le relevé, depuis l'embarcation, d'un segment à l'aide d'un cercle hydrographique a été quelquefois utilisé pour disposer d'un lieu géométrique complémentaire en guise de vérification.

Dans le cas de l'emploi de méthodes mixtes de localisation (radiolocalisation/optique), le lieu optique était fréquemment relevé par une équipe de gardiennage du dispositif radioélectrique. Cette méthode facilite d'ailleurs le contrôle de la radiolocalisation (étalonnage, calage de phase éventuel).

### 11.3.2.3. Les procédés radioélectriques de localisation à la mer

La M.O.P. disposait principalement d'une chaîne Toran P 10 avec une dotation suffisante pour installer un système à trois lieux, soit deux couples groupés en « mode X » et un couple indépendant « Z ». L'octroi de 5 puis 6 récepteurs a permis d'équiper sans difficulté les bâtiments et embarcations et même d'avoir un volant de rechange, ce qui est précieux pour assurer la maintenance et le contrôle de fonctionnement. La dotation en pièces de rechange fut augmentée à partir de 1978 et devint très satisfaisante.

Le problème essentiel pour l'emploi d'une chaîne Toran sur les chantiers du Pacifique, avant même celui de sa fiabilité ou de ses performances, réside dans les contraintes de gardiennage des stations. Ce gardiennage est obligatoire pour des questions techniques (alimentation électrique, maintenance primaire) et pour assurer la sécurité du matériel qu'il ne peut être question de laisser longtemps isolé. L'utilisation d'une chaîne à trois lieux impose théoriquement sept équipes de gardiennage, soit au minimum quatorze personnes, ce qui est le plus souvent rédhibitoire. On a donc pensé regrouper les émetteurs en trois ensembles dont chacun, par exemple, « tenait » sur un îlot de quelques centaines de mètres de diamètre. Cette disposition en triangle limite à six le nombre de personnes nécessaires à la surveillance d'une chaîne à trois lieux. Elle est risquée sur le plan radioélectrique mais elle s'est révélée possible à l'usage. Elle a de plus offert l'avantage de limiter les conséquences des défaillances des groupes électrogènes de charge des batteries, les échanges de groupes devenant possibles à l'intérieur d'un même ensemble d'émetteurs.



Emetteur Toran sur un îlot du lagon calédonien.

La fiabilité de fonctionnement du matériel Toran P 10 a été inégale, les incidents survenant le plus souvent au niveau des alimentations électriques. Le réglage (fréquences, niveaux de réception etc.) s'est toujours révélé délicat. La stabilité des réseaux, contrôlée le plus fréquemment possible par étalonnage d'ensemble ou étalonnages partiels, a été convenable. De toute manière, les interventions ont été nombreuses ce qui a toujours posé de difficiles problèmes logistiques du fait des difficultés de transport et en l'absence d'hélicoptère de soutien.

La livraison en 1979 d'enregistreurs analogiques (7) a considérablement réduit les problèmes de calage de phase, cruciaux jusque là surtout à cause des défaillances courtes mais fréquentes des réseaux.

Les cartes Toran nécessaires à l'exécution et à la rédaction des levés furent fournies avec diligence par l'EPSHOM, les délais s'élevant néanmoins à plusieurs semaines.

Le panorama qui vient d'être dressé de l'emploi du Toran par la M.O.P. et des problèmes — classi-

(7) Jusqu'à cette date, la M.O.P. ne disposait que d'enregistreurs numériques.





Entretien d'un émetteur Toran.

ques mais amplifiés par l'environnement particulier des chantiers hydrographiques actuels dans le Pacifique — qu'il pose, confirme s'il en est besoin qu'il est raisonnable de ne décider de l'installation d'une chaîne Toran que lorsque les dimensions du levé la justifient. Corollairement, les préoccupations d'emploi optimal des moyens imposent de regrouper sur un même levé le maximum de moyens nautiques dès que la chaîne Toran y a été installée.

La M.O.P. a été provisoirement dotée, d'octobre 1979 à avril 1980, d'un embryon de système de radiolocalisation circulaire Trident 3, à savoir un interrogateur et trois balises. Des pannes d'alimentation sur les balises ont rapidement réduit le lot de ces balises à deux puis une. Il a été néanmoins suffisant pour rendre de grands services, le système étant successivement employé à Mururoa, Nouméa, Thio et Mururoa. Il est inutile d'insister sur les avantages de ce matériel, qui n'a pratiquement aucun des inconvénients signalés ci-dessus pour le Toran, tout en ayant des performances similaires en portée (avec les reliefs rencontrés) et supérieures en précision. Il faut remarquer que la mauvaise fiabilité des balises ne semble pas avoir eu pour cause une utilisation

— qui était nouvelle — dans un climat de saison chaude tropicale. C'est sur le *Corail* que l'interrogateur avait été installé pour l'utilisation du Trident en Nouvelle-Calédonie. Il faut signaler l'apparition d'interférences avec le sondeur Atlas, qui n'ont pas été réellement gênantes mais qu'il n'a pas été possible de faire disparaître.

Le BH1 *L'Estafette* a été équipé en février 1980 d'un récepteur de localisation par satellites Transit du type JMR 4. On a signalé ci-dessus les mesures au point fixe qu'il avait été possible d'exécuter. A la mer, le matériel a été mis en fonction pendant les périodes de navigation du bâtiment de mars à avril 1980, apparemment avec succès. A la fin de la période couverte par ce rapport, une véritable évaluation de ses performances en mode « navigation » n'avait cependant pas pu être établie.

Le BH1 *L'Estafette* est également équipé d'un récepteur Oméga qui n'a été réellement utilisé que lors des transits du bâtiment entre Nouméa et Papeete et vice-versa. Les performances de ce système de radionavigation sont encore médiocres dans le Pacifique Sud du fait de la couverture insuffisante des émetteurs. Il a cependant constitué une aide certaine à la navigation à défaut d'un véritable outil de levé. Certains déboires relevés à bord de bâtiments de la Marine Nationale dans le Pacifique, en comparaison avec l'expérience de *L'Estafette* ont prouvé une nouvelle fois que la bonne utilisation de l'Oméga passe par une surveillance continue, effectuée par du personnel averti, et par un « autoétalonnage local » en réalisant toutes les fois que cela est possible des enregistrements de référence à quai ou au mouillage.

### II.3.3. Observations de la marée, nivellement

#### II.3.3.1. Observations et mesures

Pour ses besoins propres d'observation de la marée, c'est-à-dire ceux qui sont liés aux travaux de levé qui lui sont prescrits, la M.O.P. met en place, entretient et contrôle un certain nombre d'observatoires de la marée qui sont installés sur les chantiers à titre semi-permanent ou provisoire. D'autre part, le SHOM gère trois observatoires permanents dans le Pacifique dont la M.O.P. a la responsabilité plus ou moins complète selon sa présence sur les sites concernés : Nouméa, Matavai (Tahiti) et Mururoa. On trouvera en troisième partie de ce rapport la description de chacun de ces observatoires <sup>(8)</sup>.

Les observatoires semi-permanents <sup>(9)</sup> ou provisoires ne concernent que la Nouvelle-Calédonie. Certains d'entre eux n'ont pas posé de problèmes

<sup>(8)</sup> Celui de Mururoa est décrit dans un rapport séparé.

<sup>(9)</sup> Par observatoire « semi-permanent », on comprend un observatoire laissé en place plusieurs mois, voire quelques années mais toujours pour les seuls besoins des levés.

d'installation particuliers, si l'on disposait d'un quai ou d'un wharf. Pour ceux qu'il a fallu ériger sur une côte non aménagée et notamment sur les îlots du lagon, on a repris la technique mise au point par l'ICA Bonnot et décrite dans son rapport<sup>(10)</sup>, qui consiste à utiliser une structure en « tubes Entrepose ». La facilité de mise en place et la résistance aux effets de la mer sont tout à fait confirmés.

A proximité de chaque observatoire, plusieurs repères de nivellement ont été mis en place. Certains anciens observatoires (Nouméa, Thio, Papeete etc.) ont été équipés de repères complémentaires. Autant que cela était possible, le rattachement en altitude avec les réseaux locaux de nivellement (Grande-Terre de Nouvelle-Calédonie, Tahiti) a été effectué ou complété. Toutes les opérations de nivellement furent effectuées à l'aide du niveau Wild N2.

Les marégraphes employés furent tous des marégraphes enregistreurs OTT R16 dont les qualités de robustesse sont bien connues. Quelques décalages accidentels en heure ou en hauteur sont à noter mais n'eurent pas de conséquences fâcheuses malgré le fait que les contrôles ne furent pas toujours aussi fréquents qu'il était souhaité du fait des difficultés d'accès de certains observatoires. A Nouméa, à proximité du marégraphe OTT R16 du SHOM, fonctionnait le marégraphe à enregistrement numérique Fischer and Porter qui avait été installé depuis 1975 pour le compte de l'Université d'Honolulu dans le cadre du Tsunami Warning System. Les bandes d'enregistrements étaient régulièrement adressées à Honolulu et examinées lors des alertes tsunamis. Ces alertes furent fréquentes mais aucun tsunami ne « marqua » les marégrammes de Nouméa pendant la période.

#### II.3.3.2. Utilisation des observations

Outre l'utilisation particulière des observations effectuées à Nouméa pour le compte du Tsunami Warning System, les enregistrements de marée furent utilisés directement puis envoyés à l'EPSHOM.

Localement, des concordances furent systématiquement effectuées entre les observations essentiellement pour définir les diverses « zones de marée » relatives à la réduction des sondages. Pour tous les levés effectués, le niveau de réduction des sondes avait été pré-établi et fourni d'après les levés adjacents antérieurs.

Dans le cas particulier du levé de la zone Grande-Terre — Ile des Pins, pour laquelle une étude de la marée et des courants fut entreprise,

l'analyse harmonique des observations réalisées en quatre points fut demandée à l'EPSHOM.

### II.3.4. Les sondages bathymétriques et la détection des obstructions sous-marines

#### II.3.4.1. Généralités

La détermination des profondeurs correspond à l'essentiel des travaux de la M.O.P., du moins dans la période actuelle. Cette activité, très classique pour une mission hydrographique, présente dans le Pacifique tropical Sud, par rapport à la Métropole tout au moins, certains aspects particuliers qui proviennent essentiellement de l'existence de structures coralliennes. La conduite de l'hydrographie dans ces zones, en l'entendant comme celle de la bathymétrie générale suivie de la détection exhaustive de toutes les obstructions sous-marines susceptibles d'être dangereuses pour la navigation<sup>(11)</sup>, a paru intéressante à analyser plus en détail au vu de l'expérience acquise par la M.O.P. au cours des dernières années. On se reportera ci-après à l'annexe technique n° 1 consacrée à ce sujet.

Pour l'instant, nous citerons seulement les principales méthodes et techniques employées pour effectuer les sondages par petits et moyens fonds, la recherche des obstructions et les sondages par grands fonds.

#### II.3.4.2. Les sondages par petits et moyens fonds

Les fonds concernés sont limités à 250 mètres environ. Il n'y a pas lieu de distinguer ici petits et moyens fonds car les techniques utilisées sont les mêmes et surtout, dans les zones de profondeurs moyennes supérieures à 50 mètres<sup>(12)</sup>, on rencontre de nombreux hauts-fonds remontant jusqu'en surface ou en sub-surface.

Les caractéristiques à fixer pour l'exécution du sondage linéaire initial, par profils régulièrement espacés, découlent des considérations développées dans l'annexe précitée. On peut rappeler les notions déjà citées d'« hydrographie totale » et d'« hydrographie incomplète » (§ II.2.1). Enfin, il paraît important de souligner que certaines notions classiques d'hydrographie, comme celle de la précision absolue de la détermination de la profondeur ou celle de l'« acquisition » de l'isobathe zéro, perdent dans ces eaux coralliennes une partie de leur importance face à celle de « probabilité de détection » des structures bathymorphologiques dangereuses.

Tous les sondages par petits et moyens fonds furent effectués à l'aide des sondeurs Atlas DESO

<sup>(10)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

<sup>(11)</sup> Il faudrait plutôt lire ici « les navigations ».

<sup>(12)</sup> Il s'agit essentiellement de la région de Nouvelle-Calédonie au Sud-Est de la Grande-Terre.

10 (bifréquences 30/210 kHz, portée maximale 280 mètres) qui équipent bâtiments et embarcations. Les vedettes hydrographiques et la pinasse de 11 mètres étaient dotées de bases in-bord fixes. Les autres embarcations (corallines, embarcations prêtées...) reçurent à l'occasion une base hors-bord. Les qualités de ce sondeur Atlas DESO 10 sont connues : stabilité de la base de temps, performances de détection, robustesse, facilité d'emploi et de lecture. Quelques incidents répétitifs sont à signaler au niveau du système de déroulement du papier enregistreur.

Pour tous ces sondages de lagon, les sondeurs furent réglés à la vitesse réelle du son dans l'eau qui varie, pour ces eaux tropicales, de 1 530 à 1 540 m/s. Les étalonnages à la barre, effectués régulièrement tant à bord des bâtiments que sur les embarcations jusqu'à une profondeur de 30 mètres environ, permirent l'ajustement de cette valeur et l'annulation de toute correction progressive ce qui fut admis par extrapolation pour les profondeurs supérieures. La présence de remontées brutales du fond fit que, pour éviter les « pertes accidentelles du fond », on n'utilisa pas en général les gammes à plus grande échelle, qui ne donnent d'ailleurs au dépouillement qu'une illusion de précision supplémentaire face aux autres causes d'erreur<sup>(13)</sup>.

#### II.3.4.3. La recherche des obstructions

On a dit qu'il s'agit là d'une partie essentielle des sondages bathymétriques dans les eaux coralliennes notamment. On se reportera aux annexes techniques 1 et 2 à ce rapport consacrées à « la conduite de l'hydrographie en milieu corallien » et à « l'emploi du sondeur latéral en milieu corallien ».

Disons simplement ici qu'un très gros effort en potentiel et en temps fut consenti pour tenter d'améliorer la sûreté de détection des hauts-fonds significatifs. De nombreuses méthodes furent utilisées souvent concurremment : sondages réguliers à haute densité de profils, recherches de roches conduites classiquement avec le sondeur vertical avec profils parallèles ou recherche en spirale, emploi du sondeur latéral, dragage hydrographique, investigation à vue par plongeurs, examen des photographies aériennes et des clichés de télédétection par satellite Landsat, recherche à vue depuis un hélicoptère. Certaines de ces méthodes ne permettent en fait qu'un recensement des dangers et une sélection de ceux qui sont significatifs en regard de la finalité du levé. La localisation exacte de l'obstruction, sa cotation et sa description furent toujours effectuées par les méthodes classiques au sondeur vertical accompagnées ou non de l'envoi de plongeurs.

On a parfois retrouvé dans ces circonstances

<sup>(13)</sup> Avec les conditions bathymétriques rencontrées.

les difficultés signalées par l'ICA Boulard<sup>(14)</sup> quant à l'existence d'échos parasites enregistrés à proximité des hauts-fonds et qui proviennent vraisemblablement de concentrations de poissons ou de formations végétales. Ce phénomène est amplifié par la mauvaise habitude souvent prise de « pousser » le gain du sondeur lors de l'exécution des recherches de hauts-fonds.

Le matériel particulier utilisé pour l'exécution de la phase « détection des hauts-fonds » fut principalement :

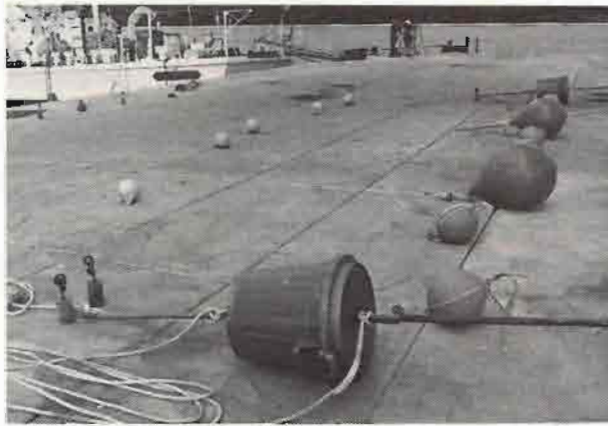
— Le sondeur latéral Edgerton (Edgerton Ger-meshausen and Grier : E G/G) Mark 1B dont la fréquence d'émission est de 105 kHz et qui a été le plus souvent employé sur les gammes de portée 125 ou 250 mètres. Ce matériel a donné entière satisfaction. Le poisson portant les transducteurs d'émission-réception était remorqué soit depuis une embarcation (vedette hydrographique, pinasse) soit depuis le *Corail*, la *Boussole* et même *L'Estafette*. La principale difficulté de mise en œuvre provient du câble de remorquage que l'on tenta d'utiliser avec le « divergent » fourni par le constructeur ce qui eut pour conséquence de détériorer le câble. En admettant un survol du fond à une altitude supérieure à la norme, ce qui paraît autorisé par la nature des structures recherchées (voir le développement de cette question en annexe), et au prix d'une réduction de la vitesse de remorquage maintenue cependant à 5/6 nœuds, on put ensuite se passer de ce divergent.

— Une drague hydrographique légère mise au point en 1978 par l'ICA Bonnot, du type « drague Brunel », et qui a été ensuite testée puis employée pour assurer un plafond de sécurité sur le chenal principal d'accès à l'île des Pins. Les bonnes performances du sondage latéral ont fait par la suite abandonner cette technique, la relative efficacité de manutention de la drague ne compensant pas les inconvénients que sont les relèvements importants (malgré la faible vitesse adoptée pour le remorquage) et la limitation de la largeur investiguée (250 mètres). La cause principale de l'abandon de cette technique sur les chantiers de la M.O.P. reste, comme pour tous les systèmes de dragage hydrographique, celle de l'excessive sévérité des conditions de mer (houle, clapot, courant) exigées, comparées surtout à celles qui sont tolérées par les techniques de sondage latéral.

#### II.3.4.4. Les sondages par grands fonds

La M.O.P. a été amenée à exécuter plusieurs sondages des pentes extérieures aux récifs-barrières des îles et atolls. Du point de vue des méthodes, on peut relever trois catégories de problèmes :

<sup>(14)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Boulard (10 mai 1974 — 10 mai 1976) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1-1980, n° 754.



Dragage hydrographique disposée sur un quai.

— le choix du porte-sondeur : le plus souvent, il est nécessaire d'employer un gros bâtiment à cause des conditions de mer rencontrées à l'extérieur de la barrière des récifs;

— la limitation de l'approche : l'obligation qui vient d'être signalée mais également les conditions hydrographiques (pentes des derniers accès à la barrière) et les conditions d'environnement (houle plus ou moins déferlante) limitent les possibilités de sondage direct, selon les méthodes classiques, des dernières centaines de mètres de la zone adjacente à la barrière. Avec un bon entraînement et en courant des risques raisonnables, la *Boussole* et *L'Estafette* ont pu se rapprocher à 300 mètres perpendiculairement à cette barrière. La limite pour un bâtiment plus petit (*Corail* ou grosse vedette) est estimée à 30 mètres par beau temps. Du point de vue bathymétrique, ces limites correspondent respectivement à 200 et 30 mètres de fond;

— le choix des profils de sondage : il est nécessaire de tenir compte de la longueur d'onde des structures bathymorphologiques transversales significatives pour définir l'écartement optimal des profils perpendiculaires à la direction principale des lignes de niveau. La réalisation de profils parallèles au récif est a priori intéressante pour préciser ces structures. Malheureusement, l'ouverture du faisceau des sondeurs Elac dont étaient équipés les bâtiments de la M.O.P. est deux fois plus importante dans le sens transversal que longitudinal et les inconvénients des échos latéraux sont souvent rédhibitoires le long de ces profils.

Les sondeurs grands fonds Elac de la *Boussole* et de *L'Estafette* <sup>(15)</sup> ont des performances médiocres et un fonctionnement déficient. Outre une stabilité de base de temps insuffisante, mal contrôlée par des marques de calibration instables

<sup>(15)</sup> On ne parlera pas des sondeurs Kelvin-Hughes H et K qui équipaient ces bâtiments et qui ne furent jamais utilisés même à titre de secours.

et irrégulières, et de mauvaises conditions de traitement des échos, outre une technologie périmée, la largeur du faisceau est importante ce qui correspond à un inconvénient majeur pour toutes les mesures bathymétriques effectuées sur les pentes des îles et atolls du Pacifique <sup>(16)</sup>. Ces sondeurs étaient d'un entretien difficile, notamment dû à l'usure du matériel. Les loupes, théoriquement faites pour améliorer la précision absolue des mesures <sup>(17)</sup>, n'ont jamais pu être utilisées plus de quelques heures consécutives.

L'installation d'un sondeur grands fonds moderne sur *L'Estafette*, de marque Raytheon fut entreprise au début de l'année 1980, mais il n'avait pas encore pu être mis en fonctionnement et évalué à la date à laquelle s'arrête ce rapport.

Les sondeurs Atlas DESO 10 de la *Boussole* et de *L'Estafette* furent grésés du « kit B » susceptible d'augmenter la portée théoriquement jusqu'à 1 400 mètres <sup>(18)</sup>. Le fonctionnement en fut correct mais, avec une base de 30 kHz et sur les pentes rencontrées, les portées maximales atteintes furent de 600 mètres environ ce qui ne correspondait pas aux conditions des levés.

Les sondeurs grands fonds étaient réglés selon une vitesse standard du son dans l'eau égale à 1 500 m/s. Des étalonnages indirects furent effectués en comparant sur un fond plat les données fournies par le sondeur grands fonds et par le sondeur petits fonds réglé pour la même vitesse.

## II.3.5. La topographie terrestre et maritime

### II.3.5.1. Généralités

Les opérations de topographie terrestre furent peu nombreuses du fait du développement des activités des organismes s'occupant de topographie et de cartographie terrestre dans les Territoires du Pacifique. La M.O.P. put recueillir, notamment auprès des autorités portuaires, un certain nombre de plans et de renseignements. Les quelques relevés topographiques concernent des rectifications du trait de côte (Tahiti, Raiatea et Tahaa) ou les îlots du lagon calédonien.

Par contre, la topographie marine des zones levées fut systématiquement exécutée. On entend par topographie marine la localisation et la description de tous les détails littoraux immergés ou para-immersés qui frangent les côtes et notamment les récifs coralliens visibles.

Le détail avec lequel ces structures ont été relevées et restituées, la précision avec laquelle elles ont été localisées et donc le choix des échelles et des normes des documents de rédac-

<sup>(16)</sup> Où la pente moyenne varie de 25 à 50 %.

<sup>(17)</sup> Ce qui est en fait un problème secondaire par rapport à celui créé par la pente et l'ouverture du faisceau.

<sup>(18)</sup> Avec une base de 33 kHz.

tion ont été déterminés en tenant soigneusement compte des finalités cartographiques et nautiques.

### II.3.5.2. Méthodes et moyens de levé topographique

Les travaux de relevé en mer et au sol ont été limités à la détermination des références nécessaires à la restitution des photographies aériennes sauf quelques cas isolés de topographie directe.

Ces opérations de topographie sur le terrain ont été réalisées à pied ou en embarcations légères (corallines). La localisation des perches ou des embarcations était optique (relevements par théodolites) et/ou radioélectrique avec utilisation des systèmes Toran ou Trident, des telluromètres MRA 3 et MRA 5, du géodimètre AGA 14.

Toutes les zones de levé avaient fait l'objet ou firent l'objet d'une couverture photographique aérienne le plus souvent à l'échelle de 1/20 000. Certaines de ces photographies provenaient de l'Institut Géographique National (Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie) ou de services locaux (Tahiti); elles étaient d'excellente qualité, en noir et blanc, et pouvaient servir aussi bien à la restitution topographique qu'à la détection des obstructions et même à une amorce de restitution photobathymétrique. Les autres photographies proviennent de missions de l'Aéronautique Navale de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie. Malgré les efforts qui ont été faits et malgré l'étroite collaboration instaurée entre les responsables et les équipages d'une part, la M.O.P. d'autre part, les résultats sont le plus souvent décevants. La responsabilité en revient à la vétusté et à la mauvaise adaptation du matériel de prises de vue.

Signalons enfin que la M.O.P. eut à sa disposition au début de 1980, par l'intermédiaire du Centre ORSTOM de Nouméa puis du SHOM, quelques clichés de restitution aux échelles de 1/200 000 et 1/500 000 des détections des satellites Landsat, concernant la région au Nord et à l'Ouest de la Nouvelle-Calédonie. L'étude de l'emploi de ces documents devait se développer postérieurement à la période couverte par ce rapport.

### II.3.5.3. Méthodes et moyens de restitution topographique

Dans certains cas, la restitution des photographies aériennes fut classiquement conduite en utilisant principalement un restituteur Stéréoflex.

Dans d'autres cas, et notamment pour le levé de la zone calédonienne située entre la Grande-Terre et l'île des Pins, on a employé une méthode originale, plus rapide et de précision suffisante eu égard aux échelles des futures cartes, précision d'ailleurs contrôlable et en fait du même ordre que celle des procédés traditionnels.

Cette méthode utilise le fait que la figure photographiée et à restituer est quasiment plane



Installation d'un appareil de prises de vues à bord d'un Neptune P2H de l'Aéronavale.

puisque'il s'agit de lignes de récifs ou de bords de côte tous très voisins du zéro hydrographique. Elle peut être succinctement décrite ainsi :

- on effectue : un assemblage des photographies de l'ensemble d'une zone cohérente et couverte par un même vol; un craticulage, arbitraire initialement; une mise à l'échelle, orientation et mise en place optimales de chaque sous-ensemble du craticulage d'après les éléments de vol, la focale de prise de vues, les coordonnées exactes de points de base, les données topographiques terrestres adjacentes, les mesures bathymétriques (la cohérence hydrographie/topographie étant de ce fait automatiquement assurée);
- on mesure les décalages  $\Delta x$  et  $\Delta y$  en un certain nombre de points d'identification certaine et disposés régulièrement. L'opération est considérée comme terminée si ces résidus sont aléatoires et inférieurs à une limite que l'on s'est fixée au départ, par exemple 25 mètres;
- si, dans une zone donnée, le champ des résidus ne remplit pas cette condition ou si les éléments de mise en place se sont révélés incom-

patibles, on réduit la maille de craticulage <sup>(19)</sup> et on multiplie le nombre de points de calage.

On voit que le principal avantage de cette méthode, qui a donné satisfaction, est de limiter les opérations de « piquage » des photographies au sol.

On n'a pas choisi l'échelle de restitution systématiquement égale à celle des documents bathymétriques adjacents. Si elle n'était pas imposée, on l'a déterminée en fonction de celle des futurs documents cartographiques, ainsi que de celle des photographies. La cohérence avec la bathymétrie est assurée par la mise à l'échelle des minutes de bathymétrie et, dans la plupart des cas, par la réalisation de « minutes de synthèses » qui sont décrites ci-dessous (§ II.4.).

Les normes utilisées pour la rédaction des minutes de topographie furent parfois originales pour représenter au mieux, c'est-à-dire sans ambiguïté pour le cartographe qui sera chargé de leur interprétation, les zones de récifs affleurants ou sub-affleurants qui sont très particulières aux rivages coralliens. Une légende détaillée a toujours été portée dans ce cas sur les documents de rédaction.

<sup>(19)</sup> A la limite, cette maille se réduit à une photographie et on revient alors à la restitution classique.

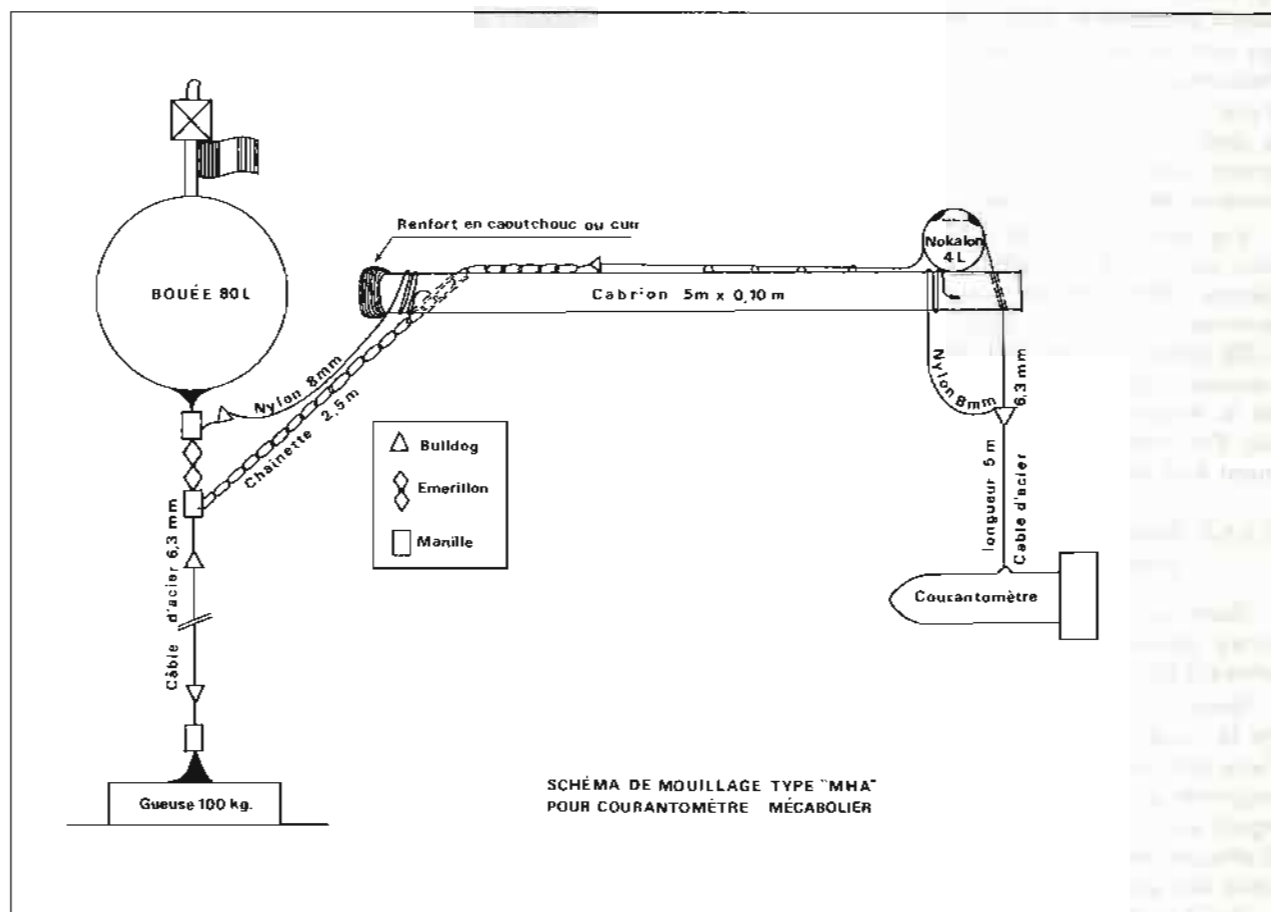
### II.3.6. La toponymie

La toponymie fut reportée sur les minutes de topographie. Les sources furent les cartes de l'Institut Géographique National pour les parties terrestres, les cartes marines et les ouvrages nautiques en service pour les parties maritimes.

### II.3.7. La courantométrie

A l'exception de quelques tentatives, non couronnées de succès, de mesure du courant de surface par comparaison entre le cap vrai et la route d'un bâtiment en sondage et radioguidé, la courantométrie effectuée à la M.O.P. entre 1978 et 1980 a consisté exclusivement en mesures du courant sub-superficiel, en général à l'immersion moins 5 mètres, à l'aide d'un courantographe Mécaboliér à enregistrement photographique.

Dans le cadre des instructions qui avaient été données, les points de mesure furent choisis le plus fréquemment dans l'axe des chenaux de navigation, dans les passes et dans les zones de mouillage. Faute de disposer d'un matériel adéquat (grosses bouées, lests lourds, navire spécialisé), des échecs furent enregistrés lors des ten-



PL. 5. — Schéma de mouillage type « MHA » pour courantomètre Mécaboliér.

tatives d'observation en certains points de très forts courants, supérieurs à 3 ou 4 nœuds (passes de la Havannah et de la Sarcelle dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie).

La durée des observations fut variable, de quatre à huit jours, soit pendant une période de marée moyenne, soit, si possible, en plusieurs phases de marée différente.

Le dispositif de mouillage employé est décrit sur la planche n° 5. Il est classique. S'il ne présente pas que des avantages, il est bien adapté aux mesures effectuées dans des zones dont le fond est rocheux (ou corallien) et où les profondeurs sont variables. C'est pour cette raison que le dispositif précédemment utilisé à la M.O.P. et à la Mission Océanographique de Méditerranée par l'ICA Bonnot<sup>(20)</sup>, sans doute sur des fonds plus réguliers, ne fut pas repris.

Le système adopté a donné satisfaction dans l'ensemble, compte tenu des conditions difficiles (houle, force des courants, grands fonds) qui furent souvent rencontrées. Deux appareils furent perdus néanmoins, d'ailleurs à l'occasion de la cessation de la surveillance pour des cas de force majeure (bâtiment en avarie), sur un ensemble d'une trentaine de mesures ou tentatives de mesures. Il faut noter que d'autres disparitions de mouillage mais sans courantomètres furent enregistrées lors d'essais effectués sur des sites particulièrement difficiles, notamment à cause de la violence du courant.

Le taux de réussite des mesures fut médiocre (de l'ordre de 2/3) à cause du mauvais fonctionnement bien connu des courantomètres utilisés. Les incidents les plus fréquents intervinrent au niveau des émerillons de fixation, du système de l'avance du film et de celui du comptage d'images. Pour réduire les conséquences de ces échecs, on a généralisé la technique de développement immédiat — à bord du bâtiment de surveillance — du film d'enregistrement.

Le dépouillement, fastidieux mais facilité par la bonne qualité des visionneuses dont on disposait, ne posa pas de problèmes particuliers. Le traitement ultérieur des dossiers, en liaison avec l'EPS-HOM, est bien rodé mais constitue un processus lourd et long, ne serait-ce qu'à cause des délais d'expédition.

### II.3.8. Les mesures de magnétisme terrestre

Les seules observations de magnétisme terrestre qui furent effectuées par la M.O.P. de 1978 à 1980 concernent des mesures de la déclinaison magnétique en plusieurs points de la zone Sud-Est de Nouvelle-Calédonie. La durée de ces observa-

<sup>(20)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



Dispositif de mesure de courant dans le lagon calédonien.



Récupération d'un courantomètre par plongeurs.

tions, pour lesquelles on utilisa le classique théodolite Wild T0, fut de 25 heures aux points principaux et de quelques heures aux points secondaires.

En l'absence d'observatoire de référence en Nouvelle-Calédonie, l'exploitation des données recueillies fut conduite en relatif. Le détail de la méthode utilisée est décrit dans l'annexe technique n° 4 ci-jointe.

### II.3.9. Les déterminations de la nature du fond

La nature des fonds fut systématiquement relevée dans les zones de levé. Des renseignements purent en outre être occasionnellement acquis lors des mouillages en rade foraine des navires de la Mission, ou en profitant de mouvements de plongeurs.

Le matériel de prélèvement le plus utilisé fut une benne preneuse légère qui donna des résultats même par fonds relativement importants (150 mètres) ou de nature corallienne.

Les échantillons furent analysés sommairement dès leur ramassage puis, dans certains cas, stockés sous emballage plastique puis adressés à l'ORSTOM de Nouméa pour examen ultérieur plus approfondi.

### II.3.10. L'information nautique générale, le balisage et les amers, les vues de côte

Quoique n'intervenant pas normalement dans le circuit de transmission de l'information nautique générale concernant les zones françaises du Pacifique, la M.O.P. a eu naturellement un certain rôle de conseil et de sensibilisation auprès des collecteurs locaux de cette information. Cela a été particulièrement le cas lors des missions de reconnaissance nautique des bâtiments stationnaires et pour ce qui concerne la tenue à jour du « Guide du Pacifique »<sup>(21)</sup>.

D'autre part, comme toute Mission, la M.O.P. avait la responsabilité entière de la collecte de l'information nautique dans les zones de levé. Il faut enfin mettre à part les levés spécialement consacrés à la révision et à la localisation précise du balisage et des amers (Raiatea et Tahaa en février-mars 1980).

En dehors de cette dernière opération et des abords immédiats de Nouméa et de Papeete, les levés de la M.O.P. l'ont conduite sur des zones dont la densité de balisage et d'amers est faible.

Quelques séries de photographies panoramiques de la côte furent exécutées, notamment dans

<sup>(21)</sup> Ce « Guide du Pacifique » diffuse l'information nautique et les renseignements généraux utiles aux bâtiments militaires fréquentant les eaux des Territoires Français du Pacifique et des ex-Nouvelles Hébrides.

le Sud-Est de Nouvelle-Calédonie, depuis un bâtiment immobilisé, à l'aide d'un appareil de prises de vues ordinaire mais avec un objectif « grand-angle ». Les photographies, assemblées et renseignées, ont été présentées collées sur un fond de carte sur laquelle sont indiqués les points de prise de vue et le secteur de côte ainsi photographié.

Quelques vues panoramiques obliques, prises inversement de points élevés de la côte, furent également réalisées mais le résultat semble limité à enrichir la « documentation générale » de la Mission sans qu'une exploitation nautique directe puisse en être faite.

### II.3.11. Les relevés océanographiques

Les relevés d'hydrologie de routine furent exécutés systématiquement par les deux bâtiments principaux de la M.O.P. dès que ceux-ci s'éloignèrent des côtes et notamment lors de leurs transits entre la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie.

A l'exception de ces relevés de surface et de sub-surface (et des mesures de marée et de courants), seules peuvent être signalées, mais au titre seulement de la formation du personnel et des essais de matériels, quelques stations d'hydrologie profonde réalisées par le BH1 *L'Estafette* (bouteilles et thermomètres à renversement).

### II.3.12. La photographie documentaire

La plupart des utilisations de la photographie en mission ont déjà été citées : photographies aériennes pour restitution topographique, illustration des fiches techniques (amers, points géodésiques, observatoires), vues de côte. Il s'agit ici de signaler le développement donné à la M.O.P. à la documentation photographique générale.

Au début de l'année 1979, a été créée dans cette Mission une photothèque organisée à l'imitation de celle mise récemment en place à l'EPS-HOM. On y retrouve les mêmes normes de fichage, d'archivage et de constitution d'albums de consultation, afin de pouvoir servir sans difficultés de « réservoir amont » à la photothèque générale du Service.

Les reportages, qui doivent encore être développés, ont trait à la vie en mission et au cadre général de l'activité, aux méthodes et techniques hydrographiques, à la description des moyens.

La création de cette photothèque a été accompagnée d'une amélioration de la dotation en matériel de prises de vues. Citons par exemple la réception d'un appareil Nikonos pour photographies sous-marines qui a surtout été utilisé jusqu'à présent à des prises de vue par petites profondeurs ou en « milieu mouillé ».



## II.4. LES MÉTHODES ET LES TECHNIQUES D'EXPLOITATION

Les méthodes d'exploitation des données recueillies, dépouillement des bandes d'enregistrement analogiques, calculs, élaboration des documents graphiques etc. qui furent employées sont extrêmement classiques. Il en est de même du matériel que ces méthodes utilisent. Rappelons seulement le développement de l'utilisation des calculatrices programmables de bureau.

Plus originale, l'organisation de la rédaction à la M.O.P. (salles de dessin principale et satellites, notion d'Unité de Rédaction, vérifications séquentielles à quatre niveaux) a déjà été exposée ci-dessus au paragraphe I.3.4.

Les résultats des levés se présentent sous les formes suivantes, qui sont normalement conformes aux normes en vigueur :

- minutes d'écriture de bathymétrie
- minutes de recherches ponctuelles de relèvements de fond
- minutes « mixtes » regroupant écriture de sondages réguliers complémentaires et recherches ponctuelles
- minutes d'écriture de sondage latéral
- minutes d'écriture de dragage hydrographique
- minutes d'écriture de topographie
- minutes d'écriture de natures de fond
- minutes de synthèse, décrites plus en détail ci-après
- cartes annotées (index de hauts-fonds)
- cartes de « vues de côtes »
- dossiers de mesure de courant
- fiches de points géodésiques et d'amers
- fiches d'observation de localisation par satellites Transit
- fiches d'observatoire de marée
- fiche d'observatoire de déclinaison magnétique

Les documents cités ci-dessus sont des documents définitifs de rédaction. On ne donnera pas la liste des nombreux documents primaires et intermédiaires.

Les « minutes de synthèse », qui ont été élaborées à la M.O.P. pour les levés les plus étendus, comportent les résultats et les renseignements suivants :

- l'écriture de la topographie (document de base);
- l'écriture des natures de fond (document de base);
- une synthèse de bathymétrie : choix de sondes et isobathes. Cette représentation peut ne pas être rigoureuse et il y a toujours lieu de se reporter à la minute de base;
- la toponymie (document de base);
- le contour des « zones totalement hydrographiées » et des « zones incomplètement hydrographiées »;
- l'indication des recherches ponctuelles de hauts-fonds qui ont été effectuées;
- le contour des zones sondées selon des profils resserrés;
- diverses données nautiques : délimitation des zones réglementées, axes et limites de voies recommandées, amers, épaves;
- diverses autres données hydrographiques : points de mesure de courant, zones de marée, références aux levés antérieurs adjacents.

Ces minutes de synthèse ont servi à la Mission, dans un état plus ou moins avancé, à la préparation hydrographique du levé (choix des échelles de levé, définition des travaux complémentaires etc.) et comme aide à la navigation sur zone pour les bâtiments de levé. On a vu qu'elles constituent des documents définitifs pour certains paramètres. Enfin on espère qu'elles serviront de guide pour le cartographe chargé ultérieurement de l'exploitation définitive du levé.

## TROISIÈME PARTIE

### LES TRAVAUX EFFECTUÉS PAR LA MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE DE MAI 1978 À MAI 1980

Après un chapitre de généralités, les travaux effectués par la Mission Océanographique du Pacifique sont exposés selon huit chapitres, chacun de ces chapitres étant consacré à un ensemble de travaux cohérents sur le plan géographique (1 à 4). Le plan de cette troisième partie est donc le suivant.

I. Généralités

II. Nouvelle-Calédonie : Levé au Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'Île des Pins.

III. Nouvelle-Calédonie : Levé de la côte Est de la Nouvelle-Calédonie entre les baies de Nakéty et de Port Bouquet (région de Thio).

IV. Nouvelle-Calédonie : Levé au Nord de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie entre Koumac et Gomen.

V. Nouvelle-Calédonie : Levé de détail du chenal d'accès à Nouméa depuis la passe de la Dumbéa.

VI. Polynésie Française : Levé au large de la côte Est de Tahiti, entre Mahaena et Tautira.

VII. Polynésie Française : Levés divers à Tahiti dans la région de Papeete.

VIII. Polynésie Française : Révision du balisage et de la topographie des îles de Raiatea et Tahaa.

IX. Travaux divers.

(1) On a préféré ce classement géographique à un exposé chronologique, d'une part parce que certains chantiers ont été réalisés en plusieurs phases, d'autre part parce que certains levés ont été entrepris simultanément.

(2) Plusieurs levés limités, distincts mais concernant la même zone, ont pu être regroupés.

(3) Les travaux « divers » sont regroupés sans distinction géographique.

(4) Du fait de leur caractère confidentiel, les travaux à Mururoa et Hao font l'objet d'un rapport séparé.

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

### I.1. RELATION ENTRE LA CLASSIFICATION GÉOGRAPHIQUE ET LA CHRONOLOGIE D'EXÉCUTION DES DIVERS LEVÉS

Le calendrier de l'affectation aux divers chantiers des moyens de la Mission, c'est-à-dire des bâtiments permanents (*L'Estafette, Boussole, Corail*) et des équipes isolées ou disposant de moyens occasionnels, est donné par le tableau n° 1.

### I.2. LEVÉS QUI AVAIENT DÉJÀ ÉTÉ ÉBAUCHÉS LE 10 MAI 1978

Parmi les levés qui ont concerné la M.O.P. de mai 1978 à mai 1980, seul celui au Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'île des Pins (Chapitre II), avait été ébauché, partiellement dans sa partie Sud-Est, au début de la période.

### I.3. LEVÉS NON ACHEVÉS LE 5 MAI 1980

Il a paru utile de faire ici la synthèse des travaux de levé et de rédaction qui étaient en cours à la fin de la période, tels qu'ils ont été confiés au nouveau Directeur de la Mission, l'IPA Souquière :

— chapitre II : Sud-Est Nouvelle-Calédonie. Le levé et la rédaction correspondante de la partie « à lever en priorité », définie par les Instructions Techniques, étaient achevés. Ceux des zones de priorité secondaire l'étaient à environ 50 %.

— chapitre III : Est de Nouvelle-Calédonie, zone Thio. Restaient à exécuter et à exploiter quelques recherches de hauts-fonds, l'investigation des voies principales en sondage latéral et la restitution topographique.

— chapitre IV : Nord-Ouest de Nouvelle-Calédonie, zone de Koumac. Ce levé n'était qu'ébauché, selon un pourcentage estimé à 20 %.

— chapitre V : Nouvelle-Calédonie, chenal Dumbéa-Nouméa. Quelques travaux de levé complémentaire restaient à exécuter ainsi qu'environ 50 % de la rédaction.

— chapitre VII : Tahiti, zone de Papeete. Les levés concernant cette zone, totalement effectués, n'étaient rédigés qu'à 50 %.

— chapitre VIII : Raiatea/Tahaa. La rédaction était effectuée à 50 % tandis que les travaux de terrain étaient terminés.

TABLEAU 1

## Calendrier des travaux

Chantier	S.E. Nouvelle-Calédonie (Chapitre II)	Région de Thio (Chapitre III)	Région de Koumac (Chapitre IV)	Région de Nouméa (Chapitre V)	Côte Est de Tahiti (Chapitre VI)	Région de Papeete (Chapitre VII)	Raitea-Tahaa (Chapitre VIII)	Travaux divers + Sites CEP (Chapitre IX + rapport particulier)	Observations
Moyen	10.05/09.06.78 03.07/26.08.78 28.09/31.10.78 25.07/01.09.79 16.10/18.10.79	18.06/24.07.79 6.09/21.09.79			27.02/13.3.79	1.02/04.03.80 8.04/15.04.80		15.08/28.03.79 21.05/05.06.79 (*) 8.03/23.03.80	(*) Entraînement Reconnaissance Récifs Nord Nouvelle-Calédonie (hors disponibilité à l'hydrographie)
Boussole	10.05/26.05.78 19.06/12.08.78 19.09/21.10.78 13.11/25.11.78 12.12/21.12.78 18.04/24.05.79 12.06/04.08.79	28.11/09.12.78 9.01/02.02.79	17.03/11.04.80					11.06.79 (*) 01.10/26.11.79	(*) Entraînement
Corail	10.05/13.07.78 12.09/11.11.78 5.12/20.12.78 15.02/31.03.79 15.05/20.07.79 7.08/01.09.79 2.10/08.12.78 3.01/05.01.80 9.04/30.04.80	3.01/29.01.79 8.01/31.01.80		17.03/05.04.80				10.05.78 (*) 12.02/14.02.79 (*)	(*) Entraînement Mise au point de matériel
Pinasse				17.12/19.12.79 26.12.79 8.01/11.01.80					
Equipe « Raiatea »							01.02/22.02.80 (*) 16.03/29.03.80 (**)		(*) Avec EDIC 9082 puis RHM Hippopotame (**) Avec Patrouilleur La Lorientaise
Equipes « Sites CEP »								4.12.78/26.01.79 19.02/23.02.79 7.09/14.10.79 18.01/27.02.80 31.08/04.01.80	

NOTA : Dans ce tableau, il n'est pas tenu compte des arrêts de courte durée.

## CHAPITRE II : NOUVELLE-CALÉDONIE LEVÉ AU SUD-EST DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE, ENTRE LA GRANDE-TERRE ET L'ÎLE DES PINS

### II.1. GÉNÉRALITÉS

Le levé concernait la vaste zone de petits et moyens fonds qui s'étend au Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, au large de la Grande-Terre et jusqu'à l'Île des Pins, située à environ 60 km. Cette surface, d'environ 2 000 km<sup>2</sup>, est parsemée de dangers dont la plupart étaient inconnus. Même la bathymétrie générale en était très largement ignorée. En fait, cette zone s'est révélée être hydrographiquement comparable à un lagon dont les profondeurs moyennes sont supérieures à la moyenne (80 m au lieu de 30 m) mais dont les récifs barrières seraient morcelés et effondrés. L'absence de véritable récif protecteur y rend les conditions de mer particulièrement difficiles car la houle s'y fait sentir même pendant les périodes de vent plus calme.

La présence de chenaux larges et profonds ainsi que de relativement grandes étendues d'eaux claires, l'intérêt nautique reconnu ou potentiel (passes de la Havannah et de la Sarcelle, routes d'accès à l'Île des Pins) font néanmoins paraître cette région comme hydrographiquement intéressante sinon prioritaire. Son levé était demandé localement depuis plusieurs années<sup>(1)</sup>. Il doit permettre d'établir notamment :

- une carte à l'échelle de 1/25 000 des abords Sud-Ouest de l'Île des Pins (baie de Kuto);
- une carte à l'échelle de 1/60 000 de l'ensemble des passages entre la Grande-Terre et l'Île des Pins;

et concourir à la confection de nombreuses autres cartes à plus petites échelles. Ce levé constitue une suite logique des sondages plus littoraux déjà réalisés il y a quelques années au Nord-Ouest (canal Woodin, canal de la Havannah) et au Sud-Est (intérieur de la baie de Kuto). À l'Ouest, il rejoint la région du « grand lagon Sud », partiellement hydrographiée de façon moderne mais dont l'intérêt nautique est moindre.

L'étendue de la zone à couvrir et ses difficultés naturelles qui viennent d'être rappelées font néanmoins qu'il était indispensable de la subdiviser en sous-ensembles où seraient pondérés les priorités et les efforts consentis. Ceci fut fait initialement, au niveau des Instructions Techni-

(1) Notamment par la Marine Nationale et le Pilotage du Port de Nouméa.

ques, puis au cours de la réalisation du levé. Cependant, la relativement grande étendue d'eaux parfaitement navigables et la pauvreté du balisage<sup>(2)</sup> ont fait qu'on ne pouvait se contenter de lever de simples chenaux. Les meilleures voies à recommander n'ont d'ailleurs pu être définies qu'à un stade très élaboré des travaux.

Finalement, l'approximation suivante peut être donnée :

- zones topographiées mais non sondées : 20 %
- zones topographiées et incomplètement hydrographiées : 10 %
- zones normalement hydrographiées : 60 %
- zones totalement hydrographiées : 10 %<sup>(3)</sup>

Les chiffres qui sont ainsi donnés se rapportent à l'ensemble de la zone (voir planche n° 6), qu'elle ait été considérée par les Instructions Techniques comme à lever en priorité ou non. À la fin de la période qui fait l'objet de ce rapport, c'est à dire au mois de mai 1980, il restait en fait quelques travaux de volume réduit à réaliser pour compléter les sondages de quelques portions jugées utiles des zones de priorité secondaire.

En tenant compte de ce reliquat, la durée totale de ce chantier aura été de plus de 2 ans. Le potentiel dépensé est d'environ 27 mois-bateaux<sup>(4)</sup>. On peut grossièrement définir trois périodes :

- levé de base réalisé entre octobre 1977 et octobre 1978<sup>(5)</sup>;
- levé de complément effectué entre mars 1979 et décembre 1979;
- travaux divers de complément sur zones secondaires en 1980.

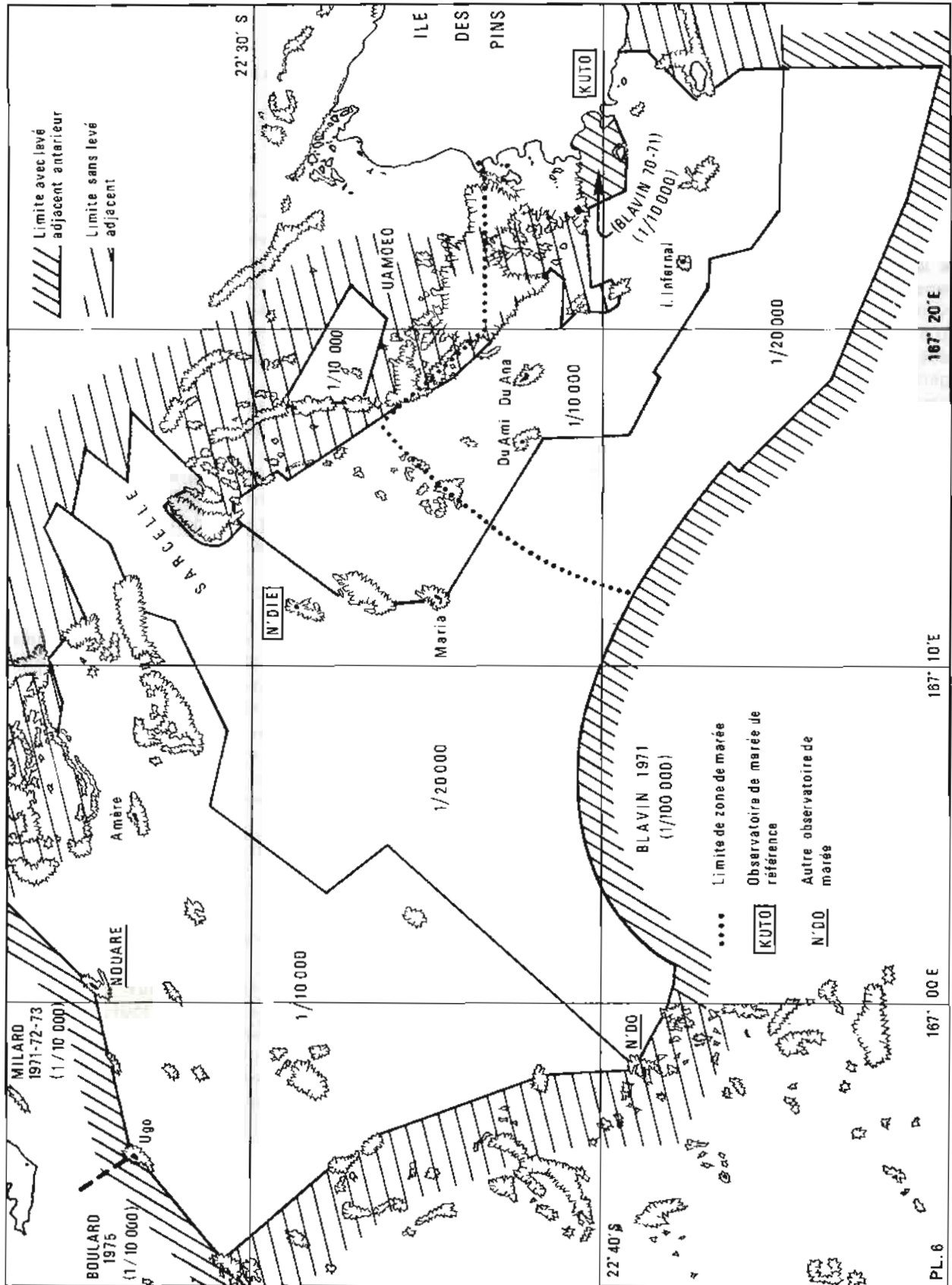
La rédaction correspondant aux travaux de terrain et à la mer a été effectuée tout au long du levé. Elle a été achevée au mois de février 1980 (pour ce qui concerne la zone prioritaire), et les documents-résultats ont été définitivement disponibles après vérifications et contrôles au mois de septembre 1980.

(2) Balisage en place ou dont l'implantation est envisageable.

(3) Voir définition ci-dessus (2<sup>e</sup> partie, paragraphe II.2.1.).

(4) Mois-bateaux « disponibles » soit 40 mois-bateaux en termes réels de potentiel.

(5) Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



PL. 6. — Levé au S.E. de la Nouvelle-Calédonie : zones sondées.

## II.2. TRAVAUX EFFECTUÉS ET RÉSULTATS D'ENSEMBLE

### II.2.1. Géodésie, localisation à la mer

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits dans le système géodésique IGN 72 en projection MTU fuseau 58.

L'infrastructure géodésique initiale de la zone était très complète du fait des travaux antérieurs et surtout parce que l'ICA Bonnot avait déjà, depuis 1977, procédé à l'implantation du chantier. On se reportera aux différents rapports de mission des ICA Blavin <sup>(6)</sup>, Milard <sup>(7)</sup>, Boulard et Bonnot <sup>(8)</sup>.

*Rattachement géodésique de l'île des Pins (voir planche n° 7)*

Les seules opérations de géodésie fondamentale effectuées dans la zone concernent le rattachement de l'île des Pins à la Grande-Terre qui a été repris et corrigé et d'où l'on a déduit des coordonnées rectifiées pour les points de l'île des Pins c'est à dire en fait un nouveau système géodésique local. L'historique et le développement de la question méritent donc d'être relatés.

La triangulation de l'île des Pins fut réalisée par l'ICA Blavin <sup>(9)</sup>. Les travaux à l'époque consistèrent à observer le triangle fondamental Pic N'Ga — Tour de contrôle — Moro, à effectuer une mesure de base soignée sur l'un des côtés, et à l'orienter, avec une précision de l'ordre de 10'' sexagésimales, par une visée nocturne sur le phare de Cap N'Doua à la côte Sud de la Grande-Terre. Les calculs avaient été menés dans le système IGN 54/69 mais les coordonnées furent ultérieurement converties dans le système IGN 72 par l'EPSHOM.

Le système local pseudo-IGN 72 ainsi défini se rattachait à la géodésie de la Grande-Terre par l'intermédiaire de la borne Pic N'Ga, point de 1<sup>er</sup> ordre, de précision médiocre, déterminé en 1954 par l'IGN au moyen de deux visées en sifflet (20°).

En 1973, l'ICA Milard <sup>(10)</sup> effectua dans le lagon Sud de la Nouvelle-Calédonie une série d'observations répondant aux normes du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> ordres

<sup>(6)</sup> Rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.

<sup>(7)</sup> Rapport de mission de l'ICA Milard (19 janvier 1972 — 9 mai 1974) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 6, fasc. 2-1978 — n° 749.

<sup>(8)</sup> Rapport de mission de l'ICA Boulard (10 mai 1974 — 10 mai 1976) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1-1980, n° 754. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

<sup>(9)</sup> Rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.

<sup>(10)</sup> Rapport de mission de l'ICA Milard (19 janvier 1972 — 9 mai 1974) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 6, fasc. 2-1978 — n° 749.



Tour géodésique sur l'îlot N'Dié.

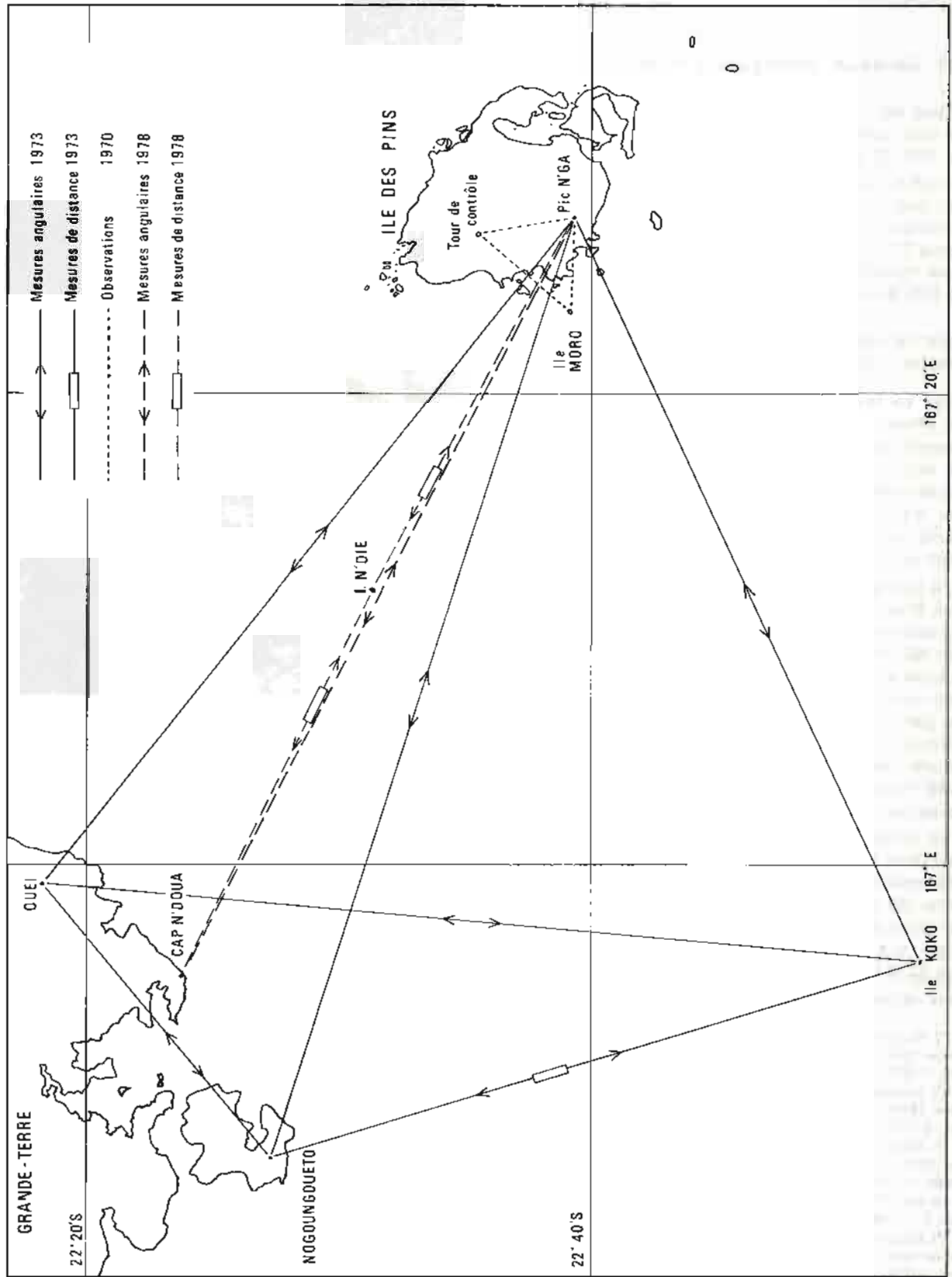
IGN, qui permirent notamment de calculer de nouvelles coordonnées plus précises de la borne Pic N'Ga :

Nom	Ordre	Coordonnées anciennes (IGN 1972)	Coordonnées nouvelles (IGN 1972)
Pic N'Ga	1	752 654,06; 7 492 484,22	752 654,36; 7 492 483,68

En 1977, la M.O.P., utilisant les fiches géodésiques en vigueur, compléta l'infrastructure géodésique de l'île des Pins <sup>(11)</sup>. La borne N'Ga avait été enlevée mais fut replacée sans difficulté à l'aide des points rattachés.

Un hiatus apparut en 1978, quand on voulut déterminer les coordonnées d'un point situé sur l'îlot N'Dié, à mi-distance de la Grande-Terre et de l'île des Pins. Les observations combinaient des visées angulaires et des mesures de distance effectuées tantôt depuis la Grande-Terre, tantôt depuis l'île des Pins.

<sup>(11)</sup> Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



PL. 7. — Rattachement géodésique de l'Ile des Pins à la Grande-Terre.



Les vérifications qui furent alors entreprises sur les observations et les calculs anciens firent apparaître les faits suivants :

1) Le recalage Milard des coordonnées de la borne Pic N/Ga ( $\Delta x = + 0,30 \text{ m}$ ;  $\Delta y = - 0,54 \text{ m}$ ) rappelé ci-dessus n'avait pas été répercuté sur l'ensemble des coordonnées des points de l'île.

2) L'orientation du système géodésique de l'île des Pins était excessivement imprécis.

Des visées optiques soignées (8 tours de T3 à 2 pointés) furent alors effectuées de nuit au sommet du Pic N'Ga en visant le phare du Cap N'Doua dont la validité des coordonnées fut vérifiées auprès du Service Topographique de Nouvelle-Calédonie. Une erreur d'orientation de 11,5" fut ainsi mise en évidence, très compatible avec l'estimation de la précision 1972 :

— valeur théorique du gisement N'Ga-N'Doua (déduite indirectement des travaux Blavin) : 307°06'40,5"

— valeur calculée d'après les observations 1978 : 307°06'52" (écart type : 1,6").

En conclusion, une transformation de l'ensemble des coordonnées des points de l'île des Pins (translation  $\times$  rotation) s'est imposée. Elle a permis d'établir une nouvelle liste de coordonnées, qui est donnée ci-après (paragraphe II.3.).

#### *Autres travaux géodésiques*

Le levé de la zone nécessita la triangulation et le rattachement de plusieurs points complémentaires (antennes de radiolocalisation Toran, stations de guidage optique, amers) dont les coordonnées sont rassemblées paragraphe II.3.

#### *Localisation des travaux à la mer*

De nombreux moyens furent employés pendant ce levé pour assurer la localisation des bâtiments, des embarcations etc. :

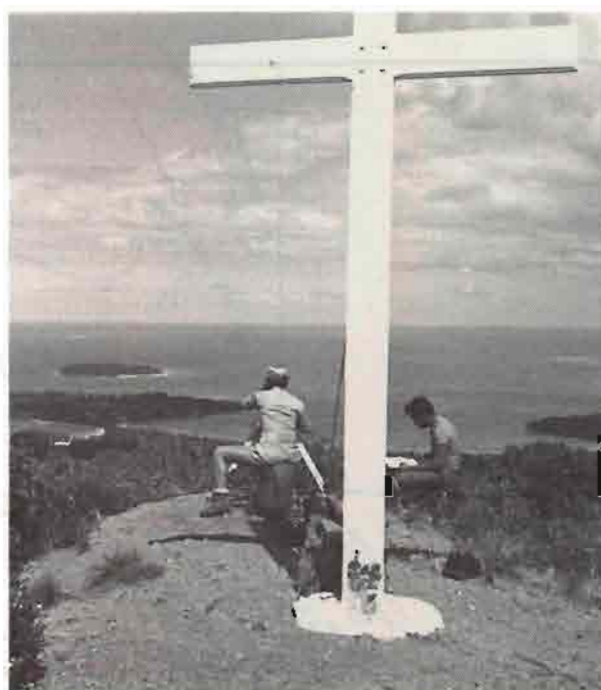
— le guidage optique fut surtout utilisé pour les travaux à proximité de l'île des Pins ou de la côte Sud de la Grande-Terre;

— des moyens divers furent mis en œuvre pour déterminer les points de référence nécessaires à la restitution topographique des côtes Nord-Ouest, Nord, Est et Sud-Est de l'île des Pins : théodolite, telluromètre, géodimètre, radiolocalisation Trident;

— l'essentiel des travaux fut néanmoins mené à l'aide d'une chaîne de radiolocalisation Toran, à 3 lieux, qui fut implantée selon une configuration permanente depuis le mois de juin 1978 jusqu'à la fin de l'année 1979<sup>(12)</sup>;

— une localisation mixte « optique-Toran » fut fréquemment utilisée.

<sup>(12)</sup> Pour la période antérieure à mai 1978, voir le rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.



Croix du pic N'Ga.

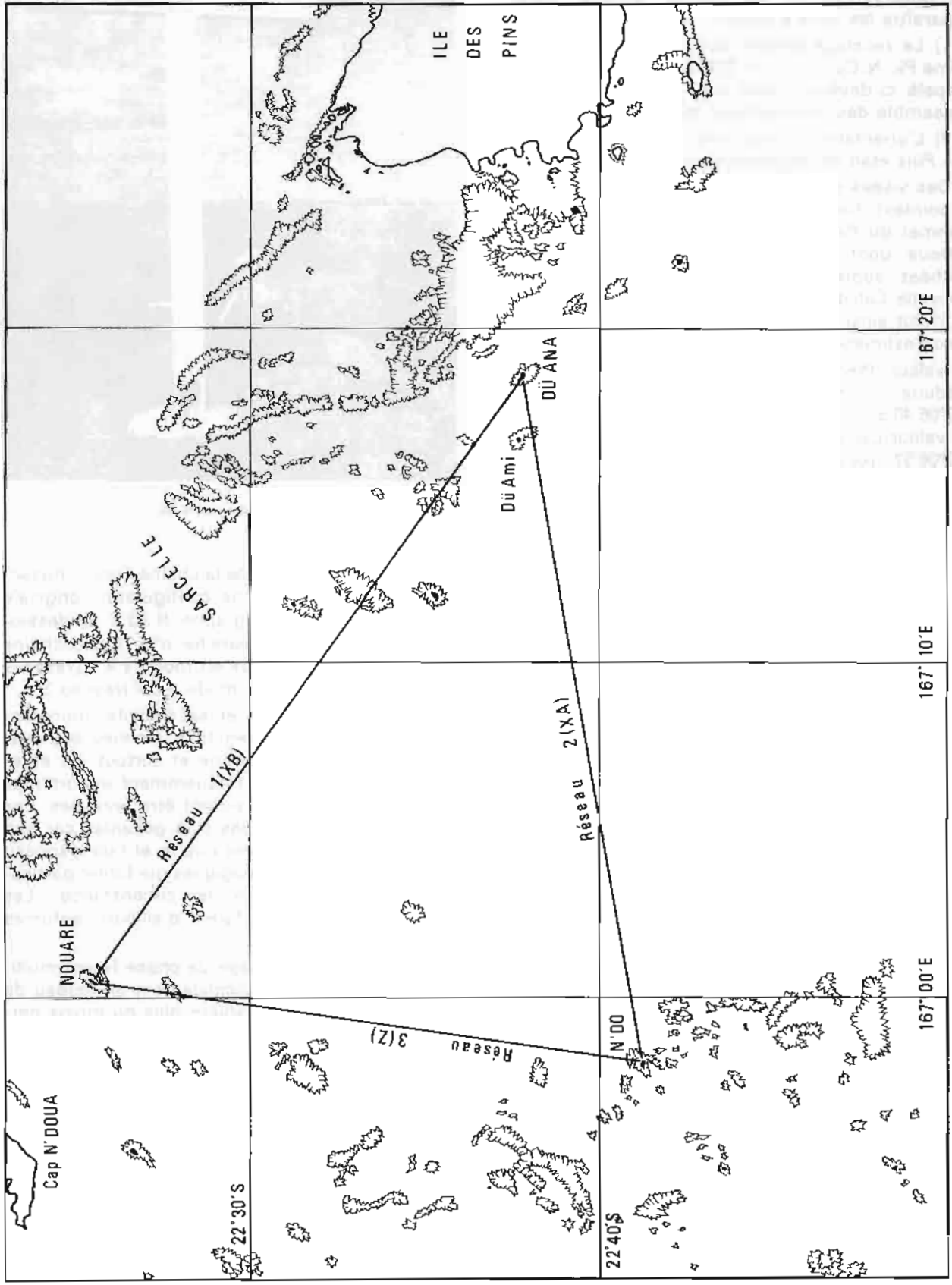
Les caractéristiques de la chaîne Toran, implantée en triangle selon une configuration originale déjà signalée au paragraphe II.3.2.3. ci-dessus, sont données sur la planche n° 8. Cette chaîne comportait deux réseaux en mode « X » (réseaux 1 et 2) et un réseau en mode « Z » (réseau 3).

Son fonctionnement et sa stabilité donnèrent tout à fait satisfaction en 1978. L'année suivante, sa fiabilité fut moins bonne et surtout, on enregistra des fluctuations fréquemment importantes sur le réseau 2, qui ne purent être enrayerées. Ces fluctuations ne furent pas trop gênantes car leur période était relativement courte et l'on disposait alors de récepteurs analogiques qui furent particulièrement précieux en la circonstance. Les contrôles d'étalonnage furent d'ailleurs renforcés pendant cette période.

Les procédés de calage de phase furent multiples mais on utilisa principalement un réseau de bouées installées de manière plus ou moins permanente à cet effet.

#### **II.2.2. Marée, nivellement, niveaux de réduction**

L'étendue de la zone levée et sa complexité géographique perturbant fortement le développement de l'onde marée, il a paru nécessaire de multiplier les observatoires de marée et d'ailleurs également les points d'observation des courants de surface. Le résultat de ces mesures fait l'objet d'une étude particulière (voir annexe technique n° 3 ci-après). Nous ne citons pour l'instant, dans ce paragraphe, que les éléments essentiels.



PL. 8. — Zone Grande-Terre — Ile des Pins : chaîne Toran.

Quatre observatoires ont été maintenus en fonction successivement ou simultanément à Kuto<sup>(13)</sup> et près des îlots N'Dié, Nouaré et N'Do, tandis que la marée était observée en permanence à Nouméa, port de référence.

Les périodes de fonctionnement de ces observatoires (voir planche n° 6) ont été les suivantes :

- Kuto (ancien wharf) :
  - du 14 septembre au 9 novembre 1977
  - du 18 janvier au 9 mars 1978
  - du 18 au 24 avril 1978
  - du 18 mai 1978 au 2 janvier 1979
  - du 13 février au 17 juin 1979
- Kuto (nouveau wharf) :
  - du 18 juin au 5 décembre 1979
- N'Dié :
  - du 2 juin 1978 au 9 janvier 1979
  - du 4 mai au 5 décembre 1979
- Nouaré :
  - du 9 octobre au 7 novembre 1978
- N'Do :
  - du 7 décembre 1978 au 9 janvier 1979

Chacun de ces cinq observatoires est décrit dans l'annexe technique n° 3 consacrée à ce sujet. Voir notamment planches n° 43 à 46.

### **Niveaux de réduction des sondes et zones de réduction des sondes**

La zone levée se situe dans la zone de marée de Nouméa. Le niveau de réduction des sondes doit donc être déterminé en concordance avec le zéro hydrographique de Nouméa, situé à 3,641 m au-dessous du repère en laiton H1 scellé à l'extrémité de la jetée de la Base Maritime de la Pointe Chaleix.

Le niveau de réduction des sondes adopté à Kuto en 1970<sup>(14)</sup> se trouve à 4,285 m au-dessous du repère A constitué de la patte de scellement d'un anneau sur le mur d'enceinte du jardin du Bureau des Postes. La nouvelle concordance effectuée situe ce niveau 10 cm plus haut. L'ancien zéro a été conservé.

Une première concordance entre les marées de N'Dié et de Nouméa, faite sur un mois d'observations, a conduit à adopter le niveau de réduction des sondes à 4,063 m au-dessous du repère SH RA2 scellé dans une borne en ciment au Nord-

<sup>(13)</sup> L'observatoire de Kuto, d'abord installé sur l'ancien wharf conformément à la description qui en est faite par les ICA Blavin\* et Bonnot\*\*, a été déplacé le 18 juin 1979 jusqu'au nouveau wharf par nécessité pratique et non technique.

\* Rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5° série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.

\*\* Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5° série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

<sup>(14)</sup> Rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5° série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.

Ouest de l'îlot N'Dié. Une nouvelle concordance, effectuée sur la totalité des observations, situe ce niveau 10 cm plus haut et la première détermination n'a pas été modifiée. Le niveau adopté se situe à 4 cm au-dessous du niveau concordant avec le niveau de réduction des sondes de Kuto.

Pour les observatoires de Nouaré et N'Do, on a adopté les niveaux en concordance avec le niveau de réduction des sondes de Kuto. Ils sont situés à 4 cm au-dessous du niveau concordant avec le zéro hydrographique de Nouméa.

L'analyse par concordance des marées observées (voir l'étude annexée) montre que la marée varie finalement peu entre les quatre observatoires. Seuls ceux de Kuto et de N'Dié ont été maintenus en fonction pendant toute la durée du levé et utilisés pour la réduction des sondages. La limite entre les deux zones de marée « Kuto » et « N'Dié » figure sur la planche n° 6. Elle correspond à un découpage de documents graphiques de rédaction et à une hyperbole Toran et ce afin de ne pas compliquer inutilement la procédure de rédaction.

Par dérogation à l'instruction en vigueur, les profondeurs supérieures à 50 m ont été corrigées de la marée et sont réelles.

On trouvera dans l'étude annexée les autres résultats que l'analyse des observations a permis d'obtenir. Ils ont trait aux concordances, aux niveaux moyens et au développement de l'onde-marée dans la zone.

## **II.2.3. Bathymétrie**

### *II.2.3.1. Sondage bathymétrique régulier*

La planche n° 6 représente les zones sondées, selon des profils réguliers espacés de 100 m au maximum (minutes établies à l'échelle de 1/10 000), ou de 200 m au maximum (minutes établies à l'échelle de 1/20 000).

La zone 1/10 000 couvre les approches immédiates de l'île des Pins, jusqu'aux récifs ou îles N'Diouaré, Alcmène, Infernal, Kue, Taperi; toute la partie comprise entre l'île des Pins, les grands récifs qui débordent cette île vers l'Ouest jusqu'à la passe de la Sarcelle et la ligne récif Maria, Du-Ami, Du-Ana et récif Taperi; les abords de l'îlot N'Do au Sud-Ouest jusqu'au récif Iedimengate<sup>(15)</sup>; les approches de la Grande-Terre et du Canal de la Havannah jusqu'aux récifs Iedimengate, Tiagatere et la passe de la Sarcelle; les parties navigables entourées par les récifs de Cook et d'Amère.

<sup>(15)</sup> La portion d'eaux profondes comprise entre les récifs Gue, Iedimengate et l'îlot N'Do, comprise dans la zone 1/10 000, a été en fait couverte par des profils légèrement desserrés (jusqu'à 120 m).

La zone 1/20 000, d'une extension comparable à la précédente, correspond à la partie centrale du levé, s'étendant entre les parties précitées et s'ouvrant en éventail vers le Sud (limitée à l'isobathe 250 m).

La définition de ces zones a été précisée au fur et à mesure de l'avancement des travaux, dans la mesure où la bathymorphologie générale se précisait. Cette incertitude n'a pas été sans poser quelques problèmes d'organisation du levé à la mer et de rédaction.

Les profils choisis ont été soit des droites de relèvement optique soit des hyperboles Toran, généralement du réseau 1. Il n'est pas utile d'en donner ici le détail.

### 11.2.3.2. Sondages complémentaires et recherches des obstructions

L'adjectif complémentaire ne doit pas faire illusion. Il s'est agi là d'une portion majeure du levé. Pour exposer le plus simplement les travaux effectués, on peut revenir à la partition en zones d'hydrographie plus ou moins complète telles qu'elles ont été précédemment définies même si la chronologie n'est pas alors entièrement respectée.

Dans la zone d'« hydrographie incomplète », les recherches de hauts-fonds n'ont pas été effectuées, au moins systématiquement<sup>(16)</sup>.

Dans la zone d'« hydrographie classique », les travaux de complément ont consisté en l'exécution d'environ 400 recherches ponctuelles de hauts-fonds<sup>(17)</sup> et en profils intermédiaires de sondage, tous les 50 m au plus dans la zone 1/10 000, tous les 100 m au maximum dans la zone 1/20 000.

La connaissance « complète » du fond<sup>(18)</sup> a été obtenue dans la zone d'« hydrographie totale » par l'un au moins des procédés de détection suivants :

— sondages réguliers très serrés (profils espacés de 10 m ou 20 m par fonds moyens supérieurs à 20 m);

— balayage au sondeur latéral;

la détection étant suivie, dans le second cas et parfois dans le premier, par la recherche ponctuelle classique de la structure mise en évidence.

L'emploi du sondeur latéral en milieu corallien fait l'objet d'une description et d'une analyse détaillées dans l'annexe technique particulière n° 2 ci-après.

<sup>(16)</sup> Il a pu arriver que les recherches soient abandonnées et la zone « déclassée » lors de l'exécution même de ces recherches dévoilant des fonds trop variables pour être déclarés navigables sans travaux complémentaires excessifs.

<sup>(17)</sup> Auxquelles il faut ajouter une centaine de recherches déjà effectuées aux abords de l'île des Pins : voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

<sup>(18)</sup> Au regard des besoins de la navigation.

La vérification de la voie d'accès Sud-Ouest à la baie de Kuto (île des Pins) avait commencé par une tentative de dragage hydrographique à un plafond de 12 m, à l'aide d'une drague légère de 250 m de portée. Les résultats furent acceptables et le levé a été exploité. Les trop grandes difficultés de mise en œuvre, principalement dues aux conditions de mer régnant dans les parages, firent ensuite abandonner cette méthode pour celle du sondage latéral.

### 11.2.3.3. Résultats

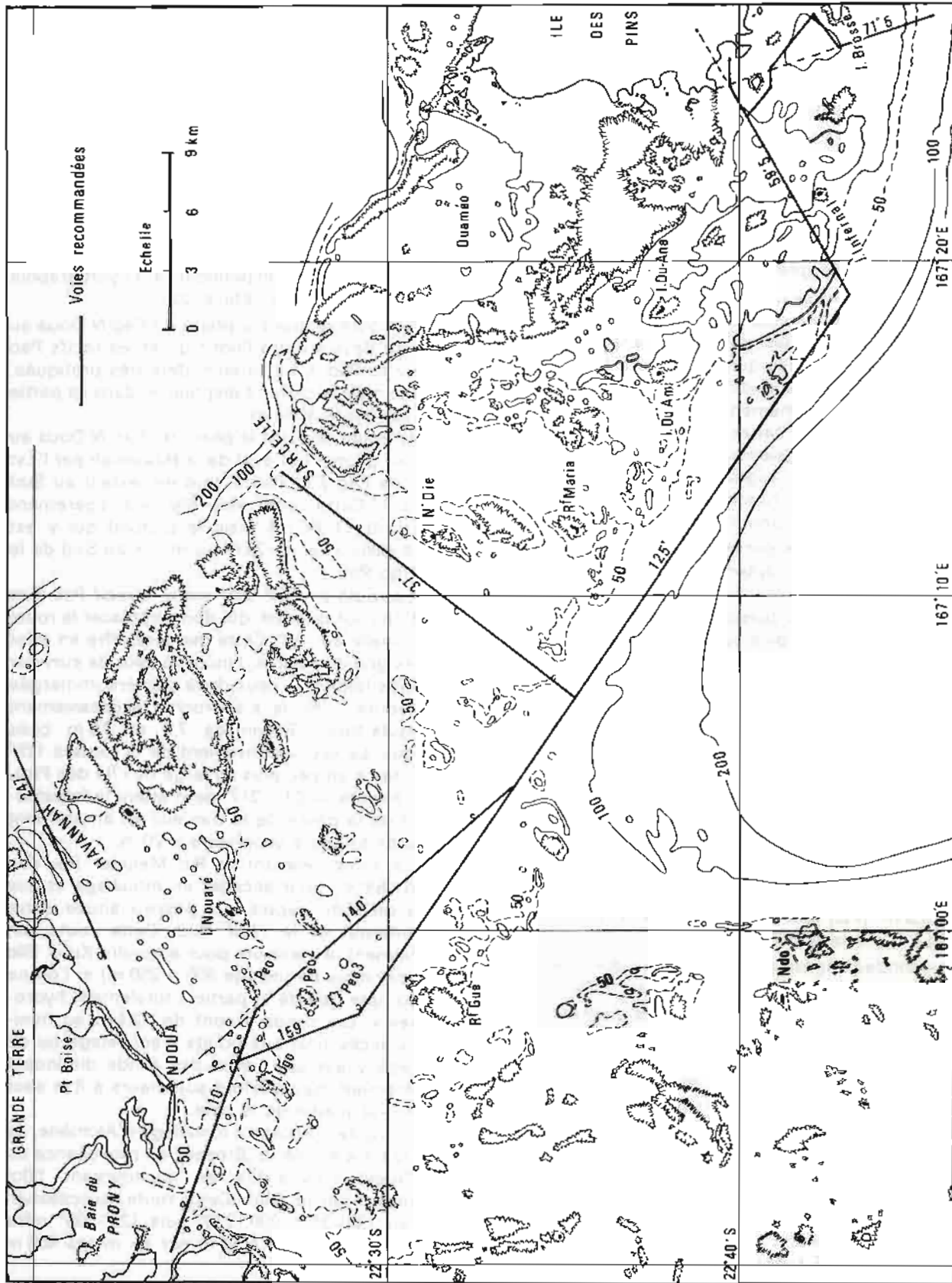
Du point de vue bathymorphologie, la zone se présente comme un lagon dont la base aurait basculé dans sa partie Sud. Il ne peut être question ici d'avancer des hypothèses géologiques pour la formation de ces fonds très particuliers et qui feraient sans doute intervenir simultanément des phénomènes de subsidence (différentielle), de modification eustatique et de croissance corallienne contrariée. On peut se contenter de citer les grandes lignes de relief sous-marin qui ont été découvertes (voir planche n° 9) :

— Au Nord, s'étend, de façon quasi-continue de la Grande-Terre à l'île des Pins, une large ligne de puissants récifs affleurants entrecoupés de passes (Havannah, Sarcelle notamment) et de golfes profonds.

— Au Nord-Ouest, on retrouve des caractéristiques de lagon classique avec des fonds néanmoins plus importants (de 30 à 80 m) et des formations coralliennes affleurantes, marquées par des récifs (Péo par exemple) et des îlots.

— Au Sud-Est, on est en présence de structures coralliennes denses mais très fragmentées dont certaines affleurent mais dont d'autres restent immergées; les fonds moyens sont plus faibles, de l'ordre de 20 à 40 m.

— S'étendant du centre de la zone vers l'Est-Sud-Est, se trouve une barrière immergée dont la cote de la crête varie de 15 à 30 m et dont la largeur est de l'ordre de 1 000 m. Cette barrière, de structure linéaire, est entrecoupée de « passes ». Elle délimite assez bien une région, au Nord, de fonds moyens et hétérogènes, lagunaires selon leurs caractéristiques bathymorphologiques, et une zone de fonds croissant régulièrement et rapidement vers le Sud, jusqu'aux grandes profondeurs. On retrouve donc des formes de récif corallien, qui serait récif-barrière à l'Ouest de l'îlot Infernal et récif frangeant à l'Est. La nature des fonds sur cette barrière est cependant régulière et ne semble pas être corallienne. Ceci est d'ailleurs favorable du point de vue de la sécurité hydrographique et a permis de limiter la densité des profils de sonde. L'existence de cette barrière était inconnue; elle explique la floraison de soi-disant hauts-fonds isolés (de 15 à 30 m) relevés par des bâtiments en transit entre la Grande-Terre et l'île des Pins.



PL. 9. — Zone Grande-Terre — Ile des Pins : structures bathymétriques.

— La zone du Sud avait déjà fait l'objet d'un sondage de reconnaissance en 1971<sup>(19)</sup> et la grande régularité des isobathes était connue. Le levé ici relaté a précisé les profondeurs jusqu'à l'isobathe 250 m environ. Les fonds sont ceux d'une vallée sous-marine, dont l'axe est orienté Sud-Est — Nord-Ouest, et dont les pentes douces se raccordent aux structures hétérogènes du Nord et de l'Ouest.

— Dans l'extrême Sud-Ouest, on atteint le récif-barrière du « grand lagon Sud », dont les approches en venant de l'Est sont plus ou moins irrégulières et où l'on retrouve diverses structures coralliennes immergées.

La grande complexité bathymorphologique de la zone, très peu connue préalablement au levé, rendrait difficile une description plus analytique et moins globale que celle qui vient d'être faite. Les cartes marines correspondant à la zone levée ont été analysées conformément aux instructions. Sur un exemplaire de ces cartes, ont été reportées les limites des zones « totalement hydrographiées » et « incomplètement hydrographiées » à l'intérieur desquelles les hauts-fonds cartographiés n'ont pas été normalement annotés :

— pour les premières parce que le nouveau levé, exhaustif, annule et remplace tout ce qui avait été précédemment établi;

— pour les secondes puisque les recherches n'y ont pas faites, au moins systématiquement.

Nous nous limiterons ici aux trois remarques suivantes qui concernent des détails particulièrement importants pour la navigation et surtout qui ont fait l'objet de travaux et d'enquêtes particulières :

— Une recherche approfondie, menée au sondeur latéral et au sondeur vertical, a permis de conclure définitivement à l'inexistence des sondes suivantes :

— 23,5 m par  $\varphi = 22^{\circ}25,5' S$  et  $G = 166^{\circ}56,0' E$  (carte n° 6719);

— 8,9 m (PD) par  $\varphi = 22^{\circ}25,4' S$  et  $G = 166^{\circ}56,2' E$  (carte n° 6719).

Ces sondes ont été supprimées des documents nautiques par Avis aux Navigateurs en 1979.

— Le levé a permis de préciser la cote et la position du haut-fond de 6 m situé dans le Sud de l'îlot Du Ana à 2,5 milles (carte n° 1856) et dont l'origine remonte au levé de reconnaissance de l'ICA Blavin (1970) précité. Il s'agit en fait d'une partie particulièrement élevée de la barrière sous-marine signalée plus haut. La cote minimale trouvée est de 7,6 m par  $\varphi = 22^{\circ}40,3' S$  et  $G = 167^{\circ}17,8' E$  (coordonnées IGN 1972). Une autre cote formant minimum relatif, et qui correspond au haut-fond Blavin est de 7,9 m par  $\varphi = 22^{\circ}40,0' S$  et  $G = 167^{\circ}17,7' E$  (coordonnées IGN 1972).

<sup>(19)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.

— Enfin un obstacle particulièrement dangereux de 3,2 m est à 3,5 milles dans l'Ouest de l'îlot Amère, par  $\varphi = 22^{\circ}27,1' S$  et  $G = 167^{\circ}02,0' E$ . Ce haut-fond isolé correspond à la sonde 2,7 m qui existe approximativement au même emplacement sur les documents en service.

Du point de vue nautique, les résultats du levé peuvent être résumés de la façon suivante :

— La zone concernée, quoique de bathymorphologie complexe et malgré la présence de nombreux dangers pour la navigation, se révèle parfaitement navigable sur de larges étendues.

— Les voies à recommander (voir planche n° 9) sont celles qui correspondent à l'hydrographie totale précédemment définie soit :

— La route relevant le phare du Cap N'Doua au 339° pour passer entre l'îlot Ugo et les récifs Péo 1, Péo 2 et Péo 3. Cette voie, déjà très pratiquée, est saine mais le plafond disponible, dans sa partie Nord, est limité à 9,4 m.

— La route relevant le phare du Cap N'Doua au 320° pour gagner le Canal de la Havannah par l'Est des récifs Péo 2 et Péo 3, tout en restant au Sud de Péo 1. Cette route, nouvelle, est légèrement plus étroite (1 000 m) mais le plafond qui y est partout assuré est de 20 m au moins au Sud de la ligne Ugo-Péo 1.

— La route au 125°-305° entre le récif Péo 3 et le Sud de l'îlot Infernal, qui doit remplacer la route traditionnelle au 120°. Cette dernière offre en effet pour les grands navires, l'inconvénient de survoler des fonds faibles — ceux de la barrière immergée déjà décrite — et de s'approcher excessivement des hauts-fonds Blavin de 7,6 et 7,9 m cités ci-dessus. Le seul inconvénient de la route à 125° est d'atterrir un peu plus au large de l'île des Pins.

— La route au 037°-217° permettant le franchissement de la passe de la Sarcelle en empruntant des fonds toujours supérieurs à 20 m.

— La route relevant le Pic Meunier (île des Pins) à 059°30' pour accéder au mouillage et aux wharfs de Kuto depuis la « passe » située entre l'îlot Infernal et le récif Kué. Cette route est certainement la meilleure pour atteindre Kuto. Elle est saine, mais étroite (de 800 à 250 m) si l'on ne tient compte que de la partie « totalement hydrographiée ». Les fonds y sont de 12,4 m au minimum. L'accès final aux points d'accostage ou de mouillage y est sain, avec des fonds diminuant régulièrement mais partout supérieurs à 8 m sauf à l'intérieur même de la baie.

— La route d'accès au mouillage d'Alcmène, au Nord de l'îlot Alcmène (Brosse), en provenance du Nord-Ouest c'est-à-dire en contournant l'îlot Bayonnaise par le Sud. Cette route, successivement au 130°-310°, 090°-270° puis 129°-309° offre des fonds supérieurs à 14 m sur au moins 400 m de large.

— La route d'accès au même mouillage d'Alcmène mais en provenance du Sud, passe à travers une zone malsaine, hérissée de hauts-fonds de

quelques mètres mais non-visibles. On a néanmoins pu reconnaître un chenal de 350 m de large, axé sur le relèvement « Pointe Uënanavo (Kutema) par le bord Est de l'îlot Bayonnaise » au 341°30' où les fonds sont partout supérieurs à 6,1 m et que les petits navires peuvent donc emprunter.

— On peut ajouter à cette liste un certain nombre de parcours utilisables en disposant de cartes et de moyens de navigation adéquats (notamment le radar). Citons, sans vouloir être exhaustifs : l'accès direct entre l'îlot Ugo au Nord et l'îlot N'Do au Sud-Ouest; la route « intérieure » permettant de relier les parages de l'îlot Nouaré au Nord à ceux de l'îlot Amère puis à ceux de l'îlot N'Dié dans le Sud de la passe de la Sarcelle; enfin la route longeant de N'Dié à l'îlot Moro et Kuto le grand récif Dunienta. Sont praticables également les mouillages de Cook à l'Est de l'îlot Amère et de Ouaméo au Nord-Ouest de l'île des Pins, ainsi que le passage Nord-Sud à l'Est du récif Maria.

— Comme devant être déconseillés, nous pouvons relever, surtout parce qu'ils ont été parfois recommandés précédemment, les « passages » suivants : accès au mouillage d'Alcmène par une route au 020°, route entre les récifs Kue et Taperi, passe Nokue entre l'îlot Infernal et le récif N'Diouare, passage de la Sarcelle par une route au 200° sur l'îlot N'Dié.

— Enfin, certains parages sont dangereux et leur hydrographie n'a été qu'incomplète à cause des trop nombreuses têtes qui y ont été découvertes. Ils sont à déconseiller formellement. Citons : la zone au Nord-Est de l'îlot Nouare, toute la zone comprise entre le récif Gué et le récif de ledimengate en passant par le haut-fond de La Dunkerquoise, la région au Nord du récif Ngetiouea dans la partie Ouest de la zone levée, la partie centrale du triangle Kue-Maria-Sarcelle, tous les abords Sud de l'île des Pins (sauf les passes citées).

## II.2.4. Topographie, toponymie

Une partie des travaux de topographie, relative aux abords Sud-Ouest de l'île des Pins, avait déjà été réalisée en mai 1978. A cette date, la couverture photographique de la plus grande partie de la zone du levé était également disponible. Elle avait été réalisée en 1976<sup>(20)</sup>.

Les travaux de terrain ont donc consisté à restituer cette couverture — pour la partie qui ne l'avait pas encore été — ainsi que les photographies de complément qui l'ont complétée dans la partie Sud-Ouest du levé et qui ont été réalisées par l'Aéronautique Navale en 1979.

Toutes les photographies, de l'I.G.N. comme de l'Aéronautique Navale, étaient à l'échelle de

<sup>(20)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

1/20 000 et la restitution a été effectuée à la même échelle à l'exception de la partie Nord, Est et Sud-Est de l'île des Pins couverte par deux minutes à l'échelle de 1/40 000<sup>(21)</sup>.

Toute cette restitution a été effectuée à l'aide de la méthode particulière dont le principe a déjà été exposé au paragraphe II.3.5.3. ci-dessus.

Aucune détermination originale de toponymie ne fut entreprise. Les toponymes choisis proviennent des cartes de l'I.G.N. pour les zones terrestres, des documents nautiques en vigueur pour la partie maritime.

## II.2.5. Courantométrie

L'exposé détaillé des mesures de courantométrie et de leurs résultats disponibles, telles qu'elles ont été effectuées dans la zone Grande-Terre — île des Pins, figurent dans l'étude particulière, annexée à ce rapport, et qui a été déjà citée à propos des observations de marée. Nous n'en donnons ici que les éléments essentiels.

Deux campagnes de courantométrie de subsurface ont été exécutées successivement en 1977-1978 et en 1979. La première<sup>(22)</sup> concernait les routes d'accès à la baie de Kuto (île des Pins). La deuxième comporte 8 mesures réparties sur toute la zone plus une mesure sur l'axe du Canal Woodin, à sa sortie Est, ce qui correspond à un point « hors levé » important intrinsèquement et aussi pour fixer des « conditions aux limites ». L'annexe technique n° 3 ci-après fournit les renseignements détaillés relatifs à ces mesures, notamment leur localisation géographique et leur calendrier.

La méthode d'observation utilisée a été décrite au paragraphe II.3.7.

Pour caractériser les conditions météorologiques correspondant aux mesures effectuées, on a choisi les résultats d'observations faites à Nouméa.

Les résultats des mesures sont détaillés dans le rapport technique annexé. D'une manière générale, et sauf à la station excentrée du Canal Woodin où l'on a rencontré des courants de près de 2 nœuds au maximum, on a mesuré des courants assez faibles pour lesquels la prépondérance des effets de vent est nette. Le courant de marée n'est significatif que dans la partie Nord de la zone où il est essentiellement orienté à l'Est (jusant) et à l'Ouest-Sud-Ouest (flot). L'absence de mesure dans la passe de la Sarcelle, qui a déjà été expliquée par défaut de moyens techniques

<sup>(21)</sup> Ces minutes n'étaient qu'au stade de l'ébauche en mai 1980, les déterminations de référence venant d'être effectuées. Elles ne sont citées ici que pour mémoire.

<sup>(22)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

lourds, ne permet malheureusement pas de dresser un schéma complet de la circulation.

### II.2.6. Magnétisme terrestre

Les Instructions Techniques prescrivait des mesures de la déclinaison du champ magnétique terrestre sur quelques îlots et à l'Île des Pins et en particulier l'observation de la variation diurne en un point borné de manière durable à l'Île des Pins.

Les mesures ont été effectuées au théodolite Wild T0 de septembre à décembre 1978. Elles comprennent :

- deux séries de 25 heures d'observations sur la presqu'île de Kuto à l'Île des Pins, au début et à la fin de la campagne de mesures;
- deux séries de quelques heures d'observations sur les îlots Alcmène (Brosse), N'Dié, Nouaré, Bayonnaise, N'Do, Du Ana et au sommet du Pic Meunier à l'Île des Pins.

Le détail des mesures effectuées, du mode opératoire utilisé, du traitement des données et des résultats trouvés est à rechercher dans le rapport technique particulier n° 4 annexé ci-après.

La déclinaison moyenne sur 24 heures, observée et calculée à l'observatoire de Kuto à l'Île des Pins en septembre puis en décembre 1978, est respectivement de 13°12,1' E et de 13°10,5' E ce qui est cohérent.

Il n'existe pas d'observatoire de référence en Nouvelle-Calédonie, ce qui empêche de réduire ces valeurs et limite les possibilités de comparaison avec les valeurs antérieurement trouvées par l'ICA Blavin<sup>(23)</sup> au même endroit. On peut néanmoins indiquer que la cohérence est bonne de même que celle avec les modèles mondiaux. Les écarts, analysés dans l'étude technique annexée, sont de l'ordre de la dizaine de minutes ou moins lorsqu'on a introduit la variation annuelle théorique.

### II.2.7. Natures de fonds

Sur l'ensemble de la zone levée, un total de 300 échantillons de « natures de fonds » a été prélevé selon une maille régulière de 2 000 m de côté. La technique utilisée a été exposée au paragraphe II.3.9.

Après une première analyse immédiate et rudimentaire, dont les résultats figurent sur les minutes sous la forme de abréviations des natures constatées, les échantillons ont été confiés au laboratoire de géologie sous-marine du Centre ORSTOM de Nouméa.

On a trouvé, comme il est normal, une répartition variable de sable plus ou moins grossier, de coquillages brisés et de corail. Ces natures sont d'ailleurs peu propices à la tenue des ancres de mouillage.

Il est intéressant de signaler la découverte de corail vivant par grands fonds, de plus de 100 m et parfois de près de 200 m, dans la partie Sud de la zone et jusqu'à l'axe de la vallée sous-marine, orientée du Sud-Est au Nord-Ouest qui a été répertoriée dans l'analyse bathymorphologique. La présence de corail vivant par de telles profondeurs est contraire à toutes les théories et il semblerait qu'il ne puisse s'agir que de corail détritique. Cette hypothèse plausible est contrariée par le fait que ces découvertes ont été fréquentes et surtout que l'on a enregistré un crochage de la benne preneuse en une station faite par 125 m de profondeur. Le doute n'aurait pu être levé que par observation directe, ce qui était hors des possibilités de la Mission.

### II.2.8. Information nautique

On se reportera au paragraphe II.2.3. du présent chapitre pour y trouver la description nautique de la zone et notamment l'analyse des voies recommandées et déconseillées.

Les amers et les marques de balisage sont rares, quasi inexistantes pour ces dernières sauf dans la partie frontière au Nord-Ouest c'est-à-dire la côte Sud de la Grande-Terre, le long du Canal de la Havannah. La navigation s'effectue donc par relèvements optiques et observations radar sur les îlots et même sur les récifs qui parsèment la zone jusqu'à l'Île des Pins. La partie située au Nord, entre les passes de la Sarcelle et de la Havannah est occupée par un parc marin naturel, la réserve « Yves Merlet », dont l'accès est réglementé. Les limites de cette réserve sont matérialisées par des balises tripodes assez peu visibles, qui ne constituent pas des marques officielles de balisage et dont l'entretien est de ce fait aléatoire. C'est pourquoi elles n'ont été ni recensées ni localisées. La mention « balisé » qui figure sur les cartes marines en service semble suffisante à cet égard.

Des photographies panoramiques de vues de côte ont été réalisées et assemblées. Elles sont issues de trois points situés respectivement au Sud de l'Île des Pins (entrée du chenal d'accès Sud à Alcmène), au Sud-Ouest de l'Île des Pins (entrée de la voie d'accès à Kuto) et au Sud-Est du récif Péo 3 (intersection des voies Péo Ouest et Péo Est d'accès à la Havannah).

<sup>(23)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série — vol. 3, fasc. 1-1975 — n° 742.



## II.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES

### II.3.1. Liste des documents établis

La liste des documents établis, telle qu'elle figure ci-dessous, concerne l'ensemble du chantier dont on a dit qu'il avait été ébauché par l'ICA Bonnot en 1977 et dont certains travaux de priorité secondaire restaient à effectuer après mai 1980 par l'IPA Souquièrè.

*Documents définitifs transmis entre mai 1978 et mai 1980*

- 43 minutes d'écriture de bathymétrie :
  - 10 au 1/20 000
  - 27 au 1/10 000
  - 3 au 1/2 500 (dont 2 minutes complémentaires)
  - 3 au 1/2 000
- 10 minutes « mixtes » regroupant écriture de sondages réguliers complémentaires et recherches ponctuelles :
  - 10 au 1/10 000
- 15 minutes de recherches ponctuelles de relevements de fond :
  - 14 au 1/10 000
  - 1 au 1/2 000
- 14 minutes d'écriture de sondage latéral :
  - 5 au 1/20 000
  - 8 au 1/10 000
  - 1 au 1/2 500
- 1 minute d'écriture de dragage hydrographique au 1/10 000
- 12 minutes groupant écriture de topographie et écriture de natures de fonds <sup>(24)</sup> :
  - 12 au 1/20 000
- 6 cartes annotées formant index de hauts-fonds
  - 1 « carte de vues de côte »
  - 9 dossiers de mesure de courant
  - 30 fiches de points géodésiques et d'amers (voir ci-dessous la liste de coordonnées)
  - 5 fiches d'observatoire de marée : Kuto (ancien wharf), Kuto (nouveau wharf), N'Dié, Nouaré, N'Do

— 10 fiches d'observatoire de déclinaison magnétique

— Parmi les documents définitifs, concernant le même levé, qui avaient été dressés par l'ICA Bonnot antérieurement à mai 1978 <sup>(25)</sup> :

— 4 minutes d'écriture de bathymétrie (1 au 1/20 000 et 3 au 1/10 000) ont été complétées et sont incluses dans l'inventaire précédent;

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/2 000 a été transmise sans modification postérieurement à mai 1978;

— 2 minutes de recherches de roches au 1/10 000 ont été complétées et sont incluses dans l'inventaire précédent;

— 2 minutes d'écriture de topographie au 1/10 000 ont été transmises sans modification postérieurement à mai 1978;

— 2 minutes « définitives » au 1/10 000 ont été annulées avec l'accord de l'ICA Bonnot, étant reprises sous forme de minutes de synthèse au 1/20 000.

— Enfin, en mai 1980, quelques documents de rédaction, relatifs au même levé, n'avaient pas été achevés, en attente de compléments de travaux sur les zones non prioritaires. Ils sont récapitulés ici pour mémoire et seront pris en compte dans le rapport de l'IPA Souquièrè, nouveau Directeur de Mission :

— 9 minutes d'écriture de bathymétrie au 1/10 000

— 1 minute d'écriture de topographie au 1/40 000

— 1 minute de « synthèse », groupant écriture de topographie et écriture de natures de fonds, au 1/20 000.

— 132 projections de construction ont été réalisées entre autres documents intermédiaires, pour établir ces documents définitifs.

### II.3.2. Liste de coordonnées

On trouvera dans le tableau n° 2 annexé au présent chapitre la liste des coordonnées des points géodésiques qui ont fait l'objet d'une fiche. Certains de ces points ont déjà été cités dans le rapport de l'ICA Bonnot <sup>(25)</sup>.

<sup>(24)</sup> Ce sont les minutes « de synthèse » dont la nature et le contenu sont décrits au paragraphe II.4.

<sup>(25)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques* — 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

TABLEAU 2  
Nouvelle-Calédonie : zone Grande-Terre — Ile des Pins (MTU fuseau 58)

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classifi- cation comme amers	Observations (voir in fine)
		X	Y			
Ilot Nouaré (Nord)	Pyramide axe et sommet	707 010,60	7 518 715,22	6,0	0	
	Douille scellée dans borne « MHNC 70 »	707 010,62	7 518 715,18	2,0	0	
Ilot Moro (Alfa)	Tube scellé dans borne « Z »	707 006,55	7 518 723,49	2,0	0	
	Mire figaret axe et sommet	745 850,13	7 493 013,04	6,3	0	(1)
Ilot Bayonnaise (Charlie)	Borne « MHNC 70 »	745 850,13	7 493 013,04	2,3	0	(1)
	Signal axe et sommet	748 361,20	7 490 569,35	6,0	0	(2)
Ilot Infernal	Douille scellée dans borne « MHNC 70 »	748 358,80	7 490 569,00	2,0	0	(2)
	Repère scellé dans borne « MHNC 70 » sous mire figaret centrée	743 019,95	7 487 356,09	2,0	0	(1)
Pic Meunier (Ile des Pins)	Piquet scellé dans borne « Infernal I »	743 036,5	7 487 274,4	2,0	0	(1)
	Piquet scellé dans borne « Infernal II »	742 962,2	7 487 305,9	2,0	0	(1)
Baie De Kuto. Ile des Pins (Golf)	Piquet scellé dans borne « MOP 1978 »	751 366,1	7 493 533,6	130	2	
Ilot Alcmène/Brosse (Echo)	Signal axe et sommet	750 085,0	7 492 298,2	7,1	0	ex Camélia MHNC 70 (1)
	Douille scellée dans borne « MHNC 70 »	750 083,8	7 492 296,7	3,1	0	- id -
Ilot Nouaré (Sud)	Signal axe et sommet	753 085,95	7 486 667,55	7,0	0	(1)
	Douille scellée dans borne « MHNC 70 »	753 086,31	7 486 668,63	3,0	0	(1)
Ilot N'Dié	Douille scellée dans borne « MOP 19.8.78 »	706 682,46	7 518 271,13	2,5	0	
	Piquet scellé dans borne	706 769,5	7 518 335,1	3,0	0	
Ilot Du Ami	Piquet scellé dans borne	706 701,6	7 518 280,9	3,0	0	
	Tablette centrale sommet tour	725 794,36	7 507 693,72	11,1	0	
Ilot Du Ana (1)	Signal de sonde sommet tour	725 794	7 507 692	13	0	ordre 6
	Cabron scellé dans borne « MOP 77 »	725 797,72	7 507 697,53	3,6	0	
Ilot Du Ana (2)	Piquet scellé dans borne « MOP 78 »	725 725,57	7 507 536,44	2,5	0	ordre 4
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	734 079,31	7 495 881,31	3,4	0	
Ilot Du Ana (3)	Mire figaret axe et sommet	734 079,31	7 495 881,31	8,5	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 1978 »	737 422,97	7 495 555,39	3,0	0	
Ilot Moro (Bravo)	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	737 444,34	7 495 559,56	2,5	0	
	Douille scellée dans borne « SHOM 1972 »	737 431,71	7 495 552,44	3,0	0	
Ilot Moreliga	Tube axe et sommet	737 425,3	7 495 553,3	2,0	0	
	Signal de sonde axe et sommet	737 513,3	7 495 733,6	6,0	0	
Ilot Koumo	Signal de sonde axe et sommet	737 049,2	7 496 082,1	6,0	0	
	Tube scellé dans borne axe et sommet	737 052,1	7 495 968,9	3,0	0	
Ilot Moenoro	Tube scellé dans borne axe et sommet	737 236,1	7 495 712,5	3,0	0	
	Tube scellé dans borne axe et sommet	737 323,2	7 495 612,7	3,0	0	
Ilot Moreliga	Signal axe et sommet	745 631,85	7 492 463,52	6,4	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	745 630,20	7 492 463,67	2,4	0	
Ilot Koumo	Mire figaret axe et sommet	747 237,80	7 504 917,48	13,9	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	747 237,80	7 504 917,48	7,2	0	
Ilot Moenoro	Signal axe et sommet	747 172,66	7 495 795,79	5,9	0	(1)
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	747 172,66	7 495 795,79	1,9	0	(1)
Ilot Moenoro	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	747 402,64	7 505 018,53	2,5	0	
	Mine figaret axe et sommet	747 402,64	7 505 018,53	6,5	0	

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classification comme amers	Observations (voir in fine)
		X	Y			
Ilot Bayonnaise (Foxtrot)	Signal axe et sommet	748 752,6	7 490 300,0	7,3	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	748 750,6	7 490 299,1	3,3	0	
Ilot Bayonnaise (Hibiscus)	Tour : clou au milieu table observation	748 977,3	7 490 547,0	6,5	0	(1)
	Signal axe et sommet	748 976,7	7 490 546,3	8,5	0	(1)
	Fût de ciment axe et sommet	748 977,3	7 490 547,0	2,0	0	(1)
Baie Ouameo — Ile des Pins (Zoulou)	Signal axe et sommet	750 001,18	7 500 630,21	100,5	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 77 »	749 997,12	7 500 628,75	96,5	0	
Presqu'île de Kuto — Ile des Pins (Hôtel)	Signal axe et sommet	750 275,52	7 490 792,51	7,7	0	
	Douille scellée dans borne « MOP 77 — Hôtel »	750 274,24	7 490 791,17	3,8	0	
	Clou planté dans corail	750 276,40	7 490 791,84	4,0	0	
Ilot Alcmène/Brosse (Delta)	Signal axe et sommet	751 788,78	7 486 116,72	5,8	0	
	Clou scellé dans borne « MOP 77 — Delta »	751 789,63	7 486 115,89	1,9	0	
	Piquet scellé dans borne « MOP 77 — Delta 3 »	751 780,40	7 486 136,92	1,9	0	
Pic N'Ga (Ile des Pins) — Calvaire	Croix axe et sommet	752 586,5	7 492 446,8	257,3	0	
	Borne	752 583,3	7 492 445,4	253,6	0	
Pic N'Ga (Ile des Pins)	Mire figaret axe et sommet	752 651,23	7 492 480,66	265,7	3	Ordre 1 (1)
	Borne	752 651,23	7 492 480,66	260,6	0	Ordre 1 (1)
	Boulon scellé dans socle en béton	752 666,03	7 492 482,61	255	0	Ordre 1 (1)
Vao (Ile des Pins) — Fougères	Piquet scellé dans borne « MOP 1978 »	754 221,7	7 490 506,9	82,2	0	
Kere (Ilot Tio)	Piquet en fer sous pyramide centrée	754 300,9	7 489 478,0	6,5	0	(1)
	Piquet en fer (antenne Toran)	754 310,4	7 489 476,2	4,9	0	(1)
Ilot N'Do	Piquet scellé dans borne « Z »	701 679,67	7 489 689,98	2,0	0	
	Tube scellé dans borne « A »	701 865,00	7 489 851,96	3,0	0	
	Piquet scellé dans borne « R »	701 996,74	7 489 844,75	3,0	0	
	Douille scellée dans fût de béton	701 676,97	7 489 691,27	2,0	0	
Ouara (Ile Ouen)	Signal axe et sommet	689 124,69	7 518 115,52	116	0	
	Borne centrée sur base piquet « IGN 414 »	689 126,52	7 518 115,17	114	0	
Monts Ougone — Pylone radio Reke	Antenne relais radio axe et sommet	697 607,4	7 530 416,8	564	4	IGN 37.24
Phare du Cap N'Doua	Phare axe et sommet	697 807,26	7 522 295,40	194,1	3	IGN 37,25 — ordre 2
	Borne fonte cimentée «37.25.23a»	697 745,80	7 522 338,56	185,2	0	
	Repère SH US	697 906,18	7 522 321,85	181,9	0	
	Croix gravée 1972	697 808,78	7 522 295,57	189,7	0	
	Douille « MOP 77 »	697 808,96	7 522 294,73	189,7	0	

(1) Détermination ancienne corrigée par suite des travaux de géodésie de 1978 : voir chapitre (III) II.2.1.

(2) Coordonnées 1970 redéterminées d'après les observations de 1977 et les travaux de géodésie de 1978 : voir chapitre (III) II.2.1.

CHAPITRE III : NOUVELLE-CALÉDONIE  
LEVÉ DE LA CÔTE EST DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE  
ENTRE LES BAIES DE NAKÉTY ET DE PORT BOUQUET (RÉGION DE THIO)

### III.1. GÉNÉRALITÉS

Le levé systématique du lagon Est-calédonien avait été entrepris par la Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie dès 1961 et poursuivi jusqu'en 1968. A cette date, la partie hydrographiée s'étendait de Touho au Nord à Thio au Sud. Depuis, aucun levé n'avait été réalisé sur cette côte, que ce soit par la M.H.N.C. ou par la M.O.P.

La chaîne de cartes à l'échelle de 1/60 000 du plan de cartographie de Nouvelle-Calédonie, qui couvre tout le lagon, comporte notamment une coupure « P » intéressant la région de Thio, qui est importante du point de vue nautique. Les travaux de levé de 1967-1968 ne correspondaient qu'à une partie de cette coupure P pour laquelle d'ailleurs un certain nombre de travaux de complément (recherches de hauts-fonds, topographie, etc.) n'avaient pas été effectués. Voir planche n° 13.

Le levé prescrit à la M.O.P. consistait, dans ces conditions, à reprendre le levé abandonné en 1968 et à le compléter jusqu'aux limites de la carte P. Ce complément comportait en outre le sondage de la zone hors lagon, toujours dans le cadre de la carte P, soit sur une largeur de 10 milles environ.

Le lagon se présente ici d'une façon très classique en Nouvelle-Calédonie. Sur une largeur moyenne de 6 milles, il offre des fonds moyens de 30 à 50 m avec d'assez nombreux relèvements, particulièrement aux abords du récif-barrière. On y rencontre des récifs intérieurs, affleurants ou sub-affleurants, disposés en général parallèlement à la côte. Les îlots qui se situent sur le récif-barrière ou sur ces récifs intérieurs sont relativement rares ce qui ne facilite pas l'implantation de l'infrastructure du chantier hydrographique, d'autant que les côtes sont très abruptes.

L'intérêt nautique de cette partie du lagon calédonien est indéniable. Au centre de la zone, Thio constitue un port important pour le chargement du minerai de nickel. Au Nord, la baie de Nakéty est également un point de chargement. La baie de Port Bouquet, au Sud, est un excellent mouillage, bien abrité et d'accès aisé même pour de grands navires. Cette région est de plus une zone de transit, les minéraliers empruntant le lagon pour se rendre du Sud au port important de Poro et inversement. La navigation rencontrée concerne donc des bâtiments calant jusqu'à 12 m qui se déplacent longitudinalement ou transversalement au lagon. Dans ce dernier cas, les passes

pour gagner le large sont celles de Thio, la plus importante, de Nakéty et de Toupéti.

Quoiqu'assez bien protégé par un récif-barrière quasi-continu, le lagon est souvent très agité dans cette zone lorsque souffle l'alizé, toujours du Sud-Est parallèlement à la côte et à la barrière extérieure. Cet alizé, fréquemment supérieur à 20 nœuds, provoque un clapot assez court, de 1 à 2 mètres. En revanche les houles du large sont insensibles et les vents de secteur Ouest sont sans effet notable. Du point de vue des travaux hydrographiques, les conditions météorologiques sur cette zone se caractérisent donc par des périodes difficiles voire impossibles pour le levé en vedettes ou même avec le *Corail* entrecoupées de rémissions de plus ou moins longue durée pendant lesquelles les conditions de mer sont excellentes. La visibilité moyenne est bonne à l'exception de périodes de pluies torrentielles assez fréquentes mais de relativement courte durée en général.

Les caractéristiques hydrographiques ne permettent malheureusement pas l'utilisation directe en sondage des bâtiments principaux, *Boussole* ou *L'Estafette*. Les vedettes ont eu un rendement limité par les conditions météorologiques — clapot, visibilité — et c'est encore le *Corail* qui a été encore une fois le moyen le mieux adapté au levé. Le problème majeur pour l'emploi de ce petit bâtiment dans la région est celui de l'éloignement de Nouméa d'où des difficultés de transit, de ravitaillement (eau et gazole) et d'intervention en cas d'incident. Le problème de sécurité en cas d'alerte cyclone a été résolu par la prise d'un coffre en baie de Kouaoua, à une heure de navigation du Nord de la zone, disposition accompagnée du débarquement de l'équipage qui était alors hébergé localement (Gendarmerie ou Société Le Nickel).

Du point de vue organisation de l'emploi des moyens, les caractères du levé, tels qu'ils viennent d'être résumés, ont conduit aux dispositions suivantes :

- emploi du *Corail* pendant des périodes longues, au prix de ravitaillements selon des procédés de fortune;
- emploi des vedettes sur deux zones simultanément ouvertes, dont l'une est située dans un endroit plus abrité <sup>(1)</sup>;

(1) C'est pour cette raison, outre l'intérêt intrinsèque, que le levé de la baie de Port Bouquet a été entrepris alors qu'il dépassait les limites alors fixées à la carte P.

— utilisation de procédés de localisation légers. Le Toran n'a été employé qu'au début et vite remplacé par le radio-guidage <sup>(2)</sup>;

— subdivision du levé en plusieurs phases, le levé régulier étant entièrement exploité avant le début des travaux de compléments, et ce afin de définir les recherches ponctuelles et surtout les investigations à réaliser au sondeur latéral sur les voies à recommander.

La phase de levé régulier s'est déroulée, avec emploi intermittent de moyens variés, de janvier à septembre 1979 :

— *Boussole* et *Corail* en janvier 1979 <sup>(3)</sup>;

— *L'Estafette* de juin à septembre 1979.

Une partie des travaux de complément a été effectuée par le *Corail* en janvier 1980, phase interrompue par une avarie grave du bâtiment.

Une troisième et dernière phase (fin des travaux de complément et sondages du large) devait se situer de juin à août 1980 et n'est pas concernée par ce rapport.

Le potentiel dépensé pour ce chantier, entre mai 1978 et mai 1980, a été de 6 mois-bateaux « disponibles » soit 9 mois-bateaux en termes réels de potentiel. Ce temps ne comprend pas le potentiel employé postérieurement, plus important que prévu, notamment, par suite de l'agrandissement de la zone couverte par la carte P <sup>(4)</sup>.

La rédaction correspondante a été effectuée au fur et à mesure des levés. Les documents devaient, pour la quasi-totalité d'entre eux, être complétés en 1980 en fonction des travaux complémentaires de la troisième phase et de ce fait n'étaient pas disponibles en mai 1980. Ils seront néanmoins cités ci-dessous, au paragraphe 3 du présent chapitre.

## III.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

### III.2.1. Géodésie, localisation à la mer

Alors qu'en 1967 et 1968, on avait rencontré d'assez grosses difficultés techniques dans le domaine de la géodésie et de la triangulation sur cette portion de la côte Est, notamment dues au relief et à la faible densité des points géodésiques disponibles, ainsi qu'à la forme allongée de la zone, les travaux réalisés depuis par l'Institut Géographique National ont permis de reprendre et de développer le chantier en 1978 sans problème.

Aucune détermination géodésique fondamentale ou secondaire ne fut à entreprendre. Les seuls travaux de triangulation à effectuer, pour la localisation des émetteurs de radiolocalisation et des stations de guidage optique, furent de simples rattachements ou à la rigueur des déterminations complémentaires d'ordre 5. Ils furent un peu plus développés pour la partie Sud de la zone, c'est à dire dans la région de Port Bouquet. Lorsque le système Trident fut utilisé en janvier 1980, les balises répondeuses furent installées sur des bornes déjà déterminées.

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM fuseau 58.

La nature de la côte entre Thio et Nakéty, constituée de hautes falaises abruptes, avait déjà en 1968 constitué un obstacle à l'utilisation du guidage optique pour la localisation dans la partie littorale du levé de cette zone. Pour cette raison, les sondages n'y avaient pas été faits, faute de temps et de moyens. C'est pourquoi, lors de la reprise du chantier à la fin de 1978, la décision d'installer une chaîne de localisation radioélectrique Toran fut immédiatement prise.

L'implantation de la chaîne Toran à trois lieux fut conçue pour lever cette bande aveugle, lever la zone située entre Thio et Port Bouquet et également réaliser les travaux complémentaires restant à exécuter au Nord de Thio. Pour les mêmes raisons déjà signalées, c'est à dire la nécessité de réduire le personnel de gardiennage et de maintenance des installations à terre, on étudia puis réalisa une implantation « en triangle » qui regroupa par 2 ou par 3 les émetteurs des 2 couples « X » et du couple « Z ». Malheureusement, la nature géographique de la côte et du lagon ne permit pas d'obtenir un triangle équilatéral et surtout d'éviter des trajets radioélectriques tangents à la côte abrupte et dont la nature est minéralifère. La planche n° 10 donne le schéma d'implantation de cette chaîne Toran, qui ne fut utilisée qu'en janvier 1979.

Les résultats furent décevants, même si deux lieux Toran au moins furent alors le plus généralement utilisables <sup>(5)</sup>. Une explication de la faiblesse de stabilité du réseau réside dans les mauvaises conditions atmosphériques (pluies très abondantes) qui régnèrent à l'époque. Les autres causes ont trait à la mauvaise implantation radioélectrique ainsi qu'à la fatigue du matériel.

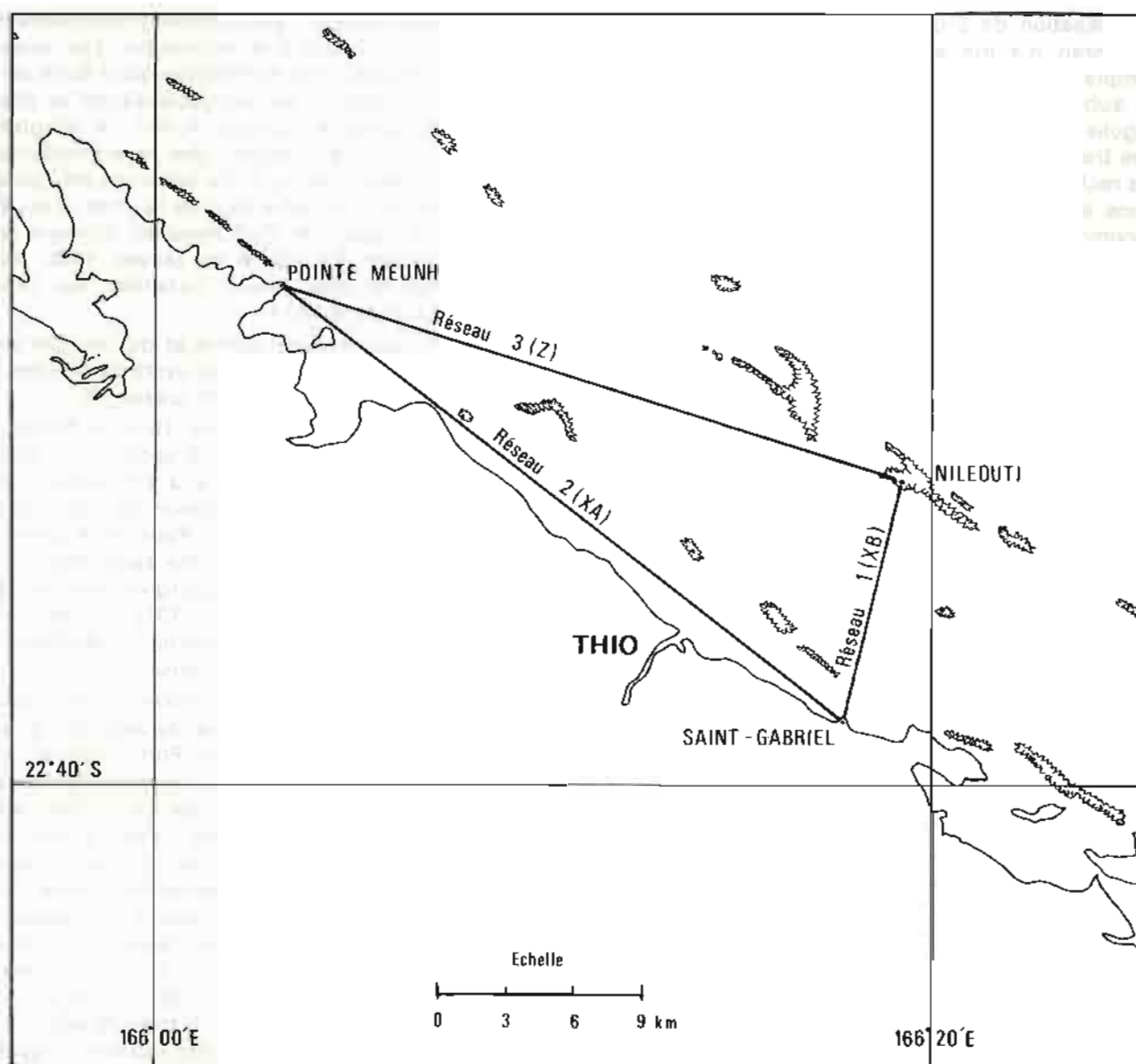
De juin à septembre 1979, il fut décidé de ne pas remettre en place la chaîne Toran et d'assurer une localisation toute optique, décision principalement motivée par le fait que seul un bâtiment — *L'Estafette* — était disponible sur ce chantier. Le guidage optique est alors un procédé de localisation très « rentable » surtout avec les bonnes condi-

<sup>(2)</sup> Le Trident a été également employé en janvier 1980.

<sup>(3)</sup> Phase précédée par une sortie de la *Boussole* en décembre 1978 qui avait été consacrée à la reconnaissance et à la mise en place de l'infrastructure.

<sup>(4)</sup> Annulé.

<sup>(5)</sup> Ces lieux Toran furent complétés par les lieux optiques nécessaires.



PL. 10. — Zone Thio : chaîne Toran

tions de visibilité que l'on trouve généralement en cette saison sur cette côte.

A la reprise du chantier en janvier 1980 par le *Corail*, la très lourde pénalité qu'eut constitué la remise en service de la chaîne Toran et qui était a priori nécessaire pour des travaux le long du littoral Nakéty — Thio où la méthode optique est défectueuse fut très heureusement évitée car la M.O.P. eut provisoirement à sa disposition, à cette époque, un système — réduit — de radiolocalisation Trident constitué d'un interrogateur et de deux balises. L'implantation en fut immédiate et les données de la zone délicate définitivement acquises en quelques jours.

### III.2.2. Marée, nivellement, niveau de réduction

Les travaux hydrographiques de 1967-1968 et notamment les observations simultanées de la marée à l'extrémité de la baie de Canala (observatoire de Mélacé) et à Thio avaient permis<sup>(6)</sup> de reconnaître la quasi identité des marées en ces deux observatoires, distants de 40 km, et donc l'unicité de la zone de marée. Ces observations prouvaient sans nul doute que la marée observée à Thio serait une référence sûre pour tout le levé du lagon dans les limites de la carte P.

Le niveau de réduction des sondes à Thio avait été déterminé d'après les observations de 1967/1968 et repéré. Il est situé à 1,970 m sous le

<sup>(6)</sup> Voir rapport IH Cailliau — *Annales Hydrographique* — 4<sup>e</sup> série — tome 17 — n° 738 — année 1971.

repère A1 scellé sur la surface de la deuxième pile du wharf-transbordeur de la Société Le Nickel à Thio. Ce repère, ainsi que les repères rattachés, ont été retrouvés sans difficulté.

Dans un premier temps, l'observatoire de marée a été réinstallé sur le wharf, au bord d'une de ses piles (janvier 1979). Il est apparu qu'il constituait une gêne pour le trafic de la batellerie locale, et donc qu'il était lui-même exposé. D'autre part, il règne fréquemment un clapot important dans les parages du wharf. Ces inconvénients avaient dû être acceptés en 1967, faute d'un autre emplacement, ce qui n'était plus le cas dorénavant grâce à l'existence d'un petit port pour bateaux de plaisance (Club nautique), situé à environ 400 m dans le Nord du wharf. Il fut donc décidé en juin 1979, à la reprise des travaux, de déplacer l'observatoire de marée jusqu'à un emplacement situé à l'entrée du port de plaisance. De nouveaux repères furent disposés à proximité et le nivellement avec les anciens repères fut effectué.

Les caractéristiques des deux observatoires de Thio figurent sur les planches n° 11 et n° 12.

Les périodes de fonctionnement en furent les suivantes :

- Thio, ancien observatoire (wharf) : du 13 au 31 janvier 1979
- Thio, nouvel observatoire (Club nautique) :
  - du 19 juin au 24 juillet 1979
  - du 4 au 15 septembre 1979
  - du 11 janvier au 1<sup>er</sup> février 1980

On peut remarquer que, les caractéristiques de la marée de Thio étant bien connues après les longues observations réalisées en 1967 et 1968, on n'a pas jugé utile de maintenir l'observatoire en fonctionnement pendant les périodes d'interruption prolongée du chantier.

### III.2.3. Bathymétrie

#### III.2.3.1. Sondage bathymétrique régulier

La planche n° 13 représente les zones sondées en 1979 et en janvier 1980, selon des profils réguliers espacés de 100 m au maximum, les minutes étant établies à l'échelle de 1/10 000. Cette planche rappelle en outre les limites de la zone sondée antérieurement et comprise dans les limites de la carte P<sup>(7)</sup>.

L'écartement des profils a été réduit à 50 m sur les passes intérieures d'accès aux mouillages de Saint-Gabriel, à l'Ouest de la presqu'île Nemmeni et de Toupèti, dans l'Est de la baie de Port Bouquet.

En mai 1980, il restait à exécuter comme sondages réguliers<sup>(8)</sup> :

(7) Voir rapport IH Cailliau — *Annales Hydrographiques* — 4<sup>e</sup> série — tome 17 — n° 738 — année 1971.

(8) Sans tenir compte de l'extension vers l'Est de la carte P.

— le sondage de la partie Nord-Ouest de la baie de Port Bouquet

— le sondage au large du récif-barrière, prévu comme devant s'étendre à 10 milles de ce récif-barrière et être réalisé selon des profils espacés de 1 000 ou 2 000 m.

#### III.2.3.2. Recherche des obstructions

Les recherches de hauts-fonds concernaient aussi bien la zone à lever que celle qui s'étend au Nord de Thio entre l'îlot Niomboua, l'îlot Gouh, l'îlot Niléouti et le récif-barrière, pour laquelle les sondages réguliers avaient été effectués en 1968 selon des profils espacés de 200 m au maximum.

L'analyse des sondages réguliers permet de définir environ 150 recherches ponctuelles et ce nombre fut porté à 200 lors de la réalisation de ces recherches, le complément venant essentiellement de la zone 1968. L'échelle de 1/20 000 qui était couramment alors adoptée pour le levé bathymétrique du grand lagon, dont les profondeurs moyennes sont comprises entre 30 et 50 m, est manifestement insuffisante. L'exemple du haut-fond de 7,5 m découvert dans la rade de Thio et qui est analysé au paragraphe suivant est éditant à cet égard.

Le nombre de recherches fut limité en adoptant la même méthode que celle qui est exposée au chapitre précédant. Les accores intérieurs du récif-barrière, souvent parsemés de dangers en nombre excessif par rapport à l'intérêt nautique furent englobés dans des limites de « zone incomplètement hydrographiée » où sont seules déterminées la topographie des structures visibles sur photographies aériennes et la bathymétrie générale. En échange, la nécessité d'acquérir la « connaissance hydrographique totale » le long des voies les plus empruntées par les navires de moyen et fort tonnages fut reconnue.

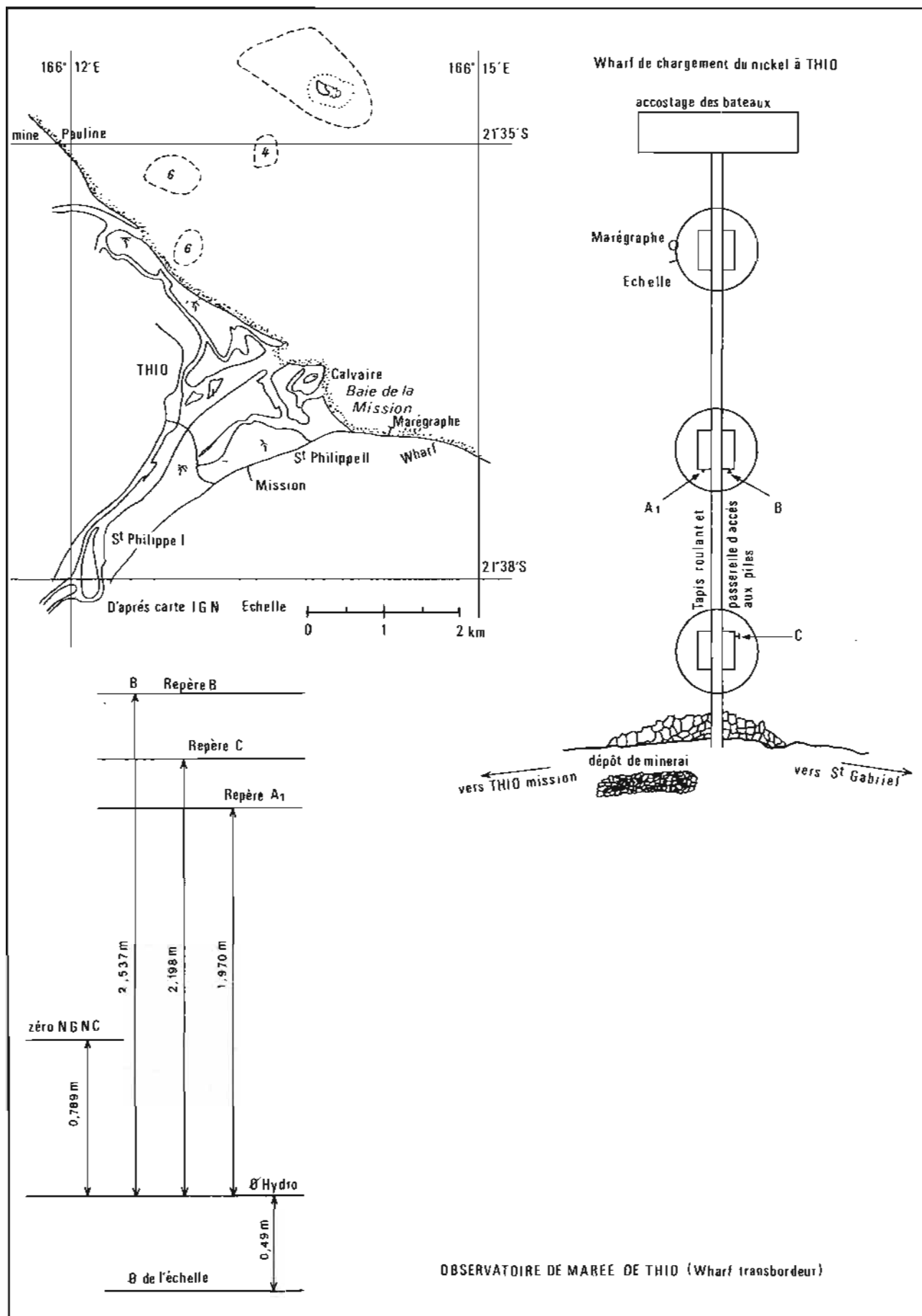
Ce travail de recherches ponctuelles des obstructions était réalisé à 80 % en mai 1980, date à laquelle il restait en outre à effectuer l'investigation au sondeur latéral d'environ 40 milles de voies « à recommander »<sup>(9)</sup>.

#### III.2.3.3. Résultats

Le levé bathymétrique de la zone n'étant pas totalement achevé à la date à laquelle s'arrête ce rapport, il ne peut être question ici que de donner des résultats provisoires.

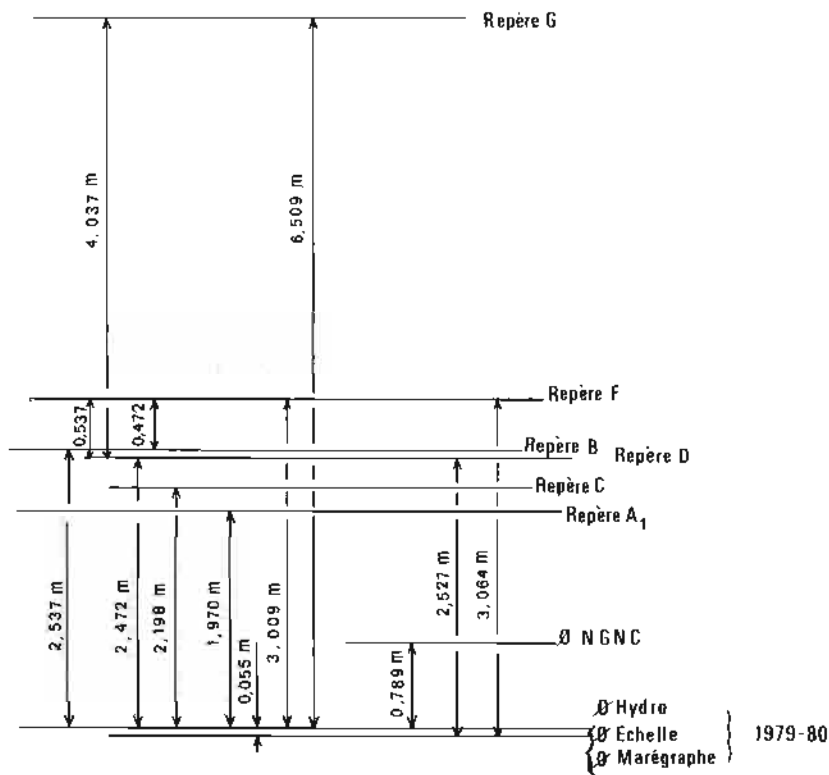
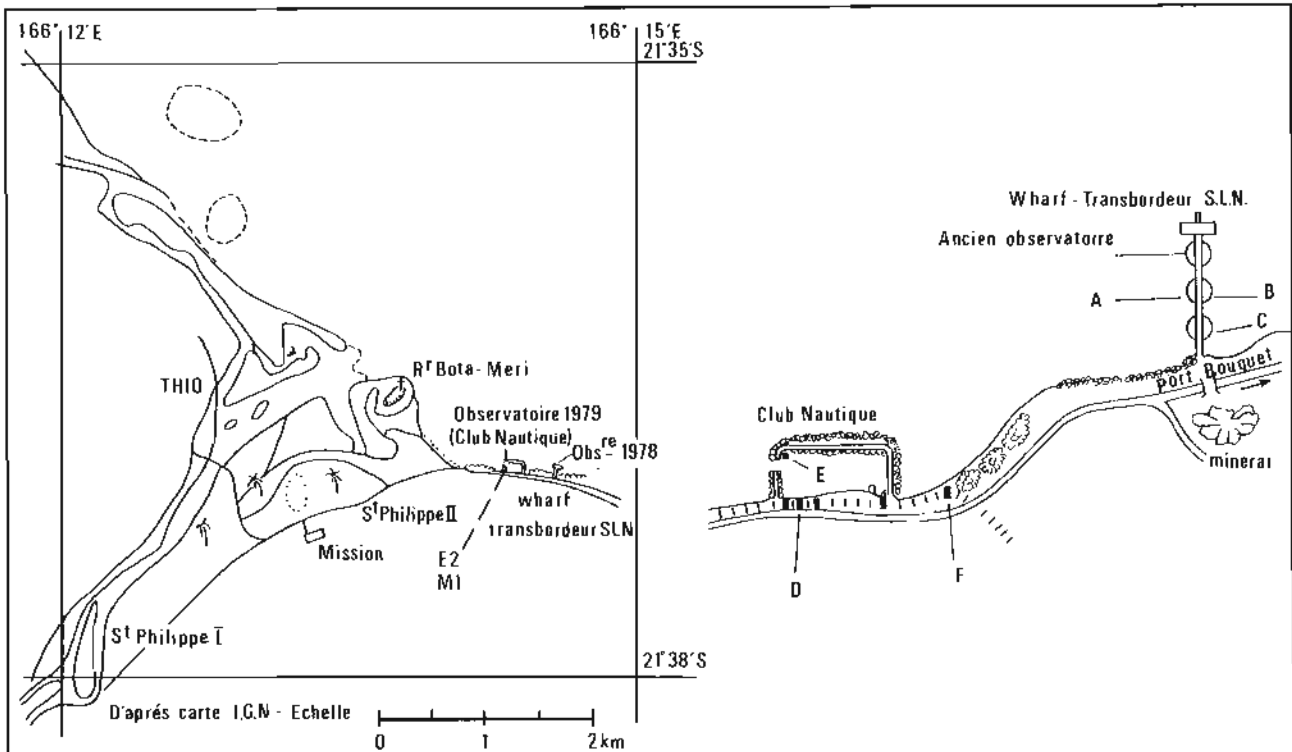
La bathymorphologie générale de la partie du lagon Est-calédonien comprise entre les baies de Nakéty et de Port Bouquet est très classique. Les cartes en service la donnent d'ailleurs déjà avec une assez bonne exactitude. On se trouve en présence de fonds de 20 à 60 m, parsemés de structures coralliennes de plus ou moins grande

(9) Suivi naturellement de la recherche ponctuelle des obstructions détectées lors de cette investigation.



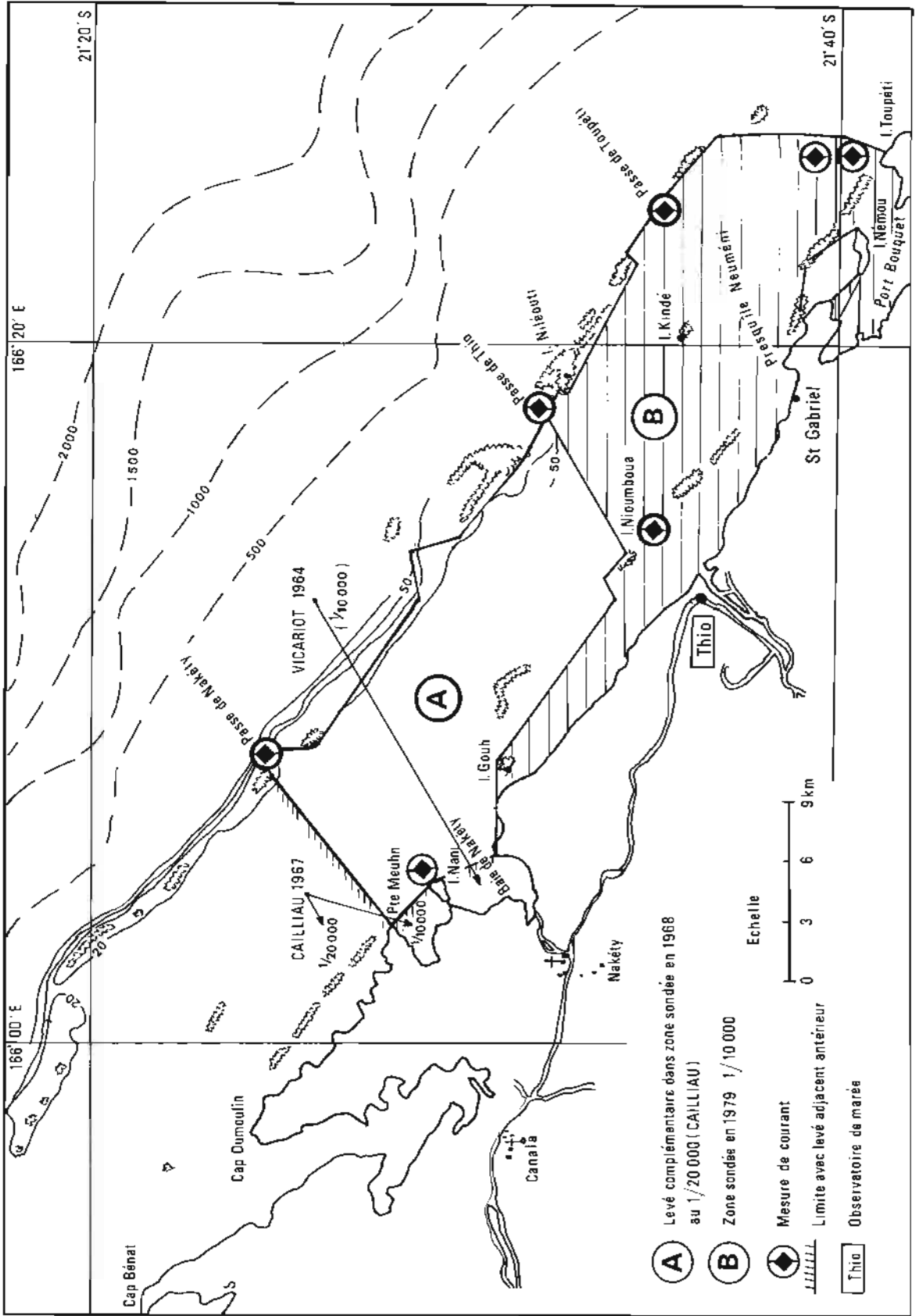
PL. 11. — Observatoire de marée de Thio (wharf)





OBSERVATOIRE DE MAREE DE THIO (Club nautique - Port de plaisance)

PL. 12. -- Observatoire de marée de Thio (Club nautique)



PL. 13 — Zone Thio : zones sondées

extension, dont les sommets sont affleurants, sub-affleurants ou beaucoup plus profondément immergés. Le récif-barrière, qui court parallèlement à la côte à une distance de 5 à 7 milles est partout présent avec seulement trois passes bien marquées, celles de Nakéty, de Thio et de Toupéti. Sa structure est néanmoins complexe, avec des ramifications ou des blocs isolés qui ne sont pas toujours affleurants. Des récifs intérieurs, également affleurants ou sub-affleurants, s'allongent de manière plus discontinue mais toujours parallèlement à la côte. Citons celui de Kindé vers Nakéty, celui qui s'étend en face de Thio de Nioumboua à la presqu'île Nemméni avec de nombreuses passes plus ou moins praticables, celui portant le Banc Calédonienne et l'îlot Kindé.

Les rades de Thio, de Saint-Gabriel (en face de la pointe Moara) et partiellement la baie de Port Bouquet sont en général saines et leur accès a été reconnu comme très praticable mais parfois peu large.

Les obstructions les plus importantes à signaler dans la zone sont :

- le haut-fond coté à 6 m qui se trouve dans l'axe de la passe de Toupéti;
- les nombreux obstacles qui s'étendent assez loin dans l'Ouest de l'îlot Niléouti, en rendent l'accès malaisé, mais surtout engagent l'importante passe de Thio dans sa partie Sud-Est;
- les nombreux hauts-fonds qui parsèment la partie Nord-Ouest de la rade de Port Bouquet, au Sud de la presqu'île Nemméni, où le mouillage doit être déconseillé;
- et surtout le haut-fond de 7,5 m découvert en rade de Thio, à peu près sur la route entre le mouillage et la voie recommandée de sortie de Thio, marquée par l'alignement lumineux au 228°. Ce haut-fond se trouve dans l'axe du secteur blanc du « feu du transbordeur ». Du point de vue hydrographique, il est important de signaler que ce haut-fond a été découvert en janvier 1980, lors d'une recherche ponctuelle décidée au vu des résultats du levé régulier effectué auparavant selon des profils espacés de 100 m. Or le haut-fond n'avait « marqué » qu'à 21,5 m par fonds moyens de 28 m. Il s'agit là d'une macrostructure corallienne relativement exceptionnelle (rapport largeur/hauteur voisin de 2 au lieu de 5 généralement) mais dont la découverte eut été très improbable si le levé de base avait été fait à l'échelle 1/20 000.

### III.2.4. Topographie

La Mission dispose de la couverture en photographies aériennes à l'échelle 1/20 000 des parties terrestres et récifales de l'ensemble de la zone. Ces photographies ont été réalisées par l'Aéronavale. Elles sont anciennes (1965) et de qualité médiocre mais devraient néanmoins être suffisantes

pour permettre l'établissement des minutes de topographie<sup>(10)</sup>.

La localisation des points de calage et la restitution des photographies n'avaient pas été entreprises en mai 1980.

### III.2.5 Courantométrie

Des mesures de courant, à 5 m sous la surface, étaient demandées, « dans les passes, dans les zones de mouillage et en quelques points répartis sur les voies recommandées ». Six stations ont été choisies en conséquence dont trois correspondent aux trois passes à travers le récif-barrière et les trois autres à la grande voie de transit intérieure au lagon, à la hauteur des mouillages de Port Bouquet, Thio et Nakéty.

Ces observations ont été effectuées pour deux d'entre elles en septembre 1979 (*L'Estafette*) et pour les quatre dernières en janvier 1980 (*Corail*). Il n'est rendu compte ici que des mesures « validées », certaines tentatives s'étant soldées par un échec dû au mauvais fonctionnement du courantomètre.

La méthode d'observation a été décrite au paragraphe II.3.7. ci-dessus. Elle a donné satisfaction. Aucun appareil n'a été perdu.

Les conditions météorologiques ont été observées sur zone par le bâtiment qui exerçait la surveillance du dispositif.

Le tableau n° 3 résume les observations effectuées.

Les courants relevés sont faibles (0,2 à 0,3 nœud).

### III.2.6. Natures de fonds

65 échantillons, prélevés par le *Corail* en janvier 1980 à l'aide d'une benne preneuse classique, ont été recueillis aux sommets d'une maille carrée de 2 km de côté. Ces prélèvements correspondent à 60 % de la totalité du travail à réaliser.

## III.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES

### III.3.1. Liste des documents établis

Le chantier n'étant pas achevé à la fin de la période concernée par ce rapport c'est à dire au mois de mai 1980, on ne citera ici que les docu-

<sup>(10)</sup> Elles n'ont par contre pas été utiles pour aider à la détection des hauts-fonds.

TABLEAU 3

Zone Thio — Mesures de courant effectuées

Repère MOP	Position	Immersion (m)	Durée (h)	Date
79/12	21° 40,4' S — 166° 25,4' E Nord/l. Toupéti/0,8 M	5	8	14 — 15/9/1979
79/13	21° 39,5' S — 166° 25,4' E Nord/l. Toupéti/1,6 M	5	95	15 — 19/9/1979
80/01	21° 34,5' S — 166° 15,6' E N.E./Feux alignement de Thio/2,7 M	5	99	12 — 16/1/1980
80/02	21° 35,45' S — 166° 24,2' E Passe de Toupéti	5	99	17 — 21/1/1980
80/03	21° 28,75' S — 166° 05,0' E N.E./l. Nani/0,6 M	5	113	23 — 28/1/1980
80/04	21° 31,75' S — 166° 18,05' E Passe de Thio	5	75	28 — 31/1/1980
80/05	21° 25,2' S — 166° 08,25' E Passe de Nakéty	5	65	28/1 — 1/2/1980

ments dont la rédaction avait été achevée ou ébauchée à cette date.

Ces documents sont les suivants :

- 11 minutes d'écriture de bathymétrie au 1/10 000
- 7 minutes de recherches ponctuelles de relevements de fond :
  - 1 au 1/20 000, correspondant à la zone Nord de Thio, dont le sondage régulier date de 1968
  - 6 au 1/10 000
- 5 minutes groupant écriture de topographie, écriture de natures de fonds avec indication des données bathymétriques (minutes dites « de synthèse ») au 1/20 000.
- 7 dossiers de mesure de courant

— 13 fiches de points géodésiques et d'amers (voir ci-dessous la liste de coordonnées)

— 2 fiches d'observatoire de marée : Thio (wharf), Thio (Club nautique).

22 projections de construction avaient été jusque là nécessaires pour établir les 23 minutes citées.

### III.3.2. Liste de coordonnées

On trouvera dans le tableau n° 4 annexé au présent chapitre la liste des coordonnées des points géodésiques qui ont fait l'objet d'une fiche.

TABLEAU 4  
Nouvelle-Calédonie : zone Thio (MTU fuseau 58)

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classification comme amers
		X	Y		
Port Bouquet (Michel)	Repère scellé dans roche « Michel MOP 79 »	643 002,6	7 599 254,8	1,5	0
	Signal axe et sommet	642 998,1	7 599 255,0	5,5	0
Port Bouquet (Boato)	Piquet dans roche « MOP 79 »	638 649,4	7 602 289,0	2,5	0
	Signal axe et sommet	638 648,8	7 602 288,3	6,5	0
Port Bouquet (Kersaint)	Piquet en fer scellé dans borne « Kersaint I »	640 974,6	7 602 295,6	0,5	0
	Piquet en fer scellé dans borne « Kersaint II »	640 987,3	7 602 298,4	2,0	0
	Piquet en fer scellé dans borne « Kersaint III »	640 985,7	7 602 292,1	1,0	0
	Signal axe et sommet	640 974,9	7 602 295,8	5,5	0
Port Bouquet (Mère)	Repère en bronze scellé dans borne « Mère »	640 495,0	7 603 716,1	2,0	0
	Signal axe et sommet	640 494,4	7 603 714,0	7,0	0
Pointe Meunh	Piquet en fer	609 164,5	7 625 475,7	84,0	0
	Mire figaret, axe et sommet	609 167,6	7 625 478,7	88,0	0
Bogota – Pointe Meunh	Station T3, axe des 4 douilles scellées dans le ciment	608 858,1	7 625 201,4	160,0	0
	Piquet scellé dans borne marquée « Meunh »	609 247,3	7 625 322,4	2,5	0
	Pyramide centrée sur borne (axe et sommet)	609 247,3	7 625 322,4	7,1	0
	Clou dans cabrion scellé dans béton	609 076,0	7 625 174,1	2,1	0
Saint-Gabriel	Piquet en fer scellé dans bloc béton	609 330,6	7 625 498,2	9,6	0
	Borne ST 139 (axe du « 3 » du 139)	634 025,6	7 605 998,5	36,5	0
	Signal excentré (axe et sommet)	634 022,7	7 605 995,1	40,0	0
	Repère scellé dans plaque marqué R 120	633 980,8	7 606 030,2	36,0	0
Ilot Niléouti	Piquet en fer scellé dans tube en PVC « MOP 78 » (axe et sommet)	636 671,4	7 616 517,0	2,5	0
	Pyramide centrée sur borne en ciment (axe et sommet)	636 671,4	7 616 517,0	6,5	0
	Cylindre d'acier scellé dans tube en PVC « Thio »	636 647,7	7 616 584,3	2,8	0
	Piquet en fer scellé dans du ciment (antenne F.B.)	636 688,3	7 616 517,6	2,5	0
	Clou dans cabrion scellé dans du ciment (antenne F.Z.)	636 735,0	7 616 521,8	2,4	0
Ilot Kinde	Piquet en fer scellé dans du ciment (antenne R F <sub>A</sub> )	636 645,9	7 616 581,6	2,3	0
	Piquet en fer scellé dans borne ciment marquée « Kinde MOP 79 » (axe et sommet)	638 522,1	7 610 763,4	2,8	0
	Cabrion scellé dans un fût (axe et sommet)	638 520,0	7 610 764,8	6,3	0
Ile Némou-Gerve	Signal (axe et sommet)	641 741,9	7 602 465,5	8,1	0
	Piquet en fer scellé dans le ciment « Gerve »	641 742,8	7 602 464,8	4,1	0
Borne Alban	Signal (axe et sommet)	642 916,2	7 602 495,4	6,8	0
Ile Toupéti-Wilfrid	Piquet en fer scellé dans borne en béton	642 916,6	7 602 496,1	2,8	0
	Piquet en fer cimenté (axe et sommet)	644 820,10	7 600 616,85	2	0
Ile Toupéti – Borne Nord	Borne en PVC marquée « MOP 78 Toupéti »	647 285,9	7 601 297,3	122	0
	Mire figaret excentrée (axe et sommet)	647 291,3	7 601 296,9	126	0

## CHAPITRE IV : NOUVELLE CALÉDONIE LEVÉ AU NORD DE LA CÔTE OUEST DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE ENTRE KOUMAC ET GOMEN

### IV.1. GÉNÉRALITÉS

Le levé concerne la zone au Nord de la côte Ouest de Nouvelle-Calédonie, à la hauteur des villes de Koumac et de Gomen, zone correspondant à la coupure I du plan de cartographie à l'échelle de 1/60 000. Elle comporte une partie de lagon, large ici de 6 milles, et une partie à l'extérieur du récif-barrière, jusqu'à une distance de 12 milles environ de celui-ci.

La limite au Nord correspond au levé effectué par l'ICA Bonnot en 1976 dans la région de Paagoumène (coupure J du plan de cartographie) c'est-à-dire le parallèle 20°34' S environ. Au Sud, la zone à lever est délimitée par le levé de la baie de Gomen réalisé en 1969 par l'IHP Perez (1).

La longueur de côte concernée est d'environ 25 km.

Cette région de Nouvelle-Calédonie est récemment devenue importante sur le plan hydrographique du fait de l'implantation qui y est projetée d'une usine de traitement du minerai de nickel (« usine du Nord » ou « Norcal ») selon un procédé hydrométallurgique engendrant des « boues rouges » dont le rejet dans l'océan est prévu par émissaire traversant le lagon puis, au-delà, atteignant les profondeurs supérieures à 1 000 m. L'installation de ce centre industriel, susceptible d'intervenir au début des années 80, devrait également entraîner un regain de la navigation de bâtiments de plus ou moins gros tonnage dans les parages. Le site projeté se situe au Sud de Paagoumène et l'hydrographie de la zone « carte I » devenait nécessaire pour aider à la détermination du tracé de l'émissaire sous-marin et pour permettre les accès au futur site portuaire et industriel par les passes et chenaux existant au Sud de Koumac.

Du fait du caractère particulier du besoin hydrographique, les Instructions précisaient un certain nombre de travaux spéciaux à réaliser, qui concernaient notamment la connaissance fine de la bathymétrie au large du récif-barrière et la mesure de paramètres hydrologiques à l'intérieur comme à l'extérieur du lagon. Dans le présent

rapport, ces travaux ne seront pas mentionnés car seul le levé bathymétrique classique de l'intérieur du lagon était ébauché en mai 1980. Le chantier n'avait en fait été ouvert qu'en mars 1980.

Quelques données bathymorphologiques générales peuvent être utiles pour situer les conditions générales du levé. A terre du récif-barrière, on trouve un lagon peu profond dont les fonds dans les parties navigables varient de 5 à 20 m environ. Les récifs intérieurs affleurants ou sub-affleurants en occupent une assez large proportion (récifs Infernet, Karembé) et les parties hydrographiquement intéressantes sont en fait constituées de chenaux (L'Infernet, La Fine, Kendec) dont la largeur est de l'ordre de 1 à 2 milles. Le récif-barrière, très bien marqué, est large de 1 000 à 2 000 m. Les seules passes sont, au Sud de la zone, celles de Koumac et de Gomen (passe Deverd). Au large, les fonds augmentent rapidement et a priori régulièrement. Cependant la présence de canyons transversaux n'est pas exclue et sera recherchée étant donné leur intérêt potentiel pour la pose de l'émissaire sous-marin.

Les conditions de mer qui furent rencontrées par les vedettes hydrographiques ne furent pas, en mars et avril 1980, aussi satisfaisantes qu'il était espéré étant donné le caractère de bassin fermé que présente le lagon dans cette région. En présence d'un alizé toujours très frais, notamment après 11 heures du matin, le clapot levé dans les zones où le fetch est important et principalement dans la partie Nord-Ouest atteint fréquemment 1,5 m de creux, ce qui rend le travail en vedette difficile voire impossible.

Le *Corail* était certainement, dans ces conditions, le moyen le mieux adapté. Malheureusement, l'éloignement du chantier de Nouméa et le fait que le transit maritime avec ce port ne peut être effectué entièrement par le lagon, rendaient délicate l'intervention de ce bâtiment. Le levé fut donc, en mars et avril 1980, confié à la *Boussole* qui y consacra 1 mois de son activité (soit 1,5 mois-bateau en terme réel de potentiel) et y exécuta environ 30 % des sondages réguliers à l'intérieur du lagon. Le levé devait se poursuivre ensuite, à partir de mai 1980, sous la direction de l'IPA Souquière.

Les conditions logistiques de ce chantier furent favorables malgré la distance de Nouméa. Le wharf de Paagoumène peut recevoir la *Boussole* ce qui résout les problèmes de ravitaillement. Les équipes à terre reçurent en outre de nombreux

(1) Voir rapports de mission de :  
— l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2-1980, n° 755.  
— l'IHP Perez, *Annales Hydrographiques*, tome XVII, année 1971.

concours locaux et notamment ceux des éléments déjà installés dans la région de la Société Cofremmi, société qui assure l'étude et la réalisation du complexe industriel de traitement du minerai de nickel. C'est ainsi notamment que la Cofremmi mit une villa à la disposition de la Mission à Koumac pour la durée des travaux.

## IV.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

### IV.2.1. Géodésie, localisation à la mer

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits dans le système géodésique IGN 72 en projection MTU fuseau 58. Aucune détermination géodésique fondamentale ne fut nécessaire étant donné l'infrastructure préexistante, provenant des travaux de l'Institut Géographique National et des levés hydrographiques adjacents<sup>(2)</sup>. Une triangulation complémentaire, effectuée préalablement à la première intervention de la *Boussole* c'est-à-dire en février 1980 puis poursuivie en même temps que se déroulaient les premières opérations de sondage permit la localisation des stations de guidage optique.

Le relief de cette partie de la côte Ouest calédonienne, par la présence de plaines ou de collines littorales, est d'ailleurs favorable aux travaux géodésiques. La côte est également assez facile à équiper de stations de guidage optique de portée suffisante. On a donc préféré ce moyen de localisation, au moins dans un premier temps, étant donné la facilité de sa mise en place. Les conditions de visibilité des embarcations de sonde, ainsi localisées, furent suffisantes à l'intérieur du lagon. Le levé du large devait ultérieurement nécessiter la mise en place de la chaîne de localisation radioélectrique Toran.

### IV.2.2. Marée, nivellement, niveau de réduction

La M.O.P. installa, quelques jours avant le début de levé, trois observatoires de marée, respectivement à Paagoumène, à Koumac et à Gomen. Le premier permettait de reprendre dans les mêmes conditions les mesures effectuées par l'ICA Bonnot<sup>(3)</sup> en 1976 pour le levé de la carte J et d'obtenir ainsi les éléments nécessaires à la réduction des sondages. Les observations simultanées

<sup>(2)</sup> Voir rapports de mission de :  
— l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2-1980, n° 755.  
— l'IHP Perez, *Annales Hydrographiques*, tome XVII, année 1971.

<sup>(3)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2-1980, n° 755.

à Gomen doivent permettre de rattacher le niveau des sondes du levé de Gomen (Perez, 1969) à celui de Paagoumène. Le deuxième observatoire à Koumac, plus central par rapport au présent levé, devra à terme devenir l'observatoire unique de référence. Les observations simultanées à Paagoumène, Koumac, Gomen et Nouméa, par analyse des concordances, doivent permettre de définir des zéros cohérents qui seront d'ailleurs rattachés au Nivellement Général de Nouvelle-Calédonie<sup>(4)</sup>.

En mai 1980, l'état des travaux effectués était le suivant :

— Les trois observatoires avaient été installés, à Paagoumène dans les mêmes conditions qu'en 1976, à Gomen dans une position très proche de celle de 1969 et à Koumac, chacun étant placé sur un wharf.

— Les observations à Paagoumène ont été contrôlées du 6 au 19 mars 1980 par un opérateur « recruté » localement mais elles n'ont pas été validées et l'on est revenu ultérieurement, avec le début des travaux de levé, à un contrôle par la Mission elle-même. Les observations ont été ensuite continuées du 19 mars au 10 avril 1980, date d'interruption du levé.

— Le marégraphe de Koumac a fonctionné sans interruption, sous le contrôle de la Mission, du 23 mars au 10 avril 1980.

— L'observatoire de Gomen a été endommagé (sans avarie pour le marégraphe lui-même) lors du passage d'une dépression tropicale peu de temps après son installation le 6 mars 1980. Il n'avait pas encore été remis en fonction le 5 mai 1980.

Les planches 14, 15 et 16 décrivent la situation des trois observatoires.

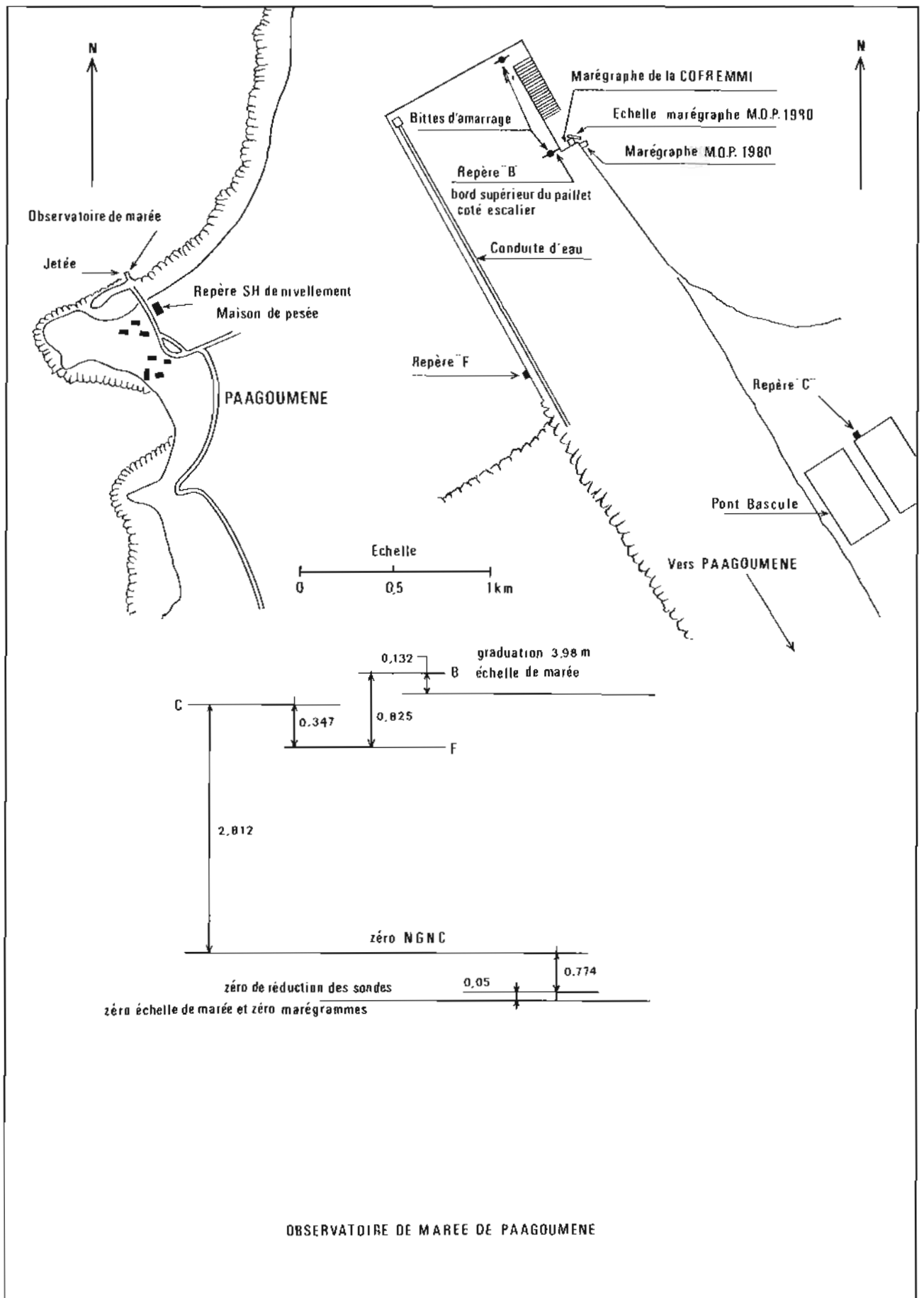
### IV.2.3. Bathymétrie

La planche n° 17 représente la zone sondée du 19 mars au 10 avril 1980, dans le lagon, depuis la limite du levé de l'ICA Bonnot (1976) et en progressant du Nord vers le Sud. Les profils sont espacés de 100 m au maximum en vue d'une rédaction à l'échelle de 1/10 000. Aucune recherche ponctuelle de hauts-fonds n'avait été effectuée dans cette zone à la fin de la période couverte par ce rapport.

### IV.2.4. Courantométrie

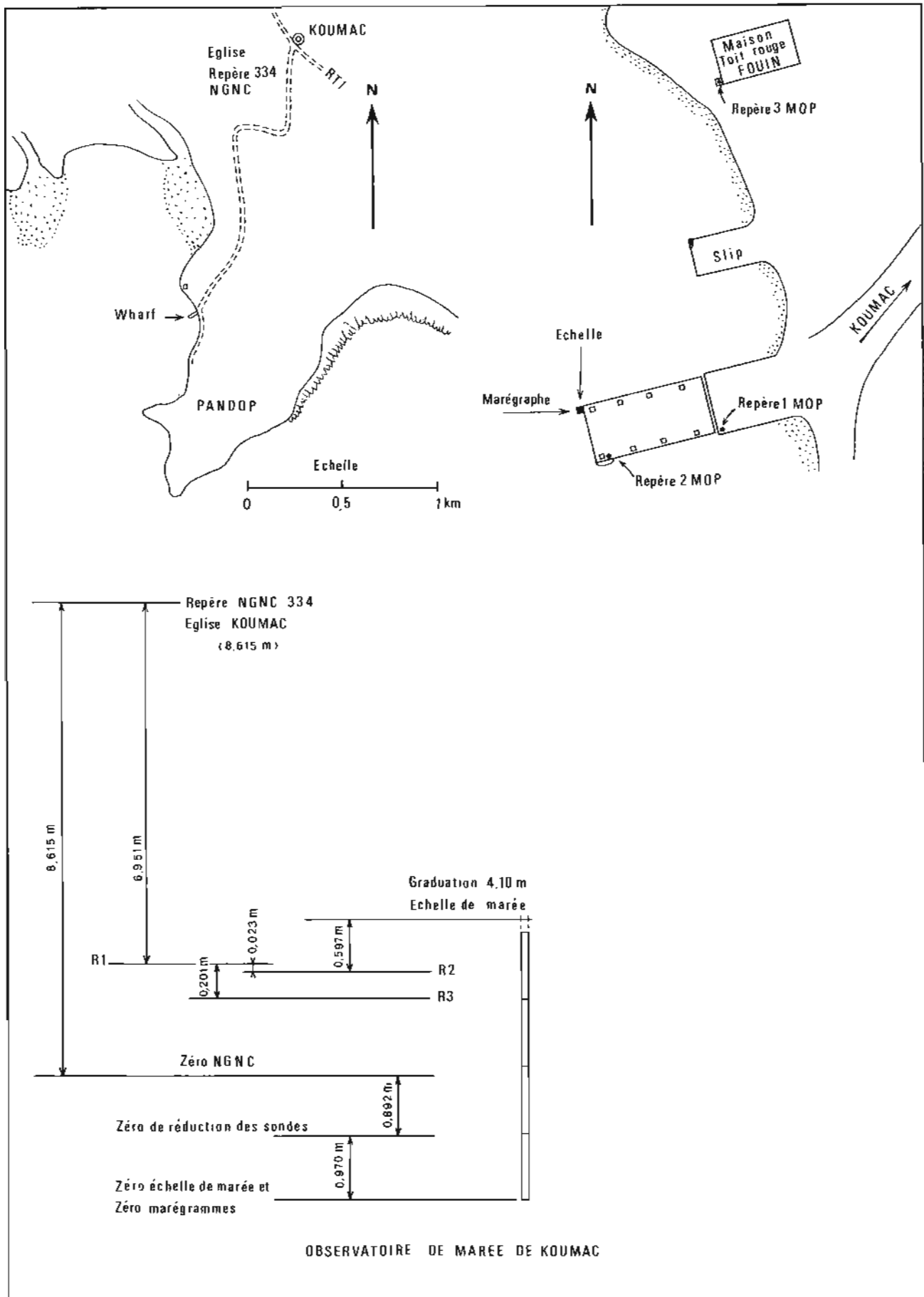
Une mesure de courant à l'immersion moins 5 m a été effectuée pendant 6 jours, du 4 au

<sup>(4)</sup> En définitive, le zéro de réduction pour l'ensemble de la zone a été choisi en concordance avec celui défini à Paagoumène pour le levé Boulard-Bonnot (1975-1976) adjacent au Nord. Il est situé à 2,556 m au-dessous du repère R1 de Koumac (voir Pl. 15).

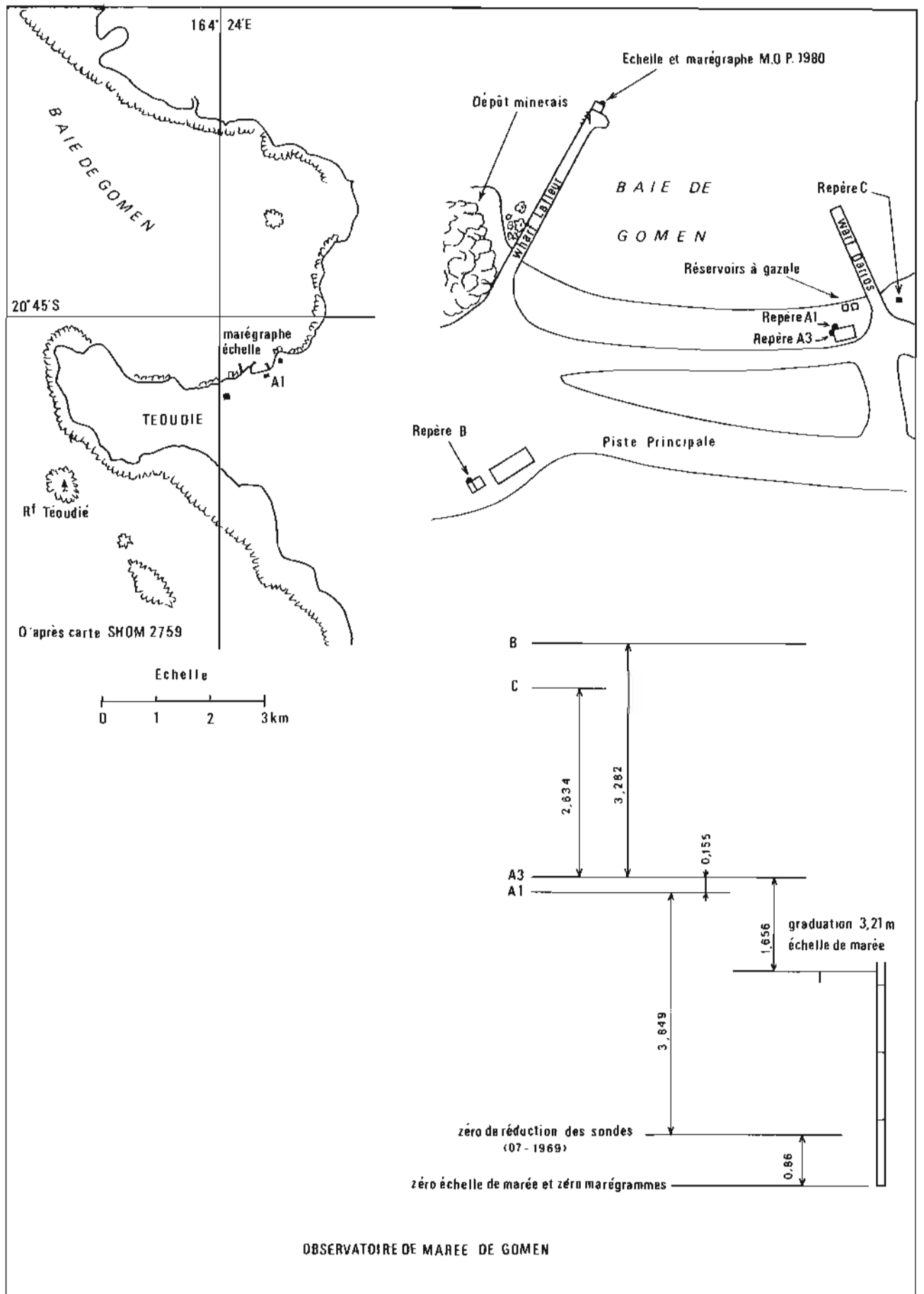


PL. 14. — Observatoire de marée de Paagoumène.

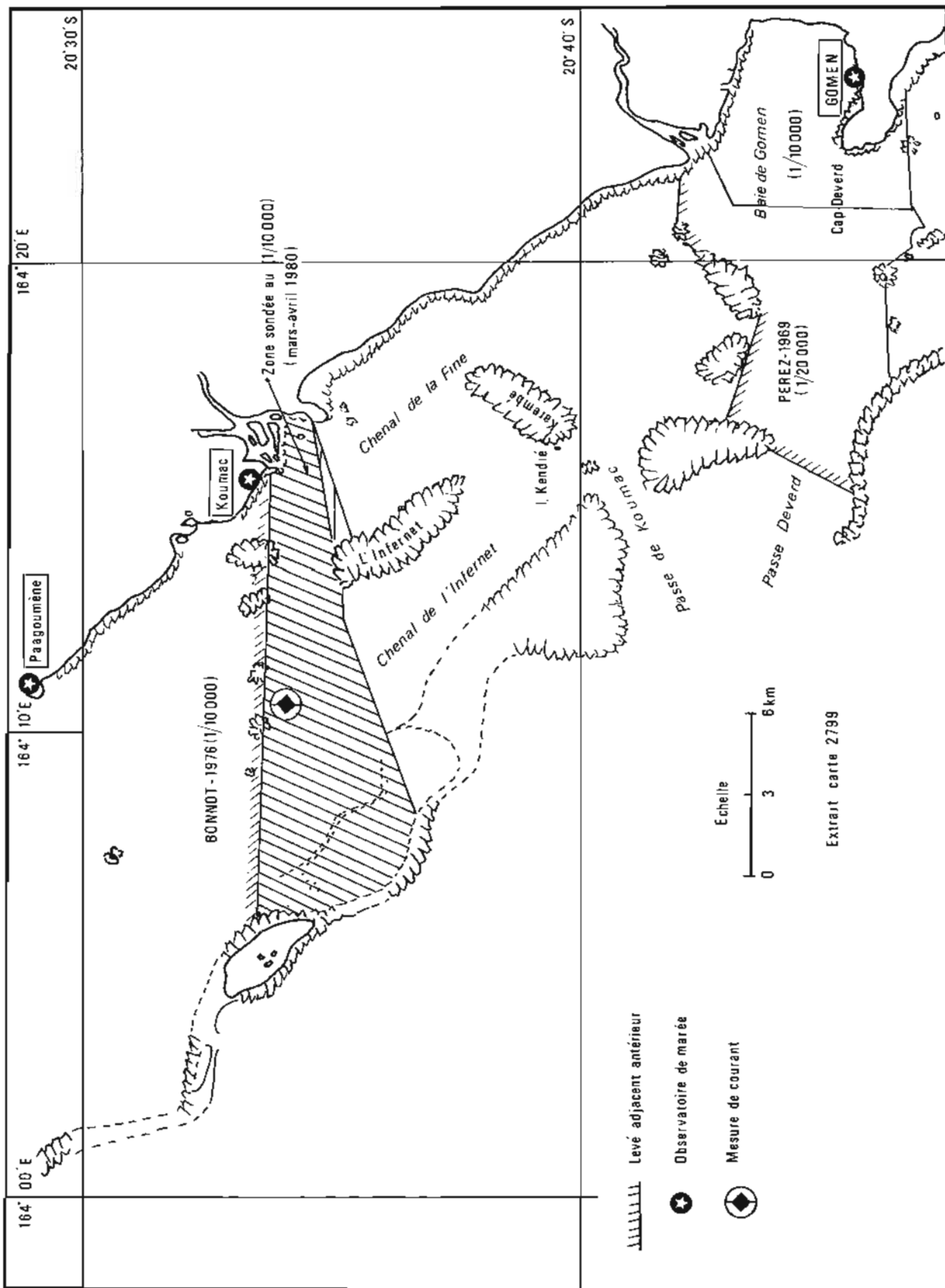




PL. 15. — Observatoire de marée de Koumac.



PL. 16. — Observatoire de marée de Gomen.



PL. 17. — Zone Koumac : zones sondées.

10 avril 1980, dans l'Ouest de Koumac, au Sud de l'îlot de la Table, près de la bouée noire marquant l'entrée Nord du chenal de l'Infernet.

#### **IV.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES**

La liste d'ensemble des documents établis et des données techniques utiles (coordonnées des points géodésiques) sera fournie par le rapport de

l'IPA Souquière qui aura eu, après mai 1980, la tâche de réaliser la plus grande partie (de l'ordre de 80 %) du levé.

Nous ne donnerons donc ici que l'inventaire des documents ébauchés à la date du 5 mai 1980 :

- 4 minutes d'écriture de bathymétrie au 1/10 000
- 4 minutes groupant écriture de topographie et écriture de natures de fonds avec indication des données bathymétriques (minutes dites « de synthèse ») au 1/20 000
- 1 dossier de mesure de courant
- 3 fiches d'observatoire de marée : Paagoumène, Koumac, Gomen.

## CHAPITRE V : NOUVELLE-CALÉDONIE

### LEVÉ DE DÉTAIL DU CHENAL D'ACCÈS À NOUMÉA DEPUIS LA PASSE DE LA DUMBÉA

#### V.1. GÉNÉRALITÉS

Le levé considéré, prescrit en décembre 1979, concernait la vérification des profondeurs et la recherche systématique des obstructions sur la route, devenue récemment obligatoire pour les navires chargés d'hydrocarbures, entre Nouméa et la passe de la Dumbéa qui se trouve dans le Sud-Ouest du port, à environ 10 milles de celui-ci.

Toute la région de Nouméa et notamment les accès au port ont été hydrographiés par la Mission Hydrographique de Nouvelle-Calédonie entre 1961 et 1967. Il ne s'agissait pas en l'occurrence de reprendre ces levés mais de procéder à une vérification ainsi qu'à une détermination plus exhaustive et plus fine des obstructions profondes susceptibles de constituer des dangers pour la navigation des navires à grand tirant d'eau, chargés de matières dangereuses, et ceci en profitant des progrès réalisés dans la technique de recherche.

La passe de la Dumbéa est moins fréquentée que celle de Bulari, au Sud de Nouméa, qui est mieux balisée. Mais cette passe de la Dumbéa offre l'avantage de s'ouvrir sur une route dans le lagon qui fait gagner Nouméa par des fonds toujours supérieurs à 20 m, au moins jusqu'à l'ouvert de la Grande Rade. Le premier problème consistait à définir avec précision la zone à investiguer en s'appuyant sur les documents hydrographiques existants, quitte à la remettre en cause au vu des résultats de l'investigation. Ceci fut fait par une concertation étroite entre les principaux intéressés et notamment le Syndicat des Pilotes de Nouvelle-Calédonie, le Service local des Phares et Balises et la M.O.P.

Les Instructions prescrivaient en outre que le chenal vérifié ait une largeur au moins égale à 1 000 m quand son axe s'appuie sur un alignement et 2 000 m dans le cas contraire. Ceci fut respecté dans la mesure du possible c'est-à-dire à l'exception de la passe de la Dumbéa elle-même et du resserrement des isobathes de 20 m qui se situe dans l'Ouest de l'îlot Signal. Finalement (voir planche n° 18), le chenal emprunte la passe de la Dumbéa par une route au Nord-Est, est orienté au Nord entre les balises de la passe et l'Ouest de l'îlot Signal, est axé Ouest-Est ensuite jusqu'à une « porte » marquée par les récifs balisés du Prony et de Senez avant de s'orienter au Nord-Est jusqu'à la bouée terminale du sea-line pétrolier.

Les travaux hydrographiques sur cette zone ainsi définie consistaient en une investigation systématique à l'aide du sondeur latéral, le sondeur vertical étant mis en route simultanément. Tous les hauts-fonds et plus généralement tous les ressauts de fond pouvant être considérés comme significatifs en fonction de la finalité des opérations seront ensuite recherchés, localisés et cotés un à un à l'aide du sondeur vertical et éventuellement par plongeurs. Enfin, des mesures de courant devaient être faites à 5 m sous la surface en un certain nombre de points sur l'axe du chenal.

Le levé régulier au sondeur latéral et au sondeur vertical fut entrepris en décembre 1979 et en janvier 1980 à l'aide de la pinasse de 11 m sans beaucoup de succès, les difficultés provenant des mauvaises conditions météorologiques et surtout des nombreuses avaries et pannes de cette embarcation qui devait être finalement condamnée. Le levé fut repris le 17 mars 1980 par le *Corail* qui achevait la phase d'investigation systématique le 4 avril. Les recherches qui ne pouvaient être définies qu'à l'issue de l'exploitation complète de ces premiers travaux, furent effectuées après le 5 mai 1980.

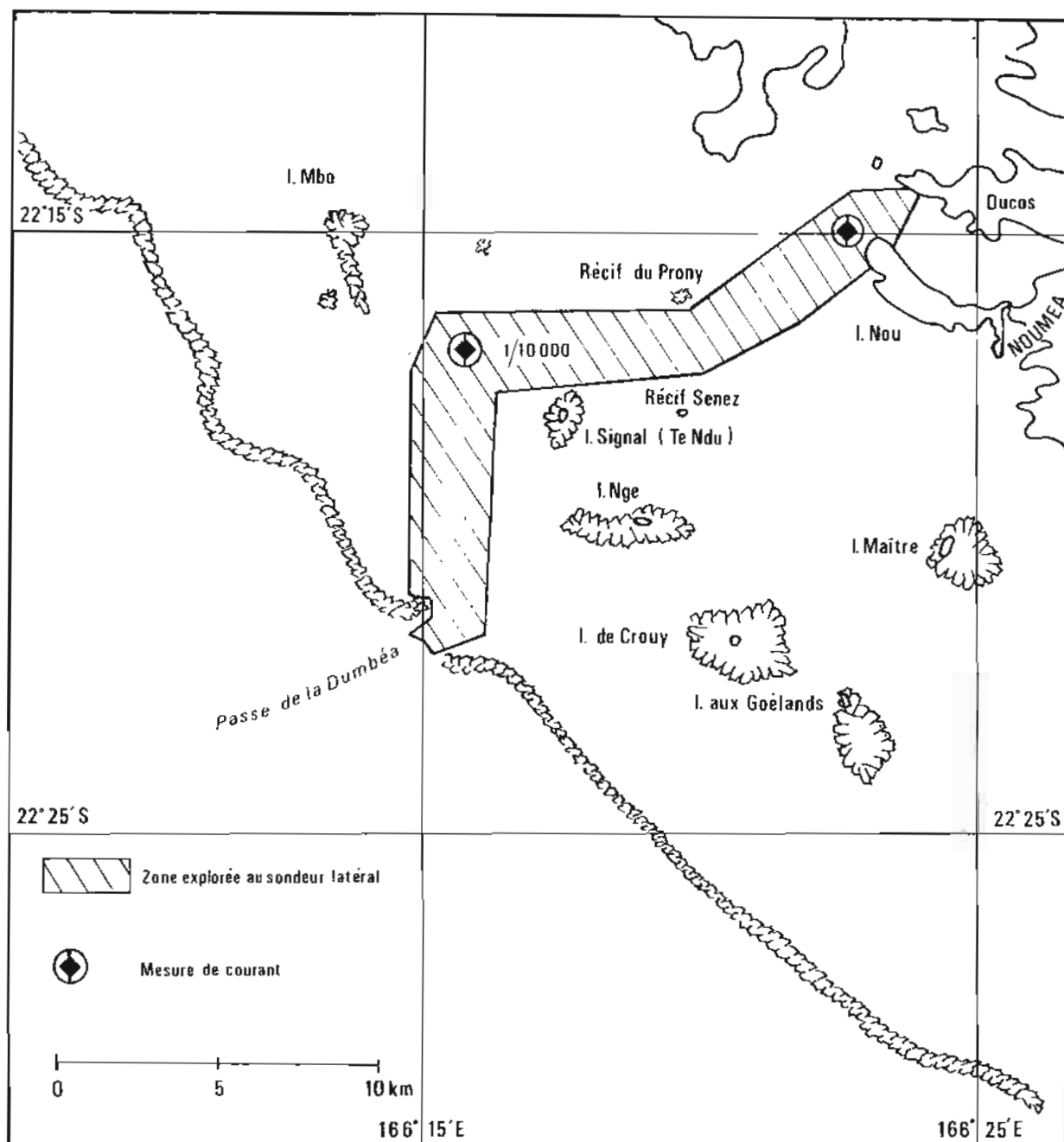
Le potentiel dépensé, de décembre 1979 à avril 1980, fut de 1,0 mois-bateau en chiffres bruts et donc de 1,5 mois-bateau en termes réels de potentiel.

Les conditions météorologiques rencontrées lors de cette première phase de travaux ont été normales c'est-à-dire peu favorables, en cette période d'été. Un coup de vent a d'ailleurs provoqué la perte d'un courantomètre. Mais la proximité de Nouméa a permis de limiter les conséquences du mauvais temps au moins pour ce qui concerne le rendement global.

#### V.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

##### V.2.1. Géodésie, localisation à la mer

Dans cette région de Nouméa, bien équipée sur le plan géodésique, seule a dû être effectuée la triangulation de quelques points nécessaires à la localisation par guidage optique et à la détermination d'amers nouveaux.



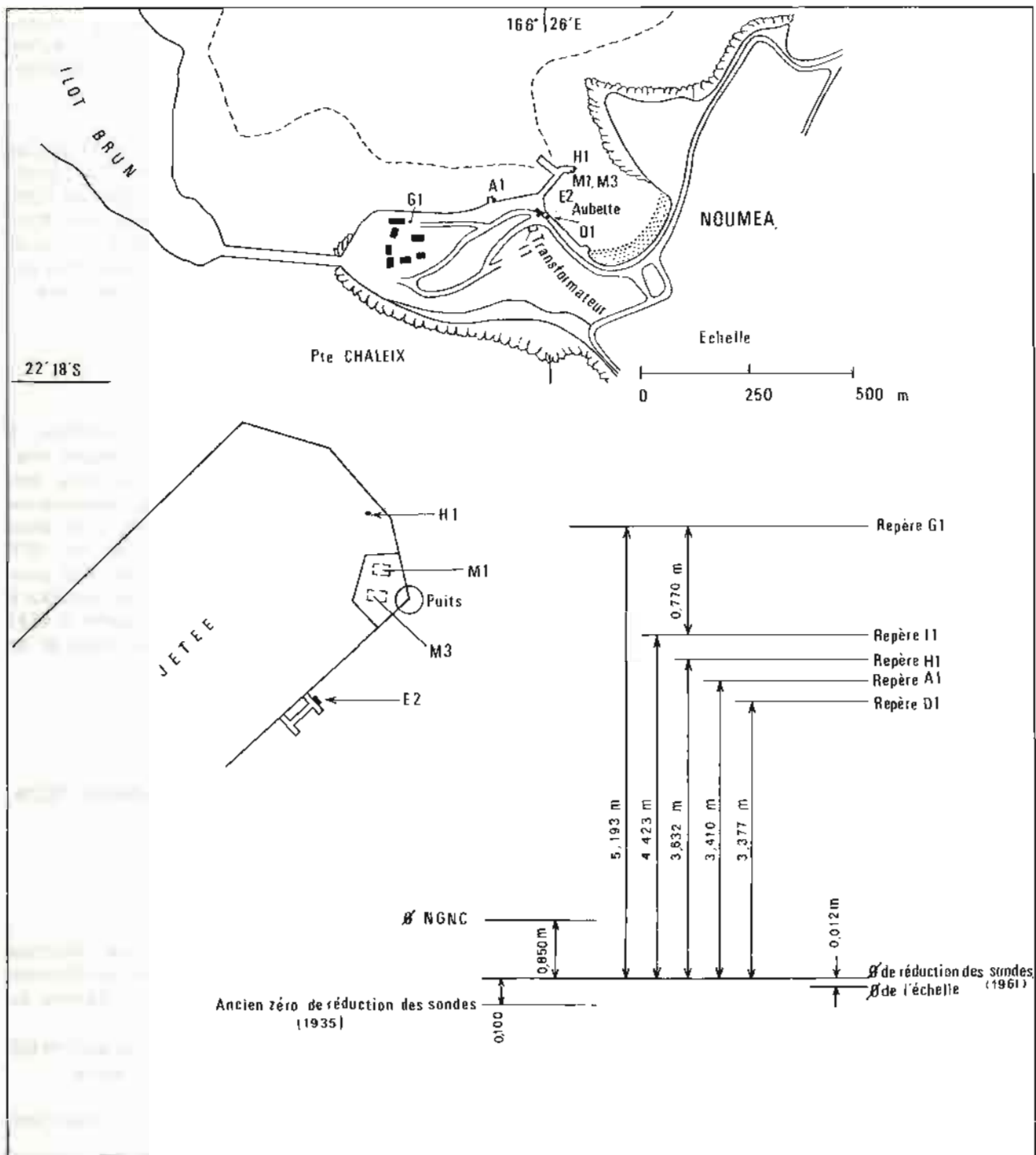
PL. 18. — Zone Nouméa : exploration au sondeur latéral.

La pinasse, puis le *Corail* ont donc été positionnés par radioguidage, les stations étant dans toute la mesure du possible choisies à terre et non sur les îlots du lagon pour alléger les problèmes logistiques et surtout pour disposer du personnel en cas d'annulation de la séance de levé. Cette disposition a parfois posé quelques problèmes de portée pour les sondages de l'extrémité du chenal, les distances atteignant alors 12 milles.

## V.2.2. Marée

Les sondes ont été normalement corrigées de la marée relevée à l'observatoire permanent de Nouméa. Cet observatoire est décrit dans le rapport de l'ICA Boulard (<sup>1</sup>). Le zéro hydrographique

(<sup>1</sup>) Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2-1980, n° 755. Cependant une nouvelle fiche fut établie avec des cotes de rattachement légèrement différentes, un nivellement de contrôle (1980) ayant permis de détecter des variations naturelles de quelques millimètres des cotes des points situés sur la jetée de la pointe Chaleix.



PL. 19. — Observatoire de marée de Nouméa.

à Nouméa est situé désormais à 3,632 m sous le repère H1 scellé à l'extrémité de la jetée de la pointe Chaleix. (voir planche n° 19).

### V.2.3. Bathymétrie

La planche n° 18 représente la zone couverte par des profils espacés de 100 m au maximum le

long desquels ont été simultanément mis en œuvre le sondeur vertical Atlas DESO 10 et le sondeur latéral Edgerton type B, ce dernier étant réglé pour un faisceau ouvert de 20°, orienté au site - 10°.

Le poisson étant remorqué à une immersion d'une dizaine de mètres par fonds moyens de 20 à 25 m, ces réglages assurent une portée pratique



Pinasse remorquant le sondeur latéral.



Marégraphes de Nouméa.

d'environ deux fois 100 m et donc un double éclairage du fond.

Les résultats ne peuvent être dégagés dans ce rapport puisque l'exploitation des enregistrements n'était pas achevée en mai 1980 mais il apparaît vraisemblable qu'aucune anomalie très importante ne soit à signaler.

#### V.2.4. Courantométrie

Entre janvier et mai 1980, 4 mesures de courant de subsurface, à l'immersion moins 5 m furent

tentées mais 2 seulement se révélèrent concluantes, les deux autres s'étant soldées par un échec (incident de fonctionnement, perte du courantomètre à la suite d'un fort coup de vent).

Les résultats acquis sont :

- une mesure de 60 heures, du 14 au 17 janvier 1980, dans le 313° et à 2,0 milles de l'îlot Signal;
- une mesure de 8 jours, du 22 au 29 avril 1980, à la sortie de la Grande Rade de Nouméa. Pour cette mesure, le courantomètre Mécaboliér était fixé par l'intermédiaire d'un système déporteur sur la bouée rouge qui balise l'axe de cette sortie.

#### V.2.5. Information nautique

Les instructions spécifiaient de contrôler, à l'occasion du levé, les documents nautiques intéressant les abords immédiats de la zone des travaux. En fait, la Mission exerça en permanence ce contrôle dans la région de Nouméa. C'est ainsi que plusieurs informations collectées en 1978 furent transmises et exploitées, notamment pour l'édition 1979 de la carte n° 6656 « De Nouméa à la baie de Saint-Vincent » et de la carte n° 6687 « Abords de Nouméa, passes de Dumbéa et de Bulari ».

### V.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES

#### V.3.1. Liste des documents établis

Les travaux de terrain et surtout de rédaction n'étant pas achevés en mai 1980, on ne donnera que les documents qui avaient été réalisés ou ébauchés à cette date :

- 3 minutes d'écriture de bathymétrie au 1/10 000
- 3 minutes d'écriture de sondage latéral
- 2 dossiers de mesure de courant
- 8 fiches de points géodésiques et d'amers (voir ci-dessous la liste de coordonnées)
- 1 fiche d'observatoire de marée.

#### V.3.2. Liste de coordonnées

Le tableau n° 5 ci-après fournit la liste des coordonnées des points géodésiques et des amers qui ont été fichés.



TABLEAU 5  
Nouvelle-Calédonie : zone Nouméa (MTU fuseau 58)

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classification comme amers	Observations
		X	Y			
Pointe de l'Artillerie	Mât de la manche à air (axe et sommet)	647 342,5	7 534 832,9	52	1	
	Croix gravée MHNC 1972	647 333,4	7 534 830,5	49,5	0	
Col de Tiaré	Borne en fonte cimentée	631 657,55	7 548 989,82	134,8	0	IGN 53-III-425
	Croix gravée dans borne MOP PVC cimentée marquée « MOP-Tiaré »	631 661,66	7 548 990,41	135	0	
Pointe Bovis	Croix gravée en bronze scellée dans borne PVC cimentée marquée « Bovis »	638 351,7	7 540 991,9	15,8	0	
Ile de Freycinet Mont Téréka	Borne en fonte cimentée	642 705,17	7 541 137,88	60,4	0	IGN 33-IV-425
	Piquet en fer scellé dans ciment marqué « Téréka 01.80 »	642 919,30	7 538 350,20		0	
Mont Koumourou	Borne en fonte cimentée	644 202,59	7 540 509,99	135,7	0	IGN 33-55
	Borne en PVC cimentée marquée « 01.80 Koumourou »	644 196,69	7 540 511,19		0	
	Piquet en fer cimenté marqué « ST II Koumourou »	644 200,50	7 540 487,42		0	
Mire Topo 457 Ilot Brun	Borne en fonte cimentée	645 053,70	7 539 278,22	22,4	0	IGN 33-IV-457
	Borne en fonte cimentée marquée « 20 »	646 543,29	7 534 227,82	47,9	0	IGN 33-65

## CHAPITRE VI : POLYNÉSIE FRANÇAISE LEVÉ AU LARGE DE LA CÔTE EST DE TAHITI, ENTRE MAHAENA ET TAUTIRA

### VI.1. GÉNÉRALITÉS

Le levé bathymétrique au large des côtes de Tahiti a été conçu en 1972 pour fournir les éléments d'établissement des cartes à l'échelle de 1/25 000 (planche n° 20). Depuis cette date, les zones situées au Nord, à l'Ouest et au Sud de Tahiti Nui avaient été hydrographiées. En 1979, les coupures concernées étaient les coupures D (Est de Tahiti Nui) et E (Nord de la presqu'île de Tairapu). Les levés adjacents en étaient :

- au Nord-Ouest, au large, le levé réalisé en 1974 par *L'Estafette* <sup>(1)</sup>,
- dans le lagon et dans le cadre de la coupure D, le levé effectué en 1972 <sup>(2)</sup>,
- dans le lagon et dans l'Est de la coupure E, c'est-à-dire au Nord de la presqu'île, le levé effectué en 1968 <sup>(3)</sup>.

On peut remarquer qu'à l'issue des travaux de la M.O.P. en 1979, il ne restait plus à sonder que la zone située au Sud et au Sud-Est de la presqu'île de Tairapu, dans le cadre de la dernière carte F.

Le levé est de nature simple. Il s'agit de sondages bathymétriques par grands fonds régulièrement et rapidement croissant de la barrière récifale vers le large. On veut d'une part connaître la structure bathymorphologique générale, d'autre part vérifier qu'aucune remontée du fond n'existe au-delà de la barrière, même si cette existence est très improbable étant donné les origines géologiques de Tahiti.

Les travaux à la mer furent réalisés en deux semaines, du 27 février au 12 mars 1979, par *L'Estafette* qui sortait alors de carénage. L'équipe d'hydrographie avait auparavant rallié Tahiti depuis Nouméa par voie aérienne et assuré la préparation à terre du levé. Pour cette préparation puis pour le levé proprement dit, cette équipe disposait d'un camion et d'un véhicule léger prêtés par le Centre d'Expérimentations du Pacifique. Elle utilisait également, pour gagner les zones inaccessibles par la route (côte Sud-Est de Tairapu), une coralline transportée par camion jusqu'à Tautira. Seule la méthode de radioguidage fut employée pour la localisation du bâtiment.

<sup>(1)</sup> Voir rapport IA Desnoes : *Annales Hydrographiques* 5<sup>e</sup> série, vol. 4, fasc. 2, 1976, n° 744.

<sup>(2)</sup> Voir rapport IA Habert : *Annales Hydrographiques* 5<sup>e</sup> série, vol. 6, fasc. 1, 1978, n° 748.

<sup>(3)</sup> Voir rapport IH Chartier : *Annales Hydrographiques* 4<sup>e</sup> série, tome XVI, 1970, n° 737.

Les conditions météorologiques rencontrées furent exceptionnellement bonnes étant donné la zone et la saison, tant en ce qui concerne l'état de la mer que la visibilité. Les principales difficultés ont été relatives au terrain, du fait de son relief, de sa végétation et de l'absence de voies d'accès.

En définitive, et si l'on tient compte des opérations préparatoires aux sondages, le potentiel dépensé fut de 1,0 mois-bateau en chiffres bruts et donc de 1,5 mois-bateau en termes réels de potentiel.

### VI.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

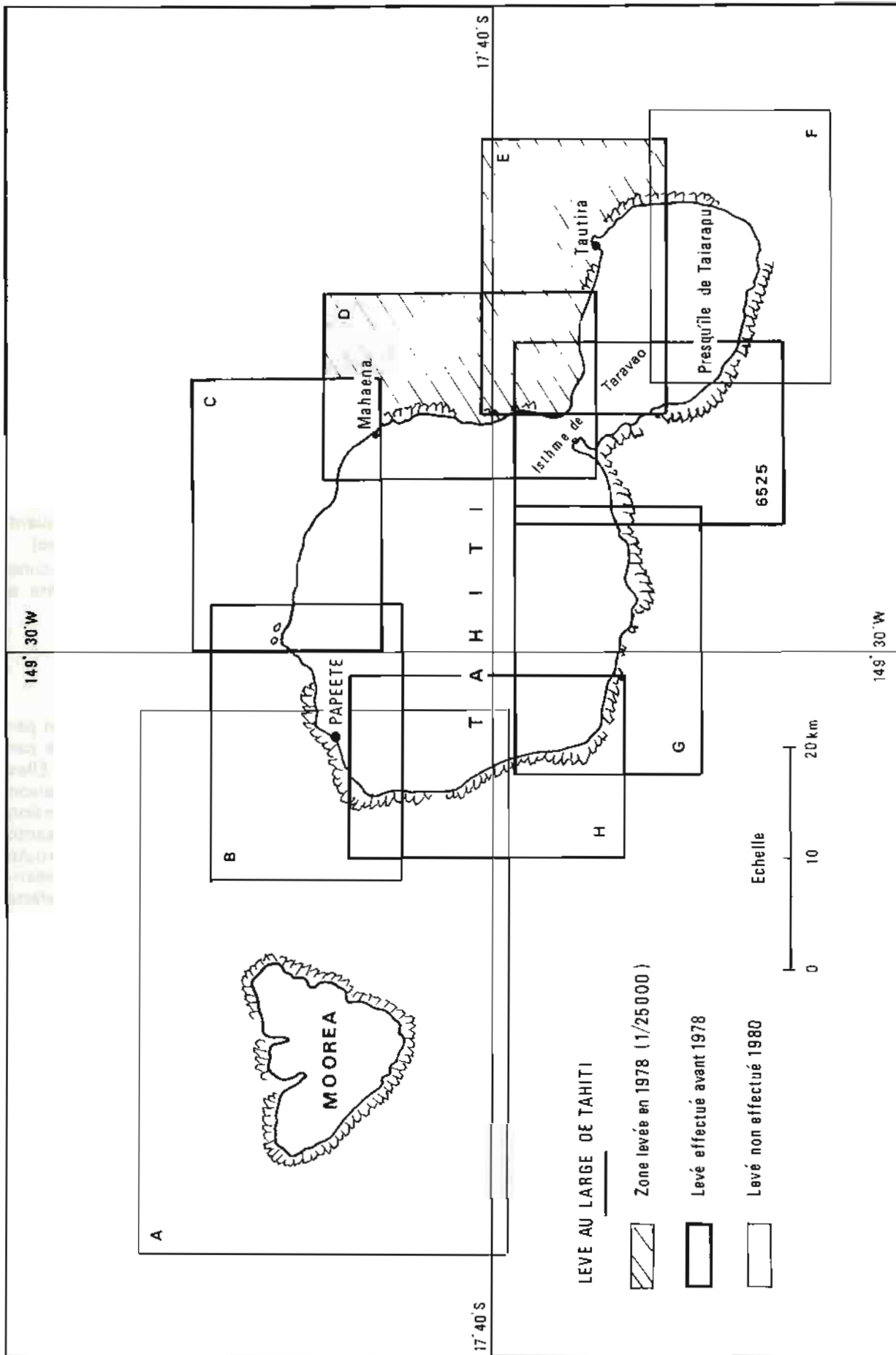
#### VI.2.1. Géodésie, localisation à la mer

Les travaux de géodésie se limitèrent à la constitution d'un réseau de stations de guidage optique avec une précision suffisante pour l'échelle de 1/25 000 adoptée pour la rédaction.

Cet objectif nécessita néanmoins un travail de reconnaissance et d'implantation de signaux s'étendant sur trois semaines. Les difficultés résidaient dans la nature des différentes triangulations antérieures que l'on trouve à Tahiti et plus particulièrement dans la presqu'île de Tairapu. La géodésie s'appuie sur un réseau I.G.N. de précision médiocre, dont la plupart des bornes accessibles ont disparu, et que les missions hydrographiques ont complété jusqu'en 1974 par des bornes implantées en bord de mer.

Certaines bornes construites directement sur le platier corallien, ont été déchaussées par la mer. D'autres, situées à quelques mètres en retrait sur la terre ont été recouvertes d'une végétation inextricable. Cette infrastructure en voie de disparition aurait été insuffisante si le Service de l'Aménagement du Territoire, avec le concours de l'I.G.N., n'avait très récemment entrepris de réaliser un nouveau réseau géodésique compatible avec les cartes à grande échelle qui lui sont demandées.

Une polygonale ceinturant Tahiti Nui a été observée. Les mesures, pourtant effectuées selon des normes strictes, se sont soldées par un écart de fermeture de 2 m, que le fait de n'avoir pas introduit de correction de déviation de la verticale pour des visées sur des sommets élevés pourrait suffire à expliquer. Quoiqu'il en soit, il est permis



PL. 20. — Levé au large de Tahiti : zone sondée.

d'espérer pouvoir disposer à Tahiti, dès le début des années 80, d'un réseau géodésique cohérent.

Pour le levé ici rapporté, la fourniture de coordonnées provisoires par le service de l'Aménagement du Territoire (\*) a été suffisante étant donné la précision recherchée. Une situation des bornes géodésiques anciennes, établie à l'issue des travaux de février 1979, est annexée au présent chapitre. Trois fiches géodésiques anciennes ont été remises à jour.

Les calculs ont été menés en projection MTU fuseau 6, le système géodésique étant donc le système IGN 51 provisoirement rectifié.

Aucune aide radioélectrique n'a été utilisée pour assurer le positionnement de *L'Estafette*. Il n'a pas semblé en effet « rentable » de mettre en place une chaîne de radiolocalisation particulière, en l'occurrence le Toran, pour des travaux qui n'ont effectivement duré que deux semaines. Le guidage optique a donc été employé.

Cette solution a fortement limité le volume de matériel transporté depuis Nouméa et a accéléré les opérations de préparation du levé.

Les bonnes conditions de visibilité et le fait de disposer de stations à quelques dizaines de mètres d'altitude ont résolu les problèmes de portée qui, du fait de la configuration géométrique du chantier, devaient parfois dépasser 15 milles. Mais de nombreux changements de guides furent nécessaires et il ne fut pas toujours permis de sonder perpendiculairement au récif et donc à la direction générale des isobathes.

## VI.2.2. Bathymétrie

La planche n° 20 représente la zone sondée. L'écartement des profils a été en moyenne de 250 m. Cependant, la régularité des grands fonds était telle que seul un profil sur deux a été sondé dans les zones les plus au large.

On a tenté de réduire la zone non sondée en abord du récif, tout en respectant naturellement les impératifs de sécurité du bâtiment. La réduction de la vitesse d'approche et l'emploi systématique du propulseur d'étrave pour aider au retournement ont permis à *L'Estafette* de se rapprocher en moyenne à 200 m du récif. Cette distance ne doit néanmoins pas être confondue avec la largeur de la bande non sondée étant donné le rayon de giration du bâtiment, même si l'on a fait systématiquement correspondre le « top de fin de profil » avec le début de la manœuvre de retournement. On peut estimer que cette bande non sondée a 300 m de large, ce qui correspond en moyenne à l'isobathe 250 m.

(\*) En attendant la parution d'un répertoire de coordonnées définitives, corrigées et compensées par l'I.G.N.

Le sondeur utilisé a été le sondeur grands fonds Elac Deneb réglé pour une vitesse du son standard de 1 500 m/s. La loupe ne fut pas utilisée étant donné son mauvais fonctionnement rédhibitoire. Ceci n'est d'ailleurs pas un inconvénient en l'occurrence, car l'excessive ouverture du faisceau d'émission de ce sondeur, créant sur les fonds rencontrés des phénomènes importants d'échos latéraux, est une cause d'erreur bien plus importante que celle qui peut résulter de l'imprécision du dépouillement de l'échogramme.

Malgré son peu de signification, étant donné le phénomène qui vient d'être signalé, on a tenu compte de la correction d'immersion de la base du sondeur. D'autre part, les sondes n'ont pas été corrigées de la marée. Globalement, une correction positive de 4 m a été apportée à toutes les sondes.

L'examen des bandes d'enregistrement du sondeur et des minutes de rédaction de bathymétrie révèle une structure très régulière des fonds, avec une plus grande pente aux abords du récif (de l'ordre de 50 % ou 30°) qui va ensuite en diminuant progressivement vers le large (10 % à 5 milles).

Aucun relief intéressant n'a été détecté. Aucune recherche particulière de hauts-fonds n'a été a fortiori entreprise.

## VI.2.3. Courantométrie

Des tentatives de détermination de courant par comparaison de l'estime et du point observé par relèvements optiques ont été effectuées. Elles n'ont pas donné de résultats significatifs en raison de la faible longueur des profils, de la dispersion et de la faible valeur moyenne de la composante longitudinale des courants (par rapport à la route suivie par le bâtiment). Ces mesures ont néanmoins permis l'étalonnage du loch de *L'Estafette* à certaines allures.

## VI.2.4. Information nautique

Deux pylônes hertziens, constituant des amers secondaires ont été repérés et positionnés depuis *L'Estafette*. Les fiches d'amer ont été établies. Les coordonnées en sont données ci-après (tableau n° 6).

### VI.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES

anciennes)  
— 2 fiches d'amer.

#### VI.3.1. Liste des documents établis

Le levé a donné lieu à l'établissement des documents suivants :

- 2 minutes d'écriture de bathymétrie au 1/25 000
- 3 fiches géodésiques (remise à jour de fiches

#### VI.3.2. Liste de coordonnées

Le tableau n° 6 ci-après fournit la liste des coordonnées des points géodésiques et des amers qui ont été fichés. Les anciennes déterminations y sont rappelées.

TABLEAU 6  
Tahiti - Côte Sud-Est (MTU fuseau 6)

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classification comme amers	Observations
		X	Y			
Pueu - Pylône hertzien	Pylône axe et sommet	264 198	8 034 060	620	1	Ordre 7
Mahaena - Pylône hertzien	Pylône axe et sommet	254 090	8 055 520	70	1	Ordre 7
Tautira - Bornes Eve	Douille de fusil scellée dans terrasse de la maison du Tavanna (côté mer)	270 877,2	8 036 605,9	1,4	0	
	Piquet en fer scellé dans borne en PVC sur plage	270 887,2	8 036 612,1	1,4	0	
Afaa Hiti - borne Atihiva	Repère scellé dans borne MHPF 1972 « Hatihiva »	259 052,5	8 037 303,0	1,8	0	Nouvelle détermination
	Piquet en fer scellé dans borne « MOP 1979 »	259 036,25	8 037 305,52	1,6	0	id
	Mire figaret axe et sommet	259 030,15	8 037 307,78	5,6	0	id
Ilots Tiere et Fenuaino	Piquet en fer scellé dans borne en ciment	275 265,36	8 026 204,03	0,5	0	Nouvelle détermination
	Douille de fusil scellée dans borne en ciment	275 152,3	8 026 304,5	0,2	0	id
	Piquet en fer scellé dans tube en PVC gravé « MOP 79 »	275 315,24	8 026 172,46	0,8	0	id

## CHAPITRE VII : POLYNÉSIE FRANÇAISE LEVÉS DIVERS À TAHITI DANS LA RÉGION DE PAPEETE

### VII.1. GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre rassemble la description de plusieurs travaux hydrographiques de détail qui ont été effectués par la Mission Océanographique du Pacifique entre février et avril 1980 sur la côte Nord-Ouest de Tahiti, dans les environs de Papeete.

Plus précisément, il s'agit de 7 zones d'étendue restreinte échelonnées d'Ouest en Est depuis la passe de Taapuna jusqu'à la baie de Matavai, où des travaux hydrographiques de complément ou de vérification avaient été demandés soit par les autorités maritimes locales, soit par la Direction de l'Équipement du Territoire. Il s'agissait communément de préciser la bathymétrie et la topographie de certaines parties du lagon tahitien, dont le levé régulier remontait à plusieurs années où étaient intervenues des modifications de la côte et des fonds. Dans certains cas, il ne s'agissait que de vérifier la connaissance bathymétrique fournie par les documents hydrographiques disponibles.

On décrira dans le paragraphe VII.2. ci-dessous les caractéristiques particulières de chacun de ces chantiers et les travaux qui y ont été effectués. La liste en est donnée dans le tableau ci-après qui fournit la localisation géographique (voir également la planche n° 21), l'organisme demandeur, la raison de la demande, l'« échelle » du levé, la nature des travaux effectués.

Une mention particulière (par. VII.2.8.) est faite à propos des observations de marée sur zone. Un

état complet descriptif des observatoires et des repères de nivellement de la région de Papeete a en effet été établi à l'occasion de ces levés.

Il faut noter que dans la demande de travaux de la Marine Nationale, figurait en outre le contrôle des profondeurs disponibles le long d'autres quais du port militaire de Papeete, à savoir le « quai des réparations » et les quais E1, E2, E3 et E4. Ces quais n'ont pu être libérés des navires qui les occupaient pendant tout le séjour de la M.O.P. à Papeete en 1980 et ce levé de contrôle a dû, de ce fait, être reporté.

Les travaux décrits dans ce chapitre ont été réalisés du 11 février au 4 mars puis du 7 au 10 avril 1980 avec le personnel et les moyens du BH1 *L'Estafette*, alors en indisponibilité pour entretien et réparations à Papeete mais qui avait été « réarmé à l'hydrographie » à cette fin.

Avec l'exception de certains quais du port militaire de Papeete, comme cela vient d'être indiqué, les travaux prescrits ont pu être achevés pendant ces deux périodes. Cependant, malgré la densité des profils de sonde effectués, et comme aucune recherche de hauts-fonds particulière n'a été alors entreprise, certains doutes subsistent concernant des sondes figurant sur les cartes marines en service, dont la valeur est inférieure à celles des profondeurs mesurées en 1980.

Des travaux de recherche complémentaire devront de ce fait être exécutés pour lever ces doutes et s'assurer que les différences constatées s'expliquent par des déroctages, travaux dont la confirmation n'a pu être directement obtenue auprès des Services de l'Équipement du Territoire. En attendant, il sera nécessaire de maintenir ces anciennes sondes sur les documents hydrographiques.

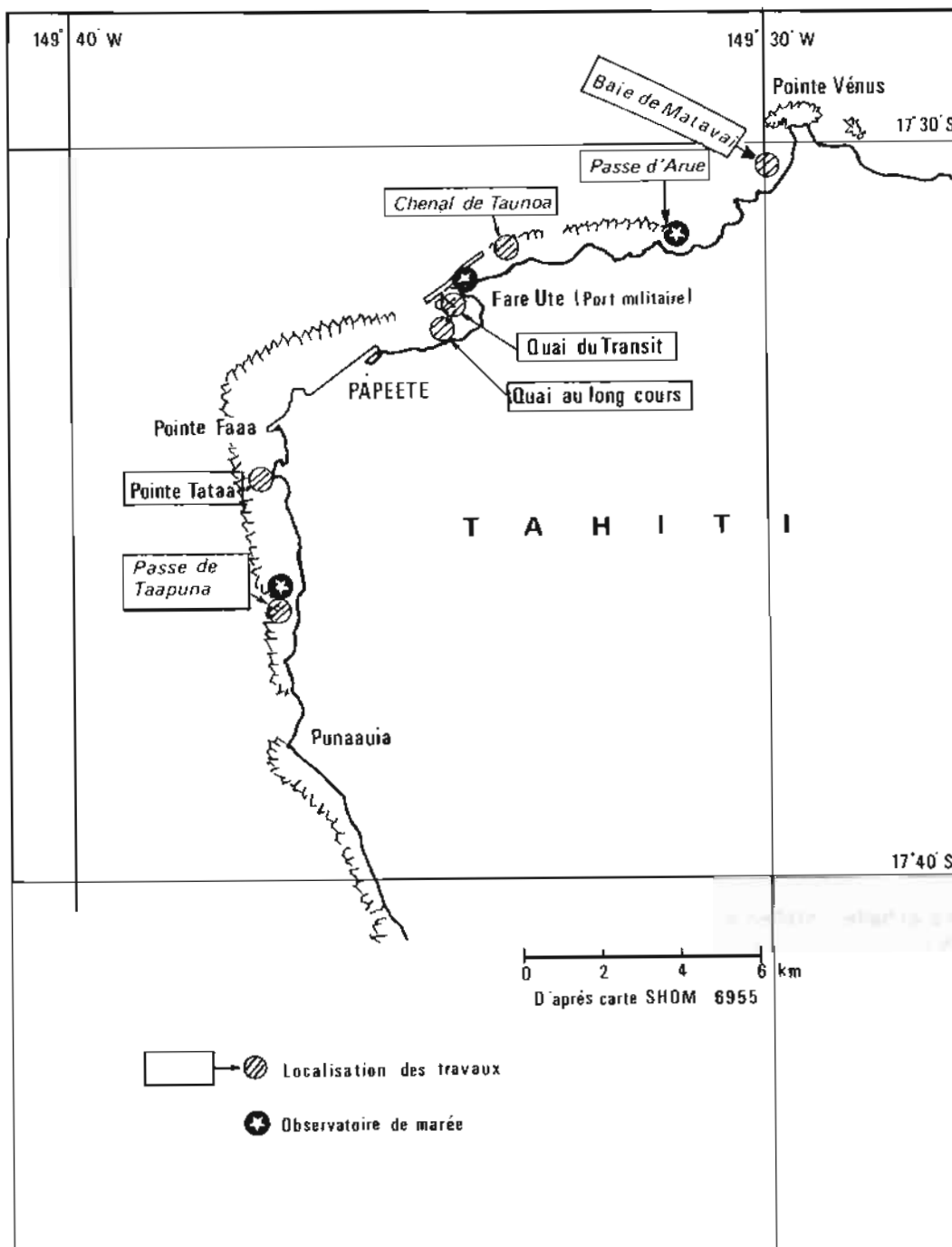
Il faut également préciser que, notamment à Tataa et à Taunoa, les levés effectués ne constituent manifestement qu'un constat provisoire car les travaux de rectification du littoral et des fonds n'étaient pas achevés.

Localisation géographique	Organisme demandeur	But du levé	Echelle	Nature des travaux
Passe de Taapuna	Équipement (1)	App. (3)	1/2 000	Bathy, topo
Pointe Tataa	id	id	1/2 000	id
Quai au Long Cours (Papeete)	Marine (2)	Contrôle	1/1 000	id
Quai du Transit (Papeete)	Marine (2)	Contrôle	1/500	id
Chenal de Taunoa	Équipement (1)	App. (3) Remblai	1/2 500	id
Passe d'Arue	Équipement (1)	App. (3)	1/2 500	id
Baie de Matavai	Marine (2)	Évaluation d'un beaching	1/1 000	Bathy, topo, nature du fond, courantométrie

(1) Équipement : Service de l'Équipement du Territoire.

(2) Marine : Marine Nationale.

(3) App. : contrôle hydrographique de l'approfondissement après dragage ou déroctage.



PL. 21. — Levé dans la région de Papeete : localisation des travaux

## VII.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

### VII.2.1. Passe de Taapuna : 11-14 février 1980

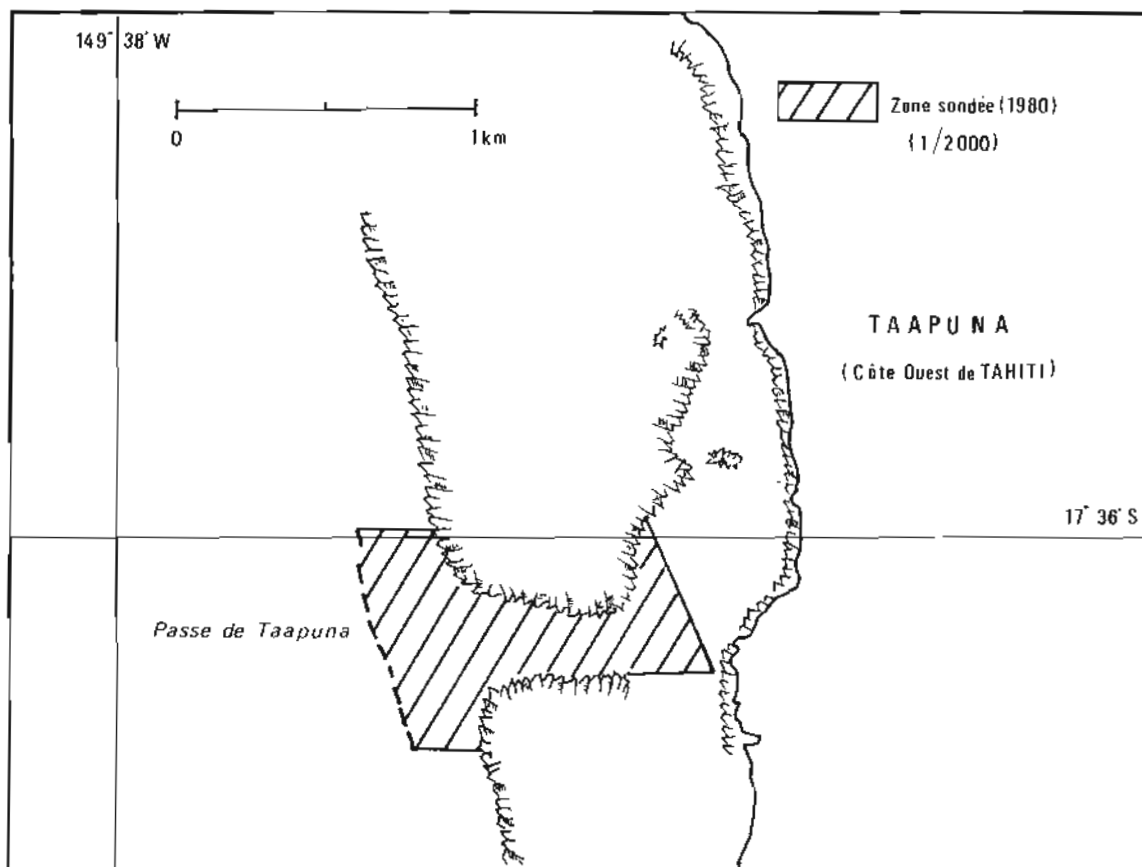
— Généralités, localisation, marée

Le levé de la passe de Taapuna (voir planche n° 22) a été effectué par une vedette hydrographique à l'extérieur du lagon, par une coralline dans

la passe elle-même et dans le lagon. Cette dernière embarcation s'est révélée la plus commode pour manœuvrer dans le courant à proximité des récifs affleurants. Elle était équipée d'un sondeur Atlas DESO 10 avec transducteur hors-bord.

Les positions, en sonde comme en topographie, ont été déterminées au moyen de trois — ou exceptionnellement deux — relèvements simultanés au théodolite.

Les sondes ont été réduites de la marée obser-



PL. 22. — Taapuna : zone sondée

vée sur une échelle installée à la Orana Villa (voir par. VII.2.8.).

#### — Bathymétrie

Le levé régulier a consisté en profils espacés de 20 mètres, complétés par un réseau de profils perpendiculaires aux précédents. Compte tenu de la densité de ces sondages, il n'a pas été effectué de recherches particulières.

Les profondeurs rencontrées sur le seuil sont très voisines de celles portées sur la minute établie à l'échelle de 1/10 000 par le LV Bordier en 1963 (\*). On note toutefois un léger approfondissement de la moitié Nord de la passe, résultat des dragages qui y ont été effectués.

Le haut-fond coté 2,2 m qui est situé sur le côté Nord-Ouest de la passe dans le prolongement du récif barrière a été coté 3,5 m mais, pour les raisons déjà indiquées, l'ancienne cote doit être conservée provisoirement sur les cartes.

#### — Topographie

Le dessin de topographie, de part et d'autre de la passe, a été exécuté à partir d'un ensemble de

(\*). Voir rapport de mission *Annales Hydrographiques*, 4<sup>e</sup> série, tome XV, année 1969 — n° 736.

stations faites à pied le long du récif et en s'aidant d'une photographie aérienne à l'échelle 1/5 000 (IGN 1978) pour restituer les limites du corail émergé.

Les marques du balisage existant ont été redéterminées et portées sur la minute de topographie.

#### VII.2.2. Abords de la pointe Tataa : 16-21 février 1980

##### — Généralités, localisation, marée

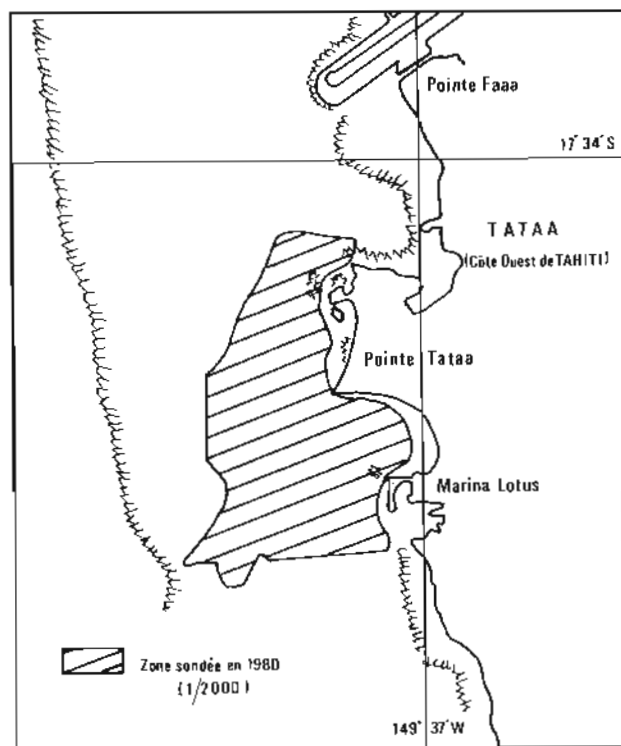
Le levé du lagon aux abords de la pointe Tataa (voir planche n° 23) a été effectué, entre les parallèles 17°34'10" S et 17°34'50" S, à l'aide d'une coralline. Les abords de la « Marina Lotus », encore en travaux d'aménagement, n'ont cependant pas pu être contrôlés.

La localisation, par théodolites, et l'observation de la marée, à la Orana Villa, sont semblables à celles utilisées pour le levé précédent.

##### — Bathymétrie

Le levé régulier a été fait selon des profils espacés de 20 m au maximum. Compte tenu de la densité des sondages, les têtes de roches isolées





PL. 23. — Tataa : zone sondée

situées dans les profondeurs les plus importantes n'ont en général pas fait l'objet de recherches particulières.

Aux abords immédiats de la pointe Tataa, dans les profondeurs inférieures à 5 m, on a rencontré des eaux de forte turbidité au moment où était effectué le levé. De ce fait, et malgré le resserrement des profils, il ne peut être exclu que des hauts-fonds dangereux pour la navigation de petites embarcations n'aient pas tous été découverts. Cette zone doit donc être considérée comme « incomplètement hydrographiée ».

#### — Topographie

Le dessin de topographie a été réalisé à partir de stations faites à pied sur les têtes de corail visibles, en s'aidant d'une photographie aérienne à l'échelle 1/5 000 (IGN 1978) pour restituer le trait de côte et les limites du corail immergé.

Les marques de balisage existant ont été reportées sur la minute de topographie.

#### VII.2.3. Port de Papeete : contrôle des abords de l'angle N.E. du quai au Long Cours - 10 avril 1980

##### — Généralités, localisation, marée

Le levé de contrôle des fonds autour de l'angle N.E. du quai au Long Cours du port de Papeete

(voir planche n° 24) a été effectué à l'aide d'une coralline du BH1 *L'Estafette* qui était radioguidée sur des profils en étoile à partir d'une station implantée sur l'angle du quai. L'espacement maximum des profils a été de 10 m, leur longueur permettant d'atteindre l'isobathe 20 m. La rédaction a été effectuée à l'échelle 1/1 000.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à l'échelle permanente de Fare Ute (voir par. VII.2.8.).

##### — Bathymétrie

Les profondeurs inférieures à 9 m (8,9 m), qui ont été relevées le long du quai au voisinage de l'angle N.E. dans une zone où les documents nautiques les signalent comme égales ou supérieures à 10,5 m, sont peut être légèrement sous-estimées puisqu'obtenues à l'aide d'un sondeur ultra-sonore en suivant un profil parallèle au quai et très proche de celui-ci. Elles prouvent néanmoins que la cote 10,5 m n'est pas atteinte en tout point le long du quai et que l'isobathe 10 m qui figure sur la carte en service doit être rectifiée selon les indications de la minute de bathymétrie qui a été réalisée.

##### — Topographie

Le bord Nord du quai est débordé par un platier en pente dont la partie visible a été restituée à partir d'une photographie aérienne à l'échelle de 1/5 000 (couverture IGN 1978) obtenue auprès du Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme de Papeete.

La topographie du bord du quai a été effectuée à l'aide de quelques stations repérées par visées de trois théodolites.

#### VII.2.4. Port de Papeete : contrôle des abords du quai du Transit — 9 avril 1980 (voir planche n° 24)

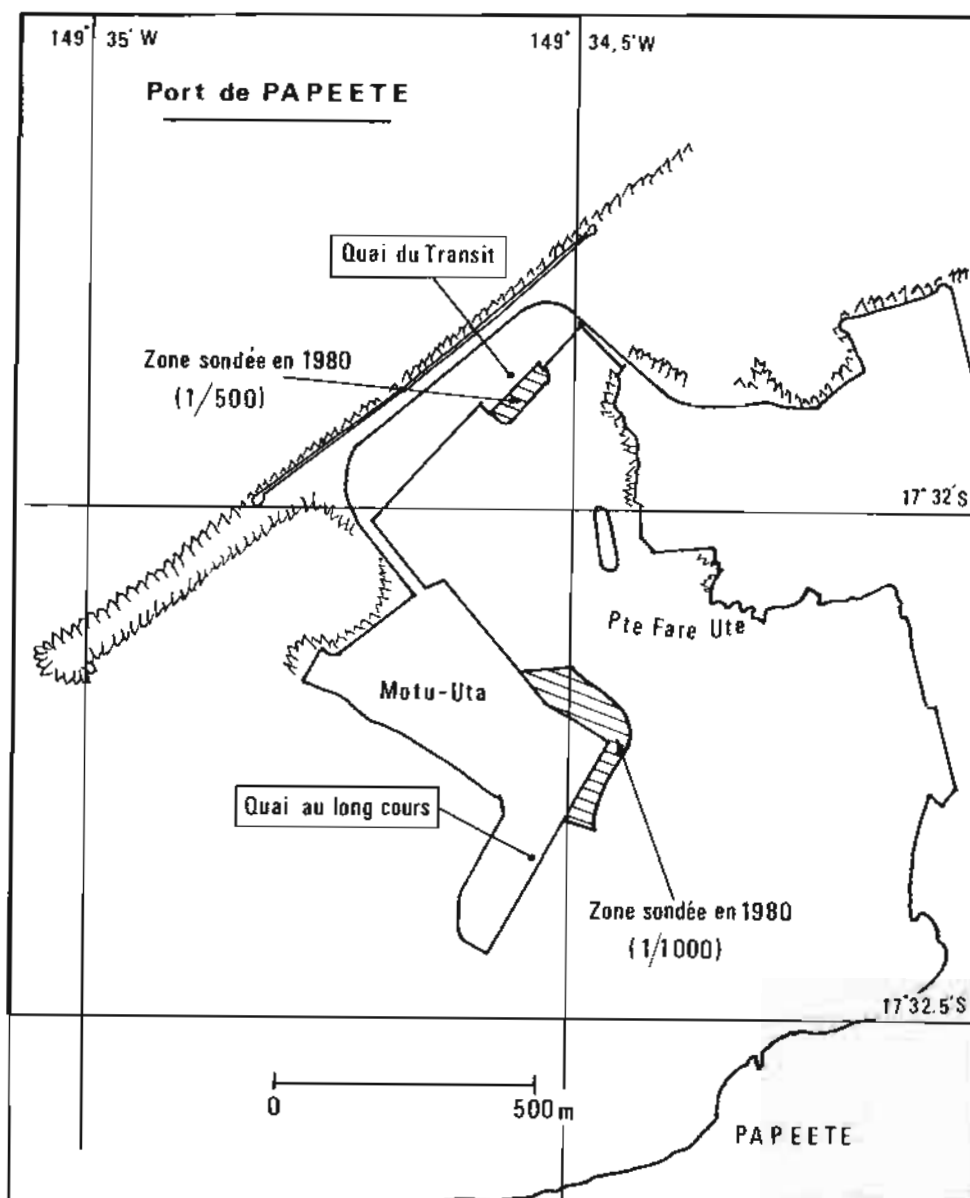
##### — Généralités, localisation, marée

Le levé de contrôle des abords du quai du Transit de Papeete a été effectué par une coralline équipée d'un sondeur Atlas DESO 10 à base hors-bord, l'embarcation étant positionnée selon la méthode dite « de la corde ».

30 profils perpendiculaires au quai, espacés de 5 m environ, ont été parcourus sur une longueur comprise entre 40 et 60 m permettant d'atteindre partout l'isobathe 15 m.

La rédaction a été effectuée à l'échelle du 1/500.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à l'échelle permanente de Fare Ute (voir par. VII.2.8.).



PL. 24. — Port de Papeete : zones sondées

— *Bathymétrie*

La profondeur assurée devant le quai est de 7,5 m. Au pied même du quai, on n'a trouvé, la coralline navigant parallèlement au quai et très proche de celui-ci, aucune profondeur inférieure à 7 m.

Par contre le « beaching » est assez largement débordé au Sud par un platier corallien peu profond, sur lequel il s'appuie.

— *Topographie*

La topographie du quai et du « beaching » a été établie en même temps que le piquetage des alignements de guidage de l'embarcation de sonde.

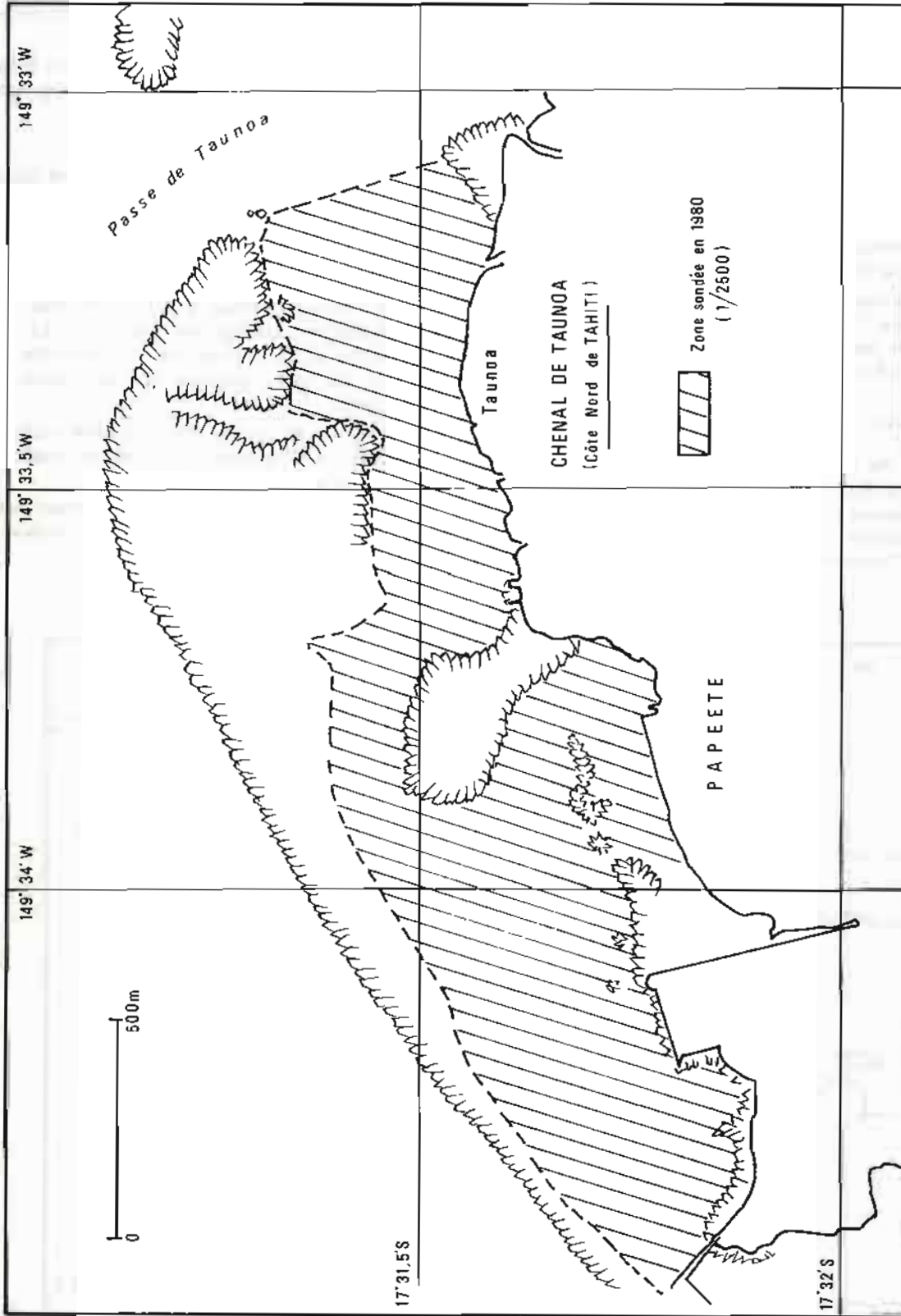
**VII.2.5. Canal de Taunoa : 23-27 février 1980.**  
(voir planche n° 25)

— *Généralités, localisation, marée*

Le canal de Taunoa fait partie de la zone d'aménagement industriel à l'Est de Papeete. Il a été levé « en l'état » par une coralline équipée d'un sondeur Atlas DESO 10 à base hors-bord.

Les stations, en sonde comme en topographie, ont été localisées par trois relèvements au théodolite, exceptionnellement par deux relèvements seulement.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à l'échelle permanente de Fare Ute (voir par. VII.2.8.).



PL. 25. — Taunoo : zone sondée

— Bathymétrie

Le levé régulier a été effectué selon des profils espacés de 25 m, espacement qui a été réduit à 15 m sur une bande de 100 m axée sur le méridien 149°33'36" W, qui correspond à une zone de déroctage.

Le récif coté 2,1 m, situé dans le 020° du clocher de la cathédrale à 1 850 m, a été arasé dans sa partie Nord jusqu'à la cote 5,8 m, confirmée par le sondage.

La sonde 7,9 m, située dans le 018° du clocher de la cathédrale à 1 900 m (voir carte SHOM 6598), n'a pas été retrouvée lors du levé régulier et doit, faute de recherche particulière, être conservée.

Les prélèvements de matériaux sur la platier au Nord-Ouest de Taunoa ont créé une vaste zone dans laquelle les profondeurs sont légèrement supérieures à 5 m.

— Topographie

Le dessin du trait de côte et des limites des plateaux coralliens visibles, qu'ils soient découvrants ou toujours couverts, a été effectué à l'aide de photographies aériennes à l'échelle 1/5 000 (IGN 1978). Certaines limites ont cependant été

rectifiées pour tenir compte de l'état d'avancement des travaux en 1980.

Les plans des nouvelles installations portuaires de la zone n'étaient pas encore définitivement arrêtés en avril 1980.

Toutes les marques de balisage ont été localisées et reportées sur la minute de topographie établie.

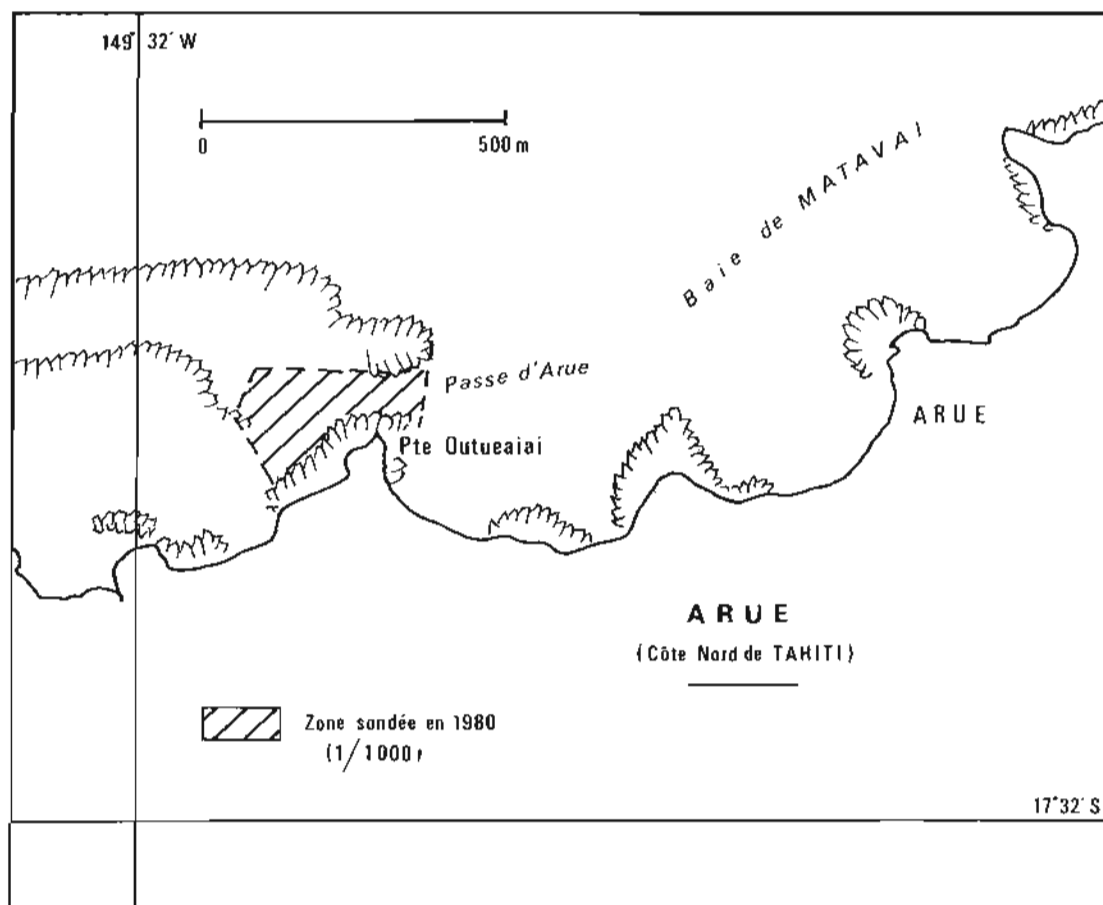
VII.2.6. Abords de la pointe d'Arue : 27-28 février 1980

— Généralités, localisation, marée

Les abords de la pointe d'Arue constituent l'accès du chenal d'Arue à la pleine mer, très fréquenté par les navires de plaisance. Le levé (voir planche n° 26) constituait un contrôle des opérations de déroctage qui ont été conduites dans la zone.

Comme pour les travaux précédemment décrits, il a été effectué à l'aide d'une coralline aménagée pour le sondage.

De la même manière, la localisation était assurée par trois, exceptionnellement deux, visées au théodolite.



PL. 26. — Arue : zone sondée

Les sondes ont été réduites de la marée à l'observatoire permanent de Matavai (voir par. VII.2.8.).

#### — Bathymétrie

Le levé régulier a été effectué selon des profils espacés de 10 m environ. Il a mis en évidence les déroctages réalisés dans l'Ouest de la pointe d'Arue (ou pointe Outueaiai) : c'est ainsi qu'une sonde minimale de 3,9 m a été trouvée à l'emplacement du pâtre corallien découvrant coté 0,2 m sur la carte n° 6598.

A noter également que le chenal situé au Nord de la pointe Outueaiai a été élargi par déroctage du récif frangeant.

Cependant les hauts-fonds cotés 3,0 et 2,6 m et situés respectivement dans le 021° à 500 m et dans le 053° à 900 m du clocher d'Arue, qui n'ont pas été retrouvés pendant le levé régulier et qui n'ont pas fait l'objet de recherches particulières, doivent être conservés sur les documents nautiques à leur ancienne cote jusqu'à l'éventuelle exécution de travaux complémentaires.

#### — Topographie

Le dessin de topographie a été exécuté à partir de stations faites à pied sur les têtes de corail visibles, en s'aidant d'une photographie aérienne à l'échelle 1/5 000 (IGN 1978) pour restituer le trait de côte et les limites du corail immergé visible.

Les marques du balisage existant ont été reportées sur la minute de topographie qui a été établie.

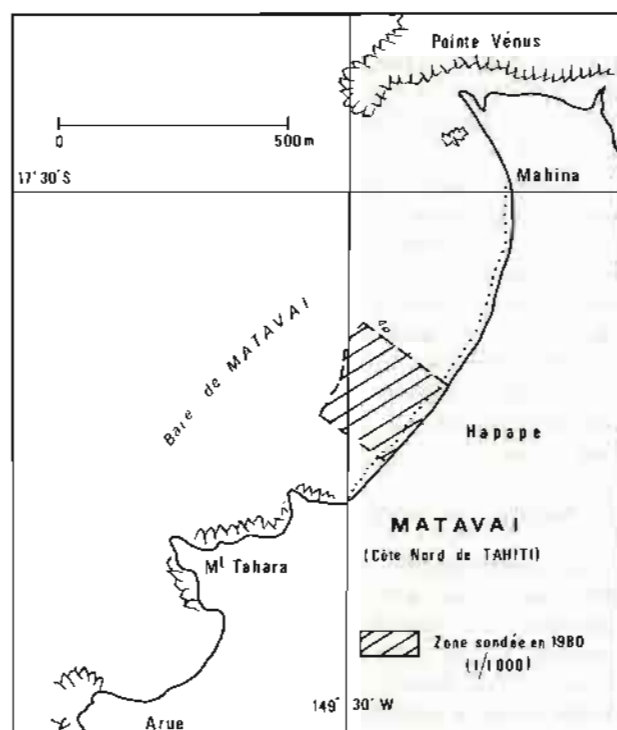
### VII.2.7. Recherche d'un « beaching » en baie de Matavai : 29 février-30 mars 1980 (voir planche n° 27)

#### — Généralités, localisation, marée

La zone à lever en détail, pour y assurer éventuellement de bonnes conditions d'accès à la plage et de « beaching » d'un bâtiment de débarquement important (du type B.D.C.), était approximativement un carré de 400 m de côté situé en baie de Matavai, en bordure de plage, au lieu-dit Hapape. La route principale de Tahiti y domine la plage à faible altitude, dans un virage soutenu par des enrochements.

Le récif extérieur est submergé sous plusieurs mètres d'eau devant la baie de Matavai. La plage peut être ainsi battue par la houle du large, créant de gros rouleaux, des jets de rive et des courants de retour important du fait du fort gradient littoral.

Le levé bathymétrique a été effectué du 29 février au 3 mars 1980 dans des conditions de mer difficiles, imposant l'utilisation d'une coralline avec sondeur hors-bord de préférence aux vieilles vedettes hydrographiques du BH1 *L'Estafette*, trop



PL. 27. — Matavai : zone sondée

lourdes et peu maniables dans les déferlantes de houle. Ni personnel ni matériel n'eurent heureusement à souffrir de ces conditions.

43 profils parallèles, espacés de 10 m environ, furent suivis, dans le seul sens du large vers la plage, pour réaliser le sondage bathymétrique. Leur longueur moyenne fut de 350 m.

Le procédé de localisation fut le radio-guidage avec trois théodolites.

Les sondes ont été réduites de la marée observée à l'observatoire permanent de Matavai (voir par. VII.2.8.).

#### — Bathymétrie

Le tracé des isobathes est dans l'ensemble cohérent avec celui du levé réalisé par profils espacés de 100 m en 1969-1970 par la Mission Hydrographique de Polynésie Française<sup>(5)</sup>, encore que l'on puisse déceler un léger creusement général dans le Sud-Ouest et le Nord-Est de la zone, et au contraire un engraissement dans le Nord.

#### — Topographie

La pente de la plage a été déterminée par 4 profils effectués le 4 mars en topographie à la perche. La laisse de pleine mer n'est pas définie

<sup>(5)</sup> Voir rapport de mission ICA Boulard. *Annales Hydrographiques* — 4<sup>e</sup> série, tome XVIII, 1972 — n° 739.

au niveau du virage de Hapape où la mer bat, et parfois déplace, les enrochements qui protègent et soutiennent la route. Elle n'est pas identifiable de part et d'autre du virage, du fait de l'importance du jet de rive.

La pente de la plage ainsi déterminée ne saurait être qu'indicative. On a pu constater sur place, à quelques semaines d'intervalle, des variations d'ensablement de plusieurs décimètres, sans doute liées à des régimes différents de houle et de seiches en baie de Matavai. L'importance des rouleaux pendant toute la période du levé n'a pas permis de raccorder sans discontinuité ces profils de topographie « à pied » au levé bathymétrique fait au sondeur.

#### — Nature des fonds

61 observations de nature de fond ont été effectuées par plongeur avec le soutien d'une coralline, aux nœuds d'un maillage sensiblement régulier d'une cinquantaine de mètres de côté. Chaque information résume l'exploration visuelle d'une zone de quelques dizaines de mètres carrés. Le fond est constitué partout, essentiellement, de sable noir meuble contenant plus ou moins des graviers, des galets, des cailloux, également noirs, et recouvert par endroits d'herbiers peu denses (genre *posidonies*).

La plage est constituée de sable noir meuble avec, par endroits, de gros blocs de roche noire, partiellement enfouis, vraisemblablement arrachés par la mer à l'enrochement de la route.

#### — Courantométrie

Après une première tentative infructueuse due à un mauvais fonctionnement de la caméra du courantomètre Mécaboliér, une seconde observation fut réussie du 24 au 30 mars 1980. Le courantomètre Mécaboliér, mis en place à l'aide d'un poussoir de la Direction du Port de Papeete, était placé à mi-profondeur, par fond de 5 m environ.

Le courant de marée est faible, difficile à distinguer d'un courant alternatif à peu près parallèle à la plage et lui-même faible. Ce dernier courant, de période mal définie, est peut-être dû à la houle entrant en baie de Matavai, à des oscillations propres du plan d'eau (seiches), à une excitation directe des vents (ici l'alizé) ou à une combinaison des trois causes. En tout cas, pendant les six jours d'observation, aucun courant supérieur à un demi-nœud n'a été enregistré.

### VII.2.8. Observations de marée et repères de nivellement dans la région de Papeete

#### — Généralités

Trois observatoires de marée, dont l'implantation remonte aux travaux hydrographiques faits

précédemment dans la région, existent à Papeete et dans ses environs :

- un observatoire complet et permanent à Arue, dit de Matavai, dans la banlieue Est de Papeete;
- une échelle permanente à Fare Ute, dans le centre de Papeete;
- un emplacement d'observatoire, non activé en temps ordinaire, à la Orana Villa, dans la banlieue Sud-Ouest de Papeete.

Les levés effectués par la M.O.P. au début de l'année 1980 dans la région de Papeete ont utilisé ces trois observatoires et ont été mis à profit pour contrôler les repères de nivellement.

De nouvelles fiches d'observatoires ont été établies.

#### — Observatoire de la Orana Villa (voir planche n° 28)

Le repère de nivellement utilisé par le LV Bordier en 1963<sup>(6)</sup> pour définir le zéro de réduction des sondes n'a pas été retrouvé. Les sondages de la zone Taapuna et de la zone Tataa ont donc été réduits selon un nouveau zéro de réduction des sondes défini par concordance avec le zéro hydrographique de Matavai sur une période de 30 jours. Ce zéro est situé à 2,19 m au-dessous d'un repère « A » scellé dans le mur d'enceinte de la Orana Villa et à 0,33 m sous le zéro du Nivellement Général de Tahiti.

#### — Observatoire de Fare Ute (voir planche n° 29)

Le contrôle de cet observatoire, où existe une échelle permanente, et celui de ses repères de nivellement a été effectué soigneusement du fait de discordances entre les fiches de marée et les rapports de mission le concernant<sup>(7)</sup>.

On rappelle les conclusions indiquées dans la fiche de marée établie par la M.O.P. en 1980 :

— Toutes les cotes données par rapport au zéro hydrographique et par rapport au zéro du Nivellement Général de Tahiti (NGT) de la fiche de marée Habert du 22 novembre 1971 doivent être diminuées de 0,341 m.

— Les repères A,D,F de la fiche Habert n'existent plus.

— Les repères de nivellement H (garage Renault) et I (appontement pétrolier) sont des repères I.G.N. du 4<sup>e</sup> ordre et ont une précision de l'ordre du centimètre.

— Les repères B et C sont en mauvais état.

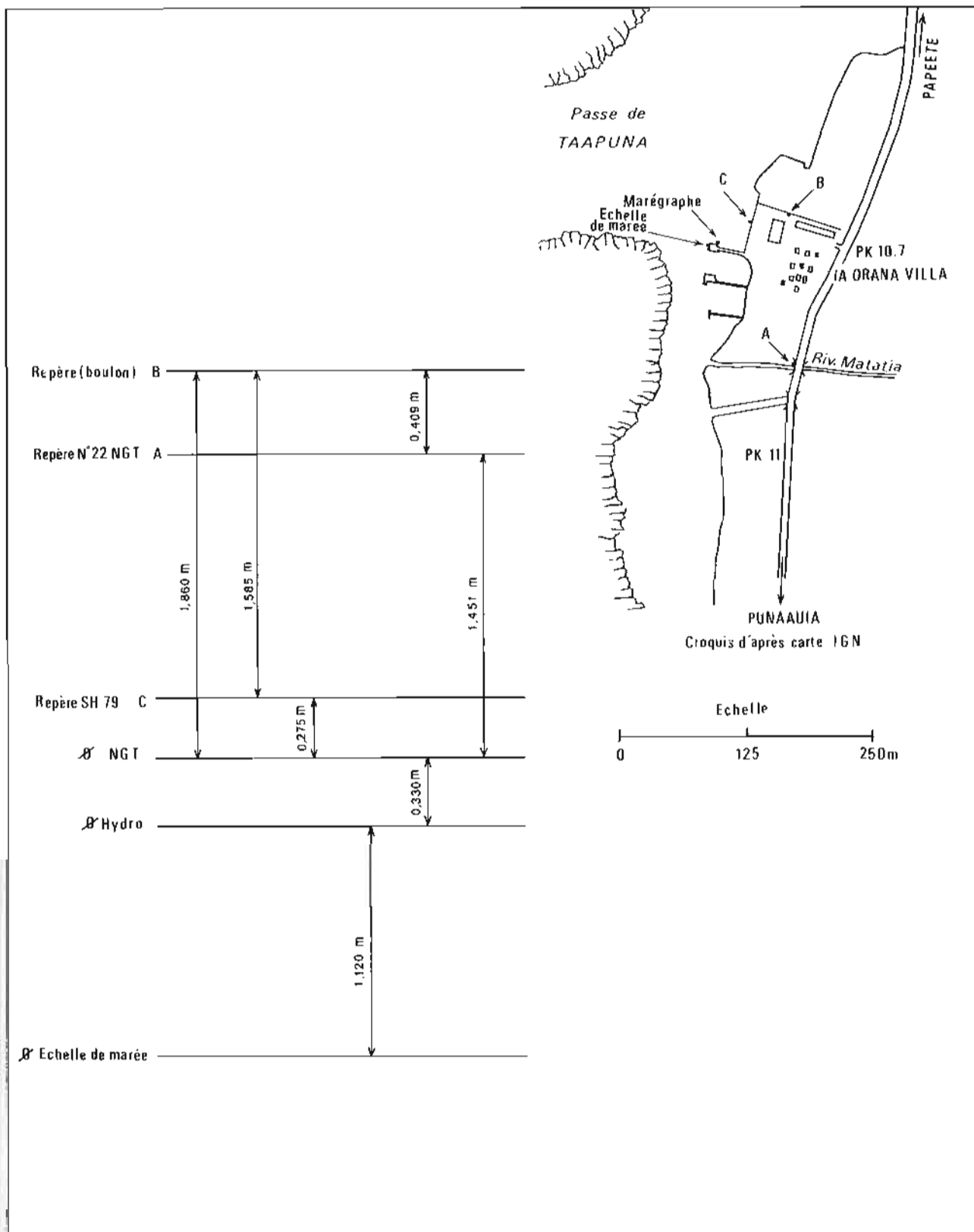
<sup>(6)</sup> Voir rapport de mission, L.V. Bordier, *Annales Hydrographiques*, 4<sup>e</sup> série, tome XV, année 1969 — n° 736.

<sup>(7)</sup> Voir rapports : LV d'Anglejan-Chatillon, *A.H.*, tome XII, 1963-1964

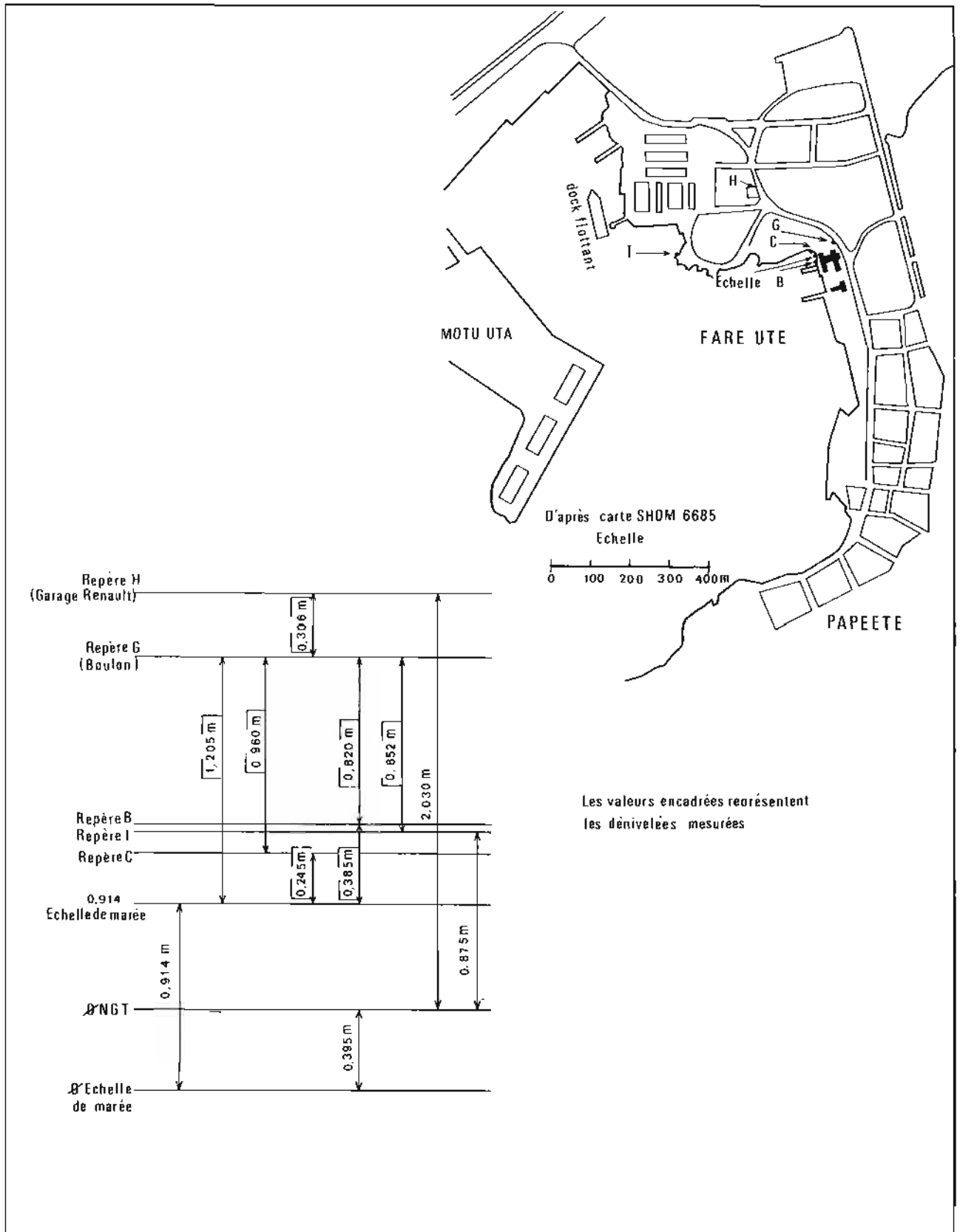
IHP Revel, *A.H.* tome XVI, 1970

IHP Pieretti, *A.H.* tome XVI, 1970

IA Habert, *A.H.* 5<sup>e</sup> série, vol. 6, fasc. 1, 1978, n° 748.

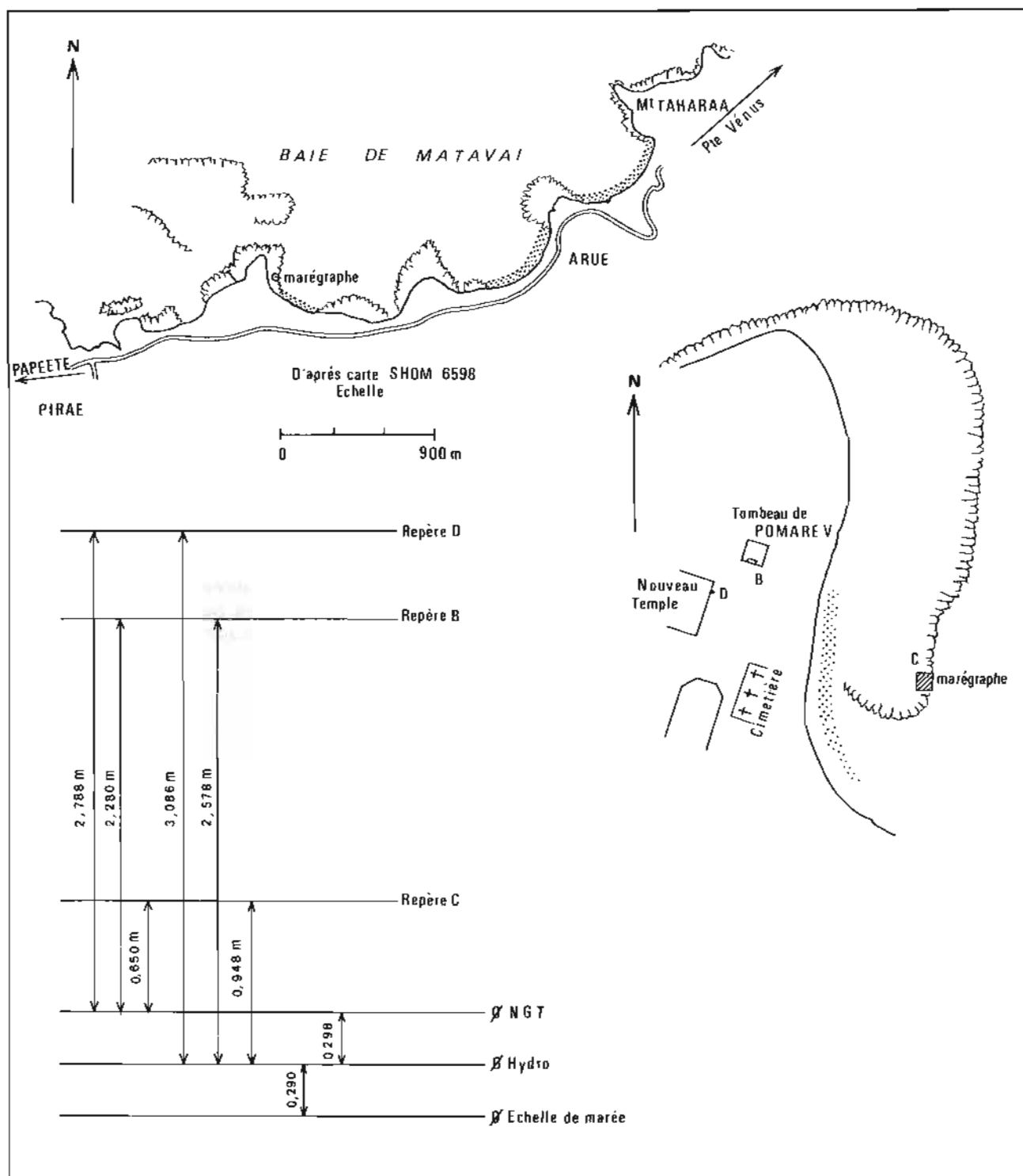


PL. 28. — Observatoire de marée de la Orana Villa



PL. 29. — Observatoire de marée de Fare Ute





PL. 30. — Observatoire de marée de Matavai

Un nouveau repère fondamental « G » a été implanté, dans le mur d'enceinte de la Base Marine de Fare Ute, près du parking du Centre Automobile Secondaire, le zéro de réduction des sondes se trouve à 2,119 m au-dessous de ce nouveau repère et à 0,395 m au-dessous du zéro NGT.

— Observatoire de Matavai (voir planche n° 30)

Cet observatoire, situé à Arue, est entretenu en permanence par la Direction du Port de Papeete, le nivellement de l'échelle en place a été contrôlé. Le zéro hydrographique se trouve à 3,086 m au-dessous du repère scellé dans le mur du nouveau temple, près du tombeau de la reine Pomaré V.

### VII.3. DOCUMENTS ÉTABLIS, DONNÉES TECHNIQUES

#### VII.3.1. Liste des documents établis

— Documents relatifs à l'ensemble des chantiers :

— 3 fiches d'observatoire de marée : la Orana Villa, Fare Ute, Matavai.  
— 13 fiches de points géodésiques et d'amers (voir ci-dessous la liste de coordonnées).

— *Taapuna* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/2 000  
— 1 minute d'écriture de topographie au 1/2 000.

— *Tataa* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/2 000  
— 1 minute d'écriture de topographie au 1/2 000.

— *Quai au Long Cours* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie et de topographie au 1/1 000.

— *Quai du Transit* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie et de topographie au 1/500.

— *Taunoo* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/2 500  
— 1 minute d'écriture de topographie au 1/2 500.

— *Arue* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/2 500  
— 1 minute d'écriture de topographie au 1/2 500.

— *Matavai* :

— 1 minute d'écriture de bathymétrie au 1/1 000 (avec profils de plage)  
— 1 minute d'écriture de natures de fonds au 1/1 000  
— 1 dossier de mesure de courant.

#### VII.3.2. Liste de coordonnées

On trouvera dans le tableau n° 7 ci-dessous la liste des coordonnées des points géodésiques et des amers qui ont fait l'objet d'une fiche.

TABLEAU 7  
Tahiti - zone Papeete (MTU fuseau 6)

Nom du point	Description des repères	Coordonnées MTU		Z (m)	Classification comme amers	Observations
		X	Y			
Taunoo — Christian	Centre du bidon Ouest	228 167,35	8 060 790,43	0,2	0	
Tataa — Borne Loïc	Piquet en fer scellé dans du ciment	221 895,31	8 054 858,04		0	
Terumao — Station Eugène	Croix gravée	222 624,63	8 051 878,62	1,5	0	
Tour du Port Autonome de Papeete	Mât axe	226 358,75	8 059 415,49		1	
Taunoo — Sphère à gaz	Boulon central de la plaque obstructrice au sommet de la sphère	226 660,8	8 060 046,8		2	
Fare Ute — Station Pont	Tige en fer	226 718,15	8 059 836,06	4,7	0	
Fare Ute — Rotonde — Station Remparts	Poteau d'éclairage (axe)	227 299,95	8 059 966,36		0	
Papeete — Digue Est du Port	Repère à la peinture « MOP 80 Remparts »	227 290,59	8 060 008,66	2	0	
Station Embruns	Repère à la peinture « MOP 80 »	227 355,76	8 060 676,38	6	0	
Taunoo — Station Eric	Repère à la peinture blanche	228 171,8	8 060 315,6	1	0	
Arue — pointe Outu Aillai	Repère en laiton scellé dans borne en ciment	231 795,6	8 060 907,5	1	0	
Borne Tombeau	Axe et sommet de la grande antenne	223 285,12	8 048 049,02		1	
Fort Belleau	Borne IGN 12	223 281,34	8 048 052,00	69,4	0	
Faaa — Station Gonio	Axe de la lanterne	221 060,73	8 055 513,26		1	
	Tube scellé dans plate-forme	221 071,43	8 055 516,71	3,67	0	Sofratop 559
	Repère peint (Radio MOP 80)	221 069,72	8 055 519,60		0	
Pointe Vénus — Phare	Paratonnerre (axe)	235 141,57	8 063 779,69		3	
	Croix gravée SW	235 139,88	8 063 778,02	27,9	0	

## CHAPITRE VIII : POLYNÉSIE FRANÇAISE RÉVISION DU BALISAGE ET DE LA TOPOGRAPHIE DES ÎLES DE RAIATEA ET TAHAA

### VIII.1. GÉNÉRALITÉS

En 1979, plusieurs rapports signalèrent des erreurs sur les documents nautiques relatifs aux îles de Raiatea et de Tahaa (archipel des Îles Sous-le-Vent de Polynésie Française) qui concernaient certaines marques de balisage et certains détails topographiques notamment aux abords du port d'Uturoa à Raiatea.

La révision systématique des marques de balisage de Raiatea et de Tahaa fut donc prescrite à la M.O.P., les modifications principales de topographie devant être relevées à cette occasion.

Ce travail était important puisqu'il comprenait le contrôle — existence, description, positionnement — de quelques 350 marques réparties autour de ces deux îles hautes de Polynésie dont les accès maritimes et terrestres sont souvent difficiles du fait de l'hydrographie des lagons, du relief escarpé et de la végétation très dense.

Il a été effectué entre le 1<sup>er</sup> février et le 28 mars 1980, en profitant de la présence d'un échelon de la Mission en Polynésie. Un détachement réduit fut affecté à cette tâche — menée en même temps que d'autres levés —, détachement qui fut soutenu par un bâtiment de la Marine Nationale selon le calendrier suivant, conforme au programme établi :

- du 1<sup>er</sup> février au 10 février 1980 : EDIC 9082;
- du 9 au 22 février 1980 : RHM *Hippopotame*;
- du 16 au 28 mars 1980 : Patrouilleur *La Lorientaise*.

Ce calendrier permit la réalisation complète des travaux, dans des conditions difficiles, grâce à un engagement important des personnels, tant de la Mission que des bâtiments mis à la disposition de la M.O.P.

Le détachement M.O.P. comprenait deux Officiers-Mariniers hydrographes, un Quartier-Maître, placés sous les ordres d'un Officier Spécialisé (1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> interventions) puis d'un Ingénieur de l'Armement (3<sup>e</sup> phase). Les bâtiments de soutien, chargés essentiellement d'assurer les déplacements des équipes et de leur matériel d'observation, participèrent dans la mesure de leurs moyens, assez inégaux, aux travaux eux-mêmes. Il faut remarquer ici que l'esprit de coopération fut sans faille, à tous les niveaux, sur chacun des trois bâtiments et qu'il a constitué sans nul doute un élément déterminant de la réussite de la mission dans les temps limités qui étaient impartis.

Un technicien du Service des Phares et Balises de Papeete, Monsieur Pacaud, a pu embarquer sur le Patrouilleur *La Lorientaise* pendant toute la durée de la 3<sup>e</sup> phase et ce, à l'initiative de la M.O.P. au terme d'une convention passée entre le Territoire de Polynésie Française et la Marine Nationale. Monsieur Pacaud participa activement aux divers aspects du levé : préparation, observations sur le terrain, calculs géodésiques. Cette participation s'est avérée mutuellement profitable, M. Pacaud représentant une aide précieuse, notamment par sa connaissance du lagon et du balisage, et recevant en échange la formation d'un véritable stage de géodésie pratique avec fourniture d'une copie des méthodes de calcul du SHOM.

Le matériel spécifique se limitait aux instruments de géodésie et de topographie de la M.O.P., emportés pour la circonstance. Le matériel non spécifique — véhicule, embarcations, propulseurs hors-bords etc. — et le soutien logistique, notamment les carburants, furent fournis par les services de la Marine Nationale de Papeete et par les bâtiments de soutien.

Le déroulement des travaux, les méthodes et techniques utilisées sont décrits ci-dessous. L'exploitation de leurs résultats, sous la forme de l'établissement de plusieurs centaines de fiches normalisées et de documents-index de synthèse, s'est révélée une tâche sinon délicate du moins fort longue.

### VIII.2. DÉROULEMENT DES TRAVAUX

#### VIII.2.1. Première phase — EDIC 9082 — du 1<sup>er</sup> au 10 février 1980

Les bonnes qualités de manœuvre et le faible tirant d'eau de l'EDIC permirent tout d'abord d'effectuer une reconnaissance complète du lagon de Raiatea et du lagon central, entre les îles de Raiatea et de Tahaa, tout en assurant le soutien d'une équipe à terre, chargée des opérations géodésiques de base.

La zone concernée par les relevés géodésiques et topographiques proprement dits fut, pendant cette phase, essentiellement celle du lagon central.

Cette première intervention connut des conditions météorologiques très médiocres, assez nor-

males en cette période de l'été austral : pluies fréquentes et abondantes, visibilité réduite. Les périodes les plus mauvaises furent employées, dans la mesure du possible, pour effectuer quelques petits levés topographiques, principalement aux environs d'Uturoa, ville principale et port de Raiatea, où des changements notables furent en effet constatés.

Malgré ces conditions et divers incidents matériels, le bilan de cette première phase fut positif en définitive, les problèmes techniques et logistiques — notamment dans le domaine des transports terrestres et maritimes — ayant été évalués et résolus.

#### VIII.2.2. Deuxième phase — Remorqueur de Haute Mer *Hippopotame* — du 9 au 22 février 1980

L'important tirant d'eau de l'*Hippopotame* (4,8 m), qui avait relevé l'EDIC 9082 sur zone, lui interdisait l'accès à de nombreux secteurs du lagon. Les transits en embarcation pneumatique ou en baleinière de récif furent très allongés. Soumis à un usage intensif, ces moyens nautiques — et principalement les propulseurs hors-bord — subirent de nombreux incidents sans conséquence heureusement pour la mission grâce aux secours offerts par les moyens propres de l'*Hippopotame*.

Les conditions météorologiques plus favorables permirent de mener à bien le positionnement de l'ensemble du balisage de Raiatea, à l'exception d'une petite zone au Sud-Est de l'île.

À l'issue de cette seconde période, l'équipe de la M.O.P. regagna Tahiti à bord de l'*Hippopotame* tandis que le véhicule de travail était laissé sur place, à Raiatea d'abord, à Tahaa ensuite, le transfert d'île à île ayant été assuré par une mission complémentaire de l'EDIC 9082 depuis Papeete.

#### VIII.2.3. Troisième phase — Patrouilleur *La Lorientaise* — du 16 au 28 mars 1980

Cette troisième phase, facilitée par la bonne adaptation du Patrouilleur à sa tâche de soutien, par des conditions météorologiques excellentes, et par un faible taux d'incidents techniques, permit d'effectuer la totalité de la révision du balisage de l'île de Tahaa et d'achever celle de l'île de Raiatea.

### VIII.3. MÉTHODES UTILISÉES

Le nombre élevé des marques de balisage de Raiatea-Tahaa (environ 350) qu'il s'agissait de

contrôler et de positionner une à une, l'incertitude de ne pouvoir trouver de proche en proche suffisamment de points de référence utilisables et convenablement répartis, conduisit d'emblée à envisager et à réaliser un canevas géodésique général de base. Ce canevas fut constitué des points de l'IGN et de la M.H.P.F. que l'on put retrouver, ainsi que des points complémentaires mis en place pour la circonstance par la M.O.P. Depuis les points de ce canevas, les marques de balisage furent visées au théodolite, ces relevements directs étant éventuellement complétés par des relevements inverses sur amers positionnés ou sur une quinzaine de signaux complémentaires. La pérennité de ces signaux sera probablement très faible.

Enfin, dans quelques baies fermées ou dans quelques zones pour lesquelles les lieux géodésiques précités présentaient une mauvaise géométrie, il fallut prendre, depuis les balises à positionner, des angles au cercle hydrographique sur d'autres marques de balisage déjà positionnées. Cette méthode de positionnement « en séquence » fut heureusement rarement employée.

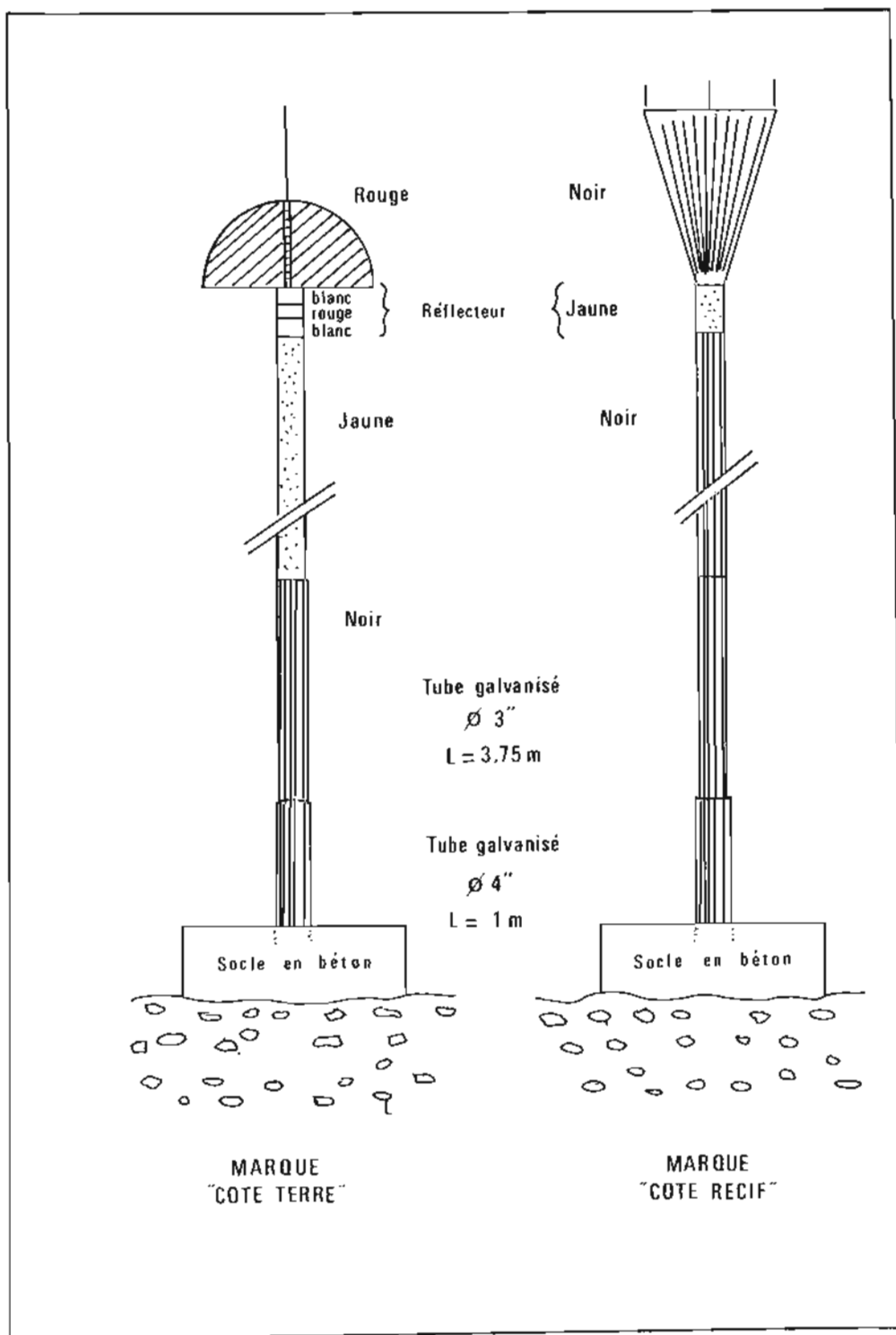
En définitive, la plupart des marques de balisage furent localisées avec une précision de nature géodésique — quoique d'ordre naturellement élevé — ce qui remplissait a fortiori l'objectif cartographique qui avait été fixé.

Parallèlement aux observations optiques nécessaires au positionnement, une revue systématique des marques de balisage — et de quelques amers — était effectuée avec établissement d'un croquis sommaire renseigné et prise de vue photographique.

En conclusion, les méthodes utilisées pour cette mission furent très classiques, la difficulté particulière réside dans le grand nombre — on peut parler parfois de « fouillis » — d'éléments à contrôler. Une grande rigueur dans l'organisation fut donc nécessaire, ce qui n'était pas simple dans les conditions dans lesquelles se trouvait le détachement de la M.O.P. (délais restreints, moyens non spécialisés, difficultés météorologiques et matérielles).

### VIII.4. RÉSULTATS ET DOCUMENTS ÉTABLIS

Un rapport particulier a été établi (août 1981). Il récapitule notamment les descriptifs (voir planche 31) et les coordonnées des 364 marques de balisage positionnées qui ne seront pas rappelés ici. Ce rapport apporte des commentaires détaillés sur les conditions géodésiques rencontrées et sur la validité des résultats. Des considérations nautiques sont développées concernant les alignements importants et les principales routes de



PL. 31. — Balisage spécial Polynésien

navigation. Des constatations relatives à la topographie côtière y sont enfin fournies.

Des exemplaires des 5 cartes marines en service, couvrant les deux îles, ont été annotées des résultats de cette revue de balisage et d'amers.

Ces documents constituent un index et une synthèse de ces résultats.

3 minutes de topographie à l'échelle de 1/500 ont été établies.

11 fiches d'amers ont été dressées pour les amers nouveaux.

## CHAPITRE IX TRAVAUX DIVERS EN NOUVELLE-CALÉDONIE ET EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

### IX.1. GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre résume brièvement les travaux divers que la M.O.P. a effectués entre 1978 et 1980 ainsi que ceux pour lesquels la Mission a participé à l'exploitation et à la transmission des documents-résultats.

Ces travaux sont les suivants :

- rattachements géodésiques d'après des observations faites avec le récepteur de navigation par satellites JMR 4 à Nouméa, Papeete et Mururoa;
- levé de détail d'une partie du port de Nouméa;
- sondages bathymétriques et reconnaissance hydrographique océaniques.

### IX.2. RATTACHEMENTS GÉODÉSQUES

Des observations au point fixe de plus ou moins longue durée ont été effectuées à l'aide du récepteur de localisation par satellites Transit, récepteur JMR 4 qui avait été reçu par la M.O.P. en décembre 1979 puis embarqué à bord de *L'Estafette*.

Ces observations, et leur résultat donné par les écarts constatés entre la position JMR ( $G_T$ ,  $L_T$ ) dans le système géodésique WGS 72 et la position connue dans le système géodésique local ( $G$ ,  $L$ ) sont les suivants :

- mesure continue de 13 jours, entre le 14 et le 27 décembre 1979, l'antenne de réception étant placée sur le toit du bâtiment de commandement de la Marine Nationale à la Base Maritime Chaleix de Nouméa. Les écarts mesurés sont :

$$G_T - G = + 11,19'' \quad (X_T - X = 323,4 \text{ m})$$

$$L_T - L = - 10,23'' \quad (Y_T - Y = 311,6 \text{ m})$$

Un rapport particulier, analysant la précision du système dans les conditions de l'expérimentation, a été établi;

- mesure continue de 4 jours, du 22 au 25 février 1980, le récepteur étant maintenu à bord de *L'Estafette* à quai au poste E3 du port militaire de Papeete. Les écarts mesurés sont :

$$G_T - G = - 0,72'' \quad (X_T - X = - 20 \text{ m})$$

$$L_T - L = + 3,84'' \quad (Y_T - Y = + 115 \text{ m})$$

- mesure continue de 2 jours, du 9 au 10 mars 1980, le récepteur étant maintenu à bord de *L'Estafette* à quai, au ponton Est du port de la DP de Mururoa. Les écarts mesurés sont les suivants :

$$G_T - G = - 1,38'' \quad (X_T - X = - 39 \text{ m})$$

$$L_T - L = + 3,06'' \quad (Y_T - Y = + 92 \text{ m})$$

Les fiches de « rattachement Transit » ont été établies pour ces trois observations.

### IX.3. LEVÉ À GRANDE ÉCHELLE DANS LE PORT DE NOUMÉA

Une vérification des profondeurs disponibles le long et aux abords du quai « Ro-Ro »<sup>(1)</sup> dans le port de Nouméa avait été demandée par la Direction de ce port, à la suite de travaux d'approfondissement qui y avaient été récemment réalisés. En conséquence, le levé de détail d'une zone d'environ 700 m de long sur 50 m de large a été effectué par la M.O.P. le long de ce quai, entre le 7 et le 10 mai 1979.

Les travaux ont été menés à l'aide d'une vedette hydrographique de *L'Estafette*, dont la localisation a été assurée par le procédé dit « de la cordelle ». Les profils, perpendiculaires au quai, étaient espacés de 5 m.

Une minute d'écriture de bathymétrie à l'échelle de 1/500 a été établie à la suite de ce sondage.

Une obstruction importante (débris métalliques) ayant été trouvée, le Port de Nouméa a procédé à son déblaiement et un contrôle ponctuel des nouvelles profondeurs acquises fut effectué par la Mission. La minute d'écriture fut corrigée en conséquence.

### IX.4. SONDAGES BATHYMÉTRIQUES ET RECONNAISSANCE AU LARGE

#### IX.4.1. Sondages bathymétriques entre la Nouvelle-Calédonie et Tahiti

La zone du Pacifique, comprise entre la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie Française est désormais couverte par la série des cartes marines internationales à l'échelle de 1/3 500 000, ces cartes constituant un état au moins approché de

(1) Quai des porte-conteneurs.

la connaissance bathymétrique océanique disponible à l'heure actuelle. C'est au vu de l'assemblage de ces cartes, et en tenant compte des précédents déplacements des bâtiments de la M.O.P., que l'on tenta d'orienter les transits de ces bâtiments entre Nouméa et Tahiti (et vice-versa) afin de rendre plus utiles les sondages par grands fonds qu'ils sont susceptibles de réaliser pendant ces transits.

Cette possibilité fut utilisée en novembre 1978 (transit de *L'Estafette* de Nouméa à Tahiti via Tonga et Western Samoa) et en avril 1979 (transit de *L'Estafette* de Tahiti à Nouméa via American Samoa<sup>(2)</sup>).

Faute de posséder encore le système de localisation par satellites, le bâtiment fut positionné à l'estime combinée avec les observations Oméga dont la précision fut améliorée par des observations au point fixe pendant les escales. Le sondeur utilisé fut l'Elac Deneb, calé pour une vitesse du son de 1 500 m/s.

Le résultat de ces sondages figure sur 4 minutes de rédaction de bathymétrie à l'échelle de 1/1 000 000, qui constituent un regroupement de zones géographiques. Les projections de construction, à la même échelle sont en effet, elles, au nombre de 13.

#### IX.4.2. Sondage de reconnaissance dans l'Ouest de la Nouvelle-Calédonie

La M.O.P. eut la possibilité d'exploiter puis de transmettre les résultats de sondages effectués dans l'Ouest de la Nouvelle-Calédonie, jusqu'aux îles Bellona et Chesterfield par le N/O *Vauban* du Centre de l'ORSTOM de Nouméa.

Ces sondages, effectués en mai 1979, correspondent à un simple transit d'accès depuis l'Est vers les îles Chesterfield puis à une traversée de

l'ensemble des Bellona. Ils sont intéressants par le fait que le bâtiment était équipé d'un sondeur grands fonds de qualité (Atlas 2000) et surtout d'un système de localisation par satellites Transit.

La M.O.P. se chargea de l'exploitation des sondages, selon les normes usuelles, à partir des enregistrements bruts qui lui furent communiqués. Le résultat en est deux minutes d'écriture de bathymétrie à l'échelle de 1/1 112 000 qui suivent le découpage normalisé GEBCO. Le sondeur était calé pour une vitesse du son de 1 500 m/s.

#### IX.4.3. Reconnaissances sur les îlots et récifs au Nord de la Nouvelle-Calédonie

Alors que *L'Estafette* était momentanément indisponible pour les travaux hydrographiques<sup>(3)</sup>, ce bâtiment a effectué du 21 au 24 mai 1979 la reconnaissance des récifs au Nord de la Nouvelle-Calédonie (Astrolabe, Pétrie). Il ne s'agissait pas tant de localiser ces récifs<sup>(4)</sup> que de vérifier leur caractère de « toujours découvrant » ou non, afin de contribuer à la détermination des limites de la zone économique exclusive de Nouvelle-Calédonie. Le résultat de cette investigation fut fourni par *L'Estafette* sous la forme d'un rapport.

Le Patrouilleur *La Dunkerquoise* a effectué, avec le Directeur de la M.O.P. à son bord, la reconnaissance des parages Nord-Ouest de la Nouvelle-Calédonie vers les îles Surprise et Huon, du 8 au 13 février 1980. L'existence ou la non-existence des récifs figurés sur les cartes marines de la région, très imparfaites, furent analysées; le contour réel et les positions relatives des îlots et récifs furent restitués autant qu'il était possible de le faire avec les moyens de navigation disponibles. Certains éléments bathymétriques furent en outre recueillis. Les résultats figurent sous la forme d'un rapport et d'un plan au 1/500 000 dressés par la Mission et transmis au SHOM.

(2) Les transits ultérieurs durent se faire par la route la plus directe — et donc la plus connue — pour des raisons diverses, logistiques ou opérationnelles.

(3) En attendant le remontage de sa grue.

(4) Le bâtiment n'était pas encore équipé du récepteur de navigation Transit.

## CERTAINS ASPECTS PARTICULIERS DE L'HYDROGRAPHIE EN MILIEU CORALLIEN

### I. GÉNÉRALITÉS

Les régions océaniques du globe où peuvent exister les formations coralliennes, c'est-à-dire les zones d'eaux tropicales et équatoriales, présentent des littoraux dont la bathymorphologie est tout à fait particulière. Du point de vue nautique, ces côtes, généralement mal ou peu connues du point de vue hydrographique, sont souvent dangereuses. Le but de cette annexe technique, d'une ambition limitée, est de présenter quelques idées simples sur l'hydrographie dans ces régions.

Il s'agit plus précisément, en partant de quelques considérations géologiques et bathymorphologiques, ainsi que de l'analyse du besoin nautique, de proposer quelques règles générales de conduite de l'hydrographie en milieu corallien.

L'idée principale est que la méthodologie hydrographique employée dans les zones non coralliennes ne peut être appliquée telle quelle pour faire face à ces conditions bathymorphologiques et à ces besoins nautiques particuliers.

Précisons que nous appelons « milieu corallien » celui où existent ou peuvent exister des formations coralliennes affleurantes ou sous-marines. Il s'agit donc de zones de fonds compris entre 0 et 100 mètres environ, principalement les côtes, les lagons, les récifs-barrières et leurs accores immédiats.

### II. ÉLÉMENTS DE BATHYMORPHOLOGIE DESCRIPTIVE EN MILIEU CORALLIEN

#### II.1. Géologie et bathymorphologie

La littérature scientifique traitant de la géologie et de la bathymorphologie descriptive des milieux coralliens, ainsi que de l'évolution de ces types de littoraux est abondante depuis que Charles Darwin a publié en 1842 son premier traité sur la formation des atolls. Les éléments bibliographiques donnés in fine fournissent quelques titres qui ont été consultés.

Il s'agit ici, en se plaçant dans une perspective hydrographique, de rappeler certains éléments fondamentaux dans les domaines géologiques et

de fournir une nomenclature sommaire des structures sous-marines résultantes que l'on est susceptible de rencontrer lors des levés des zones coralliennes.

#### II.2. La formation et la distribution des structures coralliennes

Les structures coralliennes sont essentielles du point de vue hydrographique, dans les zones tropicales et équatoriales, parce qu'elles constituent des obstacles de dimensions extrêmement variables et qu'elles sont distribuées de manière certainement très erratique.

Leur formation n'est cependant pas le seul fait du hasard. Elle obéit à des lois bionomiques relativement bien connues même si les modifications géologiques, eustatiques et écologiques interviennent fortement pour favoriser ou contrarier le développement des constructions madréporiques, selon des échelles de temps très diverses.

Dans une région déterminée, il est donc utile pour l'hydrographe de faire préalablement à ses travaux de levé, une analyse au moins sommaire des conditions coralliennes, analyse qui sera fondée sur les connaissances théoriques acquises en matière de géologie et sur les données bathymétriques déjà disponibles.

Les phénomènes à faire intervenir dans cette analyse sont les suivants :

— La profondeur moyenne : les coraux ne survivent pas en-dessous d'un certain plafond. Il y a lieu ici de se méfier de certains chiffres annoncés dans la littérature. Des auteurs ont ainsi limité à 30 mètres, d'autres à 50 mètres, la zone des coraux vivants. La M.O.P., dans son levé du Sud-Est de Nouvelle-Calédonie, a identifié des structures par une centaine de mètres de profondeur, dont la nature corallienne a été confirmée par prélèvements.

— Les variations tectoniques et notamment les subsidences qui peuvent être trop rapides et ainsi empêcher les formations coralliennes de proliférer suffisamment et maintenir la structure en position affleurante. On rencontrera alors des formes sous-marines, plus ou moins immergées, ayant les aspects des récifs coralliens mais dont le couronnement peut être ou non dépourvu de corail. C'est le cas notamment pour les « récifs-barrières im-



mergés » dont les découvertes se renouvellent actuellement : Sud-Est calédonien, Chesterfield-Bellonna, etc.

— Les variations eustatiques, de période plus courte, qui sont responsables, concurremment avec les phénomènes de subsidence, de la création de formations coralliennes plus ou moins immergées et particulièrement dangereuses.

— Le développement linéaire des structures affleurantes et sub-affleurantes, par exemple les récifs intérieurs des lagons, qui est un phénomène courant assez mal expliqué.

— La disparition totale des structures coralliennes dans les zones lagonaires « polluées » par les sédiments en suspension. On se méfiera à ce propos du décalage pouvant exister entre les situations présentes et passées.

— L'ennoyage, plus ou moins important, par les sédiments détritiques (sable) ou terrigènes des structures coralliennes.

### 11.3. Une nomenclature des principales structures en lagon

Nous avons cherché à énumérer, ci-dessous, les principales structures de formations coralliennes, en rappelant que nous nous plaçons dans une optique hydrographique. La description est ainsi faite en fonction de l'intérêt que peuvent présenter les mouvements bathymorphologiques en fonction de la sécurité nautique. De ce fait, on s'est limité aux accidents de relief sous-marin qui sont les plus fréquemment rencontrés dans les zones de profondeurs faibles et moyennes, c'est-à-dire essentiellement en lagon.

#### 11.3.1. Les structures affleurantes ou quasi-affleurantes

Il s'agit essentiellement des récifs coralliens, au sens classique du terme. Ils sont connus, et ont été décrits, depuis fort longtemps puisqu'observables directement.

On distingue les récifs frangeants, attenants à la côte; les récifs-barrières, plus ou moins parallèles à la côte et qui enserrant un lagon; les récifs lagonaires qui peuvent correspondre à ces anciens récifs-barrières marquant des étapes de subsidence.

La caractéristique hydrographique essentielle de ces récifs est de présenter des cotes très voisines du zéro de référence. Ce sont des structures puissantes, jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de long, de plusieurs centaines de mètres de large, seulement interrompues par des passes plus ou moins larges mais assez souvent saines et profondes.

Par-delà cette structure macroscopique, les



Le lagon de l'île des Pins et ses récifs coralliens



Îlot boisé du lagon calédonien

récifs présentent une grande complexité à l'échelle décimétrique ou métrique.

L'hydrographe peut, en général, ignorer ces microstructures : saillants, rehaussements locaux, débris détritiques (« têtes de nègre »), invaginations, chenaux intérieurs, etc., car leur description détaillée est le plus souvent de peu d'utilité pour la navigation. Les « golfes de récifs » peuvent néanmoins constituer des abris contre la houle et les plus grosses « têtes de nègre » sont souvent de bons amers.

Les récifs ont parfois fixé des « cayes » de sable, appelées îlots en Nouvelle-Calédonie, « motus » en Polynésie lorsque la végétation a pu s'y développer.

Le levé de ces structures affleurantes, bien repérables à la vue et au radar surtout à marée basse, est du ressort des moyens de la télédétection. Leur représentation cartographique est complexe et sera évoquée ci-après.

#### 11.3.2. Les accores des récifs

On a souvent édicté en loi générale le fait que les approches extérieures des récifs-barrières —

ou des récifs frangeants lorsqu'il n'existe pas de lagon — sont accores, plongeant rapidement et régulièrement vers les grands fonds.

Les théories sur la formation des atolls et des développements coralliens autour des îles hautes correspondent effectivement à ce modèle simple, rassurant du point de vue hydrographique.

S'il est vrai que les abords immédiats des récifs sont quasi-verticaux, puis que les profondeurs augmentent ensuite assez vite, en présentant parfois des paliers qui pourraient être dus aux étapes eustatiques, on a découvert, plus au large, des structures — ou des amorces de structures — coralliennes constituant des rehaussements inattendus. Ce fait a par exemple été relevé au large Sud-Ouest de l'île des Pins.

L'interprétation géologique de ce phénomène dépasse bien entendu le cadre de cette annexe technique et ferait sans doute intervenir simultanément théorie de la subsidence (Darwin) et théorie eustatique (Daly). L'hydrographe retiendra que des sondages de contrôle au large sont indispensables pour vérifier la non-existence de ces rehaussements possibles.

Les approches intérieures (côté lagon) des récifs-barrières et les zones environnant les récifs frangeants et lagonnaires sont par contre fréquemment encombrées de hauts-fonds coralliens.

### *II.3.3. Les structures coralliennes immergées et isolées*

Le fond des lagons et, comme cela est rappelé ci-dessus, les approches de certains récifs affleurants, sont parsemés, avec une densité très variable, de structures coralliennes plus ou moins immergées qui sont ennoyées dans les sédiments et donc isolées.

Le vocabulaire familier leur attribue le nom de « patate ». On peut employer aussi le mot « bloc » (en anglais « patch »).

Nous ferons — assez arbitrairement mais utilement du point de vue hydrographique — une distinction entre « macrostructure » et « microstructure » selon l'ordre de grandeur de la dimension du bloc (respectivement 100 et 10 mètres).

Il est hasardeux d'avancer des lois de répartition de ces structures et il est réaliste de parler de distribution aléatoire. Par contre l'analyse des densités zonales (nombre de structures au km<sup>2</sup> par exemple) sera fort instructive pour la conduite des levés hydrographiques.

Malgré le danger évident que les blocs coralliens constituent pour la navigation, il faut souligner que le rapport diamètre/hauteur est généralement de l'ordre de 5, exceptionnellement de l'ordre de 2 ou 3. Ceci est essentiel car, par profondeurs « normales » de lagon (20 à 50 m), ceci revient à dire que les structures dangereuses seront les seules macrostructures, détectables par

un ratissage selon des profils espacés de 100 mètres (levé « au 1/10 000 »). On est donc loin de l'image d'aiguille de corail qui est si souvent employée.

Malheureusement cette règle n'est que statistique et le danger réside dans les exceptions toujours possibles. Remarquons que la fameuse « aiguille » dans la baie de Prony (Nouvelle-Calédonie, côte Sud) dont le rapport diamètre/hauteur est de l'ordre de 1 n'est pas corallienne; on a découvert (ORSTOM — Nouméa 1978) qu'elle avait été constituée d'après les sécrétions minérales de sources sous-marines d'eau douce. Néanmoins il a pu être rencontré certaines microstructures dangereuses, même par grands fonds. C'est ainsi qu'un haut-fond isolé a été découvert en rade de Thio (Nouvelle-Calédonie, côte Est), qui aurait pu passer au travers des mailles du levé au 1/10 000 et dont le rapport diamètre/hauteur s'est révélé être de 2,5 : le bloc de corail d'un diamètre de 60 mètres, constituait une obstruction dont la cote minimum est de 7,5 m par fond moyen de 31 m (voir planche n° 32). Le cas constitue un exemple intéressant, d'autant plus que ce haut-fond est situé dans l'axe balisé conduisant au mouillage et au transbordeur de minerai de nickel de Thio fréquentés par des bâtiments d'une dizaine de mètres de tirant d'eau.

Le levé régulier, effectué selon des profils espacés de 100 mètres, n'avait marqué qu'une légère anomalie bathymétrique qui n'a été considérée comme suspecte que parce qu'elle se situait dans le prolongement d'un récif lagonaire affleurant de forme linéaire.

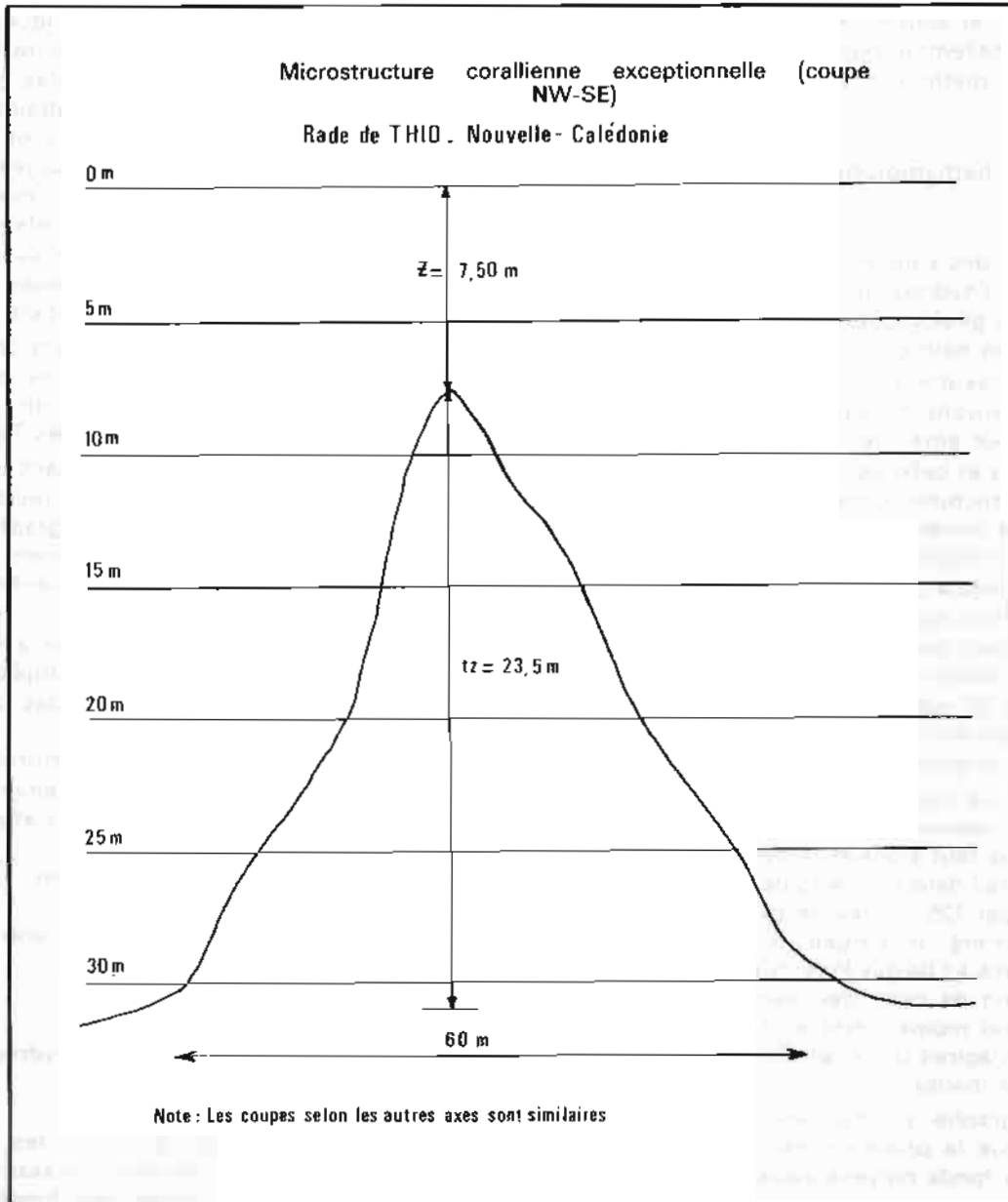
On est ici nettement à la limite des possibilités de l'hydrographie « classique » et la nécessité d'employer une technique de sondage « surfacique » est une fois de plus prouvée.

Le problème fondamental posé par ces structures coralliennes immergées est que leur recherche systématique et exhaustive est généralement impossible du fait de leur nombre. On développera ce point essentiel dans les chapitres suivants.

Il existe néanmoins certaines zones lagonnaires où la densité apparente — au vu des résultats des sondages réguliers — de telles structures est faible, voire nulle, le plus souvent à la suite de pollutions terrigènes qui ont contrarié suffisamment longtemps la prolifération du corail. La recherche des anomalies suspectes y sera naturellement systématique mais l'emploi de procédés de contrôle « surfaciques » demeure tout autant nécessaire.

### *II.3.4. Les structures linéaires immergées*

On a découvert et on découvre de plus en plus fréquemment des structures bathymétriques de formes allongées, immergées à quelques mètres ou dizaines de mètres, qui offrent les caractéristi-



PL. 32. — Microstructure corallienne exceptionnelle

ques des récifs coralliens affleurants. On a vu ci-dessus que cette ressemblance — on y repère de véritables « passes » — conduit à les imaginer comme un ancien récif-barrière affecté par des mouvements de subsidence, des variations du niveau de la mer et des réactions complexes de la croissance du corail.

Ces phénomènes et leurs conséquences bathymétriques sont d'autant plus complexes qu'ils sont différentiels et non globaux. C'est ainsi que la barrière immergée découverte en Nouvelle-Calédonie entre la Grande-Terre et l'île des Pins offre des profondeurs sommitales de 15 à 30 mètres à relativement faible distance de puissants récifs qui sont, eux, restés affleurants.

### II.3.5 Les plateaux coralliens immergés

Une dernière structure que nous citerons comme importante du point de vue hydrographique est celle d'un plateau corallien immergé à quelques mètres. La différence avec la structure précédente réside dans le fait que l'on n'y retrouve plus de formes linéaires mais qu'il s'agit de vastes surfaces correspondant sans doute à des récifs frangeants affectés par des variations de niveau (récif plateforme).

Un exemple caractéristique est celui des abords Sud-Ouest de l'île des Pins, au Sud-Est de l'îlot Infernal.

L'hydrographie de telles structures est particu-

lièrement — et souvent excessivement — longue et ne sera réellement possible qu'avec le développement des méthodes télébathymétriques.

#### **II.4. Intérêt bathymorphologique des natures de fond**

Le relevé des « natures de fond » fait partie de la tâche de l'hydrographe, beaucoup moins dans une optique géologique que comme complément d'information nautique.

Dans le cas des zones coralliennes, ces prélèvements peuvent apporter des renseignements précieux pour améliorer l'évaluation de la bathymorphologie et celle de l'existence plus ou moins dense de structures immergées. La découverte de corail vivant rendra plus probable la rencontre de structures « dures » et d'une « vibration bathymorphologique à courte longueur d'onde ».

Les auteurs considèrent généralement que le corail ne peut se développer en-dessous d'une profondeur limite qui varie, selon la littérature, de 30 à 80 ou 90 mètres. Des fonds moyens supérieurs ne devraient donc pas présenter de traces de structures coralliennes vivantes.

Faute d'une expérimentation approfondie, il ne peut être question ici de contester ces chiffres. Mais il nous faut signaler la découverte de branches de corail dans plusieurs de nos prélèvements effectués par 125 mètres de profondeur au large de la barrière immergée qui s'étend de la Grande-Terre à l'Île des Pins (Nouvelle-Calédonie). La répétition de cette découverte est troublante car elle rend moins crédible l'explication d'après laquelle il s'agirait de corail non en place, arraché par érosion marine.

L'hydrographe pourra une nouvelle fois en conclure que la prudence est de rigueur, même lorsque les fonds moyens avoisinent 100 mètres.

### **III. LE BESOIN HYDROGRAPHIQUE ET LA SÉCURITÉ NAUTIQUE EN MILIEU CORALLIEN**

#### **III.1. Quelques rappels historiques**

La découverte hydrographique des régions coralliennes, notamment celles du Pacifique, est très récente. La difficulté de la navigation, l'absence de levés hydrographiques systématiques et donc de cartes marines convenablement renseignées est le lot général entre le XVIII<sup>e</sup> siècle et 1942. Seuls les accès aux grands ports et aux principaux mouillages sont à peu près connus. Ailleurs le littoral n'est fréquenté que par les embarcations des pratiques locales.

Les préoccupations hydrographiques deviennent essentielles pendant la 2<sup>e</sup> Guerre Mondiale. Les Etats-Unis, pour la conduite des opérations navales et amphibies, se voient contraints d'ouvrir de multiples voies secondaires dans les délais les plus brefs. La seule méthode envisageable est le dragage hydrographique, conduit de manière tout à la fois empirique et intensive. Si cela permet de résoudre le problème immédiat, la connaissance hydrographique des zones coralliennes du Pacifique n'est guère améliorée pour autant.

Les années d'après-guerre voient le retour à une navigation « normale » dont les besoins se diversifient et s'accroissent en même temps que se développe la vie économique des Territoires.

Ce n'est que plus récemment, dans les dernières années, que se manifeste précisément le besoin d'une connaissance hydrographique globale qui touche d'ailleurs aussi bien les zones littorales que celles du large. Les causes en sont connues :

- développement des impératifs de la navigation, militaire et marchande, avec la multiplication des points d'accès, aussi bien autour des îles hautes que dans les atolls;
- développement économique littoral nécessitant la connaissance « fine » de l'environnement pour l'installation des infrastructures et prévenir la pollution;
- naissance de l'exploitation des ressources économiques off-shore;
- manifestation de besoins particuliers, notamment dans le domaine militaire.

#### **III.2. L'expression du besoin hydrographique dans les zones coralliennes**

Le besoin hydrographique dans les zones coralliennes est donc rapidement croissant, d'autant qu'en de nombreuses zones, les données bathymétriques disponibles sont nulles ou quasi-inexistantes.

Mais comme nous l'avons vu plus haut, l'hydrographe se trouve confronté à des conditions bathymorphologiques très défavorables. La méthodologie de levé doit être, sinon repensée, du moins adaptée à ces conditions.

Avant de proposer quelques éléments de cette méthodologie, il paraît intéressant de préciser ce que l'on peut entendre par besoin hydrographique. Il sera en effet le plus souvent excessivement ambitieux de vouloir prétendre acquérir une connaissance « exhaustive » des fonds et chaque expression d'un besoin devra être soigneusement analysé, la méthode de levé à employer s'en déduisant.

Il peut s'agir d'obtenir une connaissance générale de la bathymétrie. Servant de base indispensable pour des levés plus détaillés et plus com-

plets, elle peut être suffisante dans de nombreux cas : recherche fondamentale, recherche appliquée aux développements économiques, prévention contre les pollutions, etc.

Du point de vue nautique, lorsque la sécurité de la navigation est le but prioritaire, la connaissance bathymétrique sera éventuellement et paradoxalement sacrifiée dans les deux cas suivants :

- Les zones jugées « non accessibles » à la navigation projetée pourront n'être hydrographiées que sommairement ou même non levées.
- Les structures mineures, constituant des relèvements de fonds non dangereux — terme à employer avec précaution, toujours en relatif par rapport au besoin nautique — pourront être négligées lorsqu'un plafond minimum est largement assuré.

Soulignons également que le concept, considéré comme important dans d'autres zones, d'« isobathe zéro », perd fortement de son intérêt et disparaît même parfois en région corallienne.

Enfin certains besoins nautiques particuliers — ouverture de passes et de chenaux — rejoignent les besoins de connaissance précise du littoral liés à l'installation d'infrastructures portuaires et industrielles pour exiger une « hydrographie fine », aboutissant à une connaissance bathymétrique complète et précise jusqu'à des détails à l'échelle du mètre.

#### IV. QUELQUES ORIGINALITÉS DE LA CONDUITE DE L'HYDROGRAPHIE EN MILIEU CORALLIEN

Les quelques notions et remarques qui suivent ont été établies en considérant, en milieu corallien, la conjonction de deux ensembles de données a priori indépendants :

- les caractéristiques bathymorphologiques,
- les besoins, exprimés ou non, de la connaissance bathymétrique.

En fait, la diversité de ces données est telle que l'analyse et les solutions de chaque problème particulier seront tout à fait spécifiques. Il ne peut s'agir ici que de donner quelques idées simples et générales. Enfin soulignons que la méthodologie hydrographique est — fait ancien, connu et qui s'amplifie — très fortement liée à la technologie.

##### IV.1. Une hydrographie différenciée par zones

L'analyse du couple « conditions bathymorphologiques/besoins » conduit à distinguer 4 types de zones :

- *Zone « topographique »* : Il s'agit de la partie visible et restituable, en x y z, par les techniques

de topographie et de télédétection. Dans l'état actuel de ces techniques, cela correspond à la frange littorale, aux îlots, aux platiers découvrants ou à fleur d'eau ou encore faiblement immergé (à marée basse).

- *Zone d'« hydrographie incomplète »* : Cette zone englobe les parties de petits fonds ou de fonds moyens encombrés de blocs coralliens mais aussi celles où les fonds, plus importants, pourraient permettre la navigation mais où l'on compte un nombre excessif de relèvements de fonds. Le mot excessif doit être pris dans une acception relative, en fonction de l'étendue de la zone, de la densité des hauts-fonds, de la finalité du levé, du temps et des moyens disponibles.

- *Zone d'« hydrographie classique »* : Le besoin est supposé limité à l'acquisition d'une bonne connaissance bathymétrique pour assurer notamment une sécurité « normale » de la navigation courante. D'autre part on ne rencontre qu'une faible densité de relèvements de fonds. Ceci rend possible l'emploi de méthodes et de techniques d'hydrographie classique consistant en un levé régulier à échelle raisonnable (distance entre profils comprise entre 50 et 200 m) suivi de la recherche systématique de tous les relèvements détectés ou suspectés.

- *Zone d'« hydrographie totale »* : Malgré le soin que l'on peut apporter aux travaux effectués de la manière précédente, leurs résultats ne peuvent jamais s'évaluer qu'en termes de probabilité ce qui peut être insuffisant, notamment lorsqu'il s'agit de besoins — nautiques ou autres — particuliers. C'est pourquoi certaines zones d'« hydrographie totale », les voies recommandées par exemple, doivent être connues complètement. Remarquons néanmoins que cette expression doit encore être prise dans un sens relatif en se fixant un pouvoir de résolution (dimension minimale des microstructures) qui peut d'ailleurs varier avec la profondeur moyenne et éventuellement le plafond imposé.

Il est important de noter que la partition de la région levée selon les 4 types de zones qui viennent d'être définies ne pourra qu'exceptionnellement être arrêtée a priori. C'est surtout la limite de la zone « sacrifiée », d'hydrographie incomplète, qui se précisera au fur et à mesure que se développent les travaux de levé.

##### IV.2. Techniques et méthodes

###### IV.2.1. Les techniques disponibles

Les méthodes hydrographiques étant étroitement dépendantes de la technologie actuellement

disponible, citons brièvement les principales techniques de détection bathymétrique utilisables (1) :

— La télédétection (satellite, avion, hélicoptère) en visible ou paravisible, en attendant la détection laser, permet d'identifier, de localiser et éventuellement de coter les structures émergées, affleurantes ou faiblement immergées. La limite de la détection « quasiment certaine » sur photographies aériennes de bonne qualité est ici estimée à 6 m.

— Le sondeur vertical, maintenant d'une technologie très au point, cote avec une précision absolue de 10 à 20 cm toute structure située dans une zone, à la verticale de la trajectoire de la base du sondeur, dont la largeur peut être estimée à  $z/5$ ,  $z$  étant la profondeur moyenne. A noter cependant que le sondeur vertical est quasiment inopérant pour le relevé des accores de récif étant donné la pente des flancs de ces embases coralliennes.

— Le sondeur latéral (type EG/G Mk B), qu'il n'est pas besoin de remorquer aussi près du fond qu'il est communément admis ailleurs, et ce à cause de la « cambrure » des structures recherchées, a une portée efficace de l'ordre de 100 à 300 m. La cotation des anomalies bathymétriques par la mesure de la longueur de l'ombre acoustique portée est efficace mais ne peut guère servir que de procédé de sélection des structures jugées significatives en fonction d'un plafond déterminé, la cotation précise devant se faire par recherche ponctuelle au sondeur vertical ou par plongeur (voir annexe technique n° 2 ci-après).

— Le dragage hydrographique est d'un emploi difficile et ne peut servir que pour contrôler un plafond prédéterminé c'est-à-dire dans une optique d'hydrographie strictement « nautique ». Il n'ajoute rien à la connaissance bathymétrique ou bathymorphologique. Le procédé est inopérant lorsque le plafond à assurer n'est que peu inférieur aux profondeurs moyennes de la zone.

— L'identification et la cotation par plongeur des structures coralliennes est naturellement la phase ultime de la recherche. Les moyens et le temps qu'elles nécessitent les réservent à des cas particuliers sauf si la densité des structures significatives est particulièrement faible. La méthode n'est pas utilisable lorsque les conditions d'environnement (courant, visibilité, profondeur etc.) sont défavorables.

#### IV.2.2. Préparation et programmation des travaux

Il est encore plus important, en milieu corallien qu'ailleurs, de programmer soigneusement les travaux hydrographiques à la mer à partir des données préalablement disponibles et, dans toute la mesure du possible, d'après une couverture en télédétection. Cette dernière pourra d'ailleurs être multiple, à plusieurs échelles et selon plusieurs

(1) Rappelons que nous ne nous intéresserons ici qu'aux petits et moyens fonds, jusqu'à 100 m environ.

techniques, alliant par exemple données satellites et photographies aériennes.

La combinaison de cette étude et de l'analyse précise du besoin hydrographique, transcrite sous forme d'instructions techniques, permettra un premier découpage en zones telles qu'elles ont été définies au paragraphe IV.1. ci-dessus, ainsi qu'un choix moins arbitraire que de coutume des densités des sondages réguliers et de l'emploi des techniques et méthodes.

#### IV.2.3. Choix de la densité du levé régulier

Le choix à prendre pour la densité du levé bathymétrique régulier dépend essentiellement de trois facteurs :

- la profondeur moyenne;
- la cote des structures coralliennes;
- la cambrure de ces structures.

Ces facteurs ne sont naturellement pas connus avec précision avant le levé mais ils peuvent être évalués, en examinant les données prédisponibles et les conditions géologiques. Ce dernier paramètre doit notamment suggérer les zones les plus dangereuses (approches des récifs affleurants, prolongement sous-marin des mouvements linéaires visibles etc.) où la distance inter-profils sera resserrée.

La cambrure pourra être choisie égale à 3 ce qui, par exemple, pour un lagon de profondeur moyenne de 50 m où l'on veut assurer un plafond de 15 m conduira à adopter une distance inter-profils de 100 m (échelle 1/10 000).

On peut constater que l'on aboutit, pour les zones d'« hydrographie classique », à un choix de densité — et donc d'« échelle de sondage » — en général plus sévère que celui adopté empiriquement jusqu'à ces dernières années, à l'instar des solutions préconisées pour les littoraux non coralliens. Un inter-profil de 100 m est néanmoins raisonnable tant qu'il s'agit d'un véritable lagon, de profondeur moyenne comprise entre 25 et 60 m où les macrostructures sont généralement peu cambrées et d'ailleurs peu denses. Un même choix serait tout à fait erroné lorsque la zone à sonder est en fait un récif recouvert de 10 à 20 m d'eau dont un bon exemple se situe dans les parages Sud-Ouest de l'île des Pins en Nouvelle-Calédonie.

#### IV.2.4. La recherche ponctuelle des relèvements de fonds

Le choix des relèvements de fonds considérés comme significatifs à l'examen des sondages réguliers se pose en termes particuliers en zone corallienne. Il dépend fortement de la densité de ces anomalies, de l'allure des fonds relevés au cours du sondage régulier et du plafond recherché — ou plus généralement du besoin hydrographique exprimé — relativement à la profondeur moyenne.

La norme réglementaire a priori aussi bien pour les zones coralliennes que pour les autres, est l'obligation d'effectuer une recherche ponctuelle dès que l'anomalie bathymétrique atteint la valeur correspondant à 5% du fond moyen.

En lagon, l'application stricte de cette règle conduirait en fait à traiter toute la zone en « hydrographie totale », ce qui est rarement envisageable. Une modulation de cette norme doit donc être admise.

Le choix des « recherches » à effectuer dans la zone d'« hydrographie classique » prend ici une acuité particulière, l'hydrographe assumant à l'occasion une responsabilité aiguë. Il devra, comme nous l'avons souligné, tenir le plus grand compte de la finalité du levé et des conditions bathymorphologiques qu'il connaît désormais assez bien en analysant les résultats du levé régulier.

Si cette étude devait aboutir à un nombre excessif de recherches ponctuelles, il reste deux solutions :

- étendre la zone d'« hydrographie incomplète », si naturellement cette procédure est compatible avec le but recherché;
- étendre la zone d'« hydrographie totale », au moins partiellement, en ouvrant des chenaux, susceptibles de devenir des voies recommandées, où seront mises en œuvre des méthodes et techniques de sondages surfaciques.

## V. CONCLUSION

Les années 70 ont vu un rapide développement des possibilités de la technologie hydrographique, notamment dans les domaines de la télédétection et de l'exploration surfacique des fonds, en particulier par sondage latéral.

Ces techniques sont encore néanmoins fortement limitées en portée, pénétration verticale sous la surface de la mer pour la première, surface horizontale explorée pour la seconde.

Même ainsi, la disposition de ces nouveaux outils doit amener l'hydrographe à repenser l'or-

ganisation classique des levés bathymétriques en milieu corallien.

Les progrès dans la connaissance bathymorphologique de ce milieu proviennent des résultats des recherches des géologues qui, depuis Darwin, précisent les hypothèses relatives à la formation des coraux et aux modifications des niveaux dues à l'orogénèse et à l'eustatisme. Mais ces progrès découlent aussi de la multiplication des levés hydrographiques dans des régions très largement inconnues il y a quelques années encore.

Simultanément, on assiste à un brusque accroissement du besoin hydrographique, tant à cause des exigences de la sécurité de la navigation que par suite du développement économique des littoraux et de l'« off-shore ».

L'organisation du levé — et notamment la définition des zones hydrographiées plus ou moins complètement — et les méthodes employées doivent tenir compte du besoin immédiat exprimé mais cette adéquation, nécessaire sur le plan de l'efficacité et de l'économie des moyens, ne doit pas être trop stricte. Il faut en effet faire intervenir une assez large part de prospective, l'investissement devant se révéler rentable à long terme.

## BIBLIOGRAPHIE

- DAVIS W.M. — The coral reef problem — American Geographical Society Special Publication n° 9, AMS Press, New York 1928.
- BUDDEMEIER R.W. and KINZIE III R.A. — Coral growth, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1976, 14.
- KUENEN P.H. — Coral reefs, *Marine Geology*, John Wiley and Sons Ed., 1960.
- KELLER F.A.E. — Ingénieur Hydrographe — Recherches sur les récifs madréporiques des îles du Grand Océan, *Annales Hydrographiques* 1851.
- BOSQUET, DUBOIS, DUGAS, LARUE, LAUNAY, REICHENFELD — Etude géologique et géophysique au Sud de la Nouvelle-Calédonie, entre le Grand Récif Sud et l'île des Pins, ORSTOM Nouméa 1971.
- THOMASSIN B.A. — Les récifs coralliens, *Le Courrier du C.N.R.S.* n° 46, juillet 1982.

## L'EMPLOI DU SONDEUR LATÉRAL EN MILIEU CORALLIEN

### I. GÉNÉRALITÉS

#### I.1. Objet de l'étude

Un sondeur latéral de type Edgerton EG/G Mark 1B a été utilisé par la Mission Océanographique du Pacifique en 1978 pour le contrôle hydrographique de la voie recommandée d'accès au mouillage de Kuto (Ile des Pins, Nouvelle-Calédonie).

Sur une partie de la zone, la connaissance de la bathymétrie fine a été par ailleurs acquise à l'aide d'un levé très dense au sondeur vertical.

De la comparaison entre les observations au sondeur latéral et la « vérité hydrographique » connue par le levé au sondeur vertical, on peut en déduire une évaluation de la confiance que l'on peut accorder au sondeur latéral dans la détection systématique des structures sous-marines d'origine corallienne.

On a également comparé ces résultats à ceux d'un levé antérieur, effectué selon les normes de l'« hydrographie classique », sur la base de profils de sondage vertical espacés de 100 m. Les limites de validité de cette méthode ont pu ainsi être évaluées.

La présente annexe ne traite pas des techniques instrumentales abondamment décrites ailleurs : voir bibliographie in fine. Seules seront indiquées les conditions technologiques particulières dans lesquelles le matériel de sondage latéral a été mis en œuvre.

#### I.2. Rappel de quelques considérations théoriques

##### I.2.1. Sondages linéaires et sondages surfaciques

Il paraît utile de rappeler brièvement les géométries respectives (disposition, orientation, ouverture) des sondeurs verticaux et latéraux.

Le sondeur vertical (voir planche n° 33) « éclaire » une bande située à la verticale de la trajectoire suivie par le transducteur de coque. Dans les conditions de la présente étude : sondeur Atlas DESO 10, bifréquences 30/210 kHz, fonds moyens compris entre 25 et 40 m, on admet que

la bande éclairée à une largeur de 7 à 12 m ( $2\theta_3$  transversal =  $35^\circ$ ). Un balayage de la zone par profils espacés de 12 m réalise donc une « hydrographie quasi-totale ».

D'une manière plus précise, on peut dire que le balayage avec cette densité rend très improbable la non-détection d'anomalies bathymétriques de plus de 1 m. Les anomalies inférieures au mètre ont, elles, une grande chance d'être invisibles, ne serait-ce que parce qu'elles sont couvertes par l'effet de pilonnement dû à la houle.

Le sondeur latéral (voir planche n° 34) « éclaire » une double bande située de part et d'autre de la verticale de la trajectoire du « poisson-transducteur ».

Avec les réglages choisis, la limite extérieure de cette bande est à 125 m en distance oblique du poisson. La limite intérieure est moins bien définie car elle dépend des réglages et des lobes secondaires : des considérations théoriques et des observations pratiques nous permettent de la fixer ici à 23 m en distance oblique.

La faible vitesse de levé adoptée, 4 nœuds, évite de faire intervenir une limitation de la bande éclairée du fait de la fréquence de récurrence de l'émission.

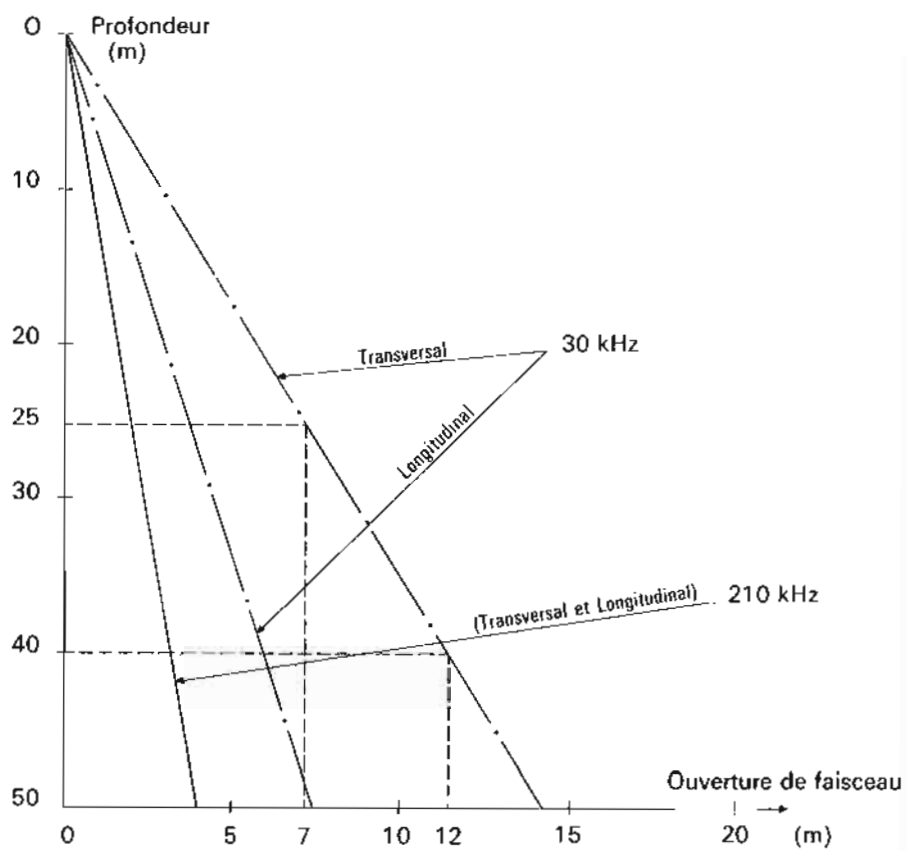
##### I.2.2. Ombres portées sur les enregistrements du sondeur latéral

Les structures se dégageant du fond régulier apparaissent en foncé sur les enregistrements du fait d'une rétrodiffusion de l'énergie émise qui est supérieure à celle provenant du fond environnant.

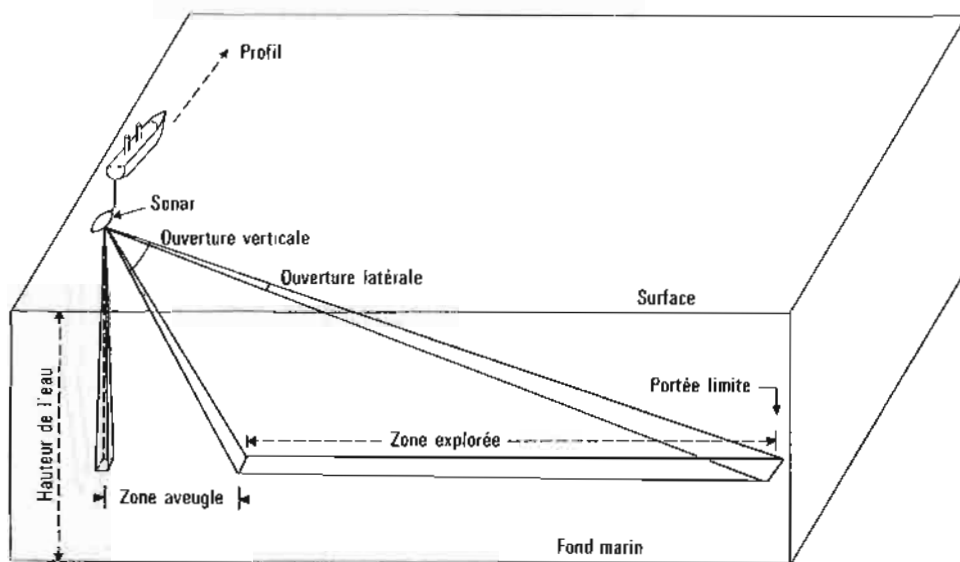
La présence de la structure a un autre effet, celui d'occulter le retour d'énergie émise par la portion de fond située « dans l'ombre » portée (voir planche n° 35). Une zone plus claire apparaît donc sur l'enregistrement, en arrière de l'écho proprement dit : c'est l'ombre acoustique de la structure. La mesure de la longueur de cette ombre permet d'évaluer assez précisément la hauteur de l'obstacle au-dessus du fond. La présente étude a pu vérifier ce fait (voir par. IV).

Pour établir une relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur de l'obstacle, nous avons adopté la théorie géométrique la plus simple sans faire intervenir les phénomènes de diffraction et de pénombre.

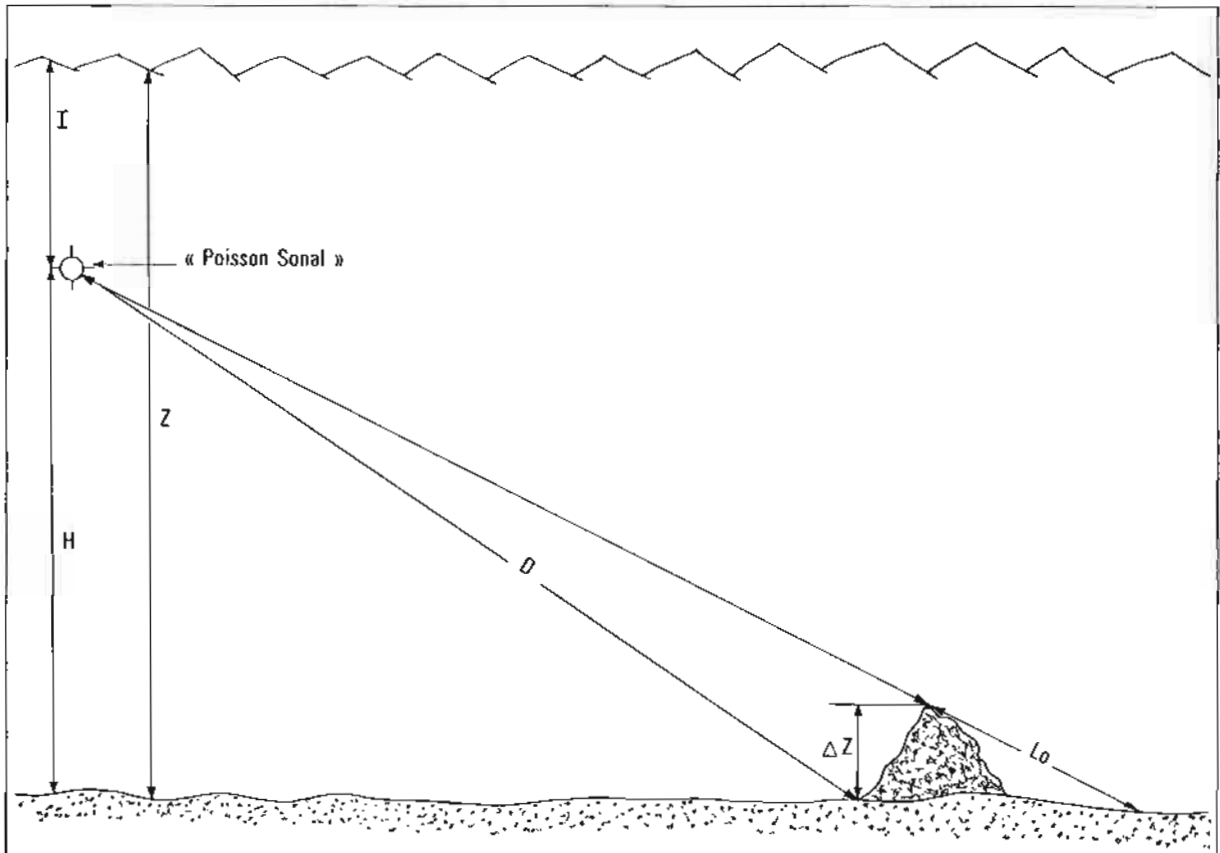




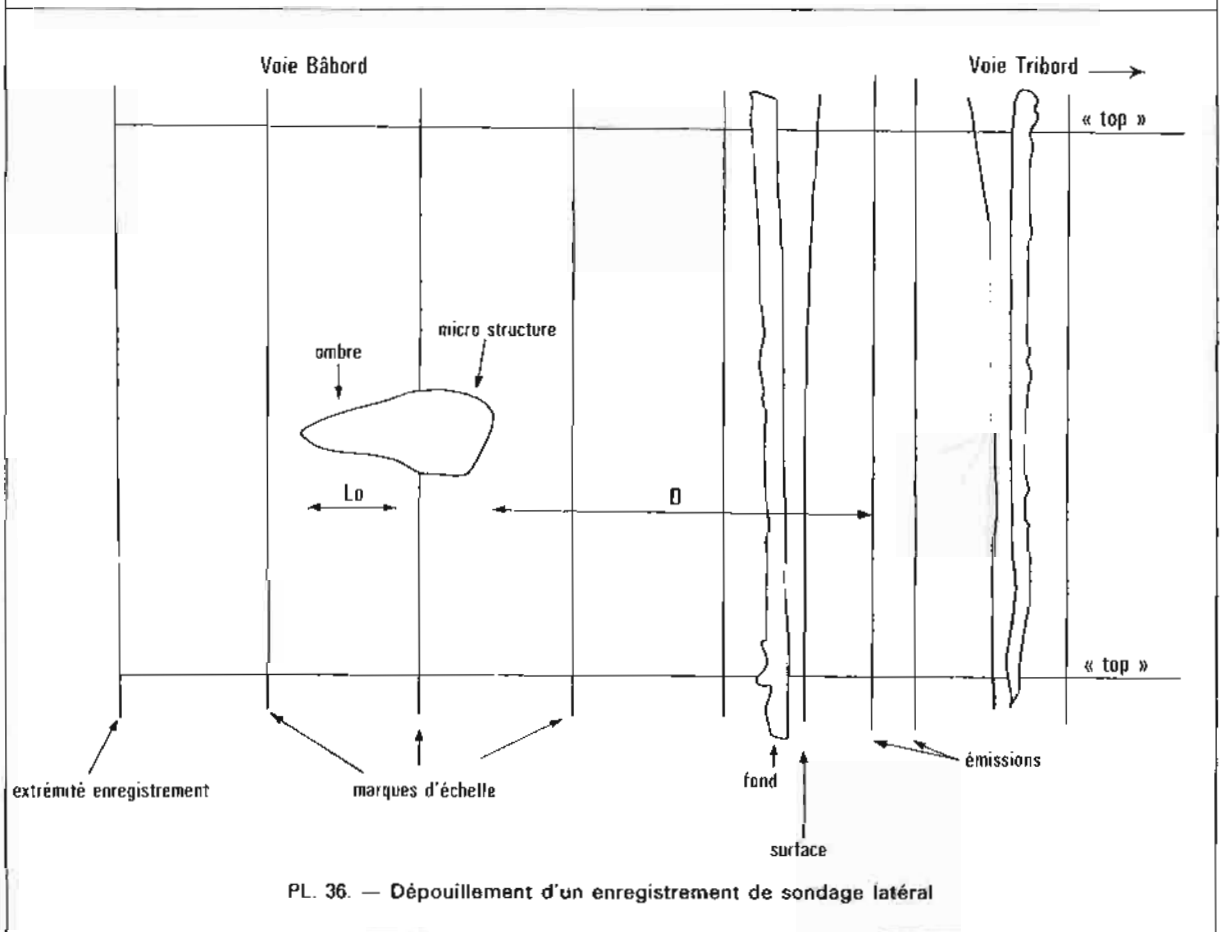
PL. 33. — Surface balayée par un sondeur vertical (Atlas DESO 10)



PL. 34. — Principe du sondage latéral



PL. 35. — Sondage latéral : ombre acoustique



PL. 36. — Dépouillement d'un enregistrement de sondage latéral

On aboutit à la formule :

$$\Delta Z = \frac{Z - I}{1 + \frac{D}{L_o}} = \frac{H}{1 + \frac{D}{L_o}}$$

avec :

$\Delta Z$  = hauteur de l'anomalie bathymétrique  
 $Z$  = profondeur de la mer à la verticale du poisson  
 $I$  = immersion du poisson  
 $H$  = altitude du poisson au-dessus du fond  
 $D$  = distance oblique entre le poisson et la structure  
 $L_o$  = longueur d'ombre « oblique ».

Dans la pratique,  $D$  et  $L_o$  sont mesurés sur l'enregistrement, étant entendu que  $D$  doit être pris sur l'extrémité extérieure de l'écho (voir planche n° 36).

On remarquera que cette théorie est en défaut lorsque la structure n'est pas ponctuelle et notamment lorsque le fond à la verticale du poisson n'est pas plat. La principale difficulté rencontrée a été effectivement l'évaluation de  $H$  en cas de bathymorphologie complexe.

### I.3. Les conditions hydrographiques spécifiques rencontrées

La zone étudiée, située sur les abords Sud-Ouest de l'île des Pins a la forme d'un rectangle allongé de  $2,5 \times 0,5$  km dont l'axe longitudinal est orienté au  $061^\circ/241^\circ$ .

Les fonds moyens y décroissent régulièrement vers le Sud-Ouest, passant de 26 à 37 m, soit un gradient de 0,4 %.

On peut y distinguer, du point de vue morphologique :

- un mouvement périodique, de 2 m d'amplitude, de 200 m de longueur d'onde, selon l'axe de la zone; ce mouvement, peut-être dû à un effet de houle sur les fonds sableux, n'a pas d'intérêt pour la présente étude;
- un grand nombre de structures d'origine corallienne, de forme et de dimensions variées, avec une densité assez régulière de 1 anomalie par hectare. On relève une macrostructure, dont la cote minimum est de 13,7 m.

Du point de vue de la nature des fonds, la zone est sableuse dans son ensemble, les structures étant constituées de corail vivant plus ou moins ennoyé.

## II. LES MOYENS TECHNIQUES UTILISÉS EN SONDAGE LATÉRAL

Le sondeur latéral utilisé est un sondeur Edgerton (Edgerton, Germeshausen and Grier : EG/G) Mark 1 B

- enregistreur modèle 259-3

- poisson modèle 272 : poids 24 kg dans l'air, 16 kg dans l'eau; longueur 1,38 m, diamètre 11,3 cm.
- caractéristiques et réglages électroniques :
  - fréquence d'émission : 105 kHz
  - durée d'impulsion : 0,1 ms



Le poisson remorqué du sondeur latéral Edgerton



L'enregistreur de bord du sondeur latéral Edgerton

- ouverture du faisceau :
  - horizontal : 1° à 3 db (perpendiculaire au transducteur)
  - vertical : 20° à 3 db, incliné à 10° en site.
- enregistreur :
  - échelle : 0-125 m (échelle transversale de l'enregistrement 1/1 000)
  - fréquence d'émission : 6 émissions par seconde
  - vitesse de déroulement du papier : 150 lignes/inch (environ 1 mm/s)
  - la vitesse de remorquage étant comprise entre 2,5 et 4 nœuds, l'échelle longitudinale de l'enregistrement est voisine de 1/1 500; elle est donc comparable à l'échelle transversale.
- immersion du poisson comprise entre 10 et 15 m : ligne filée de 33 m avec une vitesse de remorquage de 2,5 à 4 nœuds.

En ce qui concerne le réglage de gain de l'ensemble récepteur-enregistreur, considéré généralement comme délicat à optimiser, il paraît utile de constater qu'il a peu influé sur le taux de détection des structures. Il est particulièrement intéressant de remarquer que le mauvais réglage d'une carte de l'amplificateur d'une voie — corrigé ensuite —, s'il a contrarié au début les enregistrements, n'a pas modifié essentiellement le taux de détection : les structures apparaissent plus pâles mais sont nettement discernables. Par contre les ombres acoustiques disparaissent dans certains cas.

### III. LES RELEVÉS EFFECTUÉS ET LEUR EXPLOITATION

#### III.1. Les mesures à la mer

La zone a été successivement couverte :

- par une dizaine de profils de sondage vertical, espacés d'environ 100 m; échelle de rédaction 1/10 000; 1977;
- par 7 profils de sondage latéral, espacés de 100 m environ; échelle de rédaction 1/2 500; 1978;
- par 40 profils de sondage vertical, espacés de 12 m environ; échelle de rédaction 1/2 500; 1978.

En outre la zone a été vérifiée à la drague hydrographique au plafond de 12 m. Aucun crochage n'a été observé.

Pour tous ces travaux, une localisation précise était assurée par 3 visées au théodolite.

#### III.2. Exploitation des données recueillies

*III.2.1. Le 1<sup>er</sup> levé au sondeur vertical a été rédigé de manière classique avec tracé des isobathes tous les 5 m sur une minute à l'échelle de 1/10 000.*

Pour faciliter les comparaisons avec les autres documents établis, un agrandissement de cette minute — isobathes et sondes principales — à l'échelle de 1/2 500 a été réalisé (voir planche n° 41)

*III.2.2. Le 2<sup>e</sup> levé au sondeur vertical a d'abord été rédigé de la manière classique avec tracé des isobathes tous les mètres sur une minute à l'échelle de 1/2 500 (voir planche n° 38).*

On a ensuite répertorié les anomalies bathymétriques  $\Delta Z$  qui se distinguent du fond moyen, les seules anomalies normalement discernables étant supérieures à 1 m. Pour chaque anomalie, sur un profil donné, ont été notées la valeur maximum de  $\Delta Z$  et la « longueur » de l'anomalie.

Cette méthode de rédaction est explicitée sur la planche n° 37 qui montre que le  $\Delta Z$  ainsi trouvé est en général un peu supérieur au  $\Delta Z$  déduit de l'écriture classique des sondes, par suite d'un « lissage » plus réaliste.

Ces anomalies ont ensuite été écrites sur une minute (voir planche n° 39) à l'échelle 1/2 500, en position, avec annotation de leur valeur. Elles se regroupent éventuellement de profil à profil pour dessiner une figure d'anomalie proche de la représentation planimétrique de la structure bathymorphologique réelle. C'est cette figure qui a été comparée à la figure déduite des enregistrements au sondeur latéral.

*III.2.3. Le levé au sondeur latéral a conduit à l'établissement d'une minute « d'échos sonal » (échelle 1/2 500) où ces derniers ont été redessinés d'après les bandes d'enregistrement (voir planche n° 40).*

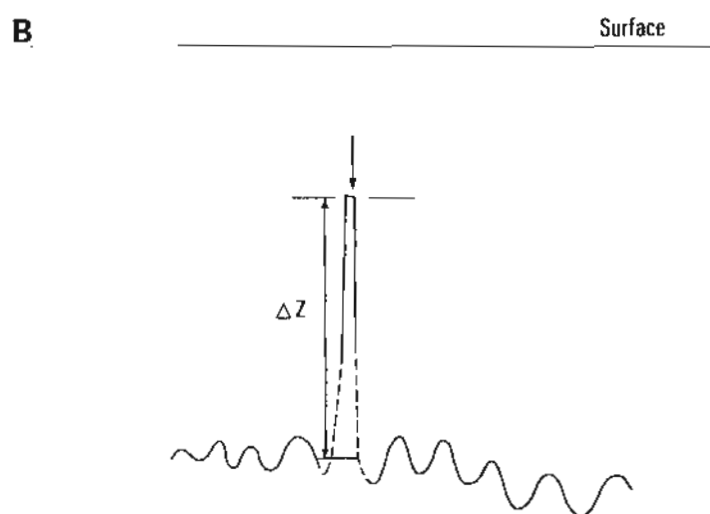
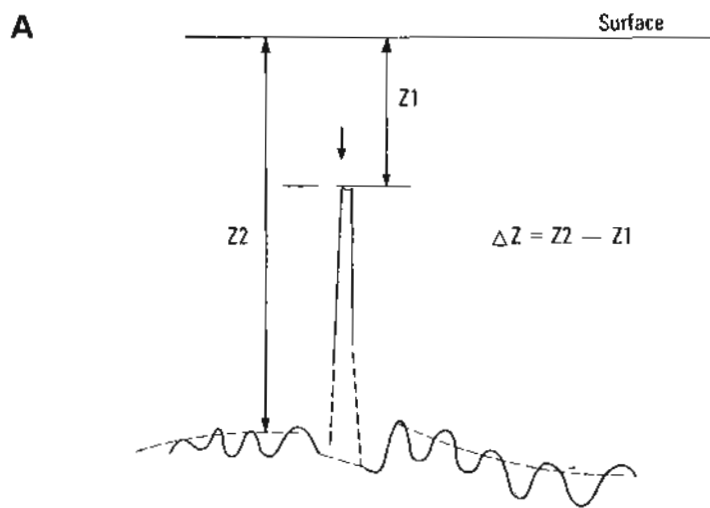
Il s'agit donc, non d'une représentation symbolique, mais d'une figuration planimétrique — approximative — de la structure. Lorsque plusieurs échos se regroupent, correspondant à une même structure vue depuis plusieurs profils différents, on en a dessiné l'enveloppe.

Lorsque la présence d'au moins une ombre portée permet d'évaluer la cote Z de la structure, cette valeur Z est indiquée sur la minute. Les isobathes déduites de la minute de bathymétrie sont reportées sur la minute d'échos sonal comme complément d'information.

#### *Classification des échos*

La diversité constatée des échos recueillis n'a pas permis une véritable normalisation mais on a pu les répartir en un certain nombre de grandes classes :

a) « *Frontière* » entre deux zones étendues pour lesquelles le coefficient de rétrodiffusion est nettement différent, ce qui révèle une nuance entre natures de fond et non l'existence d'une structure bathymorphologique.



**DÉPOUILLEMENT D'UNE ANOMALIE BATHYMETRIQUE  
SUR UN ENREGISTREMENT AU SONDEUR VERTICAL**

A = Indirect (erreur due au lissage)  
B = Direct

b) *Macrostructure*, « massif » corallien, présentant éventuellement plusieurs « têtes » secondaires, parfois marquées par des ombres révélatrices de surélévations relatives. L'ordre de grandeur d'une telle macrostructure est le suivant :

- horizontalement : 100 m
- verticalement : 10 m

Le contour peut être reconstitué planimétriquement d'après l'enregistrement.

c) *Microstructure* (« pâte » ou « bloc » corallien).

Ces microstructures apparaissent, avec ou sans ombre, détachées sur le fond moyen. Elles peuvent être isolées ou en archipel. Dans ce dernier cas, il n'est pas géologiquement licite de les regrouper car l'enregistrement montre bien qu'il s'agit de structures distinctes. Cependant leur représentation peut être généralisée dans une optique hydrographique, selon l'échelle de la rédaction.

D'après la forme et les dimensions de ces microstructures, nous avons pu distinguer :

- les *microstructures circulaires*, correspondant aux échos dont aucune des dimensions horizontales (supérieures à 10 m) n'est réellement prédominante. On les caractérise par un diamètre;
- les *microstructures linéaires* dont la forme est allongée et dont la plus grande dimension est supérieure à 10 m. Elles sont caractérisées par une longueur;
- les *microstructures ponctuelles* inférieures à 10 m, qui ne sont pas caractérisées planimétriquement.

Il est nécessaire de souligner l'arbitraire de cette typologie. Les conditions d'éclairage acoustique peuvent déformer l'image et faire par exemple apparaître comme circulaire une microstructure linéaire. Les écarts de positionnement d'une structure vue sur plusieurs enregistrements conduisent au tracé d'une enveloppe dilatant artificiellement la structure-objet et lui faisant perdre sa forme propre.

L'ordre de grandeur des dimensions des microstructures relevées dans cette étude est le suivant :

- horizontalement : de quelques mètres à quelques dizaines de mètres;
- verticalement : de 1 à 5 mètres (hauteur au-dessus du fond).

### III.3. Documents établis

- minute d'écriture de bathymétrie, échelle 1/2 500 (\*)
- minute d'anomalies bathymétriques, échelle 1/2 500 (\*)
- minute d'échos sonal, échelle 1/2 500 (\*)
- minute d'écriture de bathymétrie (isobathes et choix de sondes) établie à l'échelle 1/10 000 et agrandie à l'échelle 1/2 500 (\*)

● tableau répertoire de toutes les anomalies bathymétriques et de toutes les anomalies sonal détectées. (\*\*).

(\*) Ces documents ont été établis en format Grand Aigle. Un extrait est joint à cette annexe technique, selon les planches 38 à 41.

(\*\*) Tableau non joint à cette annexe technique.

## IV. LES RÉSULTATS OBTENUS

*Nota* : Un rapport particulier (mai 1979) présente une analyse détaillée des résultats dont seulement un résumé est donné ici.

### IV.1. Levé au sondeur vertical

Le sondage dense, selon des profils espacés de 12 m, a permis d'obtenir, outre les caractéristiques bathymétriques générales de la zone (voir par. I.3.), la détection :

- d'une macrostructure de forme circulaire, de diamètre 300 m environ, constituée d'un massif à plusieurs têtes culminant à 13,7 m au-dessus de fonds moyens de 30 m;
- 48 microstructures dont 20 circulaires, 11 linéaires et 17 ponctuelles. Les 2/3 de ces 48 microstructures ont un  $\Delta Z$  compris entre 1 et 3 m; 1/3 ont un  $\Delta Z$  supérieur à 3 m, c'est-à-dire environ 10 % de la profondeur moyenne.

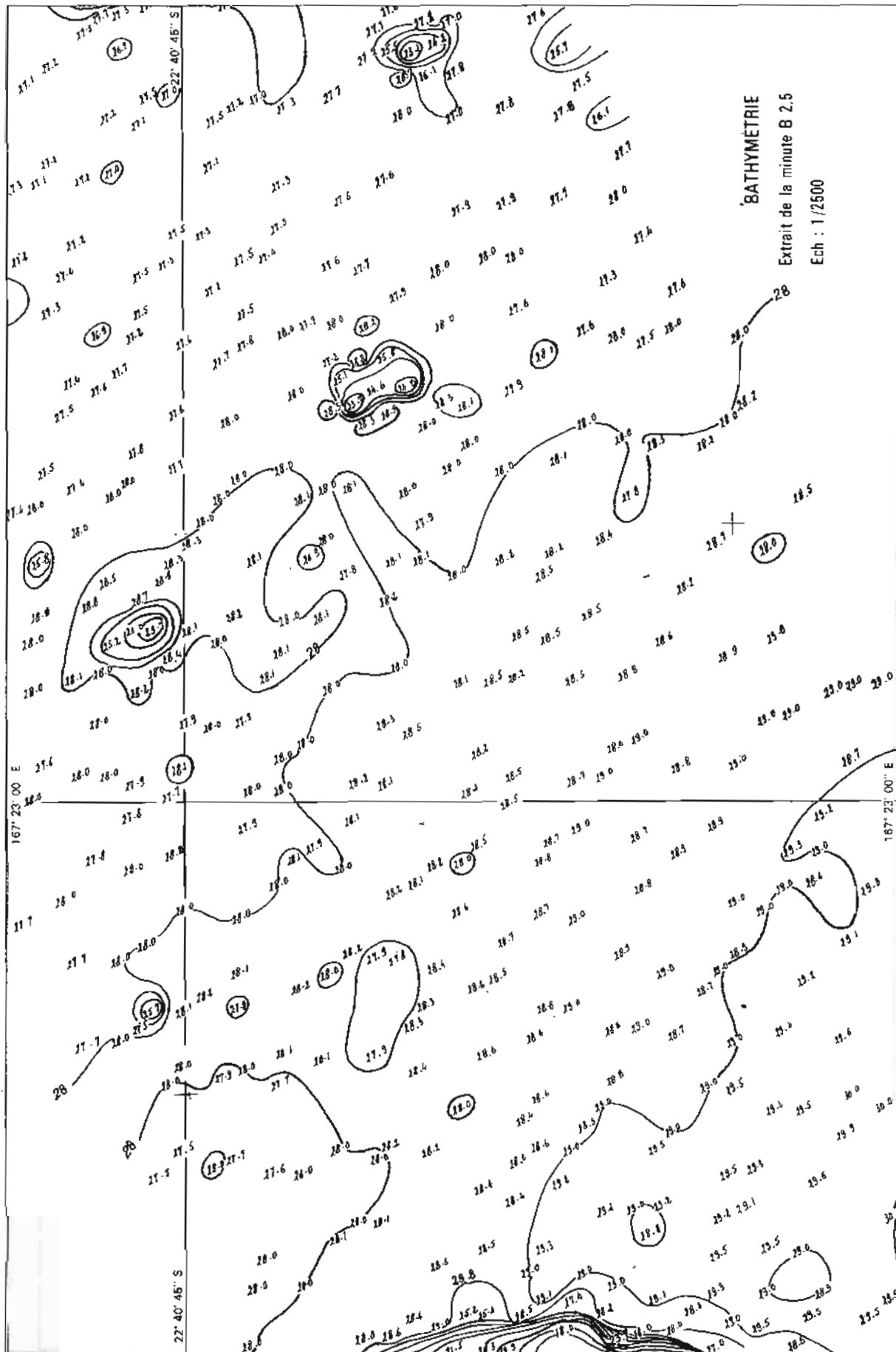
Le levé initial (1977) par sondage vertical selon des profils espacés de 100 m, rédigé à l'échelle de 1/10 000, avait permis :

- de bien décrire la bathymorphologie générale;
- d'identifier la macrostructure circulaire de 300 m, relevée avec la même forme et les mêmes dimensions planimétriques, mais avec une cote minimum de 15,1 m au lieu de 13,7 m;
- de détecter 12 microstructures (sur 48, soit 25 %) ce qui est cohérent avec les hypothèses admises relatives à la largeur de détection du sondeur vertical avec ce type de fonds.

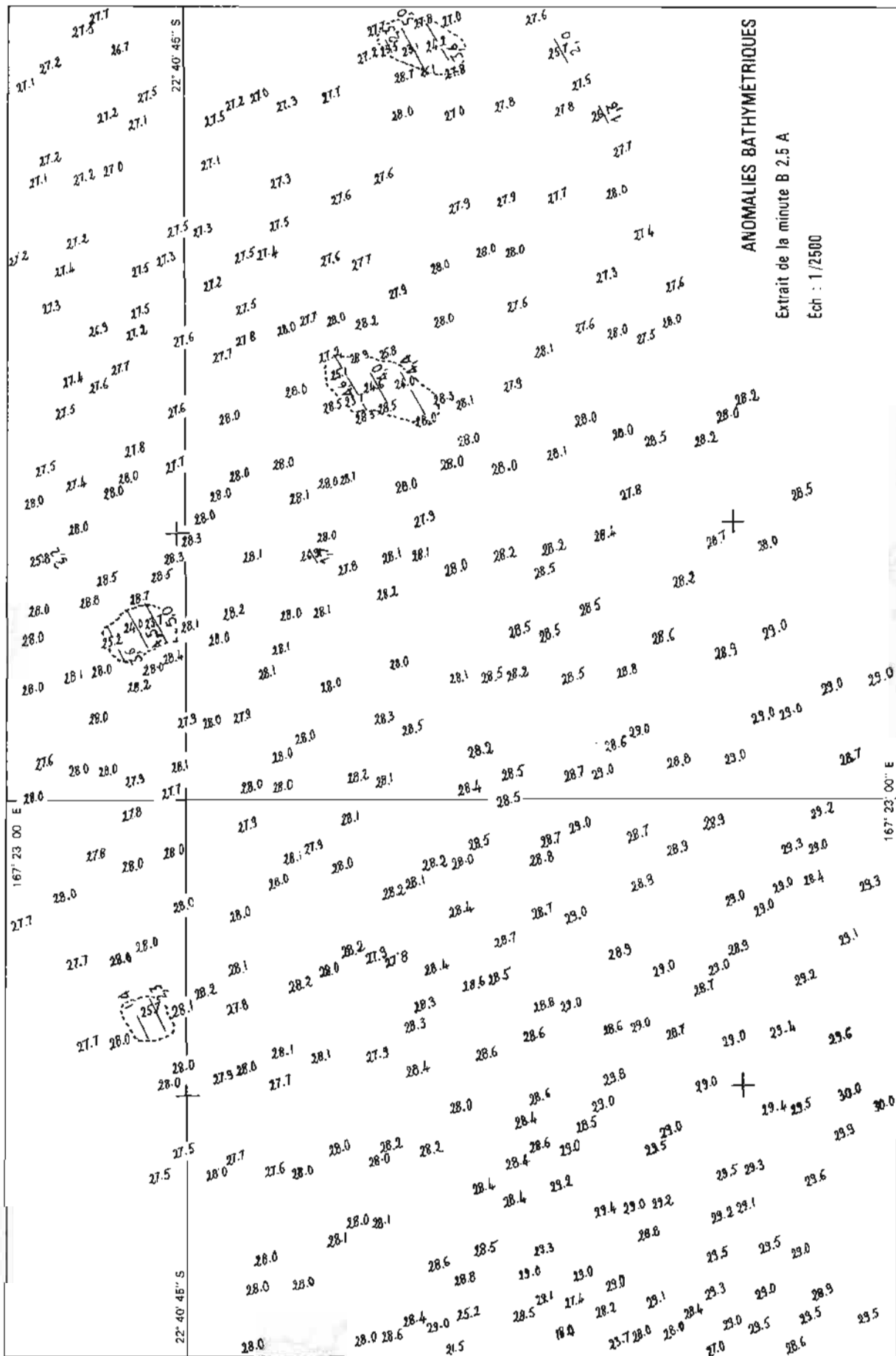
D'une manière générale, le levé fin « améliore » les  $\Delta Z$  mesurés lors du levé initial. On notera cependant 2 exceptions, avec des différences légères il est vrai. Mais si l'on rapproche ce fait de celui de la non-détection par le sondage fin de 2 anomalies sonal (cotées d'après l'ombre acoustique à 1,4 m et 2,8 m), l'on doit conclure que ce levé fin n'apporte pas, à l'échelle du mètre, une hydrographie véritablement totale.

### IV.2. Levé au sondeur latéral

Le levé au sondeur latéral a permis de relever :  
— une macrostructure correspondant exactement à celle identifiée au sondeur vertical, déjà décrite;

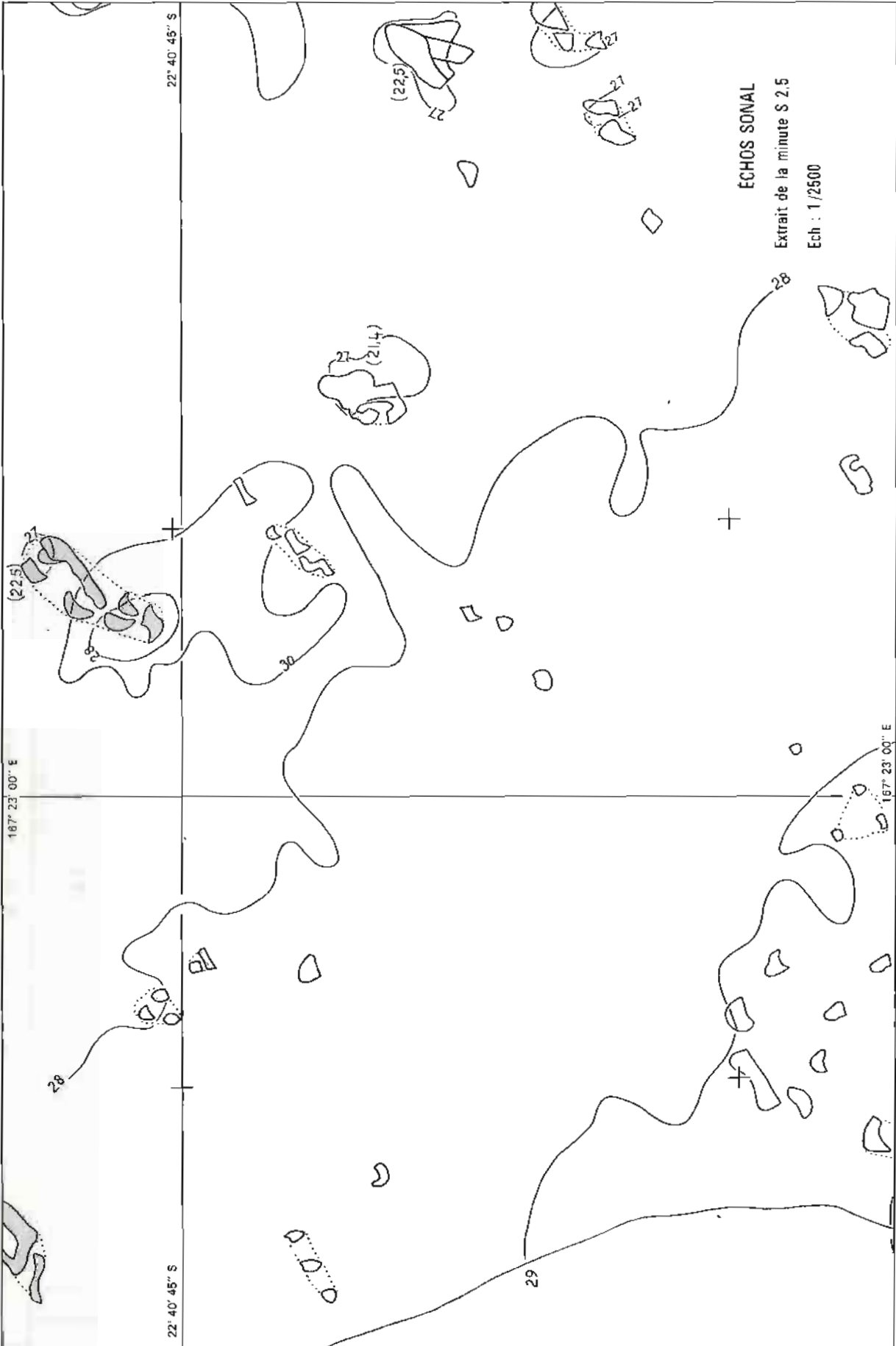


PL. 38. — Extrait minute bathymétrique 1/2 500



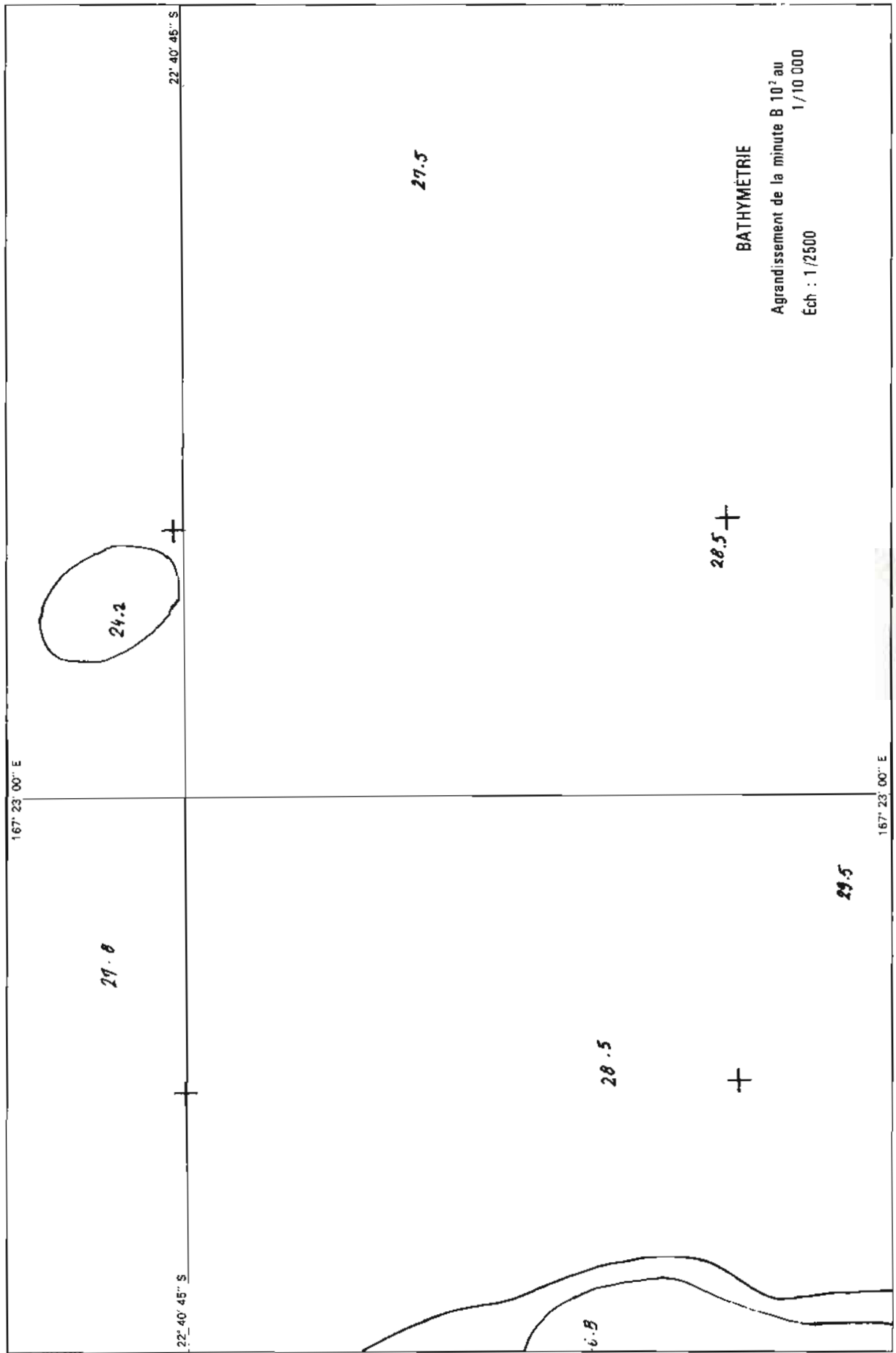
PL. 39. — Extrait minute d'anomalies bathymétriques 1/2 500





**ECHOS SONAL**  
 Extrait de la minute S 2,5  
 Ech : 1/2500

PL. 40. — Extrait minute « échos sonal » 1/2 500



PL. 41. — Extrait minute bathymétrique 1/10 000 agrandie 1/2 500

— 116 microstructures dont 42 circulaires, 35 linéaires et 39 ponctuelles. En examinant celles qui ont pu être cotées (ombre acoustique), soit 20 %, vraisemblablement les plus importantes, on trouve en moyenne :

- un  $\Delta Z$  de 3,4 m,
- un rapport diamètre (microstructure circulaire)/ $\Delta Z = 5,5$ ;
- un rapport longueur (microstructure linéaire)/ $\Delta Z = 10,8$ .

Un même profil ayant été levé deux fois, à plusieurs jours d'intervalle, il a été permis de constater la parfaite concordance entre les deux enregistrements détenus ce qui est un indice probant de la répétitivité et de la fidélité de la détection au sondeur latéral.

### IV.3. Comparaison entre les résultats du sondage vertical et du sondage latéral

#### IV.3.1. Taux de détection sonal

Toutes les anomalies détectées au sondeur vertical — qui constituent, rappelons-le, la quasi-totalité des structures supérieures à 1 m — ont été relevées au sondeur latéral. Ceci est évidemment essentiel.

On doit néanmoins apporter le commentaire suivant :

- ce taux de détection de 100 % a été obtenu en retenant sur l'enregistrement sonal tous les échos nets, qu'ils aient une ombre ou non, et quelles que soient leurs dimensions;
- un premier dépouillement sélectif qui, de manière empirique et arbitraire, n'avait retenu que les échos les plus « marquants » avait abouti à un taux de détection de 90 % environ seulement.
- on a pu vérifier que les 10 % laissés pour compte correspondaient à des structures mineures dont le  $\Delta Z$  est toujours inférieur à 3 m (10 % de la profondeur moyenne).

En supposant que toutes les anomalies bathymétriques significatives ont été reconnues au sondeur vertical — on a vu que cette hypothèse n'est qu'approchée —, on peut calculer un taux de fausse alarme sonal, fréquence des cas où un écho sonal net ne correspond à aucune structure bathymétrique identifiée au sondeur vertical.

L'analyse montre que ce taux est de  $68/116 = 58\%$ . Ce chiffre est important et fait écarter la méthode qui consisterait à rechercher systématiquement au sondeur vertical chaque structure sonal, surtout lorsque la densité de ces échos est élevée.

Il est donc nécessaire de disposer d'un critère de sélection des échos sonal : le plus simple consiste à utiliser le phénomène de l'ombre acoustique.

#### IV.3.2. Sélection des structures sonal d'après la présence d'une ombre

Pour 21 microstructures avec ombre, il est possible de comparer le  $\Delta Z_2$  évalué d'après l'ombre et le  $\Delta Z_1$  connu par le sondage vertical. On constate une excellente cohérence en moyenne entre ces deux valeurs, avec :

$$\overline{\Delta Z_2 - \Delta Z_1} = + 0,3 \text{ m}$$

$$\frac{2(\overline{\Delta Z_2 - \Delta Z_1})}{\overline{\Delta Z_2 + \Delta Z_1}} \times 100 = + 12 \% (\sigma = 2,6 \%)$$

Parmi les 95 microstructures sonal qui n'ont pas d'ombre (sur 116) :

- 68 correspondent à des positions où aucune anomalie bathymétrique n'apparaît sur le sondage vertical à grande densité;
- 27 correspondent à un  $\Delta Z$  significatif.

Ce sont ces 27 microstructures qui doivent être examinées car, si elles ne remettent pas en cause la confiance que l'on peut accorder au sondeur latéral — elles ont été effectivement détectées —, elles peuvent mettre en question la validité du critère de sélection par l'ombre.

Sur ces 27 échos :

- 21 correspondent à un  $\Delta Z$  inférieur à 3 m (10 % du fond);
- 2 correspondent à un  $\Delta Z = 3,8$  m, sans explication à l'absence d'ombre;
- 2 correspondent respectivement à  $\Delta Z = 6,4$  m et 5,0 m mais il existe une ombre légère, « visible en seconde lecture »;
- 2 correspondent à des structures marginales, où les règles de recouvrement ne sont pas respectées, et pour lesquelles le poisson est passé à la verticale de l'anomalie.

Les dimensions planimétriques de ces 27 structures sans ombre ont été analysées afin de tenter de trouver un critère de rattrapage à la sélection. Cet essai n'a pas été probant, les 27 structures en cause n'apparaissent pas significativement plus étendues que les 68 autres.

## V. AMORCE D'UNE DOCTRINE D'EMPLOI DU SONDEUR LATÉRAL EN MILIEU CORALLIEN

L'analyse relatée ci-dessus des résultats du levé au sondeur latéral entrepris sur la voie recommandée d'accès au mouillage de Kuto (Ile des Pins, Nouvelle-Calédonie) et la comparaison avec la « réalité hydrographique » appréhendée par un levé fin au sondeur vertical dans la même zone permettent d'avancer quelques conclusions, sous la forme de l'amorce d'une doctrine d'emploi de cette technologie en milieu corallien.

### V.1. Quelques conditions d'emploi du sondeur latéral en milieu corallien

Qu'il soit utilisé à partir d'un bâtiment ou d'une embarcation, le sondeur latéral (type Edgerton Mark 1B) ne peut être employé que dans certaines conditions :

- L'espacement entre profils étant réduit (de l'ordre de 100 m), la surface couverte est forcément limitée à certaines zones privilégiées pour lesquelles il a été décidé d'obtenir une « hydrographie totale ».
- Le fond moyen de ces zones est normalement limité à une centaine de mètres, étant donné la portée de l'appareil et les dimensions des structures recherchées (quelques dizaines de mètres horizontalement, quelques mètres en Z); ces valeurs s'appliquent parfaitement bien aux lagons coralliens.
- Les conditions de mer ne doivent pas être trop sévères, pour une simple raison de sécurité de navigation du transducteur remorqué; on peut estimer qu'il est raisonnable de se limiter à un état de la mer force 3.
- Une condition plus originale est celle de l'adaptation des conditions bathymorphologiques de la zone. Une région très accidentée peut être dangereuse pour la navigation du poisson sonal. Mais surtout la trop grande densité de microstructures détectées, qu'il sera impossible de rechercher une à une au sondeur vertical, nécessite un critère de sélection rigoureux (voir ci-dessous). Quoiqu'il en soit, il est indispensable d'avoir une connaissance convenable de cette structure bathymorphologique. En d'autres termes, un levé au sondeur latéral en région corallienne devra être précédé d'un levé hydrographique classique à l'échelle du 1/10 000 ou du 1/20 000.

### V.2. Techniques et dispositions pratiques

L'expérience a été conduite avec un faisceau ouvert de 20° en site, dont l'axe est orienté à 10° sous l'horizontale. Ceci est conforme aux normes habituelles mais d'autres conditions peuvent conduire à modifier ouverture et site de l'axe du faisceau.

L'altitude optimale du poisson au-dessus du fond, de même que les réglages, sont essentiellement dépendants de deux facteurs :

- structure bathymorphologique de la zone, à déterminer par un levé préalable au sondeur vertical;
- objectif recherché, c'est-à-dire dans une optique strictement hydrographique, plafond à assurer. Une immersion plus importante permet d'améliorer le contraste et donc l'identification des reliefs peu marqués. Une immersion plus faible réduit le nombre et les dimensions des ombres.

Il est important de considérer que les microstructures coralliennes offrent un excellent contraste acoustique par rapport à celui du fond moyen, beaucoup plus fort que celui des obstructions habituellement recherchées (dunes, épaves).

Un avantage induit de la réduction relative de l'immersion du poisson est le moindre risque d'accrochage du poisson sur le fond.

La règle d'insonifier au moins deux fois une structure est impérative. Les difficultés de détection des structures à la frontière de la zone d'étude en apportent, s'il le fallait, une preuve complémentaire.

Il semble que, pour la détection des microstructures en milieu corallien, il soit assez peu important que cette double insonification soit réalisée dans des directions opposées, notamment à cause de la bonne réflectivité des blocs de corail. Ceci pourrait néanmoins présenter un certain intérêt pour des structures dissymétriques en « marches d'escalier », qui sont surtout sensibles à l'échelle de la macrostructure. Finalement, il n'y a pas de raison de ne pas respecter cette règle qui est rarement contraignante.

### V.3. Sélection des microstructures et investigations complémentaires

La méthodologie en vigueur prescrit de procéder à « l'investigation de tous les échos détectés, caractéristiques d'une obstruction ou d'un relèvement de fond ». Il semble, notamment en milieu corallien, qu'il soit indispensable de préciser cette question et plus particulièrement ce qu'on entend par « obstruction ou relèvement de fond », en introduisant une définition relative, non seulement en fonction de  $\Delta Z/Z$  mais aussi selon le but hydrographique recherché.

Il est en effet généralement inconcevable, dans un tel milieu, de procéder à la « recherche » (investigation complète et systématique à l'aide du sondeur vertical) de toutes les macrostructures et microstructures relevées au sondeur latéral, même sur des zones parfaitement navigables et sélectionnées pour leur intérêt nautique. Par exemple, leur nombre dans la voie recommandée d'accès au mouillage de Kuto (Ile des Pins), dont la bathymorphologie est assez régulière, s'élèverait à 500 pour une surface de 6 km<sup>2</sup>. Il y a compromis inévitable entre l'effort (potentiel et temps) qu'il est raisonnable de consacrer à ce travail et l'aspect plus ou moins complet et sûr de la connaissance bathymétrique acquise au regard de la finalité hydrographique.

On peut distinguer 3 cas :

- Les zones avec une très faible densité de structures (il en existe), de l'ordre de 1 au km<sup>2</sup>. Il n'y a alors pas de difficulté pour procéder à

l'investigation individuelle de tous les échos détectés.

— Les zones présentant une très grande densité de structures, de l'ordre de 10 000 au km<sup>2</sup> (soit 1 structure tous les 10 m), et dont les fonds moyens sont faibles ou moyens (inférieurs à 20 m). Le sondeur latéral y sera de peu d'utilité, la seule manière d'« ouvrir » un chenal étant alors de procéder à un sondage vertical à haute densité.

— Les zones à très grande densité de structures mais dont les fonds moyens dépassent 20 m ou encore les zones à moyenne densité de structures, de l'ordre de 100 au km<sup>2</sup> soit 1 structure tous les 100 m. La solution préconisée est la suivante :

- détection et recherche systématique des macrostructures;
- abandon de toutes les microstructures sans ombre;
- cotation de toutes les microstructures avec ombre d'après la dimension de cette ombre;
- recherche systématique des seules microstructures, parmi les précédentes, dont la cote évaluée est inférieure ou proche d'un plafond déterminé.

Ce plafond peut être « contractuel », c'est-à-dire défini par ailleurs, ou fixé selon les résultats hydrographiques eux-mêmes et l'intérêt nautique de la zone.

Les résultats de cette étude ont été confirmés par la suite dans d'autres zones et prouvent tout l'intérêt de l'emploi de la technologie de sondage latéral en milieu corallien. La méthodologie présentée paraît assez bien adaptée au souci de conserver aux levés hydrographiques efficacité, rapidité et rigueur. Il est évident néanmoins qu'elle

est susceptible d'amélioration pour renforcer notamment les probabilités d'assurer le plafond fixé et d'avoir identifié toutes les microstructures significatives.

## BIBLIOGRAPHIE

- LEENHARDT O. — Etude théorique du sonar latéral, *Revue Hydrographique Internationale*, janvier 1974.
- BONNOT J.F. — Evaluation du sondeur latéral Edgerton Mark 1 B pour embarcation. Rapport de mission : Mission Hydrographique de Dragage et Mission Océanographique de Méditerranée 1972-1975, *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 6, fasc. 3 — 1978 n° 750.
- BRYANT R.S. — Le sonar latéral à balayage latéral en hydrographie. Evaluation faite par le Service Hydrographique Canadien, *Revue Hydrographique Internationale*, janvier 1975.
- FLEMING B.W. — Guide pratique du sonar latéral, *Revue Hydrographique Internationale*, janvier 1976.
- DARS M. et SOUQUIERE P. — Evaluation du sondeur latéral Edgerton. Rapport de mission de M. DARS : Mission Hydrographique de l'Atlantique 1974-1976, *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 7, fasc. 3-1979 n° 753.
- PIERETTI L. — Sonar latéral pour embarcation. Rapport particulier n° 20 Mission Océanographique de Méditerranée du 20 janvier 1976.
- BOULARD M. — Sonar latéral Edgerton Mark 1B. Rapport de Mission : Mission Océanographique du Pacifique 1974-1976, *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1 — 1980 n° 754.
- Side scan sonar system — EG and G — Instruction Manuel TM 73 — 241 C 1977.
- RUSSEL I.C. — Sonar latéral à double canal. Exploitation et fonctionnement en hydrographie, *Revue Hydrographique Internationale*, janvier 1978.

## LA MARÉE ET LES COURANTS DANS LA ZONE GRANDE-TERRE — ILE DES PINS (NOUVELLE-CALÉDONIE)

### I. GÉNÉRALITÉS

Le levé effectué par la Mission Océanographique du Pacifique dans le Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'île des Pins de septembre 1977 à décembre 1979, levé qui est relaté par ailleurs, a donné lieu à des observations détaillées de la marée et des courants dans cette zone.

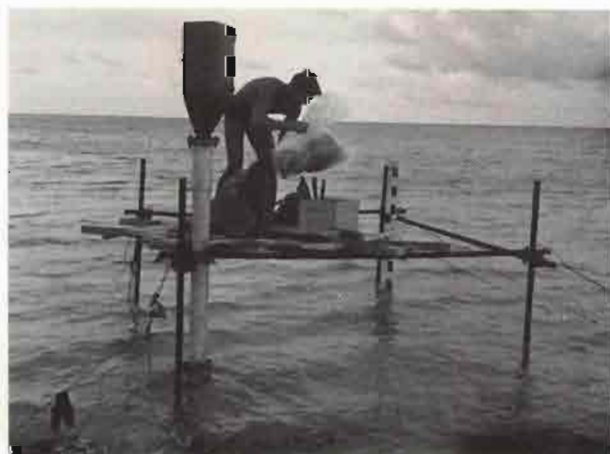
La présente annexe technique, qui est la reproduction d'un rapport particulier établi par l'I.A. Bessero le 25 février 1980, rend compte des mesures effectuées et présente une étude du régime de marée et des courants locaux.

### II. MARÉE

#### II.1. Observations effectuées au cours du levé

Quatre observatoires de marée ont été maintenus en fonction successivement ou simultanément à Kuto (île des Pins) et près des îlots N'Dié, Nouare et N'Do (voir planche n° 42) tandis que la marée était observée en permanence à Nouméa, port de référence de la zone de marée.

Toutes les observations ont été effectuées à l'aide de marégraphe OTT R16 à enregistrement



Observatoire de marée Nouare.

graphique. Pour les observatoires situés à proximité des îlots, on a retenu l'installation sur échafaudage en tubes d'entrepose mise au point par l'I.C.A. Bonnot (1). La description des observatoires fait l'objet des planches n° 43 à 46. Le détail des périodes de fonctionnement est donné dans le tableau ci-après.

Un certain nombre d'enregistrements se sont révélés inexploitable à la suite des pannes classiques (avarie du mécanisme d'horlogerie; blocage du flotteur; bouchage de l'orifice du puits). Ils correspondent à des périodes où l'on a dû laisser les observatoires sans surveillance pendant de longues durées (une à deux semaines, voire plus).

Périodes de fonctionnement des observatoires de marée

Observatoire	Périodes de fonctionnement
Nouare	9 octobre au 7 novembre 1978
N'Do	7 décembre 1978 au 9 janvier 1979
Kuto (ancien wharf)	14 septembre au 9 novembre 1977 18 janvier au 9 mars 1978 18 au 24 avril 1978 18 mai 1978 au 2 janvier 1979 13 février au 17 juin 1979
Kuto (nouveau wharf)	18 juin au 5 décembre 1979
N'Dié	2 juin 1978 au 9 janvier 1979 4 mai au 5 décembre 1979

#### II.2. Analyse des observatoires par concordance

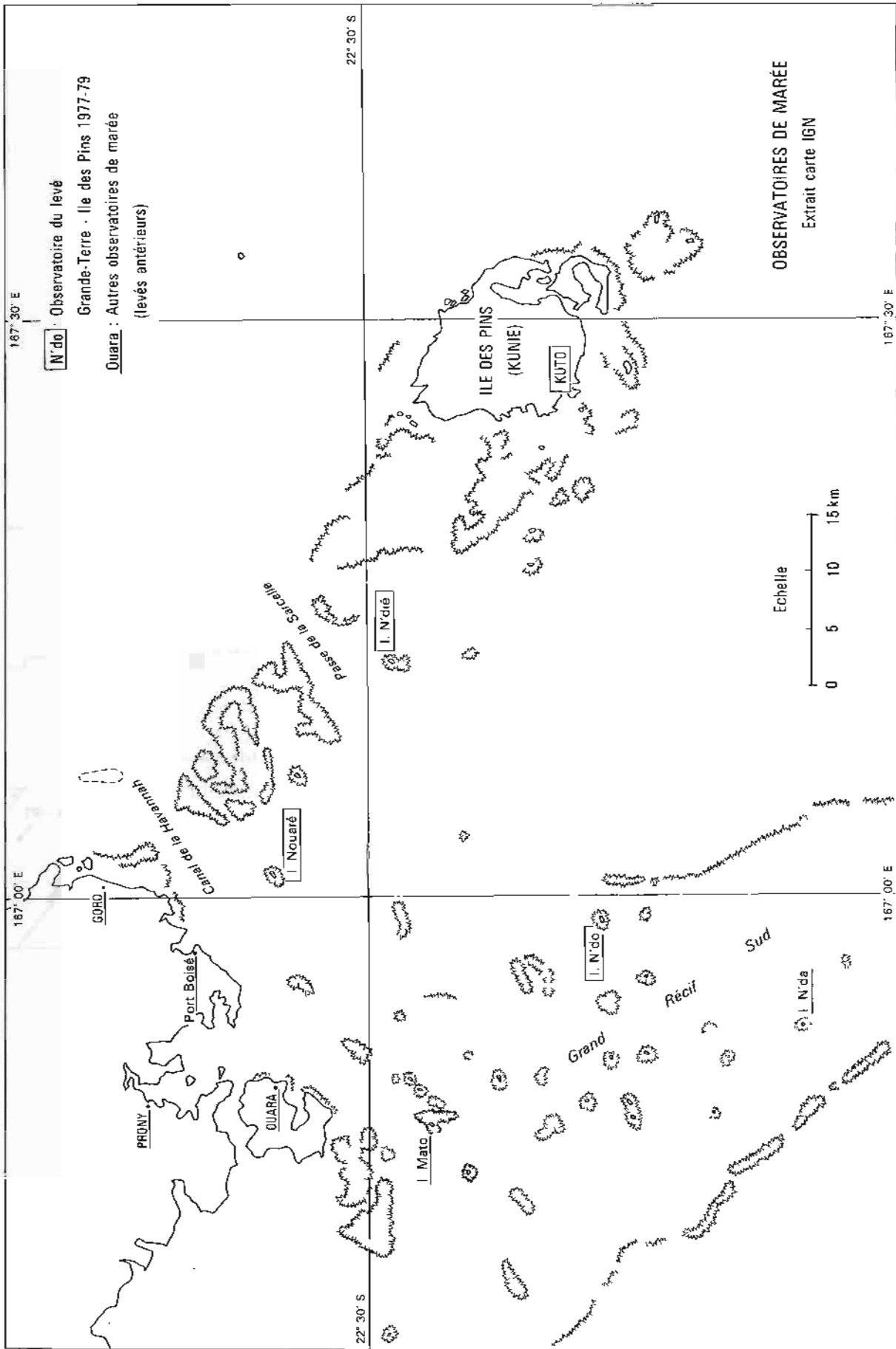
##### II.2.1. Concordances en hauteur

###### II.2.1.1. Principe

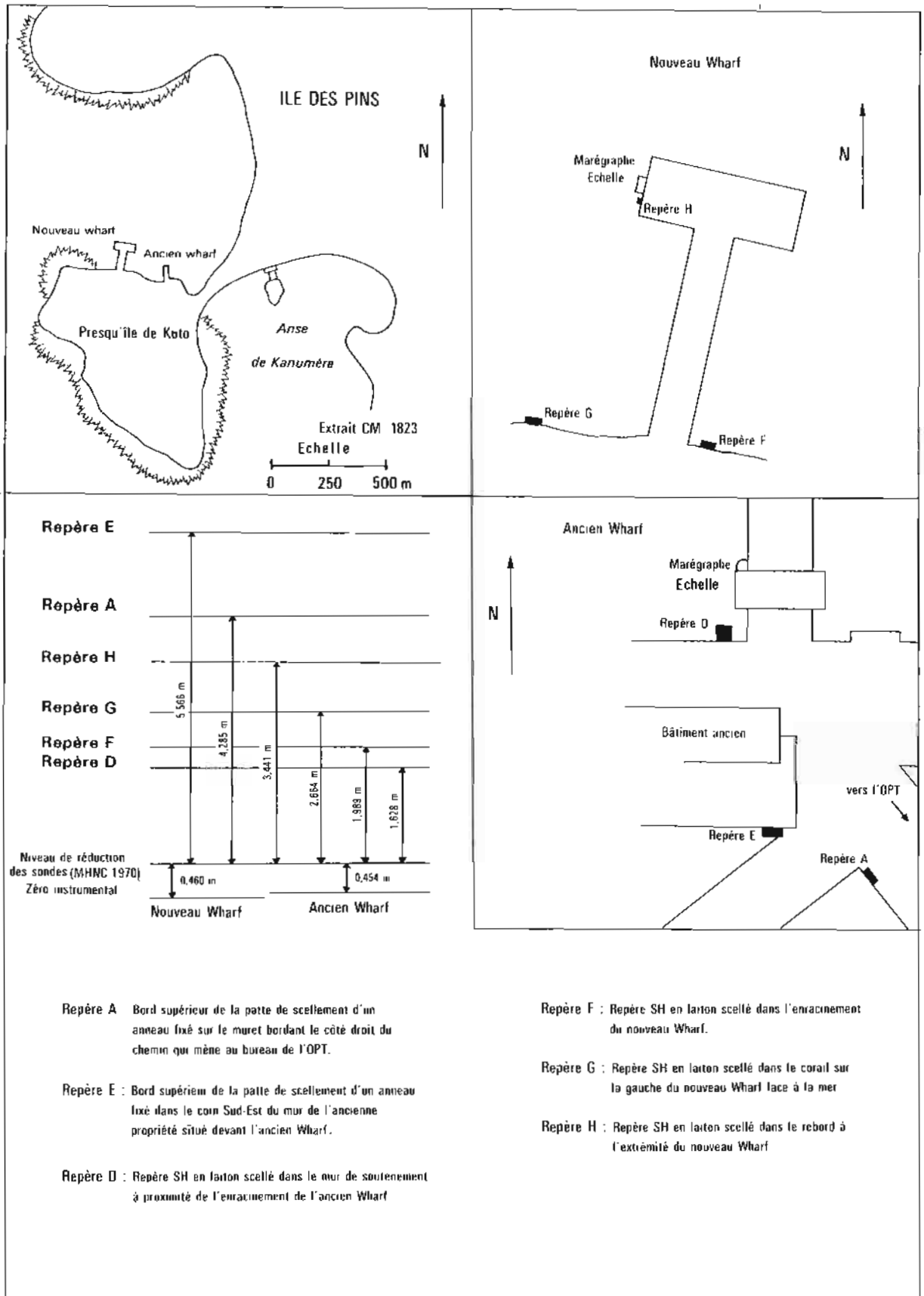
Les concordances en hauteur de pleines et de basses mers entre un port de référence R et un port secondaire S ont été établies de manière classique.

On a déterminé, pour chaque tranche de 10 cm des hauteurs de pleines et de basses mers en R, la valeur moyenne, le maximum, le minimum et l'écart type des différences de hauteurs entre S et R. On a ensuite effectué une régression linéaire sur les valeurs moyennes des différences S - R

(1) Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755.

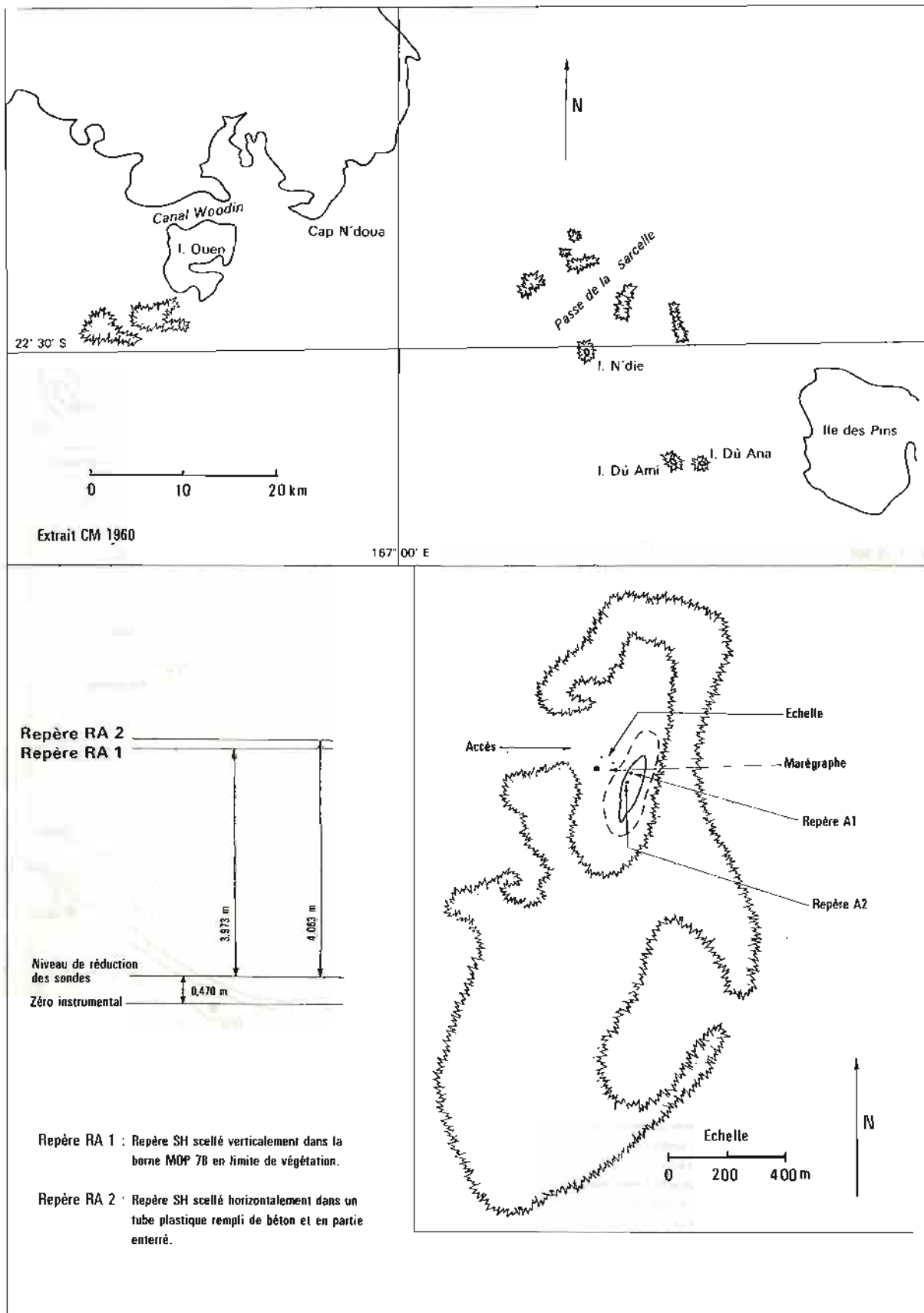


PL. 42. — Observatoires de marée : localisation.

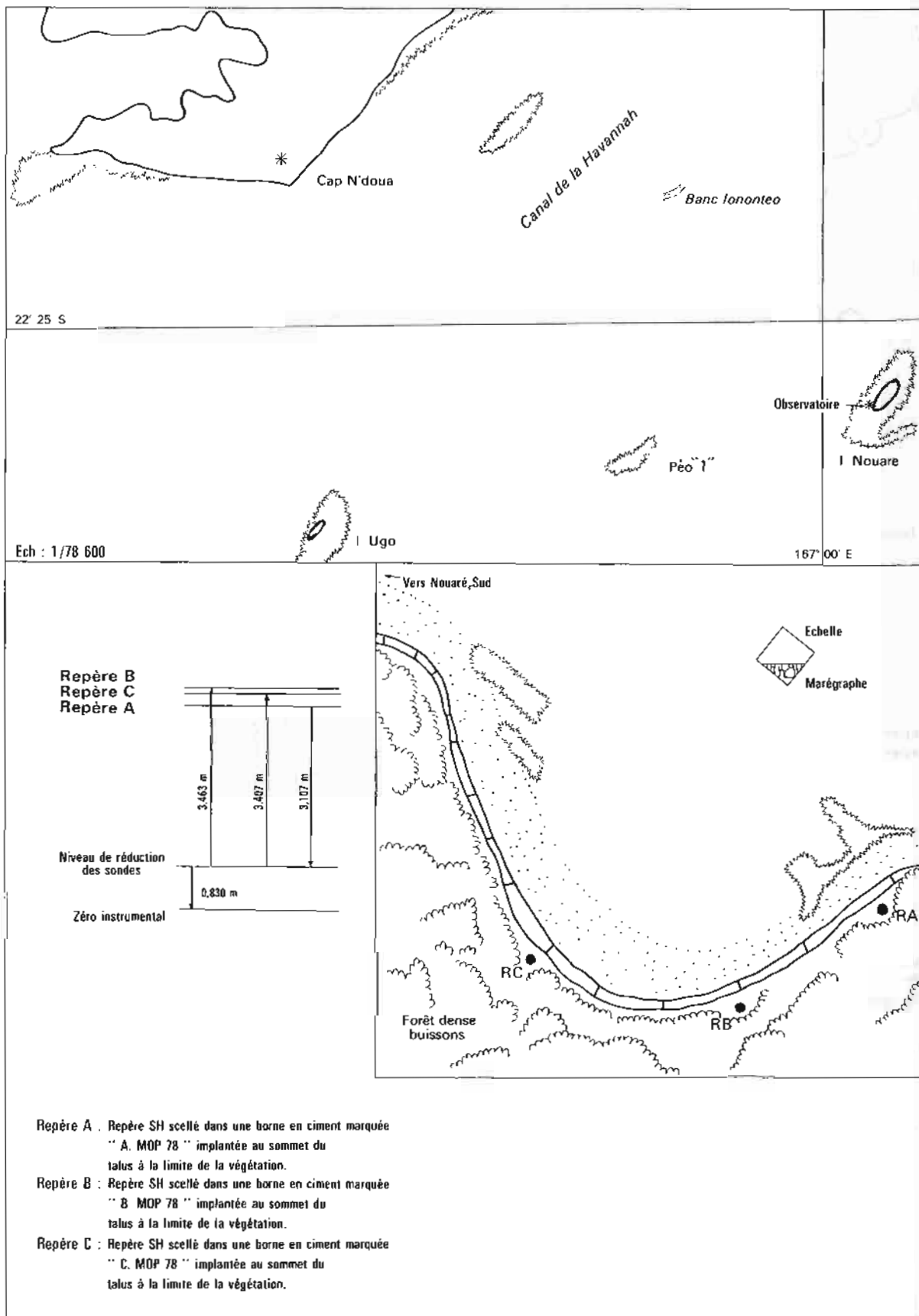


PL. 43. — Observatoire de marée de Kuto (ancien et nouveau wharfs).

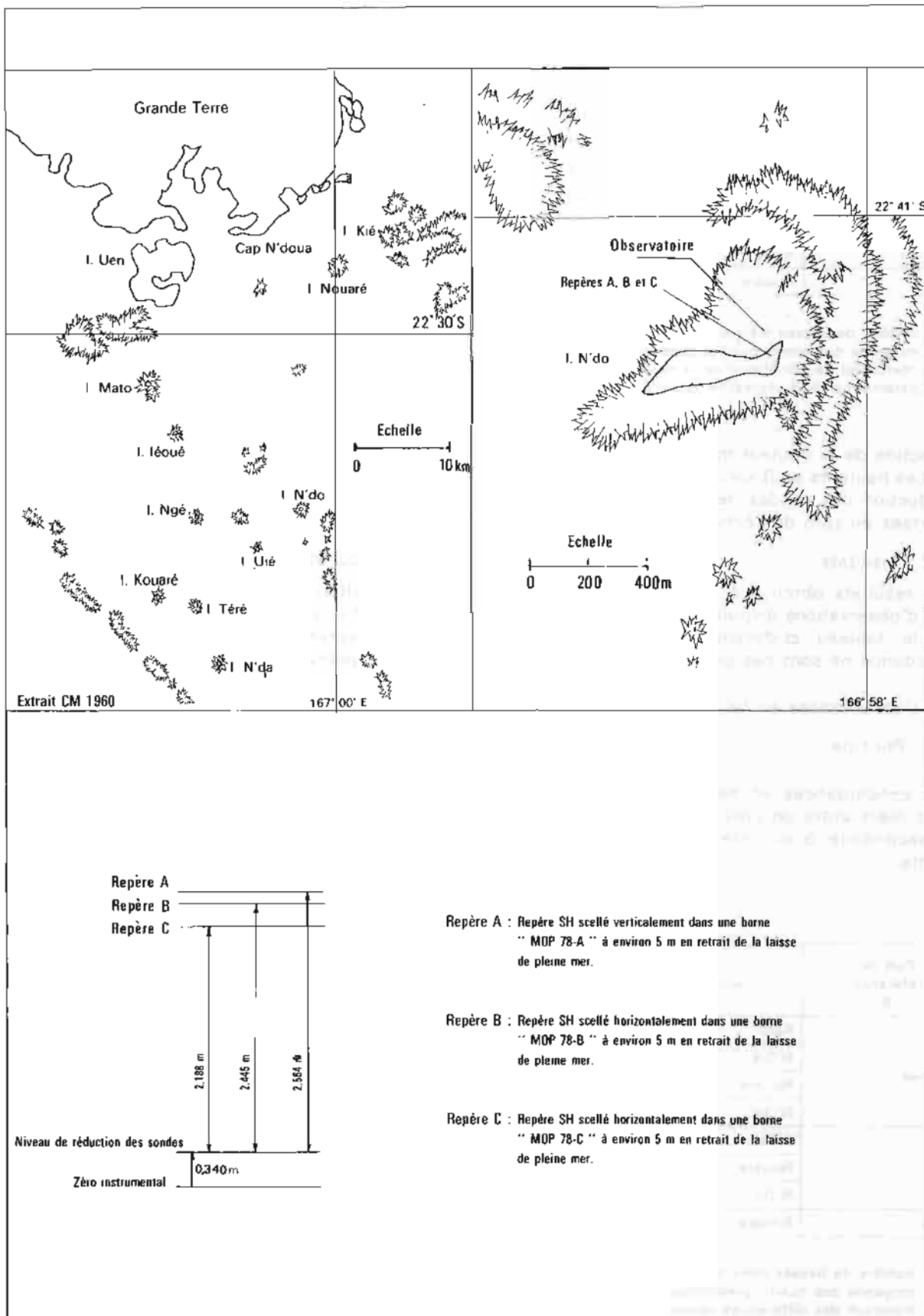




PL. 44. — Observatoire de marée de N'Dié.



PL. 45. — Observatoire de marée de Nouare.



PL. 46. — Observatoire de marée de N'Do.

Concordances en hauteur

Port de référence R	Port secondaire S	Basses mers					Pleines mers				
		n	$\sigma$ (cm)	$r^2$	a	b (cm)	n	$\sigma$ (cm)	$r^2$	a	b (cm)
Nouméa	Kuto	513	6	0,97	0,78	55	510	5	0,97	0,72	61
	N'Dié	533	6	0,91	0,81	57	531	5	0,95	0,59	77
	Nouare	38	5	0,94	0,71	87	37	3	0,96	0,61	97
	N'Do	64	4	0,83	0,83	38	64	3	0,96	0,71	49
Kuto	N'Dié	397	4	0,59	0,94	51	398	4	0,97	0,86	60
	Nouare	38	3	0,89	0,82	83	37	2	0,80	0,87	83
	N'Do	42	2	0,23	0,96	34	44	3	0,70	0,93	41
N'Dié	Nouare	38	2	0,88	0,88	78	37	2	0,51	0,95	81

Nota :

n : nombre de basses mers ou de pleines mers analysées

$\sigma$  : moyenne des écarts quadratiques, par tranche de hauteur en R, des différences de hauteur  $H_S - H_R$

$r^2$  : coefficient de corrélation de la régression linéaire :  $H_S = aH_R + b$

a,b : paramètres de la régression linéaire.

en fonction de la hauteur moyenne de la tranche en R. Les hauteurs en R sont rapportées au niveau de réduction des sondes; les hauteurs en S sont rapportées au zéro de l'échelle.

II.2.1.2. Résultats

Les résultats obtenus à partir des différentes séries d'observations disponibles sont rassemblés dans le tableau ci-dessous. Les courbes de concordance ne sont pas jointes.

II.2.2. Concordances en heure

II.2.2.1. Principe

Les concordances en heure de pleines et de basses mers entre un port de référence R et un port secondaire S ont été établies de la façon suivante.

On a déterminé, pour chaque tranche de 1 h des heures de pleines et de basses mers en R, la valeur moyenne, le maximum, le minimum et l'écart type des différences d'heures en S et R.

II.2.2.2. Résultats

Les résultats obtenus à partir des différentes séries d'observations disponibles sont dans le tableau ci-après. Les courbes de concordance ne sont pas jointes.

II.3. Réduction des sondes

II.3.1. Détermination du niveau de réduction des sondes

La zone levée se situe dans la zone de marée de Nouméa. Le niveau de réduction des sondes

Concordances en heure

Port de référence R	Port secondaire S	Basses mers					Pleines mers				
		n	$\sigma$ (min)	$E_m$ (min)	E (min)	$E_M$ (min)	n	$\sigma$ (min)	$E_m$ (min)	E (min)	$E_M$ (min)
Nouméa	Kuto	513	27	- 62	- 44	- 31	510	24	- 58	- 42	- 23
	N'Dié	387	18	- 82	- 57	- 38	387	19	- 72	- 34	- 56
	Nouare	38	12	- 65	- 39	- 15	37	19	- 63	- 42	- 11
	N'Do	64	26	- 79	- 54	- 38	64	21	- 67	- 51	- 18
Kuto	N'Dié	318	19	- 17	- 11	- 04	318	19	- 22	- 15	- 03
	Nouare	38	13	- 5	+ 8	+ 20	37	10	- 6	+ 2	+ 13
	N'Do	42	15	- 45	- 6	+ 10	44	17	- 34	+ 2	+ 30
N'Dié	Nouare	38	13	- 5	+ 13	+ 25	37	09	- 11	+ 10	+ 32

Nota :

n : nombre de basses mers ou de pleines mers analysées

$\sigma$  : moyenne des écarts quadratiques, par tranche d'heure en R, des différences d'heures  $T_S - T_R$

$E_m$  : minimum des différences moyennes  $T_S - T_R$  par tranche d'heure en R

E : moyenne des différences moyennes  $T_S - T_R$  par tranche d'heure en R

$E_M$  : maximum des différences moyennes  $T_S - T_R$  par tranche d'heure en R.

Statistique des écarts des hauteurs horaires  
(rapportées au niveau de réduction des sondes)

Différences	Nombre de hauteurs horaires comparées	Ecart moyen (cm)	Ecart type (cm)	Période d'observation analysée
N'Dié-Kuto	463	1	11	9 au 28.10.1978
Nouare-N'Dié	463	- 12	3	9 au 28.10.1978
N'Do-Kuto	541	- 2	6	7 au 16.12.1978 20.12.78 au 2.01.79
Nouare-Kuto	463	- 12	4	9 au 28.10.1978

doit donc être déterminé en concordance avec le zéro hydrographique à Nouméa qui est situé à 3,632 m au-dessous du repère en laiton H1 scellé à l'extrémité de la jetée de la base maritime de la pointe Chaleix.

Le niveau de réduction des sondes adopté à Kuto en 1970 <sup>(2)</sup> se trouve à 0,454 m au-dessus du zéro de l'échelle de l'ancien wharf. La nouvelle concordance effectuée situant ce niveau 10 cm plus haut, l'ancien zéro a été conservé.

Une première concordance entre les marées de N'Dié et Nouméa sur un mois d'observations a conduit à adopter le niveau de réduction des sondes à 0,470 m au-dessus du zéro de l'échelle de N'Dié. La nouvelle concordance situant ce niveau 10 cm plus haut, la première détermination n'a pas été modifiée. Le niveau adopté se situe à 4 cm en dessous du niveau concordant avec le niveau de réduction des sondes de Kuto.

Pour les observatoires de Nouare et N'Do, on a adopté les niveaux en concordance avec le niveau de réduction des sondes de Kuto. Ils sont

<sup>(2)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Blavin (24 juin 1970 — 18 janvier 1972) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série — vol. 3, fasc. 1-1975, n° 742.

situés à 4 cm en dessous du niveau concordant avec le zéro hydrographique de Nouméa.

### II.3.2. Zones de réduction des sondes

L'analyse par concordance des marées observées montre que la marée varie peu entre les quatre observatoires. Ce résultat est confirmé par l'analyse des écarts entre les hauteurs horaires (tableau ci-après). Seuls les observatoires de N'Dié et Kuto ont été maintenus en fonction pendant toute la durée du levé et utilisés pour la réduction des sondes. La limite entre les deux zones de réduction a été choisie de manière à ne pas compliquer inutilement la procédure de réduction des sondes : on a choisi une hyperbole du réseau de radiolocalisation Toran utilisé comme guide pour les sondages (voir planche n° 6).

## II.4. Régime de la marée

### II.4.1. Observations disponibles

Les levés effectués depuis 1969 dans le Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie ont donné lieu à la mise

Observations de marée de 1969 à 1977 dans le Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie

Observatoire	Périodes d'observation archivées	Référence
Prony	28 novembre 1969 au 24 janvier 1970	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, n° 738, p. 107
Ouara	24 juillet au 13 août 1970 9 septembre au 31 décembre 1970	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, n° 742, p. 89
	29 septembre au 4 décembre 1974	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1-1980, n° 754
Kuto	4 novembre au 3 décembre 1970	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, n° 742, p. 108
Goro	24 février au 7 juin 1971	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, n° 742, p. 97
	7 septembre au 10 décembre 1974 1 <sup>er</sup> janvier au 8 février 1975	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, vol. 8, fasc. 1 — 1980, n° 754
Mato	22 mars au 28 juillet 1977 23 novembre au 17 décembre 1977	<i>Annales Hydrographiques</i> 5 <sup>e</sup> série, vol. 9, fasc. 2 — 1980, n° 755
	N'Da	5 juin au 28 juillet 1977 1 <sup>er</sup> au 20 décembre 1977

en place d'observatoires de marée à Port Boisé, Prony, Ouara, Kuto, Goro et Ilot Mato, Ilot N'Da (planche n° 42).

Le détail des observations archivées à l'EPHOM est donné dans le tableau ci-dessous.

#### II.4.2. Analyse harmonique

Les observations disponibles ont fait l'objet d'une analyse harmonique par l'EPHOM. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau n° 8. Lorsque plusieurs analyses ont été faites sur différentes périodes on a pris la moyenne pondérée par la durée analysée. Les niveaux moyens mentionnés ont été déterminés par concordance avec le niveau moyen de Nouméa (voir § II.4.3.1.).

Les conclusions suivantes peuvent être énoncées :

— la marée dans la zone étudiée est semi-diurne à inégalité diurne, le rapport  $K_1 + O_1/M_2 + S_2$  variant de 0,68 à Goro et 0,62 à N'Dié à 0,41 à N'Da et 0,36 à Nouméa.

— Les variations de phase et d'amplitude des ondes diurnes sont négligeables.

— La modification de la marée est due aux variations de phase et surtout d'amplitude des ondes semi-diurnes et en particulier à l'amplification de  $M_2$  et  $S_2$  dans le lagon.

Un essai de tracé empirique des cartes cotidiales  $M_2$  et  $S_2$  est présenté sur les planches n° 47 et 48.

Le caractère particulier de la marée de N'Dié (phénomène de tenue du plein ou de double pleine

mer, voir planche n° 49) ne se traduit dans les résultats de l'analyse harmonique que par une légère amplification des ondes supérieures et composées : le rapport de la somme des amplitudes des ondes tiers-diurnes à huitième-diurnes à l'amplitude de  $M_2$  est de 0,19 contre 0,14 à Nouméa et 0,13 à Kuto.

#### II.4.3. Variation du niveau moyen

Les niveaux moyens journaliers correspondant aux différents observatoires ont été calculés par l'EPHOM suivant la méthode de M. Demerliac (cf. *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 741, p. 49).

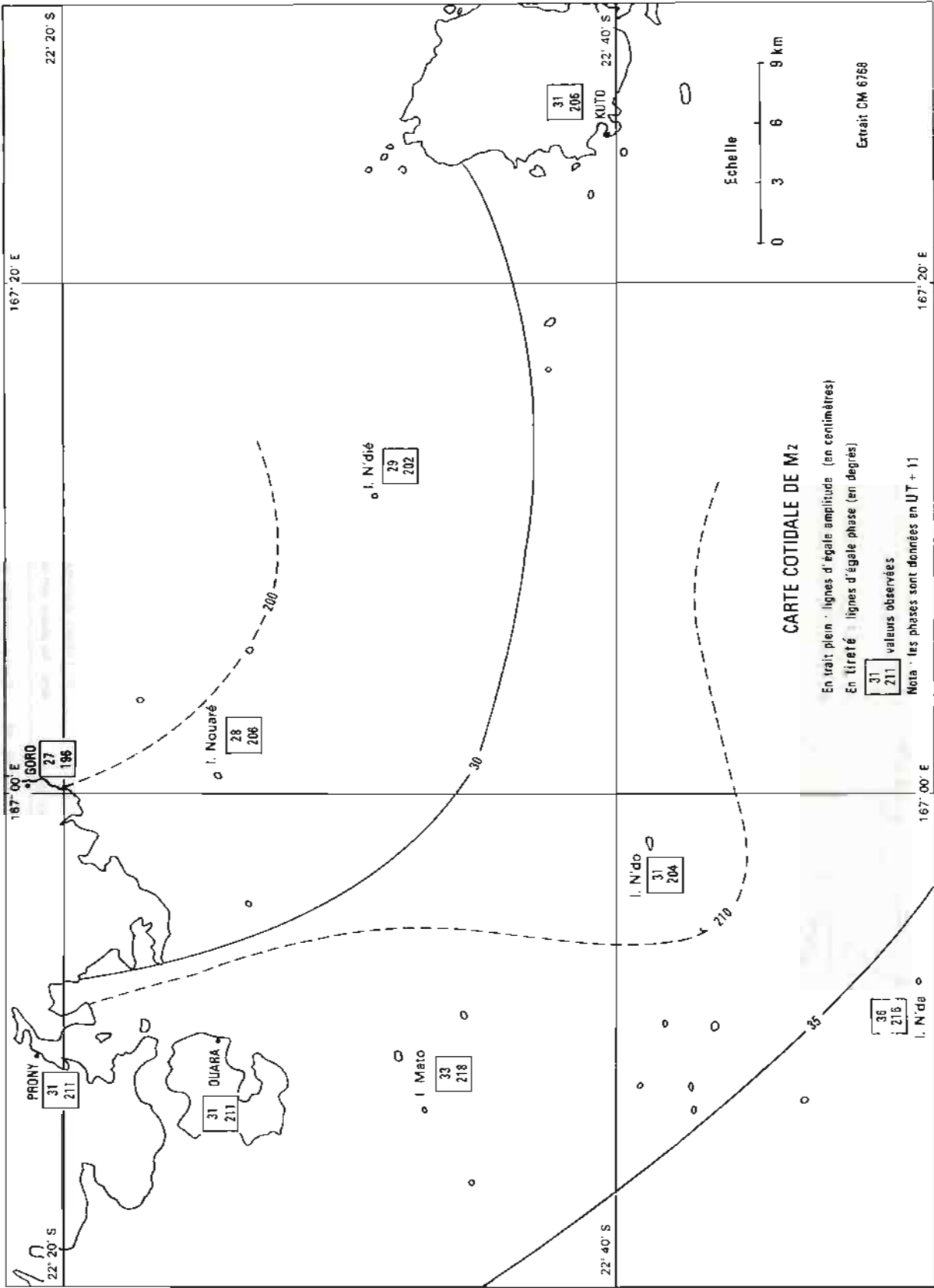
##### II.4.3.1. Niveaux moyens réduits

L'étude de la corrélation entre les niveaux moyens journaliers aux différents observatoires et les niveaux moyens journaliers de Nouméa a donné les résultats rassemblés dans le tableau n° 9. Le niveau moyen réduit est le niveau correspondant au niveau moyen de Nouméa adopté à 0,960 m au-dessus du zéro hydrographique (cf. J.P. Guitton, *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 741, p. 23). C'est la valeur indiquée dans le tableau n° 8.

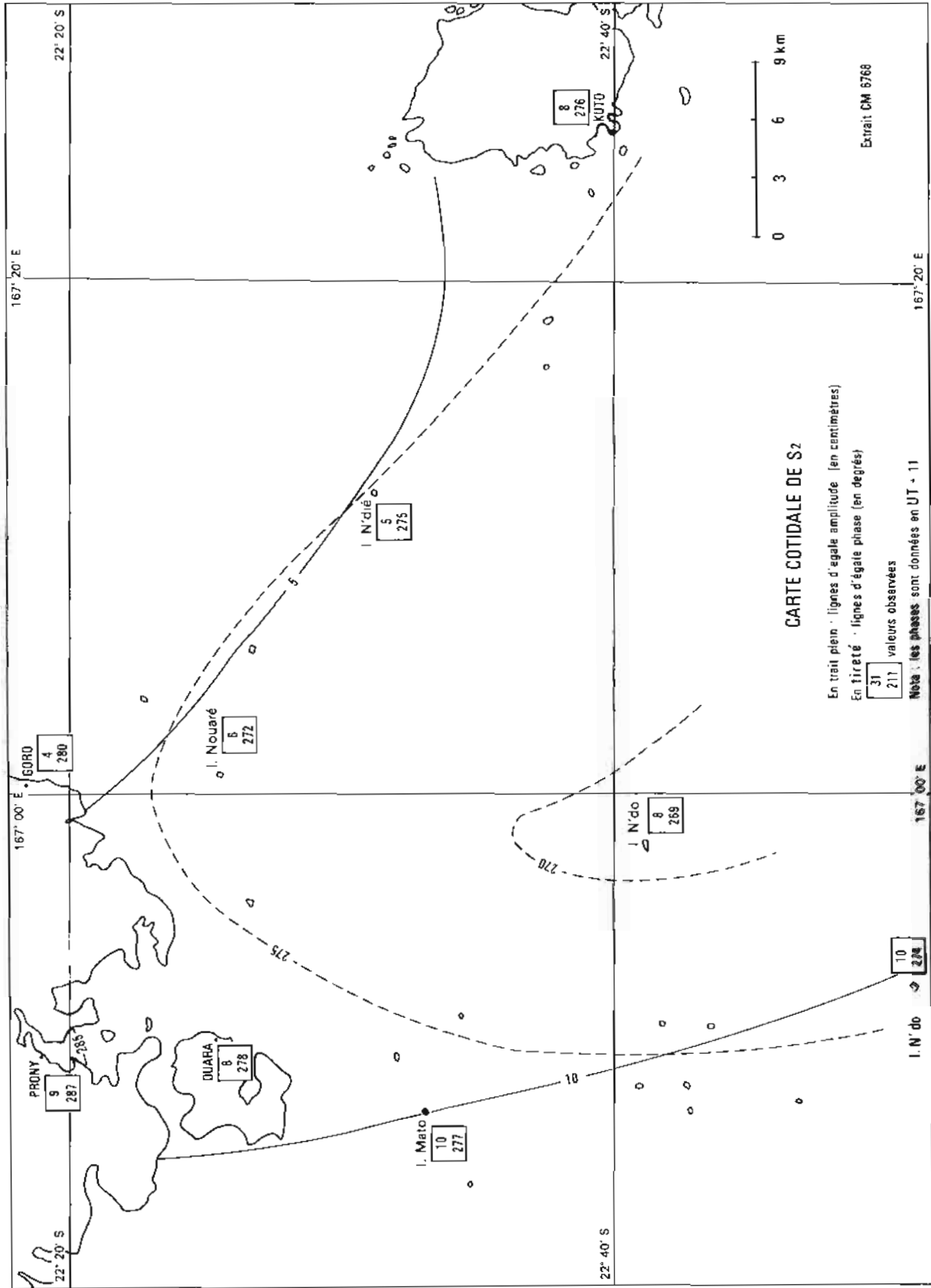
Les valeurs obtenues se regroupent autour de 0,700 m au-dessus du zéro hydrographique (Prony, Ouara, Nouare, Goro) et 0,800 m (N'Dié, Mato, N'Do Kuto, N'Da). Cet écart de 10 cm correspond à la réduction du marnage observée par exemple entre Kuto ou N'Dié et Nouare et à l'écart moyen entre les hauteurs horaires aux mêmes points.

TABLEAU 8  
Constantes harmoniques

Observatoire	Niveau moyen $Z_0$	Ondes diurnes				Ondes semi-diurnes							Rapport $\frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$
		$K_1$	$O_1$	$P_1$	$Q_1$	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_2$	$L_2$	$v_2$		
Nouméa	H (cm) g (°) UT + 11 96 —	14 192	6 149	4 185	1 106	41 228	14 275	6 210	4 268	2 255	1 205	0,36	
Goro	H (cm) g (°) UT + 11 69 —	14 191	7 151	5 188	1 115	27 196	4 280	5 151	1 286	2 200	1 157	0,68	
Prony	H (cm) g (°) UT + 11 71 —	14 190	6 147	4 187	1 117	31 211	9 287	4 166	2 293	2 253	1 172	0,50	
Nouare	H (cm) g (°) UT + 11 70 —	12 192	7 149	4 189	1 127	28 206	6 272	5 170	2 277	1 241	1 175	0,56	
Ouara	H (cm) g (°) UT + 11 71 —	14 192	7 148	4 189	1 114	31 211	8 278	5 173	2 283	1 273	1 178	0,54	
N'Dié	H (cm) g (°) UT + 11 83 —	14 189	7 149	4 183	1 101	29 202	5 275	4 158	1 281	1 237	1 174	0,62	
Mato	H (cm) g (°) UT + 11 79 —	13 193	6 151	4 189	1 114	33 218	10 277	5 193	3 282	1 245	1 196	0,44	
N'Do	H (cm) g (°) UT + 11 79 —	13 185	7 146	4 182	1 126	31 204	8 269	6 170	2 274	1 239	1 175	0,51	
Kuto	H (cm) g (°) UT + 11 83 —	13 190	6 150	4 187	1 117	31 206	8 276	5 167	2 281	1 259	1 172	0,49	
N'Da	H (cm) g (°) UT + 11 83 —	12 190	7 148	4 187	1 97	36 215	10 274	5 184	3 279	2 251	1 188	0,41	



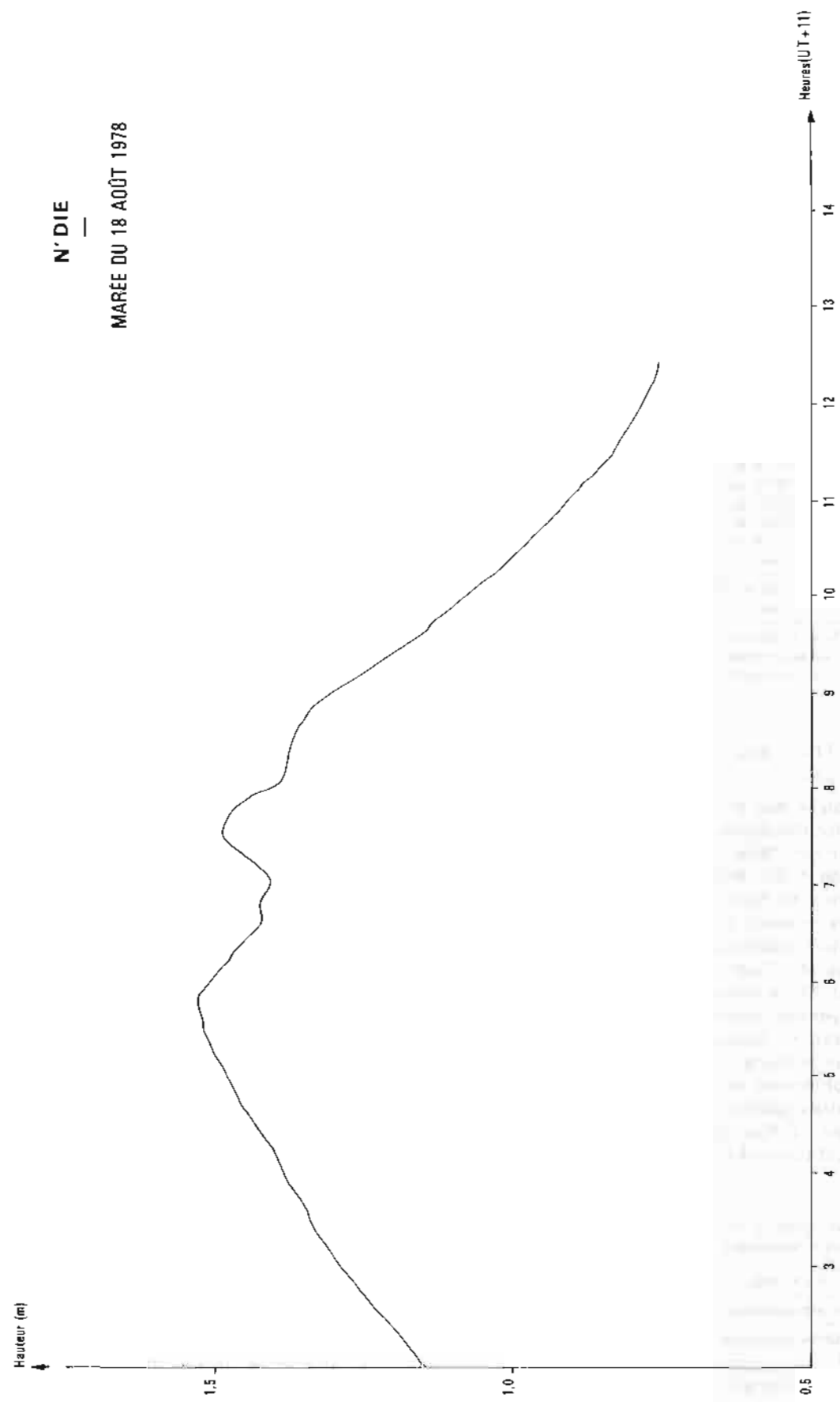
PL. 47. — Carte cotidale de M<sub>2</sub>.



PL. 48. — Carte cotidiale de S<sub>2</sub>.



N'DIE  
—  
MAREE DU 18 AOÛT 1978



PL. 49. — N'Dié — Marégramme du 18 août 1978.

**TABEAU 9**  
Niveaux moyens journaliers et niveau moyen réduit

Observatoire	Période analysée	Niveau moyen (m)	Niveau moyen minimum (m)	Niveau moyen maximum (m)	Niveau moyen réduit	a (1)	b (m) (1)	Coefficient de corrélation
Prony	29.11.69 au 23.1.70	0,782	0,716	0,886	0,710	0,857	- 0,113	0,83
Ouara	25.07 au 12.08.70	0,681	0,544	0,807	0,691	0,760	- 0,039	0,78
	10.09 au 30.12.70	0,775	0,614	0,950	0,741	0,693	0,076	0,85
	30.09 au 03.12.74							
12.12 au 26.12.74								
Nouare	11 au 27.10.78	0,653	0,603	0,740	0,697	0,715	0,011	0,85
Goro	25.02 au 6.06.71	0,681	0,619	0,760	0,680	0,452	0,246	0,63
	8.09 au 9.12.74	0,717	0,578	0,948	0,701	0,814	- 0,080	0,75
N'Dié	4.06 au 17.12.78	0,820	0,738	0,997	0,828	0,578	0,273	0,59
Mato	23.03 au 27.07.77	0,818	0,712	0,915	0,788	0,963	- 0,137	0,73
	24.11 au 18.12.77							
N'Do	8 au 31.12.78	0,764	0,743	0,792	0,788	0,823	- 0,003	0,45
Kuto	5.11 au 2.12.70	0,816	0,763	0,872	0,823	0,967	- 0,106	0,44
	16.09 au 12.10.77	0,870	0,710	1,039	0,833	0,807	0,058	0,80
	28.10 au 07.11.77							
	20.01 au 07.03.78							
	20.05 au 14.07.78							
	11.10 au 6.11.78							
7 au 31.12.78								
N'Da	6.06 au 27.07.77	0,860	0,759	0,933	0,829	0,835	0,027	0,72
	2 au 18.12.77							

(1) Coefficients de la régression linéaire :  $N = aN_0 + b$

avec N : niveau moyen journalier à l'observatoire (rapporté au zéro hydrographique)

$N_0$  : niveau moyen journalier à Nouméa (rapporté au zéro hydrographique).

#### II.4.3.2. Effets des conditions météorologiques locales

L'analyse des effets des conditions météorologiques locales porte sur la période du 1<sup>er</sup> juin 1978 au 8 janvier 1979, pendant laquelle les observatoires de Kuto, N'Dié, Nouare et N'Do ont été maintenus en fonction. Les paramètres météorologiques retenus, vent et pression, sont observés à la station météorologique de Nouméa toutes les 3 heures et à l'aérodrome de l'Île des Pins 2 fois par jour. On a déterminé pour ces deux stations les moyennes journalières de la pression et des composantes Ouest-Est et Sud-Nord du vent. L'existence d'une bonne corrélation entre les deux séries obtenues, au moins pour les deux premiers paramètres permet de supposer que les valeurs observées à Nouméa sont assez représentatives des conditions observées sur la zone étudiée.

Régression linéaire entre les paramètres météorologiques journaliers à Nouméa et à l'Île des Pins

Paramètre	Coefficient de corrélation
Pression atmosphérique	0,94
Composante Ouest-Est du vent	0,87
Composante Sud-Nord du vent	0,20

Les moyennes journalières à Nouméa ont varié, pendant la période considérée, entre :

- 1 004,7 et 1 020,4 mb pour la pression atmosphérique

- - 9 et + 14 m/s pour la composante Ouest-Est du vent

- - 7 et + 6 m/s pour la composante Sud-Nord du vent.

On a recherché, pour les quatre observatoires de marée, par la méthode des moindres carrés, les coefficients de l'estimation linéaire du niveau moyen :

$$N_{est.} = N_0 + aP + bV_N + cV_E$$

avec :

$N_{est.}$  : valeur estimée du niveau moyen

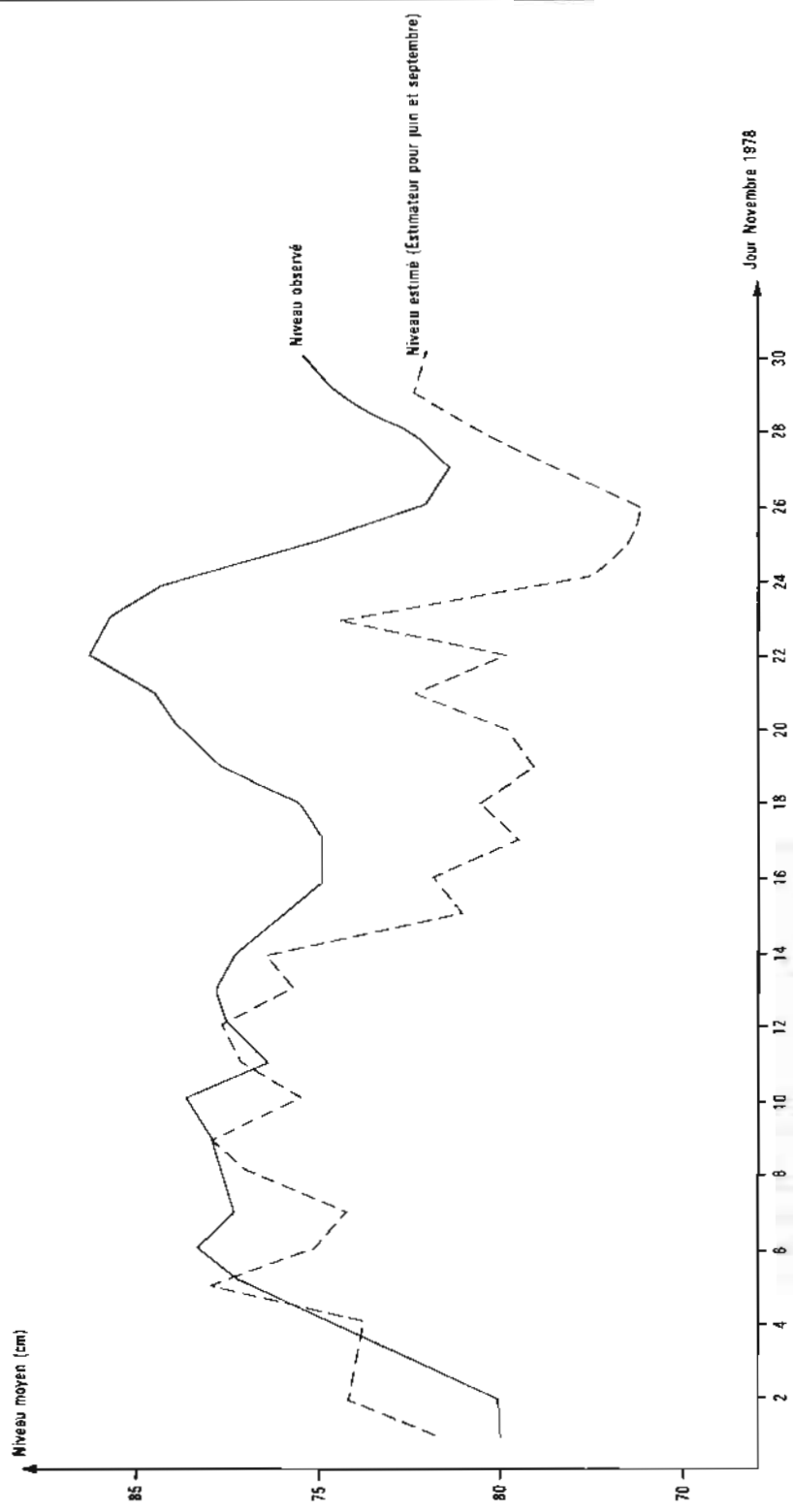
P : moyenne journalière de la pression atmosphérique à Nouméa

$V_N$  : moyenne journalière de la composante Sud-Nord du vent à Nouméa

$V_E$  : moyenne journalière de la composante Ouest-Est du vent à Nouméa

Les valeurs obtenues pour les coefficients  $N_0$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sont données dans le tableau ci-dessous. La comparaison des variances initiales et résiduelles (relatives à la différence entre le niveau moyen estimé et le niveau moyen observé) donne une indication sur la qualité de l'estimateur. L'importance des variances résiduelles ainsi que la variabi-

0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



PL. 50. — N/Dié — Niveau moyen en novembre 1978.

Estimation du niveau moyen

Observatoire	Période	Coefficient de l'estimateur				Variance initiale $v_1$ (mm <sup>2</sup> )	Variance résiduelle $v_2$ (mm <sup>2</sup> )	Rapport $\frac{v_2}{v_1}$
		$N_0$ (mm)	$a$ (mm/mb)	$b$ (mm/ms <sup>-1</sup> )	$c$ (mm/ms <sup>-1</sup> )			
Kuto	1.06 au 14.07.78	884	0	2,716	- 5,620	936	652	0,70
	11.10 au 6.11.78	3 780	- 2,9189	11,572	0,797	2 281	1 169	0,51
	7 au 31.12.78	8 322	- 7,4680	- 4,432	- 4,564	1 154	590	0,51
N'Dié	4.06 au 14.07.78	942	- 0,1204	13,256	- 6,600	2 564	2 113	0,82
	4.06 au 30.09.78	1 137	- 0,2929	7,717	- 11,248	2 623	1 792	0,68
	11 au 27.10.78	4 119	- 3,2597	6,527	1,343	947	479	0,51
	1.10 au 17.12.78	7 756	- 6,8468	2,579	0,165	1 080	436	0,40
Nouare	11 au 27.10.78	788	- 0,0883	6,672	- 5,208	1 425	803	0,56
N'Do	8.12.78 au 8.01.79	3 826	- 3,0277	1,947	1,535	249	171	0,69

TABLEAU 10  
Prédiction de marée

Port de référence	Nouméa	Lat.	Long.	Niveau moyen (m)	Corrections aux heures		Hauteurs (m)					
					Pleines mers	Basses mers	Pleines mers		Basses mers			
							Sup.	Inf.	Sup.	Inf.		
		22° 18' S	166° 26' E	0,96				1,45	1,29	0,66	0,43	
Ports rattachés					h	min	h	min	corrections aux hauteurs (m)			
	Prony	22° 19' S	166° 50' E	0,71	- 0	37	- 0	42	- 0,36	- 0,31	- 0,17	- 0,13
	Goro	22° 19' S	167° 01' E	0,69	- 1	02	- 1	10	- 0,43	- 0,36	- 0,14	- 0,10
	Ouara	22° 25' S	166° 50' E	0,71	- 0	40	- 0	40	- 0,36	- 0,31	- 0,16	- 0,11
	Nouare	22° 26' S	167° 01' E	0,70	- 0	42	- 0	39	- 0,43	- 0,36	- 0,15	- 0,09
	N'Dié	22° 31' S	167° 12' E	0,83	- 0	56	- 0	57	- 0,29	- 0,23	- 0,03	+ 0,02
	Mato	22° 33' S	166° 47' E	0,79								
	Kuto	22° 40' S	167° 26' E	0,83	- 0	42	- 0	44	- 0,25	- 0,20	- 0,05	0,00
N'Do	22° 41' S	166° 58' E	0,79	- 0	51	- 0	54	- 0,27	- 0,22	- 0,07	- 0,03	
N'Da	22° 51' S	166° 52' E	0,83									

lité des coefficients obtenus sur différentes périodes et pour les quatre observatoires montre que le niveau moyen ne dépend pas simplement des facteurs météorologiques locaux.

La valeur prédictive de ces estimateurs est également limitée (voir pour N'Dié la planche n° 50). Une étude statistique plus complète supposerait l'application des techniques de l'analyse spectrale avec des moyens de calcul appropriés. On pourrait aussi l'étendre à la totalité des observations disponibles.

On notera que l'effet de la pression est inférieur à l'effet statique admis habituellement (- 1 cm/mb).

## II.5. Prédiction de marée

Le tableau 10 donne pour les différents observatoires les éléments de rattachement aux prédictions de marée de Nouméa. Ces éléments proviennent des concordances du paragraphe 2 pour Kuto, N'Dié, Nouare et N'Do et des concordances

établies à l'EPSHOM pour Prony, Goro et Ouara. Les éléments relatifs à Mato et N'Da n'ont pas été déterminés.

## III. COURANTS

### III.1. Observations effectuées

Deux campagnes de courantométrie ont été effectuées successivement en 1977-1978 puis en 1979. La première<sup>(3)</sup> concernait les routes d'accès au mouillage de Kuto. La deuxième a couvert le reste du chantier (planche n° 51); une mesure a également été effectuée sur l'axe du canal Woodin à sa sortie Est. Les caractéristiques des stations réalisées sont rassemblées dans le tableau 11 ci-dessous.

<sup>(3)</sup> Voir rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 — 10 mai 1978) — *Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série — vol. 9, fasc. 2-1980, n° 755.

TABLEAU 11  
Stations de courantométrie (1977-1978)

N° fichier EPSHOM	Point de mesure		Immersion	Période d'observation	Remarque
	Latitude	Longitude			
961	22° 43' 52" S	167° 25' 48" E	5 m	3 au 9.11.1977	Voie d'accès à Alcmène par le Sud
987	22° 40' 52" S	167° 23' 12" E	5 m	5 au 12.10.1977	Voie d'accès à Kuto
993	22° 41' 10" S	167° 21' 30" E	5 m	18.01 au 2.02.1978	Voie d'accès à Kuto
994	22° 41' 10" S	167° 21' 30" E	5 m	03.02 au 15.02.1978	
995	22° 41' 10" S	167° 21' 30" E	5 m	16.02 au 09.03.1978	
1 007	22° 23' 48" S	166° 50' 54" E	5 m	15 au 18.02.1979	Canal Woodin
1 009	22° 28' 00" S	167° 06' 00" E	5 m	3 au 5.03.1979	Sud îlot Améré
1 010	22° 28' 00" S	167° 06' 00" E	5 m	5 au 8.03.1979	
1 011	22° 29' 06" S	166° 58' 54" E	5 m	5 au 9.03.1979	Sud Péo 3
1 012	22° 29' 06" S	166° 58' 54" E	5 m	13 au 15.03.1979	
1 013	22° 29' 06" S	166° 58' 54" E	5 m	22 au 26.03.1979	
1 014	22° 41' 58" S	167° 26' 33" E	5 m	26 au 28.03.1979	Voie d'accès à Alcmène par le Nord
1 017	22° 40' 00" S	166° 58' 30" E	5 m	13 au 19.06.1979	Nord îlot N'Do
1 018	22° 34' 48" S	167° 08' 24" E	5 m	16 au 20.06.1979	Sud-Ouest îlot N'Dié

Les appareils utilisés étaient des courantographes Mécabolier à enregistrement photographique avec un pas d'échantillonnage de 6 minutes. Pour les mesures de 1979, on a utilisé un schéma de mouillage type « MHA » (planche n° 5) qui a donné satisfaction, un seul appareil ayant été perdu au cours des mesures. Deux essais de tenue de mouillage (sans courantographe) ont été effectués dans la passe de la Sarcelle. Ils se sont soldés par un échec, le mouillage retenu étant trop léger pour les courants rencontrés (4 à 5 nœuds) et aucune mesure n'a pu être obtenue faute de pouvoir mettre en œuvre un mouillage plus lourd.

### III.2. Conditions météorologiques

On a choisi, pour caractériser les conditions météorologiques correspondant aux mesures effectuées, le vent observé à la station de Nouméa.

On a rencontré essentiellement un régime d'alizé de secteur Est à Sud-Est, faible à modéré, les vitesses enregistrées ne dépassant que rarement 10 m/s. Un régime temporaire d'Ouest a été observé début mars 1978 (station SH 995) et à la mi-juin 1979 (station SH 1007).

### III.3. Analyse des observations

Les dossiers constitués pour chaque station ont fait l'objet des traitements habituels à la mission et à l'EPSHOM en vue de leur introduction au fichier de l'EPSHOM.

Les histogrammes de la vitesse et de la direction ont été calculés pour la plupart des stations. Lorsque le courant de marée a paru suffisamment significatif, on a déterminé ses principales caractéristiques.

### III.4. Résultats

Les résultats de l'examen des dossiers disponibles sont détaillés ci-dessous. Les heures indiquées se rapportent à la marée de Nouméa.

#### III.4.1. Abords de l'île des Pins (stations 987 et 1014)

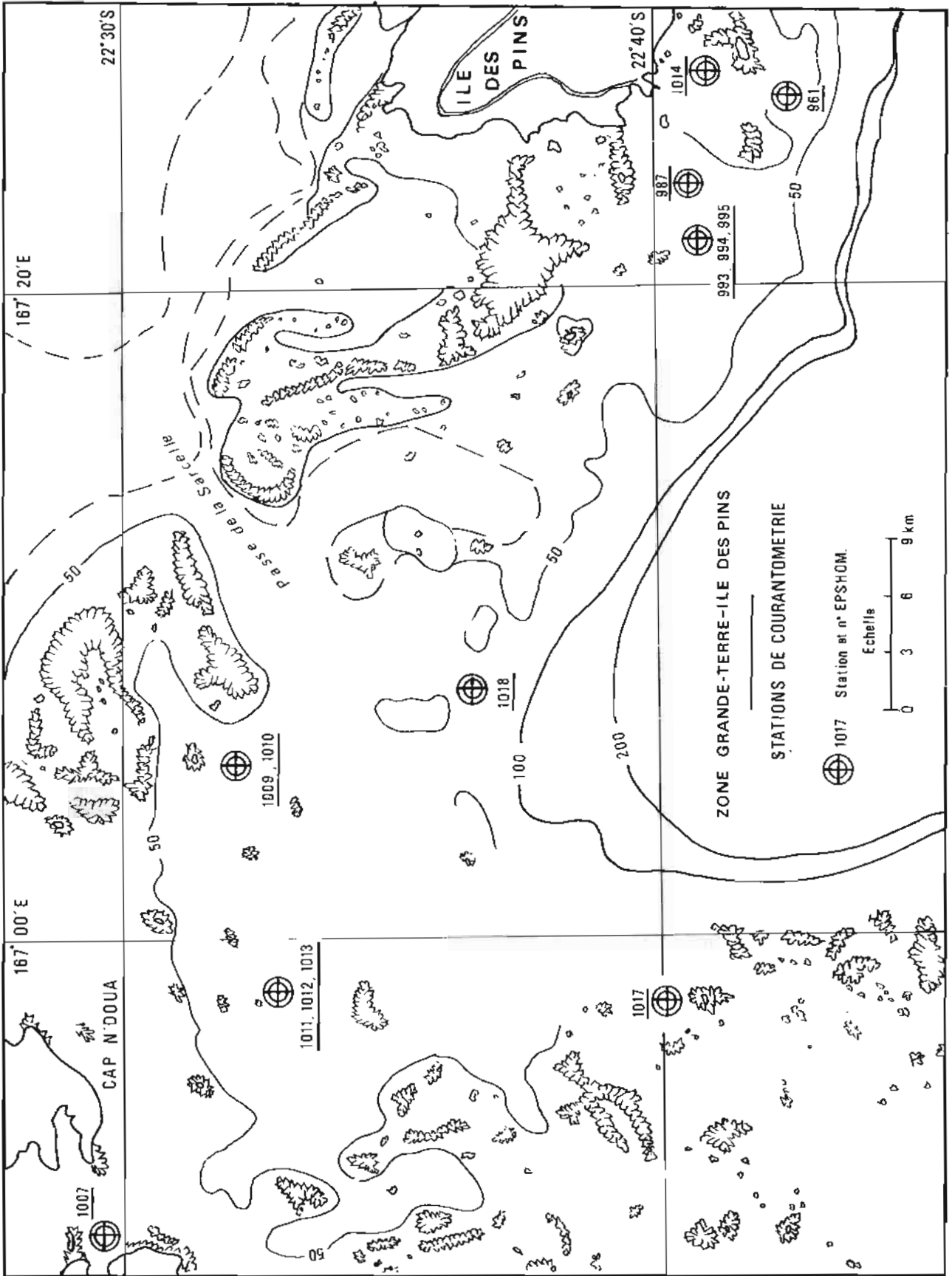
Le courant est faible (inférieur à 0,5 nœud) et est essentiellement induit par le vent.

#### III.4.2. Abords Sud de la passe de la Sarcelle (station 1018)

La composante permanente du courant portant au SSW et comprise entre 0,5 et 1 nœud est vraisemblablement liée à l'alizé de secteur Est observé pendant la même période. Les fluctuations observées autour du courant moyen sont très irrégulières et ne permettent pas de définir un courant de marée.

#### III.4.3. Abords de l'îlot N'Do (station 1017)

Le courant enregistré est giratoire avec une vitesse comprise entre 0 et 1 nœud. L'effet du vent est également important : il peut masquer complè-



PL. 51. — Zone Grande-Terre — Ile des Pins : stations de courantométrie.

tement le courant de marée (journée du 18 juin 1979 par exemple).

#### *III.4.4. Abords de l'îlot Améré (stations 1009 et 1010)*

Le courant de marée est plus marqué. Le flot porte au 220°-240° avec une vitesse maximum de 1 à 1,2 nœud (PM). Le jusant qui porte au 80° avec une vitesse de 0,6 nœud (PM + 4 à PM + 5) peut s'annuler (station 1010).

#### *III.4.5. Abords des Péo (stations 1011, 1012 et 1013)*

Le flot porte au 220°-260° avec une vitesse maximum de 0,3 à 0,7 nœud (PM - 3 à PM). Le jusant porte au 60°-80° avec une vitesse semblable (PM + 2 à PM + 3). Les étales ont lieu entre PM et PM + 2 et à PM - 5.

#### *III.4.6. Est du canal Woodin (station 1007)*

C'est la seule station pour laquelle le courant de marée est nettement marqué. Le courant est

alternatif, le flot portant au 280° à 0,8 nœud (PM - 3) et le jusant portant au 100° à 1,6 nœud (PM + 3). Les étales ont lieu à PM et à PM - 5. La dissymétrie entre flot et jusant peut sans doute s'expliquer par un effet de jet pendant le jusant plutôt que par l'effet des vents dominants pendant les mesures. On notera que le courant mesuré est plus important que le courant mentionné sur la carte SHOM n° 6 718 pour un point voisin mais situé à l'écart de l'axe du chenal.

### **III.5. Conclusion**

Les courants observés sont en général faibles et ils dépendent fortement du régime des vents. Le courant de marée n'est significatif que dans la partie Nord de la zone où il est essentiellement orienté à l'Est (jusant) et à l'Ouest Sud-Ouest (flot). L'absence de mesures dans la passe de la Sarcelle ne permet pas de dresser un schéma complet de la circulation.

## LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE DANS LA ZONE GRANDE-TERRE — ILE DES PINS (NOUVELLE-CALÉDONIE)

### I. GÉNÉRALITÉS

Le levé effectué par la Mission Océanographique du Pacifique dans le Sud-Est de la Nouvelle-Calédonie, entre la Grande-Terre et l'Île des Pins, de septembre 1977 à décembre 1979, levé relaté par ailleurs, a donné lieu à des observations détaillées de la déclinaison magnétique dans cette zone.

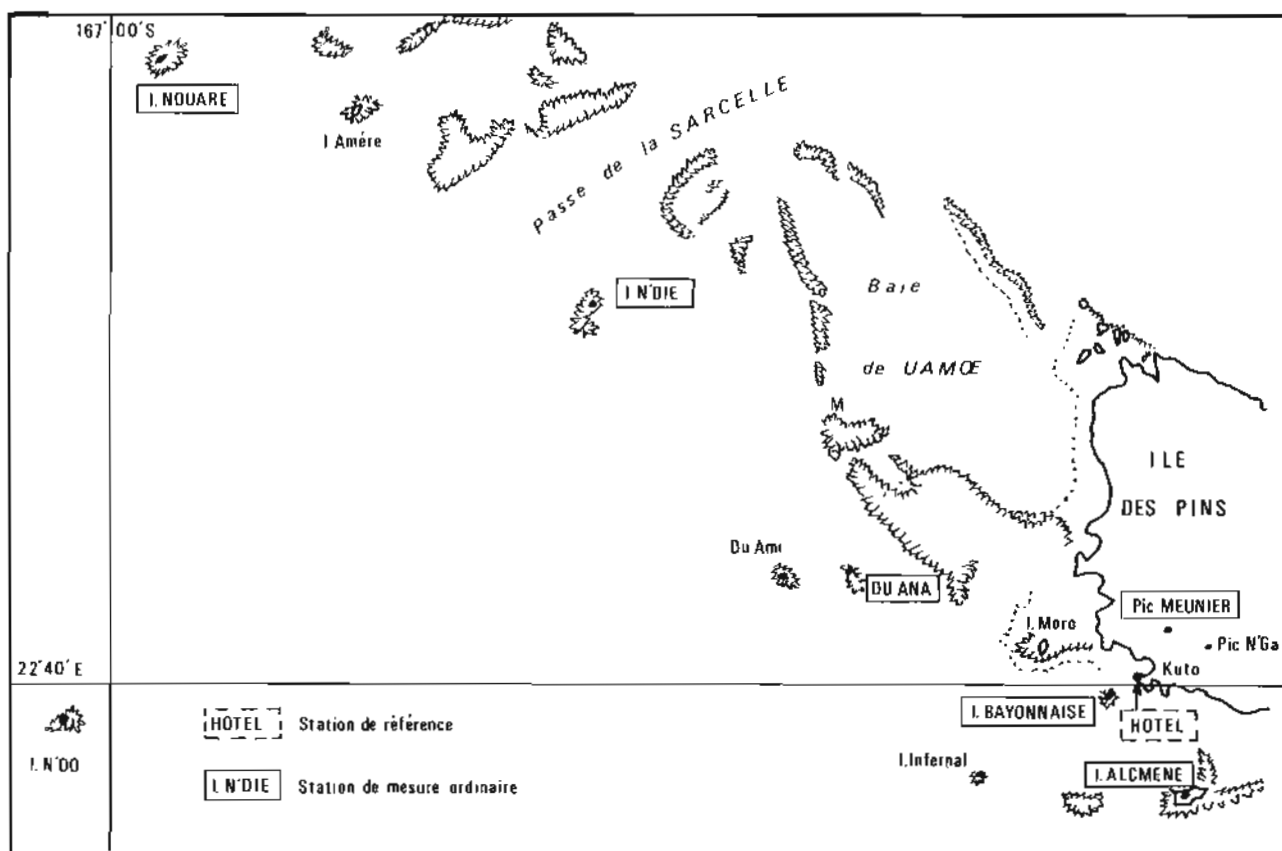
La présente annexe technique, qui est la reproduction d'un rapport particulier établi par l'IA Bessero le 20 mai 1979, rend compte des mesures effectuées et en donne les résultats.

Conformément aux Instructions Techniques, les

mesures de la déclinaison du champ magnétique terrestre ont concerné quelques îlots du lagon et la côte Nord-Ouest de l'Île des Pins ainsi que l'observation de la variation diurne en un point borné de manière durable à l'Île des Pins.

Elles ont été effectuées à l'aide d'un théodolite Wild TO, de septembre à décembre 1978. Elles comprennent (voir planche n° 52).

- deux séries de 25 heures d'observation sur la presqu'île de Kuto à l'Île des Pins, au début et à la fin de la campagne de mesures (station Hôtel);
- deux séries de quelques heures d'observation sur les îlots Alcmène, N'Dié, Nouare, Bayonnaise, N'Do, Du Ana et au sommet du Pic Meunier à l'Île des Pins.



PL. 52. — Stations de mesure de la déclinaison magnétique.



## II. MODE OPÉRATOIRE

### II.1. Choix du site et de l'amer d'orientation

L'emplacement de la station doit naturellement être éloigné de toute masse métallique importante susceptible de perturber le champ terrestre.

L'amer d'orientation doit rester bien visible au cours de toute la séance. On utilise pour les visées de nuit un voyant de polygonation muni de son éclairage.

La détermination du gisement géographique de la visée fait l'objet de mesures complémentaires. Leur précision doit être supérieure à celle des visées au théodolite TO (1 à 2 minutes).

### II.2. Lectures

L'observateur doit se débarrasser de tout objet métallique pouvant perturber la rose au cours du pointé et de la lecture (montre, couteau, etc.). Les lectures de nuit nécessitent un éclairage artificiel. On s'assure de jour que la lampe utilisée ne provoque aucune déviation de la rose.

Pour éliminer au maximum les erreurs instrumentales et de lecture, on utilise la procédure suivante :

- a) déblocage de la rose : il doit se traduire, si le pivot est en bon état, par des oscillations de la rose autour de sa position d'équilibre. Ces oscillations s'amortissent plus ou moins rapidement;
- b) 5 pointés et 5 lectures avec micromètre à droite (après amortissement des oscillations de la rose);
- c) blocage de la rose;
- d) retournement de la lunette;
- e) déblocage de la rose;
- f) 5 pointés et 5 lectures avec micromètre à gauche;
- g) blocage de la rose;
- h) retournement de la lunette;

puis on recommence en « a » pour une nouvelle série de 10 lectures. Chaque série est caractérisée par la moyenne des lectures, attribuée à l'instant milieu d'observation, la lecture minimum, la lecture maximum et l'écart type des lectures. La précision obtenue est en général de l'ordre de 2' (soit un écart type de 0,6').

## III. ETALONNAGE DES TO

Les corrections d'étalonnage des deux TO utilisés ont été déterminées a posteriori, à l'observatoire de géophysique Pamatai du centre ORS-TOM de Papeete, le 3 avril 1979.

Les corrections à apporter aux lectures sont :

- a) théodolite TO n° 38129 : - 1° 07' (valeur cohérente avec les corrections déterminées précédemment en 1977 et 1969)
- b) théodolite TO n° 214060 : + 0° 10,5' (la correction indiquée par l'EPSHOM à la livraison en 1977 était nulle).

## IV. RÉSULTATS

Les heures sont exprimées dans le fuseau Lima (L) c'est-à-dire UT + 11.

### IV.1. Station de référence

#### IV.1.1. Observations

La station retenue pour l'observation de la variation diurne a été la station Hôtel, située sur la presqu'île de Kuto à l'île des Pins ( $\varphi = 22^{\circ} 40' 16''$  S;  $G = 167^{\circ} 26' 09''$  E).

La première série d'observations a été effectuée du 22 septembre 1978 à 07 h 00 L au 23 septembre à 07 h 00 L, à raison d'une observation (10 lectures) toutes les heures. Les résultats obtenus sont représentés sur la planche n° 53. La déclinaison observée (moyenne de 10 lectures) varie entre  $13^{\circ} 07,9'$  Est et  $13^{\circ} 17,1'$  Est. La déclinaison moyenne sur 24 heures est de  $13^{\circ} 12,1'$  Est.

La deuxième série d'observations a été effectuée dans les mêmes conditions du 19 décembre 1978 à 07 h 00 L au 20 décembre 1978 à 07 h 00 L, par temps orageux. Les résultats obtenus sont représentés sur la planche n° 53. La déclinaison observée varie entre  $12^{\circ} 52,3'$  Est et  $13^{\circ} 15,9'$  Est. La déclinaison moyenne est de  $13^{\circ} 10,5'$  Est.

#### IV.1.2. Déclinaison moyenne

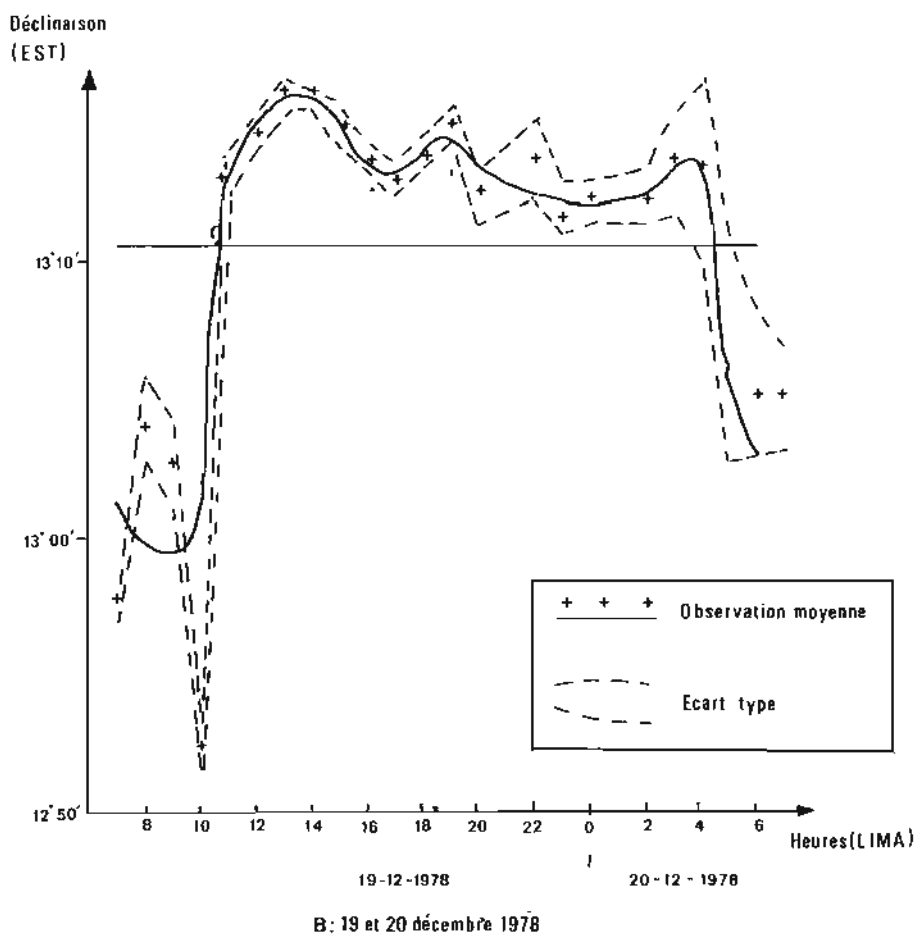
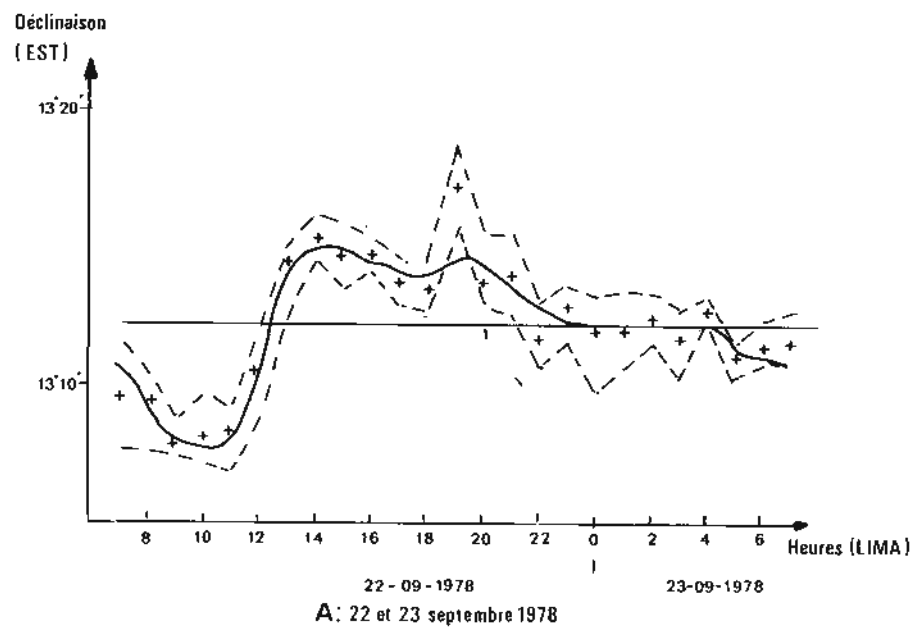
Les deux valeurs obtenues de déclinaison moyenne sur 24 heures sont cohérentes compte tenu de la précision du TO. La déclinaison moyenne adoptée est :  $13^{\circ} 11'$  Est (5 novembre 78).

Il n'existe pas d'observatoire de référence en Nouvelle-Calédonie; il n'est donc pas possible de réduire cette valeur au 1<sup>er</sup> juillet 1978.

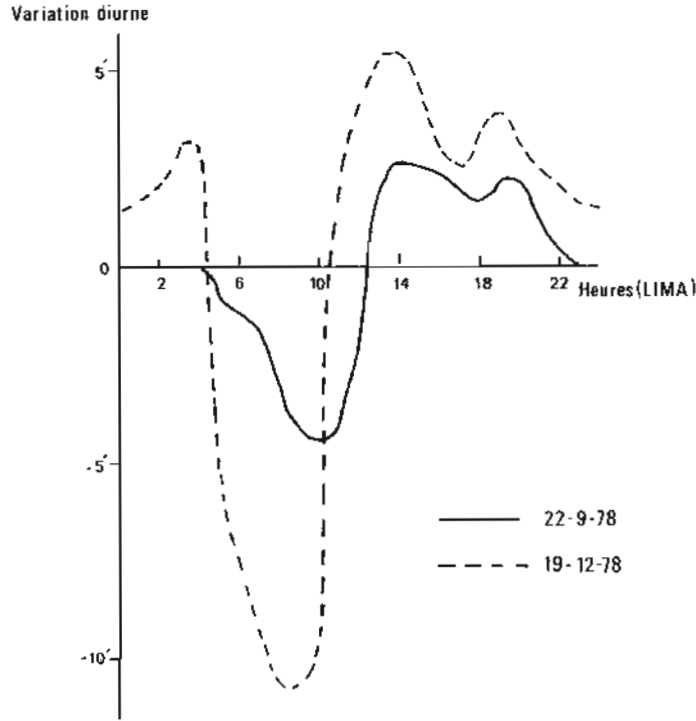
#### IV.1.3. Variation diurne

Les deux courbes, lissées, de la variation diurne de la déclinaison par rapport à la déclinaison moyenne sont représentées sur la planche n° 54.

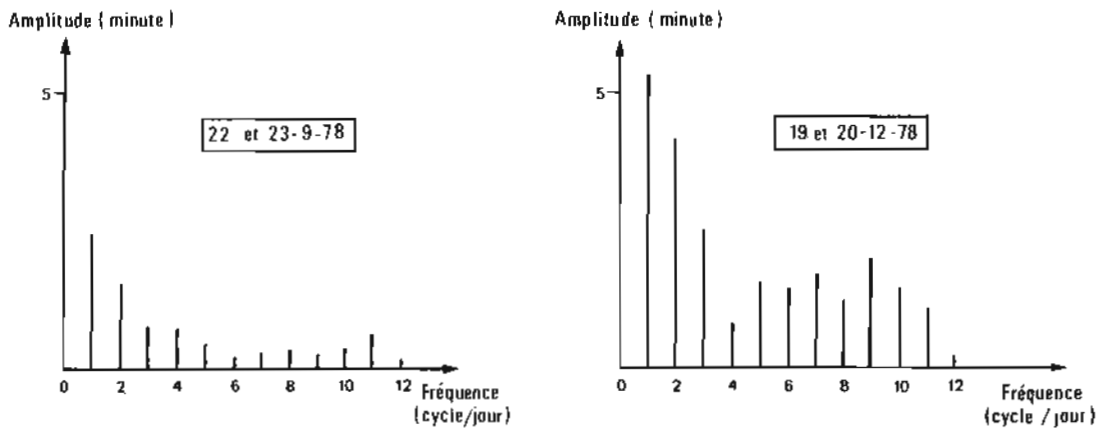
Elles sont semblables mais on remarque une amplification notable de l'amplitude de variation ( $D_{\max} - D_{\min}$ ) qui passe de 7,2' en septembre à 16,3' en décembre.



PL. 53. — Variation de la déclinaison au point Hôtel (Kuto).



A Variation diurne de la déclinaison



B: Amplitude des coefficients de Fourier de la variation diurne de la déclinaison

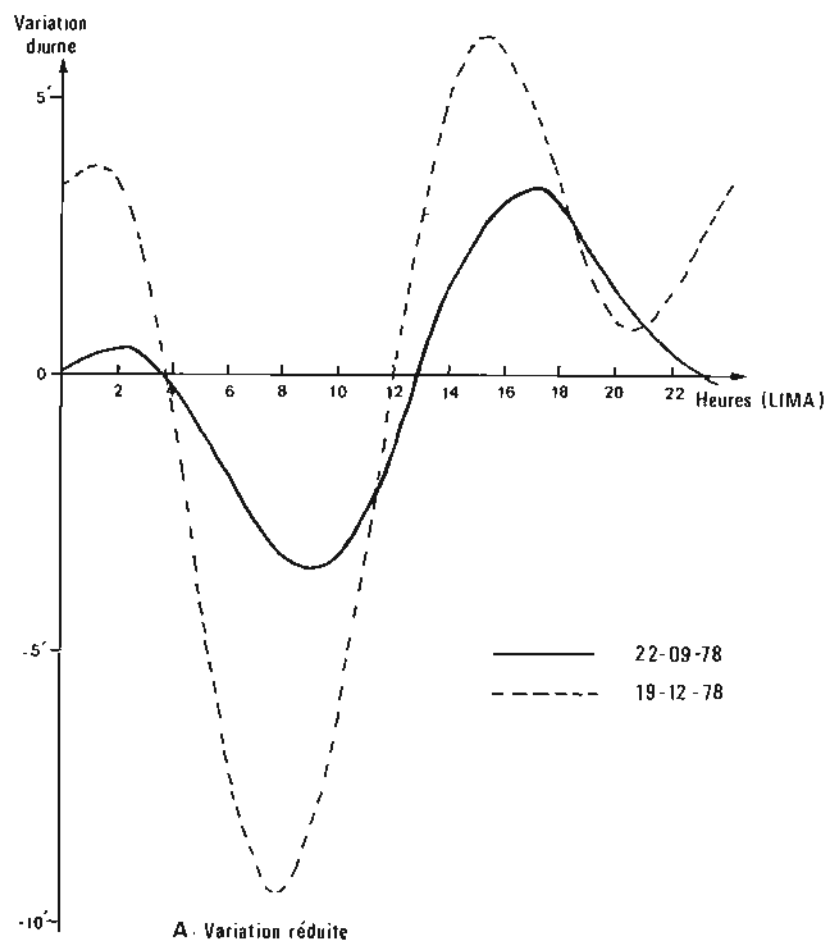
Pl. 54. — Variation diurne de la déclinaison au point Hôtel (Kuto).

La variation passe par 0 au voisinage de 04 h 00 L et 12 h 00 L. Le minimum a lieu vers 09 h 00 L, le maximum vers 14 h 00 L. Un minimum secondaire a lieu vers 17 h 00 L et un maximum secondaire vers 19 h 00 L. La variation est nulle (septembre) ou faible (décembre) entre 22 h 00 L et 02 h 00 L.

Les amplitudes des coefficients de Fourier correspondant aux 24 valeurs horaires sont repré-

sentées sur la planche n° 54. Les amplitudes les plus importantes correspondent aux fréquences diurne et semi-diurne. Ce sont les seules amplitudes significatives pour la première série (septembre). Pour la deuxième série on peut noter que l'amplification n'est pas sélective en fréquence.

On a représenté sur la planche n° 55 (A) la variation réduite à ses termes diurne et semi-diurne :



	Septembre 1978	Décembre 1978
Nombre d'observations	25	23
Ecart maximum en valeur absolue	03'	12'
Ecart moyen	00'	00'
Ecart type	01'	04'

B. Statistique des écarts entre variation observée et variation réduite

PL. 55. — Variation diurne réduite à ses termes diurnes et semi-diurnes (point Hôtel).

Septembre :  $D - D_{\text{moy}} = 2,5 \cos [15 (t - 19,14)]$   
(minutes) +  $1,6 \cos [30 (t - 15,74)]$  (1)

Décembre :  $D - D_{\text{moy}} = 5,3 \cos [15 (t - 19,27)]$   
(minutes) +  $4,2 \cos [30 (t - 14,17)]$  (2)

(le temps  $t$  est compté en heures Lima).

On remarquera la stabilité des phases (en particulier du terme diurne) et du rapport de

l'amplitude des termes diurne et semi-diurne (1,6 en septembre contre 1,3 en décembre). L'amplification entre les deux séries est d'environ 2,4.

La planche n° 55 (B) donne la statistique des écarts entre la variation ( $D - D_{\text{moy}}$ ) observée et la variation calculée par les formules (1) et (2).

## IV.2. Stations secondaires

### IV.2.1. Observations

Des stations d'une durée variant de 3 à 8 heures ont été effectuées sur différents îlots de la zone

Grande-Terre — Ile des Pins et au sommet du pic Meunier à l'Ile des Pins (planche n°52). Les caractéristiques de ces stations sont données dans le tableau ci-après. Les résultats bruts de ces observations seront trouvés dans le rapport particulier.

Stations secondaires

Localisation	Latitude (Sud)	Longitude (Est)	Date	Durée des observations	Intervalle entre deux observations
Pic Meunier (Ile des Pins)	22°38'47"	167°26'45"	22.09.1978	5 heures	1 heure
Ilot Alcmène	22°42'47"	167°27'04"	28.09.1978	6 h 30 min	1 heure
Ilot N'Dié	22°31'25"	167°11'40"	03.10.1978	6 heures	15 min
Ilot Nouare	22°25'28"	167°00'41"	05.10.1978	7 heures	15 min
Ilot Bayonnaise	22°40'25"	167°25'02"	21.10.1978	6 heures	15 min
Ilot N'Do	22°41'16"	166°57'46"	27.10.1978	3 h 30 min	15 min
			28.10.1978	4 heures	15 min
Ilot Du Ana	22°37'42"	167°18'39"	18.12.1978	8 heures	1 heure

### IV.2.2. Déclinaison réduite

La moyenne des déclinaisons observées sur une période inférieure à 24 heures n'élimine pas complètement les effets de la variation diurne. Pour y parvenir on utilise les observations effectuées à la station de référence, en admettant que la courbe de variation diurne est à peu près la même dans toute la zone étudiée. La procédure employée est la suivante :

La déclinaison observée au point S à l'heure t peut se décomposer en deux termes :

$$D_s(t) = D_{\text{réduit}} + \Delta_s(t)$$

où  $D_{\text{réduit}}$  est la déclinaison réduite en S (moyenne de la déclinaison sur 24 heures) et  $\Delta_s$  la variation

à l'instant t. On admet que  $\Delta_s$  vérifie :

$$\Delta_s(t) = A_{rs} \Delta_r(t)$$

où  $\Delta_r$  est la variation observée à la même heure à la station de référence, et  $A_{rs}$  un coefficient d'amplification indépendant de t permettant de tenir compte du fait que les observations en R et S n'ont pas forcément lieu le même jour.

Les quantités  $A_{rs}$  et  $D_{\text{réduit}}$  sont calculées par régression linéaire entre les déclinaisons horaires observées en S et les variations horaires en R.

Les résultats obtenus pour chacune des stations secondaires et à partir des deux séries d'observation à la station de référence sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Calcul des déclinaisons réduites

Station secondaire	Observations à Hôtel septembre 1978			Observations à Hôtel décembre 1978		
	Coef. de corrélation	Déclinaison réduite	Coef. d'amplification	Coef. de corrélation	Déclinaison réduite	Coef. d'amplification
Pic Meunier	0,97	12°22,7'	0,68	0,66	12°21,5'	0,12
Alcmène	0,93	12°58,2'	0,89	0,88	12°57,6'	0,31
N'Dié	0,86	12°44,2'	0,45	0,93	12°39,9'	1,12
Nouare	0,86	12°28,5'	0,86	0,88	12°28,2'	0,33
Bayonnaise	0,96	12°42,8'	1,23	0,80	12°42,6'	0,38
N'Do (27.10)	0,81	12°54,0'	1,31	0,85	12°54,7'	0,65
N'Do (28.10)	0,35	12°53,4'	1,21	0,90	12°52,1'	0,95
Du Ana	0,92	12°20,2'	1,48	0,82	12°19,6'	0,52

La corrélation est satisfaisante (coefficient de corrélation supérieur à 0,8) dans 14 cas sur 16; elle est satisfaisante avec au moins une série de référence pour toutes les stations.

Les valeurs de déclinaison réduite obtenues sont pratiquement indépendantes de la série de référence utilisée (écart inférieur à 1,3), sauf pour les observations de N'Dié (écart de 4,3). Les

valeurs adoptées sont en définitive les suivantes :

Stations	Déclinaison réduite	Date de réduction
Pic Meunier	12°23'	22 septembre 1978
Alcmène	12°58'	28 septembre 1978
N'Dié	12°40'	3 octobre 1978
Nouare	12°28'	5 octobre 1978
Bayonnaise	12°43'	21 octobre 1978
N'Do	12°53'	27 octobre 1978
Du Ana	12°20'	18 décembre 1978

#### IV.2.3. Variation diurne

Les résultats du paragraphe précédent confirment la validité des hypothèses adoptées : les courbes de variation diurne sont semblables dans toute la zone étudiée. La valeur moyenne du rapport entre les coefficients d'amplification relatifs aux deux séries de référence (lorsque la corrélation est significative dans les deux cas) est de 2,3 (voir ci-dessous). Cette valeur est cohérente avec celle du coefficient d'amplification entre les deux séries de référence (2,4 — voir paragraphe IV.1.3).

Rapport des coefficients d'amplification

Station	Alcmène	N'Dié	Nouare	Bayonnaise	N'Do (27.10)	Du Ana	valeur moyenne	écart type
Rapport Coef. 1 <sup>re</sup> série	2,87	0,40	2,61	3,24	2,02	2,85	2,33	1,03
Coef. 2 <sup>e</sup> série								

L'examen des courbes de variation de la déclinaison montre qu'un intervalle d'1 heure entre les observations est suffisant pour rendre compte correctement de la variation diurne. Ceci est confirmé par les caractéristiques du spectre d'amplitude de la variation (planche n° 56) la fréquence de coupure (amplitudes inférieures à 1') est inférieure ou égale à 0,5 cycle/heure.

déduite des modèles mondiaux IGS 75 et AWC 75 et portée sur les cartes (12° 30' E en 1978 d'après la carte SHOM n° 1915). L'anomalie par rapport à cette valeur varie de - 10' (Du Ana) à + 40' (Hôtel).

## V. SYNTHÈSE DES MESURES EFFECTUÉES

V.1.2. Des mesures de déclinaison ont déjà été effectuées dans cette zone en 1970-1971 par J.C. Blavin (*Annales Hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, vol. 3, fasc. 1, 1975, n° 751, pp. 82 à 84). Il s'agissait d'une mesure de 25 heures sur l'îlot Ugo et de mesures isolées non réduites de la variation diurne à l'île des Pins (baie de Kuto et pic Meunier).

### V.1. Comparaison avec les déterminations antérieures

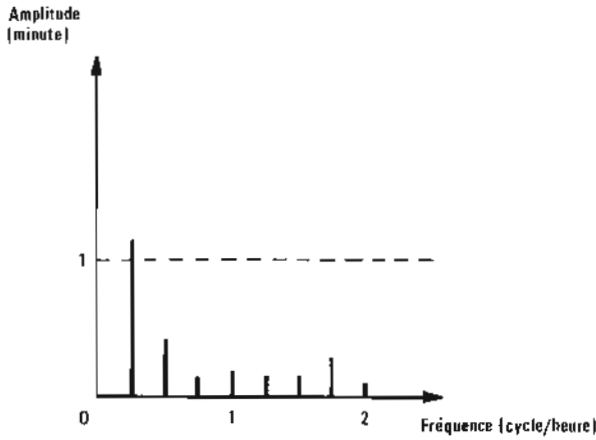
Les valeurs trouvées à l'époque sont cohérentes avec les observations de 1978 (voir planche ci-après), compte tenu de la variation annuelle (2'E) et de la variation diurne, à l'exception toutefois de la forte valeur mesurée au sommet du Pic Meunier en 1970, qui n'est pas confirmée.

V.1.1. Les déclinaisons obtenues sont cohérentes en signe et en valeur absolue avec la valeur

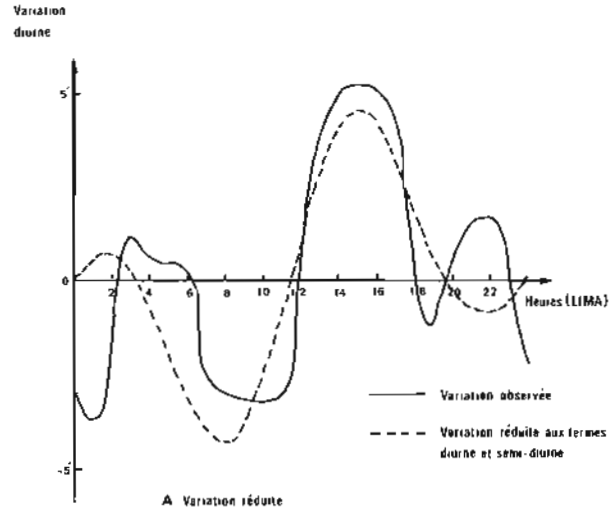
Comparaison des mesures de 1970-1971 et 1978

Localisation	1970-1971			1978		Ecart 78-70	Ecart 1978-70 réduit de la variation annuelle
	Latitude Sud	Longitude Est	Déclinaison Est	Localisation point de comparaison	Déclinaison Est		
Ilot Ugo	22°26'38"	166°51'32"	12°13'	Ilot Nouare	12°28'	15'	- 1'
Bleuet (Ile des Pins)	22°39'19"	167°25'03"	12°05''	Pic Meunier (Ile des Pins)	12°23'	18'	2'
Dahlia (Ile des Pins)	22°39'32"	167°26'23"	12°43''	Hôtel (Ile des Pins)	13°11'	28'	12'
Iris (Ile des Pins)	22°40'19"	167°26'17"	12°40''	Hôtel (Ile des Pins)	13°11'	31'	15'
Pic Meunier (Ile des Pins)	22°38'46"	167°26'44"	14°05''	Pic Meunier (Ile des Pins)	12°23'	-1°42'	-1°58'

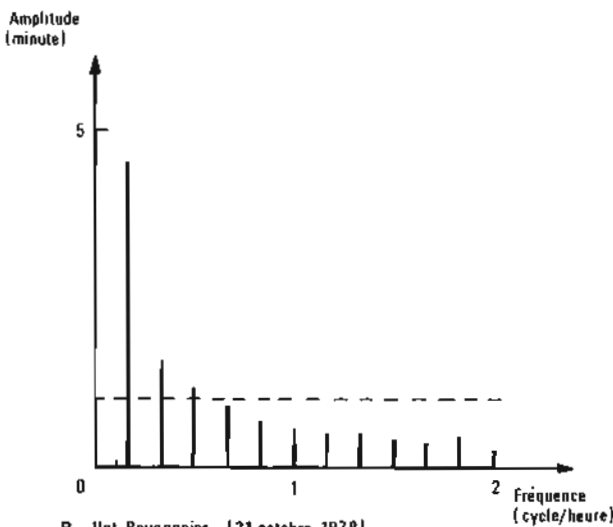
\* mesures isolées non réduites de la variation diurne.



A: Îlot N°00 (28 octobre 1978)



A Variation réduite



B: Îlot Bayonnaise (21 octobre 1978)

PL. 56. — Amplitude des coefficients de Fourier de la variation de la déclinaison.

La courbe de variation diurne observée à Ugo (planche n° 57) est semblable à celle observée à Hôtel en 1978, à part une variation plus marquée entre 20 h 00 L et 02 h 00 L. L'expression obtenue pour la variation réduite à ses termes diurne et semi-diurne est :

$$D - D_{\text{moy}} = 2,6' \cos [15 (t - 17,33)] + 2,4' \cos [30 (t - 14,56)] \quad (t \text{ en heures Lima})$$

La phase du terme diurne est légèrement différente (voir § IV.1.3) et le rapport de l'amplitude des deux termes n'est que de 1,1.

## V.2. Courbes d'égaux déclinaison

Les tentatives de représentation de la variation spatiale de la déclinaison par un développement

Nombre d'observations	24
Ecart maximum en valeur absolue	04'
Ecart moyen	00'
Ecart type	02'

B: Statistique des écarts entre variation observée et variation réduite

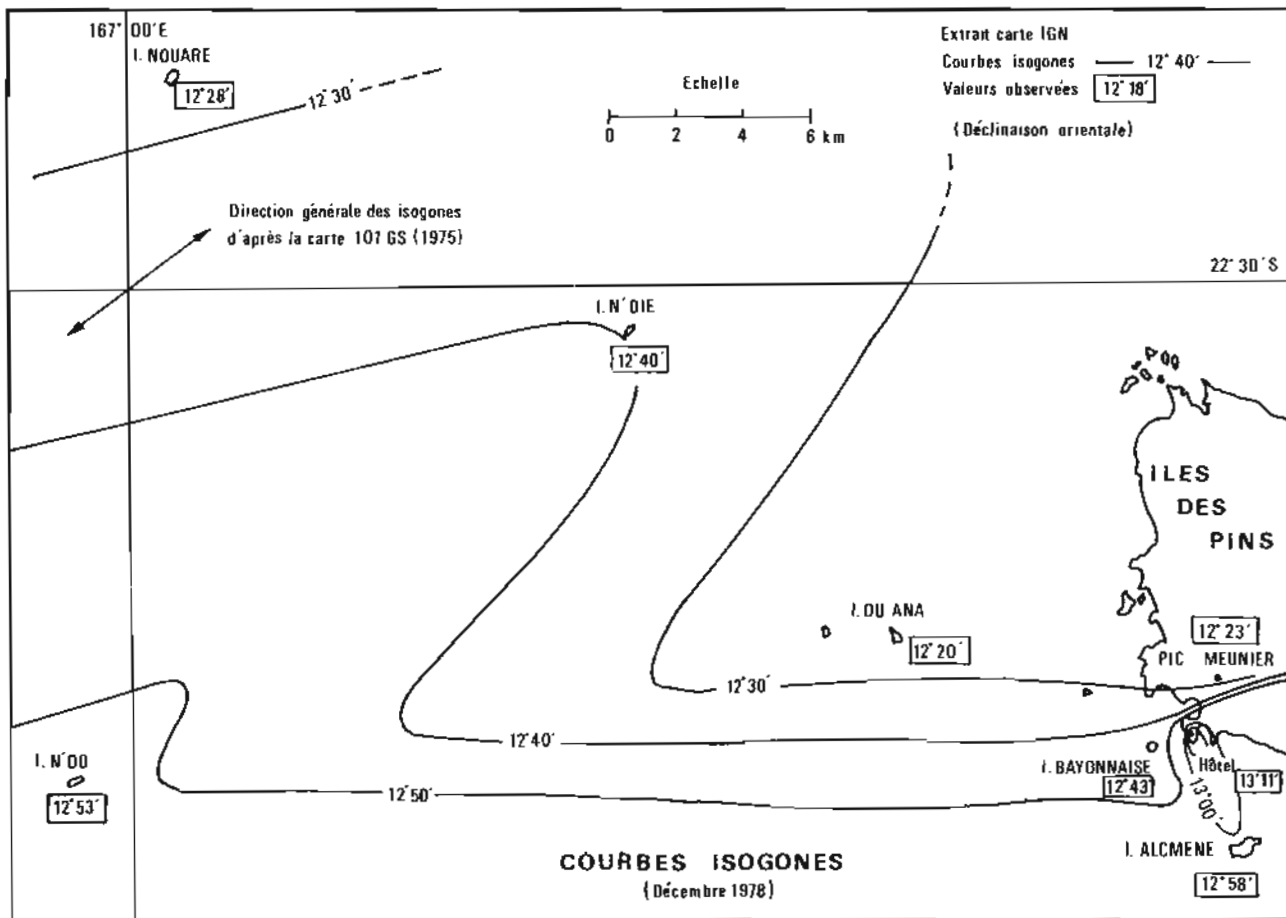
PL. 57. — Variation diurne de la déclinaison à l'îlot Ugo (26 et 27/01/1971).

limité du 1<sup>er</sup> ou du 2<sup>e</sup> ordre en fonction de la latitude et de la longitude n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

La planche n° 58 montre un essai d'interprétation des mesures effectuées. Le caractère fragmentaire de ces mesures ne permet pas de lui accorder une très grande confiance. On retiendra néanmoins l'existence de variations assez importantes (50') au voisinage de l'île des Pins. On retrouve, très schématiquement, l'augmentation de la déclinaison quand on se déplace du Nord-Ouest au Sud-Est telle qu'elle figure sur la carte n° 101 GS.

## VI. DOCUMENTS ÉTABLIS

Les mesures effectuées ont donné lieu à la rédaction de 10 imprimés « Station de magnétisme ».



PL. 58. — Courbes isogones.



**ERRATUM**  
**aux**  
**ANNALES HYDROGRAPHIQUES**  
**(N° 737, 4<sup>ème</sup> série, Tome 16, 1970)**

p. 130 : avant dernière ligne, lire  $Y = 8915242,93$  au lieu  
de  $Y = 9815242,93$

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN  
*Publications scientifiques et littéraires*  
05002 GAP — Tel. 92 51 35 23  
Dépôt légal 376 — Juin 1988

# AVIS AUX AUTEURS

---

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

## Texte

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

## Illustration

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

## Tirés à la suite

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

## SOMMAIRE

### Première partie

	Pages
Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. Troisième partie (B) : compléments sur la théorie des enveloppes. Etude de quelques solutions régularisables de (E) par MM. Y. BIOLLAY, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse) et J. KRAVTCHENKO, Université Scientifique et Médicale, Grenoble .....	5
Localisation d'un avion de prise de vues aériennes (II), par MM. J.M. CHIMOT et M. LE GOUIC, Ingénieurs Principaux de l'Armement (Hydrographe) .....	25
Une méthode indirecte d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment sur le plateau continental : la thermométrie du sédiment superficiel, par MM. Y. DELANOË, Laboratoire de Géologie marine de Nantes et, J.P. PINOT, Laboratoire de Géographie de la mer de Brest .....	31

### Deuxième partie

Mission Océanographique du Pacifique (mai 1978 — mai 1980), par M. E. CAILLIAU, Ingénieur en Chef de l'Armement (Hydrographe) .....	43
---	----