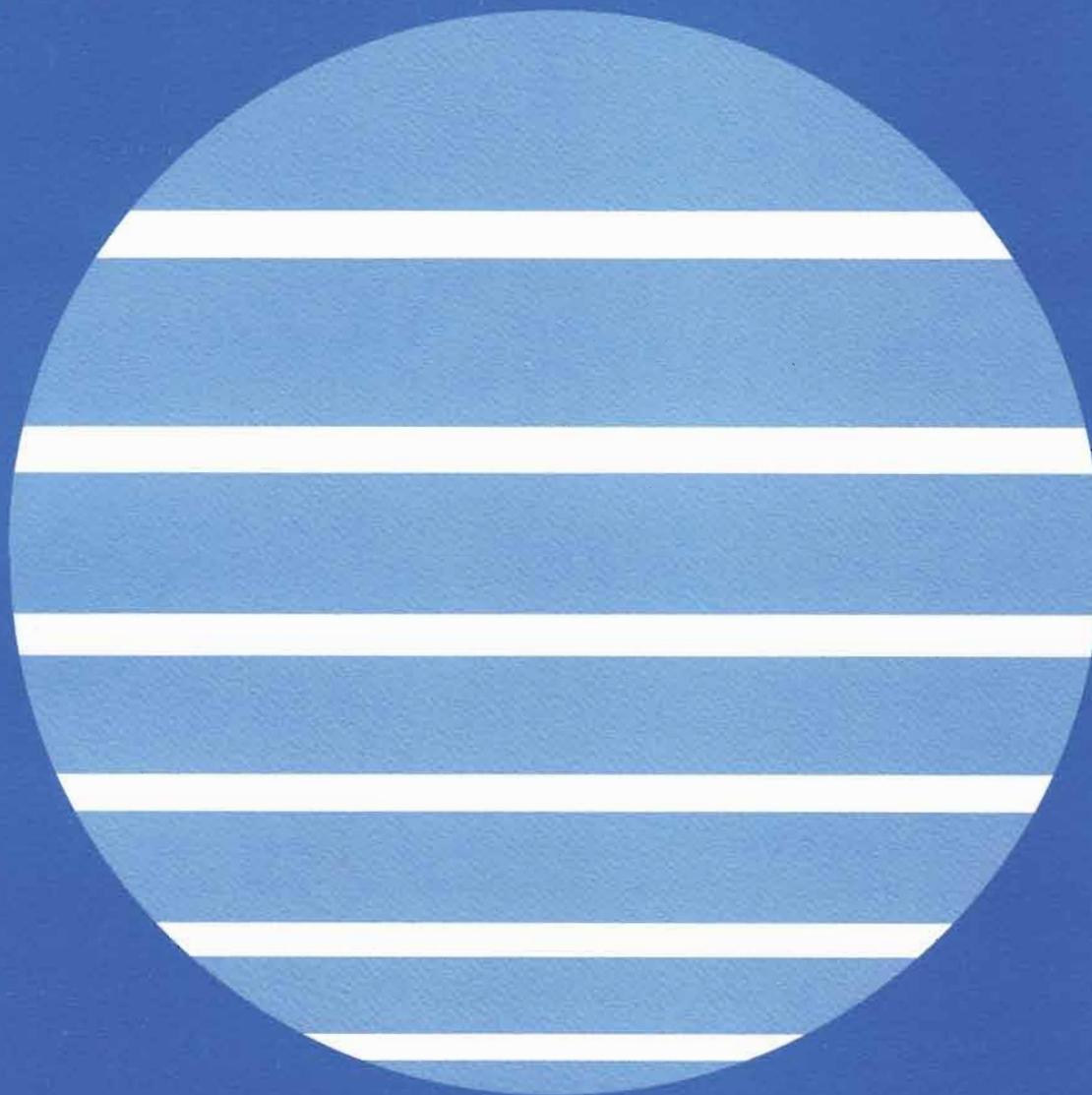


Annales Hydrographiques

5^e Série - Vol. 20

N° 767



Service
Hydrographique
et Océanographique
de la Marine



1996

- 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, 75340 PARIS CEDEX 07.
- 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

	Pages
Première partie	
Approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction de sa vitesse, par P. RÉVILLON, Capitaine de Vaisseau honoraire, Centre d'Études et de Recherches de Biologie et d'Océanographie Médicale, Nice	5
Détermination des hauteurs d'eau extrêmes pour la délimitation du domaine public maritime, par B. SIMON, Ingénieur Civil sous contrat	17
Évaluation d'un sondeur multifaisceaux grands fonds pour les levés hydrographiques, par H. TONCHIA, Ingénieur Principal de l'Armement	45
Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne, par O. CONNAN, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale ; C. CHAUMERY ; T. LABASQUE ; P. LE CORRE, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale ; Y. MARTY, URA 322/CNRS, Université de Bretagne Occidentale	59
Deuxième partie	
Mission Océanographique de l'Atlantique (janvier-septembre 1987), par G. BESSERO, Ingénieur Principal de l'Armement	77
Mission Océanographique du Pacifique - Échelon de Polynésie (février 1992 - août 1993), par Y. GUILLAM, Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement	163



© S.H.O.M. — Tous droits réservés

ISBN 2-11-088134-8

PREMIÈRE PARTIE



APPROCHE STATISTIQUE PRÉVISIONNELLE DU COURANT CÔTIER EN FONCTION DE SA VITESSE

par

P. RÉVILLON*

Capitaine de Vaisseau honoraire
Ingénieur en génie atomique (Propulsion navale)
de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (CEA)

RÉSUMÉ

a - L'analyse d'un peu plus de 540 mesures de courant de surface (à une immersion de 0,5 m) près des côtes françaises méditerranéennes sans marées a montré que, à l'intérieur d'une bande côtière d'environ 2,5 milles

marins de large, la fréquence F % des courants ne dépassant pas la vitesse w cm/s était bien représentée par le tableau A :

Tableau A

w cm/s	10	15	20	25	30	35
F %	33,9 ± 11,8	56,0 ± 10,3	74,3 ± 8,0	86,8 ± 4,6	93,5 ± 2,1	96,8 ± 1,2

b - L'analyse de plus de 160 mesures analogues effectuées aux Antilles, sur les côtes de la Martinique et

de la Guadeloupe aboutit au tableau B :

Tableau B

w cm/s	10	15	20	25	30	35
F %	53,2 ± 13,3	74,1 ± 7,6	85,2 ± 3,5	90,4 ± 1,7	93,9 ± 1,8	97,1 ± 1,4

c - Les fourchettes d'erreur sont proportionnelles à l'imprécision sur les mesures de courant et leurs valeurs ci-dessus correspondent à une imprécision de ± 2,5 cm/s.

de 43° N (latitude moyenne pour le tableau A) et 15,5° N (latitude moyenne pour le tableau B) qui seraient intéressantes au point de vue prévisionnel, sont discutées.

d - L'extension du tableau A à d'autres côtes de la Méditerranée, ainsi que l'interpolation entre le tableau A et le tableau B pour des latitudes franchement différentes

e - Est aussi discutée l'extension éventuelle du tableau A à des « courants de surface » pour d'autres immersions que 0,5 m.

* Centre d'Études et de Recherches de Biologie et d'Océanographie Médicale (CERBOM) - 1, avenue Jean Lorrain - 06300 Nice -
Téléphone: 93 89 32 92, 93 89 72 49 — FAX : 93 26 62 27

ABSTRACT

a - The analysis of a little more than 540 mesures of surface current (depth : 0.5 m) near the tideless mediterranean coasts of France shows that, within approxi-

matively 2.5 nautical miles from the coast, the frequency F % of currents the speed of which does not exceed w cm/s is well represented by table A :

Table A

w cm/s	10	15	20	25	30	35
F %	33.9 ± 11.8	56.0 ± 10.3	74.3 ± 8.0	86.8 ± 4.6	93.5 ± 2.1	96.8 ± 1.2

b - More than 160 similar measures of current on the coasts of the French West-Indies give the following results :

Table B

w cm/s	10	15	20	25	30	35
F %	53.2 ± 13.3	74.1 ± 7.6	85.2 ± 3.5	90.4 ± 1.7	93.9 ± 1.8	97.1 ± 1.4

c - The margins of error are proportionnal to the inaccuracy of the current speed measures and their above values correspond to such an inaccuracy of ± 2.5 cm/s.

latitudes fairly different from 43° N (mean latitude for table A) and 15.5° N (mean latitude for table B), which could be useful for prevision, are discussed.

d - Extension of table A to other mediterranean coasts, as well as interpolation between table A and table B for

e - Is also considered a possible extension of table A to « surface currents » at depths different from 0.5 m.

1. POSITION DU PROBLÈME

La présente étude est le prolongement et constitue une deuxième partie de celle du même auteur récemment publiée dans la même collection (1). Son objet n'autorise qu'une moindre précision dans la prévision mais, plus général, permet d'avoir tout de suite un ordre de grandeur pour fixer les idées.

Il s'agit en effet de répartir par fréquences, indépendamment de leur direction et de toute corrélation avec la vitesse du vent, un nombre important (705) de vitesses de courant de surface dont 541 ont été mesurées de 1967 à 1991 sur les côtes françaises de la Méditerranée par vent de nul à 19,5 m/s et 164 de 1967 à 1976 sur les côtes de la Martinique et de la Guadeloupe proprement dites (dépendances exclues) par vent de nul à 9 m/s (prédominance du régime d'alizés).

Dans l'étude précédente moins de la moitié (218 en Méditerranée et 61 aux Antilles) avaient pu être analysées dans l'optique d'une corrélation avec un vent d'au moins 5 m/s, même si environ 140 autres avaient pu être simplement testées par vents plus faibles.

2. CONDITIONS ET MÉTHODES DE MESURE

Elles ont été détaillées dans l'étude précitée. Nous rappelons ici seulement que :

a - La plupart de ces opérations ont été effectuées à l'occasion d'études de la qualité chimique ou bactérienne

de l'eau de mer, ou bien en vue du choix de l'emplacement du débouché d'émissaires sous-marins d'eaux d'égouts.

b - Les mesures ont été effectuées de jour seulement et par mer maniable pour un petit navire de recherches, à l'intérieur d'une bande littorale de 4 000 - 5 000 m de large mais pas, en général, à moins de 200 m de terre et/ou par fond de moins de 5 m.

c - Dans des conditions d'absence pratique de marée (côtes françaises de la Méditerranée) ou dans des circonstances permettant de minimiser au mieux le courant de marée (en Martinique et Guadeloupe, où la marée est faible mais non entièrement négligeable, en opérant au voisinage de l'étale) et en évitant les mouvements d'eau parasites à proximité des embouchures des cours d'eau et des canaux reliant des lagunes à la mer, ainsi que les effets hydrauliques des parages resserrés

d - Au moyen d'un « courantomètre de dérive » (drogue à flotteur pratiquement sans prise au vent immergée à 0,5 m en principe : fig. 1) dans plus de 91 % des cas sur des distances de quelques centaines de mètres (mesures lagrangiennes) en suivant le flotteur au moyen d'une navigation très précise, et dans moins de 9 % à proximité de bouées mouillées par fond suffisamment petit (mesures quasi-eulériennes), en général bouées de balisage ou marqueurs de « casiers » de pêcheurs.

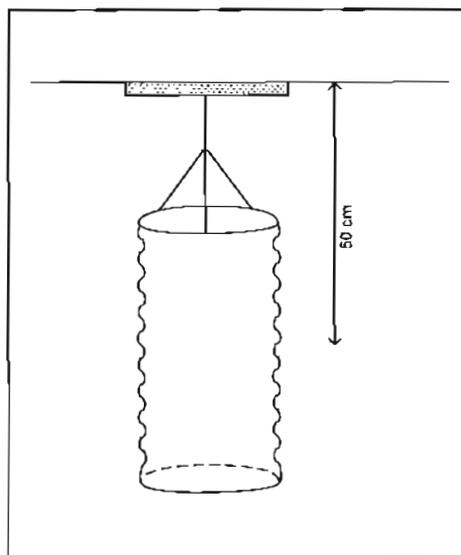


FIG. 1. Courantomètre de dérive type CERBOM à drogue en tissu entre deux cercles de fil métallique, immergé à 0,5 m.

(1) P. Révillon - 1993 - Essai d'approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction du vent - *Annales Hydrographiques* (5^e série, volume 19) 1993 - N° 766 ; pages 13 - 35.

3. RÉPARTITION DES MESURES

La géographie et les méthodes de mesure font apparaître les sous-ensembles suivants :

a - Côtes liguro-provençales de la frontière italienne au golfe de Fos : 208 mesures lagrangiennes sur environ 120 sites et 61 mesures quasi-eulériennes sur 15 sites (partout ailleurs les mesures sont uniquement lagrangiennes).

b - Côtes du Languedoc-Roussillon : 26 mesures seulement sur 16 sites.

c - Côtes corses : 246 mesures sur 47 sites tout autour de l'île.

d - Côtes de la Martinique et de la Guadeloupe : 164 mesures (121 en Martinique, 43 en Guadeloupe) sur 12 sites au total.

4. RÉSULTATS PROVISOIRES

Il a paru naturel, dans une première phase de considérer à part d'un côté les mesures des Antilles françaises (latitude, climat et régime des vents très différents de ceux de la Méditerranée Nord-occidentale) et de l'autre l'ensemble des côtes françaises de la Méditerranée.

4.1. Détaillées par classe de courant de 5 cm/s en 5 cm/s (2) valeur commode qui réalise un compromis entre la précision de la description et l'imprécision des mesures) les valeurs n (effectif par classe), f (fréquence relative par classe), N (effectif cumulé) et F (fréquence cumulée) sont présentées dans les tableaux 1 A (côtes françaises de la Méditerranée) et 1 B (Martinique et Guadeloupe) ci-après, où nous ferons pour l'instant abstraction des lignes «marges d'erreur» introduites ultérieurement.

Tableau 1

A - Ensemble des côtes méditerranéennes françaises

CLASSES DE COURANT (cm/s)	≤ 5	> 5-10	> 10-15	> 15-20	> 20-25	> 25-30	> 30-35	> 35-40	> 40 ⁽¹⁾	TOTAL T
Effectif par classe : n	50	139	117	105	68	31	14	12	5	541
Fréquence relative par classe : f % = n/541	9,2	25,7	21,6	19,4	12,6	5,7	2,6	2,2	0,9	100
Effectif cumulé : N	50	189	306	411	479	510	524	536	541	
Fréquence cumulée : F % = N/541 et marge d'erreur	9,2 4,6-22,1	34,9 22,1-45,7	56,6 45,7-66,3	76,0 66,3-82,3	88,5 82,3-91,4	94,3 91,4-95,6	96,9 95,6-98,0	99,1 98,0-99,3	100	

B - Martinique - Guadeloupe

CLASSES DE COURANT (cm/s)	≤ 5	> 5-10	> 10-15	> 15-20	> 20-25	> 25-30	> 30-35	> 35-40	> 40 ⁽²⁾	TOTAL T
Effectif par classe : n	38	55	32	18	5	6	6	3	1	164
Fréquence relative par classe : f % = n/164	23,2	33,5	19,5	11,0	3,0	3,7	3,7	1,8	0,6	100
Effectif cumulé : N	38	93	125	143	148	154	160	163	164	
Fréquence cumulée F % = N/164 et marge d'erreur	23,2 11,6-39,9	56,7 39,9-66,5	76,2 66,5-81,7	87,2 81,7-88,7*	90,2 88,7*-92,1*	93,9 92,1*-95,7*	97,6 95,7*-98,5*	99,4 98,5*-99,4	100	

* valeur approximative en raison de la faiblesse de l'effectif par classe utilisé.

⁽¹⁾ valeur des courants mesurés dans cette classe : 42, 44, 51, 51, 77 cm/s.

⁽²⁾ valeur du courant mesuré dans cette classe : 49 cm/s.

(2) Au-dessus de 40 cm/s les vitesses mesurées sont à la fois rares et très dispersées. Conserver dans cet espace des classes de 5 en 5 cm/s aurait conduit à des classes vides compliquant le tableau général. On a préféré utiliser une classe générale > 40 cm/s qui, à l'aide de quelques notations, décrit le phénomène de façon succincte et suffisante.

4.2. Les points d'ordonnée « fréquence cumulée » et d'abscisse « limite supérieure de la classe correspon-

dante » sont représentés à la figure 2 ci-après.

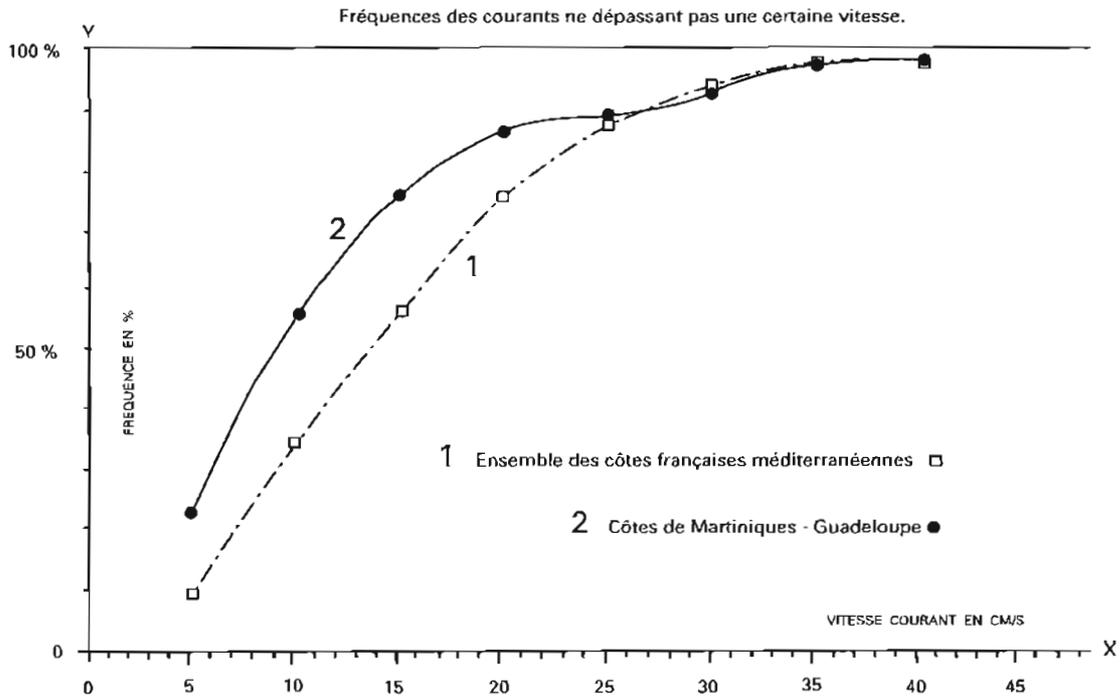


FIG. 2.

On fait aisément passer entre ceux de chaque groupe une courbe lissée à la main.

La courbe n° 1 est tellement régulière dans sa totalité qu'il ne semble pas indispensable de chercher une meilleure courbe moyenne par la méthode des moindres carrés.

Telle qu'elle est, elle justifie au besoin l'interpolation entre les points pour des vitesses du courant éventuellement non multiples de 5 cm/s. L'interpolation peut se faire directement et avec plus de précision à partir de la ligne « fréquences cumulées » du tableau 1 A.

Par contre la courbe n° 2 présente de 20 à 30 cm/s, alors que les effectifs par classe deviennent brusquement très faibles, une ondulation, mais celle-ci est elle-

même assez régulière pour que le lissage à la main soit aisé. On peut penser que cette dissymétrie dans l'allure des deux tracés est liée, soit au régime météorologique des Antilles (prédominance des alizés), soit à une influence de courants de marée non entièrement éliminés lors des mesures, soit aux deux. D'ailleurs le faible nombre, cinq, de mesures relatives au point 25 cm/s introduit une incertitude supplémentaire sur la réalité physique de cette dissymétrie.

De toute façon les écarts entre les chiffres expérimentaux des fréquences cumulées au tableau 1B et ceux correspondant à la meilleure courbe moyenne possible déterminée par la méthode des moindres carrés (3) sont extrêmement faibles :

	5 cm/s	10 cm/s	15 cm/s	20 cm/s	25 cm/s	30 cm/s	35 cm/s
Tableau 1B	23,2	56,7	76,2	87,2	90,2	93,3	97,6
Courbe moyenne	23,2	56,6	76,7	86,5	90,7	93,7	97,6

et la courbe moyenne ne se distingue pratiquement pas de la courbe tracée à la main.

(3) Équation pour x de 5 à 35 avec coefficient de corrélation nominale égal à 1 000, sur ordinateur de bureau Apple Macintosh Plus :

$$y = -21,150 + 9,5439x - 6,2677 \cdot 10^{-2} x^2 - 1,7056 \cdot 10^{-2} x^3 + 6,1543 \cdot 10^{-4} x^4 - 6,2974 \cdot 10^{-6} x^5$$

5. DISCUSSION

On peut se demander néanmoins si ces résultats simples et apparemment précis n'ignorent pas une diversité régionale trop importante pour l'adoption de chiffres valables pour l'ensemble des côtes françaises de la

Méditerranée, et si de toute façon les répercussions de l'imprécision des mesures ne devraient pas être précises.

En ce qui concerne la diversité régionale le tableau 2 ci-après :

Classes (cm/s)	≤ 5	> 5-10	> 10-15	> 15-20	> 20-25	> 25-30	> 30-35	> 35-40	> 40	Total	Sous-ensembles
n	18	60	50	37	23	13	3	4	0	208	A
N	18	78	128	165	188	201	204	208	208		Côtes liguro-provençales (mesures lagrangiennes)
F (%)	8,7	37,5	61,5	79,3	90,4	96,6	98,1	100	100		
Marge d'erreur	4,3-23,1	23,1-49,5	49,5-70,4	70,4-84,9	84,9-93,5	93,5-97,4*	97,4*-99,0*	99,0*-100			
n	18	13	5	11	6	3	0	2	3 ⁽⁴⁾	61	B
N	18	31	36	47	53	56	56	58	61		Côtes liguro-provençales (mesures quasi-euléniennes)
F (%)	29,5	50,8	59	77	86,9	91,8	91,8	95,1	100		
Marge d'erreur	14,8-40,2	40,2-54,9*	54,9*-68,0*	68,0-82,0*	82,0*-89,3*	89,3*-91,8	91,8-93,4*	93,4*-95,1*			
n	36	73	55	48	29	16	3	6	3 ⁽¹⁾	269	C
N	36	109	164	212	241	257	260	266	269		Côtes liguro-provençales (toutes mesures)
F (%)	19,1	40,5	61	78,8	89,6	95,5	96,7	98,9	100		
Marge d'erreur	6,7-27,0	27,0-50,7	50,7-69,9	69,9-84,2	84,2-92,6	92,6-96,1*	96,1*-97,8*	97,8*-98,9			
n	1 ⁽³⁾	7	8	4	4	1	1 ⁽²⁾	0	0	26	D
N	1	8	16	20	24	25	26	26	26		Côtes du Languedoc-Roussillon (mesures lagrangiennes)
F (%)	3,8	30,8	61,5	76,9	92,3	96,2	100	100	100		
Marge d'erreur	0,0-17,3*	17,3*-46,2*	46,2*-69,2*	69,2*-84,6*	84,6*-92,3*	92,3*-100					
n	13	59	54	53	35	14	10	6	2 ⁽⁴⁾	246	E
N	13	72	126	179	214	228	238	244	246		Côtes corses (mesures lagrangiennes)
F (%)	5,3	29,3	51,2	72,8	87	92,7	96,7	99,2	100		
Marge d'erreur	2,6-17,3	17,3-40,2	40,2-62,0	62,0-79,9	79,9-89,8	89,8-94,7	94,7-98,0*	98,0*-99,6			

* Valeur approximative en raison de la faiblesse de l'effectif n utilisé
⁽¹⁾ Valeur des courants mesurés dans cette classe : 51 - 51 - 77 cm/s
⁽²⁾ Valeur du courant mesuré dans cette classe : 32 cm/s
⁽³⁾ Valeur du courant mesuré dans cette classe : 3 cm/s
⁽⁴⁾ Valeur des courants mesurés dans cette classe : 42 - 44 cm/s

où nous faisons pour l'instant, comme au tableau 1, abstraction des lignes « marge d'erreur » fait apparaître pour les fréquences cumulées F, entre les trois sous-ensembles méditerranéens évoqués au § 3 (répartition des mesures), et même pour celui des côtes liguro-provençales entre les mesures lagrangiennes et les mesures quasi-euléniennes, des différences plus ou moins importantes, parfois apparemment fâcheuses pour le caractère global du tableau 1 A.

Mais il se trouve que l'imprécision des mesures entraîne sur les fréquences cumulées des marges d'erreur qui éclipsent pratiquement partout les différences que nous venons de signaler.

6. IMPRÉCISION DES MESURES ET MARGES D'ERREUR

6.1. En effet, des considérations dont nous avons reporté le détail en Annexe conduisent :

- à estimer que les courants mesurés peuvent être de façon très générale entachés d'une incertitude dont la valeur « typique » ± e (avec une probabilité de ne pas être dépassée qui peut être très vaguement appréciée à environ 0,70 par exemple) peut être approximativement évaluée à 2,5 cm/s ;

- à évaluer la marge maximale correspondante d'incertitude pour l'effectif cumulé N_i de la classe i à :

$$(N_i - (e/E) n_i) \text{ ————— } (N_i + (e/E) n_i + 1)$$

n_i et n_i + 1 étant les effectifs partiels des classe i et i+1, et E étant l'extension commune des classes, résultat de façon générale d'autant plus exact que n_i et n_i + 1 sont plus grands.

Cette marge maximale, correspondant à l'imprécision typique de ± e sur le courant à laquelle elle est proportionnelle, a ainsi la même probabilité (cette fois - ci probabilité composée) que cette dernière de ne pas être dépassée.

Les chiffres correspondants pour les fréquences cumulées s'ensuivent par division par le total des effectifs considéré ;

- avec e = 2,5 cm/s et E = 5 cm/s on a e/E = 0,5 et l'on voit (lignes « fréquences cumulées » et « marges d'erreur » des tableaux 1 et 2) que ces marges d'erreur sont importantes, le chiffre supérieur d'une classe étant égal au chiffre inférieur de la suivante.

6.2. Il en résulte, bien que les marges d'erreur du tableau 2 A éclipsent pratiquement partout les différences correspondantes de sous-ensemble à sous-ensemble, ce qui conduit à combiner tous ces ensembles méditerranéens en un ensemble unique, mais que l'ensemble Martinique - Guadeloupe reste franchement distinct, au moins pour les courants non supérieurs à 20 et même 25 cm/s.

7. RÉSULTATS CORRIGÉS

7.1. En nous bornant aux courants ne dépassant pas 40 cm/s (les courants supérieurs sont à la fois très rares et très dispersés) nous obtenons ainsi (tableau 3 ci-

après) la fréquence F % des observations de courant à l'immersion de 0,5 m dont la vitesse est au plus égale à w cm/s, ainsi que les marges d'erreur typiques de ces fréquences pour une incertitude typique de $\pm 2,5$ cm/s sur le courant

Tableau 3

A - Ensemble des côtes méditerranéennes françaises

w cm/s	5	10	15	20	25	30	35	40
F% et marge d'erreur	9,2 4,6-22,1	34,9 22,1-45,7	56,6 45,7-66,3	76,0 66,3-82,3	88,5 82,3-91,4	94,3 91,4-95,6	96,9 95,6-98,0	99,1 98,0-99,3

B - Martinique - Guadeloupe

w cm/s	5	10	15	20	25	30	35	40
F% et marge d'erreur	23,2 11,6-39,9	56,7 39,9-66,5	76,2 66,5-81,7	87,2 81,7-88,7	90,2 88,7-92,1	93,9 92,1-95,7	97,6 95,7-98,5	99,4 98,5-99,4

7.2. La dissymétrie de la marge d'erreur par rapport aux valeurs expérimentales de F peut paraître malcommode et on peut penser plus pratique d'adopter une représentation sous la forme de $F \pm \Delta F$, F étant alors la valeur médiane, légèrement inférieure à la précédente, de la marge totale inchangée.

On a ainsi le tableau 4, dans lequel la ligne $\Delta F/F$ met bien en valeur l'importance relative de l'erreur $\pm \Delta F$, très élevée pour les premières colonnes dont on peut penser que certaines n'ont ainsi qu'un caractère indicatif.

Tableau 4

A - Ensemble des côtes méditerranéennes françaises

w cm/s	5	10	15	20	25	30	35	40
F % et marge d'erreur	13,4 \pm 8,8	33,9 \pm 11,8	56,0 \pm 10,3	74,3 \pm 8,0	86,8 \pm 4,6	93,5 \pm 2,1	96,8 \pm 1,2	98,7 \pm 0,7
$\Delta F/F$ %	$\pm 65,7$	$\pm 34,8$	$\pm 18,4$	$\pm 10,8$	$\pm 5,3$	$\pm 2,2$	$\pm 1,2$	$\pm 0,7$

B - Martinique - Guadeloupe

w cm/s	5	10	15	20	25	30	35	40
F% et marge d'erreur	25,8 \pm 14,2	53,2 \pm 13,3	74,1 \pm 7,6	85,2 \pm 3,5	90,4 \pm 1,7	93,9 \pm 1,8	97,1 \pm 1,4	99,0 \pm 0,5
$\Delta F/F$ %	± 55	± 25	$\pm 10,3$	$\pm 4,1$	$\pm 1,9$	$\pm 1,9$	$\pm 1,4$	$\pm 0,5$

8. DISCUSSION ET EXTENSION ÉVENTUELLE À D'AUTRES RÉGIONS

8.1. La présente étude - inspirée par les chiffres donnés pour la seule fréquence des courants ne dépassant

pas 20 cm/s par un document international(4) préparé par l'institut de Génie Sanitaire de l'École Polytechnique de Milan, Italie (« fourchette 80 % - 95 % sur les côtes italiennes par ex. » sans autres précisions) et par un document soviétique(5), monographie de l'Institut de

(4) Principes et directives applicables au déversement des déchets dans le milieu marin - Ed P.N.U.E. - O.M.S. 1979, pages 201 et 343 d'un ouvrage de 555 pages.

(5) G.A. Goldberg - V.I. Zats et al. 1991. Ouvrage de 230 pages en russe : Modélisation des processus d'autoépuration des eaux de la zone du plateau continental, pages 51 et 60, édité par Leningrad Gidrometeoizdat.

Biologie des Mers du Sud , Sébastopol (« environ 80 % des cas ») pour les côtes nord-est de la Mer Noire, du sud de la Crimée à Batoum en Géorgie - aboutit ainsi, après une étude systématique, à des résultats à la fois plus précis et beaucoup plus généraux, mais pour un espace méditerranéen différent.

Or les différences entre les chiffres de ces documents et ceux, un peu plus faibles, des tableaux 3 A ou 3 B pour $W \leq 20$ cm/s s'atténuent considérablement si nous considérons les marges d'erreur typiques que nous admettons pour nos mesures, mais sans même considérer ces marges d'erreur, elles disparaissent si nous rappelons que nos mesures ont été faites à l'immersion de 0,5 m, alors que dans une tranche de quelques mètres sous la surface le courant diminue sensiblement, en moyenne, sur une même verticale à mesure que l'immersion augmente (étude précédente § 10.2.1 ainsi que § 9.1 ci-après).

En effet, les chiffres de 80 % et 95 % correspondent (tableau 1 A et courbe n° 1 fig. 2) à des vitesses ne dépassant pas 22,5 et 31,5 cm/s à l'immersion de 0,5 m. Par ailleurs, à partir de la loi de décroissance moyenne en fonction de l'immersion mise en valeur pour les côtes liguro-provençales, (et qui semble bien pouvoir être étendue à d'autres côtes voisines par le caractère général, le climat et la latitude), pour ramener ces vitesses à 20cm/s il faudrait les avoir mesurées respectivement à 0,9 m et 4,0 m environ. Tout s'explique ainsi très bien, si les mesures italiennes se sont situées dans une tranche d'immersion d'environ 1 m à 4 m, ce qui est plus conforme à l'habitude de la plupart des auteurs pour le courant dit « de surface ».

8.2. Extension en Méditerranée

Pour $w \leq 20$ à 25 cm/s nos résultats apparaissent bien ainsi pouvoir être étendus tels quels aux côtes italiennes et à celles du Nord-Est de la Mer Noire.

Pour d'autres espaces méditerranéens, la généralisation devrait être prudente et « a fortiori » encore plus prudente dans des cas d'autres vitesses de courant.

8.3. Extension éventuelle à d'autres latitudes

8.3.1. L'étude antérieure avait apparemment conduit à une certaine sensibilité du rapport « vitesse courant/vitesse vent » inversement proportionnelle à la racine presque cubique du sinus de la latitude.

Mais le problème traité dans le présent travail est tout autre et nous n'avons pas réussi à faire apparaître pour les relations «vitesse maximale du courant - fréquence correspondante », très différentes au-dessous d'une vitesse maximale de 25 cm/s (fig. 2) pour les courbes 1 et 2, une sensibilité à la latitude qui soit mathématiquement exprimable.

Il semble cependant naturel de penser qu'entre 43° N (latitude moyenne des côtes méditerranéennes françaises) et 15,5° (latitude moyenne Martinique - Guadeloupe) une certaine interpolation soit possible.

A titre d'exemple et pour la fréquence particulièrement intéressante des courants ne dépassant pas 20 cm/s. nous avons tenté d'interpoler pour la latitude de 29°, la plus écartée des deux extrêmes.

8.3.2. Des calculs précis ont été effectués à partir des chiffres de la colonne $w = 20$ des tableaux 3 et 4, en interpolant linéairement en fonction des 8 valeurs prises aux trois latitudes considérées aussi bien (φ étant la latitude) par $\sin \varphi \sqrt{\sin \varphi} \sin \varphi^{0.33}$ et φ elle-même, que par $1/\varphi$ $1/\sin \varphi$ etc. Ils ont montré que, quelle que soit la fonction ainsi utilisée la valeur F % pour $\varphi = 29^\circ$ ne s'écarte pas, en valeur absolue, de plus de 2 % de la valeur $79,8 \pm 5,8$ que l'on obtient en interpolant directement en fonction de φ elle-même (c.a.d. en prenant la moyenne) sur le tableau 4.

8.3.3. Le procédé semble ainsi utilisable pour toutes les valeurs de φ entre 43° et 15,5° et même éventuellement un peu en dehors, mais son caractère empirique doit le faire considérer avec beaucoup de prudence, car les différences entre les résultats des mesures obtenues dans les deux régions dépendent probablement à la fois de l'importante différence de latitude elle-même et de la grande différence des régimes météorologiques (climat méditerranéen d'un côté, climat tropical avec régime prédominant d'alizés de l'autre).

9. RETOUR SUR LES RÉSERVES À FAIRE

9.1. Il s'agit du courant mesuré à l'immersion type de 0,5 m. Or de façon très générale la vitesse du courant diminue rapidement dans une tranche de quelques mètres au-dessous de la surface. La loi moyenne de décroissance, que nous avons rappelée plus haut (§ 8.1) se traduit approximativement, mais commodément pour

Tableau 5

lm.	0,01	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00
ρ	0,43	0,86	1,00	1,09	1,16	1,22	1,27	1,32	1,36	1,43	1,48	1,54	1,58	1,67
$1/\rho$	2,33	1,16	1,00	0,92	0,86	0,82	0,79	0,76	0,74	0,70	0,68	0,65	0,63	0,60

notre objet, par le tableau 5 qui donne ρ (vitesse 0,5 m / vitesse à i m) et $1/\rho$ en fonction de l'immersion i mètres.

Il permet, au moins sur les côtes méditerranéennes françaises et analogues, de passer aisément d'un courant de vitesse w à $i = 0,5$ m à la vitesse approximative du courant sur la même verticale à une autre immersion de la tranche dite « de surface » et vice versa.

9.2. Il s'agit du courant dans des mers sans marées ou du moins dans des circonstances où le courant de marée est négligeable, et dans une bande côtière de 4 000 à 5 000 m de large, mais pas à moins de 200 m du rivage et par des fonds non inférieurs à 5 m et hors des passages resserrés. Rappelons aussi qu'il n'y a pas eu de mesures effectuées de nuit ni par des conditions d'agitation de la mer (mer force 4 ou plus) peu souhaitables pour le travail océanographique d'un petit navire.

9.3. Dans ces limites, la diversité des circonstances des mesures dans un grand nombre de cas différents devrait permettre du point de vue prévisionnel d'approcher, par la fréquence correspondante (tableaux 3 et 4), la probabilité qu'à un courant de vitesse donnée de ne pas être dépassé.

L'auteur exprime sa vive reconnaissance au professeur B. Saint-Guily, professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, qui a bien voulu étudier le manuscrit original et dont les critiques et suggestions ont été déterminantes pour la rédaction finale de la présente étude.

ERRATA

à l'article du même auteur « ESSAI D'APPROCHE STATISTIQUE PRÉVISIONNELLE DU COURANT CÔTIER EN FONCTION DU VENT » paru dans les *Annales Hydrographiques*, Vol. 19, n° 766, 1993 :

§ 6.1., alinéa 2, lignes 3 et 4.

Remplacer : n'est pas dirigé *par* : est dirigé

—, ligne 7.

Remplacer : et n'a pas à être pris *par* : et doit être pris

§ 6.3.2., alinéa 3, ligne 8.

Après : comprenant les plus faibles, *ajouter* : du moins jusqu'à 2 m/s.

ANNEXE

IMPRÉCISION DES COURANTS MESURÉS ET RÉPÉRISSION SUR LES FRÉQUENCES CUMULÉES

1. Imprécision typique adoptée

Dans les mesures lagrangiennes (plus de 91 % du total) l'incertitude sur le courant mesuré résulte essentiellement de celle des positions déterminées au cours d'une navigation très précise en vue de terre (relevements au compas et/ou distances radar d'une navigation courante soignée, avec affinage au cercle hydrographique ou au sextant horizontal (méthode des segments capables) avec une périodicité de 10 à 20 minutes.

Dans les conditions dans lesquelles ont été effectuées les mesures, l'expérience pratique de l'auteur est qu'une valeur typique de l'imprécision sur le point en vue de terre était de l'ordre d'une quinzaine de mètres dans toutes les directions, avec une probabilité de ne pas être dépassée pouvant être très vaguement estimée entre la moitié et les trois quarts du temps (on pourra par exemple prendre, avec prudence, 0,70 pour fixer les idées).

La valeur typique correspondante de l'imprécision sur la distance entre deux points peut alors être évaluée à $\pm 15 \sqrt{2}$ m.

Avec une périodicité typique sur le courant moyen entre deux points d'une quinzaine de minutes en moyen-

ne on trouve ainsi une imprécision sur le courant mesuré de l'ordre de $\pm 2,5$ cm/s ce qui n'a de sens que pour les courants suffisamment supérieurs à 2,5 cm/s. Une telle imprécision correspond à environ ± 10 % de la vitesse mesurée des courants de 20 à 30 cm/s.

La précision de la mesure des courants au voisinage d'une bouée fixe (méthode quasi-eulérienne) est plus difficile à cerner, et en raison de leur faible nombre (moins de 9% du total) nous nous contenterons du chiffre de $\pm 2,5$ cm/s pour l'ensemble de toutes les mesures.

2. Conséquences de cette imprécision

Une partie de la ligne « classes de courant » des tableaux 1 à 4 est représentée graphiquement, de façon symbolique, à la figure 3. La classe centrale i , entre les courants w_{i-1} et w_i , d'extension $E = w_{i+1} - w_{i-1}$, d'effectif partiel n_i et d'effectif cumulé N_i est encadrée à gauche par la classe $i-1$ et à droite par la classe $i+1$, de même extension E .

Chaque mesure de courant peut être représentée sur l'axe horizontal ou parallèlement à lui par un point dont l'abscisse est égale à sa vitesse mesurée. Du fait de l'imprécision $\pm e$ sur celle-ci, tout se passe comme si chaque point représentatif était susceptible d'un glissement de e soit vers la droite soit vers la gauche. Ces glissements potentiels sont plus ou moins faciles à représenter selon que l'on a $e \leq E/2$ (fig. 3 A) ou $e \leq E$ (fig. 3 B).

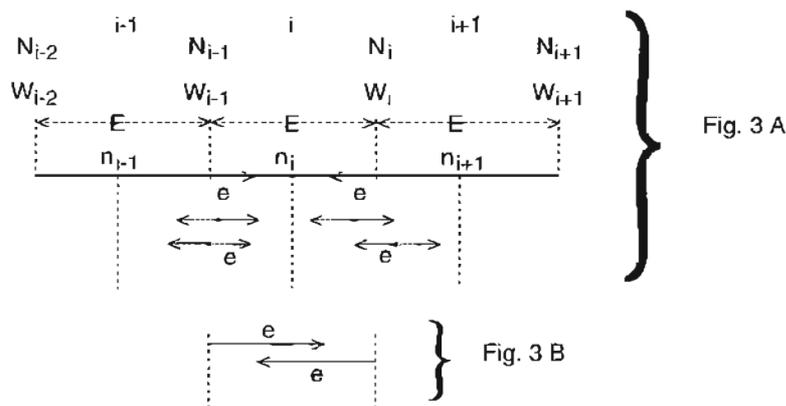


Fig. 3

Des points à moins de e à droite de w_{i-1} peuvent ainsi se retrouver à gauche et vice versa. Il en est de même de points à moins de e à droite de w_i qui peuvent se retrouver à gauche de w_i et vice versa.

Quels que soient ces glissements vers la gauche en provenance de i , ils ne modifient pas N_i qui a totalisé tous les points d'abscisse initiale inférieure ou égale à w_i .

De plus les glissements vers la droite de points d'abscisse initiale inférieure ou égale à w_{i-1} ne les font pas dépasser w_i si e n'est pas supérieur à E : là aussi N_i reste inchangé.

N_i n'est donc susceptible d'être modifié que par la perte de i vers $i+1$ et par l'apport de $i+1$ vers i . Si la densité de répartition des points dans les classes est uniforme,

cette perte et cet apport possibles, dont les éventualités sont indépendantes, sont respectivement $(e/E)n_i$ et $(e/E)n_{i+1}$.

La marge maximale d'incertitude sur N_i ainsi entraînée par l'incertitude de $\pm e$ sur le courant est finie et ne peut dépasser $(N_i - (e/E)n_i) \dots\dots (N_i + (e/E)n_{i+1})$ et la marge d'incertitude sur F_i s'obtient en divisant par T , nombre total des mesures considéré.

Ces marges sont proportionnelles à e et dissymétriques par rapport aux valeurs les plus probables N_i et F_i .

Une densité de répartition à peu près uniforme est assurée lorsque l'effectif par classe est assez grand, pratiquement non inférieur à une dizaine. Pour des effectifs

par classe plus réduits, il faut soit effectuer la répartition exacte en se rapportant aux mesures originales, ce que nous avons pu faire dans quelques cas, soit admettre une erreur relativement plus ou moins grande sur $(e/E)n$, qui est alors de toute façon une quantité relativement petite.

Novembre 1993 - Mars 1994

DÉTERMINATION DES HAUTEURS D'EAU EXTRÊMES

POUR LA DÉLIMITATION DU DOMAINE PUBLIC MARITIME

par

M. Bernard SIMON

Ingénieur Civil sous contrat

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ :

Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France :

Le niveau de la mer résulte de la superposition de deux phénomènes largement indépendants : la marée astronomique et les surcotes-décotes d'origine essentiellement météorologique. Si l'on dispose d'observations suffisantes, il peut être aisé de déterminer les probabilités d'occurrence d'événements rares tels que les vives-eaux exceptionnelles ou les surcotes importantes, mais leur coïncidence peut être si rare qu'elle n'a jamais été observée. Pourtant, sa probabilité peut être calculée à partir de la connaissance des lois de probabilité liées à la marée d'une part et aux surcotes d'autre part.

Ce travail a été effectué pour quinze ports de France où plus de dix années d'observations de marée sont disponibles. Les résultats se présentent sous forme de relations entre hauteurs extrêmes et périodes de retour.

Pour les sites beaucoup plus nombreux où les observations sont de courte durée, les lois de répartitions des surcotes ont été établies à partir des relations existant entre les surcotes de ports voisins.

Enfin la densité d'observatoires étant généralement suffisante, il a été possible, par interpolations, d'étendre les résultats à tous les points des côtes de France de l'Atlantique et de La Manche. Ils se présentent sous forme de cartes montrant les lignes d'égaux hauteurs atteintes par la mer avec une période de retour donnée. Les incertitudes associées montrent des zones où des observations complémentaires sont requises.

ABSTRACT :

Statistics of extreme sea levels along the french coast :

The level of the sea results from the surimposition of two phenomena which are mostly independant - tide and surge. If long enough sea level observations are available, it may be easy to determine the probability laws of rare events occuring such as exceptional spring tides or surges. But their simultaneous occurrence may be so rare that it was never observed. Nevertheless, its probability can be deduced from the knowledge of tide and surge probability laws.

The calculations of extreme sea levels versus return periods were performed for fifteen French ports where the tide had been observed for more than ten years.

For the far more numerous tidal observatories where not so many data exist, surge statistics were deduced from relations between surges occuring in neighbouring harbours.

At last, as a result of adequate spatial density of tidal observatories, it showed possible to extend the results to every point of the Atlantic and Channel French coasts. They are available in the form of maps showing the lines of equal sea levels which are reached with a given return period along the French coast. The associated uncertainties show some areas where additional observations are needed.

INTRODUCTION

Tel qu'il a été défini par l'ordonnance de Colbert sur la Marine de 1681, « sera réputé bord et rivage de la mer tout ce qu'elle couvre et découvre pendant les nouvelles et les pleines lunes, et jusqu'où le grand flot de mars ne peut étendre sur les grèves ». C'est le rivage de mer ainsi défini qui constitue la limite du Domaine Public Maritime français. La procédure de délimitation est décrite par une instruction du 14 février 1920 qui stipule que :

« A l'instant prévu pour la plus grande marée, un grand nombre de personnes (fournies la plupart du temps par un détachement militaire) repèrent grâce à un piquet la limite atteinte par le flot. Un procès-verbal est dressé, qui mentionne les conditions météorologiques. Celles-ci ne doivent pas être exceptionnelles. »

Cette procédure conduisant à des résultats non reproductibles est inacceptable d'un point de vue scientifique. En effet, la marée telle qu'on l'observe sur les côtes est la superposition de deux phénomènes : d'une part, la marée astronomique proprement dite, phénomène déterministe que l'on sait calculer, d'autre part, les surcotes-décotes, écarts entre les hauteurs d'eau observées et les hauteurs de marée astronomique. Ces écarts peuvent atteindre plusieurs décimètres. La marée astronomique elle-même n'est pas strictement périodique et le « plus haut flot de mars » théorique peut lui-même être très différent d'une année à l'autre.

Les surcotes-décotes résultent essentiellement des effets météorologiques. C'est un phénomène aléatoire dont l'étude relève de méthodes statistiques. Il en résulte que la hauteur de marée n'est pas une grandeur purement déterministe et que la notion de plus hautes eaux n'a de sens que si on l'exprime en termes de probabilités. On se propose de lui substituer la notion de hauteur d'eau atteinte avec une période de retour donnée.

1. CONTEXTE BIBLIOGRAPHIQUE

Très souvent les estimations de niveaux extrêmes sont faites à partir des maximums annuels (Lennon, 1963 ; Graff, 1981). Il est relativement aisé de déterminer une période de retour dont la valeur est faible, comparée à la durée du phénomène observé. Un simple calcul de moyenne suffit et l'intervalle de confiance est d'autant plus étroit que le nombre d'observations est important. Mais cette méthode ne convient pas lorsque les durées d'observations ne sont pas d'un ordre de grandeur supérieur aux périodes de retour recherchées.

En général, on cherche à ajuster les fonctions de distributions à des lois destinées à permettre l'extrapolation pour des périodes de retour importantes (Walden & Prescott, 1980 ; Middleton et Thomson, 1986). Mais ces méthodes se heurtent à certaines difficultés. Pour les besoins de l'extrapolation vers des valeurs de période de retour supérieures à la durée d'observation, ce sont évidemment les valeurs observées les plus élevées qui présentent le plus d'intérêt pour déterminer les paramètres de cette loi mais ce sont précisément les observations correspondantes qui sont les moins nombreuses et présentent une dispersion importante les rendant souvent inexploitable.

Une autre difficulté à laquelle se sont heurtés tous les auteurs est la nécessité de valider avec soin ces valeurs extrêmes, parmi lesquelles la proportion de valeurs erronées est parfois très importante.

Les premières études sur l'estimation des niveaux extrêmes de la mer se sont inspirées des travaux sur l'estimation des probabilités de crue des rivières (Lennon, 1963 ; Suthons, 1963).

En 1978, Pugh et Vassie tirent profit du fait que le niveau de la mer est la superposition de deux phénomènes largement indépendants, la marée astronomique et les effets météorologiques. Cette approche présente un grand intérêt car elle permet d'accéder à l'estimation des périodes de retour d'événements très rares sans que le choix du modèle d'extrapolation ne s'avère critique.

Il est par exemple possible d'estimer les probabilités d'apparition d'événements rares sans être exceptionnels tels que les hauteurs théoriques des grandes vives eaux ou les surcotes importantes. Mais la conjonction de deux de ces événements peut être si peu probable qu'elle correspond à des périodes de retour bien supérieures à la durée des observations analysées.

Cette idée va être exploitée pour l'étude des niveaux exceptionnels sur les côtes de France ; mais la méthode de Pugh et Vassie reprise et complétée par Tawn et Vassie (1989, 1990, 1991), qui consiste à analyser les hauteurs observées heure par heure n'a pas été retenue car elle présente deux inconvénients importants :

- les surcotes-décotes aux heures consécutives sont très corrélées, ce qui complique leur traitement statistique ;

- les défauts éventuels de calage en heure des observations (ou des prédictions) se traduisent par des surcotes-décotes, importantes au moment des mi-marées, qui risquent de fausser très sensiblement les résultats.

Ces difficultés sont en grande partie évitées si l'on se limite à l'analyse des écarts entre les hauteurs de pleines mers observées et prédites.

2. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

La méthode retenue consiste en la combinaison des lois de probabilités des hauteurs de pleines mers prédites et des valeurs des surcotes observées.

2.1. Marée prédite

Le calcul de la marée astronomique est une activité traditionnelle du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. On estime habituellement, lorsque la marée est importante comme c'est le cas sur les côtes de France, qu'il est nécessaire d'analyser une année d'observations pour obtenir une précision des prédictions suffisante pour les besoins de la navigation, une précision quasi-optimale pouvant être obtenue si l'on dispose de vingt années d'observations. Cette dernière condition est remplie pour une dizaine de ports des côtes de France. Pour ceux-ci, la question de la précision de la prédiction ne se posera donc pas en pratique. Ces ports seront appelés par la suite, ports de référence.

Lors des sondages hydrographiques, il est nécessaire de connaître la hauteur de la marée à l'endroit et au moment du sondage afin de rapporter les hauteurs mesurées au niveau de référence des cartes marines (zéro hydrographique). Ce besoin spécifique a exigé la mise au point de méthodes de calcul de la marée en tout point du plateau continental (Simon, 1988). Par grands fonds la correction de marée est négligée.

C'est un problème difficile qui fait encore l'objet d'études, mais on peut estimer actuellement, grâce aux résultats de modèles, à l'exploitation des mesures des marégraphes à capteur de pression immergés au large (Simon, 1991) et à l'utilisation des moyens de calcul modernes, que la précision du calcul de la marée astronomique en tout point des côtes de France (à l'exclusion des zones d'estuaires) est satisfaisante pour les besoins de l'hydrographie.

Remarquons, par ailleurs, que le problème de la précision de la prédiction n'est pas réellement critique puisque les défauts éventuels de celle-ci seront pris en compte dans les surcotes-décotes et analysés comme tels.

2.2. Surcotes-décotes, ports de référence

Les surcotes-décotes sont essentiellement dues aux influences météorologiques. Contrairement à la marée

proprement dite, c'est un signal aléatoire qui devra donc être traité à l'aide de méthodes statistiques. On s'intéressera particulièrement à la probabilité, pour une surcote, de dépasser une valeur donnée : en effet, une hauteur d'eau est la somme de la marée prédite et d'une surcote. A une hauteur d'eau donnée, correspond donc l'ensemble des couples marée prédite-surcote dont la somme est égale à cette hauteur.

Si les deux phénomènes sont indépendants, la probabilité attachée à l'observation d'une hauteur d'eau supérieure à une valeur donnée se déduit facilement des probabilités attachées d'une part aux hauteurs de pleines-mers prédites, d'autre part à la répartition des surcotes (proportion des surcotes supérieures à une valeur donnée). Le calcul correspondant est donné en annexe 1.

La difficulté provient du fait que les surcotes très importantes, donc très rares ne peuvent pas être négligées a priori. Il en résulte que l'on est amené à prendre en compte des probabilités d'apparition de surcotes qui n'ont jamais été observées et donc à choisir un modèle d'extrapolation.

Après des essais d'ajustement à quelques lois classiques, utilisées notamment dans l'estimation des probabilités de crues, la loi de Gumbel, 1958 ; (voir annexe 2) a été adoptée. D'autres lois pourraient éventuellement convenir, mais nous verrons que ce choix n'est pas critique pour les ports où plus de 10 années d'observations sont disponibles. C'est le cas pour une quinzaine de ports des côtes de France. Pour ceux-ci, il est donc admis que tous les éléments nécessaires à l'évaluation des probabilités d'observation des hauteurs de pleines mers sont disponibles.

2.3. Surcotes-décotes, ports secondaires

L'évolution de la répartition des surcotes aux points de mesures où peu d'observations sont disponibles pose un problème très différent car il peut être impossible dans ce cas d'ajuster une loi. La méthode retenue s'appuie sur l'idée qu'il existe évidemment une relation entre les surcotes de ports voisins. L'évaluation des corrélations avec les surcotes observées à l'aide des observations simultanées faites dans les ports importants (où la loi de répartition a pu être établie) devrait donc permettre de résoudre ce problème.

Ce travail a été réalisé pour tous les points où sont disponibles des observations d'une durée minimale de 1 mois en adoptant pour chacun d'entre eux le port de référence le plus proche pour lequel des observations simultanées sont disponibles. La figure 1 montre, à titre d'exemple, la répartition géographique de ces points en Manche-est. Les points repérés par une étoile sont les ports de référence.

2.4. Surcotes-décotes, interpolation

Compte tenu de la variabilité spatiale des paramètres étudiés (surcote et marée), la densité de points de mesure est a priori satisfaisante (à l'exception, éventuellement, de la côte des Landes) pour permettre

leur évaluation par interpolation en tout point de la côte. Cependant, la validité des résultats devra être évaluée en tenant compte d'une part, du niveau de corrélation entre les surcotes de ports voisins et d'autre part, de l'incertitude liée aux interpolations.

3. RÉSULTATS

3.1. Observations dans les ports de référence

Le tableau 1 présente les mesures disponibles aux ports de référence.

3.2. Exemple du port de Brest

La figure 2 présente, à titre d'exemple, la densité de probabilité des hauteurs de pleines mers prédites pour Brest. Ce sont les probabilités de prédiction d'une hauteur donnée, à 1 cm près.

3.3. Loi de répartition des surcotes

Les figures 3a à 3n présentent les taux de surcotes supérieures à une valeur donnée dans un système de coordonnées tel que si la loi de Gumbel était vérifiée, les points expérimentaux seraient parfaitement alignés.

En trait discontinu est représentée la droite s'ajustant au mieux aux points expérimentaux selon une régression par moindres carrés.

Les courbes en traits fins représentent les limites entre lesquelles doivent se situer 90 % des points de mesures d'après les hypothèses suivantes :

- la droite de régression représente effectivement la loi de répartition des surcotes ;
- le fait, pour une surcote d'être supérieure à une valeur donnée est un processus de Poisson (les détails de ce calcul sont donnés en annexe 3).

Ces figures montrent que la loi de Gumbel est assez bien adaptée au problème des surcotes puisque pour tous les ports, les courbes expérimentales sont situées à l'intérieur des limites de confiance à 90 %. Cependant, pour les valeurs élevées des surcotes, certaines tendances, qui peuvent paraître systématiques sembleraient suggérer qu'une autre loi serait mieux adaptée. Mais pour les raisons suivantes, il n'a pas semblé utile de rechercher une possible meilleure adaptation :

- en premier lieu, l'allure de la courbe expérimentale est très sensible aux valeurs individuelles très élevées, responsables des discontinuités en marches d'escalier. Un exemple est donné pour Port-Tudy (Île de Groix) : la figure 3k montre la courbe obtenue en prenant en compte toutes les observations disponibles (sauf certaines d'entre elles manifestement erronées). La surcote la plus élevée, très éloignée de la droite théorique correspond à la tempête du 16 au 17 octobre 1987 qui a causé des dégâts considérables en Bretagne. La valeur de cette surcote, rapportée à la loi de distribution de Gumbel, correspond à une période de retour de plus de 600 ans.

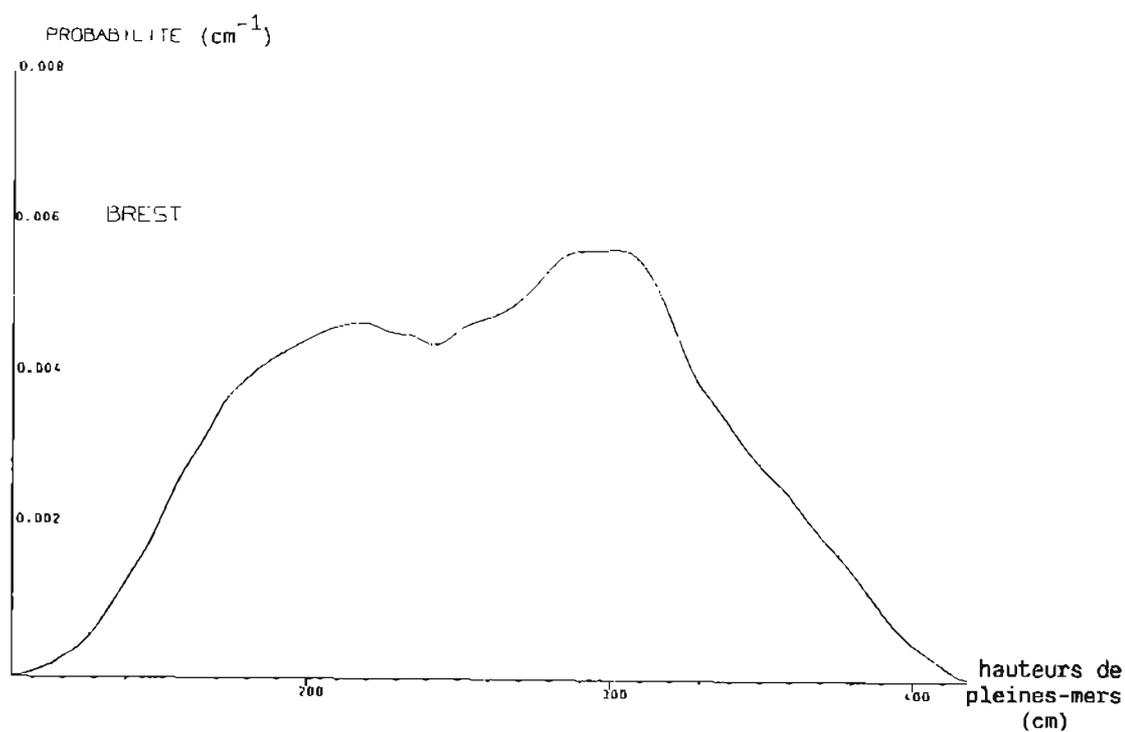
Tableau 1 : observations dans les ports de référence

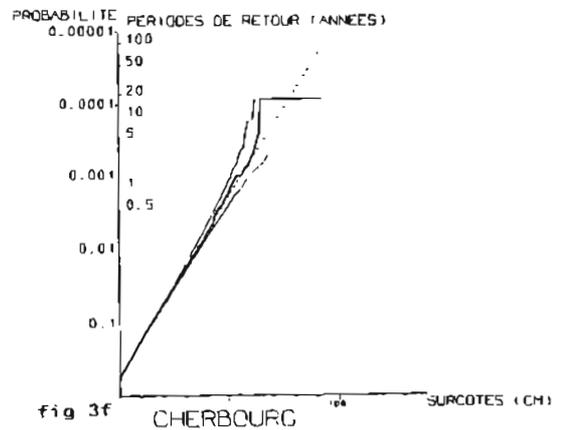
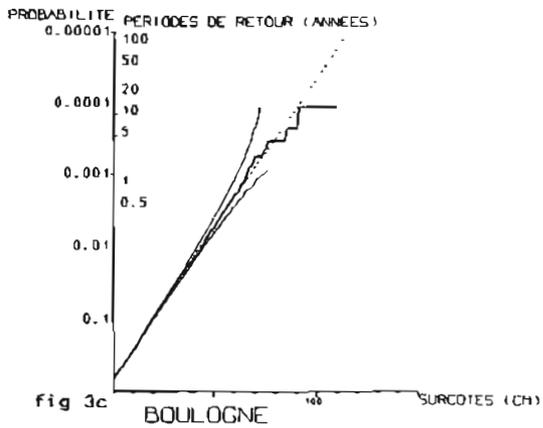
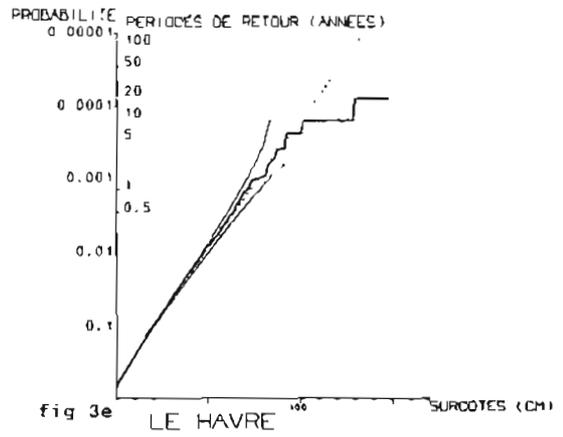
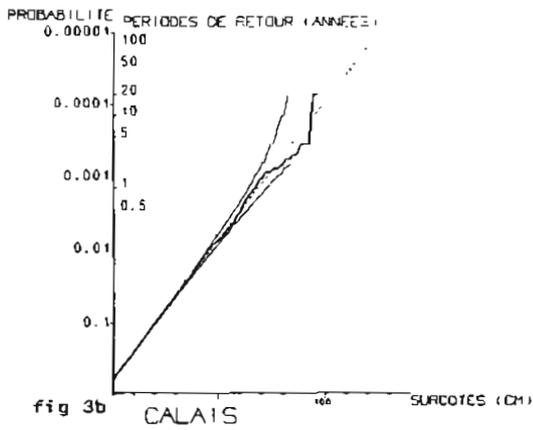
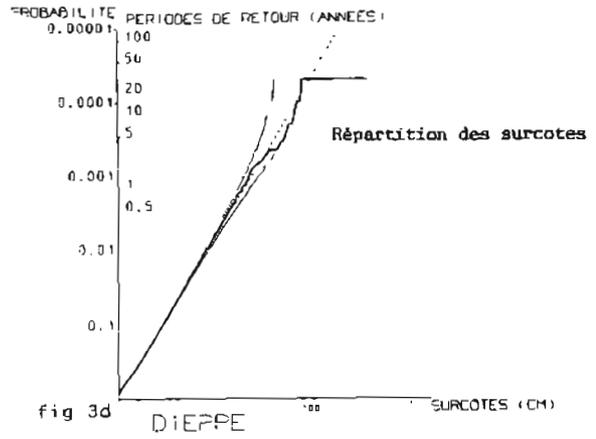
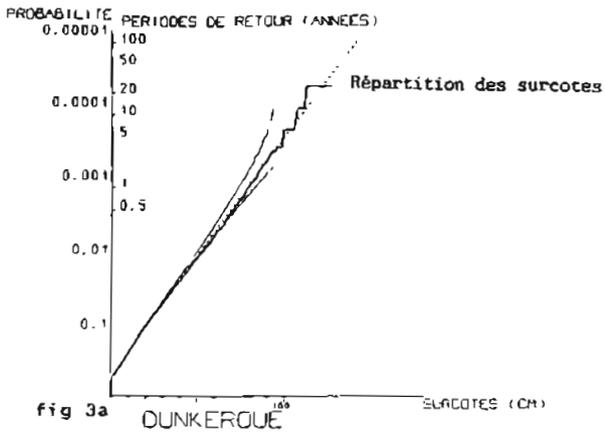
Port	Début	Fin	Durée utile (ans)	Lacunes (%)
Dunkerque	07.06.1956	03.06.1992	28,1	21,9
Calais	16.02.1965	24.12.1992	20,1	28,0
Boulogne	08.09.1973	27.11.1991	15,3	15,8
Dieppe	01.01.1954	04.08.1989	31,1	12,7
Le Havre	18.09.1961	02.09.1991	18,2	8,8
Cherbourg	02.01.1963	06.05.1992	17,0	42,0
Saint-Malo	05.11.1850	30.04.1917	38,7	41,8
Roscoff	07.04.1973	15.12.1992	18,5	6,2
Le Conquet	22.12.1970	04.01.1993	21,0	4,7
Brest	03.05.1860	01.12.1992	158,4	8,9
Port-Tudy	11.08.1966	01.01.1992	17,4	31,4
Saint-Nazaire*	16.05.1957	31.12.1988	21,4	32,2
Saint-Gildas	01.08.1967	31.12.1988	20,5	4,3
Pointe-de-Grave	19.04.1959	31.12.1977	13,0	30,6
Le Boucau	23.05.1967	05.01.1992	19,4	21,4

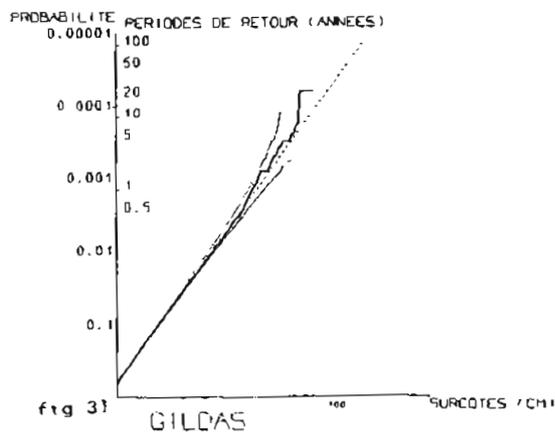
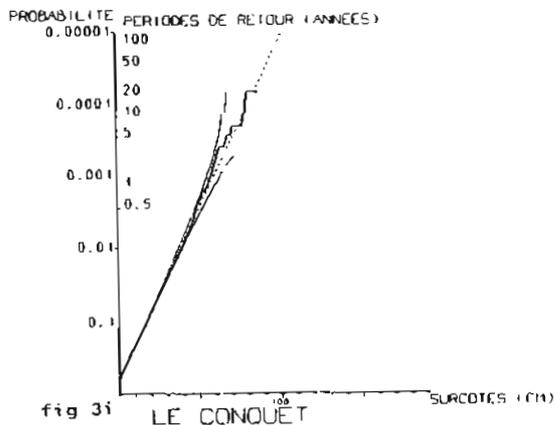
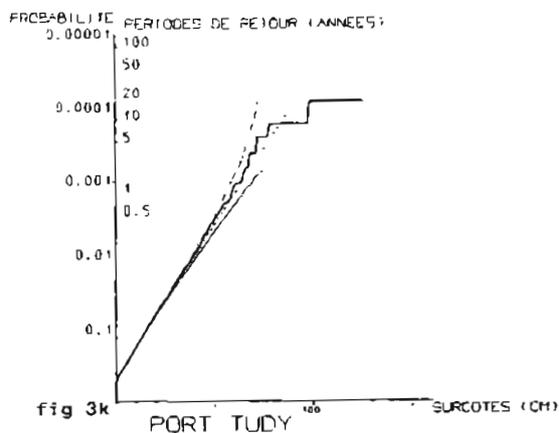
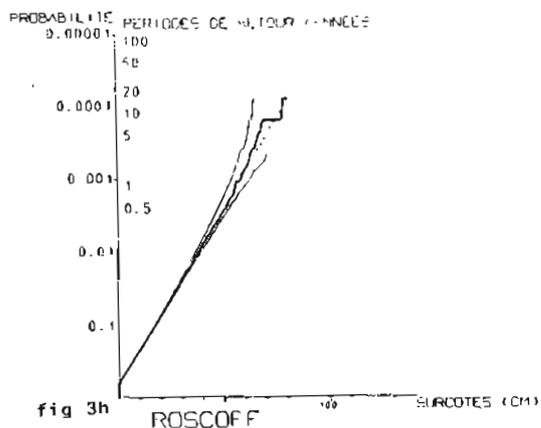
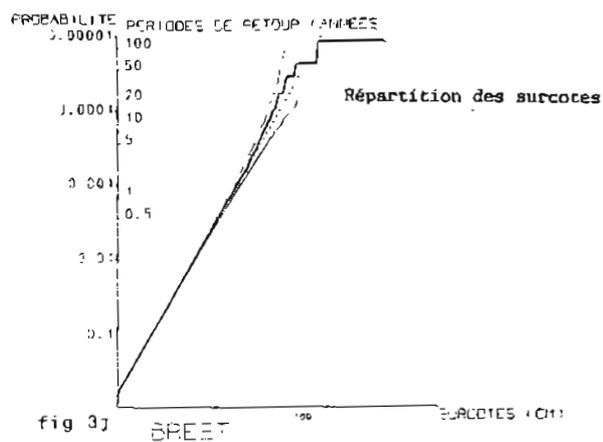
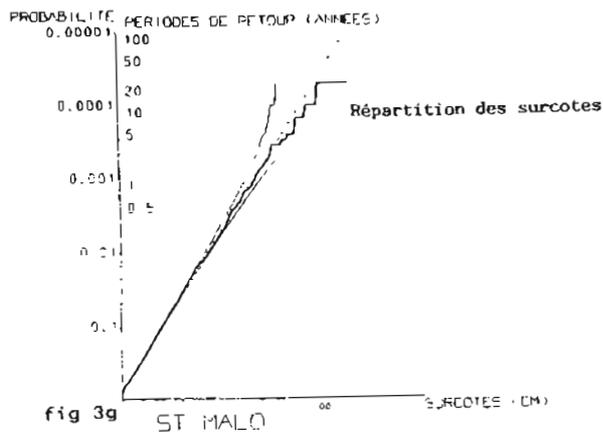
* Le port de Saint-Nazaire ne sera pas retenu pour cette étude en raison d'une anomalie du régime des marées constatée dans les années 1980 à 1988 due vraisemblablement aux travaux de dragage.

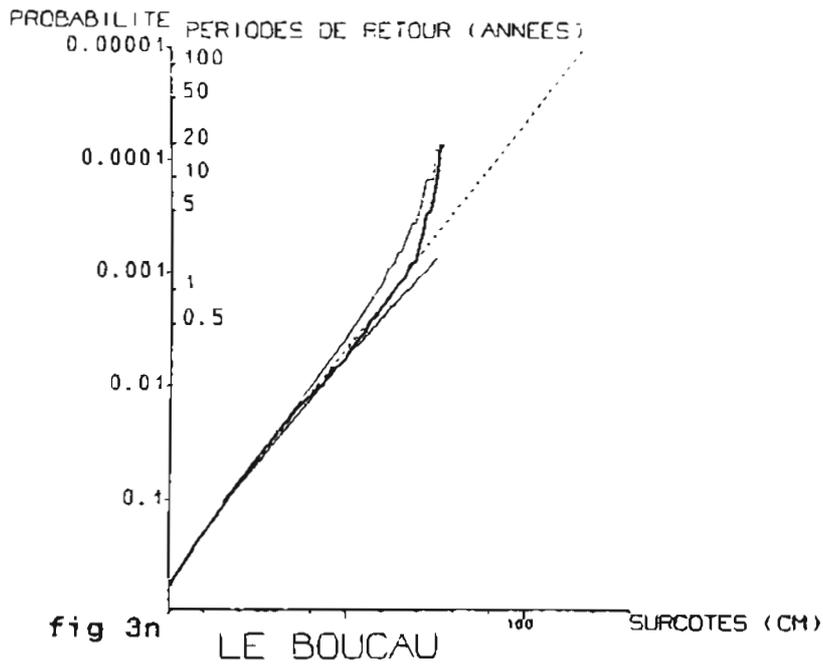
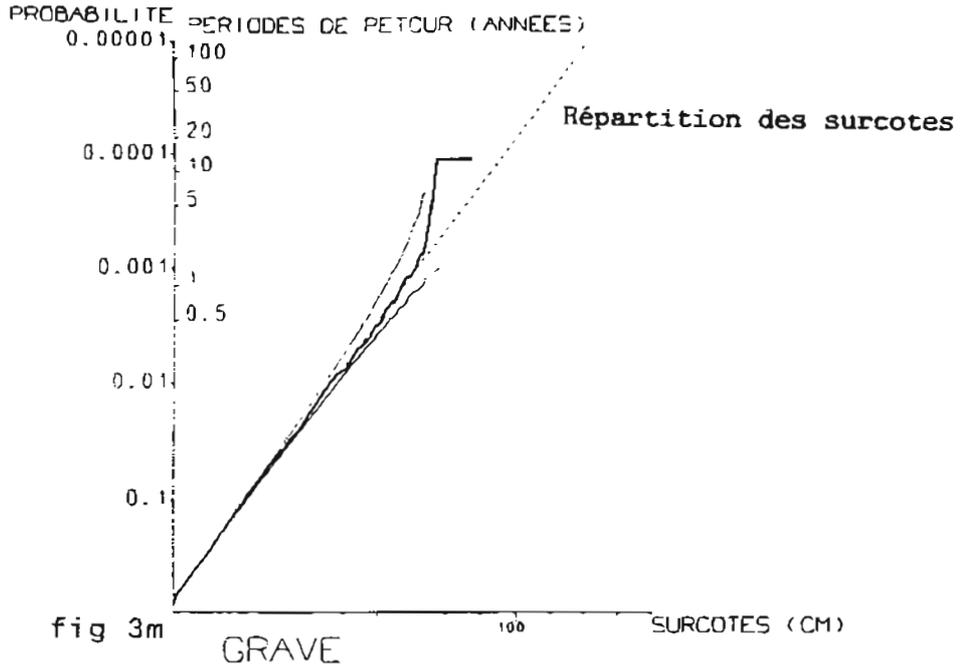
Figure 2

DENSITE DE PROBABILITE DES HAUTEURS DE PLEINES-MERS









L'existence d'un tel évènement dans les observations analysées dont la durée est d'une vingtaine d'années correspond à une probabilité très faible (1/30). Elle est cependant responsable de l'impression subjective selon laquelle la courbe expérimentale est très éloignée de la courbe théorique pour les valeurs de surcotes élevées. La courbe de la figure 4 qui représente le résultat obtenu en ne retenant pas cet évènement très exceptionnel semble nettement plus satisfaisante ;

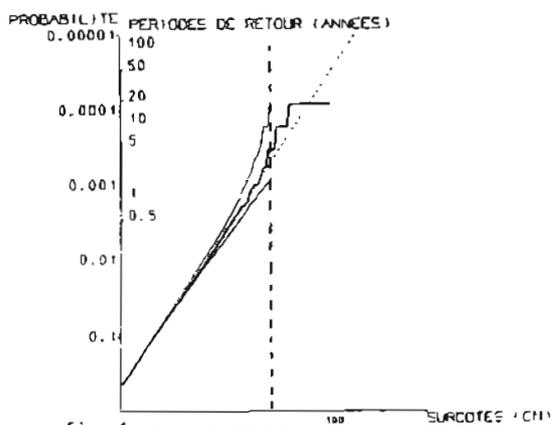


fig 4 PORT TUDY
Répartition des surcotes
sans la journée du 17 octobre 1987

— une autre raison pour laquelle une autre loi éventuellement mieux adaptée que la loi de Gumbel n'a pas été recherchée est qu'aucune loi concurrente ne peut se prévaloir d'un meilleur support théorique ;

— notons enfin le peu de sensibilité de la loi de répartition des hauteurs de pleines mers à la loi de répartition des surcotes pour les valeurs élevées de celles-ci. la figure 5 représente les périodes de retours de hauteurs de pleines mers à Port-Tudy, d'une part en adoptant la loi de Gumbel représentée sur la courbe 3k (courbe 1), d'autre part (courbe 2) en supposant que les surcotes supérieures à 70 cm aient une probabilité nulle (hypothèse irréaliste) et enfin (courbe 3) en adoptant une deuxième régression linéaire pour les surcotes supérieures à 70 cm.

Dans le cas le plus défavorable, l'écart en hauteur n'atteint que 7 cm pour une période de retour voisine de 100 ans et 2 cm pour une période de retour de 20 ans.

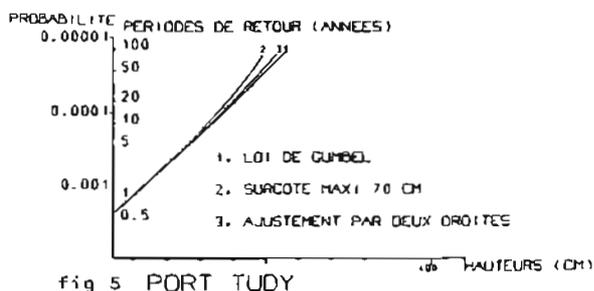


fig 5 PORT TUDY

3.4. Ports secondaires

La figure 6 donne un exemple de relation existant entre les surcotes en un port de référence (Roscoff) et en un port secondaire (Portsall) où ne sont disponibles que 30 jours d'observations. Chaque point représente les valeurs observées des surcotes au port de référence (en abscisse) et au port secondaire (en ordonnée) pour les pleines mers correspondantes de chaque port.

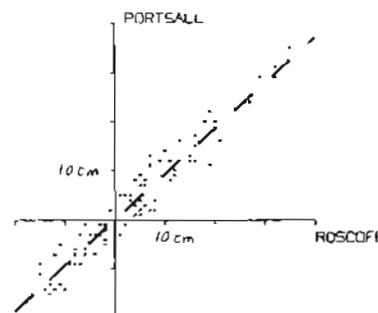


Figure 6

RELATIONS ENTRE LES SURCOTES OBSERVEES

A ROSCOFF ET A PORTSALL

Nous supposons qu'il existe une relation linéaire entre les surcotes en deux ports au moment des pleines mers, cette relation étant représentée par la droite passant au mieux (au sens des moindres carrés) dans le nuage de points. A cette droite de régression, est attaché un degré de confiance lié à la dispersion plus ou moins grande des points de part et d'autre de la droite. Le coefficient de corrélation est inadéquat à ce problème car, pour une même dispersion, il varie avec la pente de la droite de régression. Le degré de confiance est mesuré par un coefficient que nous appellerons coefficient de détermination variant entre les valeurs 1 lorsque tous les points sont parfaitement alignés et 0 lorsque la droite est complètement indéterminée (points uniformément répartis autour d'un point dont les coordonnées sont les surcotes moyennes en chacun des ports).

Le coefficient de détermination sera utilisé pour repérer les zones où des observations complémentaires sont requises.

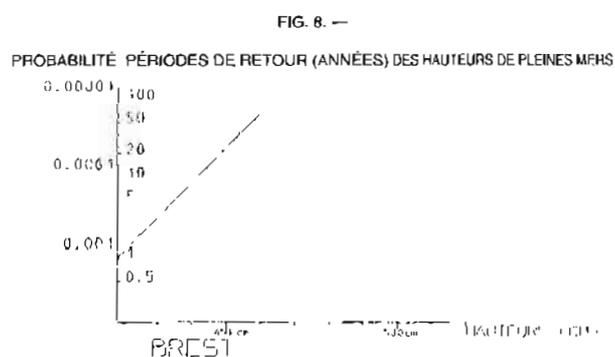
3.5. Indépendance des surcotes

Le calcul des périodes de retour des hauteurs de pleines mers exposé en annexe 1 suppose que les surcotes soient indépendantes des hauteurs de marée prédites. Le test d'indépendance est effectué en calculant les variances des surcotes pour diverses classes de hauteurs de pleines mers. Les résultats pour

tous les ports de référence sont présentés sur la figure 7. Aucune dépendance n'étant détectée, nous supposons que l'hypothèse d'indépendance est vérifiée en tout point des côtes de France. Notons cependant une restriction importante. Aucun des ports de référence n'est un port fluvial. Or, il est très vraisemblable que l'hypothèse ne serait pas vérifiée dans ce cas.

3.6. Périodes de retour des hauteurs observées

La figure 8 présente, pour Brest, à titre d'exemple, les périodes de retour correspondant aux hauteurs observées de pleine mer supérieures à la hauteur maximale prédite.



Un résultat intéressant est la grande variabilité de la période de retour de cette hauteur maximale, les résultats s'échelonnant de 1 mois pour Dunkerque à 8 ans pour Saint-Malo.

Ces calculs ont été effectués également pour les ports secondaires. Les lois de répartition des surcotes ont été calculées pour chaque port secondaire à partir des lois de répartition des surcotes aux ports de référence et des relations entre les surcotes aux ports de référence et aux ports secondaires dont le principe de calcul est exposé au chapitre 3.4.

3.7. Lignes d'égales hauteurs de pleines mers

La méthode exposée ci-dessus a servi à calculer les hauteurs des pleines mers, rapportées au Nivellement Général de la France (IGN 69) correspondant à diverses périodes de retour : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75 et 100 ans.

Une difficulté a consisté à déterminer la cote du zéro IGN 69 par rapport au zéro hydrographique, référence des observations de marée, pour certains observatoires où les nivellements nécessaires n'ont pas été effectués. C'est le cas évidemment pour les observatoires situés au large. On a supposé alors que le niveau moyen calculé sur les observations disponibles était confondu avec le géoïde.

Les valeurs de hauteurs de pleine mer correspondant aux périodes de retour données, calculées en chaque observatoire ont permis de tracer les courbes de niveau représentées sur les figures 9 qui donnent, à titre d'exemple, les résultats obtenus pour une période de retour de 10 ans.

La zone située au sud des Sables-d'Olonne n'a pas été étudiée car les mesures marégraphiques n'ont pas été jugées suffisamment nombreuses, en particulier dans les Pertuis et au sud de la pointe de Grave.

La méthode d'interpolation est la méthode des plaques minces exposée en annexe 4 (Duchon, 1976).

Elle permet d'obtenir la surface la plus lisse possible (énergie de flexion minimum) passant par des points donnés.

4. PRÉCISION

Le problème de la précision se pose différemment selon qu'il s'agit des ports de référence ou des ports secondaires. Mais dans les deux cas, seule la loi de répartition des surcotes peut influencer sur la précision des résultats puisque les défauts éventuels de la prédiction se répercutent intégralement sur les surcotes. La seule restriction concerne la sensibilité plus ou moins grande du résultat final ou modèle de répartition des surcotes. Rien ne s'oppose en principe à ce que l'on néglige la marée prédite, mais on prend alors le bénéfice des traitements séparés des hauteurs prédites et des surcotes.

Concernant la répartition des surcotes, des incertitudes peuvent résulter du choix de la loi de répartition. Or, nous avons vu qu'une modification brutale de la loi de Gumbel consistant à interdire les surcotes supérieures à 70 cm à Port-Tudy n'avait qu'un effet faible sur les résultats. Compte tenu du fait que la loi de Gumbel non modifiée est malgré tout la plus vraisemblable, nous admettrons que les résultats obtenus pour les ports principaux ont un degré de précision acceptable, bien qu'il ne soit pas réellement possible de l'évaluer.

Pour les ports secondaires, la loi de répartition des surcotes dépend des paramètres de la droite de régression liant les surcotes au port de référence et au port secondaire. Hors des points d'observation, elle dépend également de l'interpolation spatiale.

Les incertitudes sur les hauteurs pour une période de retour donnée ont été évaluées à partir de la stabilité des résultats de l'interpolation en affectant un poids, fonction du coefficient de détermination, à chaque port secondaire. Ces poids sont utilisés dans le modèle d'interpolation pour le contraindre à coïncider plus ou moins avec les résultats obtenus aux ports secondaires. La justification de la méthode et les calculs correspondants sont décrits en annexe 5.

La comparaison des courbes obtenues permet de situer les zones d'instabilité où des mesures complémentaires sont requises. Les figures 10 présentent tous les 5 cm l'incertitude correspondante pour une période de retour de 10 ans.

Les zones Rade de Brest, Manche-est et Pas de Calais ne sont pas représentées car les incertitudes y sont inférieures à 5 cm.

Figure 7

**ECARTS TYPES ENTRE DES SURCOTES-DECOTES EN FONCTION
DES HAUTEURS DE PLEINES MERS**

(Référence zéro hydrographique)

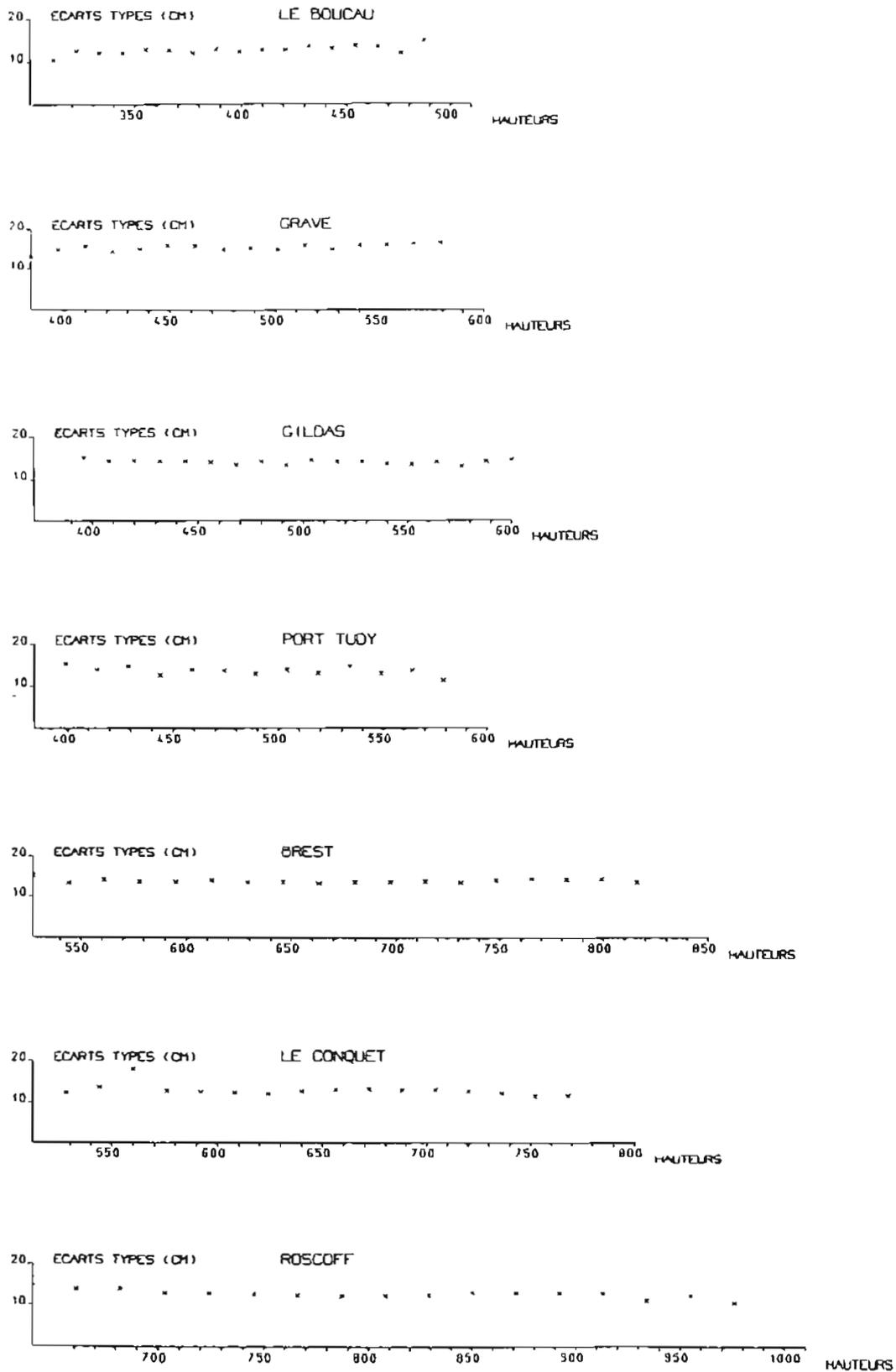
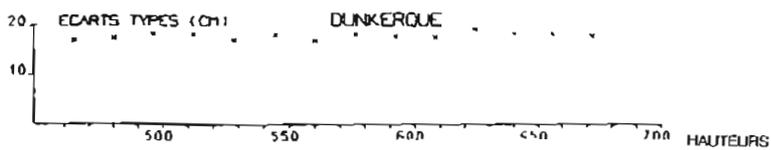
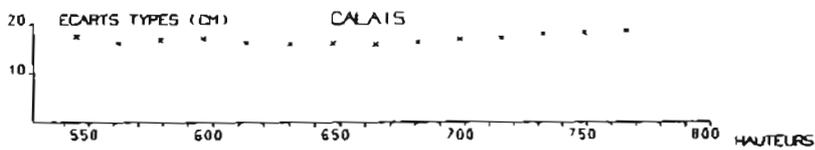
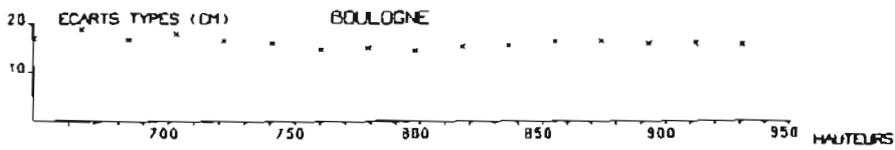
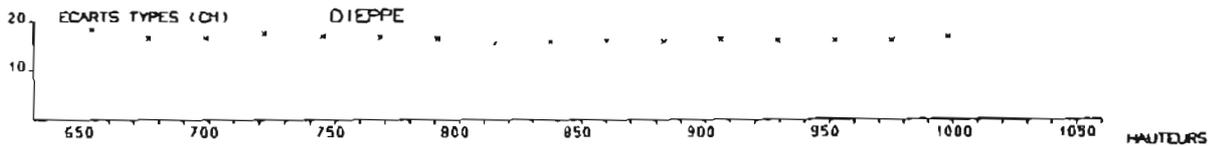
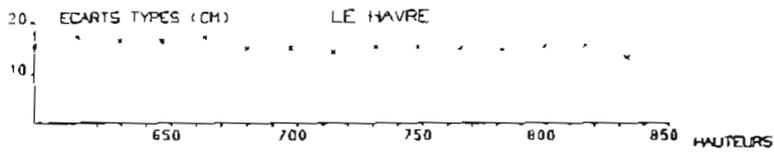
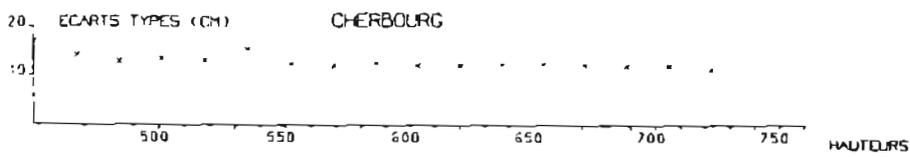
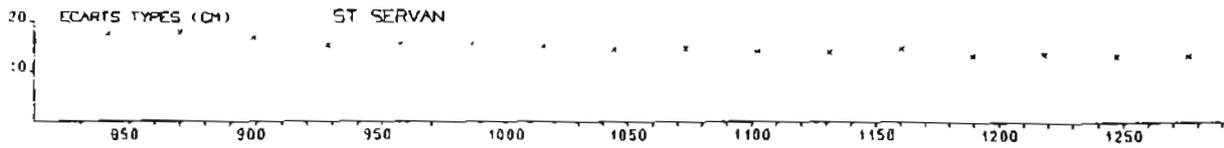


Figure 7 (suite)
**ECARTS TYPES ENTRE DES SURCOTES-DECOTES EN FONCTION
 DES HAUTEURS DE PLEINES MERS**



Certaines zones font paraître des valeurs relativement élevées. C'est le cas, par exemple, du fond de la Baie de Saint-Brieuc. Ceci fait douter de la réalité de l'anomalie constatée pour cette zone dans les figures 9.

En fait, on subit dans ce cas, les conséquences de certaines lacunes du réseau d'observatoires. Les observations disponibles à Saint-Malo sont de durée très suffisante pour conférer à ce port le statut de port de référence, mais elles ont été faites au siècle dernier et sont sans utilité pour établir les lois de répartition des surcotes des ports secondaires de la zone. En effet, pour ceux-ci, les observations disponibles sont récentes et les observations simultanées de Saint-Malo sont inexploitable car de qualité médiocre. Il en résulte que pour la Bretagne-nord et la côte ouest du Cotentin, c'est Roscoff qui a servi de port de référence, mais il est évident qu'à l'est de Bréhat, Saint-Malo aurait été mieux adapté.

Une action à entreprendre pour améliorer sensiblement les résultats consisterait à faire une campagne d'observations de marée de durée minimale de 1 mois afin d'obtenir des observations simultanées à Saint-Malo et en quelques points du littoral entre Saint-Brieuc et la Pointe de La Hague.

Une campagne d'observation devrait également être entreprise sur la côte des Landes où les données marégraphiques sont particulièrement rares ainsi que dans les Pertuis.

Certaines zones restreintes telles que le Golfe du Morbihan et la Baie de Bourgneuf devront faire l'objet d'une étude particulière.

5. CONCLUSION

Cette étude a montré la possibilité de déterminer les hauteurs de marée atteintes le long des côtes de France avec une période de retour donnée. Les résultats, présentés sous forme de cartes doivent être considérés comme les meilleures estimations possibles actuelles compte tenu des données disponibles. Des améliorations sensibles devraient être obtenues dans certaines zones (baie de Saint-Brieuc, côte des Landes) après l'exploitation de nouvelles mesures à réaliser.

La méthode a été mise au point à partir des données disponibles sur les côtes françaises de la Mer du Nord, La Manche et l'Atlantique où la densité d'observatoires de marée est exceptionnellement élevée, ce qui a permis à partir d'interpolations, de tracer les lignes d'égales hauteurs. Il a été établi cependant que dans certaines zones, des observations supplémentaires sont souhaitables. L'application de cette méthode à d'autres zones devrait donc être précédée d'une campagne de mesures marégraphiques.

Une autre restriction importante, qui s'applique aux côtes méditerranéennes, est la nécessité, afin que le choix de la loi de distribution des surcotes ne soit pas critique, de travailler dans des zones où l'amplitude de la marée astronomique est grande devant l'amplitude des surcotes.

Ces résultats destinés à aider à la délimitation du Domaine Public Maritime seront également très utiles pour d'autres applications, et en particulier pour les aménagements portuaires.

PERIODE DE RETOUR 10 ANS

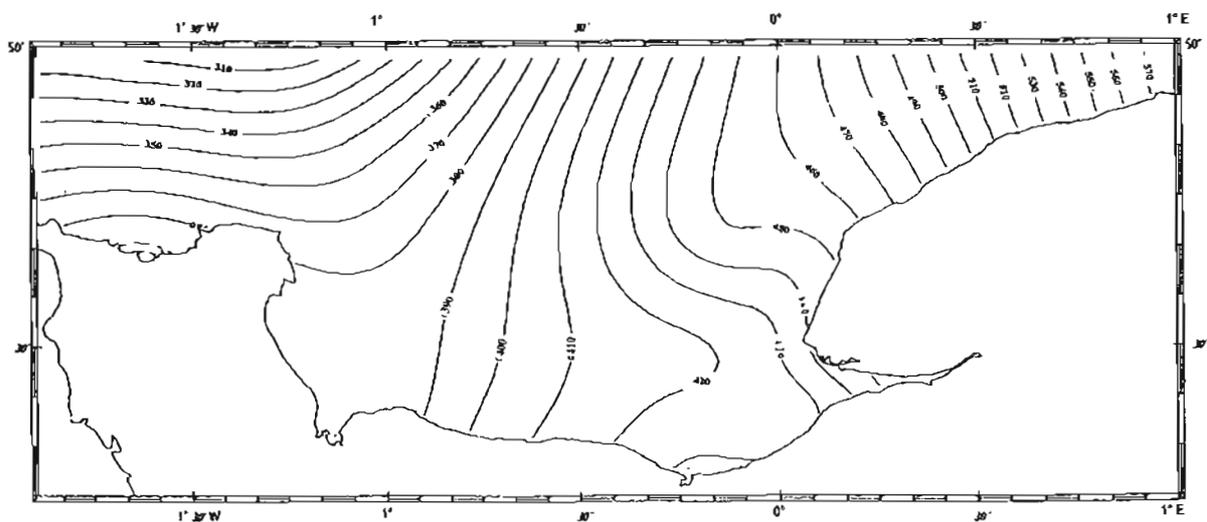
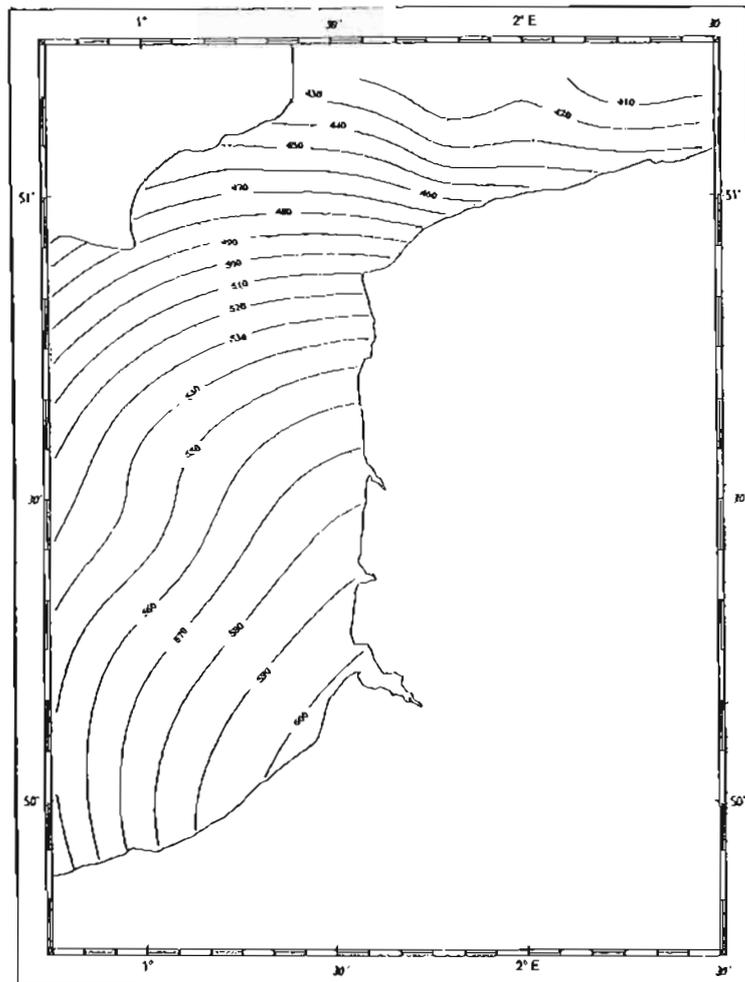
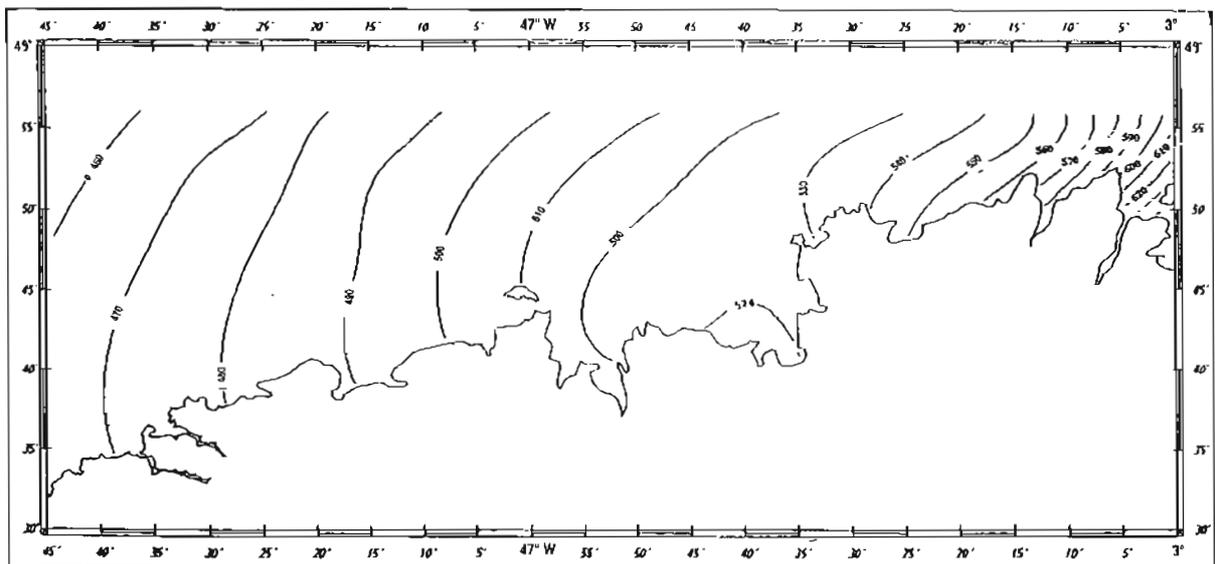
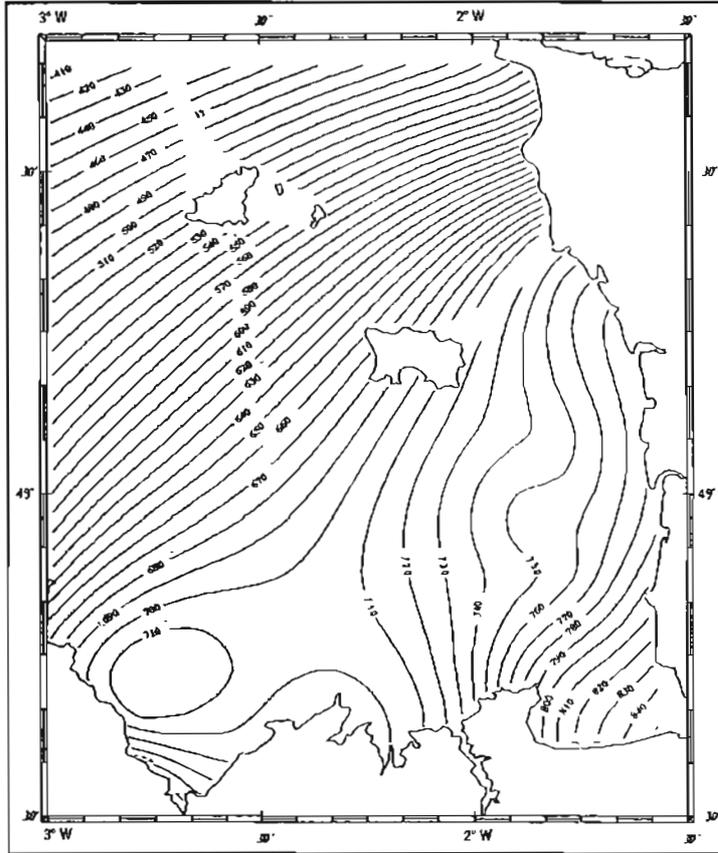


fig 9 lignes d'égales hauteurs de pleines mers de 10 en 10 cm, rapportées à l'IGN69

PERIODE DE RETOUR 10 ANS



PERIODE DE RETOUR 10 ANS

fig 9 lignes d'égales hauteurs de pleines mers de 10 en 10 cm, rapportées à l'IGN69

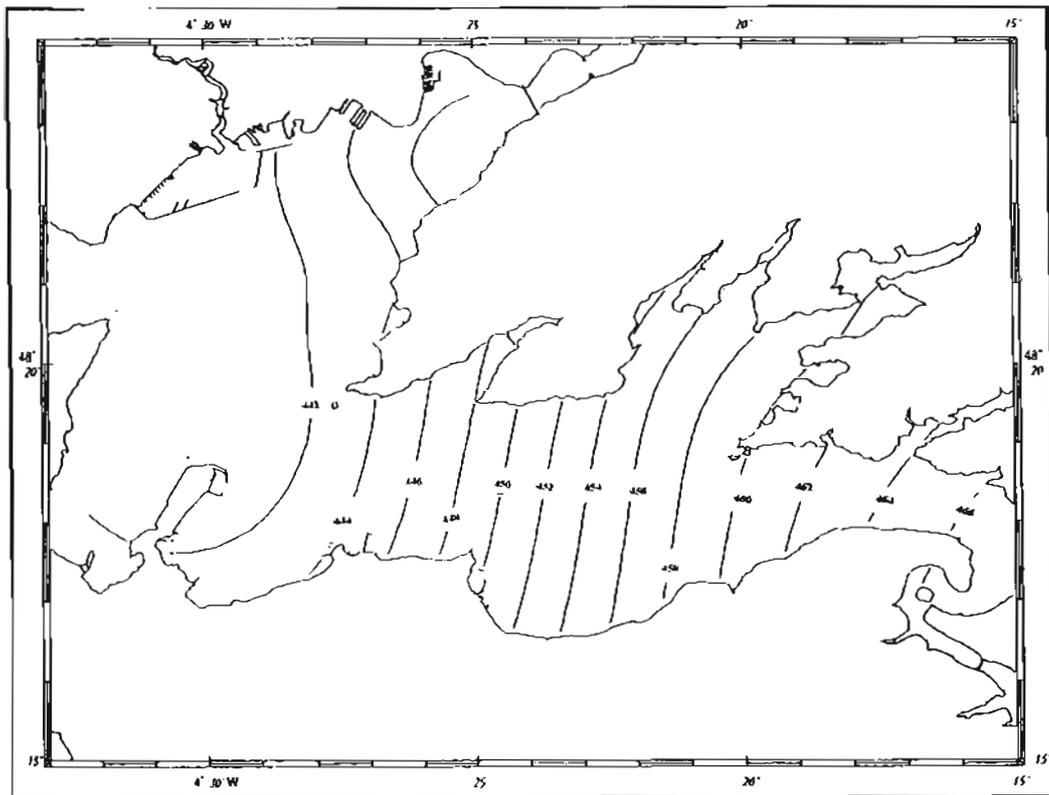
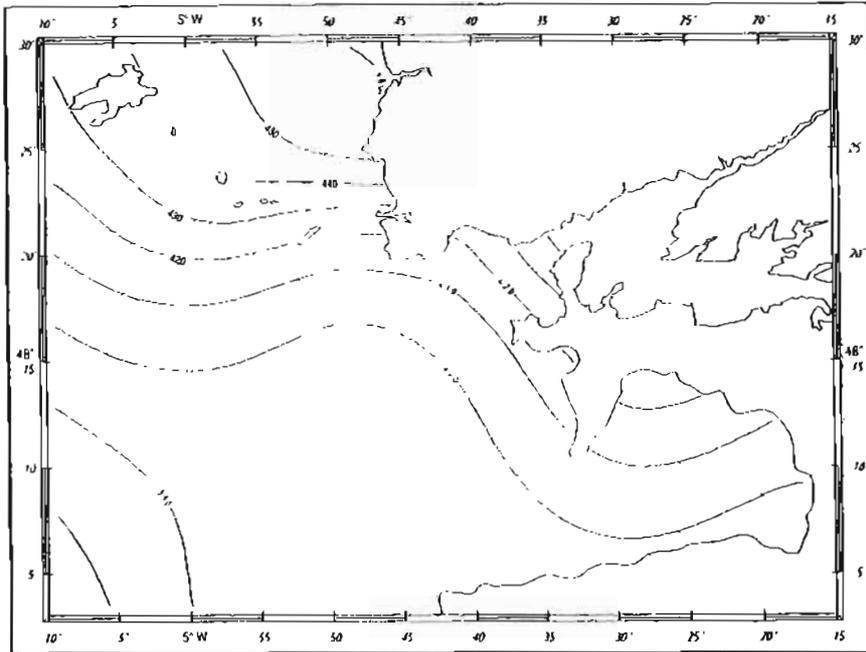
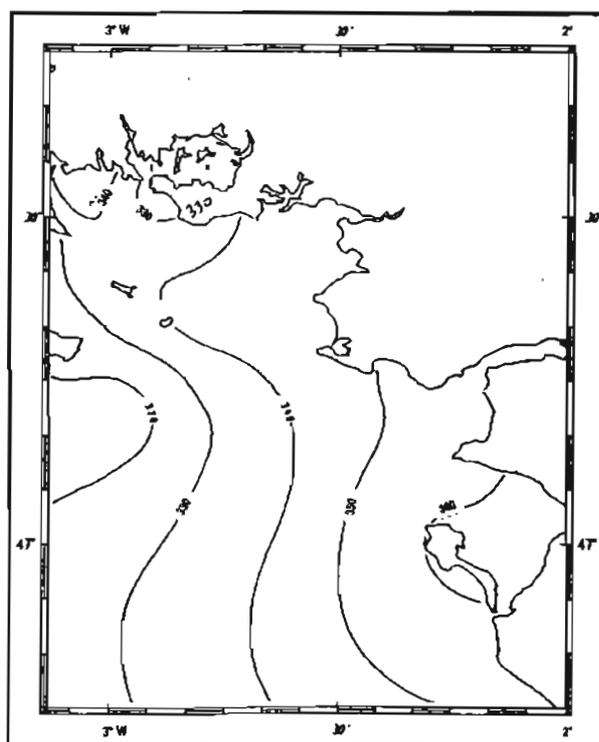
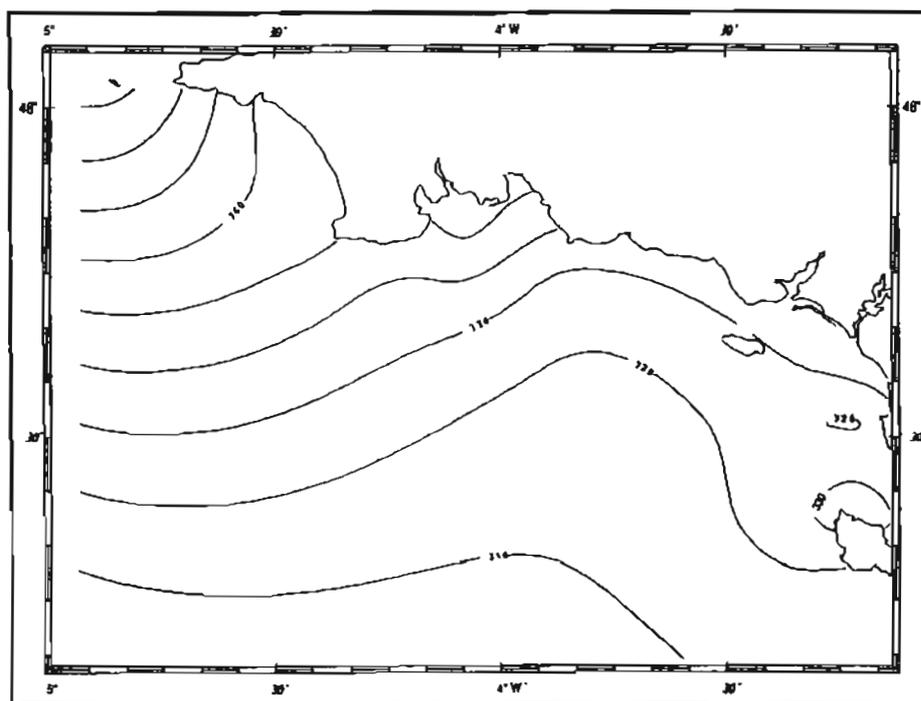


Fig 9 lignes d'égales hauteurs de pleines mers de 2 en 2 cm, rapportées à l'IGN69

PERIODE DE RETOUR 10 ANS



lignes d'égales hauteurs de pleines mers
de 10 en 10 cm, rapportées à l'IGN69

PERIODE DE RETOUR 10 ANS

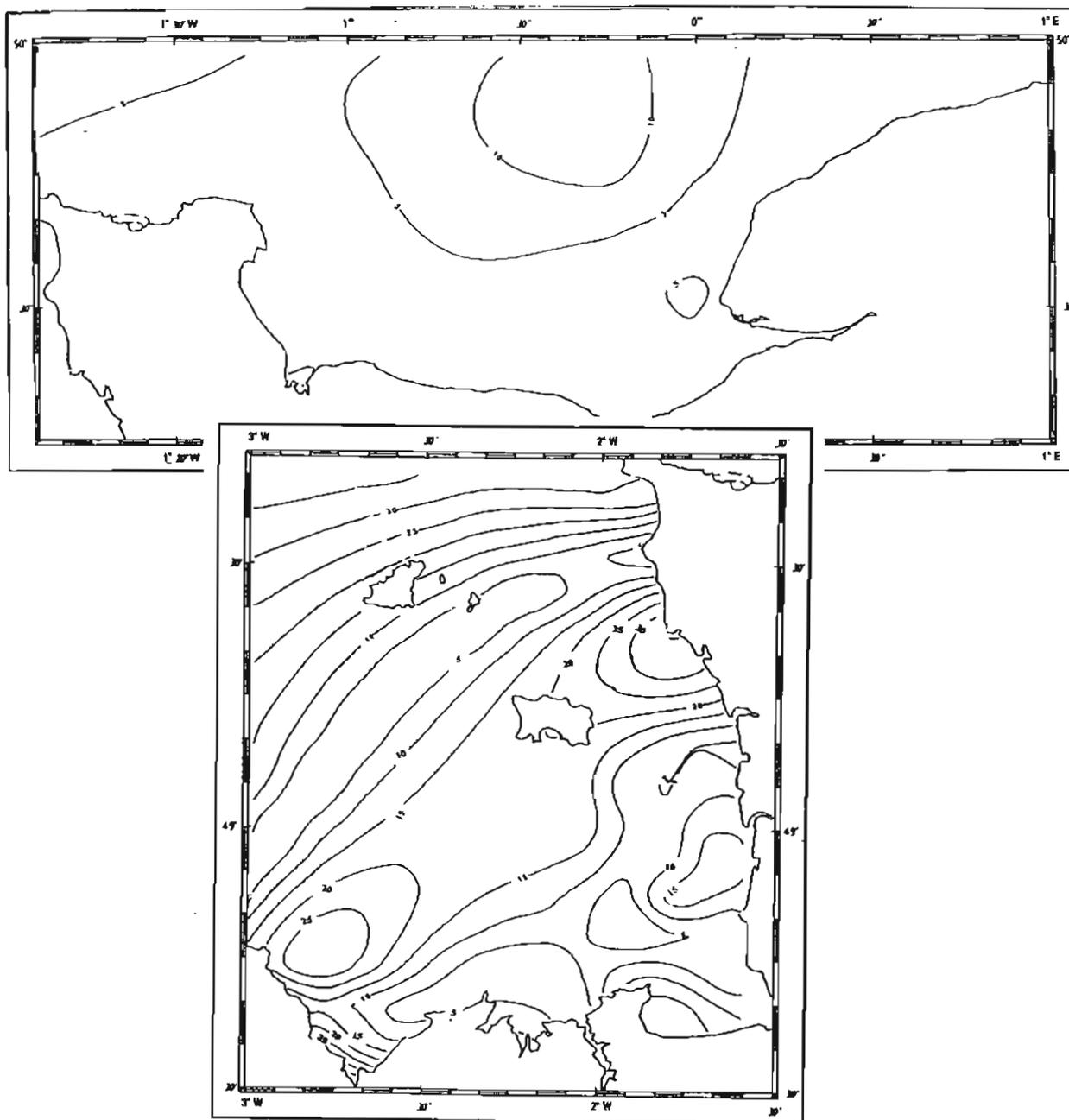


fig 10 courbes d'égalé incertitude
de 5 en 5 cm

PERIODE DE RETOUR 10 ANS

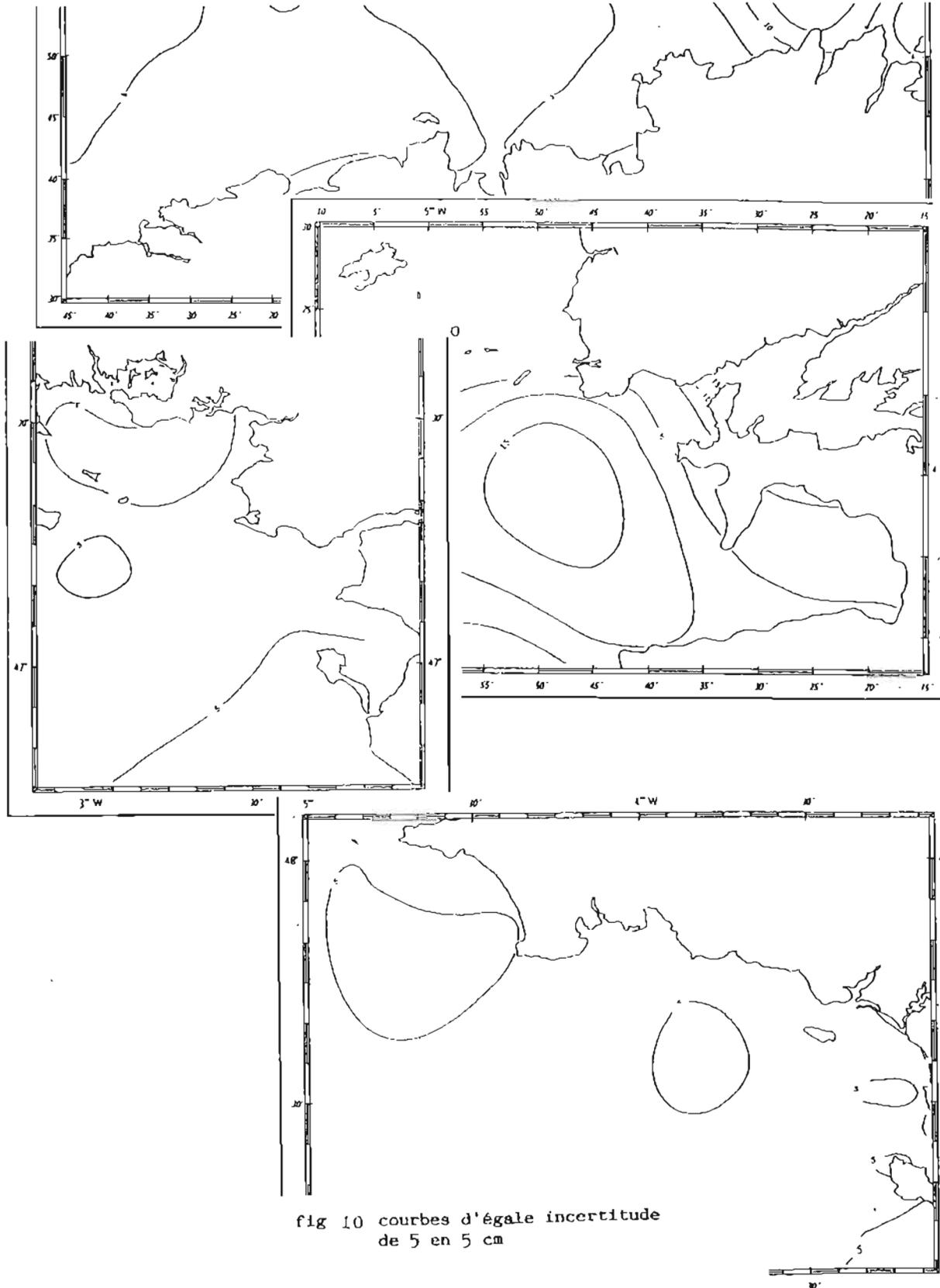


fig 10 courbes d'égale incertitude de 5 en 5 cm

BIBLIOGRAPHIE

- LENNON G.W.** A frequency investigation of abnormally high tidal levels at certain west coast ports.
— Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 25, August 1963. - p. 451-484.
- GRAFF J.** An Investigation of the frequency distribution of annual sea level maxima at ports around Great Britain.
— Estuarine, Coastal and Shelf Science, 12, 1981. - p. 389-449.
- WALDEN A.T.
PRESCOTT P.** Approximate confidence intervals for port diagram curves.
— Proceedings of the Institution of Civil Engineers, part 2, 69, December 1980. - p. 1015-1023.
- MIDDLETON J.F.
THOMSON K.R.** Return Periods of extreme sea levels from short records.
— Journal of Geophysical Research, Vol. 91, NO C10, 15, October 1986. - p 11707-11716
- SUTHONS C.T.** Frequency of occurrence of abnormally high sea levels on the east and south coasts of England.
— Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 25, August 1963. - p. 433-449.
- PUGH D.T.
VASSIE J.M.** Extreme sea levels form tide an surge probability.
— Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference, Hamburg, 1978. American Society of Civil Engineers, New York, 1979. - p. 911-930.
- TAWN J.A.
VASSIE J.M.** Extreme sea levels. The joint probabilities method revisited and revised.
— Proceedings of the Institution of Civil Engineers, part 2, 87, September 1989. - p. 429-442.
- TAWN J.A.
VASSIE J.M.** Spatial transfer of extreme sea level data for use in the revised joint probability method.
— Proceedings of the Institution of Civil Engineers, part 2, 89, September 1990. - p. 433-438.
- TAWN J.A.
VASSIE J.M.** Recent improvement in the joint probability method for estimating extreme sea levels.
— Tidal Hydrodynamics, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce, 41, 1991. - p. 813-827.
- SIMON B.** Calcul de la marée au large pour la réduction des sondages.
— Revue Hydrographique Internationale, Monaco, LXVII(2). juillet 1990.
- SIMON B.** Species concordance method of tide prediction.
— Hydrodynamic Bruce B. Parker (ed.), NOS, NOAA, US Department of Commerce, 1991.
- GUMBEL E.J.** Statistics of extremes
— Columbia University Press, New York, 1958.
- DUCHON J.** Interpolation des fonctions de deux variables suivant le principe de la flexion des plaques minces.
— Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle, série analyse numérique, Vol. 10, n° 12, décembre 1976. - p. 5-12.

ANNEXE 1

CALCUL DE LA PÉRIODE DE RETOUR D'UNE HAUTEUR DE PLEINE MER

Soit $p(x)$ la densité de probabilité de la hauteur de pleine mer prédite.

$p(x) dx$ est la probabilité de prédiction d'une hauteur de pleine mer comprise entre x et $x + dx$

Soit $S(s)$ la probabilité d'observation d'une surcote supérieure à s

Si les surcotes sont indépendantes des hauteurs prédites, la probabilité $P(h)$ d'observation d'une hauteur de pleine mer supérieure à h est obtenue par le produit de convolution :

$$P(h) = \int_{x_0}^{x_1} p(x) S(h - x) dx$$

ou x_0 et x_1 sont respectivement des hauteurs minimale et maximale de pleines mers prédites.

Il y a en moyenne 705,8 pleines mers par an.

On observe donc en moyenne $705,8 \times P(h)$ hauteurs de pleines mers supérieures à la valeur h en une année. La période de retour $R(h)$, exprimée en années, de la hauteur de pleine mer est donc :

$$R(h) = \frac{1}{705,8 \times P(h)}$$

ANNEXE 2

LOI DE GUMBEL (valeurs extrêmes)

Soit $F(s)$ la fonction de répartition des surcotes : si $f(x)$ est la densité de probabilité des surcotes

$$F(s) = \int_{-\infty}^s f(x) dx$$

La loi de Gumbel résulte de l'étude des valeurs extrêmes prises par une variable aléatoire au cours de tirages indépendants. L'analyse de ce type de variables ainsi que celle du dépassement de divers seuils, ont été abordées par Fisher et Tippett et complétées par Gumbel. La loi retenue n'est qu'un cas particulier de celles proposées par la théorie, mais il se trouve qu'elle convient généralement bien aux crues ce qui explique son succès. Elle s'écrit :

$$F(s) = \exp [- \exp (as + b)]$$

où a et b sont des paramètres à déterminer.

La probabilité $S(s)$ d'observation d'une surcote supérieure à s est égale à $1-F(s)$:

$$S(s) = 1 - \exp [- \exp (as + b)]$$

Pour aider à la validation de cette loi, les tracés sont réalisés dans un système de coordonnées telles que les grandeurs représentées en ordonnées sont :

$$Y(s) = \text{Log} [- \text{Log} [1 - S(s)]]$$

Si la loi de Gumbel est vérifiée, la courbe $Y(s)$ est une droite.

ANNEXE 3

INTERVALLES DE CONFIANCE DE LA LOI DE RÉPARTITION DES SURCOTES

On suppose que le nombre de surcotes supérieures à une valeur donnée h se produisant dans un intervalle de temps $(t, t + T)$ est indépendant d'une part du temps t , d'autre part du nombre d'événements se produisant dans tout intervalle de temps $(t', t'+T')$ disjoint de l'intervalle $(t, t+T)$: les surcotes supérieures à une valeur donnée h sont indépendantes les unes des autres et indépendantes du temps. On suppose par ailleurs que la probabilité d'avoir un événement et un seul dans un intervalle de temps T devient proportionnel à T lorsque T tend vers 0 : $\lim P(1, T) = aT$.

Ce sont les conditions nécessaires et suffisantes pour que le processus soit un processus de Poisson.

On peut écrire alors que la probabilité $P(k, T, h)$ d'observer k surcotes supérieures à une certaine valeur h au bout d'un temps T est donnée par la formule :

$$P(k, T, h) = \frac{[f(h)T]^k}{k!} \exp[-f(h)T]$$

Soit $p(h)$ la probabilité d'observer une surcote supérieure à h lors d'une mesure, pendant un temps T

$$p(h) = \frac{1}{nT} \sum_{k=0}^{\infty} P(k, T, h)$$

où n est le nombre d'observations par unité de temps

$nT = N =$ nombre total d'observations

Un calcul simple donne $f(h) = np(h)$

$$\text{d'où } P(k, T, h) = \frac{[Np(h)]^k}{k!} \exp(-Np(h))$$

On suppose que la répartition des surcotes suit la loi de Gumbel :

$$p(h) = 1 - \exp[-\exp(ah + b)]$$

L'intervalle dans lequel doivent se situer 90 % des mesures est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$0,9 = \exp(-Np(h)) \sum_{k=0}^{k_e} \left[\frac{(km)^{(km+k+1)}}{(km+k+1)!} + \frac{(km)^{(km-k)}}{(km-k)!} \right]$$

où $km = Np(h) =$ nombre de surcotes supérieures à la valeur h , selon la loi de Gumbel.

Le calcul consiste à effectuer la sommation sur k jusqu'à ce que la valeur 0,9 soit atteinte ; on obtient aussi une valeur $k = k_e$.

$$\frac{km + k_e}{N} \text{ et } \frac{km - k_e}{N}$$

sont les limites de probabilité entre lesquelles doivent se situer 90 % des mesures.

ANNEXE 4

INTERPOLATION SPATIALE

Considérons N points de coordonnées (x_i, y_i) où les hauteurs de marée sont connues.

Considérons d'autre part un point de coordonnées (x, y) .

Représentant chaque hauteur de marée par $H(x, y)$ au point (x, y) , nous pouvons écrire le système d'interpolation de fonctions de 2 variables suivant le principe de flexion des plaques minces.

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i R_i^2 \text{Log } R_i + ax + by + c$$

$$\text{où } R_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2]^{1/2}$$

avec les conditions complémentaires

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i y_i = 0$$

Ce système est à résoudre pour chaque valeur H connue aux points (x_i, y_i) .

Les inconnues $\{\lambda_i\}$, a, b, c sont déterminées en écrivant que le système est vérifié aux N points d'observation.

On a alors N équations d'observation :

$$H(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^N \lambda_i R_{ij}^2 \text{Log } R_{ij} + ax_j + by_j + c$$

pour $\{j = 1..N\}$ avec $R_{ij} = 0$ pour $j = i$

et 3 équations de contrainte

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i y_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 0$$

On obtient ainsi N + 3 équations indépendantes pour N + 3 inconnues. La résolution du système permet de connaître les valeurs de $\{\lambda_i\}$, a, b, c, donc de calculer H(x, y).

ANNEXE 5

ÉVALUATION DE LA PRÉCISION

1. COEFFICIENT DE DÉTERMINATION

Soient x_i et y_i respectivement les surcotes au port principal et au port secondaire lors des observations repérées par l'indice i . On supposera qu'à une surcote x au port principal correspond une surcote y au port secondaire dont la valeur la plus probable est donnée par la relation :

$$y = ax + b$$

où a et b sont tels que : $\sum_{\forall i} (ax_i + b - y_i)^2$ soit minimum

on obtient $a = \frac{R_{xy}}{\sigma_x^2}$

$$b = \frac{\sigma_y^2 m_y - m_x R_{xy}}{\sigma_x^2} = m_y - am_x$$

avec

R_{xy} = coefficient de corrélation

m_x = moyenne des surcotes au port de référence

m_y = moyenne des surcotes au port secondaire

σ_x^2 = variance des surcotes au port de référence

On pose

$$\sigma^2 = \frac{\sum [a(x_i - m_x) - (y_i - m_y)]^2}{N(a^2 + 1)}$$

σ^2 est la variance des écarts des points expérimentaux à la droite de régression $y = ax + b$

$$\text{Soit } \sigma_{\perp}^2 = \frac{\sum [(x_i - m_x) + a(y_i - m_y)]^2}{N(a^2 + 1)}$$

σ_{\perp}^2 est la variance des écarts des points expérimentaux à la droite perpendiculaire à la droite de régression passant par le barycentre des points.

Le coefficient de détermination C_d est défini par la relation : $C_d = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_{\perp}}$

Il est égal à 1 lorsque les points sont parfaitement alignés ($\sigma = 0$) et à 0 lorsque les points sont uniformément répartis autour du barycentre ($\sigma = \sigma_{\perp}$).

2. PONDÉRATION DES POINTS DE MESURE

La méthode d'interpolation permet d'introduire une pondération de la manière suivante, inspirée des méthodes de lissage par fonctions spline.

La formule de la plaque mince s'écrit :

$$z = ax + by + c + \sum_j^n \lambda_j R_j^2 \text{Log } R_j$$

où z est la cote de la plaque mince au point de coordonnées x et y . $\{x_i, y_i\}$ sont les coordonnées des points de mesure

$$R_j = \left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 \right]^{1/2}$$

La plaque mince qui passe exactement par les n points d'indices i satisfait le système d'équation :

$$z_i = ax_i + by_i + c + \sum_j \lambda_j R_{ij}^2 \text{Log } R_{ij}$$

$$\text{avec } R_{ij} = \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right]^{1/2}$$

Le coefficient de λ_i est nul $\left(\lim_{x \rightarrow 0} (x \text{ Log } x) = 0 \right)$

Étudions des familles de plaques minces passant à une certaine tolérance des points d'indice i . Pour cela, dans la résolution du système (voir annexe 4), remplaçons l'équation précédente par :

$$z_i = ax_i + by_i + c + \sum_j^n \lambda_j R_{ij}^2 \text{Log } R_{ij} + \lambda_i w_i$$

$z'_i = z_i - \lambda_i w_i$ est la cote de la plaque mince qui passe à la distance $d_i = \lambda_i w_i$ du point de mesure i .

Si $w_i = 0$, la cote de la plaque mince au point i est égale à z_i . Cette situation doit correspondre à un coefficient de détermination égal à 1 (les surcotes sont parfaitement connues en i).

Si w_i tend vers l'infini, la contrainte exercée par le point i devient négligeable $\left(\lim_{w_i \rightarrow \infty} \lambda_i = 0 \right)$, et le système d'équations se réduit à celui que l'on aurait écrit pour les $(n - 1)$ autres points.

Cette situation doit correspondre à un coefficient de détermination nul.

On se limite à des plaques où w_i est de la forme $w_i = -k \text{Log } C_{di}$ où C_{di} est le coefficient de détermination du point i

(si C_{di} est voisin de 1, ce qui est le cas général, $w_i \cong k \frac{\sigma_i}{\sigma_u}$, le coefficient k est à déterminer.

Soit $\{d_i\}$ les distances entre la plaque mince « pondérée » et les valeurs de hauteurs aux ports secondaires.

A chaque port secondaire i est affectée une incertitude ϵ_i sur la hauteur. On la calcule en supposant que les écarts de surcotes par rapport à la droite de régression suivent une loi de Gauss. On choisit ϵ_i égal à l'écart à 2σ , ce qui correspond approximativement à l'incertitude à 95 %.

k est choisi tel que $\epsilon_i < d_i$ pour tout i , sauf en un point où $\epsilon_i = d_i$. On procède par approximations successives.

L'écart entre la plaque mince qui passe exactement par les n points (x_i, y_i, z_i) et cette plaque « pondérée » est une estimation de l'incertitude.

ÉVALUATION D'UN SONDEUR MULTIFAISCEAUX GRANDS FONDS POUR LES LEVÉS HYDROGRAPHIQUES

par

Hélène TONCHIA

Ingénieur Principal de l'Armement

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ :

Cet article traite de l'évaluation des sondeurs multifaisceaux selon les normes hydrographiques.

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) utilise deux sondeurs multifaisceaux qui ont été tout deux acceptés comme répondant aux normes hydrographiques, mais seulement pour des portées et des ouvertures bien déterminées.

Le premier, appelé Lennermor, est un sondeur pour petits fonds de 20 faisceaux, développé par Thomson Sintra. Il a été acquis en 1988.

Le second est un sondeur pour grands fonds Simrad EM 12 Dual de 160 faisceaux. Il a été installé et mis en service en 1993.

Cet article rend compte de l'expérience acquise par le SHOM et décrit principalement des biais qui ont été observés lors de l'évaluation de la précision de ces sondeurs.

Il s'appuie plus particulièrement sur les essais de l'EM12 qui ont eu lieu en 1993.

ABSTRACT :

This paper discusses the evaluation of multibeam echo sounders according to hydrographic survey standards.

The French Hydrographic and Oceanographic Service (SHOM) operates two multibeam echo sounders. Both have been accepted as hydrographic (meaning that they meet the hydrographic accuracy standards) for a determined swath width.

The first system, a Thomson Sintra shallow water 20 beams echo sounder called Lennermor, was acquired in 1988.

The second system, a Simrad EM 12 Dual 160 beams deep water echo sounder, was installed and put into service in 1993.

Using SHOM experience, this paper mainly describes some « bias » that were observed when evaluating the accuracies of both echo sounders but is mainly based on the sea trials of the EM 12, that were held in 1993.

INTRODUCTION

Dans le cadre de ses campagnes hydrographiques, le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) met en œuvre six bâtiments, dont deux sont équipés de sondeurs multifaisceaux. Le premier, le *Borda*, dispose, depuis 1988, du Lennermor qui est un système de Thomson Sintra ASM. Il s'agit d'un sondeur pour petits fonds (de portée comprise entre 5 m et 300 m) émettant une fréquence de 100 kHz. Le second, *L'Espérance*, chalutier âgé de 30 ans reconverti en bâtiment hydrographique, est équipé, depuis 1993, d'un sondeur pour grands fonds Simrad EM 12 Dual utilisant des fréquences voisines de 13 kHz. Ce sondeur a fait l'objet d'essais à la mer en juin et juillet 1993 pour être accepté. Pour chacun des deux systèmes, l'objectif principal a été d'évaluer ses performances hydrographiques selon les normes de l'OHI [1]. Pour le système grands fonds, une évaluation exhaustive exigeait des fonds morphologiquement différents et de natures variées, ce qui aurait conduit à de longs transits, or les jours de mer sont souvent comptés ce qui a limité les possibilités. Néanmoins, à l'occasion des premières campagnes, quelques essais supplémentaires ont pu compléter cette évaluation.

Dans un premier temps, cet article définit l'évaluation hydrographique selon le SHOM. Ensuite, les résultats des essais à la mer du Lennermor sont brièvement présentés parce qu'ils ont fourni une expérience considérable. Une quatrième partie présente en détail les résultats des essais à la mer de l'EM 12. Finalement, quelques enseignements sont tirés de la comparaison entre les levés effectués avec un sondeur classique à faisceau large unique (monofaisceau) et ceux utilisant un sondeur multifaisceaux.

L'ÉVALUATION HYDROGRAPHIQUE D'UN SONDEUR MULTIFAISCEAUX

Les principaux points de l'évaluation hydrographique sont :

- la comparaison des mesures du faisceau vertical du sondeur multifaisceaux avec celles d'un sondeur monofaisceau (prises comme référence absolue), ce qui définit le **biais absolu** ;

- la comparaison des mesures des faisceaux extérieurs à celles du faisceau vertical afin de définir la **courbe de biais** qui est une qualité intrinsèque du sondeur ;

- la détermination du nombre de mesures s'écartant de la référence de moins de 1 % de la hauteur d'eau ;

- afin de déterminer la portée hydrographique, aussi bien en profondeur qu'en ouverture ;

- l'évaluation de la précision de la détermination des profondeurs minimales au-dessus des épaves, des obstructions ou des monts sous-marins.

Le biais absolu et la courbe de biais sont déterminés séparément car ils dépendent de paramètres différents. Tout d'abord, la comparaison des faisceaux verticaux des sondeurs monofaisceau et multifaisceaux est indépendante du profil de célérité tant que les mesures sont effectuées simultanément. Cependant les fonds marins doivent être parfaitement horizontaux pour écarter le biais résultant de l'inégalité des empreintes au sol des faisceaux verticaux que l'on compare. En effet la zone éclairée par un sondeur monofaisceau est couramment 200 fois plus étendue que la zone éclairée par le faisceau vertical du sondeur multifaisceaux. Comme la profondeur mesurée par un sondeur vertical correspond à la plus faible distance déterminée dans le cône éclairé, elle se trouve être toujours plus courte que la réalité, dès que les fonds varient. Par petits fonds, ce type de biais peut résulter de la présence de rides de sable.

Par contre, l'évaluation du biais intrinsèque requiert un profil de célérité du son et des mesures de marée très précis, mais il n'est pas nécessaire que la zone soit rigoureusement horizontale.

ÉVALUATION DU SONDEUR LENNEMOR

Le document en référence [2] offre une description détaillée du sondeur Lennemor, de ses essais à la mer et de l'exploitation des données. Ce chapitre expose les résultats principaux. Pour son premier sondeur multifaisceaux, le SHOM a procédé à une évaluation complète et précise. Elle comprenait :

- la comparaison entre les faisceaux verticaux du Lennemor et un sondeur monofaisceau (Atlas DESO 20) ;

- la comparaison statistique entre les mesures des faisceaux extérieurs et celles des faisceaux verticaux ;

- la précision de la détermination des profondeurs minimales au-dessus des épaves et des obstructions.

Lors des premiers essais du Lennemor, un écart de 0,6 % de la hauteur d'eau a été mis en évidence entre ses faisceaux verticaux et le sondeur vertical de référence [2]. Le contrôle du DESO 20, à la barre d'étalonnage, a confirmé l'exactitude de ses mesures ; le Lennemor présentait donc un biais absolu. Les autres essais du Lennemor ont révélé une courbe de biais, qui a été en partie expliquée par un gain inadapté à la présence de l'écho spéculaire, les lois de TVG (Time Varying Gain) ont alors été reprises. La figure 1 représente aussi bien le biais absolu (la valeur 0 correspond à la profondeur fournie par le DESO 20) que la courbe de biais ; cette courbe est antérieure à la modification des lois de TVG qui ont apporté une amélioration notable. Cette courbe a été obtenue en soustrayant les sondes de référence des valeurs mesurées par les différents faisceaux du Lennemor. Ainsi une valeur positive indique que le fond mesuré par le Lennemor est plus profond que celui mesuré par le DESO 20. Sur toutes les courbes, et afin de les rendre comparables, l'échelle des abscisses correspond à l'ouverture maximale de 150°. Comme les courbes sont symétriques, on s'est contenté d'en représenter la moitié. Le Lennemor n'offre qu'une ouverture de 100°, avec 20 faisceaux de 5°, l'axe du dernier faisceau étant situé à 47,5° de la verticale.

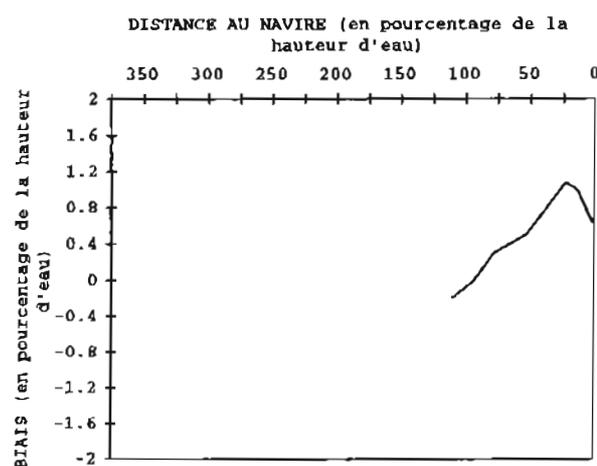


FIG. 1. — Le biais du Lennemor en pourcentage de la hauteur d'eau, comparé au DESO 20. Ceci correspond à une représentation des fonds marins avec une forte exagération verticale. La longueur de l'axe des abscisses représente la plus grande couverture possible de l'EM 12.

Suite aux premiers essais à la mer, 16 faisceaux sur 20 ont été acceptés car ils répondaient aux normes hydrographiques mais seulement après retrait du biais absolu et de la courbe de biais. L'axe du dernier faisceau « hydrographique » est donc situé à 37,5° (75 % de la profondeur) de la verticale.

Essai juin juillet 1993 SMP ESPERANCE

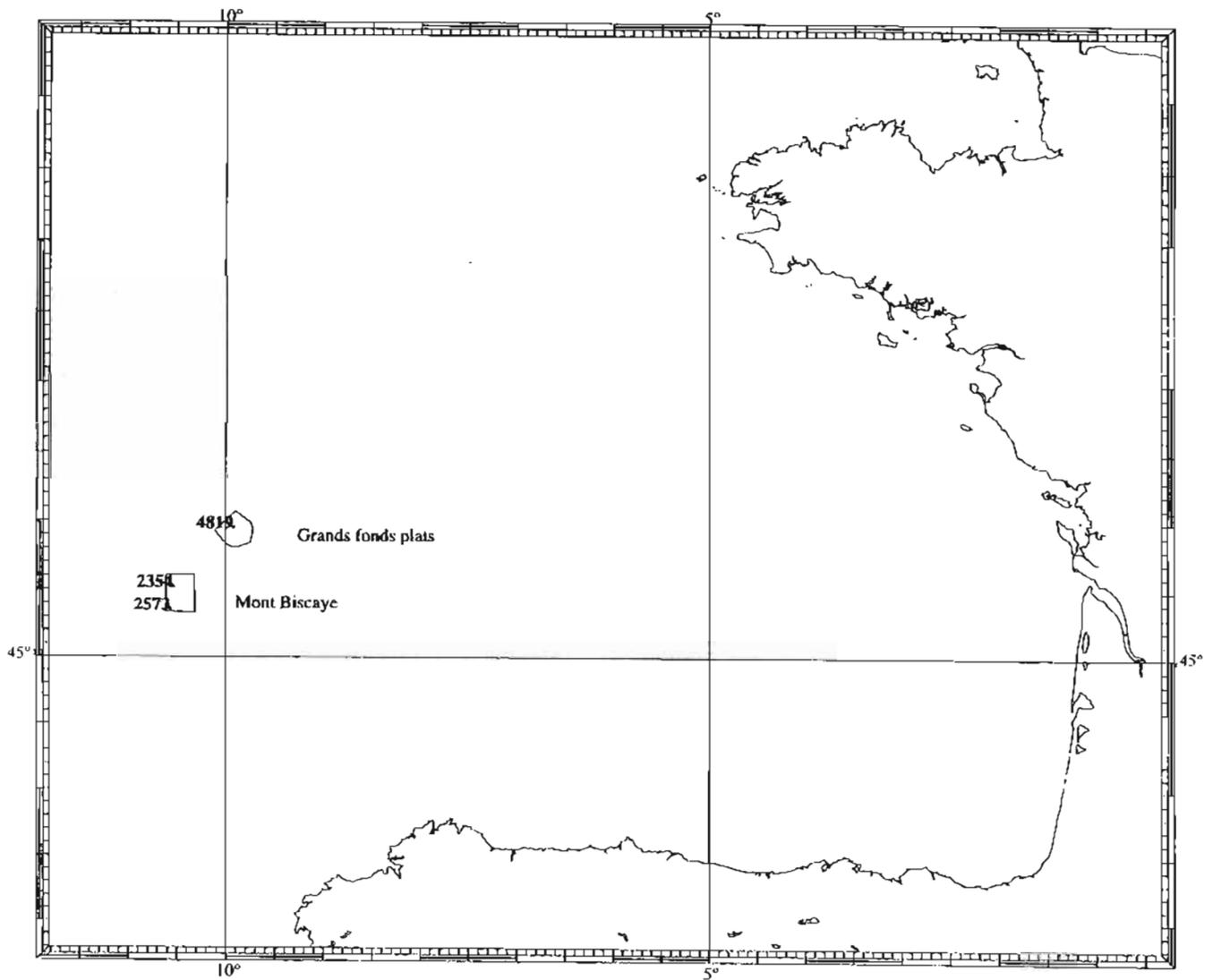


FIG. 2. — Carte représentant les zones d'évaluation du golfe de Gascogne : les grands fonds plats de la plaine abyssale et le mont Biscaye.

La détermination des profondeurs minimales au-dessus des épaves et des obstructions a été jugée satisfaisante, à condition que l'objet sondé soit assez important (largeur > 4 % de la hauteur d'eau).

DESCRIPTION DU SYSTEME EM 12 DE L'ESPÉRANCE

Le sondeur Simrad EM 12 est décrit dans l'article en référence [3] qui traite de l'exemplaire acquis par l'IFREMER en 1990. Les améliorations relatives à la nouvelle répartition des faisceaux qui, d'équi-angulaire est devenue équidistante, sont exposées en [4].

Le système à bord de *L'Espérance* est composé :

- d'un sondeur Simrad EM 12 Dual, constitué en fait de deux sondeurs, dont les antennes d'émission et de réception sont situées de chaque côté de la coque. Leurs fréquences de travail sont voisines de 13 kHz. Le principe du sondeur repose sur la technique des faisceaux croisés : l'émission s'effectue sur un faisceau très large latéralement et d'ouverture longitudinale de 1,8° alors que la réception est composée de 81 voies (par sondeur), d'extension longitudinale importante (20°) afin d'assurer l'intersection avec le faisceau d'émission même lorsque le bâtiment roule, tangue ou s'écarte de sa route, et d'ouverture transversale de 3,5° à 5,2° selon l'incidence ;

- d'une centrale inertielle SAGEM, Microcin, hybridée avec un récepteur GPS, et utilisée comme centrale de cap et de verticale ;

- d'un célérimètre de coque ;

- d'un micro-ordinateur, dédié à la fourniture du profil de célérité du son, qui acquiert les mesures de bathythermographes perdables (XBT), de bathysondes perdables (XCTD), d'un célérimètre profond MORS, et qui dispose de la base de données LEVITUS de température et de salinité de l'eau ;

- d'un système GPS différentiel (SERCEL) utilisé pour la navigation et la Microcin ;

- d'une station de travail pour l'archivage des données (SUN).

Suivant l'inclinaison du fond par rapport au faisceau, le système de détection utilisé par l'EM 12 est :

- la détection par l'amplitude pour les faisceaux les plus perpendiculaires au fond. L'instant de réception est fixé au centre de gravité de l'énergie du signal sur une fenêtre de pré-détection, déterminée principalement par un seuil. Toute l'énergie reçue dans le faisceau de réception concourt à cette détermination, et les réflecteurs forts (épaves par exemple) déplacent l'instant de détection du centre du faisceau vers leurs positions à l'intérieur de ce faisceau ;

- la détection par la phase pour les faisceaux les plus inclinés par rapport au fond. L'instant de détection est déterminé par le passage à zéro du déphasage entre deux demi-faisceaux, élaborés chacun avec les signaux des deux tiers de l'antenne de réception. La

détection utilise localement une approximation polynômiale de la courbe de phase en fonction du temps. Cette méthode permet une résolution plus fine que la largeur du faisceau, résolution qui dépend d'une part de la taille du réflecteur et d'autre part du nombre d'échantillons utilisés dans l'approximation polynômiale.

Les précisions, résolutions et caractéristiques de ces deux méthodes sont donc différentes.

D'autre part on peut noter que le sondeur délivre aussi de l'imagerie, c'est-à-dire l'amplitude du signal reçu en fonction du temps, normalisée et corrigée aussi bien de la propagation que de la loi de Lambert. Ces données sont associées aux faisceaux et donc à la bathymétrie, ce qui permet de les géo-référencer facilement.

DESCRIPTION DES ESSAIS A LA MER DE L'EM 12

Afin de définir la teneur de ces essais à la mer, le SHOM a tenu compte des essais déjà réalisés par l'IFREMER [3]. Cependant, en raison des objectifs différents de l'IFREMER, qui n'est pas tenu de se conformer à la norme hydrographique, le SHOM a tenu à effectuer des essais exhaustifs. Par exemple, l'IFREMER a davantage mis l'accent sur l'écart type des mesures plutôt que sur l'évaluation du biais absolu ou de la courbe de biais.

Pour ces essais à la mer, l'EM 12 a été exploité dans le mode de répartition équidistante des faisceaux dans une ouverture de 128°. Les données ont fait l'objet d'une épuration manuelle très sommaire, afin de retirer quelques sondes aberrantes qui s'écartaient beaucoup de la référence car cela aurait faussé le calcul d'écart types, mais leur faible nombre (de l'ordre de 0,1 % des données) ne modifie pas les autres résultats.

1 - Biais absolu

Les données de l'EM 12 ont été comparées à celles du sondeur monofaisceau Raytheon (12 kHz) sur la plaine abyssale (4 800 m de profondeur, pente inférieure à 10 m/km). Un levé dense a été réalisé par des profils espacés de 2 000 m, les deux sondeurs multifaisceaux et monofaisceau étant en fonction simultanément. L'état de la mer a varié entre 3 et 4. La zone de ce levé est indiquée sur la carte de la figure 2.

2 - Détermination de la courbe de biais

Trois zones différentes ont été choisies, une sur la plaine abyssale (4 800 m de profondeur), une autre sur le mont Biscaye (profondeur moyenne de 3 100 m) et une autre sur le plateau continental (150 m de profondeur). Deux levés perpendiculaires de 24 profils parallèles espacés de 1 000 m ont été effectués sur le mont Biscaye. La zone de ces levés, ainsi que celle de la plaine abyssale, apparaît sur la figure 2, alors que la

carte, établie à partir d'un des deux levés du mont Biscaye, est donnée en figure 3. Deux levés perpendiculaires de 6 profils parallèles ont été réalisés sur le plateau continental.

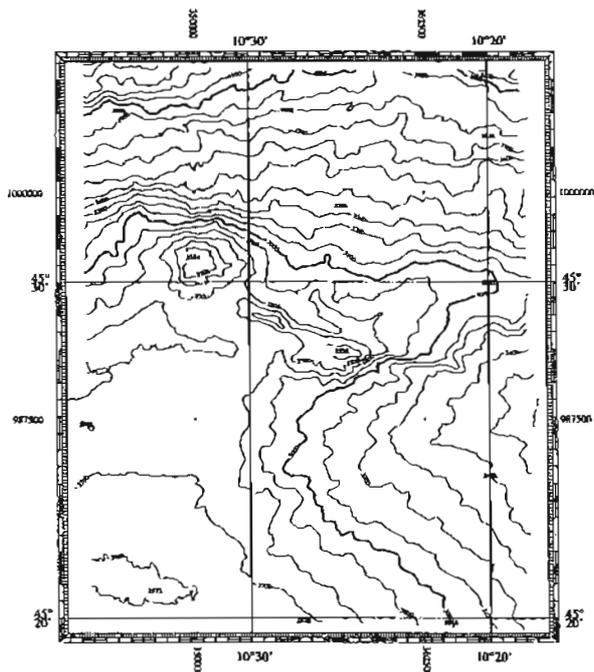


FIG. 3. — Carte de la zone d'évaluation du mont Biscaye.

3 - Précision spécifiée dans le marché d'acquisition du sondeur

Les performances attendues de l'EM 12 étaient les suivantes :

Pour chacun des faisceaux à l'intérieur de la fauchée de 120° et s'écartant de moins de 6 000 m de l'axe du navire, et pour des profondeurs supérieures à 200 m, l'erreur totale, définie comme la différence entre les profondeurs mesurées et le modèle numérique de terrain de référence, ne devait pas dépasser 1% de la hauteur d'eau, pour 90% des mesures, comme l'exige la norme hydrographique. Mais contrairement à la norme hydrographique, cette erreur totale incluait l'incertitude résultant, d'une part de l'erreur dans la mesure du profil de célérité du son (le profil de célérité a été mesuré par le SHOM), et d'autre part du calcul des rayons (EM 12). Sur la plaine abyssale, un modèle numérique de terrain établi avec les données du sondeur vertical a déterminé la référence. Comme le critère de 90 % n'a pas été réduit pour tenir compte des incertitudes provenant aussi bien du sondeur monofaisceau que du profil de célérité ou de l'erreur résultant de la modélisation, les critères choisis étaient donc un peu plus stricts que les normes prescrites par l'OHI. Cependant, le même profil de célérité a été utilisé pour corriger les faisceaux verticaux des deux sondeurs. Sur le mont sous-marin, la

référence a été établie par un modèle numérique de terrain réalisé avec les données de faisceaux choisis lors de l'évaluation sur la plaine abyssale, pour leur plus grande fidélité au fond.

La précision de la détermination des profondeurs minimales des monts sous-marins n'a pas été évaluée lors de ces essais car ce point, ne faisant pas partie des normes hydrographiques, n'était pas compris dans les spécifications de performances demandées. Cependant cette précision a été évaluée ultérieurement.

L'évaluation effectuée sur le plateau continental ne faisait pas, non plus, partie des essais contractuels car ce système n'est pas destiné aux petits fonds.

4 - Observation du profil de célérité

En raison de quelques problèmes techniques, le célérimètre grands fonds n'a pas été utilisé ; les profils de célérité ont donc été déduits des mesures XBT jusqu'à 2 000 m et de la base de données LEVITUS au-delà et pour le calcul de la célérité à partir des mesures de températures. Ceci n'a eu aucune conséquence sur le biais absolu, mais aurait pu compromettre la détermination de la courbe de biais. Il semble heureusement que tel n'a pas été le cas.

ÉTALONNAGES

Avant la réalisation des essais à la mer, des étalonnages ont été effectués selon les procédures décrites dans le manuel opérateur de l'EM 12. Ils ont porté sur la détermination du biais de roulis et du biais de tangage de la centrale d'attitude et du retard dans la prise en compte du message de navigation.

Un biais de roulis de 0,05° a été adopté sur la plaine abyssale après avoir exploité un même profil réalisé dans deux directions opposées. Ce biais a ensuite été pris en compte, directement par le sondeur multifaisceaux.

Le biais de tangage est obtenu par la comparaison des données verticales d'un profil perpendiculaire à une forte pente, effectué dans deux directions opposées. Malgré plusieurs tentatives, ce biais de tangage n'a pas pu être mesuré. En effet, une modification des méthodes de prises en compte du tangage s'est accompagnée d'une bogue dans les logiciels du sondeur ; les essais à la mer ont donc été retardés jusqu'à ce que Simrad ait réalisé les corrections nécessaires. Par la suite, aucun biais de tangage significatif n'a été trouvé.

RÉSULTATS DES ESSAIS LA MER

A - BIAIS ABSOLU

Le sondeur n'a présenté aucun biais absolu significatif sur la plaine abyssale (4 800 m). Cette zone étant peu éloignée de Brest, *L'Espérance* y effectue régulièrement des levés de contrôle. Le même modèle numérique de terrain est toujours utilisé comme référence et aucun biais n'est jamais apparu.

B - COHÉRENCE DES FAISCEAUX (COURBE DE BIAIS)

1 - Plaine abyssale

En l'absence de biais absolu, le modèle numérique de terrain établi avec les données du sondeur monofaisceau a été conservé comme référence. Les données de chaque faisceau ont été comparées au modèle numérique de référence par le calcul de l'écart moyen, de l'écart type et du pourcentage des profondeurs s'écartant de moins de 1 % de la hauteur d'eau de la référence. Bien que le sondeur ait présenté une courbe de biais, les résultats sont restés conformes à la précision spécifiée. La figure 4 montre le pourcentage de profondeurs s'écartant de la référence de moins de 0,9 % de la hauteur d'eau, par groupe de 4 faisceaux et la figure 5 indique la différence moyenne entre les données de l'EM 12 et le modèle numérique de terrain. La courbe de biais atteint 0,6 % de la hauteur d'eau pour une incidence de 64°. Plus de 300 000 profondeurs ont servi au calcul des statistiques.

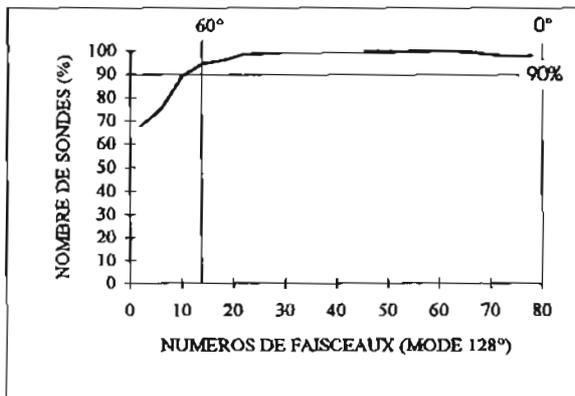


FIG. 4. — Évaluation de la précision hydrographique sur la plaine abyssale (4 800 m). La courbe présente le nombre de profondeurs s'écartant de la référence Raytheon de moins de 0,9 % de la hauteur d'eau, pour chaque groupe de 4 faisceaux consécutifs. L'espacement des faisceaux est équidistant et est donc proportionnel à la distance à l'axe du navire. La valeur des abscisses est la valeur moyenne des numéros de faisceaux. Le faisceau vertical correspond au faisceau 80 et le faisceau 13 est incliné à 60°.

Les critères utilisés ici sont un peu plus stricts que la norme hydrographique.

Ce biais était comparable soit à un biais de 8 m/s sur la célérité de surface utilisée pour la formation de voies, soit à un biais de 3 m/s sur la célérité de surface du

profil de célérité du son (effet de l'incidence des rayons). C'est parce que les courbes ultérieures, et en particulier celle établie par fonds de 156 m, ont confirmé l'existence de ce biais, qu'il était peu probable qu'il résulte d'un profil de célérité du son erroné.

Non seulement la courbe de biais était incurvée (les faisceaux latéraux mesurant des sondes plus courtes) mais les faisceaux au voisinage de la verticale (incidences comprises entre 5° et 18°) étaient plus bruyants et plus éloignés de la référence que les faisceaux verticaux ou les faisceaux à plus grande incidence. Ce phénomène, clairement observé sur la plaine abyssale, est plus communément appelé « les cornes » bien que celles-ci soient dirigées vers le bas.

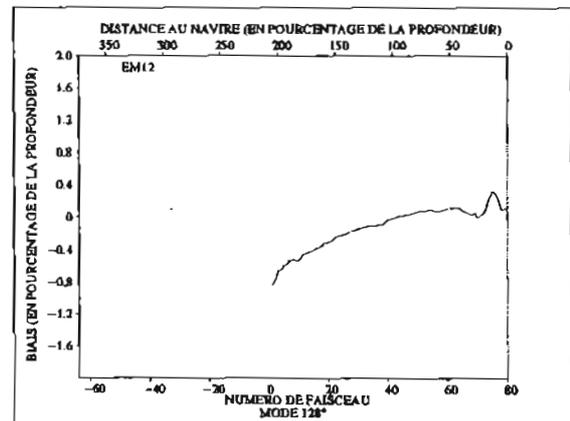


FIG. 5. — Courbe de biais déterminée sur la plaine abyssale (4 800 m). Comme l'espacement des faisceaux est équidistant, ce tracé donne une représentation des fonds à l'échelle avec une forte exagération de la verticale. Lorsque le biais est positif, les sondes sont plus profondes que la référence.

2 - Le mont Biscaye

Deux levés perpendiculaires ayant été effectués dans cette zone, deux modèles de terrain ont pu être calculés, un dans chaque direction. Les faisceaux qui, sur la plaine abyssale, ne présentaient aucun biais et qu'un faible écart-type ont été utilisés pour la confection de ces modèles numériques de terrain. Le choix des faisceaux de référence, utilisés pour la réalisation des modèles numériques de terrain, a été effectué afin d'éviter toute redondance des données. La comparaison des deux modèles a montré qu'ils s'écartent de plus de 1,4 % de la profondeur pour moins de 0,1 % des noeuds.

Ensuite, les données du levé effectué dans une direction ont été comparées, faisceau par faisceau, au modèle de terrain du levé perpendiculaire. Le pourcentage de données s'écartant, de moins de 1 % de la hauteur d'eau, du modèle de référence, a été calculé pour chaque faisceau (figure 6).

Le résultat correspondait à la précision exigée. Ce pourcentage décroît considérablement sur les faisceaux extérieurs et ceci pour deux raisons. Premièrement, en raison de l'augmentation du biais, les profondeurs obtenues s'écartent de la référence et

deuxièmement, l'écart type augmente. Mais le faible pourcentage observé à l'incidence de 16° reste inexpliqué. Il correspond à des profondeurs plus faibles au voisinage des cornes de la courbe de biais et à un accroissement local de l'écart type. Il semblerait que ces « cornes » et ce bruit soient liés à l'algorithme de détection par l'amplitude. Le nombre total de sondes utilisées pour les calculs mentionnés ci-dessus est de 2 500 000.

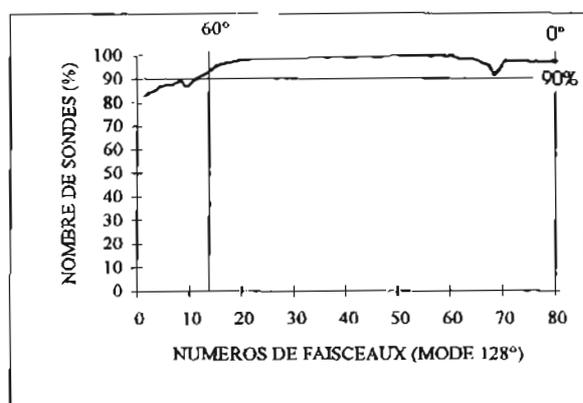


FIG. 6. — Évaluation de la précision hydrographique sur un mont sous-marin (3 100 m). La courbe indique le nombre de profondeurs s'écartant de moins de 1 % de la hauteur d'eau, pour chaque faisceau. En raison de l'espacement équidistant des faisceaux, l'abscisse correspond aussi à la distance au navire. Le faisceau vertical correspond au faisceau 80 et le faisceau 13 est incliné à 60° .

La courbe de biais exprimée en pourcentage de la profondeur est similaire à celle du levé sur la plaine abyssale (figure 7).

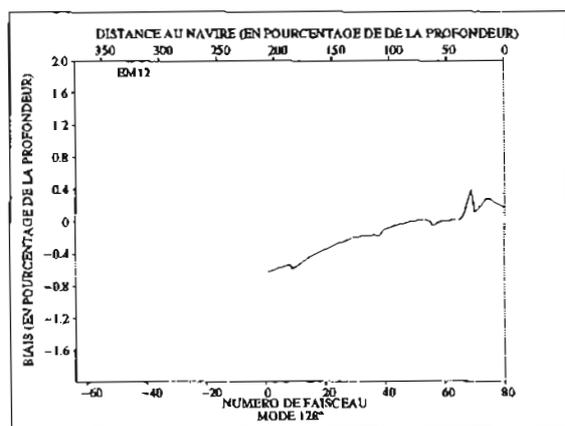


FIG. 7. — Courbe de biais déterminée sur un mont sous-marin (3 100 m). Pour chaque faisceau, elle présente la différence moyenne des sondes avec le modèle numérique de terrain de référence. En raison de l'espacement équidistant des faisceaux, les abscisses correspondent aussi à la distance au navire.

Bien que, d'une part, l'EM 12 vérifiait la précision hydrographique comme spécifié, et que d'autre part, ce biais aurait pu résulter d'un profil de célérité erroné, Simrad s'est penché sur la question. Finalement le biais a pu être facilement expliqué par une estimation erronée

de la longueur réelle de l'antenne de réception. Par conséquent, l'angle d'incidence réel des faisceaux était légèrement différent de l'angle prévu, il se rapprochait de la perpendiculaire à l'antenne. Lors d'un passage ultérieur en bassin, la mesure des antennes de réception (longueur de 2,4 m) a confirmé la longueur prédite par Simrad. En effet, lors de l'installation, les cales aux extrémités des antennes ont été rognées, pour reprendre l'ajustement imparfait des modules qui la forment, ce qui explique l'allongement global.

3 - Le plateau continental

Sur le plateau continental les profils ont été espacés de sorte que les faisceaux choisis en référence (absence de biais et faible écart type) couvrent la surface de référence en étant juste adjacents. Il est rapidement apparu que la marée ne pouvait pas être négligée. Heureusement, le SHOM dispose d'une modélisation de la propagation de l'onde de marée dans cette zone, qui a été contrainte, lors de la création du modèle de marée, par les mesures d'un marégraphe immergé au voisinage immédiat de la zone de sondage. Il a donc été possible de corriger les sondes de la marée prédite, car aucune variation importante de surcote ou décote n'a perturbé ces résultats. Cependant, l'absence d'un marégraphe, au moment du sondage, interdit d'utiliser cette zone pour un contrôle absolu ultérieur, d'autant plus que l'absence de capteur de pilonnement n'a pas permis d'exploiter les mesures du sondeur vertical petits fonds (Atlas DESO 20).

Comme pour le levé précédent, l'erreur moyenne (figure 8) et l'écart type ont été calculés pour chaque faisceau, confirmant ainsi l'existence d'un biais général sur les faisceaux extérieurs. En outre, il apparaît d'une part que la plus large ouverture utilisable est de 140° et

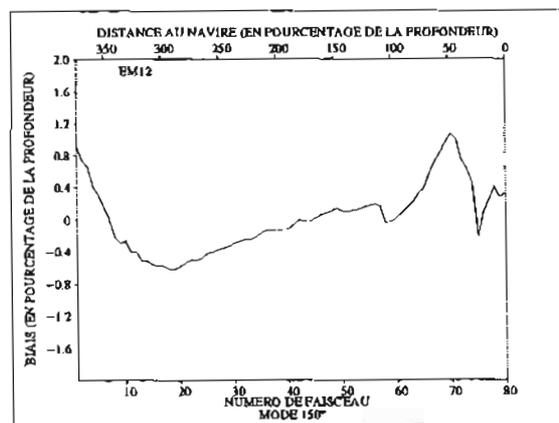


FIG. 8. — Courbe de biais déterminée sur le plateau continental (150 m). Pour chaque faisceau, elle donne la différence moyenne entre les sondes et le modèle numérique de terrain de référence. En raison de l'utilisation de l'espacement équidistant des faisceaux, les abscisses correspondent aussi à la distance au navire. Le faisceau vertical correspond au faisceau 80 et le faisceau 44 est incliné à 60° .

d'autre part que les profondeurs mesurées à l'incidence de 25° sont bien trop importantes.

Il semblerait que ce dernier phénomène soit lié à la détection par l'amplitude. En petits fonds, le nombre d'échantillons à l'intérieur d'un faisceau est trop faible pour la détection par la phase puisque la cadence d'échantillonnage reste constante. Par conséquent, la largeur de la zone où s'effectue la détection par l'amplitude augmente lorsque la profondeur diminue. Cependant, même si le sondeur n'est plus hydrographique par petits fonds, son apport est loin d'être négligeable car il permet par exemple d'observer des rides qui seraient restées inconnues avec un sondeur monofaisceau et l'imagerie est aussi un atout considérable.

4 - Conclusion

Que ce soit sur le mont sous-marin (profondeur moyenne de 3 100 m) ou sur la plaine abyssale (4 800 m), les performances ont été conformes aux spécifications. Les essais à la mer par petits fonds ayant révélé un biais encore inexplicé (incidence de 25°), il aurait été intéressant de déterminer sa variation avec la profondeur mais il n'existe aucun fond plat (avec des profondeurs comprises entre 200 et 3 000 m) aux abords de Brest qui conviennent pour ce type de levé.

AUTRES RÉSULTATS

Depuis ces essais à la mer, le système est contrôlé assez régulièrement. Pour chaque nouvelle version du logiciel EM 12, quelques profils sont effectués sur la plaine abyssale, au large de Brest.

1 - Contrôle sur la plaine abyssale après prise en compte de la longueur réelle de l'antenne de réception

Malheureusement, les conditions météorologiques étaient mauvaises et l'état de mer atteignait 5. Un seul profil a été effectué et les données ont été comparées au modèle numérique de terrain de référence précédent. En raison de l'état de mer et de la longueur du profil de reconnaissance, il y a eu très peu de profondeurs sur les faisceaux extérieurs (moins de 10). Ce n'était pas d'une très grande importance puisqu'à partir des tracés de contrôle en temps réel, il était déjà évident que le biais avait disparu. La détermination de la courbe de biais (figure 9) a confirmé la disparition du biais des faisceaux extérieurs mais a également montré l'absence inattendue des cornes.

On peut raisonnablement penser que la disparition des cornes résulte de l'emploi du filtre « awful weather » utilisé avant la détection. En effet pour réduire l'effet du bruit causé par les mauvaises conditions météorologiques et compenser les pertes de signal, lors des nombreux passages de bulles devant les transducteurs, l'EM 12 moyenne les mesures de phase d'une part et agrandit la fenêtre de détection d'autre part, augmentant de ce fait le nombre d'échantillons

disponibles pour la détection. L'analyse des données montre que la détection par l'amplitude est limitée à un nombre de faisceaux plus restreint que lorsque ce filtre n'est pas mis en œuvre. D'autres essais ont, par la suite, confirmé que les cornes étaient principalement liées au procédé de détection par l'amplitude. Néanmoins, il reste encore à donner une bonne explication de ce phénomène afin d'en tirer profit pour améliorer les performances des algorithmes de détection.

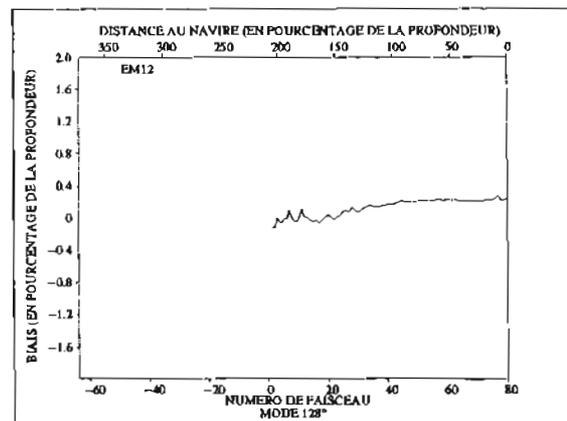


FIG. 9. — Courbe de biais obtenue sur la plaine abyssale (4 800 m) dans de très mauvaises conditions de mer et après prise en compte de la longueur réelle de l'antenne. La courbe représente la différence moyenne observée entre les sondes de chacun des faisceaux et le modèle numérique de terrain de référence (levé monofaisceau). Le faisceau 13 est incliné à 60°.

2 - Contrôle sur le plateau continental après prise en compte de la longueur réelle de l'antenne

La zone avait une profondeur de 200 m. Le biais absolu n'a pas été mesuré car le sondeur monofaisceau petits fonds ne disposait toujours pas d'un compensateur de pilonnement. La courbe de biais est présentée sur la figure 10. La précision hydrographique

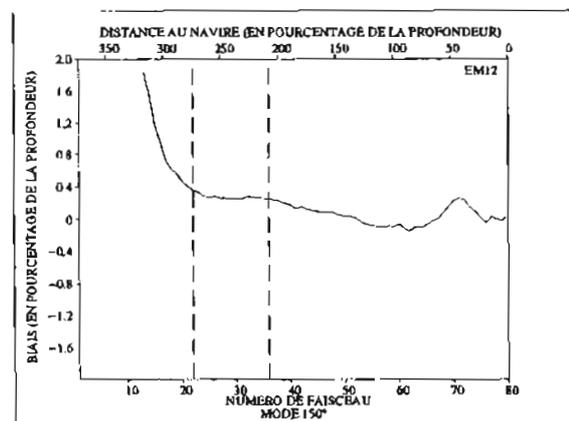


FIG. 10. — Courbe de biais déterminée sur le plateau continental (200 m). Le tracé indique la différence moyenne observée entre les sondes de chacun des faisceaux et le modèle numérique de terrain de référence. En raison de l'espacement équidistant des faisceaux, les abscisses correspondent aussi à la distance au navire. Les lignes brisées limitent les fauchées de 128° et de 140°.

a été calculée pour chaque faisceau et chaque procédé de détection (figure 11). Il semble que la détection par l'amplitude ne soit aux normes hydrographiques que pour une ouverture de 40° et que la détection par la phase le soit pour une ouverture de 120° , à l'exception de l'incidence de 38° pour le sondeur bâbord. Ces résultats demandent à être confirmés.

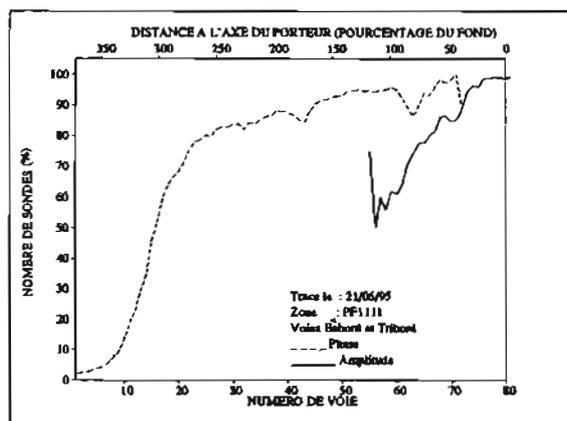


FIG. 11. — Précision hydrographique sur le plateau continental (197 m). La courbe représente le pourcentage de sondes de chacun des faisceaux, pour les deux méthodes de détection possibles, s'écartant du modèle de terrain de référence de moins de 1% de la profondeur. Le faisceau 40 correspond à une incidence de 60°

3 - Mesure des profondeurs minimales des monts sous-marins

Bien que les normes hydrographiques spécifient que la précision de 1 % doit être obtenue pour la détermination des profondeurs minimales inférieures à 40 m, le SHOM applique cette norme, dans la limite où les équipements le permettent, même dans les grands fonds. C'est pourquoi quelques évaluations de l'EM 12 ont été effectuées sur des monts sous-marins. Malgré le nombre insuffisant de données disponibles pour tirer une conclusion définitive, ces résultats montrent clairement que le procédé de détection d'amplitude est moins précis que le procédé de détection de phase sur les faisceaux extérieurs et ne permet pas d'atteindre la précision de 1% de la hauteur d'eau. Pour plusieurs raisons, ces résultats sont loin d'être surprenants.

D'une part, l'ouverture du faisceau de réception est malgré tout assez large (4°) et la détection d'amplitude fournit donc une profondeur lissée.

D'autre part, les deux procédés de détection, le procédé d'amplitude et, dans une moindre mesure, le procédé de phase, sont basés sur l'hypothèse que les fonds sont homogènes et relativement plats à l'intérieur de la fenêtre de détection. Dans l'ensemble, ceci est vérifié mais la paroi d'un canyon ou le sommet d'un mont rocheux peuvent présenter des parois verticales ou être accidentés produisant alors un signal très bruité.

De ce fait, sur le sommet d'un mont sous-marin, la détection par l'amplitude sera probablement biaisée par

la parcelle du fond, à l'intérieur de l'empreinte du faisceau, qui renverra l'écho le plus fort.

Le procédé de détection par la phase, quoique plus précis dans l'ensemble, ne permet pas non plus d'atteindre la précision de 1% de la hauteur d'eau pour la détermination des points hauts. Ceci s'explique par le fait que l'hypothèse d'un fond plat n'est pas vérifiée, produisant par exemple des discontinuités inattendues pour lesquelles ce mode de détection n'est pas adapté. On a d'ailleurs observé, lors d'un petit levé « d'exercice » sur une épave, couchée dans des fonds de 100 m, au large de Brest, que l'EM 12 était incapable d'effectuer la moindre détection par la phase au niveau de l'épave et ce quel que soit le faisceau.

4 - Comparaison des modes petits fonds et grands fonds (fonds plats de 700 m)

La principale différence entre les modes petits fonds et grands fonds réside dans la longueur de l'impulsion :

- en mode petits fonds, l'émission est formée d'une seule impulsion de 2 ms. Les deux sondeurs (bâbord et tribord) émettent sur deux fréquences différentes (voisines de 13 kHz). Le signal reçu est échantillonné tous les 0,6 m (distance oblique) ;

- en mode grands fonds, chaque antenne émet successivement dans cinq secteurs adjacents. L'impulsion dure 10 ms et trois fréquences différentes permettent de minimiser les interférences. L'échantillonnage à la réception s'effectue à une période de 2,4 m.

Cette comparaison a pu être réalisée sur des sommets plans de volcans sous-marin d'une profondeur moyenne de 700 m. Des courbes de biais en mode grands fonds et petits fonds ont été établies et ont montré que le phénomène de cornes était bien présent dans les deux modes, mais qu'il était moins marqué en mode petits fonds. En conséquence le mode petits fonds est toujours préféré, tant que le rapport signal sur bruit est suffisant. L'écart type en mode grands fonds est très légèrement supérieur à celui obtenu en mode petits fonds (d'environ 20 %).

5 - Comparaison avec un levé effectué par un sondeur monofaisceau dans les fonds accidentés

Il peut paraître surprenant de comparer un tel levé multifaisceaux à un levé classique réalisé par un sondeur monofaisceau. Pourtant, cette comparaison est nécessaire car peu d'hydrographes imaginent qu'il puisse s'agir d'un procédé hydrographique tellement il est récent (après tout, la première génération de sondeurs multifaisceaux commerciaux est âgée d'à peine plus de 10 ans).

Pour les levés grands fonds, le SHOM utilisait et continue à utiliser les sondeurs verticaux Raytheon 12 kHz à faisceau de 30° , puisqu'un seul de ses navires est équipé pour l'instant d'un sondeur multifaisceaux grands fonds. Les objections à l'utilisation des sondeurs

multifaisceaux pour les levés hydrographiques sont présentées dans le paragraphe suivant ; elles seront ensuite discutées puis le résultat de la comparaison entre ces deux types de sondeurs, lors d'un levé sur la dorsale médio-atlantique sera exposé.

La première objection contre les levés multifaisceaux peut paraître étonnante. En effet, il ne fait aucun doute que les sondeurs monofaisceau correspondent à la norme hydrographique, puisque celle-ci a été établie en fonction de leurs performances. En outre, les levés monofaisceau sont réalisés selon les règles de l'art, en effectuant des profils espacés conformément aux recommandations de l'OHI, alors que l'utilisation des équipements multifaisceaux ne fait pas encore l'objet de normalisation. Donc le sondeur monofaisceau est la référence hydrographique et donc, par définition, la norme de précision de 1% est atteinte. Il ne vient pas, non plus, à l'esprit de remettre en cause la qualité de ces levés, pourtant chacun sait que le sondeur monofaisceau présente une large ouverture, et bien que la mesure corresponde à une distance oblique qui peut différer de plus de 3 % de la profondeur, cette large ouverture reste un atout puisqu'elle garantit la détection des monts sous-marins sur une large bande (50 % de la profondeur). Donc, comme les levés effectués au moyen de sondeurs multifaisceaux ne répondent à aucune norme et comme, en raison de leurs faisceaux plus étroits, ils ne donnent pas la même mesure que le sondeur monofaisceau qui est la référence, ils ne peuvent être hydrographiques.

D'autre part, les sondeurs multifaisceaux ne sont utilisés que par très peu de services hydrographiques, ce qui est un argument supplémentaire en faveur de leurs détracteurs.

Finalement, des doutes subsistent sur la qualité des faisceaux extérieurs en raison des phénomènes de réfraction résultant de la variation de la célérité avec la profondeur.

On se méfie des données multifaisceaux pour toutes les raisons évoquées ci-dessus et aussi parce que, en raison de son large faisceau, le sondeur monofaisceau mesurera toujours, en un point donné, un fond plus faible (donc, pour certains, plus hydrographique). Si bien que, lorsque dans une même zone, on dispose d'un levé monofaisceau « parfaitement hydrographique » et d'un levé multifaisceaux, on voudra, bien sûr, conserver les deux. Mais comme les profondeurs multifaisceaux sont plus grandes, elles n'apparaîtront probablement jamais sur les cartes. De ce fait, les données multifaisceaux sont inutiles, alors pourquoi ne pas se contenter d'utiliser le bon vieux Raytheon ?

Le résultat de la comparaison entre les données multifaisceaux et les données monofaisceau est assez prévisible, particulièrement dans le cas d'un faisceau d'ouverture de 30°. Elle a été effectuée sur la dorsale médio-Atlantique. Le sondeur monofaisceau offre une représentation très lisse des fonds marins et la

différence de profondeurs obtenue entre ces deux levés atteint 15 % de la hauteur d'eau. Dans chaque cas cette différence a pu être expliquée par l'apparition d'échos latéraux dans des fonds escarpés, en prenant les données multifaisceaux comme référence.

Un autre argument en faveur des sondeurs multifaisceaux, ou plus précisément des sondeurs numériques, est que, malgré tout le soin apporté au suivi en temps réel du fond, sur un sondeur classique, il n'est parfois pas possible de détecter un changement d'échelle (par exemple 750 m) de courte durée (par exemple 5 mn), dans des fonds très escarpés.

On peut aussi penser que les services hydrographiques sont peu équipés en sondeurs multifaisceaux, car ces équipements sont restés longtemps très coûteux.

Les essais à la mer présentés dans le chapitre précédent ont très clairement montré qu'un sondeur multifaisceaux peut répondre aux normes hydrographiques, pour une portée bien déterminée en profondeur et ouverture, bien qu'en raison de sa résolution il fournisse des profondeurs plus importantes qu'un sondeur monofaisceau. C'est pourquoi, tant que le levé multifaisceaux est correctement réalisé (profil de célérité rafraîchi suffisamment souvent), il reste plus précis qu'un levé monofaisceau, à l'exception peut-être de la plaine abyssale où le sondeur monofaisceau offre une plus grande robustesse. Alors, lorsque ces deux types de levés sont disponibles dans une même zone, il n'est malheureusement pas possible de les conserver ensemble, sauf exceptions très rares où le sondeur monofaisceau aurait pu mesurer un sommet à sa verticale. Le levé monofaisceau, même réalisé dans les règles de l'art, est implacablement remplacé et annulé. Cependant, comme les navires de commerce n'utilisent que des sondeurs monofaisceau et pourraient souhaiter utiliser une carte pour déterminer leur position, il pourrait s'avérer nécessaire de simuler l'ouverture des sondeurs des navires de commerce, sur les cartes marines.

Il est malgré tout nécessaire de rappeler que ces conclusions ont été établies pour un levé par grands fonds et qu'elles ne s'appliquent pas directement aux levés par petits fonds, et particulièrement aux levés par fonds inférieurs à 40 m. En effet, il devient alors important de détecter les obstructions qui présentent un danger pour la navigation et ensuite de les coter précisément. Or, il est vraisemblable que ni les sondeurs multifaisceaux, ni les sondeurs monofaisceau ne peuvent remplir ces fonctions. Cependant, pour un objet détecté par d'autres méthodes, comme le sondeur latéral, et bien positionné, le sondeur monofaisceau, utilisé dans le mode de mesure du premier écho, est mieux adapté. Cependant, rien n'interdira aux sondeurs multifaisceaux, dans un avenir proche, de disposer d'une fonction de mesure du premier écho, avec une récurrence plus forte sur les faisceaux verticaux.

6 - Exploitation de l'imagerie

Ce dernier point ne concerne plus les normes hydrographiques, mais il faut indiquer que l'imagerie est un atout supplémentaire de ces sondeurs multifaisceaux, bien que les plus anciens de ces équipements, comme le Lennermor, n'en disposent pas.

La figure 12 représente une mosaïque d'imagerie. Comme la normalisation du signal au voisinage de l'écho spéculaire est insuffisante, des traces régulières correspondant aux routes du bâtiment, apparaissent clairement sur les fonds les plus réfléchissants (en sombre). Par grands fonds, comme ici, l'interprétation d'une telle image est aisée, les sommets des volcans, composés de roches volcaniques, réfléchissent fortement le signal acoustique et apparaissent en gris sombre sur le tracé. Par contre les sédiments de la plaine abyssale, peu réfléchissants, restent en gris clair. Entre les deux, on peut observer des sédiments grossiers, gris moyens, qui s'accumulent dans des canyons sinueux (au nord des deux volcans centraux).

Par contre la figure 13, qui représente une mosaïque par petits fonds, montre clairement des variations de nature de fond, qui ne peuvent être interprétées autrement que par des prélèvements.

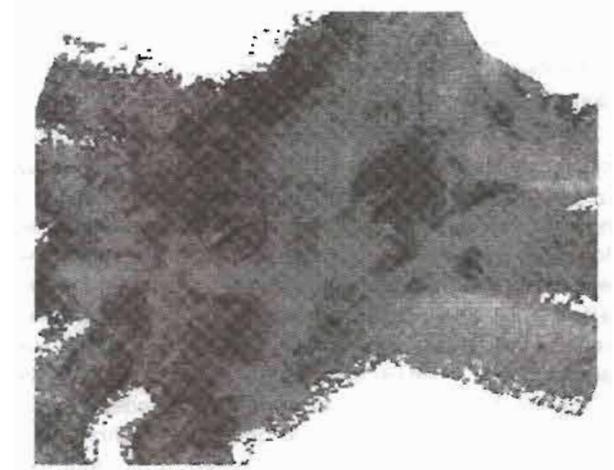


FIG. 13. — Mosaïque réalisée par petits fonds, au voisinage d'une épave qui apparaît légèrement comme un trait clair, bordé d'un trait plus foncé, au centre du cercle noir. Cette épave est cassée, c'est pourquoi le trait n'est pas rectiligne. Elle mesure près de 150 m de long. Les fonds sont voisins de 100 m, et si l'EM12 ne permet pas de coter précisément cette épave, ni même de la détecter facilement par l'imagerie : il fournit des informations incomparables quant aux variations de la réflectivité des fonds qui sont représentées par les différents niveaux de gris.

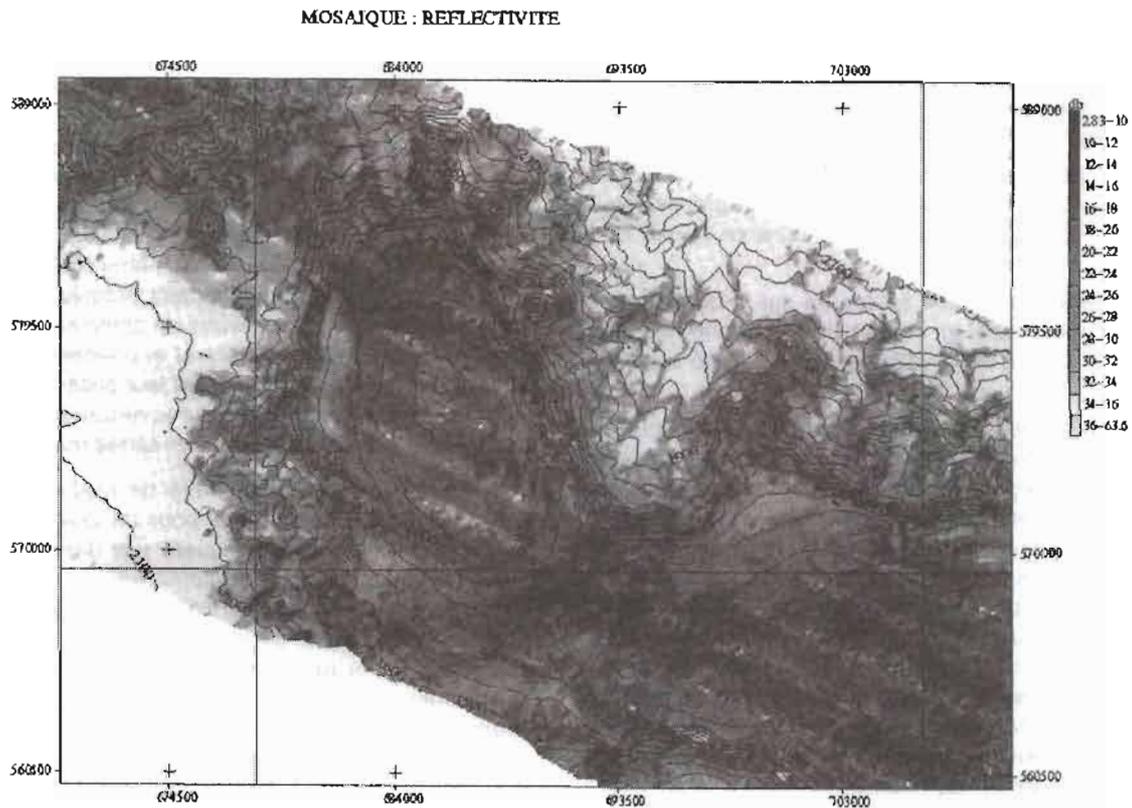


FIG. 12. — Mosaïque réalisée avec une dizaine de profils espacés de 2 km. L'échelle de niveaux de gris représente en decibels, l'atténuation des fonds marins. Sur cette image, deux volcans, aux sommets plats, sortent de la plaine abyssale. Les roches volcaniques des sommets et des coulées de laves, très réfléchissantes, apparaissent en gris foncé. Les sédiments de la plaine abyssale sont très peu réfléchissants. Les sédiments grossiers s'accumulent dans les cuvettes et le fond des canyons qui apparaissent comme de fins serpents gris moyen.

CONCLUSION

Les sondeurs multifaisceaux offrent à l'hydrographe une avancée technologique qui permet de bien meilleures résolutions et précisions, cependant pour répondre aux normes hydrographiques, il peut être nécessaire d'en limiter la couverture, d'utiliser des centrales de verticale de performances adaptées à la précision recherchée, et finalement, de mesurer le profil de célérité avec une fréquence en rapport avec sa variabilité locale. Dans certain cas, on peut être amené à déterminer un biais absolu et une courbe de biais et les retirer des données brutes pour améliorer la précision finale. Il faut cependant être conscient que la détermination des points hauts est moins précise que le reste des mesures en raison des procédés de détection utilisés et de la résolution des faisceaux. Finalement, la comparaison entre un levé multifaisceaux et un levé monofaisceau (faisceau large) révèle une telle différence entre la résolution des données que, bien que le levé monofaisceau soit "hydrographique", ses données ne peuvent être conservées conjointement avec des données multifaisceaux.

RÉFÉRENCES :

- [1] 1987, « Publication spéciale de l'O.H.I. n° 44 : Normes O.H.I. pour les levés hydrographiques » 3^e édition, Bureau Hydrographique International.
- [2] Kerleguer L., 1993, « Évaluation et procédures d'exploitation du sondeur multifaisceaux LENNEMOR », Annales Hydrographiques n°766, 5^e série vol.19, pp 37-73, SHOM.
- [3] Hammerstad E., Pöhner F., Parthiot F., and Bennet J., 1991, « Field testing of a new deep water multibeam echo sounder », OCEANS 91 Vol. II pp 743-749.
- [4] Hammerstad E., Åsheim S., Nilsen K. and Bodholt H., 1993, « Advances in multibeam echo sounder technology », OCEANS 93, Vol. I pp 482-487.

ANALYSE DES CHLOROFLUOROCARBONES (CFC) DANS L'EAU DE MER

APPLICATION AUX MASSES D'EAUX DU GOLFE DE GASCOGNE

par

O. CONNAN⁽¹⁾, C. CHAUMERY⁽²⁾, T. LABASQUE⁽²⁾,

P. LE CORRE⁽¹⁾, Y. MARTY⁽³⁾

RÉSUMÉ

L'analyse des chlorofluorocarbones (fréons) F_{11} et F_{12} a été effectuée au cours des campagnes Gastom 1990 et SHOM 1993 à bord du bâtiment hydrographique *L'Espérance* dans le golfe de Gascogne. Ces composés d'origine anthropogénique ont largement pénétré les couches profondes de l'Océan depuis les années 1950 où leur production industrielle a commencé. Ils peuvent être utilisés pour tracer la circulation profonde; ils permettent aussi, en raison de leurs caractères transitoires, d'établir des échelles de temps dans les transports. Le système analytique mis en œuvre est présenté; des teneurs en fréons comprises entre 0,1 et 3,3 pmol/kg ont été mesurées avec une précision de $\pm 2,5\%$ et $\pm 1\%$ pour le F_{12} et le F_{11} respectivement. La limite de détection de la méthode est de 0,01 pmol/kg pour le F_{11} et de 0,005 pmol/kg pour le F_{12} . De fortes concentrations en fréons sont mesurées dans les eaux centrales Nord Atlantique, indiquant la formation récente de cette masse d'eau. Les teneurs en chlorofluorocarbones F_{11} et F_{12} de l'eau profonde sont nettement plus faibles; les calculs menés pour une profondeur de 2 200 m, sans prendre en compte les effets de mélange, aboutissent à un âge apparent de 30 ans.

Le signal en fréons est réduit dans l'eau méditerranéenne du golfe de Gascogne. Il est plus marqué vers le sud à l'approche des côtes du Portugal. L'âge apparent à 1 200 m a été évalué à 20 ans. Les teneurs dans les eaux de fond (pour des profondeurs supérieures à 2 500 m) sont très faibles; ceci a été attribué à la présence à ces profondeurs d'eau antarctique de fond formée en Antarctique et d'origine très ancienne.

ABSTRACT

Measurements of freons F_{11} and F_{12} concentrations were made in the Bay of Biscay during the Gastom 1990 and SHOM 1993 cruises on board *L'Espérance*. The concentrations of chlorofluorocarbons (freons) in the atmosphere have increased since industrial production of these compounds began in the 1950s. Freons have been added in the ocean via gas exchange, and their concentrations in surface water has therefore tracked their increasing atmospheric concentrations. As there are chemically inert, these compounds can be used as transient tracers of ocean circulation. The analytical system adopted and presented in this paper, enabled us to measure the freon concentrations in the range of 0.1 to 3.3 pmol/kg with a precision of $\pm 1\%$ for F_{11} and $\pm 2.5\%$ for F_{12} . The minimum detectable concentrations were 0.01 pmol/kg for F_{11} and 0.005 pmol/kg for F_{12} . High concentrations of freons were measured in the North Atlantic central waters showing their recent formation. In deep waters, F_{11} and F_{12} concentrations were much lower; age calculations made with them at 2 200 m, disregarding mixing, gave an apparent age of 30 years.

Freon levels were low in the Mediterranean water found in the Bay of Biscay, but increased to the South near the Portugal coast. The apparent age at 1 200 m was 20 years. Freon concentrations in bottom waters (> 2 500m) were very low because of the presence of very old Antarctic bottom water at these depths.

(1) Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale

(2) Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Centre Militaire d'Océanographie

(3) URA 322/CNRS, Université de Bretagne Occidentale

INTRODUCTION

Les traceurs chimiques ont été largement utilisés ces dernières années en océanographie pour étudier la circulation océanique profonde. Ils permettent d'identifier les masses d'eaux, de suivre leur déplacement dans l'Océan et aussi dans certain cas, d'établir des échelles de temps dans les transports. On différencie les traceurs naturels (éléments nutritifs, oxygène dissous, isotopes stables...) des traceurs transitoires (fréons, tritium, carbone 14). Les traceurs naturels se présentent dans l'Océan dans un état stationnaire : les apports équilibrent les pertes et les teneurs n'évoluent pas de manière significative dans le temps. Les traceurs transitoires sont issus de l'activité humaine et leurs teneurs dans l'Océan ont varié au cours du temps. Ces composés se présentent, en raison de leurs caractéristiques particulières comme une horloge de la circulation océanique.

Au sein des traceurs transitoires, les composés halocarbonés (F_{11} , F_{12} , F_{113} , CCl_4 ...) ont ouvert ces dernières années de nouvelles perspectives : susceptibles de marquer les masses d'eaux dans des fenêtres de temps intéressantes, ils peuvent être dosés avec précision en temps réel à bord des navires. Jusqu'à présent, seuls les chlorofluorocarbones F_{11} et F_{12} ont été utilisés de manière suivie.

Nous présentons ci-après les techniques d'analyse de ces composés mis en œuvre au cours des campagnes du SHOM en 1990 et 1993 à bord du navire hydrographique *L'Espérance*. Nous présentons à titre d'exemple des résultats obtenus dans le golfe de Gascogne et au large des côtes du Portugal. L'origine des fréons dans l'atmosphère ainsi que les règles qui régissent leur transfert vers l'Océan sont aussi décrites. L'intérêt d'élargir la gamme des traceurs transitoires halocarbonés (F_{113} , CCl_4 , bromoforme...) pour pallier les limites d'utilisations du F_{11} et du F_{12} comme outils de datation des eaux formées récemment est discuté.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Évolution des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'atmosphère

Les chlorofluorocarbones, appelés communément fréons, sont des molécules de synthèse dont la production industrielle a commencé dans les années cinquante. Ils ont été abondamment utilisés dans les systèmes réfrigérants domestiques et industriels et comme gaz propulseur dans les bombes aérosols du fait de leurs propriétés thermodynamiques. Ils sont en effet condensables à température ambiante et sous faible pression. Le F_{11} (CCl_3F , trichlorofluorométhane), le F_{12} (CCl_2F_2 , dichlorodifluorométhane) et le F_{113} ($CCl_2F-CClF_2$, 1,1,2-trichlorofluorométhane) sont les plus utilisés. La production de CFC, et par là même les rejets vers l'atmosphère, se sont accrus exponentiellement de 1950 à 1975 (cf. fig. 1), époque à partir de laquelle l'accroissement des teneurs est nettement moins marqué. Ceci est dû à une limitation de la production, liée à la prise de conscience des problèmes d'environnement inhérents aux rejets massifs de ces produits. Ces composés sont chimiquement stables et leur destruction n'est liée qu'à des phénomènes de photolyse sous l'influence des radiations UV dans la stratosphère. Leur durée de vie moyenne dans l'air est de 74 ans pour le F_{11} et de 110 ans pour le F_{12} (Krysell et Wallace, 1988).

Les premières mesures de concentrations en CFC ont été réalisées au début des années 1970 (Lovelock et al, 1973). Cependant, les analyses fiables datent du

début des années 1980 (Rasmussen et Khalil, 1986). Pour reproduire l'évolution des concentrations en CFC antérieure à cette époque, il a fallu utiliser les données disponibles concernant leur production industrielle (Chemicals Manufacturers Association, 1983, Mac Carthy et al, 1977). Connaissant les quantités produites et les émissions vers l'atmosphère, il est possible de reconstruire l'évolution annuelle des CFC dans l'atmosphère en tenant compte de la durée de vie des CFC dans l'air. Pour cela, on utilise la relation suivante (Smethie et al, 1988).

$$I_i = I_{i+1} - 1/T (I_{i+1} + I_i)/2 + R_{i+1} \quad (1)$$

où I est la concentration atmosphérique de F_{11} ou F_{12} en janvier d'une année donnée, R la quantité de F_{11} ou F_{12} rejetée dans l'atmosphère durant cette même année, T le temps de résidence des CFC dans l'atmosphère et i l'indice de l'année. Les concentrations pour les années postérieures à 1980 sont celles effectivement mesurées, notamment pendant le programme A.L.E. (Atmospheric Lifetimes Experiment, Cunnold et al, 1983a, 1983b, 1986). Bien que 90 % des CFC soient produits dans l'hémisphère nord, le gradient de concentration de ces composés entre les deux hémisphères est très faible, en raison du mélange rapide au niveau de la zone de convergence intertropicale. Ainsi, en 1987, alors que les concentrations en CFC augmentaient de 6 % par an dans l'atmosphère, les concentrations en F_{11} et F_{12} dans l'hémisphère nord étaient supérieures à celles de l'hémisphère sud de quelques % seulement (Schlosser et al, 1991).

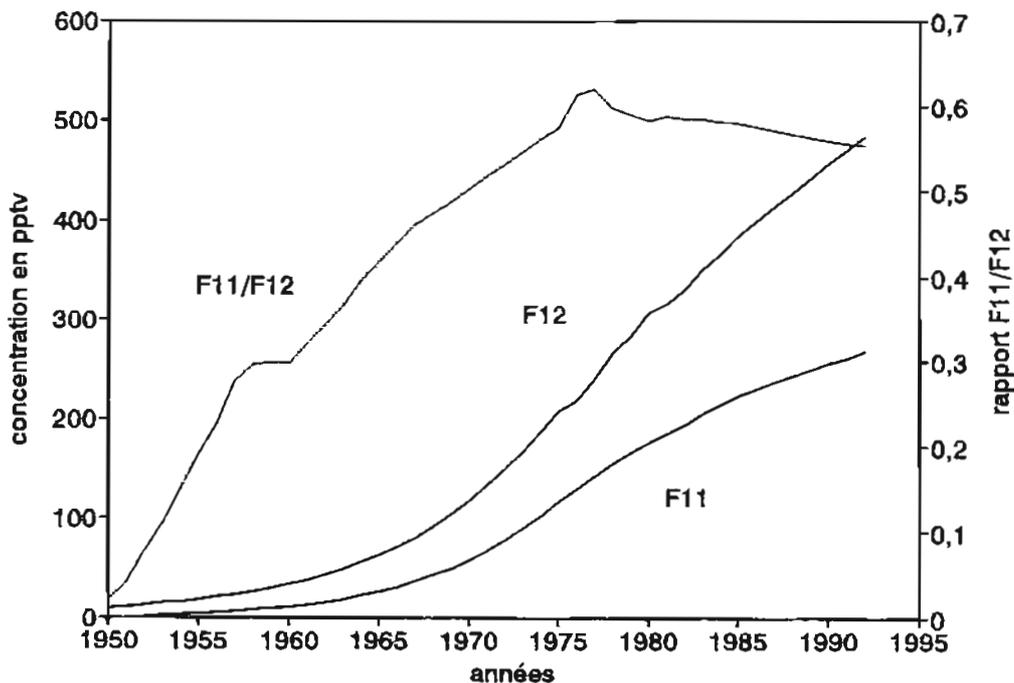


FIG. 1. — Variations des teneurs en F_{11} et F_{12} et du rapport F_{11}/F_{12} dans l'hémisphère Nord en fonction du temps. Les concentrations des années antérieures à 1976 sont calculées comme décrit dans le texte (paragraphe 1.1.). Les concentrations pour les années suivantes sont issues de Rasmussen et Khalil (1986), Cunnold et al (1983a, 1983b, 1986), Mercier et al (1992).

1.2. Transfert des CFC dans l'Océan

La dissolution des gaz dans l'eau est liée à la pression partielle de ce gaz au-dessus de la surface liquide. L'Océan étant supposé en équilibre thermodynamique avec l'atmosphère, les gaz atmosphériques se trouvent dissous dans l'eau de mer à une concentration proportionnelle à la pression partielle p_i de ce gaz au-dessus de l'eau selon la relation :

$$p_i = K_i C_i \quad (2)$$

avec C_i la concentration du gaz dissous dans l'eau, p_i la pression partielle du gaz dans l'air, K_i la constante de Henry propre à chaque gaz et dépendant principalement de la température et de la salinité.

La solubilité des gaz s'exprime généralement par le coefficient de Bunsen, qui est l'inverse de la constante de Henry. Ce coefficient est défini comme étant le volume de gaz, absorbé par unité de volume de solution, dans les conditions standard de température et de pression, lorsque la pression partielle de ce gaz correspond à une atmosphère standard, (1013,25 hPa). Il est exprimé en mole.kg⁻¹.atm⁻¹. En océanographie cependant, on préfère utiliser la solubilité C^* ; définie comme étant la concentration du gaz i dans l'eau de mer lorsque celle-ci se trouve en équilibre thermodynamique avec une atmosphère standard saturée en humidité. L'unité de solubilité est alors la mole.kg⁻¹. Warner et Weiss (1985) ont proposé une relation permettant de calculer la constante de solubilité F pour le F_{11} et le F_{12} dans l'eau pour une gamme de température variant de -1 à 40°C, et pour des salinités comprises entre 0 et 40. F s'exprime en mol.l⁻¹.atm⁻¹ ou en mol.kg⁻¹.atm⁻¹. Cette relation est la suivante :

$$\ln F = A_1 + A_2(100/T) + A_3 \ln(T/100) + A_4(T/100)^2 + S[B_1 + B_2(T/100) + B_3(T/100)^2] \quad (3)$$

Les constantes permettant de calculer F sont données dans le tableau 1.

	F (mol.l ⁻¹ .atm ⁻¹)		F (mol.kg ⁻¹ .atm ⁻¹)	
	CFC 11	CFC 12	CFC 11	CFC 12
A1	-229,9261	-218,0971	-232,0411	-220,2120
A2	319,6552	298,9702	322,5546	301,8695
A3	119,4471	113,8049	120,4956	114,8533
A4	-1,39165	-1,39165	-1,39165	-1,39165
B1	-0,142382	-0,143566	-0,146531	-0,147718
B2	0,091459	0,091015	0,093621	0,093175
B3	-0,0157274	-0,0153924	-0,0160693	-0,0157340

Tableau 1: constantes pour le calcul des solubilités des fréons 11 et 12, dans les conditions d'équilibre avec l'air humide, à une pression totale de 1 atmosphère standard (1013,25 hPa), d'après Warner et Weiss (1985).

Ainsi, connaissant F et la concentration atmosphérique en F_{11} ou F_{12} X_i , on peut calculer la concentration attendue à l'équilibre (solubilité C^*) pour une eau de température et salinité données selon la relation (4) :

$$C^*_i = X_i F(T,S) \quad (4)$$

Pour une eau de T et S données, il est possible de calculer l'évolution des teneurs en CFC dans cette eau année par année.

1.3. Utilisation des CFC comme traceurs des masses d'eaux, outils de datation et de mesure des courants profonds

L'Océan est constitué de différentes eaux-types et masses d'eaux qui sont formées dans leur grande majorité en hiver aux hautes latitudes. Dans ces zones de l'Océan les eaux superficielles refroidies plongent pour atteindre en profondeur leur équilibre de densité. Lorsqu'elles plongent, elles gardent "en mémoire" l'empreinte de l'air (notamment en fréons) qui existait à l'époque de leur formation.

À partir des concentrations mesurées dans une masse d'eau profonde et des équations explicitées au paragraphe précédent, il est possible de déterminer les teneurs atmosphériques en F_{11} et F_{12} à l'époque où cette masse d'eau était en surface et de déterminer son âge. Connaissant la distance la séparant de sa zone de formation, une évaluation de sa vitesse d'écoulement peut être faite. Très habituellement, la masse d'eau qui plonge subit des mélanges ; ceci rend le calcul plus complexe. Pour s'affranchir de ce problème, le rapport F_{11}/F_{12} est utilisé. Il présente l'avantage de ne pas être affecté par les mélanges, du moins quand l'eau d'origine superficielle est diluée par de l'eau profonde ne contenant pas de fréons. Son utilisation se restreint à une période de temps comprise entre 1950 et 1975 (cf.fig. 1). Après 1975, ce rapport reste sensiblement constant dans l'atmosphère et ne peut plus être utilisé pour dater les eaux formées depuis cette date. La mesure du F_{113} , dont la concentration dans l'atmosphère continue d'augmenter à raison de 10% par an doit permettre de dater les eaux de formation plus récente.

2. ANALYSE DES CFC DANS LES EAUX DE MER

2.1. Prélèvements des échantillons

Le prélèvement d'eau de mer pour l'analyse des fréons est très délicat. Alors que les teneurs dans l'air sont estimées à 22 pmol/kg en F_{12} (ou 500 ppt; 1 ppt = une partie par trillion) et 13 pmol/kg en F_{11} (ou 300 ppt), elles sont souvent inférieures à 0,1 pmol/kg dans les eaux profondes. Il est absolument nécessaire d'éviter tout contact avec l'air. Les échantillons sont recueillis dans des ampoules en verre calibrées en volume et remplies d'azote ultra pur ; le tube de liaison qui permet

le transfert de la bouteille de prélèvement à l'ampoule est d'abord purgé sous vide puis rincé par de l'eau de mer. L'ampoule est insérée directement dans la chaîne d'analyse.

Les bouteilles de prélèvement elles-mêmes peuvent être une source de contaminations pour l'eau de mer, les CFC pouvant s'adsorber sur leurs constituants en caoutchouc ; pour l'éviter, il est nécessaire de les stocker dans des zones propres du navire. Dans notre cas, les bouteilles disposées sur une rosette étaient maintenues sur le pont avant du navire pendant le transit entre les stations. Elles étaient ainsi fortement ventilées en permanence par de l'air marin propre. En opérant de cette manière, nous n'avons pas observé de pollution par les bouteilles de prélèvement.

2.2. Analyse des CFC

2.2.1. Méthode d'analyse

La méthode d'analyse est dérivée de celle de Bullister et Weiss, (1988). Le système analytique est décrit sur la figure 2. Il comprend :

- un système d'introduction de l'échantillon (1); celui-ci permet d'insérer dans le circuit l'ampoule de prélèvement calibrée en volume contenant l'eau de mer.

- une série de boucles de volumes différents (2) permettant d'introduire des quantités connues d'échantillons gazeux (air atmosphérique, air standard) et de calibrer le système.

- le système d'extraction des fréons de l'eau de mer (3); les gaz sont extraits par bullage du gaz vecteur (N_2 ultrapur) pendant 7 min.

- un piège contenant un adsorbant (porasil C, porapak T), maintenu à $-40^\circ C$ (4); les fréons, entraînés par le gaz vecteur, sont retenus et concentrés sur ce piège. Ils sont ensuite désorbés par chauffage à $+100^\circ C$.

- un système d'analyse (5) comprenant un chromatographe en phase gazeuse (Chrompack CP9000) équipé d'une colonne remplie (Porasil C) qui sépare les fréons. La détection des composés est effectuée par un détecteur à capture d'électrons relié à un intégrateur Merck D2500.

Pour éviter toute pollution par l'air atmosphérique, les différentes vannes et raccords composant le circuit analytique sont isolés et parcourus en permanence par le gaz vecteur qui est purifié par passage sur différents pièges (silicagel, charbon actif, piège à oxygène); celui-ci assure le transfert de l'échantillon et des fréons à travers les différentes parties du montage sans contact avec l'air.

2.2.2. Étalonnage du système, détermination des concentrations

L'étalonnage du système est effectué par l'intermédiaire d'un standard gazeux dont les teneurs en F_{11} et F_{12} sont connues. L'étalon utilisé est constitué d'air prélevé à Brest (avril 1993) et comprimé à 200 bars dans une bouteille de plongée en aluminium. Les

pressions partielles de ce standard ont été mesurées par rapport à un standard primaire fabriqué par la Scripps Institution of Oceanography (échelle de calibration SIO). Les pressions partielles mesurées sont respectivement de $315,2 \text{ ppt} \pm 0,17 \%$ et $592,4 \text{ ppt} \pm 0,21 \%$ pour le F_{11} et le F_{12} .

Différents volumes du standard gazeux sont introduits à l'aide des boucles d'injection dans le circuit analytique ; la courbe d'étalonnage est établie en prenant en compte l'aire des pics des chromatogrammes obtenus. Elle est vérifiée à chaque station.

2.2.3. Reproductibilité de la méthode

La reproductibilité de la méthode a été déterminée sur de l'eau de mer. Six échantillons d'eau de surface, prélevés dans 6 bouteilles différentes à la même position ont été analysés. L'écart type obtenu est de $\pm 0,030 \text{ pmol/kg}$ pour les deux fréons soit $\pm 2,5 \%$ pour le F_{12} et $\pm 1 \%$ pour le F_{11} . La reproductibilité sur l'air a été mesurée en analysant dix fois le même volume du standard. La variation des surfaces de pics obtenue est de $\pm 1 \%$ pour le F_{11} et de $\pm 1,3 \%$ pour le F_{12} .

2.2.4. Blanc et limite de détection

Le blanc du circuit est mesuré en analysant une eau de mer déjà dégazée et libre en fréons. La valeur du blanc ainsi obtenu est de $0,030 \pm 0,010 \text{ pmol/kg}$ pour le F_{11} et de $0,005 \pm 0,002 \text{ pmol/kg}$ pour le F_{12} . Il est contrôlé au début et à la fin de chaque série d'analyse.

L'écart type à la valeur moyenne du blanc fixe la limite de détection de la méthode, soit $0,010 \text{ pmol/kg}$ pour le F_{11} et $0,005 \text{ pmol/kg}$ pour le F_{12} .

3. MESURE DES CFC DANS LE GOLFE DE GASCOGNE

3.1. Emplacement des stations

Le système d'analyse décrit ci-dessus, installé dans un conteneur laboratoire, a été embarqué à bord du bâtiment hydrographique *L'Espérance* en juillet 1990 et en août 1993. Les échantillons destinés à l'analyse des fréons ont été prélevés à différentes stations (cf.fig. 3) réparties dans le golfe de Gascogne (radiale $9^\circ 10'W$) et près des côtes du Portugal (radiale $38^\circ 40'N$).

3.2. Caractéristiques hydrologiques des masses d'eaux

Les distributions verticales en température et salinité observées sur la radiale $9^\circ 10'W$ sont présentées sur les figures 4. Le diagramme T/S (cf.fig. 5) permet de différencier les masses d'eaux. Il est possible de distinguer :

- au dessus de la thermocline saisonnière (cf.fig. 4a), les eaux superficielles réchauffées ($T > 17^\circ C$).

- sous la thermocline, de 100 à 600 m environ (cf.fig. 4a), les eaux centrales nord Atlantique (ECNA). Ces eaux sont caractérisées sur le diagramme T/S par

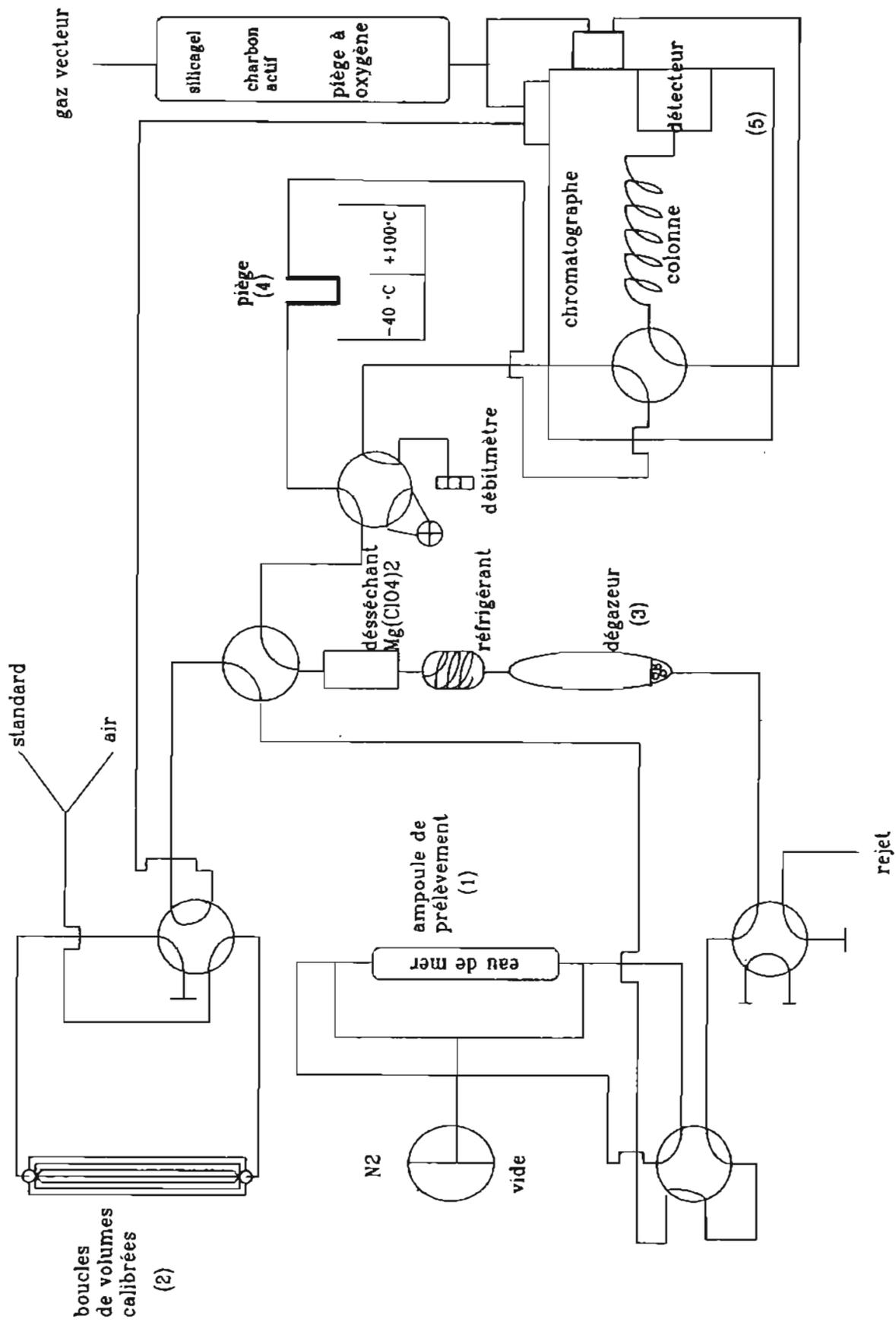


Figure 2: analyse du F11 et du F12; schéma du montage

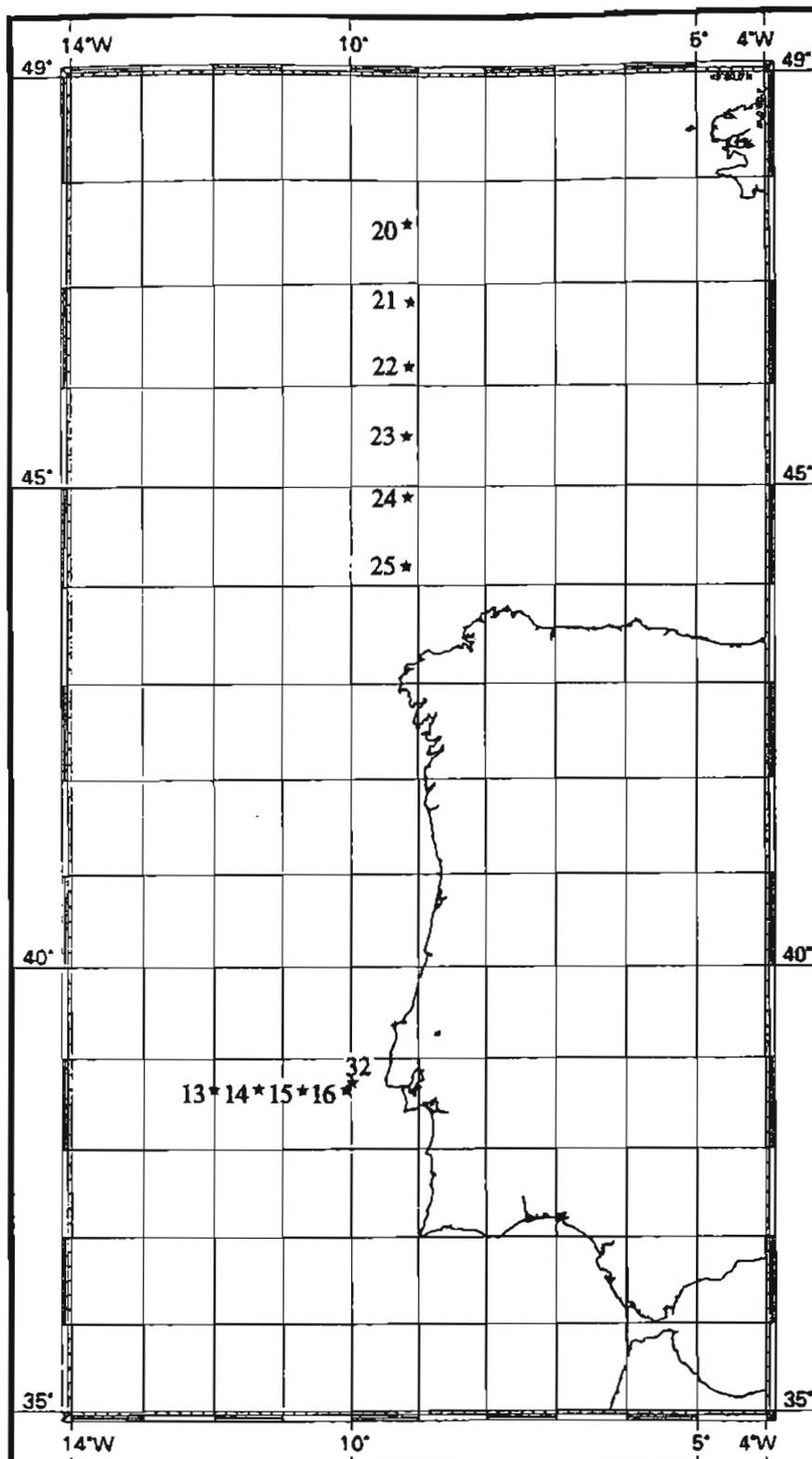


Figure 3: Position des stations

radiale 9°10'W (juillet 1990)
radiale 38°40'N (août 1993)

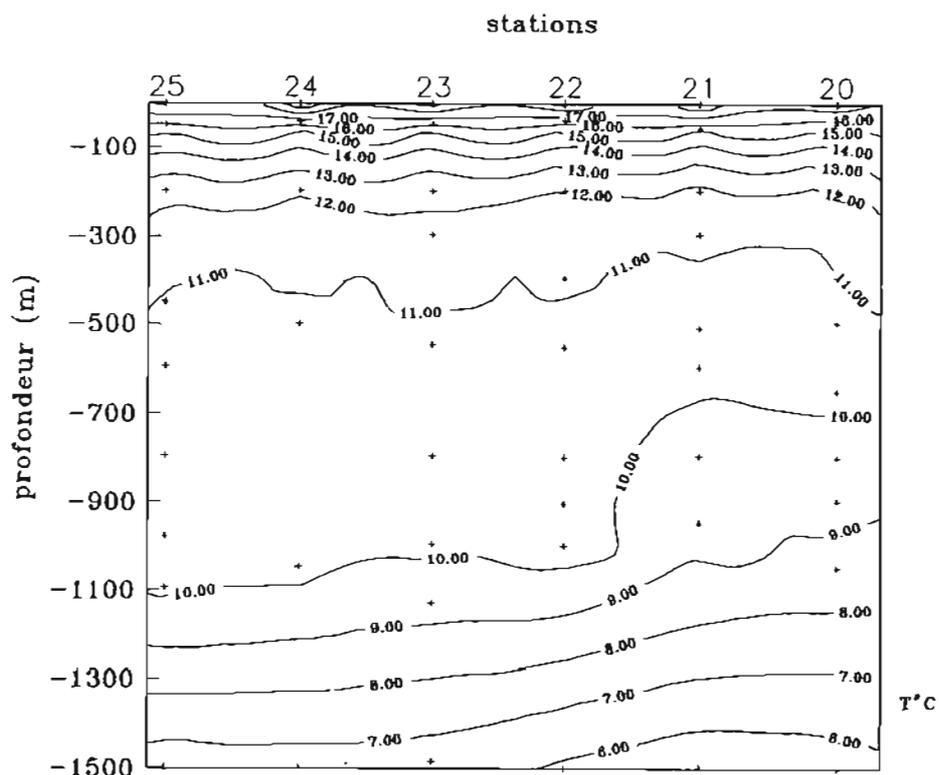


FIG. 4a. — Distributions verticales en température selon la radiale 9° 10' W

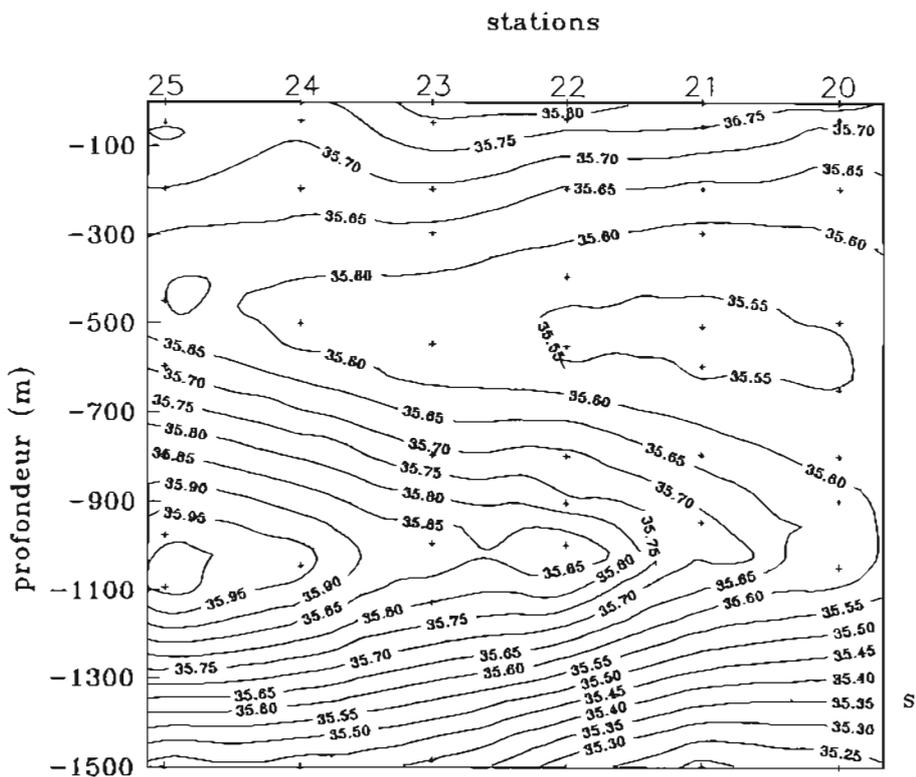


FIG. 4b. — Distributions verticales en salinité selon la radiale 9° 10' W

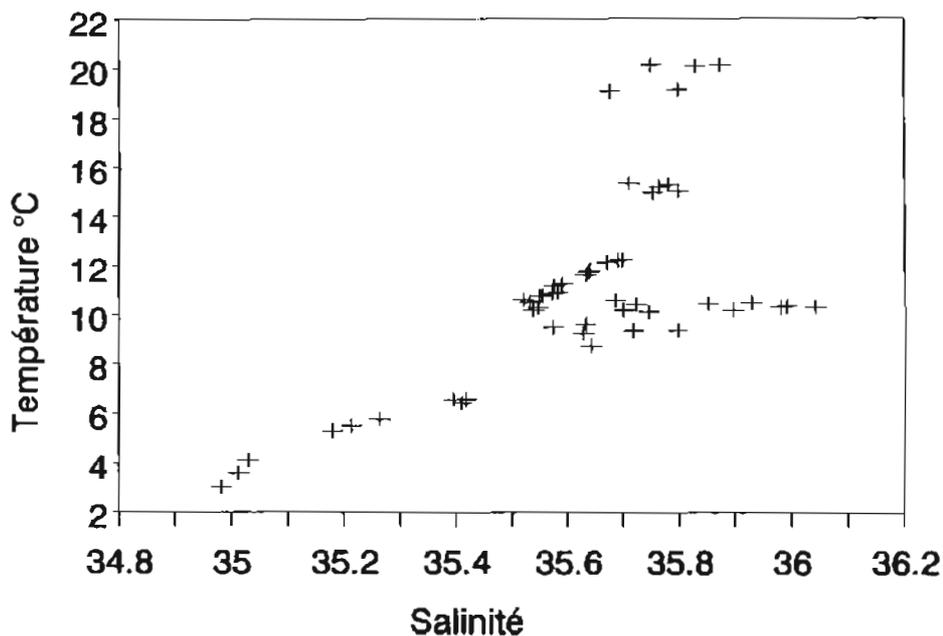


FIG. 5. — Diagramme température/salinité selon la radiale 9° 10' W, golfe de Gascogne

une portion de droite joignant les points $T=13^{\circ}\text{C}$, $S=35,7$ et $T=10^{\circ}\text{C}$, $S=35,5$. La limite inférieure de l'ECNA est caractérisée par un minimum de salinité (cf.fig. 4b).

— au delà de 600 m, l'eau profonde de l'Atlantique nord-est (EPNA) ; elle est influencée vers 1 000 m par la présence d'eau méditerranéenne en proportion plus ou moins marquée selon les stations. Le maximum de salinité (35,95) qui caractérise l'eau méditerranéenne est plus élevé aux stations 23, 24, 25 proches de la côte nord espagnole (cf.fig. 4b).

— enfin, on observe en dessous de 1 300 m, les eaux de fond dont les températures et les salinités tendent respectivement vers 3°C et 34,90.

Les distributions verticales en température et salinité obtenues sur la radiale $38^{\circ}40'\text{N}$ au large du Portugal sont présentées sur les figures 6. Les eaux centrales présentent des salinités supérieures à celle du golfe de Gascogne. Le minimum de salinité (35,60 à 600 m environ, cf.fig. 6b) est moins accentué. Ceci correspond à une influence plus marquée des eaux méditerranéennes vers le sud lorsque l'on se rapproche de Gibraltar. Des salinités comprises entre 36 et 36,25 sont mises en évidence vers 1 200 m. Les salinités les plus élevées sont situés aux stations 16 et 32, les plus proches de la côte portugaise, indiquant un écoulement préférentiel de l'eau méditerranéenne le long du plateau continental.

Au delà de 1 400 m les eaux profondes et les eaux de fond sont mises en évidence. La partie supérieure de l'eau profonde est influencée par la présence de l'eau méditerranéenne sus-jacente. A 1 400 m, la salinité est de 35,9 contre 35,6 à cette même profondeur dans le

golfe de Gascogne (cf.fig. 6b et 4b). Les eaux de fond présentent des températures et salinités qui tendent respectivement vers 3°C et 35.

3.3. Distributions en CFC

Les teneurs en fréons le long de la radiale $9^{\circ}10'\text{W}$ sont représentatives des résultats obtenus dans le golfe de Gascogne (cf.fig.7a et 7b).

Les eaux centrales nord Atlantique sont riches en fréons. Les valeurs les plus élevées sont détectées en subsurface dans la couche allant de 100 à 300 m ($F_{11} = 2,7$ pmol/kg et $F_{12} = 1,5$ pmol/kg). Ces fortes valeurs indiquent un contact récent avec l'atmosphère; cette eau serait donc de formation récente. La colonne d'eau (en dehors de la couche superficielle) est homogène en fréons jusqu'à 400 m environ de profondeur. Le brassage hivernal doit intervenir jusqu'à cette limite. Les eaux superficielles révèlent des teneurs en fréons inférieures à celles des eaux centrales sous-jacentes. Ceci peut s'expliquer par le réchauffement printanier des eaux de surface qui entraîne un dégazage des fréons vers l'atmosphère. L'influence de l'eau méditerranéenne vers 1 100 m est peu marquée. Il semble toutefois qu'elle induise une légère augmentation des teneurs en fréons à différentes stations (cf.fig.7a, station 25).

Les distributions verticales des F_{11} et F_{12} selon la section $38^{\circ}40'\text{N}$ au large du Portugal sont présentées sur les figures 8. Par comparaison à la radiale précédente, un enrichissement en CFC est observé entre 650 m et 1 300 m. Les concentrations moyennes en F_{11} et F_{12} atteignent respectivement 1,4 et 0,6 pmol/kg à 1 200 m contre 0,90 et 0,4 pmol/kg dans le

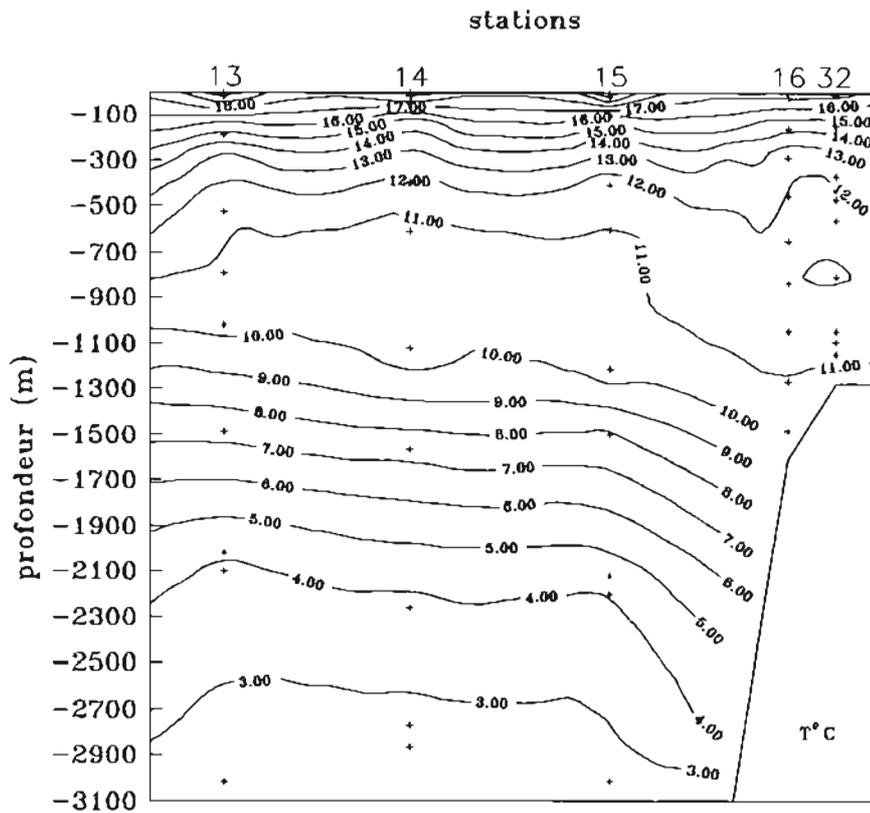


FIG. 6a. — Distributions verticales en température selon la radiale 38° 40' N

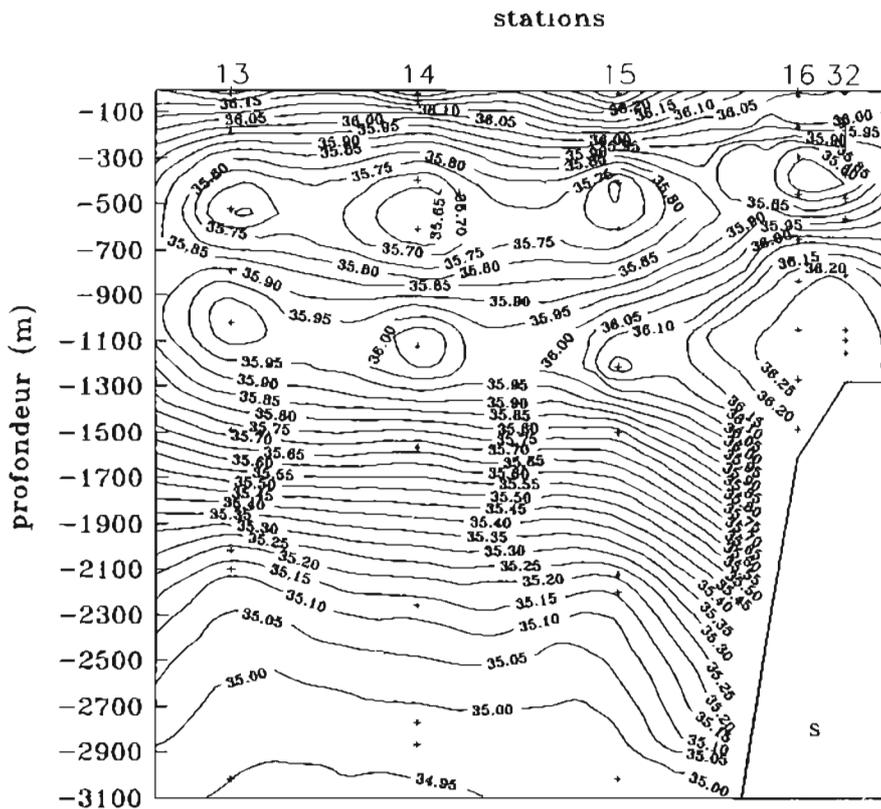


FIG. 6b. — Distributions verticales en salinité selon la radiale 38° 40' N

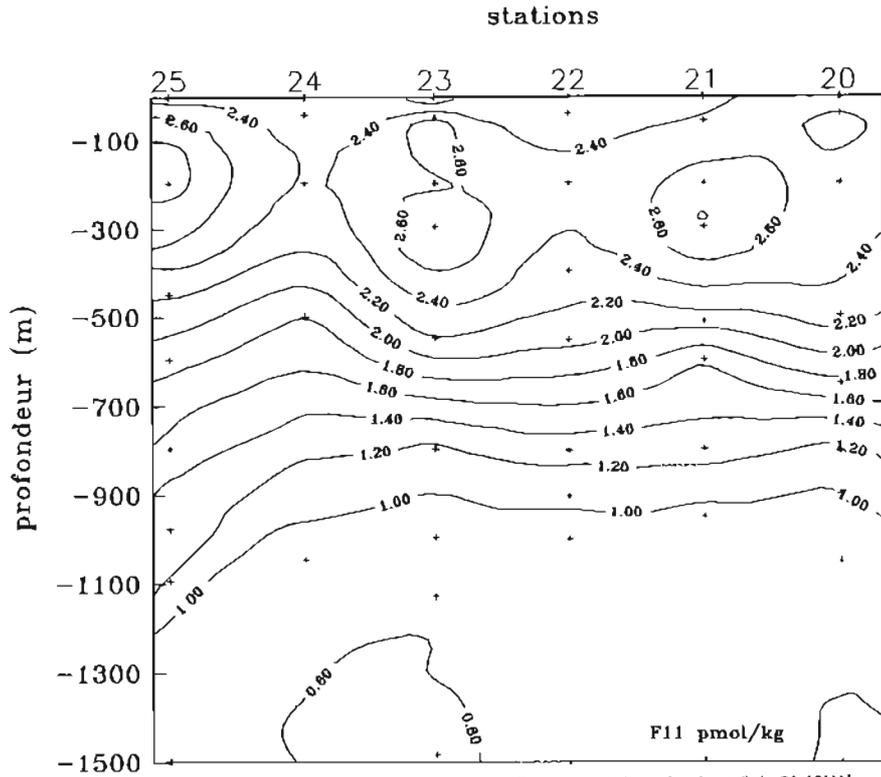


FIG. 7a. — Distributions verticales en F₁₁ en pmol/kg selon la radiale 9° 10' W

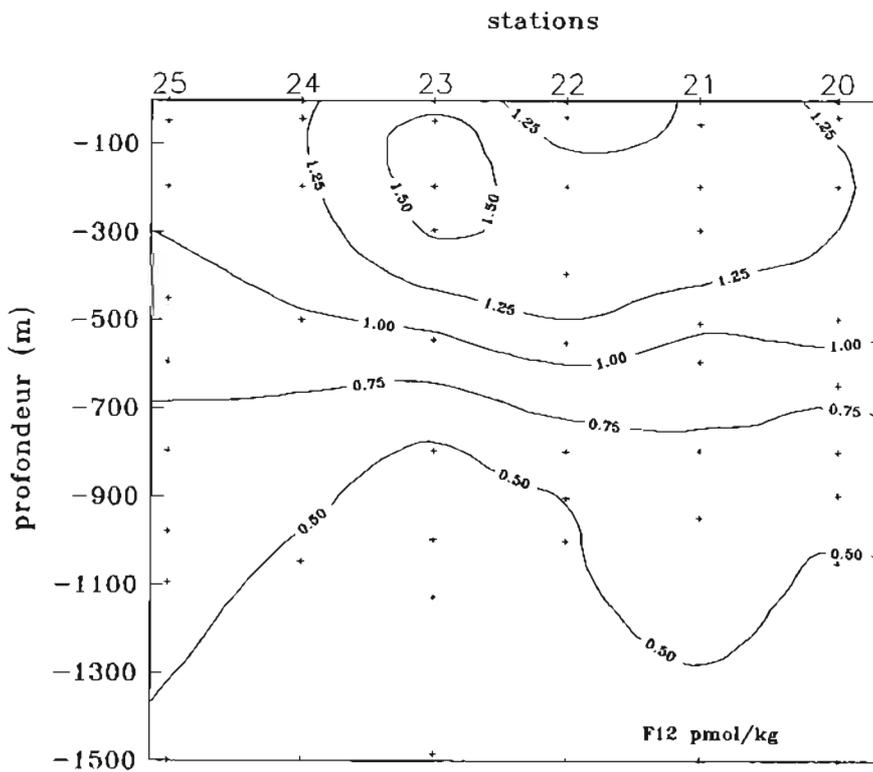


FIG. 7b. — Distributions verticales en F₁₂ en pmol/kg selon la radiale 9° 10' W

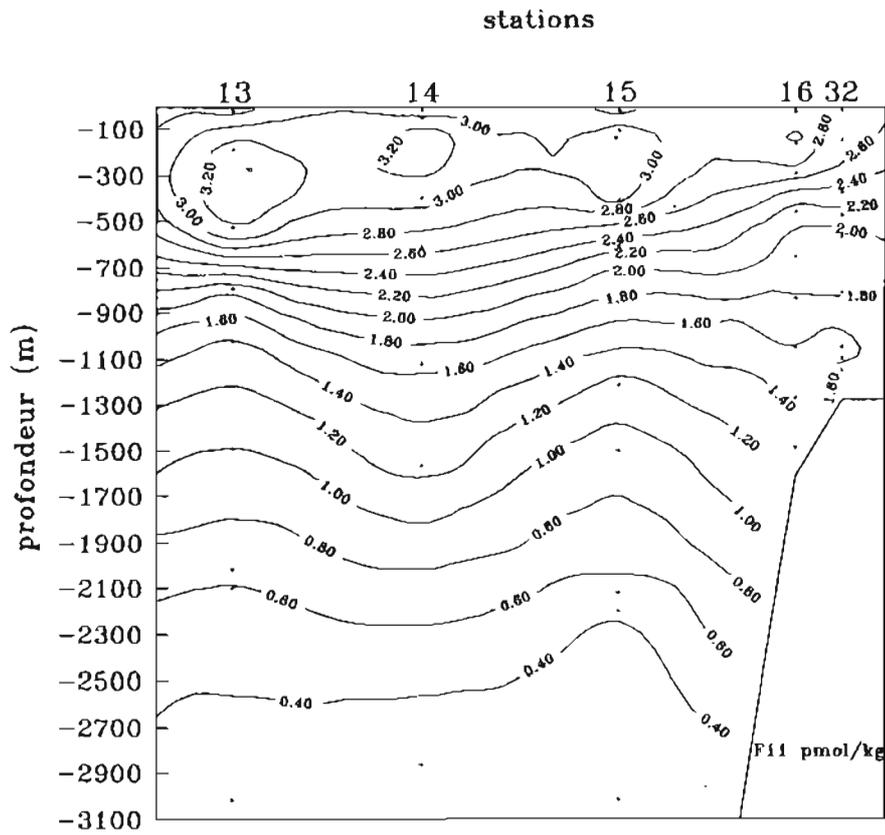


FIG. 8a. — Distributions verticales en F₁₁ en pmol/kg selon la radiale 38° 40' N

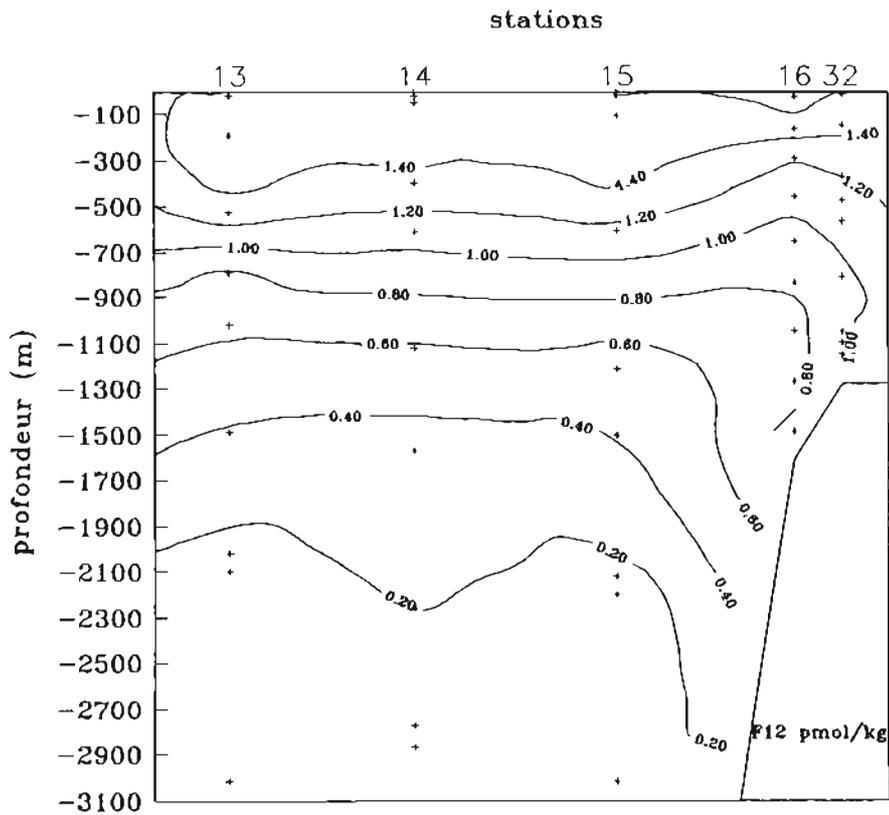


FIG. 8b. — Distributions verticales en F₁₂ en pmol/kg selon la radiale 38° 40' N

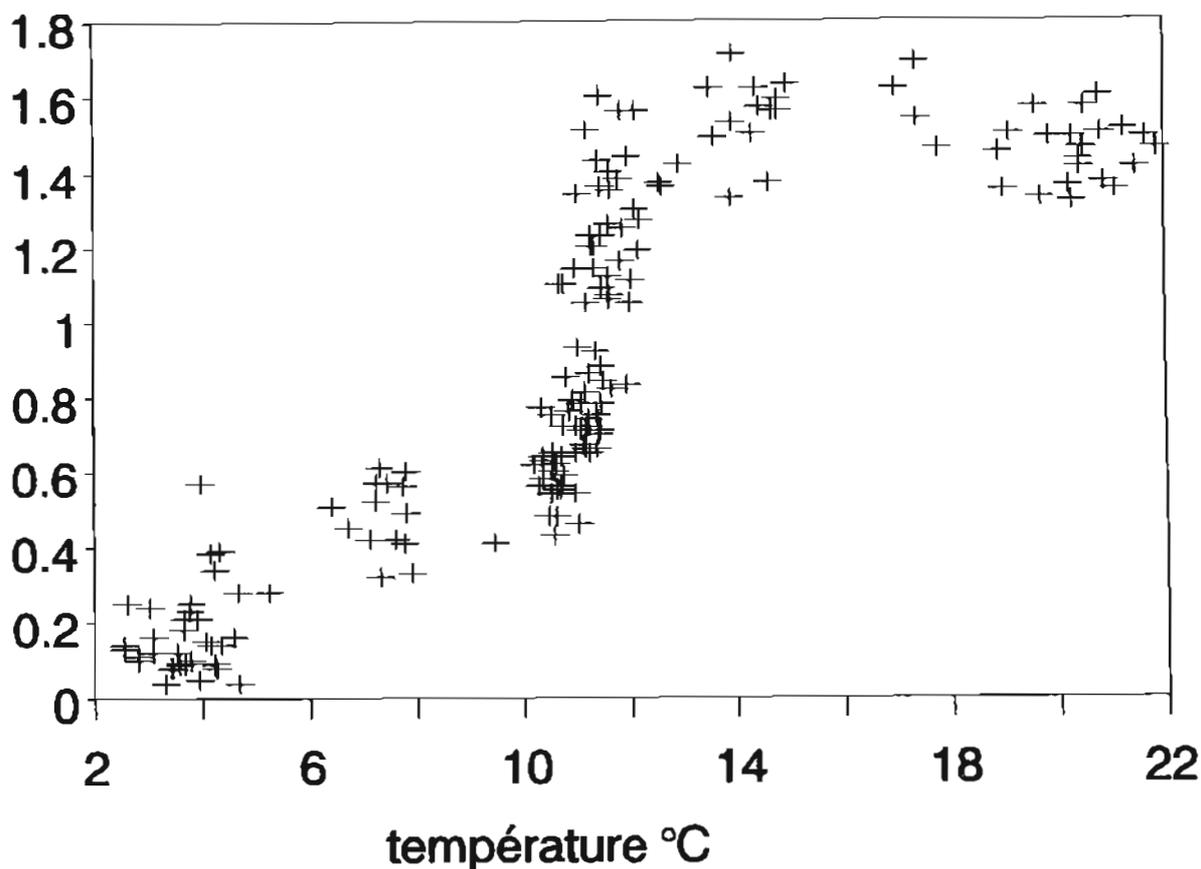


FIG. 9. — Diagramme F_{12} /température (stations au large du Portugal)

golfe de Gascogne. Les teneurs les plus élevées sont observées aux stations 16 et 32 proches de la côte. Ceci correspond à la présence renforcée dans ce secteur d'eau méditerranéenne dont l'écoulement s'effectue vers le nord le long des côtes portugaises.

Les fréons montrent également l'existence d'un upwelling le long des côtes de Portugal. On observe une remontée des isolignes à partir de 700 m environ jusqu'à la surface et des teneurs plus faibles en fréons dans les eaux de surface du plateau continental (cf. fig. 8a).

Le diagramme fréons/température obtenu pour le F_{12} sur la radiale $38^{\circ} 40' N$ est représenté sur la figure 9. On peut distinguer :

— Les eaux superficielles chaudes ($T > 13^{\circ}C$) dont les concentrations en CFC dépassent 1,4 pmol/kg pour le F_{12} et 2,8 pmol/kg pour le F_{11} .

— Les eaux centrales sont représentées par une portion de droite joignant les points $T=10^{\circ}C$, $F_{12}=0,45$ pmol/kg et $T=13,5^{\circ}C$, $F_{12}=1,4$ pmol/kg. On différencie les eaux centrales "superficielles" riches en fréons où les concentrations en F_{12} sont supérieures à 1 pmol/kg et les eaux centrales "profondes" où les concentrations diminuent pour atteindre 0,45 pmol/kg.

— Les eaux profondes de l'Atlantique nord-est, contenant des teneurs en F_{12} de 0,4 à 0,6 pmol/kg, pour

des températures de 6 à 10 °C. Cette eau est, dans cette zone, influencée par l'eau méditerranéenne.

- La partie supérieure de l'eau de fond (de 2 000 à 3 000 m) est apparente pour des températures inférieures à 4°C. Elle est caractérisée par de faibles teneurs en F_{12} (0,2 pmol/kg) indiquant des eaux relativement vieilles. Ceci doit correspondre à la présence à cette profondeur d'eau antarctique de fond en quantité appréciable. Ce résultat est en accord avec celui obtenu par Le Corre et Tréguer (1976) par des mesures de silicates.

4. ÉVALUATION DE L'ÂGE DES MASSES D'EAUX

Les tables de saturations de Warner et Weiss (1985) ont été utilisées pour déterminer les teneurs en fréons dans l'atmosphère au moment de la formation des masses d'eaux. La valeur du coefficient de solubilité F (relation 4) est calculée pour chaque "couple" température-salinité et, connaissant la concentration en fréon C , nous pouvons déduire par la même relation la teneur atmosphérique X en fréons lorsque cette eau était en surface. Les courbes d'accumulation en fréons dans l'atmosphère utilisées sont celles présentées sur la figure 1.

Le rapport F_{11}/F_{12} calculé à diverses profondeurs aux différentes stations est toujours supérieur à 2,2, indiquant des eaux s'étant formées au cours des vingt dernières années. Ce rapport n'ayant pas évolué durant cette période, il ne peut être utilisé (cf paragraphe 1.3). Nous avons calculé l'âge apparent des masses d'eaux à partir des teneurs en F_{12} seul. Les mélanges éventuels ne sont pas pris en compte.

Nous avons choisi à titre d'exemple d'effectuer les calculs pour la station 14 (radiale 38° 40' N, effectuée en août 1993). Les calculs sont menés pour les eaux centrales à 200 et 600 m, pour la veine d'eau méditerranéenne à 1 200 m et pour les eaux profondes :

- eaux centrales superficielles (200 m)

L'équivalent atmosphérique en F_{12} obtenu à partir des données moyennes $T=13,523$ °C, $S=35,923$ et $F_{12}=1,62$ pmol/kg est de 500 ppt, ce qui correspond à la teneur atmosphérique de l'année 1993, année de la mesure. Il est probable que les eaux centrales subsuperficielles sont régénérées chaque année lorsque la thermocline est déstabilisée et que les teneurs en fréons observées dans ces eaux soient celles de l'année ;

- eaux centrales profondes nord Atlantique (600 m)

La teneur moyenne en F_{12} est de 1,07 pmol/kg. Les température et salinité retenues pour le calcul sont 10,686°C et 35,568 respectivement. Le calcul de solubilité indique que la concentration en F_{12} mesurée s'obtient par un contact avec de l'air contenant 291 ppt. Cette teneur est celle rencontrée dans l'atmosphère en 1981 (cf.fig.1). L'eau centrale nord Atlantique, dans sa partie profonde se serait donc formée 12 ans auparavant ;

- eaux méditerranéenne EM (1 200 m)

L'équivalent atmosphérique obtenu à partir des données $T=10,745$ °C, $S=36,154$ et $F_{12}=0,57$ pmol/kg est de 156 ppt, ce qui correspond à la teneur atmosphérique en F_{12} de l'année 1973 ;

- eaux profondes (2 220 m)

Les calculs sont menés dans la couche de 2 200 m. L'équivalent atmosphérique calculé est de 40 ppt, pour $T=3$ °C, $S=35,22$ et $F_{12}=0,4$ pmol/kg. Cette teneur atmosphérique en F_{12} est observée dans l'atmosphère en 1960. L'eau profonde aurait été formée il y a une trentaine d'années.

CONCLUSION

Les systèmes de prélèvement et d'analyse des fréons mis en œuvre dans le golfe de Gascogne à bord de *L'Espérance* ont abouti à des résultats concluants. La précision des mesures est de $\pm 2,5$ % pour le F_{12} et de ± 1 % pour le F_{11} . Aucun problème de pollution n'a été rencontré alors que les prélèvements ont été effectués jusqu'à 3 200 m de profondeur dans des eaux relativement pauvres en fréons. La limite de détection de la méthode est de 0,010 pmol/kg pour le F_{11} et de 0,005 pmol/kg pour le F_{12} . L'âge apparent des différentes masses d'eaux a été calculé ; celles-ci apparaissent dans leur ensemble de formation relativement récente (< 30 ans). Le rapport F_{11}/F_{12} étant relativement constant depuis 20 ans, il ne peut être utilisé efficacement pour dater les masses d'eaux formées dans cette période. Différents composés halocarbonés comme le chlorofluorocarbène F_{113} ($CCl_2F-CClF_2$) ou le tétrachlorométhane (CCl_4) présentent des variations marquées dans l'atmosphère ces dernières années. La mesure de ces composés, associée à celle des chlorofluorocarbènes F_{11} et F_{12} , doit permettre d'élargir la fenêtre de marquage des masses d'eaux aux époques récentes. Pour cela, il est nécessaire de développer un système analytique performant qui puisse analyser en routine, à la mer, ces différents composés halocarbonés. La mise au point analytique est délicate en raison des très faibles teneurs des composés dans l'eau de mer et aussi de la nécessité de mesurer la série de composé par un même système analytique, afin de maintenir des temps d'expérimentation raisonnables à bord des navires.

BIBLIOGRAPHIE

RASMUSSEN, R.A., KHALIL, M.A.K., 1986. Atmospheric trace gases, trends and distributions over the last decade. *Science*, 232, 1623-1624.

CUNNOLD, D.M., PRINN, R.G., RASMUSSEN, R.A., SIMMONDS, P.G., ALYEA, F.N., CARDELINO, C.A., CRAWFORD, A.J., FRASER, P.J., ROSEN, R.D., 1983a. The atmospheric lifetime experiment, IV: lifetime methodology and application to three years of CCl₃F data. *J. Geophys. Res.*, 88, 8379-8400.

CUNNOLD, D.M., PRINN, R.G., RASMUSSEN, R.A., SIMMONDS, P.G., ALYEA, F.N., CARDELINO, C.A., CRAWFORD, A.J., FRASER, P.J., ROSEN, R.D., 1983b. The atmospheric lifetime experiment, V: results for CClF₂ based on three years data. *J. Geophys. Res.*, 88, 8401-8414.

CUNNOLD, D.M., PRINN, R.G., RASMUSSEN, R.A., SIMMONDS, P.G., ALYEA, F.N., CARDELINO, C.A., CRAWFORD, A.J., FRASER, P.J., ROSEN, R.D., 1986. Atmospheric lifetime and annual release estimates for CFC13 and CF₂Cl₂ from 5 years of A.L.E data. *J. Geophys. Res.*, 91, 10797-10817.

MERCIER, H, BILLANT, A, MORIN, P, MESSIAS, M.J., MEMERY, L, THOMAS, C, HONNOREZ, J. 1992. Campagne Romanche 1. Rapport interne Laboratoire de Physique des Océans, UBO Brest, LPO 92-02.

KRYSELL, M, WALLACE, D.W.R., 1988, Artic ocean ventilation studied with a suite of anthropogenic halocarbon tracers. *Science*, 242, 746-749.

LOVELOCK, J.E., MAGGS, R.J., WADE, R.J., 1973, Halogenated hydrocarbons in and over the Atlantic. *Nature*, 241, 194-196.

CHEMICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION, 1983, CMA CFC 11 and CFC 12 production and release data.

Mc CARTHY, R.L., BOWER, F.A., JESSON, J.P., 1977. Production and release of CCl₃F and CCl₂F₂ through 1975. *Atmospheric Environment*, 11, 491-497.

SMETHIE, Jr.W.M., CHIPMAN, D.W., SWIFT, J.H., KOLTERMAN, K.P., 1988. Chlorofluoromethanes in the Artic Mediterranean seas : evidence for formation of bottom water in the Eurasian Basin and deep water exchange through Fram Strait. *Deep Sea Research*, 35, 3, 347-369.

SCHLOSSER, P, BULLISTER, J.L., BAYER, R, 1991. Studies of deep water formation and circulation in the Weddell Sea using natural and anthropogenic tracers. *Mar. Chem.*, 35, 97-122.

WARNER, M.J., WEISS, R.F., 1985. Solubilities of chlorofluorocarbons 11 and 12 in water and seawater. *Deep Sea Research*, 32, 12, 1485-1497.

BULLISTER, J.L., WEISS, R.F., 1988. Determination of CCl₃F and CCl₂F₂ in seawater and air. *Deep Sea Research*, 35, 5, 839-853.

LE CORRE, P., TREGUER, P., 1976. Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse Doct.ès Sci., Université de Bretagne Occidentale, 490 p.

DEUXIÈME PARTIE

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(janvier-septembre 1987)

par

G. BESSERO, Ingénieur Principal de l'Armement

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Généralités

I.1. Organisation	3
I.2. Travaux effectués	3
I.3. Personnel	3
I.4. Moyens	3
I.5. Méthodes	12

CHAPITRE II : Campagne Antilles 1987

II.1. Présentation	19
II.2. Conditions d'exécution de la campagne	19
II.3. Levé à l'est de la Guadeloupe	23
II.4. Travaux complémentaires	56
II.5. Relevés en transit	62

CHAPITRE III : Campagne océanographique Measured Stride

III.1. Présentation	64
III.2. Conditions d'exécution de la campagne	64
III.3. Localisation	73
III.4. Bathymétrie	73
III.5. Océanographie	73
III.6. Mesures complémentaires	73

RÉFÉRENCES	74
------------------	----

ANNEXES

<i>Annexe 1</i> : Réduction des sondes	75
<i>Annexe 2</i> : Algorithme de constitution des fichiers relatifs à un ensemble de coupures	76
<i>Annexe 3</i> : Analyse de l'étalonnage du système Trident	78
<i>Annexe 4</i> : Évaluation du récepteur GPS TR5S	80

INTRODUCTION

Du 1^{er} janvier au 30 septembre 1987, la Mission Océanographique de l'Atlantique (MOA), composée du bâtiment océanographique *D'Entrecasteaux* et d'une unité hydrographique embarquée, a été dirigée par le commandant du *D'Entrecasteaux* :

- Le Capitaine de Frégate Vignat, du 1^{er} janvier au 16 août ;
- Le Capitaine de Frégate Angles, du 16 août au 30 septembre.

L'Ingénieur Principal de l'Armement Bessero a exercé durant cette période les fonctions de directeur technique, dans les conditions prévues par l'arrêté n° 3 du 26 janvier 1972 sur l'organisation et le fonctionnement des missions du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Il succédait à l'ingénieur en Chef de l'Armement Bonnot, et a été remplacé par l'ingénieur en Chef de l'Armement Siess.

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS

I.1. ORGANISATION

Le seul changement notable dans l'organisation héritée de l'Ingénieur en Chef de l'Armement Bonnot, concerne la séparation des fonctions de directeur et de directeur technique.

C'était la première fois depuis sa création que la MOA était placée dans cette situation pour une durée significative, mais cette innovation ne souleva pas de difficulté particulière, en raison de la symbiose entre l'unité hydrographique et le *D'Entrecasteaux*. L'expérience a montré que cette option est toujours praticable, du moins dans une mission complètement embarquée et dotée d'un seul bâtiment.

L'organisation de l'unité hydrographique en deux services, service « Hydrographie » et service « Matériel » dirigés chacun par un ingénieur fut maintenue.

I.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

La MOA connut pendant cette période une activité soutenue et diversifiée puisqu'elle effectua successivement :

- une campagne d'hydrographie générale aux Antilles, du 5 janvier au 30 mai, consacrée essentiellement à un levé à l'est de la Guadeloupe ;
- une campagne d'océanographie militaire entre l'Islande et le Groenland, du 3 juillet au 20 août.

Ces deux campagnes représentèrent 194 jours d'absence de Brest, sur une période de 273 jours, au cours desquels le *D'Entrecasteaux* parcourut quelques 31 500 milles et navigua, sans toutefois les atteindre, de l'équateur au cercle polaire arctique (fig. 1).

Parallèlement, les travaux de rédaction du levé Sud Bretagne effectué en 1986 sous la direction de l'ICA Bonnot furent poursuivis et une partie des documents définitifs correspondants put être achevée.

I.3. PERSONNEL

Le directeur et le directeur technique étaient assistés de :

- l'Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement Mondot, chef du service « Matériel » ;
- l'Ingénieur de l'Armement Le Visage, chef du service « Hydrographie ».

Pendant la période considérée, le Capitaine de Corvette (S) Le Rest exerçait les fonctions de commandant en second du *D'Entrecasteaux*.

Le détachement de l'escadrille 22 S embarqué à bord du *D'Entrecasteaux* pour la campagne aux Antilles était

dirigé par l'Enseigne de Vaisseau de 1^{re} classe (R) Joaus.

L'unité hydrographique a bénéficié pendant toute la période d'un supplément de personnel, soit 9 personnes pour un effectif réglementaire de 29, tous grades et spécialités confondus. L'effectif réel moyen en officiers marins hydrographes fut de 15 pour un effectif théorique de 10. Cette situation permit d'assurer le plein emploi de tous les moyens disponibles et l'exécution simultanée des tâches d'acquisition et des tâches de traitement et de validation des données. On peut à juste titre s'étonner que l'emploi généralisé des systèmes informatiques ne permette pas de dégager un excédent d'effectif et de réduire les plans d'armement. L'expérience montre en fait que l'informatisation permet essentiellement des gains de qualité (réduction des sources d'erreur) et de productivité (réduction des temps de traitement). L'exécution des levés et la finition des documents exigent toujours un personnel relativement nombreux et expérimenté.

Deux faiblesses méritent d'être mentionnées :

- le déficit chronique d'un ingénieur hydrographe par rapport au plan d'armement a réduit les capacités d'innovation et d'amélioration des méthodes ;
- le fonctionnement courant du secrétariat, armé par un matelot du contingent sans qualification adéquate, n'a pu être assuré convenablement qu'avec un contrôle étroit et permanent des ingénieurs et du chef de la salle de dessin.

Il convient enfin de souligner l'importance de la capacité de maintenance et de dépannage du matériel spécifique, en particulier les matériels électroniques et informatiques, dans une mission appelée à travailler loin de sa base. Compte tenu des aléas du recrutement de personnels spécialisés du contingent et de leur rotation rapide, l'ingénieur électronicien prévu au plan d'armement de la mission joue un rôle fondamental.

I.4. MOYENS

I.4.1. Moyens flottants

Le *D'Entrecasteaux* (photo 1) a été constamment disponible, en dehors de deux périodes normales d'entretien intermédiaire (PEI). Les seuls incidents à signaler concernent :

- les déclenchements intempestifs de l'un ou l'autre des groupes de propulsion, attribués au vieillissement et à l'oxydation des composants des armoires électriques de régulation ;
- les fuites d'huile chroniques liées à une usure anormale des garnitures de lignes d'arbre.

Ils n'ont pas eu de conséquence notable sur le déroulement de l'activité, en dépit du doute induit sur la fiabilité de l'appareil propulsif.

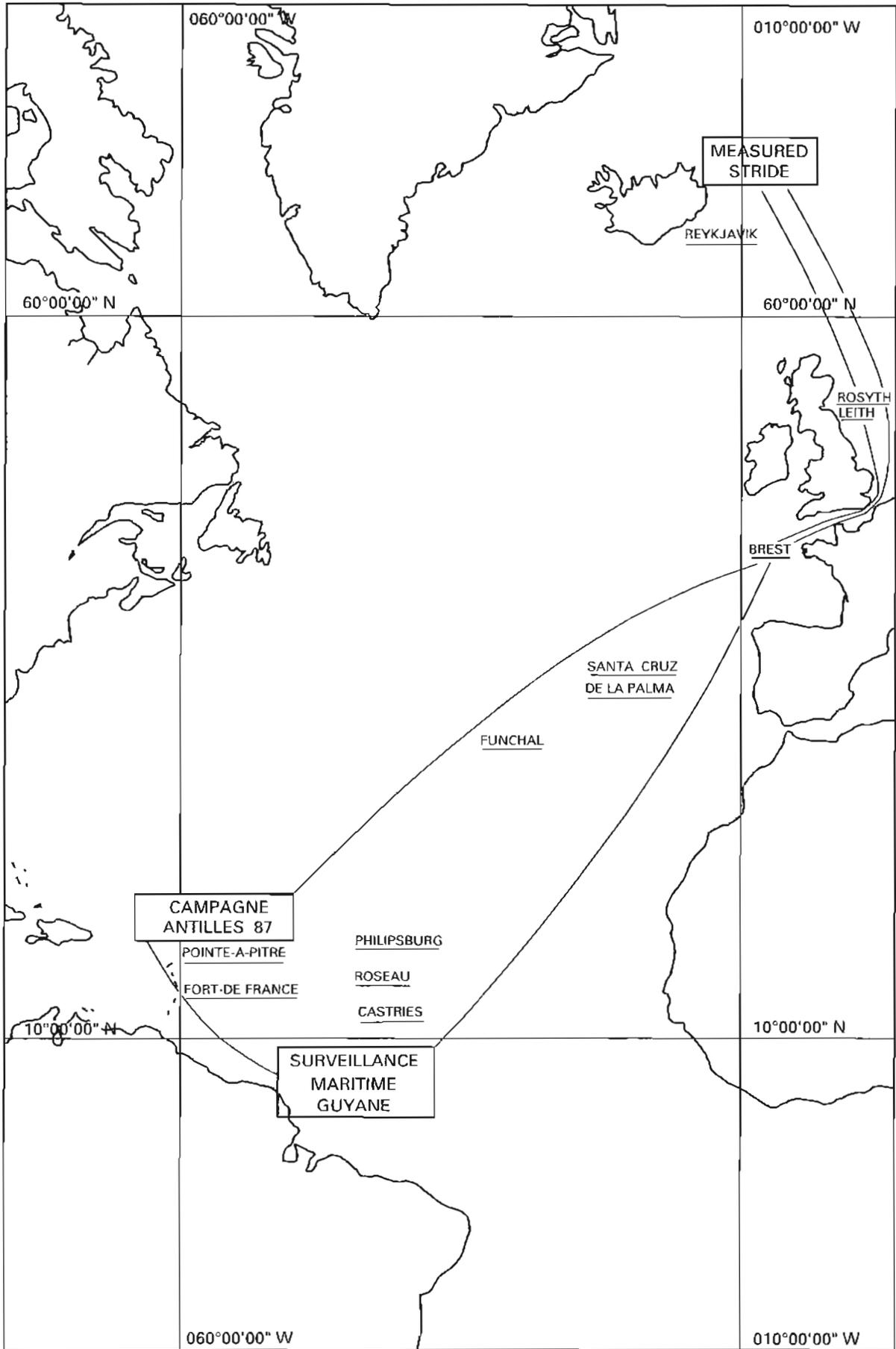


FIG. 1. — Zones de travail de la MOA et ports d'escale du *D'Entrecasteaux* en 1987

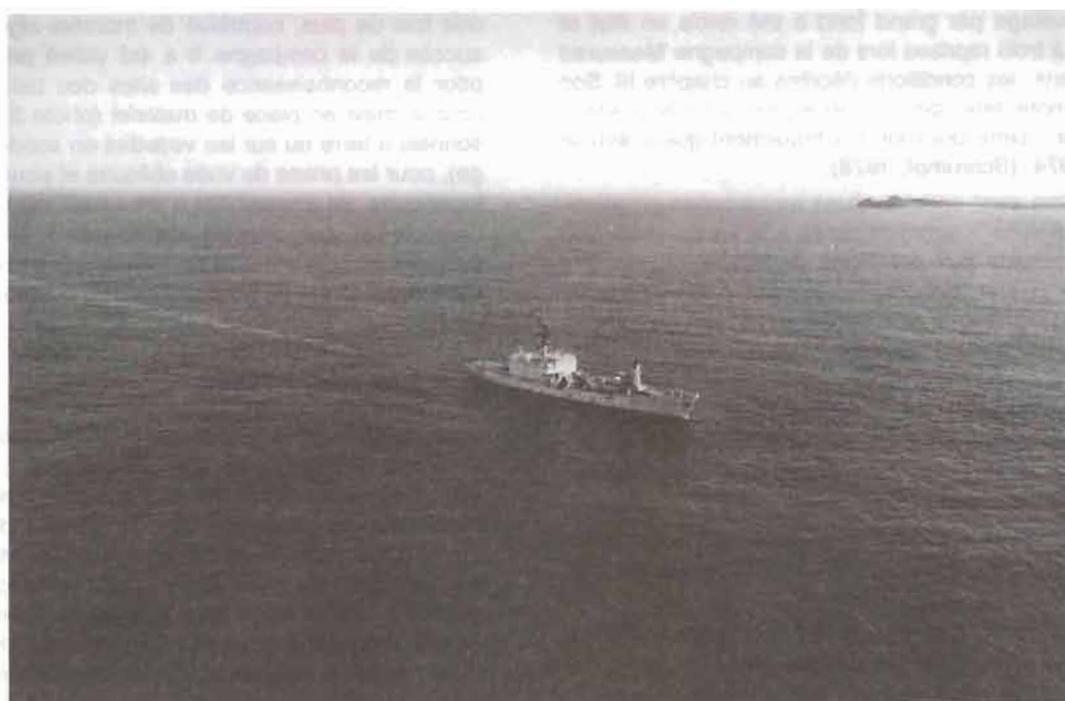


Photo 1. Le D'Entrecasteaux en Guadeloupe, entre la pointe des Châteaux et la Désirade



Photo 2. Récupération de la vedette n°1 : mise en place du croc de la grue



Photo 3. Accrochage en sling sous l'Alouette III d'un marégraphe Suber SLS 13

Le mouillage par grand fond a été remis en état et employé à trois reprises lors de la campagne Measured Stride, dans les conditions décrites au chapitre III. Son utilité compte tenu de sa conception actuelle reste à démontrer : cette question n'a finalement guère évolué depuis 1974 (Schrumph, 1978).

La drome s'est enrichie d'une embarcation en aluminium « coralline » approvisionnée à la fin de 1986. Son aptitude connue aux sondages portuaires ou par tout petit fond et à la topographie de récif a été confirmée pendant la campagne aux Antilles.

Le fonctionnement des trois vedettes VH9 a été un sujet de préoccupation constant pendant la campagne aux Antilles. Si leur rendement global a été satisfaisant, il ne doit pas faire oublier les incidents quotidiens qui ont émaillé la campagne. Les principales insuffisances constatées portent sur :

- les circuits électriques dont l'isolement est souvent défectueux et convient mal aux systèmes d'acquisition Hydrac ;
- l'absence de suspension des auxiliaires entraînant une détérioration accélérée des courroies ;
- le système d'accrochage de la vedette prototype n° 1, qui semble particulièrement peu maniable et dangereux pour le personnel (photo 2).

Les cabestans installés pendant l'IPER 1985-1986 pour faciliter la manutention des embarcations ont donné toute satisfaction et prouvé leur efficacité au cours de quelques 140 mises à l'eau et hissages aux Antilles

La méthode habituelle de mise en œuvre des embarcations (bâtiment stoppé bout à la houle sur propulsion auxiliaire) a été abandonnée au début de la campagne aux Antilles en raison de l'état de la mer (3-4) lié à des houles croisées parfois assez creuses et à l'alizé qui souffle constamment entre 10 et 25 nœuds. Le commandant du *D'Entrecasteaux* a préféré effectuer mise à l'eau et récupération en route à faible vitesse, ou stoppé, vent sur la hanche bâbord arrière et mer proche de l'arrière. Cette disposition permet de créer une zone de calme relatif le long du flanc tribord. Les manœuvres d'accostage des embarcations sont un peu plus délicates mais la sécurité du personnel et du matériel et la rapidité d'exécution s'en trouvent globalement améliorées.

1.4.2. Véhicules

Le parc de véhicules de la Mission était composé de deux pick-up 504 Dangel et d'une fourgonnette 504 Durisotti dont la fiabilité n'est pas parfaite. La fragilité de leur système de transmission n'a pas trop perturbé le déroulement de la campagne aux Antilles, malgré les difficultés d'approvisionnement des pièces de rechange.

Le camion SG2 Saviem inutilisé depuis mi-1986 a été déclassé sans remplacement en juin 1987.

1.4.3. Hélicoptère

L'hélicoptère Alouette III embarqué à bord du *D'Entrecasteaux* pour la campagne aux Antilles a,

une fois de plus, contribué de manière significative au succès de la campagne. Il a été utilisé principalement pour la reconnaissance des sites des balises Trident, pour la mise en place de matériel (photo 3) ou de personnels à terre ou sur les vedettes en sonde (dépannage), pour les prises de vues obliques et pour les liaisons logistiques. Sa disponibilité a été excellente (2 jours d'indisponibilité sur 5 mois de mission) et l'allocation d'heures de vol s'est révélée bien adaptée (147,8 heures consommées sur un potentiel de 150 heures).

1.4.4. Matériel spécifique

La dotation de la Mission en matériel spécifique, sensiblement conforme au plan d'équipement, n'a guère évolué en 1987 ; elle a paru bien adaptée aux besoins. A l'exception du magnétomètre, la plupart des équipements d'hydrographie et d'océanographie ont été utilisés à un moment ou à un autre. Leur bon fonctionnement général a résulté d'une part de la maintenance préventive effectuée à l'Établissement Principal du SHOM (EPSHOM) ou par la Mission et d'autre part des contrôles fréquents du matériel embarqué ou implanté à terre. La présence à la MOA d'un ingénieur électronicien expérimenté a permis d'assurer efficacement l'entretien courant et de traiter rapidement les quelques pannes survenues. Les principales observations relatives au fonctionnement du matériel sont présentées ci - après :

a) localisation

Le récepteur GPS TR5S de Sercel (photo 4) installé à bord du *D'Entrecasteaux* en 1986 et connecté au réseau d'acquisition de données Hydroboucle par l'intermédiaire d'une station développée par l'EPSHOM a fait l'objet d'une évaluation pendant la campagne aux Antilles (voir annexe 4). Il a été utilisé comme moyen principal de localisation lors des transits océaniques et de la campagne Measured Stride, pendant les créneaux de visibilité simultanée d'au moins 3 satellites (fonctionnement en mode 2D + T).

La chaîne de radiolocalisation Trident III embarquée pour la campagne aux Antilles était composée de 6 interrogateurs (dont 1 en supplément temporaire) et de 12 balises (dont 2 en supplément temporaire). La seule difficulté rencontrée concerne les alimentations électriques autonomes : les générateurs solaires existants (photo 5), et a fortiori les groupes électrogènes (équipés d'un système de démarrage automatique) sont insuffisants pour l'alimentation prolongée d'une balise interrogée 24 heures sur 24. Des interventions régulières restent nécessaires, soit pour effectuer une charge d'appoint des batteries, soit pour faire le plein du groupe.

Deux couples de telluromètres MRA 5 ont été utilisés en Guadeloupe (photo 5) ; des portées de plus de 45 km ont été obtenues. Un mât télescopique de 15 m a été mis en œuvre : il a été transporté par hélicoptère en cabine ou en 504 Durisotti. Les mesures effectuées ont mis en évidence une dérive des fréquences des appareils qui a deux conséquences fâcheuses :

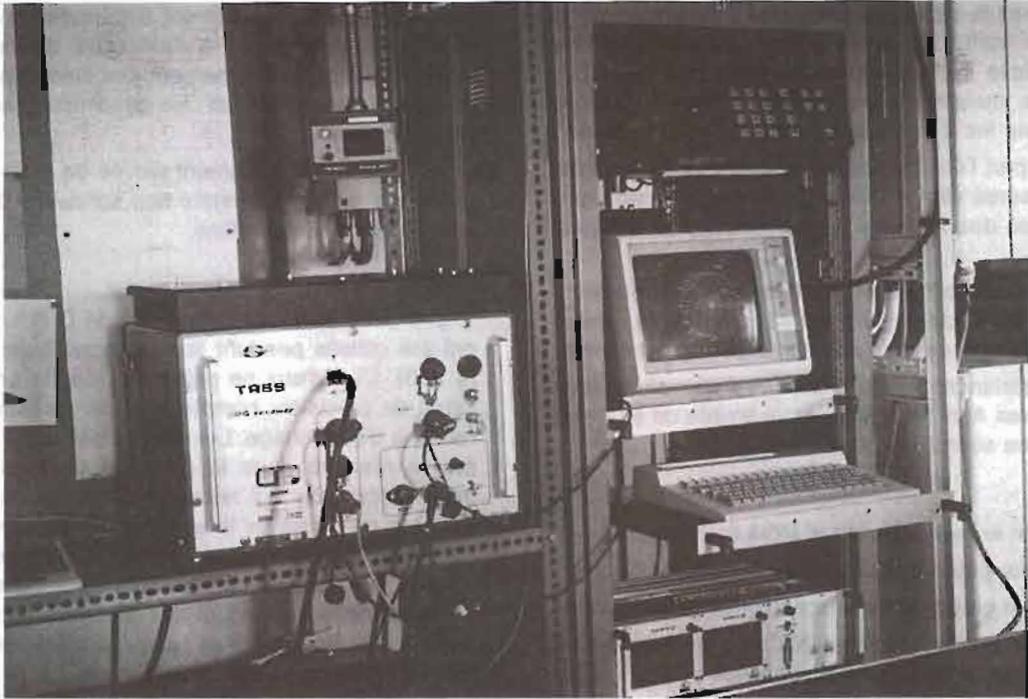


Photo 4. Le récepteur GPS TR55 de Sercel installé au PC scientifique du D'Entrecasteaux

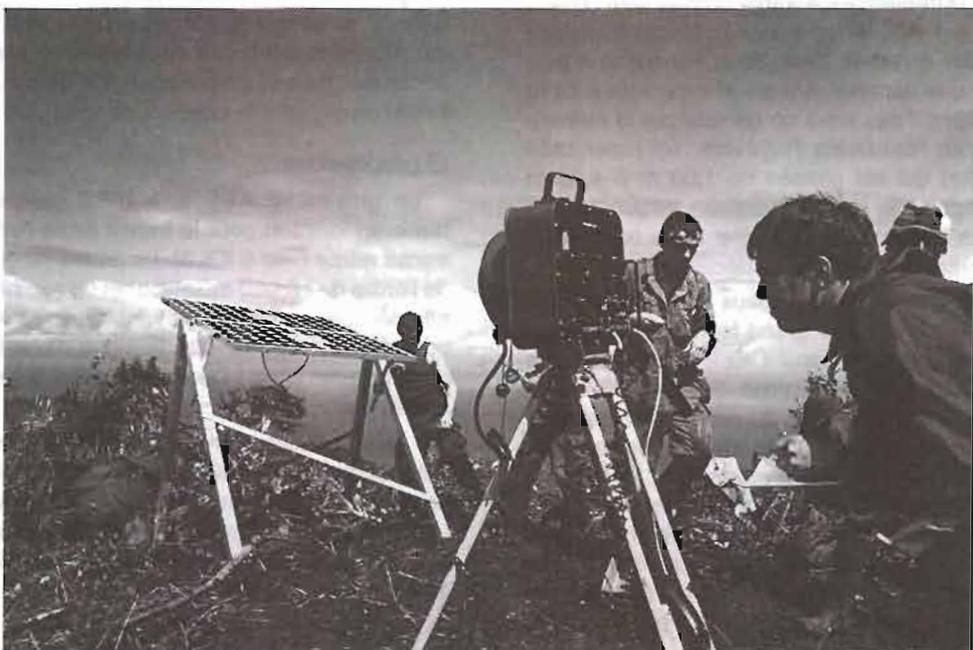


Photo 5. Installation d'une station Trident au sommet du Morne au Diable (Dominique) : mise en place du générateur solaire et mesure au telluromètre MRA 5

- d'une part le décalage relatif des fréquences de la porteuse du maître et de l'esclave ne permet qu'une mesure partielle (accord impossible sur 1 ou 2 des 3 fréquences de mesure) voire aucune mesure (accord impossible sur les 3 fréquences) pour un couple donné ;

- d'autre part l'écart entre les fréquences de modulation des mesures aller et retour provoque un écart entre les moyennes des mesures proportionnel à la distance (figure 2).

Un contrôle périodique en laboratoire des oscillateurs et des fréquences de mesure est nécessaire pour éviter une dégradation excessive de la précision des mesures.

Pour les distances courtes, la MOA disposait de deux distancemètres Aga 14 ; l'autonomie limitée de leur batterie a été une source de gêne.

b) sondeurs

La dotation en sondeurs de la MOA était la suivante :

- 1 sondeur grand fond à faisceau large Raythéon ;
- 1 sondeur grand fond à faisceau étroit stabilisé Edo ;
- 5 sondeurs petit fond Deso 20 dont 1 en supplément temporaire pour la campagne aux Antilles ;
- 4 sondeurs petit fond Deso 10 (dont 2 en supplément temporaire) avec 2 bases hors bord ;
- 2 sondeurs latéraux Edgerton Mark 1B ;

permettant l'équipement du *D'Entrecasteaux* (sondeurs grand fond et 1 sondeur Deso 20), des trois vedettes (1 sondeur Deso 20 par vedette) et de la coralline (1 sondeur Deso 10 avec base hors bord, photo 6). un seul sondeur latéral a été utilisé, pendant quelques heures à partir du *D'Entrecasteaux* en Guadeloupe.

Pendant la campagne aux Antilles, le sondeur Raythéon a été maintenu en fonction pratiquement en permanence ; le sondeur Deso 20 a été utilisé chaque fois qu'un enregistrement exploitable pouvait être obtenu (fond inférieur à 1 000 m en général). La comparaison systématique des données Deso 20 et Raythéon a permis de déceler une variation brutale et inexplicable de la correction de tirant d'eau prise en compte par le numériseur PDD 200 de l'ensemble Raythéon (et répercutée sur l'enregistreur) qui est passée de 1,00 m à 4,70 m sans raison apparente. La comparaison fréquente des enregistrements obtenus sur fond plat avec ou sans le numériseur permet de contrôler ce décalage.

Après plusieurs essais infructueux (en raison d'une panne matérielle), le sondeur grand fond Raythéon a pu être utilisé avec son corrélateur CESP III pendant une partie de la campagne Measured Stride. Dans cette configuration, le fonctionnement du numériseur est sensiblement amélioré. La qualité de l'enregistrement analogique est bonne, même par mer agitée, lorsque les fonds sont réguliers. Par fonds tourmentés et importants (plus de 2 500 m), la qualité de l'enregistrement est plus aléatoire, même par mer calme. La calibration des marques d'immersion (fonction de la largeur d'impulsion) est assurée en passant régulièrement en poursuite manuelle avec une fenêtre appropriée.

Quelques avaries ont affecté le fonctionnement des sondeurs Deso 20 pendant la campagne aux Antilles.

Elles ont pu être rapidement dépannées grâce au sondeur de rechange et à l'efficacité de la procédure « DEM » d'approvisionnement des éléments de rechange par la DCAN de Brest : les délais n'ont jamais dépassé 2 semaines.

La vitesse anormalement élevée du moteur de l'enregistreur a perturbé l'emploi des sondeurs Deso 10 lors des sondages en coralline.

c) océanographie

Les deux ensembles bathysonde Guildline (photo 7) ont été utilisés pendant la campagne Measured Stride (§ III.5). L'un d'eux ne présente plus de garantie suffisante de précision, compte tenu de l'évolution des corrections d'étalonnage. Les seules difficultés de mise en œuvre résident dans le dispositif de trancannage du treuil Mécabolier qui nécessite à chaque extrémité du tambour de débrayer le système et d'opérer manuellement pour obtenir un enroulement à peu près correct. Il n'a pas été possible d'embarquer pour cette campagne un salinomètre présentant des garanties acceptables de précision et de fiabilité et permettant l'exploitation complète à bord des paliers d'étalonnage.

Dans certaines conditions, il a été possible de suivre avec le sondeur Raythéon, en mode corrélateur, la descente de la bathysonde jusqu'à plus de 1 800 m. Cette procédure applicable par mer calme fournit un moyen de contrôle supplémentaire de l'étalonnage du capteur de pression.

Le matériel d'océanographie Suber (4 courantmètres SLS 11, 4 marégraphes SLS 13 et 1 célérimètre SLS 12) a également bien fonctionné. La précision du célérimètre a été contrôlée par comparaison avec la bathysonde, le célérimètre étant fixé sur la rosette : les écarts observés sur la célérité étaient inférieurs à 1 m/s. Rappelons que l'acquisition des données du célérimètre avec un boîtier SLS 07 connecté à un calculateur peut entraîner des modifications aléatoires du contenu de certains registres de température et de pression. Ce défaut n'apparaît pas lorsqu'on exploite le célérimètre avec une unité SLS 04.

d) géophysique

Le gravimètre KSS 5, inutilisé depuis 1984, a été remis en fonction pour le transit Brest-Antilles et pour le transit retour (voir § II.5.3). La dérive du gravimètre a été de l'ordre de - 0,060 mGal/jour et ne semble pas avoir été affectée par l'arrêt du gravimètre entre les transits. Ce bon résultat est peut-être le signe d'une bonification du capteur avec l'âge ! Deux anomalies ont néanmoins été observées :

- une variation de l'ordre de 2,5 mGal en 12 heures a été constatée pendant une mesure référence ; elle semble avoir été compensée dès le lendemain par une variation inverse (figure 3). Ce phénomène de saut, dont la cause n'est pas élucidée, a déjà été signalé (Guyon, 1985) ;

- la plate-forme stabilisée peut prendre deux positions d'équilibre sensiblement distinctes. Ce défaut a été attribué a posteriori par le constructeur à une anomalie sur le servomoteur d'asservissement en tangage.

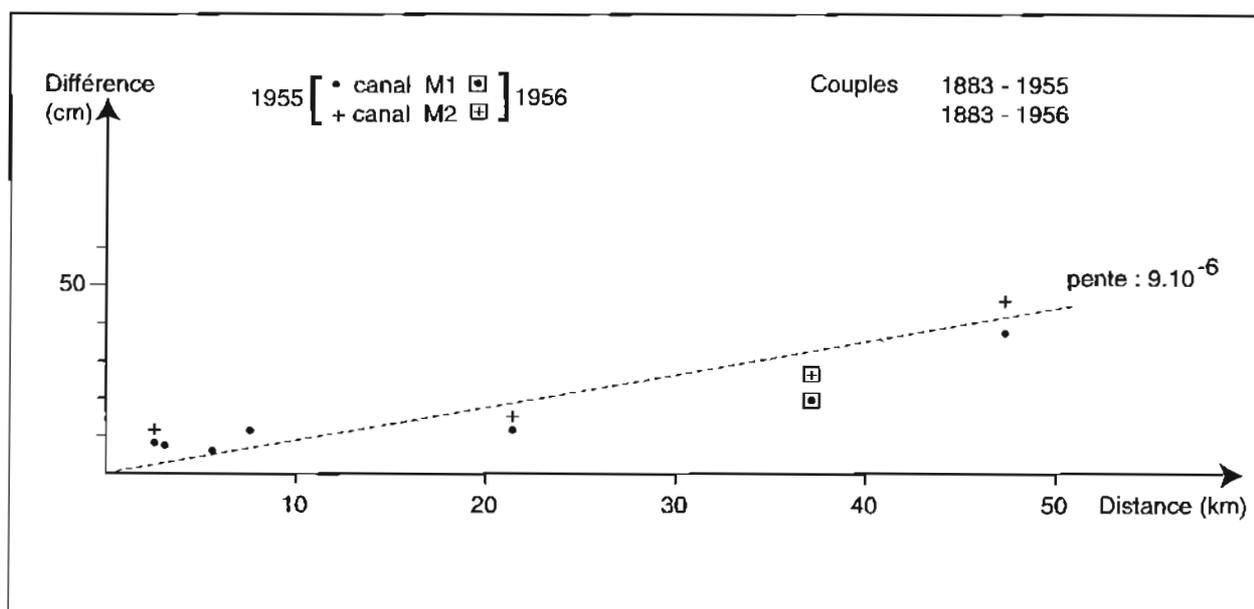
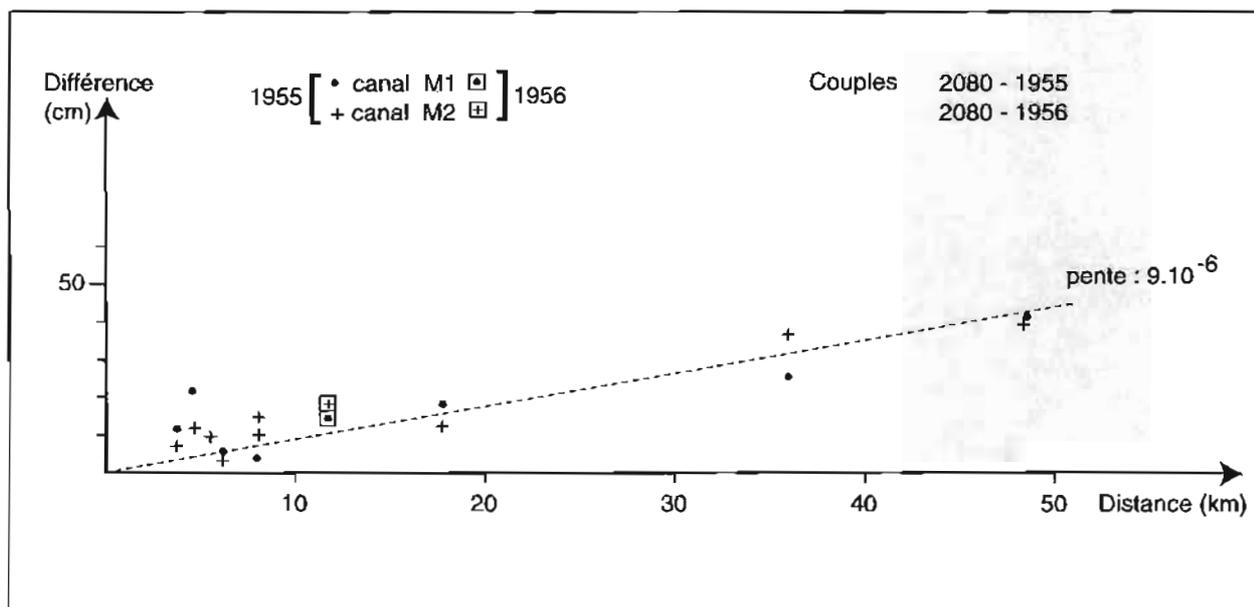


FIG. 2. — Comparaison des mesures aller et retour avec différents couples de telluromètres

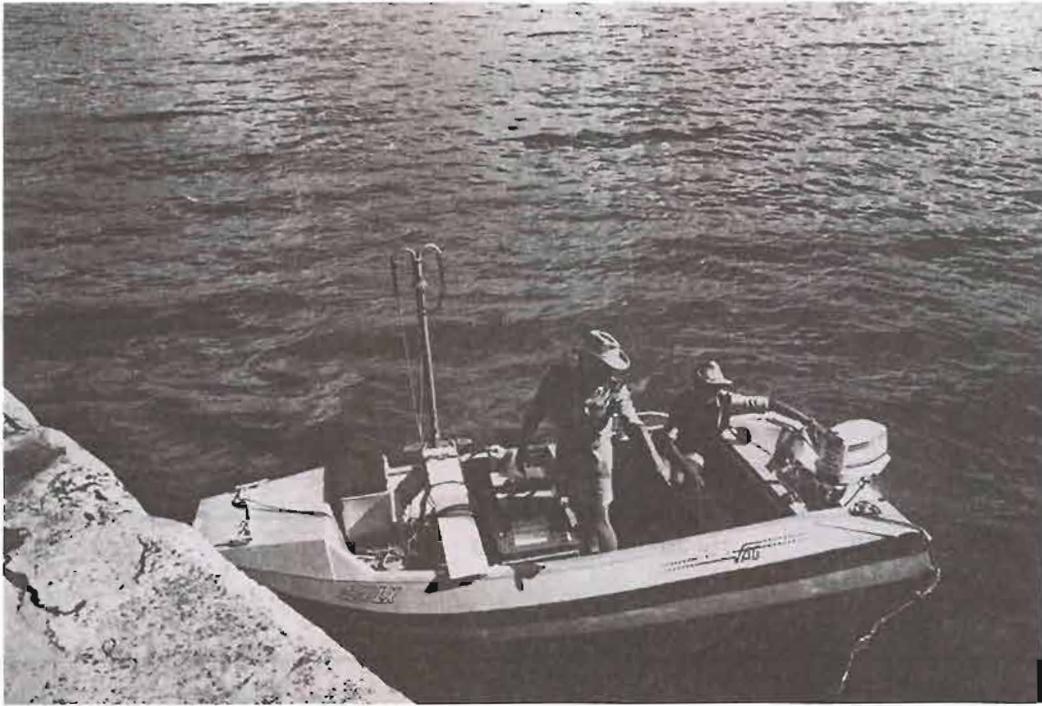


Photo 6. La coralline équipée d'une base hors bord et d'un sondeur Deso 10 dans le port de Pointe-à-Pitre

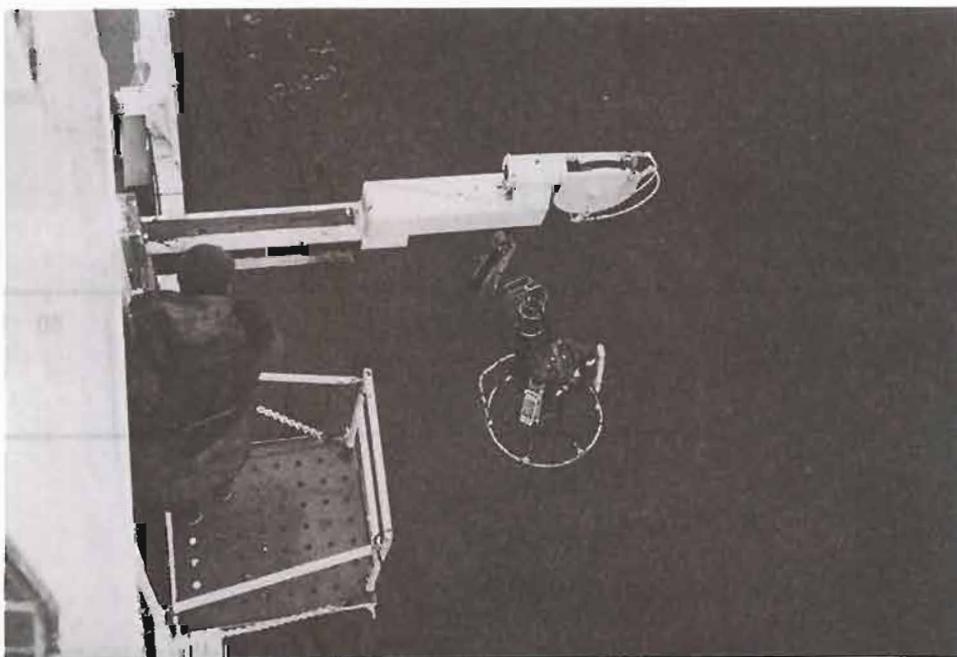


Photo 7. Mise à l'eau d'une bathysonde pendant la campagne Measured Stride

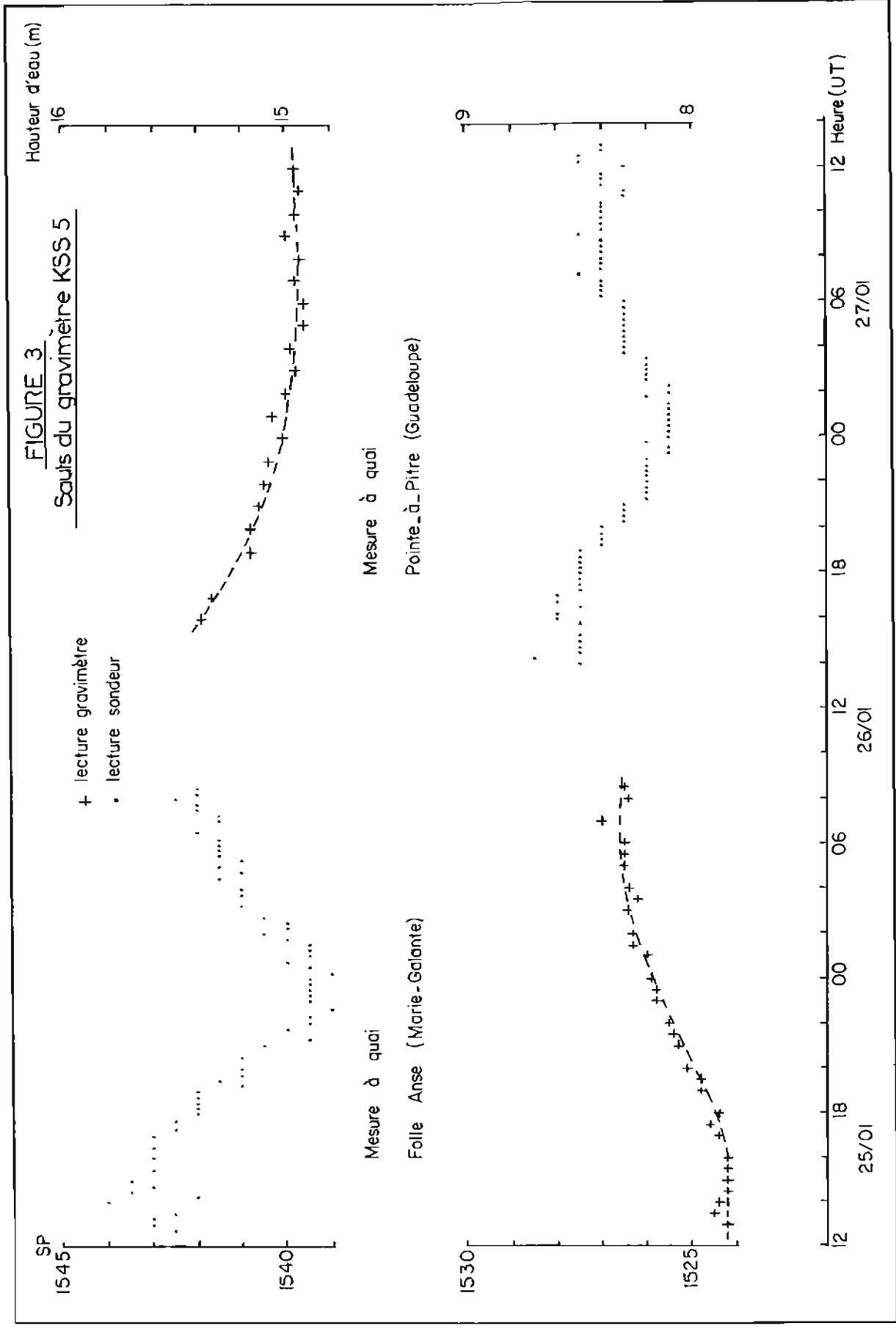


FIG. 3 — Sauts du gravimètre KSS 5

I.4.5. Systèmes d'acquisition et de traitement des données

Les systèmes Hydrac d'acquisition automatique de la localisation et de la sonde ont été utilisés tant par le *D'Entrecasteaux* que par les vedettes. La MOA disposait des matériels d'acquisition et de traitement suivants :

- 5 ensembles Hydrac pour vedettes ;
- 2 lecteurs de cassettes Hydrolec ,
- 1 réseau Hydroboucle bâtiment avec stations de rechange ;
- 2 centrales Hydest ;
- 4 calculateurs HP 9816 et leurs périphériques (dont un lecteur Bering) ;
- 3 calculateurs HP 85 et leurs périphériques ;
- 2 traceurs à rouleau Benson, 1313 et 1645.

La présence d'un ordinateur HP 9816 supplémentaire par rapport à la dotation théorique de trois a paru indispensable pour assurer dans de bonnes conditions l'acquisition et le traitement des données que ce soit en hydrographie ou en océanographie. Dans le premier cas, l'acquisition des données à bord du *D'Entrecasteaux* et le traitement des données brutes des vedettes mobilisent

trois calculateurs pratiquement en permanence. Un seul ordinateur est alors disponible pour les autres traitements (choix de sonde sur profil, élaboration des documents graphiques, etc.). Dans le deuxième cas, deux ordinateurs sont nécessaires pour l'acquisition et le traitement primaire des données (localisation et bathysonde) ; la disponibilité de deux autres ordinateurs permet d'assurer les traitements en temps différé (validation de la localisation) et de poursuivre l'exploitation des données d'un levé antérieur.

Après un contrôle initial approfondi, qui a mis en évidence des composants défectueux, et leur remise en état, les ensembles Hydrac-vedette n'ont pas nécessité d'interventions importantes. La plupart des anomalies de fonctionnement constatées en vedette n'ont pu être reproduites à bord du *D'Entrecasteaux* et sont vraisemblablement provoquées par des défauts de l'alimentation 24 V des vedettes. Signalons toutefois la fragilité des micro-terminaux due à leur non-étanchéité qui s'accommode mal de l'atmosphère humide des vedettes.

La fiabilité des équipements utilisés à bord du *D'Entrecasteaux* (photo 8) a été excellente. Seule la station JMR du réseau Hydroboucle n'est pas opérationnelle : elle provoque des blocages intempestifs du réseau.



Photo 8. Le système d'acquisition Hydroboucle du PC scientifique du *D'Entrecasteaux*

Une déformation a été constatée sur des documents élaborés sur stabiphane avec le traceur Benson 1645 : les écarts qui peuvent atteindre le millimètre par mètre ont été attribués à un défaut du rouleau de support utilisé. Cette anomalie rappelle la nécessité d'un contrôle régulier et soigné des tracés.

Le système d'acquisition Sippican Mk 9 connecté à un ordinateur HP 9845, déjà utilisé en 1986, a été réem-

barqué pour la campagne d'océanographie. Il a donné toute satisfaction.

I.5. MÉTHODES

L'évolution des méthodes résulte essentiellement de la poursuite de l'effort entrepris précédemment pour réduire le délai entre l'acquisition des données et leur validation.

1.5.1. Hydrographie côtière

L'acquisition automatique de la localisation et de la sonde à bord du *D'Entrecasteaux* est opérationnelle depuis 1986. L'emploi de deux capteurs nouveaux (récepteur GPS et sondeur Raythéon) n'a pas soulevé de difficulté particulière : à de rares exceptions près, il n'a pas été nécessaire de rejouer la localisation traitée en temps réel. La surveillance constante du numériseur Raythéon PDD 200 a permis d'obtenir une sonde numérisée acceptable par rapport à l'enregistrement analogique. Celui-ci était d'ailleurs parfois de qualité médiocre dans les zones accidentées ou à forte pente. La structure de la chaîne de traitement des données est rappelée à la figure 4.

On a cherché aux Antilles à automatiser l'acquisition des données en vedette. L'archivage sans calcul des données de localisation (distances Trident) avait déjà été utilisé avec succès pendant le levé Sud Bretagne 1986, associé à la numérisation des bandes de sonde. Cette dernière opération entraînait un retard croissant entre la séance de sonde et la constitution du fichier validé correspondant. On a donc cherché aux Antilles à utiliser les systèmes Hydrac-vedette en mode complet localisation et sonde.

L'option calcul du point en temps réel et guidage sur profils rectilignes prédéterminés était particulièrement intéressante pour les premiers sondages des vedettes autour de l'île de Marie-Galante dont la forme se prête mal à un guidage sur cercles Trident. Les problèmes pratiques rencontrés (blocage du système à la moindre anomalie de réception des distances Trident, manque de souplesse des modules de gestion des réseaux, des profils et du point approché) ont conduit à préférer l'archivage de la sonde et des distances Trident sans calcul et le guidage sur cercles Trident dès que la disposition des balises l'a permis (à partir de la côte nord de Marie-Galante). Rappelons que la précision du calcul du point en temps réel est insuffisante pour une adoption sans jeu aux échelles supérieures au 1 : 10 000.

Compte tenu des conditions de sondage assez peu propices aux vedettes (pentes et fonds importants, houle quasi-permanente), le fonctionnement de l'acquisition automatique de la sonde a été globalement satisfaisant et a permis un gain de productivité important par rapport à la méthode habituelle de numérisation des bandes de sonde. Il subsiste néanmoins des problèmes à résoudre avant de généraliser l'emploi de ce procédé. L'analyse qui suit, due à l'IA Le Visage, dresse le bilan de l'expérience acquise en Guadeloupe.

a) compensation du pilonnement

Faute de capteur adéquat, les sondes acquises en vedette restent entachées de l'erreur de pilonnement. Le traitement automatique interdit pratiquement le lissage des effets de la houle : tant l'algorithme interne de la station « sondeur » du système Hydrac que l'algorithme du choix de sonde sur profil aboutissent à retenir en priorité les sommets relatifs. La profondeur adoptée est égale à la profondeur réelle diminuée de l'amplitude des mouvements de pilonnement de la vedette. Du point de vue de la sécurité, ce lissage par les sommets relatifs n'est pas plus critiquable que le moyennage ou lissage au tiers supérieur pratiqué en dépouillement manuel. Il présente

cependant l'inconvénient de rendre plus difficile la superposition ou le raccordement de deux levés réalisés par les vedettes dans des conditions de mer différentes ou l'imbrication de sondages effectués par un bâtiment (sondes corrigées du pilonnement) et par les vedettes. Les zones de fonds plats et faibles étant rares dans la zone du levé de 1987 en Guadeloupe, l'erreur commise a pu être négligée ; ce n'est malheureusement possible que dans une minorité de cas et l'avenir de l'acquisition automatique de la sonde en vedette reste tributaire de la résolution du problème du pilonnement.

b) acquisition de la sonde

Les quelques difficultés rencontrées au stade de l'acquisition sont dues pour l'essentiel aux défauts du numériseur du sondeur et aux erreurs de l'opérateur. Sauf avarie, la station acquiert toujours la sonde correcte dès lors que celle-ci est affichée au sondeur.

Les erreurs liées au sondeur concernent des sondes à 0 ou à la valeur du seuil ou, au contraire, des sondes très importantes en cas de perte du fond. Ces erreurs peuvent être passagères (cavitation dans la houle) et ne concerner qu'une sonde ou se prolonger plusieurs secondes (fond important, forte pente). Elles se décèlent facilement au choix de sonde sur profil, réalisé en consultant en permanence l'enregistrement analogique.

Les erreurs dues à l'opérateur portent essentiellement sur le réglage du seuil qui interdit l'acquisition de sondes sur faibles que la valeur choisie. Le défaut est normalement bien visible sur l'enregistrement analogique. Il ne faut pas non plus oublier de positionner l'interrupteur « Comp » sur interrogation externe.

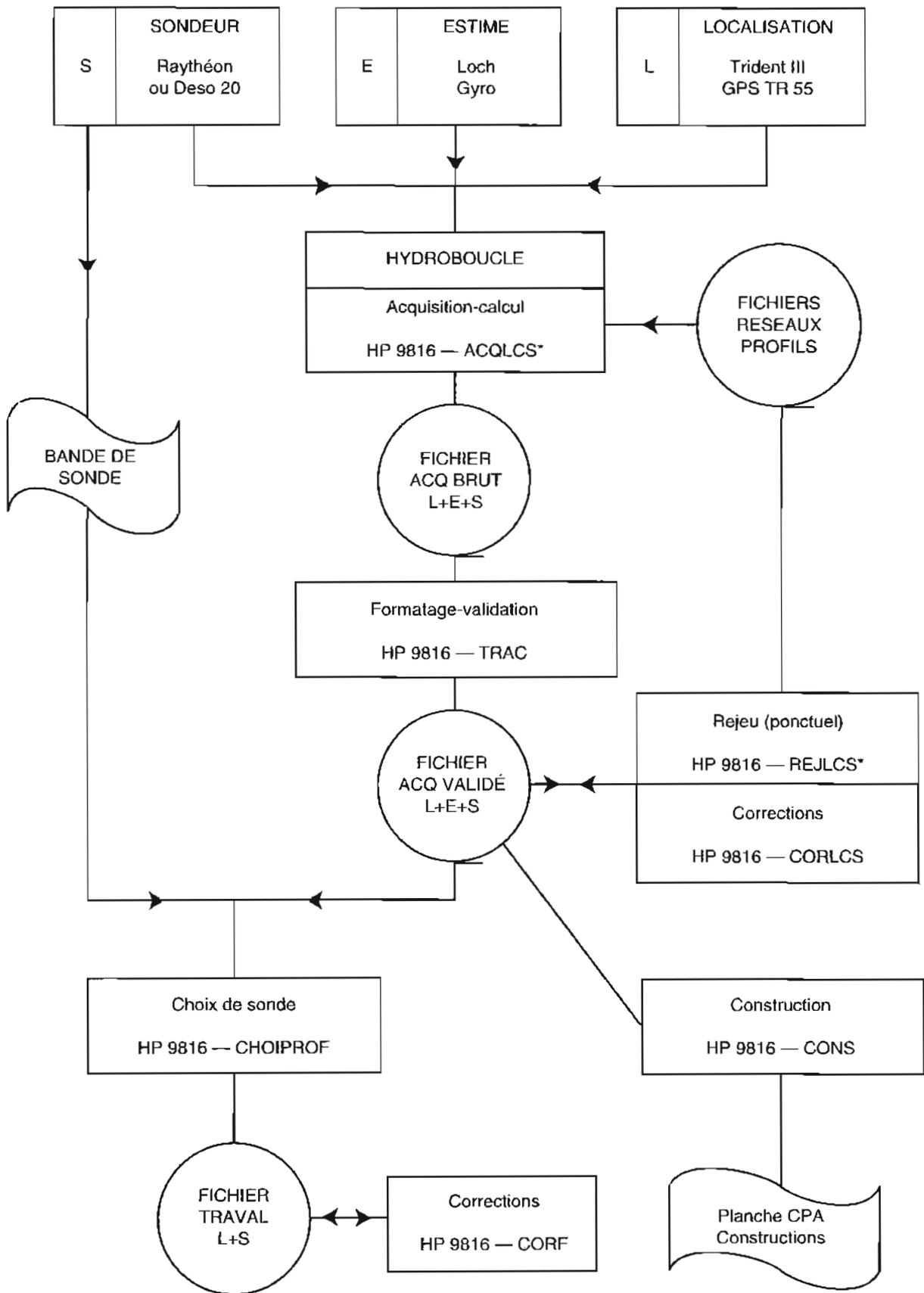
c) transfert

Le format variable des enregistrements sur cassette, retenu pour utiliser au mieux la capacité limitée de ce support rend le logiciel de transfert complexe et sensible : il est impossible de prévoir toutes les anomalies possibles et après trois mois d'utilisation quotidienne, des modifications devaient encore être apportées au programme de transfert !

L'expérience a néanmoins paru globalement positive puisque le traitement d'une séance de sondage en vedette était achevé, en général, moins de 24 heures après la séance considérée.

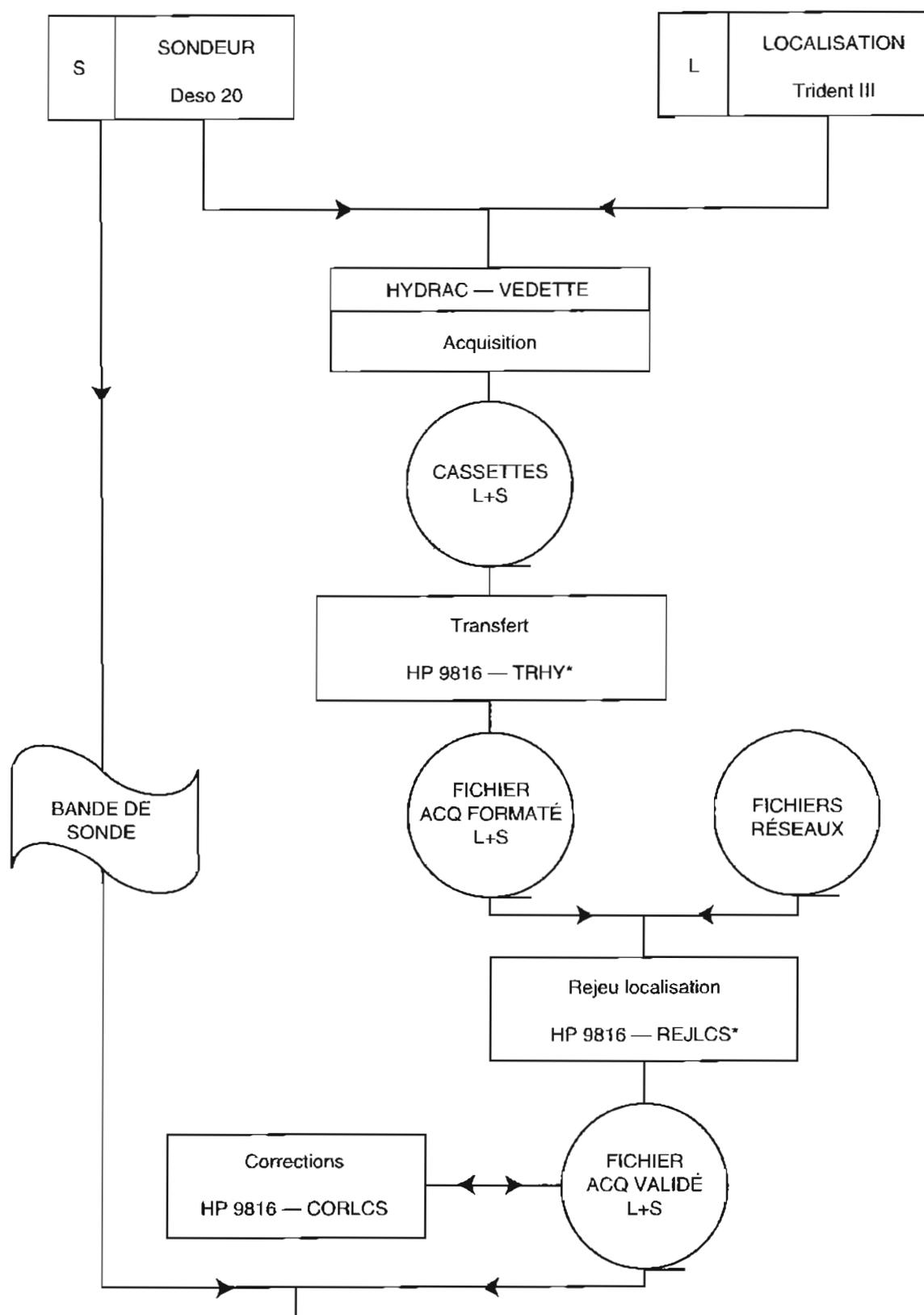
Le principe du traitement des données des vedettes est représenté sur la figure 5. Le programme de rejou de la localisation REJLCS a été modifié pour permettre la saisie et l'intégration des lieux optiques éventuels.

La chaîne d'élaboration des fichiers et des minutes définitifs a peu évolué par rapport à 1986. Ses différentes phases sont précisées sur la figure 6. Le programme de réduction des sondes « REDU » a été aménagé pour permettre la constitution et l'utilisation d'un fichier contenant les éléments de réglage des sondeurs et le profil de célérité réelle du son en fonction du quantième (voir annexe 1). Un nouveau programme de constitution des fichiers « FIMAPE » associés à un ensemble de coupures à partir des fichiers « TRAVAL » correspondant aux séances de sondage a été mis au point. Il assure une gestion optimisée des zones de recouvrement et des zones à rédiger à des échelles différentes. Son principe est décrit en annexe 2.



* : programme modifié pendant la période considérée

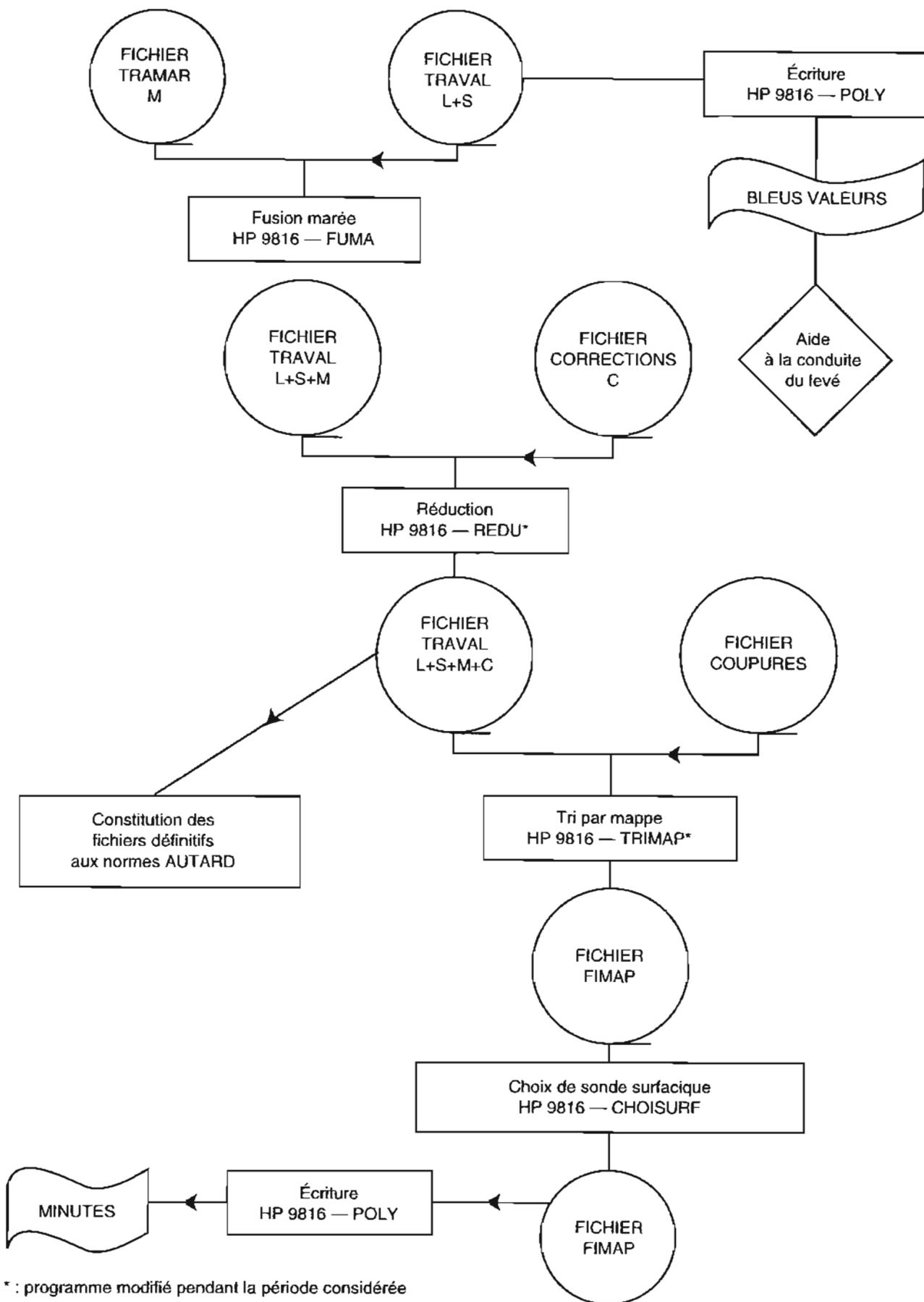
FIG. 4. — Acquisition et traitement des données : chaîne bâtiment



SUITE : VOIR CHAÎNE BÂTIMENT (fig. 4)

* : programme modifié pendant la période considérée

FIG. 5. — Acquisition et traitement des données : chaîne vedettes



* : programme modifié pendant la période considérée

FIG. 6. — Rédaction

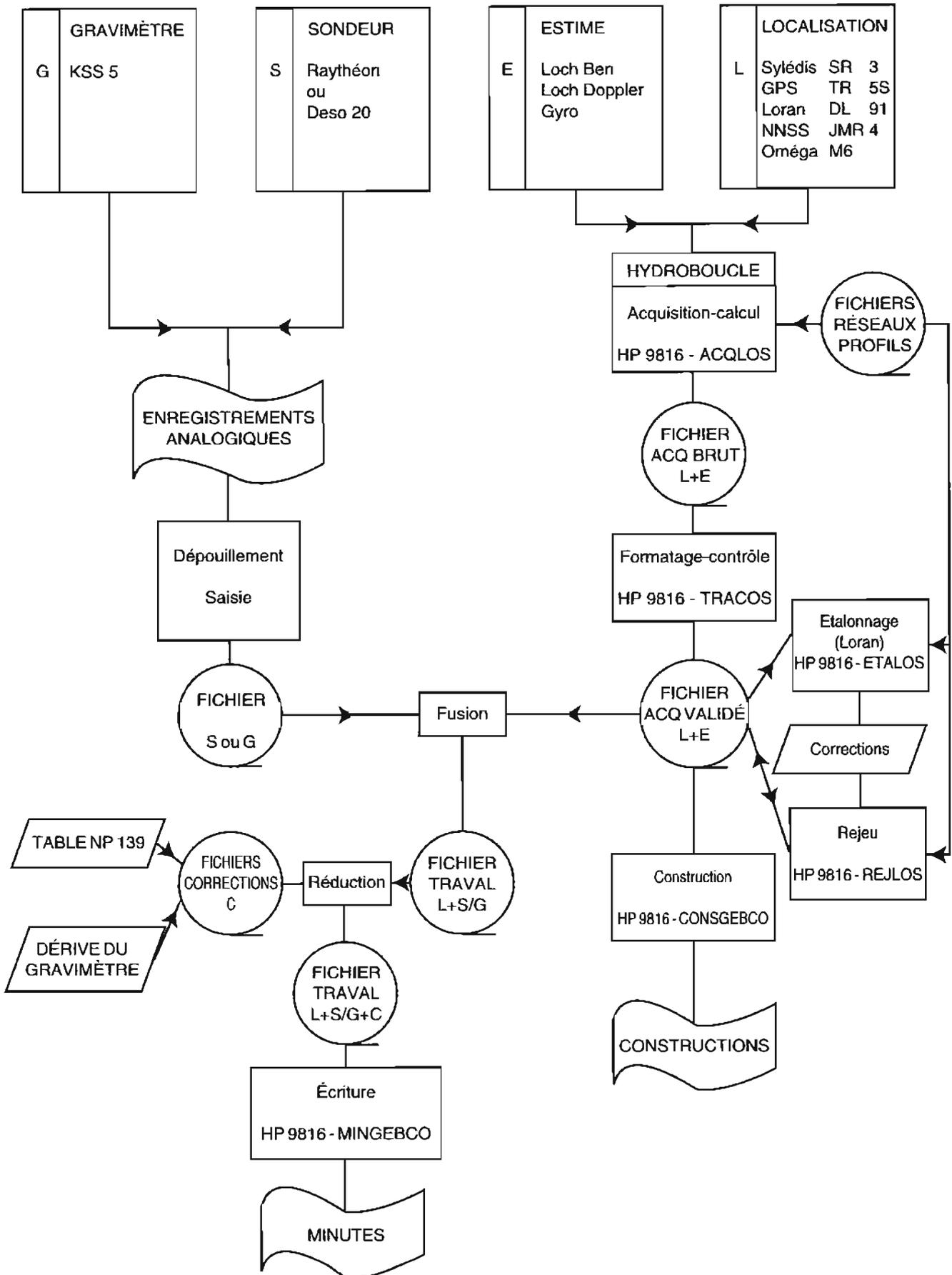


FIG. 7. — Acquisition et traitement des données : hydrographie hauturière

1.5.2. Hydrographie hauturière

La chaîne d'acquisition et de traitement des données sur ordinateur HP 9816 dont la constitution avait été entreprise en 1986 a été développée à l'occasion des transits Brest-Antilles et retour et de la campagne Measured Stride. Elle est basée sur l'acquisition automatique des données de localisation et sur la saisie manuelle de la sonde ou de la pesanteur, qui a paru être la procédure la plus efficace pour les relevés en transit. Son organisation est précisée sur la figure 7 et ses caractéristiques essentielles sont indiquées ci-dessous.

L'acquisition des données est assurée par le programme « ACQLOS » dérivé du programme « ACQLCS » utilisé en localisation côtière. Il permet l'acquisition en temps réel des données provenant de différents capteurs connectés sur un réseau Hydroboucle, le calcul du point hybride Oméga, Transit, GPS, Sylédis, Loran C, estime et le suivi de profil. Les capteurs suivants sont prévus :

- localisation : récepteurs - Oméga M6
 - JMR 4 Sealand surveyor
 - Gps TR5S
 - Sylédis SR3
 - Loran DL 91 Mk 2
- estime : centrale Hydest connectée à un gyrocompas, à un loch Ben et un loch Doppler TSM 5700
- sondeur : aucun, Deso 20 ou Raythéon

Le calcul du point est mené en coordonnées géographiques dans l'un des systèmes géodésiques suivants :

- système WGS 84
- système Europe 50
- système local défini par l'utilisateur

Il est effectué par itération par la méthode des moindres carrés en linéarisant autour du point approché les équations relatives aux lieux validés par l'opérateur et à l'estime.

Les éléments relatifs au suivi de profil sont élaborés en projection de Mercator, d'origine fixée et modifiable par l'opérateur.

Le programme de rejeu « REJLOS » prévoit deux niveaux de traitement des profils à rejouer :

- traitement individuel de chaque point archivé (prise en compte de corrections déterminées a posteriori, modification des validations des lieux, etc.) ;
- contrôle à l'écran de la trajectoire (tracé par tronçons, affichage des vitesses et caps calculés entre points validés successifs, possibilité d'invalider les points aberrants).

Conformément à la nouvelle instruction sur la correction des sondages bathymétriques, le programme de réduction « REDCOS » permet le calcul des sondes réelles. La correction de célérité du son est déduite de deux fichiers constitués à partir des éléments de la table NP 139 (voir annexe 1).

La chaîne de traitement de la gravimétrie a simplement fait l'objet d'une adaptation au format des fichiers de localisation (Type ACQ reformaté).

1.5.3. Océanographie

La méthode de mise en œuvre de la bathysonde et la chaîne d'acquisition et de traitement des données sur ordinateur HP 9816 utilisée depuis 1985 n'ont pas fait l'objet d'améliorations importantes.

Quelques aménagements de détail ont été apportés aux programmes d'acquisition et de pré-traitement pour uniformiser les formats d'édition, faciliter l'exploitation des paliers d'étalonnage et réaliser divers sous-produits (tracés, catalogues, détermination des corrections de célérité du son à appliquer aux sondes).

Une erreur dans la méthode d'exploitation des paliers due à une confusion entre immersion thermométrique (en m) et pression (en dbar) a été détectée et corrigée.

Chapitre II

CAMPAGNE ANTILLES 1987

II.1 PRÉSENTATION

La campagne Antilles 1987 est la sixième campagne effectuée aux Antilles depuis 1976 et la deuxième consacrée exclusivement à la Guadeloupe. La zone à lever est précisée sur la figure 8. Elle prolonge vers l'est et vers le nord les travaux de 1984 et concerne les coupures suivantes du plan de cartographie :

- catégorie 3 (échelle 1 : 180 000) : F (partie nord)
E (partie est)
- catégorie 2 (échelle 1 : 60 000) : L
K (partie est)

Outre le levé bathymétrique et les opérations nécessaires à son exécution (géodésie complémentaire, observations de marée), les travaux suivants ont été réalisés :

- observations Doppler (3 stations à terre, dont 1 en Martinique, et 3 stations à quai) ;
- détermination de la nature du fond pour les profondeurs inférieures à 100 m ;
- topographie complémentaire ;
- observations de courant (3 stations) ;
- revue des amers et du balisage ;
- prises de vues obliques.

Le chantier de repli prévu par les instructions techniques (topographie du Grand Cul-de-Sac Marin) n'a pas été abordé.

Par ailleurs, la MOA a fourni les concours nécessaires à une équipe de cinéastes de l'Établissement Cinématographique et Photographique des Armées (ECPA) pour le tournage de séquences du film sur le SHOM « Ici commence la mer ... ». Elle a également fourni à l'École d'Application des Officiers de Marine (EAOM) le concours d'un ingénieur et d'un officier marinier hydrographe pour le stage pratique d'hydrographie de la campagne 1986-1987 qui s'est déroulé aux Saintes du 22 au 27 février. Enfin deux petits levés de contrôle ont été réalisés à Fort-de-France (plan d'eau de la Marine) et à Pointe-à-Pitre (abords des quais) pendant une escale du *D'Entrecasteaux*. Des relevés bathymétriques, gravimétriques et océanographiques ont été effectués pendant les transits aller et retour.

II. 2. CONDITIONS D'EXÉCUTION DE LA CAMPAGNE

II. 2.1. Préparation

Les principales étapes de la préparation de la campagne sont résumées ci - après :

- avril-août 1986 : recherche par la voie diplomatique, sur demande de la direction du SHOM, de l'agrément du gouvernement du Commonwealth de la Dominique pour le passage du *D'Entrecasteaux* dans les eaux territoriales de cet État lors du levé de la partie sud de la zone ;

- septembre 1986 : définition du programme de principe de la campagne ;

approvisionnement de la couverture photographique aérienne de la Guadeloupe et des documents révisés provisoires des cartes en cours de préparation à l'Institut Géographique National (IGN) ;

- octobre-novembre : demandes de matériels en supplément ;

demande d'émission d'un arrêté préfectoral couvrant les travaux à terre et en mer ;

préparation d'une affichette destinée à l'information de la population ;

rassemblement de la documentation disponible à l'EPSHOM ; envoi à COMAR Fort-de-France des informations utiles à la préparation du séjour du *D'Entrecasteaux* aux Antilles ;

- décembre 1986 : reconnaissance de la zone par le directeur technique ; définition par l'EPSHOM des besoins complémentaires en informations nautiques ; publication de l'arrêté du Préfet, Commissaire de la République de Guadeloupe (n° 86-1138 AD 1/1 du 16 décembre 1986) ;

diffusion des affichettes d'information ;

envoi à COMAR Fort-de-France de la liste des concours locaux nécessaires à la Mission.

Il n'a pas été jugé utile d'envoyer un échelon avancé pour la mise en place des infrastructures nécessaires au démarrage du levé. En effet la dispersion des sites à équiper se prêtait mal à une intervention avec des moyens limités. Seul le directeur technique s'est rendu en Martinique et en Guadeloupe du 2 au 6 décembre 1986 pour une reconnaissance des lieux. Il a pu à cette occasion prendre contact avec les autorités civiles et militaires concernées, examiner les problèmes logistiques et survoler la zone du levé avec un hélicoptère Alouette II de l'Escadron de Transport Outre-Mer (ETOM) 058 basé à Pointe-à-Pitre.

II. 2.2. Chronologie

Le *D'Entrecasteaux* appareilla de Brest le 5 janvier 1987. Après une courte escale à Santa Cruz de la Palma (Canaries) les 12 et 13 janvier, il arrivait le 22 à Roseau (Dominique) pour la définition des modalités de mise en place et de maintenance d'une balise Trident au nord de l'île. L'escale qui suivit à Fort-de-France les 23 et 24 fut consacrée aux visites officielles et à l'embarquement de l'équipe et du matériel de l'ECPA. Le 25 au matin le *D'Entrecasteaux* accostait au wharf sucrier de Folle Anse à Marie-Galante pour mettre en place une équipe et commencer l'installation des infrastructures nécessaires au levé. Cette installation fut poursuivie en Guadeloupe, le *D'Entrecasteaux* étant à quai à Pointe-à-Pitre du 26 au 28, en Dominique du 27 au 30 (photo 5 et 9) et à Marie-Galante jusqu'au 31. L'équipe de l'ECPA fut débarquée à Folle Anse le 31 janvier.

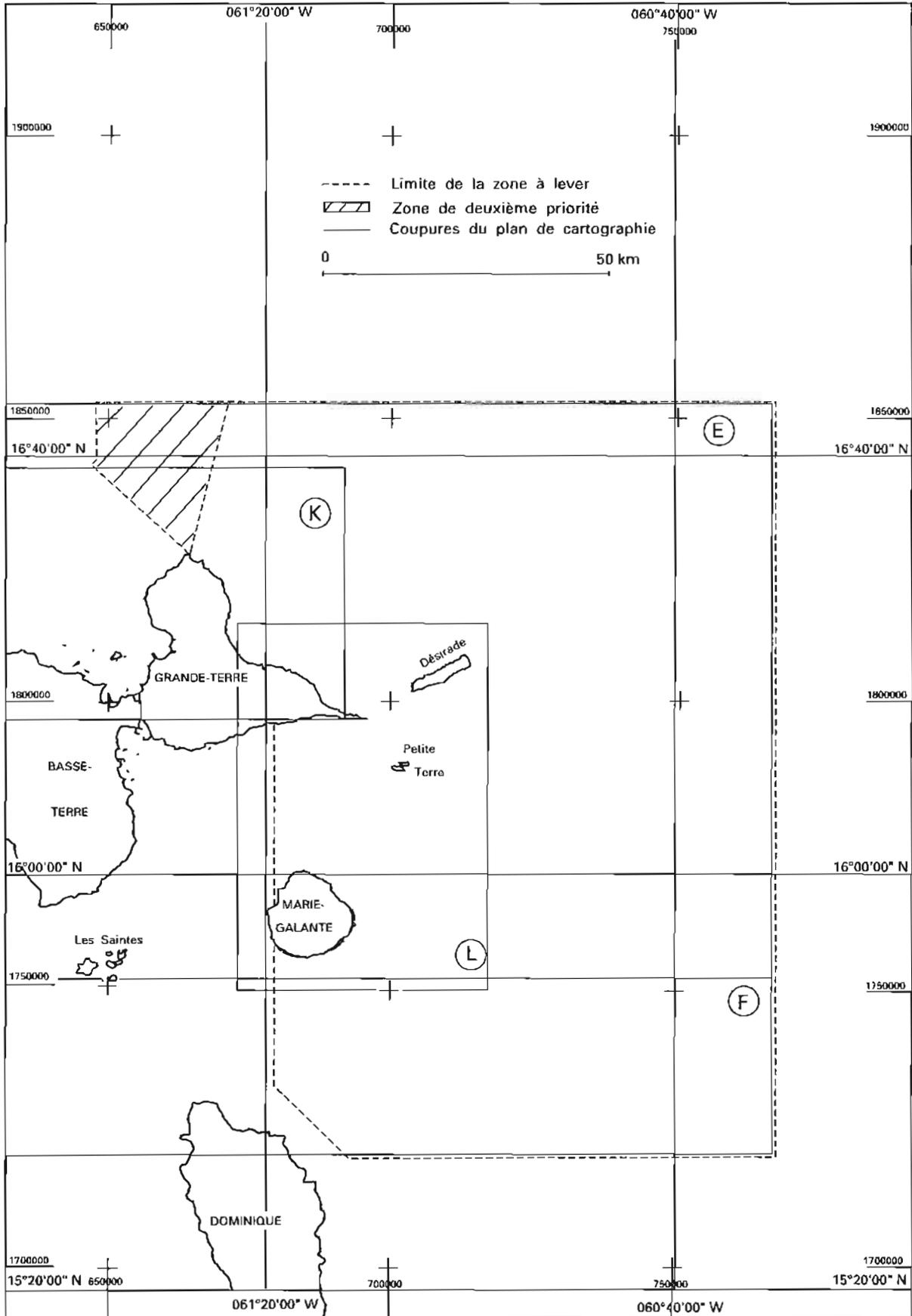


FIG. 8. — Limites du levé Guadeloupe 1987

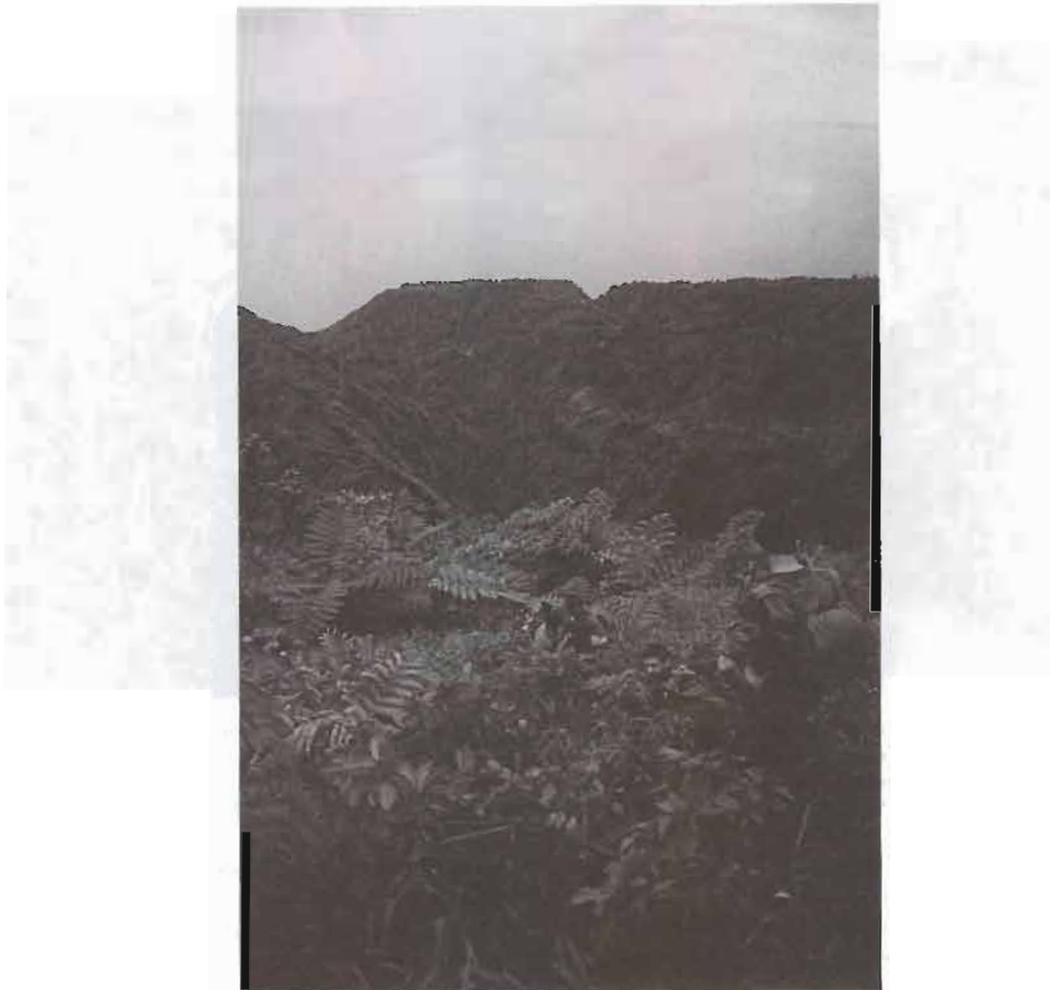


Photo 9. Une équipe redescendant du sommet du Morne au Diable (Dominique)

Les sondages par le bâtiment purent démarrer dès le 28 en fin d'après-midi, tandis que la première séance de sondages en vedette eut lieu le 31. Les travaux furent ensuite conduits selon un rythme moyen de 12 jours de mer pour 2 jours d'escale :

- 28 janvier - 7 février : travaux hydrographiques ;
- 7 - 9 février : travaux à Pointe-à-Pitre ;
- 9 - 19 février : travaux hydrographiques ;
- 19 février : escale à Pointe-à-Pitre ;
- 19 - 21 février : travaux hydrographiques ;
- 21 - 23 février : escale à Roseau (Dominique) ;
- 23 février - 9 mars : travaux hydrographiques ; vedettes basées à Grande Anse (Désirade) du 1 au 9 mars ;
- 10 - 13 mars : escale à Philipsburg (Saint-Martin) ;
- 14 - 26 mars : travaux hydrographiques ;
- 26 mars : escale à Roseau (démontage de la balise du Morne au Diable) ;
- 27 - 29 mars : escale à Pointe-à-Pitre ;
- 29 mars - 9 avril : travaux Hydrographiques ;

- 10 - 27 avril : PEI à Fort-de-France; levé du plan d'eau de la Marine le 24 ; travaux vedettes depuis Saint-François (Guadeloupe) ;
- 28 avril - 4 mai : travaux hydrographiques ;
- 4 - 6 mai : escale à Pointe-à-Pitre ; démontage des infrastructures ; levé de contrôle des abords des quais.

Le *D'Entrecasteaux* quitta Pointe-à-Pitre le 6 mai. Après une escale à Castries (Sainte-Lucie) du 7 au 9 mai, il se dirigea vers la Guyane au large de laquelle il effectua une mission de surveillance maritime (11-13 mai). Le retour à Brest eut lieu le 30 mai (photo 10), après une escale à Funchal (Madère) les 25 et 26 mai.

II.2.3. Logistique

Pour compléter ses moyens propres, la MOA fit appel pendant la campagne aux concours de différents organismes. Outre les ravitaillements en carburant et en vivres du *D'Entrecasteaux* à Pointe-à-Pitre ou à Fort-de-France, ces concours ont concerné en particulier :



- l'hébergement des équipes à terre (Camp Dugommier ; brigades de Gendarmerie ; village de vacances de Saint-François ; secteur hôtelier) ;
- le ravitaillement en carburant et la maintenance des véhicules (Camp Dugommier) ;
- l'accueil temporaire et le ravitaillement de l'hélicoptère (ETOM 058 et détachement de la Gendarmerie au Raizet en Guadeloupe ; détachement de la Gendarmerie au Lamentin en Martinique) ;
- la fourniture d'observations météorologiques (Service météorologique de Guadeloupe) ;
- la fourniture de renseignements sur la nature des fonds (Université Antilles-Guyane).

Les travaux des vedettes et les interventions de l'hélicoptère ont été réalisés essentiellement à partir du *D'Entrecasteaux* à la mer ou au mouillage. Les vedettes ont toutefois été constituées à deux reprises en échelon autonome :

- pour les sondages autour de la Désirade, elles ont été basées au port de Grande Anse. Un stock de gazole en fûts de 200 l a été mis en place à cette occasion par la société Shell-Barboteau de Pointe-à-Pitre. Le personnel était logé dans une villa louée par l'intermédiaire de la brigade de Gendarmerie. Les cassettes de données étaient récupérées à l'occasion des vols de l'hélicoptère pour traitement à bord du *D'Entrecasteaux* ;
- pendant la PEI du *D'Entrecasteaux* à Fort-de-France, elles ont été basées à la marina de Saint-François (photo 11). Le personnel et un petit centre de calcul étaient installés pendant cette période au village « vacances - Familles » (VVF) de Saint-François. Le

ravitaillement en gazole des vedettes était assuré par la marina.

Les véhicules ont été mis à terre en fonction des besoins. Pour les travaux à Marie-Galante, une 504 Dangel a été débarquée par le *D'Entrecasteaux* au wharf sucrier de Folle Anse (photo 12). Les deux autres 504 ont été débarquées à Pointe-à-Pitre ; l'une d'entre - elles a été transférée à la Désirade par voie maritime civile puis rapatriée sur la Grande-Terre en sling par un hélicoptère Puma de l'ETOM 058 (photo 13). En l'absence de personnel de la Mission, le gardiennage des véhicules était assuré par les brigades de Gendarmerie (Grand-Bourg, Grande Anse), par l'ETOM 058 ou par le Camp Dugommier à Pointe-à-Pitre.

II.2.4. Relations publiques

L'information préalable fournie par le directeur technique lors de sa visite de décembre a été complétée par un arrêté préfectoral pris à la demande de la Mission et par des affichettes imprimées par L'EPSHOM et diffusées par le Quartier des Affaires Maritimes de Guadeloupe.

A l'arrivée du *D'Entrecasteaux* en Guadeloupe, outre les visites protocolaires, une réunion d'information a été organisée à bord en liaison avec l'Administrateur des Affaires Maritimes au profit des pêcheurs et des brigades de Gendarmerie. Pendant la durée des travaux, une prévision hebdomadaire des zones de sondage était adressée par message aux Affaires Maritimes qui élaboraient et diffusaient en conséquence un avis aux navigateurs et marins pêcheurs. Cette procédure n'a pas eu toute

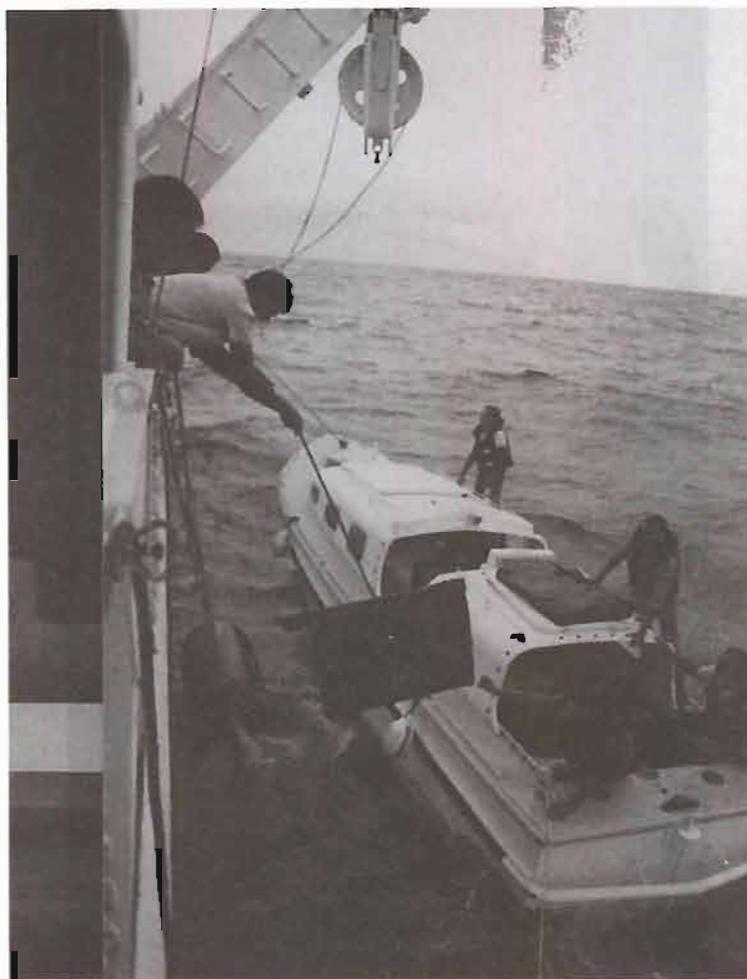


Photo 11. Récupération du matériel du détachement basé à Saint-François (Guadeloupe). Debout sur tribord arrière du LCPS, l'IPETA Mondot

l'efficacité espérée car les engins de pêche n'ont pas été retirés pour autant et ont été une source de gêne dans la zone de petits fonds au sud de la Grande-Terre et de la Désirade. Elle a permis néanmoins d'éviter, pour le moment, tout contentieux avec les pêcheurs malgré la destruction d'un certain nombre de lignes de marquage des engins (photo 14). Il convient de préciser que les pêcheurs n'ont pas les moyens matériels de relever facilement l'ensemble de leurs engins mis en place petit à petit.

Les mouillages de courantomètre ont également fait l'objet d'avis particuliers.

A l'issue des travaux, un premier bilan de la campagne a été présenté à la sous-préfecture de Pointe-à-Pitre, lors d'une réunion présidée par le sous-préfet, Monsieur Lambotte, et à laquelle assistaient des représentants de divers organismes et des marins pêcheurs.

La presse locale (quotidien France-Antilles) a publié à deux reprises, en Guadeloupe comme en Martinique, un article sur le déroulement de la campagne. Les contacts préliminaires pris par Radio-France Outre-mer (RFO) en Guadeloupe n'ont pas eu de suite.

Les activités de la MOA et du *D'Entrecasteaux* ont été présentées à Monsieur Bonnet, préfet de la Guadeloupe

qui a passé une journée à bord du *D'Entrecasteaux* en sondage et à Monsieur Dewattre, préfet de la Guyane, qui a été accueilli à bord pendant la mission de surveillance au large de la Guyane.

II.3.LEVÉ À L'EST DE LA GUADELOUPE

II.3.1.Géodésie

II. 3.1.1. Généralités

Le système géodésique en service en Guadeloupe est le système IGN 1951-1952 utilisé lors des missions précédentes. Les travaux géodésiques réalisés pendant cette campagne ont été limités pour l'essentiel aux opérations nécessaires au positionnement des antennes Trident, des antennes JMR et des amers. Les quelques observations sortant du cadre strict du rattachement au réseau existant ont permis de contrôler des paramètres de changement de système ou la cohérence interne du réseau IGN. Ces observations sont indiquées sur la figure 9.

Les mesures de nivellement et les stations d'observation Doppler sont également mentionnées sur cette figure.

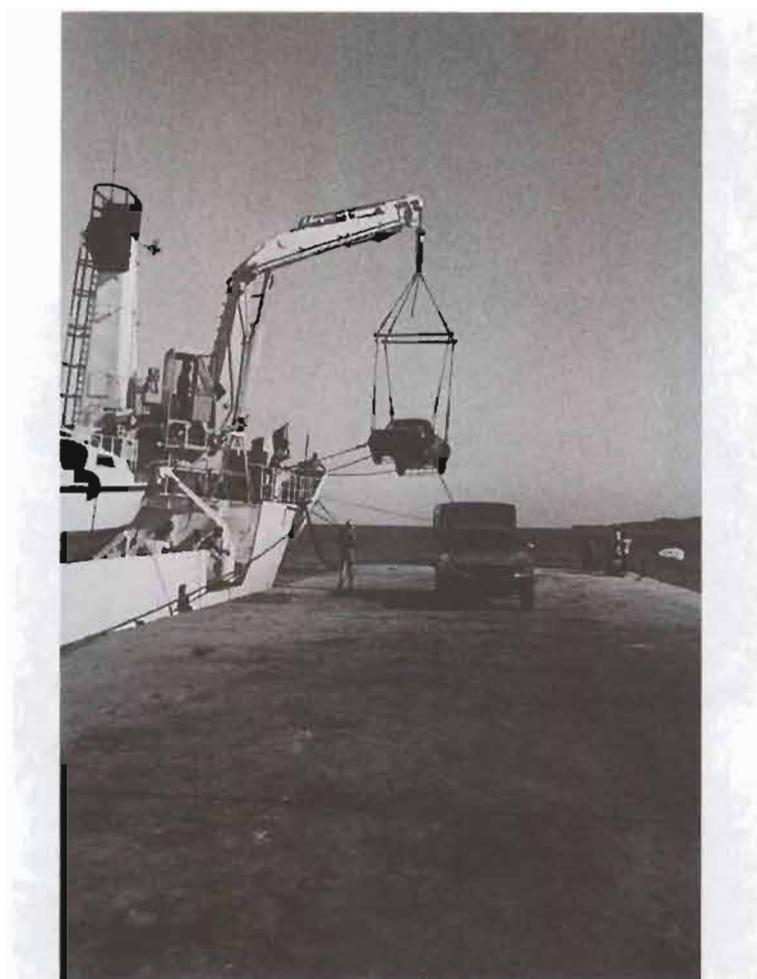


Photo 12. Débarquement des véhicules à Folle Anse (Marie-Galante)



Photo 13. Transport d'une 504 Dangel par un hélicoptère Puma de l'ETOM 058 en Guadeloupe



Photo 14. Les bouts récupérés dans les hélices après les sondages au sud de la Grande-Terre (Guadeloupe)

Les travaux ont été menés par une ou deux équipes de deux personnes, voire quatre pour certaines opérations (mesures Guadeloupe-Dominique, par exemple).

Pour assurer la couverture Trident de la partie sud du levé, il était nécessaire d'implanter une balise au nord de la Dominique. Le site choisi (Morne au Diable) était matérialisé par la borne M19, repère d'ordre 1 du réseau de la Dominique. Ses coordonnées, connues dans le système RE 1945 (83), ont été transformées dans le système IGN 1951-52 à l'aide des paramètres publiés dans le rapport d'étude n° 5/86 (Bessero, 1986). Les valeurs obtenues sont cohérentes à mieux que 50 cm avec la distance mesurée entre Marie-Galante et la Dominique.

Tous les calculs ont été menés dans le système IGN 1951-52, en projection UTM (fuseau 20), en utilisant éventuellement les coordonnées mises à jour lors des travaux précédents.

Compte tenu de la précision cherchée et des moyens mis en œuvre, aucune anomalie n'a été observée dans le réseau de base. Les principales difficultés rencontrées résultent surtout de l'état généralement mauvais du réseau IGN.

II. 3.1.2. Géodésie classique

La plupart des mesures d'angle ont été réalisées au théodolite Wild T2, par séries de 4 tours en général. Les visées n'ont que rarement dépassé 10 km, du fait de la visibilité souvent médiocre dans la journée. La rareté des signaux connus, la végétation abondante (Grande-Terre et Marie-Galante), l'absence de points hauts (Grande-Terre) auraient imposé une préparation fastidieuse (déboisement, mise en place de signaux, visées de nuit) pour des visées à moyenne ou grande distance. On a donc soit préféré les mesures de distances, soit multiplié les points intermédiaires.

Pour les mesures de distances, on a utilisé le géodimètre Aga 14 jusqu'à 5 km ; au-delà, et jusqu'à plus de

50 km, c'est le telluromètre MRA 5 qui a été exclusivement utilisé. La facilité de mise en œuvre dans les endroits accessibles par la route ou par hélicoptère, la faible précision de pointé nécessaire (avantage par visibilité médiocre) et la possibilité d'utiliser le mât télescopique de 15 m pour dégager l'antenne de la végétation environnante ont contribué à en généraliser l'emploi même aux distances moyennes.

Pour l'essentiel, les calculs géodésiques ont été réalisés sur HP 9816 en utilisant le logiciel d'ajustement développé à l'EPSHOM (Bessero, 1984) ou un programme dérivé. L'emploi de ces programmes a permis le contrôle de la cohérence du réseau de base, la vérification de l'identification des points utilisés et la détermination systématique de la précision relative des coordonnées des points complémentaires.

La plupart des points équipés de balises Trident ont été calculés dans l'ajustement d'un des trois blocs suivants :

- Nord Grande-Terre - Désirade - Petite-Terre ;
- Grande-Terre (Moule) - Petite-Terre ;
- Petite-Terre - Marie-Galante.

La précision relative des points calculés dans les deux premiers blocs est meilleure que 50 cm (précision à 95 %) ; celle des points du troisième bloc est meilleure que 20 cm.

18 points géodésiques et 27 amers font l'objet d'une fiche (tableau 1).

26 points ont été localisés lors des travaux de géodésie ou de topographie mais ne font pas l'objet d'une fiche descriptive (tableau 2).

Les résultats de la revue d'amers sont présentés sur un document de synthèse au 1 : 100 000. Compte tenu de l'ancienneté des cartes marines en service, on ne les a pas utilisées comme support de carte-index.

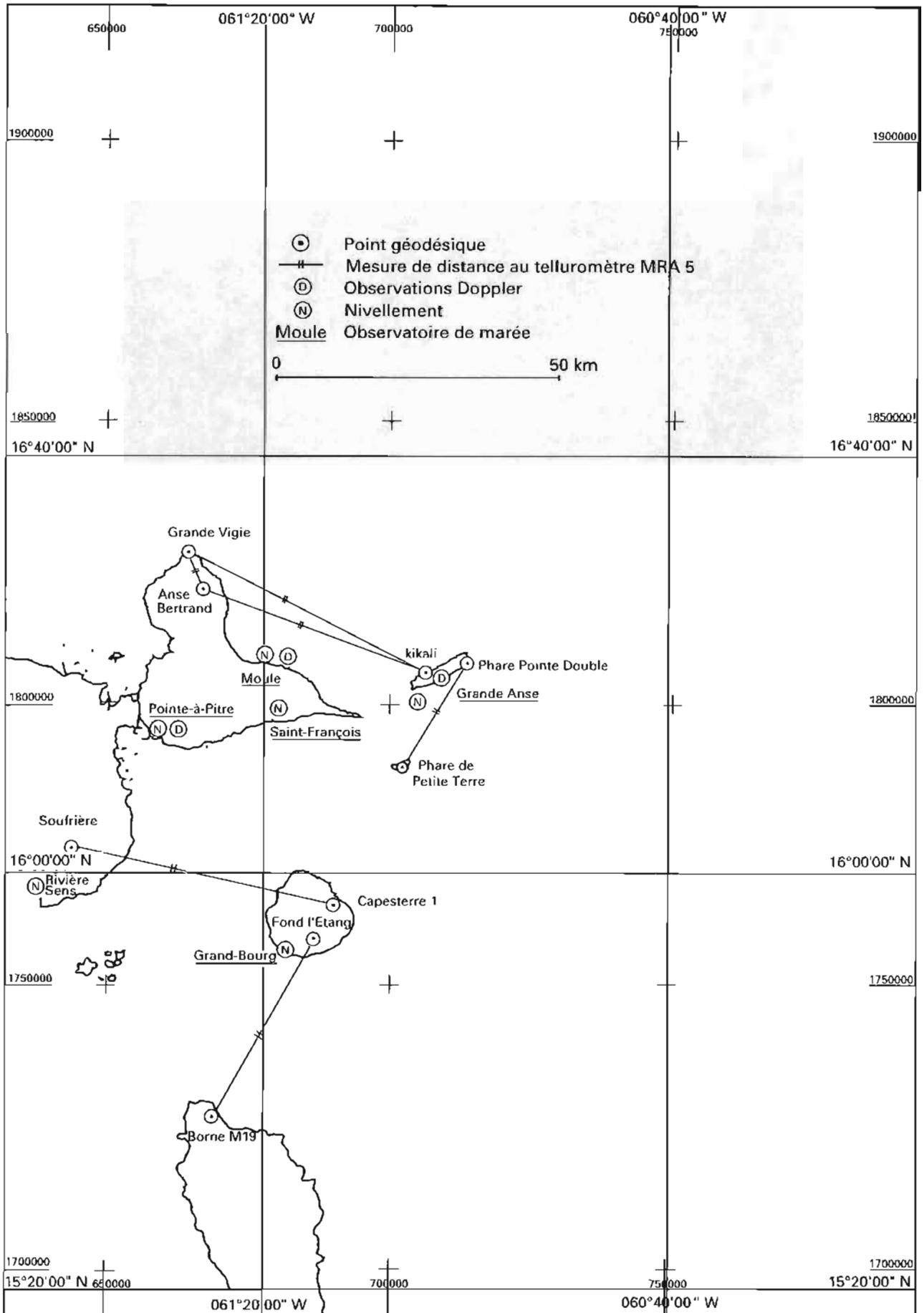


FIG. 9. — Mesures géodésiques de contrôle en Guadeloupe

Le réseau géodésique de base sur lequel s'appuie le système IGN 1951-52 est en assez mauvais état ; il présente de plus quelques lacunes qui en rendent l'utilisation difficile :

- faible densité dans certaines régions (nord de la Grande-Terre, côte nord de la Désirade, zones côtières en général) ;
- absence de signaux.

La disparition d'une partie des repères est souvent consécutive à la construction d'édifices sur le site des bornes. Si les repères n'ont pas été détruits, ils sont alors souvent inutilisables (secteurs masqués) ou difficilement accessibles (propriétés privées).

De nombreux pylônes, châteaux d'eaux et réservoirs qui n'existaient pas lors de la constitution du réseau occupent maintenant les points hauts et justifieraient à eux seuls une réfection du réseau.

Le tableau 3 donne la liste des points IGN reconnus à l'occasion de ce levé.

II. 3.1.3. Nivellement

Les opérations de nivellement se sont limitées au rattachement au Nivellement Général de la Guadeloupe (NGG) des repères et des observatoires de marée mis en place par la MOA à Saint-François et Moule (Grande-Terre). Des repères ont également été mis en place et nivelés à Rivière Sens (Basse-Terre) où un observatoire a été maintenu en fonction de juin 1984 à décembre 1985 par l'Observatoire volcanologique de la Soufrière.

Les observatoires de marée de Grand-Bourg (Marie-Galante) et Grande Anse (Désirade) ont été rattachés à des repères locaux, ces deux îles ne possédant pas de réseau de nivellement.

Les mesures ont été réalisées au niveau automatique Wild NA 2 ou NAK 2. Les résultats sont présentés au § II.3.3.

II. 3.1.4. Observations Doppler

Outre des mesures à quai lors des escales dans les ports de la zone (Roseau, Pointe-à-Pitre, Castries), les observations au point fixe suivantes, prescrites par les instructions techniques, ont été effectuées, suivant les normes des points de première catégorie. L'appareil utilisé était un récepteur JMR 4 alimenté sur batteries et connecté à une antenne de terrain.

a) Guadeloupe

- Désirade : antenne installée à proximité du repère IGN Désirade I (ordre 1) ;
deux séries d'observations (changement de récepteur à la suite d'une anomalie de fonctionnement du lecteur de cassette) :
 - 3 jours du 27 février au 2 mars (24 passages SM 01) ;
 - 3 jours du 4 au 7 mars (49 passages SM 01).
- Moule : antenne installée sur le château d'eau de l'Autre Bord ;
9 jours d'observations du 31 mars au 9 avril (113 passages SM 01).

b) Martinique :

- Caravelle : antenne installée à proximité du phare de la Caravelle (ordre 1) ;

deux séries d'observations (antenne rehaussée pour essayer de réduire les interférences dues à la coupole du phare) :

- 2 jours du 11 au 13 avril (29 passages SM 01),
- 7 jours du 14 au 21 avril (48 passages SM 01).

Le repère Trinité II (point IGN n° 121) utilisé pour les travaux de l'Inter-American Geodetic Survey (IAGS) en 1954 n'a pas été retrouvé et n'a donc pas pu être utilisé comme point de référence.

Les résultats des calculs effectués par le processeur incorporé au récepteur sont résumés dans le tableau 4.

Les composantes trirectangles des décalages entre les systèmes géodésiques locaux et le système WGS 72 déduites de ces résultats sont indiquées dans le tableau 5 avec les valeurs correspondantes issues du rapport d'étude n° 5/86.

II. 3.2. Localisation

II. 3.2.1. Moyens mis en œuvre

L'étendue de la zone à lever et l'altitude des reliefs de la région ne permettaient pas a priori de garantir une couverture complète par le système Trident. L'affectation tardive de l'ingénieur électronicien de la MOA et la vétusté de la chaîne Toran de la MOA ayant conduit à renoncer à l'emploi éventuel de cette chaîne en complément, cela imposait soit de limiter l'extension est du levé soit d'admettre une localisation dégradée, compatible néanmoins avec un sondage au 1 : 200 000 (précision meilleure que 200 m).

L'étude sur cartes de la zone avait permis de définir les implantations nécessaires à la localisation du *D'Entrecasteaux*. Les implantations complémentaires nécessaires à la localisation des vedettes furent définies sur place et équipées au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Pour les sondages à grande échelle des mouillages et de leurs accès ou pour assurer le guidage des vedettes, le système Trident fut complété par des stations optiques.

La plupart des sites n'étant pas reliés au réseau électrique général, les balises Trident furent alimentées sur batteries rechargées par un panneau solaire (photo 5), par un groupe électrogène, par une combinaison des deux ou, exceptionnellement, par le secteur. La maintenance des stations était assurée soit par une équipe à terre soit par hélicoptère depuis le *D'Entrecasteaux*. Aucune avarie notable n'a perturbé le déroulement des sondages.

Les tableaux 6 et 7 donnent les caractéristiques des stations Trident et des stations optiques utilisées.

Le *D'Entrecasteaux* possédait en outre un récepteur GPS TR5S (photo 4) qui fut utilisé systématiquement, soit en évaluation soit en complément, dans les zones en limite de portée des balises Trident.

Tableau 1. — Liste des points géodésiques et amers fichés

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Ordre (1)	Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)		
1. Dominique					
Morne au Diable Borne M 19	668 414,7	1 727 014,1	858.0		Point d'ordre 1 réseau RE 1945
2. Marie-Galante					
Grand-Bourg Antenne Oméga diff.	680 993,9	1 757 284,2	27	6	
Robert Pylône Fond l'Étang					Fiche 043.51.019
Axe et sommet paratonnerre	686 566,46	1 758 587,23	206	5	Amer
Marque peinte (station)	686 501,17	1 758 657,62	164		
Piton scellé (station)	686 559,84	1 758 590,02	160		
Boree Moulin (Capesterre I)					Fiche 043.51.050
Clou MOA 84	690 157,90	1 764 774,10	198.57		
Borne IGN 1-127 a	690 223,41	1 764 809,70	190.23	1	
Douille SHOM	690 157,99	1 764 775,91	198.6		
Morne Constant Croix gravée	691 056,23	1 764 738,51	193	5	
Morne Coucou Douille SHOM	691 821,03	1 759 740,04	165	5	
Signal	691 807,97	1 759 750,46	171		
Capesterre Mairie clou sur le toit	690 876,3	1 758 127,3	22	6	
Église centre croix	690 795,1	1 758 153,8	33	6	Amer
Croix gravée (station)	690 795,1	1 758 153,8	27		
Feu antérieur foyer	691 238,7	1 758 483,8	16	6	Amer
Clou (station)	691 238,6	1 758 484,3	14		
Feu postérieur foyer	691 164,4	1 758 548,4	21	6	Amer
Croix gravée (station)	691 164,8	1 758 548,1	19		
Éolienne axe	692 513,8	1 759 312,2		6	Amer
Grand' Case Poteau électrique	692 473,20	1 762 947,26			
Douille SHOM	692 454,80	1 762 970,07	173	5	
Éolienne (axe)	692 458,64	1 762 989,74			Démontée pendant le levé (amer)

Tableau 1 (suite)

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Ordre (1)	Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)		
3. Basse-Terre					
La Soufrière					
Repère IGN 2-066 a	643 359,68	1 774 668,31	1 466,8	2	
Croix gravée 2-066 d	643 360,33	1 774 665,07			
Croix gravée MOA 87	643 355,23	1 774 709,59	1 464		Emplacement présumé du repère f
Piton Sainte-Rose Pylône					Amer
Angle ouest	632 670,8	1 806 323,0	384		
Marque peinte	632 675,0	1 806 335,1	357	5	
Tube métallique	632 677,1	1 806 339,8	360		Support antenne Trident
4. Grande-Terre					
Mare Gaillard Château d'eau					
Borne IGN 1-026	667 840,91	1 793 779,87	74,3	4	Borne cassée ; clou disparu
Croix gravée et peinte	667 821,7	1 793 776,4	87		
Antenne de télésurveillance	667 818,1	1 793 773,6			Sur l'axe du château d'eau
Devarieux Château d'eau					
Spit et marque peinte	684 590,97	1 799 729,37	65	5	
Marque peinte	684 586,72	1 799 734,76	65		Centre approximatif du château
Borricaud Radôme	665 717,0	1 801 605,9		6	Amer
Zevalos Cheminée axe et sommet	681 834,50	1 803 924,95	65,3	4	Amer, point IGN 1-039 (Moule V)
Moule					
Moulin Alleaume axe, sommet	683 207,76	1 805 063,96	47,3	5	Amer, point IGN 1-103
Clinique de la Porte d'Enfer					Amer
Marque peinte (toit)	683 783,9	1 805 113,9	60	6	
Église					Amer, point IGN 1-35 (Moule IV)
Clocher	677 257,05	1 806 568,33	22,9	4	Centre bord inférieur du toit
Pylône rouge et blanc	676 808,0	1 806 173,8	49	6	Amer
L'Autre Bord Château d'eau					Amer
Paratonnerre	678 526,77	1 806 375,91			
Marque peinte (station)	678 528,11	1 806 376,22	45,6	5	
Marque peinte	678 527,43	1 806 375,22			Emplacement antenne Trident
Feu rouge axe et sommet	677 657,8	1 806 683,2	5	5	Amer
Marque peinte (station)	677 656,8	1 806 683,4			
Feu vert axe et sommet	677 399,5	1 806 724,9	8	5	Amer
Marque peinte (station)	677 399,8	1 806 725,4			

Tableau 1 (suite)

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Ordre (1)	Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)		
Anse à Neau Douille SHOM	671 924,4	1 810 140,5	87	5	
Gros Cap					
Château d'eau (paratonnerre)	669 314,6	1 814 874,9		6	Amer
Calvaire axe et sommet	670 640,4	1 814 991,9	46	5	Amer
Borne	670 641,6	1 814 991,7	43		
Pointe Gros Morne Douille SHOM	671 066,7	1 815 108,0	47	5	
Pointe de la Grande Vigie					
Douille SHOM sud-ouest	664 239,29	1 826 498,73	81	5	
Douille SHOM nord-est	664 242,16	1 826 508,09	80		
Marque peinte	664 244,18	1 826 499,49	81		
		5. Désirade			
Grande Anse					
Chapelle croix (centre)	706 244,6	1 804 823,6			Amer
Croix gravée (station)	706 243,6	1 804 824,3	213	5	
Réservoir axe et sommet	706 988,5	1 804 299,4	78	6	Amer
Feu vert axe et sommet	706 312,7	1 803 637,7	8	6	Amer
Douille SHOM	706 311,7	1 803 639,3	2		
Feu rouge axe et sommet	706 187,3	1 803 704,6	6	6	Amer
Baie Mahault					
Station Iguane boulon scellé	711 429,0	1 806 967,6	190	5	
Feu antérieur axe et sommet	712 609,1	1 806 732,3	6	6	Amer
Feu postérieur axe et sommet	712 589,2	1 806 761,0	8	6	Amer
Réservoir prise d'air	712 210,0	1 807 070,1	65	6	Amer
Pointe Kikali Douille SHOM	706 233,6	1 805 257,8	227	5	
Désirade I Repère IGN 1-142	707 315,90	1 804 609,39	276,0	1	
Croix gravée	707 312,92	1 804 607,44	276		

Tableau 1 (suite et fin)

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Ordre (1)	Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)		
Tropique Douille SHOM	708 586,3	1 804 575,9	268	5	
Croix gravée	708 584,5	1 804 579,2	269		
Morne Cybèle Relais TV					Amer
Mât axe et sommet	710 597,0	1 806 120,6	220		
Douille SHOM	710 602,5	1 806 095,7	211	5	
Cocoyer Douille SHOM	712 097,6	1 807 813,5	174	5	
Station excentrée 1	712 098,9	1 807 812,9	174		
Station excentrée 2	712 101,5	1 807 811,7	174		
Pointe Double					Amer
Éolienne axe et base	713 526,0	1 807 192,2	30		
Nouveau phare axe et sommet	713 490,0	1 807 167,3	53		Amer
Douille SHOM	713 498,7	1 807 176,7	32	5	Embase ancien phare
Boulon scellé dans un rocher	713 508,8	1 807 173,2	30		

(1) Ordre : 1 à 4 : ordre des points du réseau IGN ;

5 : points déterminés à partir de points connus d'ordre 1 à 4 ;

6 : points déterminés à partir de points connus d'ordre 1 à 5.

Tableau 2. — Liste des points non fichés

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)	
1. Marie-Galante				
Gros Morne	688 896,98	1 757 246,24	166	
Capesterre				
Pointe Feuillère	690 825,2	1 757 695,1		
Topo. 2	689 563,6	1 756 765,8		
Topo. 3	691 643,5	1 758 597,3	11	
Topo. 4	690 067,8	1 757 173,0		
Carrière	689 118,1	1 756 663,9	39	
Grand-Bourg				
Récif	683 325,3	1 755 462,7		
Bouée	683 396,9	1 755 755,9		
Kergall	684 388,4	1 755 464,6		
Kergall 2	682 249,6	1 756 105,0		
2. Grande-Terre				
Moule				
Fortin	677 083,3	1 807 086,5	3	
Jetée	677 658,6	1 806 560,8		
Rempart	677 440,6	1 806 551,4		
Bosquet	678 964,8	1 806 839,9		
Surf	675 938,8	1 807 085,2		

Tableau 2 (suite et fin)

Nom	Coordonnées IGN 1951-52 ; proj. UTM, fuseau 20			Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)	
Pointe Chapeau	670 094,3	1 821 598,5	61	
Pointe à Cabrit	690 586,2	1 799 242,7	23	
Morne Pavillon	694 572,8	1 797 255,6		
Caraiïbe	689 632,4	1 798 023,8		
Tarare	692 925,8	1 798 602,2		
3. Désirade				
Topo. Aéroport	705 425,9	1 803 117,7	61	
Côte « 150 »	705 574,0	1 804 461,0	152	
Pointe des Galets	704 610,1	1 803 258,1		
Grande Anse Espar « terre »	706 089,8	1 803 481,2		Durabilité douteuse
Espar « large »	706 108,8	1 803 393,7		Durabilité douteuse
Baie Mahault	712 676,6	1 806 559,8		

Tableau 3. — Repères IGN contrôlés par la MOA en 1987

Nom	Répertoire IGN		Observations
	Fascicule	Point	
	1. Marie-Galante		
Capecterre I	1	127	Borne en bon état au milieu d'un champ (durabilité douteuse).
	2. Les Saintes		
Terre de Haut I	2	102	Repères a et b en bon état.
	3. Basse-Terre		
Îlet de la Tête à l'Anglais	2	15	Repères a et c retrouvés ; repère b non aperçu (reconnaissance par hélicoptère).
Sainte Rose V	2	17	Borne vraisemblablement détruite lors de la construction du relais hertzien au sommet du piton.
Sainte Rose I	2	23	Borne en bon état, au pied d'un poteau électrique double soutenant une ligne à moyenne tension.
Sainte Rose IV	2	26	Borne en bon état ; rivets b et c en mauvais état.
Sainte Rose VI	2	47	Repères a et b (clocher) en bon état ; borne (repère c) non retrouvée ; repère d retrouvé sur transformateur désaffecté.
Sainte Rose VIII	2	60	Borne non retrouvée ; le refuge et les repères b et c ont disparu.
La Soufrière	2	66	Seuls les repères a et d ont été retrouvés.
	4. Grande-Terre		
Anse Bertrand III	1	13	Repère b (pastille IGN au sommet du moulin) retrouvée avec difficulté dans la végétation ; en bon état. Repère c disparu.
Anse Bertrand I	1	22	Borne retrouvée sans repère central ; pilier en parpaings détruit.
Gosier V	1	26	Borne cassée ; repère central disparu (château d'eau à proximité).
Sainte-Anne I	1	27	Borne non retrouvée ; maison sur l'emplacement présumé.
Anse Bertrand II	1	28	Borne cassée ; l'embase est penchée et semble avoir été déplacée.
Petit Canal III	1	30	Repère a (croix du clocher) disparu ; repère b en bon état.

Tableau 3 (suite et fin)

Nom	Répertoire IGN		Observations
	Fascicule	Point	
Moule I	1	31	Borne en bon état dans l'enceinte d'un château d'eau ; repère b (sur moulin) en bon état.
Moule IV	1	35	Clocher modifié par rapport au croquis du répertoire, sans déplacement horizontal apparent.
Moule II	1	36	Repère a (cheminée) en bon état ; repère b disparu.
Sainte-Anne IV	1	37	Les cheminées repères a et b ont disparu. Borne non retrouvée ; travaux de terrassement réalisés au voisinage.
Saint-François V	1	38	Repère a et borne disparus.
Moule V	1	39	Cheminée en bon état.
Saint-François IV	1	40	Clocher en bon état.
Saint-François III	1	41	Repères a (cheminée) et b (pilier) en bon état ; repère c non retrouvé (partie supérieure du mur en mauvais état).
Saint-François I	1	42	Borne en bon état ; accès difficile (végétation).
Saint-François II	1	43	Borne en bon état.
5. Petite-Terre			
Petite terre	1	138	Phare en bon état.
6. Désirade			
Grande Anse	1	140	Clocher en bon état.
Désirade I	1	142	Repère a en bronze et boulons en bon état ; mire détruite. Repères b et c (J1 et J2) non recherchés.
Phare de la Désirade	1	146	Phare détruit et reconstruit à un emplacement différent.

Tableau 4. — Observations Doppler de la campagne Guadeloupe 1987 - Coordonnées des stations

Nom du point	Système géodésique local			Coordonnées Doppler NWL 10D	
	Réf.	Projection	Coordonnées	Valeur	Écart type (m)
1. Observations à quai					
Roseau	RE 1945 (83)	TM - BWIG	E = 464 524,8 N = 1 692 285,8 h = 25,0	G = 061° 23' 24,305" W L = 15° 18' 46,215" N h = -6,75 m	5,0 5,3 2,2
Pointe-à-Pitre	IGN 1951-52	UTM - fuseau 20	E = 656 881,9 N = 1 795 746,8 h = 25,0	G = 061° 32' 10,532" W L = 16° 14' 04,310" N h = -3,41 m	2,7 3,7 0,4
Castries	CM 499 GB assimilé à DOS 1973		G = 060° 59' 28,20" W L = 14° 00' 35,60" N h = 25,0 m	G = 060° 59' 30,559" W L = 14° 00' 41,287" N h = -2,13 m	3,3 4,3 1,0
2. Observations à terre					
Désirade I (1 ^{re} série)	IGN 1951-52	UTM - fuseau 20	E = 707 312,92 N = 1 804 607,44 h = 276,35	G = 061° 03' 49,694" W L = 16° 18' 39,120" N h = 242,41 m	2,1 3,6 0,4
Désirade I (2 ^e série)	IGN 1951-52	UTM - fuseau 20	E = 707 312,92 N = 1 804 607,44 h = 276,35	G = 061° 03' 49,682" W L = 16° 18' 39,012" N h = 237,49 m	2,6 3,4 0,7
Moule	IGN 1951-52	UTM - fuseau 20	E = 678 528,11 N = 1 806 376,22 h = 46,06	G = 061° 19' 58,653" W L = 16° 19' 44,791" N h = 13,05 m	2,0 2,4 0,4
Caravelle (1 ^{re} série)	SHOM 1984	UTM - fuseau 20	E = 727 608,0 N = 1 634 053,3 h = 162,5	G = 060° 52' 55,094" W L = 14° 46' 20,140" N h = 114,93 m	14,5 6,2 3,6
Caravelle (2 ^e série)	SHOM 1984	UTM - fuseau 20	E = 727 608,0 N = 1 634 053,3 h = 164,0	G = 060° 52' 55,694" W L = 14° 46' 20,175" N h = 126,65 m	4,4 3,4 1,3

Tableau 5. — Décalages entre les systèmes géodésiques locaux et le système WGS 1972

Nom du point	Coordonnées trirectangles WGS 72			Coordonnées trirectangles locales			Décalages		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	TX (m)	TY (m)	TZ (m)
1. Guadeloupe (système IGN 1951-52)							valeurs rapport 5/86		
							- 481,6	- 24,0	- 306,5
Pointe-à-Pitre	2 919 390,19	-5 384 955,55	1 771 655,96	2 919 865,33	-5 384 926,59	1 771 963,16	- 475,1	- 29,0	- 307,2
Désirade I (1 ^{re})	2 962 663,09	-5 358 834,69	1 779 834,04	2 963 142,48	-5 358 807,45	1 780 135,30	- 479,4	- 27,2	- 301,3
Désirade I (2 ^e)	2 962 661,57	-5 358 831,20	1 779 829,47	2 963 142,48	-5 358 807,45	1 780 135,30	- 480,9	- 23,8	- 305,8
Moule	2 937 081,21	-5 372 000,90	1 781 706,98	2 937 554,68	-5 371 976,56	1 782 012,69	- 473,5	- 24,3	- 305,7
2. Martinique (système SHOM 1984)							valeurs rapport 5/86		
							170,6	477,6	146,0
Caravelle (1 ^{re})	3 001 792,91	-5 389 150,06	1 615 772,42	3 001 611,93	-5 389 645,33	1 615 638,92	181,0	495,7	133,5
Caravelle (2 ^e)	3 001 782,62	-5 389 168,46	1 615 776,45	3 001 612,64	-5 389 646,59	1 615 639,31	170,0	478,1	137,1
3. Dominique (système RE 1945 (83))							valeurs rapport 5/86		
							706,7	705,5	531,2
Roseau	2 946 393,21	-5 401 826,78	1 673 505,73	2 945 687,68	-5 402 526,86	1 672 972,34	705,5	700,1	533,4
4. Sainte-Lucie (système DOS 1973)							valeurs rapport 5/86		
							- 166,4	152,7	299,8
Castries	3 001 545,91	-5 413 093,78	1 534 208,55	3 001 699,44	-5 413 240,77	1 533 912,80	- 153,5	147,0	295,8

II. 3.2.2. Étalonnage du système Trident

Le système Trident fut étalonné sur zone en début de campagne. L'étalonnage fut réalisé le 26 janvier entre le *D'Entrecasteaux* à quai à Pointe-à-Pitre et une station à Goyave (Basse-Terre), la distance de référence étant déterminée au telluromètre MRA 5. L'étalonnage ne donna lieu à aucun réglage. Un contrôle partiel de la stabilité des corrections fut effectué le 4 avril depuis le *D'Entrecasteaux* à quai à Folle Anse (Marie-Galante) sur les balises en visibilité. L'annexe 3 présente une analyse des données obtenues basée sur la séparation des termes propres à chaque balise et à chaque interrogateur.

II. 3.2.3. Performances

a) système GPS

Les données élaborées (latitude-longitude) fournies par le récepteur TR5S et rapportées au système géodésique local ont été systématiquement comparées aux positions Trident (voir annexe 4). La précision à 95 % en mode 2D + T pour un facteur de dégradation géométrique (HDOP) inférieur à 10 est meilleure que 100 m. Elle peut être ramenée à 50 m après élimination des points aberrants liés essentiellement à un changement de configuration (coucher, lever ou décrochage provisoire d'un satellite). Ces résultats justifient l'emploi du GPS pour compléter le système Trident en limite de portée lors des sondages au 1 : 200 000. Le fonctionnement discontinu du système lié au nombre limité de satellites en fonction n'a cependant pas toujours permis de poursuivre les profils jusqu'à la limite est du levé.

b) système Trident

Le nombre de balises en fonction simultanément permettait d'assurer une localisation à 3, et souvent 4 lieux avec une précision a priori à 95 % meilleure que 5 m, pour une précision sur les distances individuelles meilleure que 2 m (2 écarts types) et pour les sondages d'échelle supérieure ou égale au 1 : 50 000. La moyenne quadratique des résidus était en général inférieure à 5 m ; elle a atteint 10 m pour une vedette mais cette dégradation intermittente n'a pu être expliquée.

Quelques anomalies ont été constatées lors des séances de radioguidage avec localisation mixte optique + Trident. Les émissions VHF de la vedette (diffusion des tops) provoquaient des sauts des distances aux balises réglées sur le même code. En dehors de ce cas l'utilisation de plusieurs balises sur le même code n'a pas soulevé de difficulté.

Le tableau 6 précise les portées pratiques observées sur certaines balises.

II.3.3. Marée

II.3.3.1. Observations

La marée a été observée aux endroits prévus par les instructions techniques (figure 9) ; le tableau 8 résume les observations recueillies. Tous les observatoires ont été grésés avec des marégraphes Suber SLS 13 (photo 3), y compris l'observatoire fondamental de la Pointe Fouillole à Pointe-à-Pitre qui est équipé d'un marégraphe Ott R 16 géré par le Service des Phares et Balises.

Les nouveaux observatoires ont été équipés de repères de nivellement, ainsi que l'observatoire de Rivière Sens ; les repères des observatoires anciens ont été contrôlés. Les observatoires sont décrits sur les figures 10 à 15. Un nouvel emplacement a été choisi à Saint-François, pour s'affranchir des seiches observées en 1984 dans la marina. A Pointe-à-Pitre, le nivellement de contrôle de l'observatoire de la Pointe Fouillole a mis en évidence la poursuite de l'affaissement du quai constaté en 1983. L'évolution de la dénivelée entre le repère A solidaire du quai et le repère B est indiquée dans le tableau 9.

II. 3.3.2. Traitement

La cote des zéros instrumentaux des marégraphes a été déterminée par comparaison de lectures à l'échelle et des hauteurs Suber correspondantes. Les positions relatives des zéros instrumentaux des marégraphes installés successivement dans un observatoire donné ont été contrôlées par analyse des niveaux moyens journaliers et des hauteurs horaires et par concordance avec l'observatoire fondamental de Pointe-à-Pitre. La position des zéros instrumentaux des marégraphes Suber de Pointe-à-Pitre a été déterminée par comparaison avec le marégraphe Ott lui-même calé par rapport à l'échelle.

Un fichier de référence a été constitué à partir des fichiers correspondant aux trois stations Suber de Pointe-à-Pitre en appliquant successivement :

- une correction de -3,40 m pour rapporter les hauteurs au zéro hydrographique traditionnel situé à 2,457 m au-dessous du repère NGG n° 9 scellé dans le mur du transformateur du Carénage ;
- un lissage (moyenne glissante sur 9 valeurs consécutives séparées de 7,5 minutes) pour éliminer les seiches.

Pour chacun des autres observatoires, on a déterminé par concordance sur les hauteurs des pleines et basses mers le niveau concordant avec le zéro hydrographique de Pointe-à-Pitre. Le zéro hydrographique de Saint-François adopté en 1984 a été ainsi confirmé (écart inférieur à 5 cm). Le tableau 10 précise la cote obtenue pour les observatoires rattachés au nivellement général de la Guadeloupe (NGG) et l'écart entre le niveau moyen et le zéro du nivellement. Les variations ne dépassent pas 5 cm.

Les différences entre les hauteurs horaires observées aux différents observatoires et les hauteurs correspondantes observées à Pointe-à-Pitre ne dépassent pas 10 cm, après réduction au niveau concordant avec le zéro hydrographique de Pointe-à-Pitre. La zone du levé peut donc être incluse dans une zone élémentaire de marée unique dont le port de référence est Pointe-à-Pitre.

II. 3.4. Bathymétrie

II. 3.4.1. Généralités

Compte tenu de la bathymétrie, la majeure partie des sondages (17 800 km, soit 68% du kilométrage total) a été réalisée par le *D'Entrecasteaux*. Les vedettes ont assuré les sondages côtiers jusqu'à 4 à 10 km de la côte (soit 8 300 km de profils) et la coralline a été utilisée pour le sondage de la passe de Capesterre à Marie-Galante.

Tableau 6. — Liste des stations Trident

Nom	Coordonnées (système IGN 1951-52 ; projection UTM, fuseau 20)			Portée (km) (1)	
	E (m)	N (m)	h (m)	théorique (2)	observée (3)
1. Dominique					
Morne au Diable	668 414,7	1 727 014,1	865	150	120
2. Marie-Galante					
Morne Constant	691 056,2	1 764 738,5	200	82	76
Gros Morne	688 897,0	1 757 246,2	170	77	72
Morne Coucou	691 808,0	1 759 750,5	172		
3. Basse-Terre					
La Soufrière	643 356,9	1 774 711,2	1 467		
Piton Sainte-Rose	632 677,1	1 806 339,8	360		
4. Grande-Terre					
Devarieux	684 586,7	1 799 734,8	70		
Mare Gaillard	667 821,7	1 793 770,1	92		
Grande-Vigie	664 239,3	1 826 498,7	87	62	61
Clinique de Moule	683 783,9	1 805 113,9	63		
Pointe Gros Morne	671 066,7	1 815 108,0	53		
Anse à Neau	671 924,4	1 810 140,5	93		
Château d'eau de Moule	678 527,4	1 806 375,2	50		
Pointe des Châteaux 1	695 582,3	1 797 206,1	49		
Pointe des Châteaux 2	695 577,7	1 797 206,4	49		
Pointe Chapeau	670 094,3	1 821 598,5	67		
5. La Désirade					
Désirade 1	707 315,9	1 804 609,4	282	94	80
Cocoyer	712 097,6	1 807 813,5	180		
Pointe Double	713 490,0	1 807 167,3	60		
Tropique	708 586,3	1 804 575,9	274		
Kikali	706 233,6	1 805 257,8	233		

(1) Portées relatives à l'antenne du *D'Entrecasteaux* située à 25 m au-dessus du niveau de la mer.

(2) Portée calculée par la formule : $P \text{ (km)} = 4.3 (\sqrt{h_e} + \sqrt{h_r})$ avec : h_e altitude de l'antenne de l'interrogateur (m) ;
 h_r altitude de l'antenne de la balise (m).

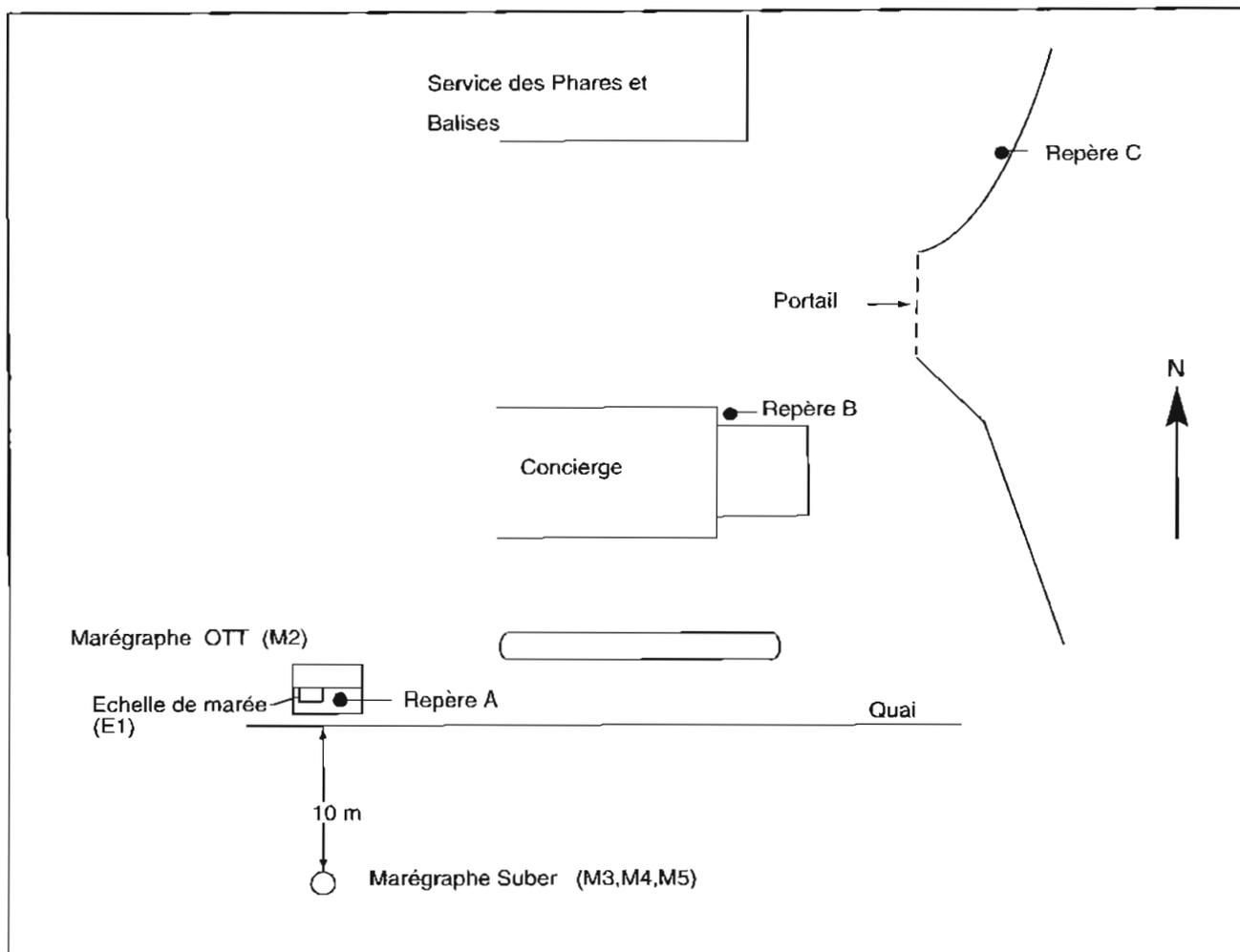
(3) Portée maximum d'utilisation.

Tableau 7. — Liste des stations optiques

Nom	Coordonnées (système IGN 1951-52 ; projection UTM, fuseau 20)			Commentaires
	E (m)	N (m)	h (m)	
		1. Marie-Galante		
Capesterre				
Feu antérieur	691 239,3	1 758 483,2	14	Levé accès à Capesterre.
Pointe Feuillère	690 825,2	1 757 695,1		“ “ “ “
Topo. 3	691 643,5	1 758 597,3	11	“ “ “ “
		2. Grande-Terre		
Moule				
Feu rouge	677 656,8	1 806 683,4	1	Stations guides pour le levé de
Jetée	677 658,6	1 806 560,8	2	l'accès à Moule.
		3. La Désirade		
Cocoyer 1	712 098,9	1 807 812,9	174	Stations guides pour le levé de la
Cocoyer 2	712 101,5	1 807 811,7	174	côte est de la Désirade.
Pointe des Galets	704 610,1	1 803 258,1		Station guide pour le levé de l'an-
				se des Galets.

Tableau 8. — Observations de marée - Guadeloupe 87

N° de station	Nom de l'observatoire	Périodes de fonctionnement	Type de marégraphe
—	Pointe Fouillole	12 février - 15 avril (intermittent)	OTT R 16
3	(Pointe-à-Pitre)	28 janvier - 6 mars	SLS 13
6	“ “	6 mars - 27 mars	“
9	“ “	27 mars - 6 mai	“
1	Grand-Bourg	25 janvier - 3 mars	SLS 13
7	(Marie-Galante)	9 mars - 20 mars	“
2	Saint-François	27 janvier - 5 mars	SLS 13
5	(Grande-Terre)	5 mars - 2 avril	“
11	“ “	3 avril - 4 mai	“
4	Grande-Anse	23 février - 31 mars	SLS 13
10	(Désirade)	1 ^{er} avril - 3 mai	“
8	Moule	21 mars - 1 ^{er} mai	SLS 13
	(Grande-Terre)		



Situation en élévation des repères d'altitude et différents zéros de référence.
(Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéro IGN, etc.)

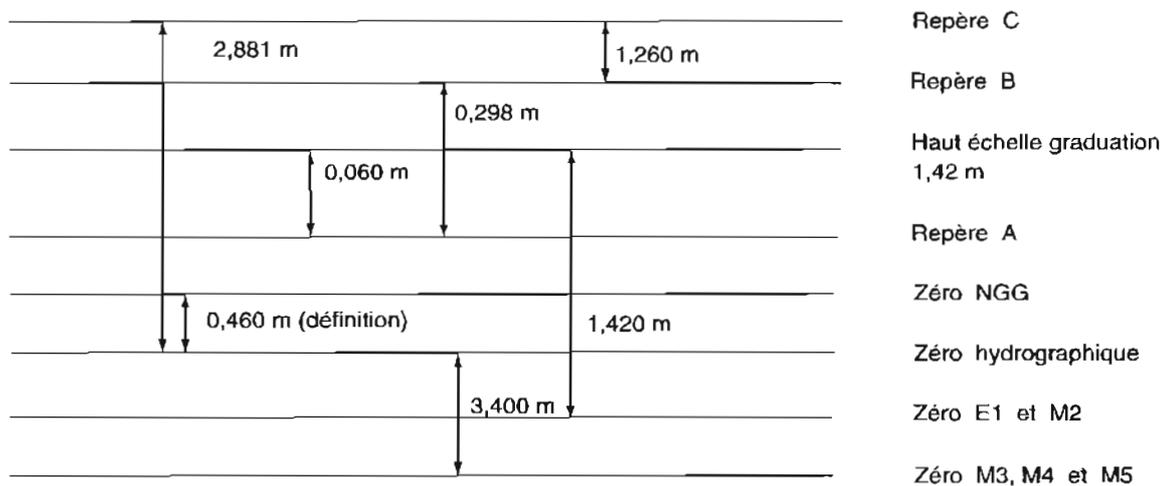


FIG. 10. — Observatoire de marée de Pointe-à-Pitre (Grande-Terre)

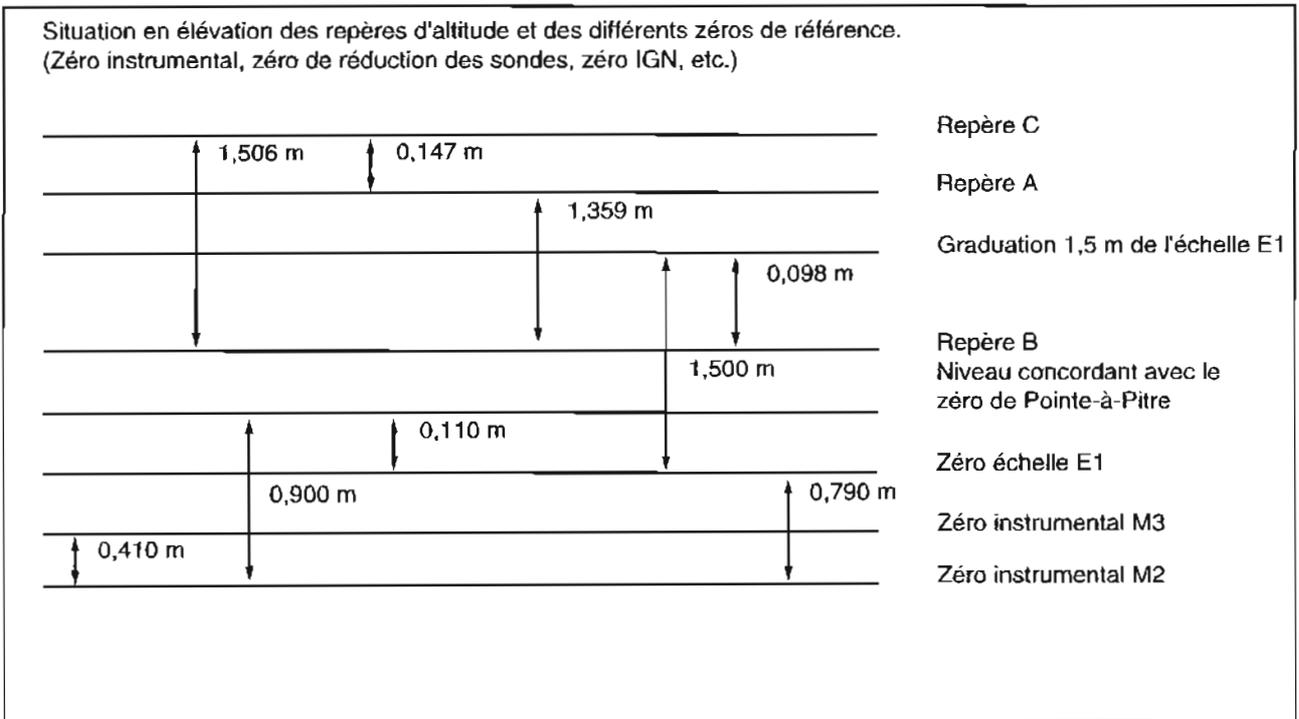
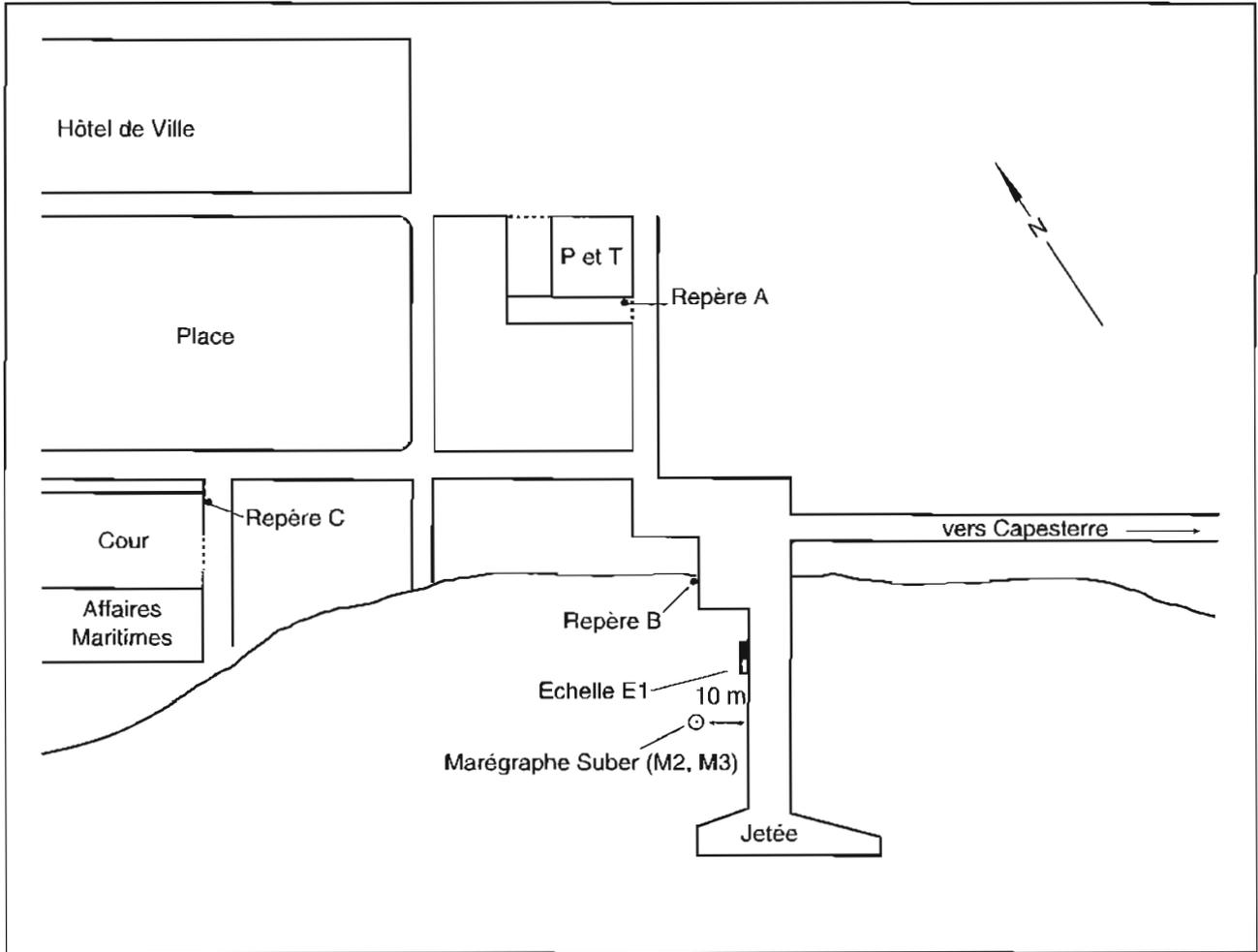


FIG. 11. — Observatoire de marée de Grand-Bourg (Marie-Galante)

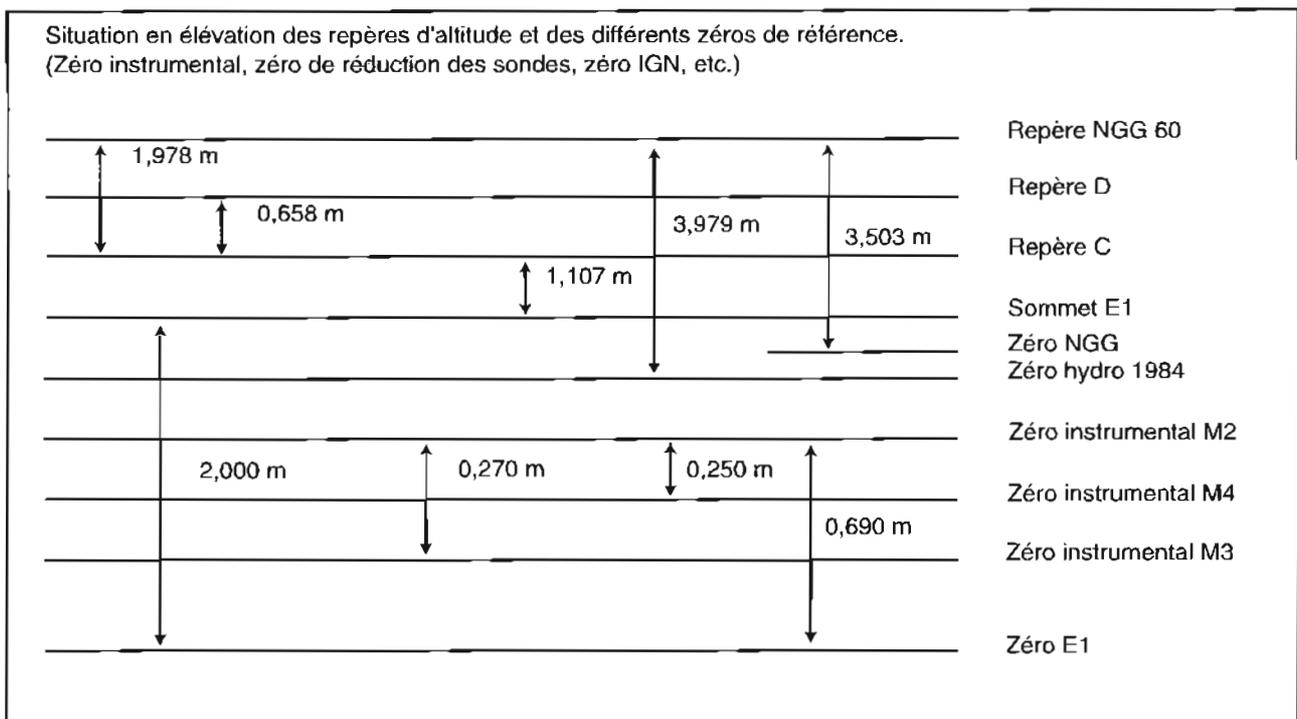
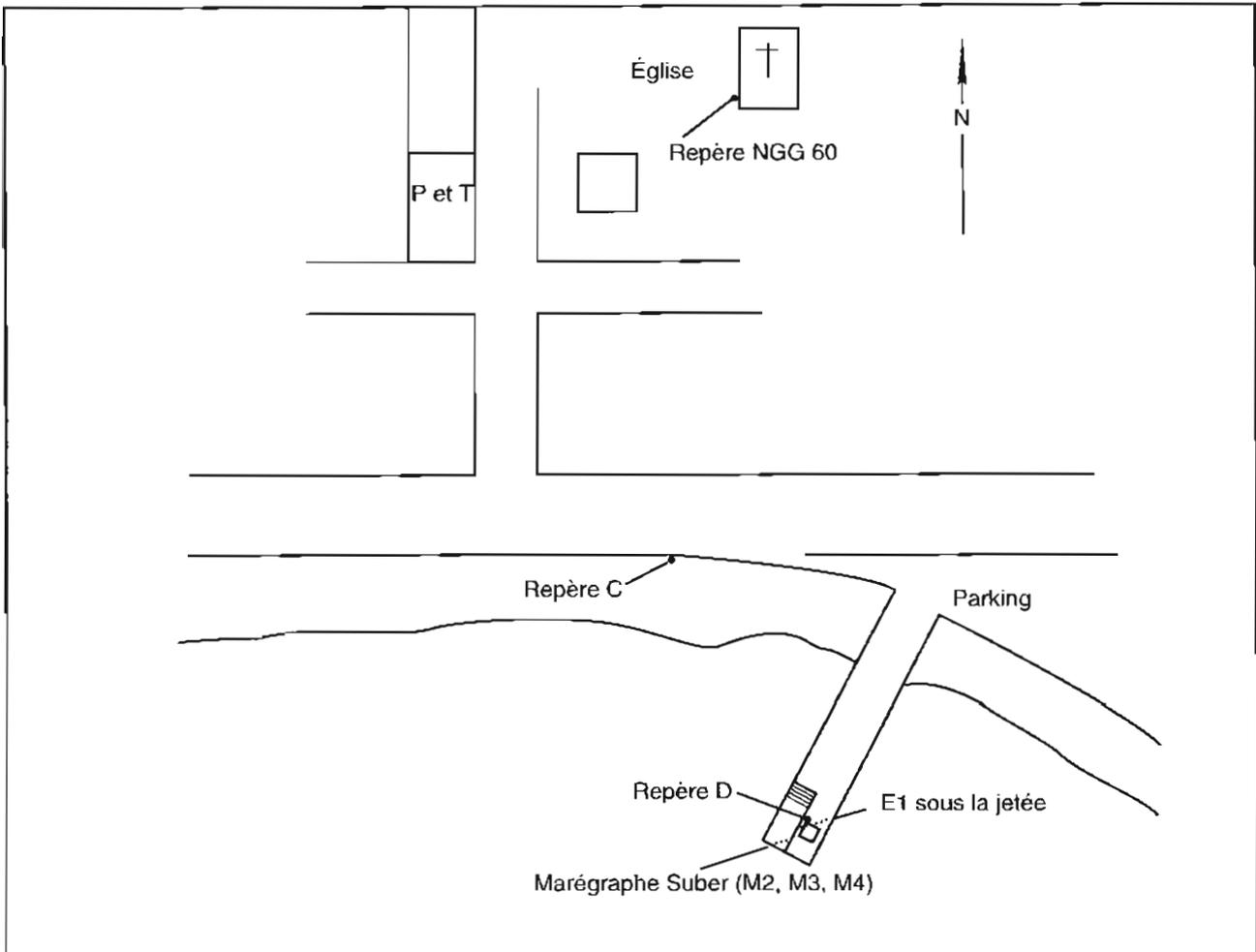
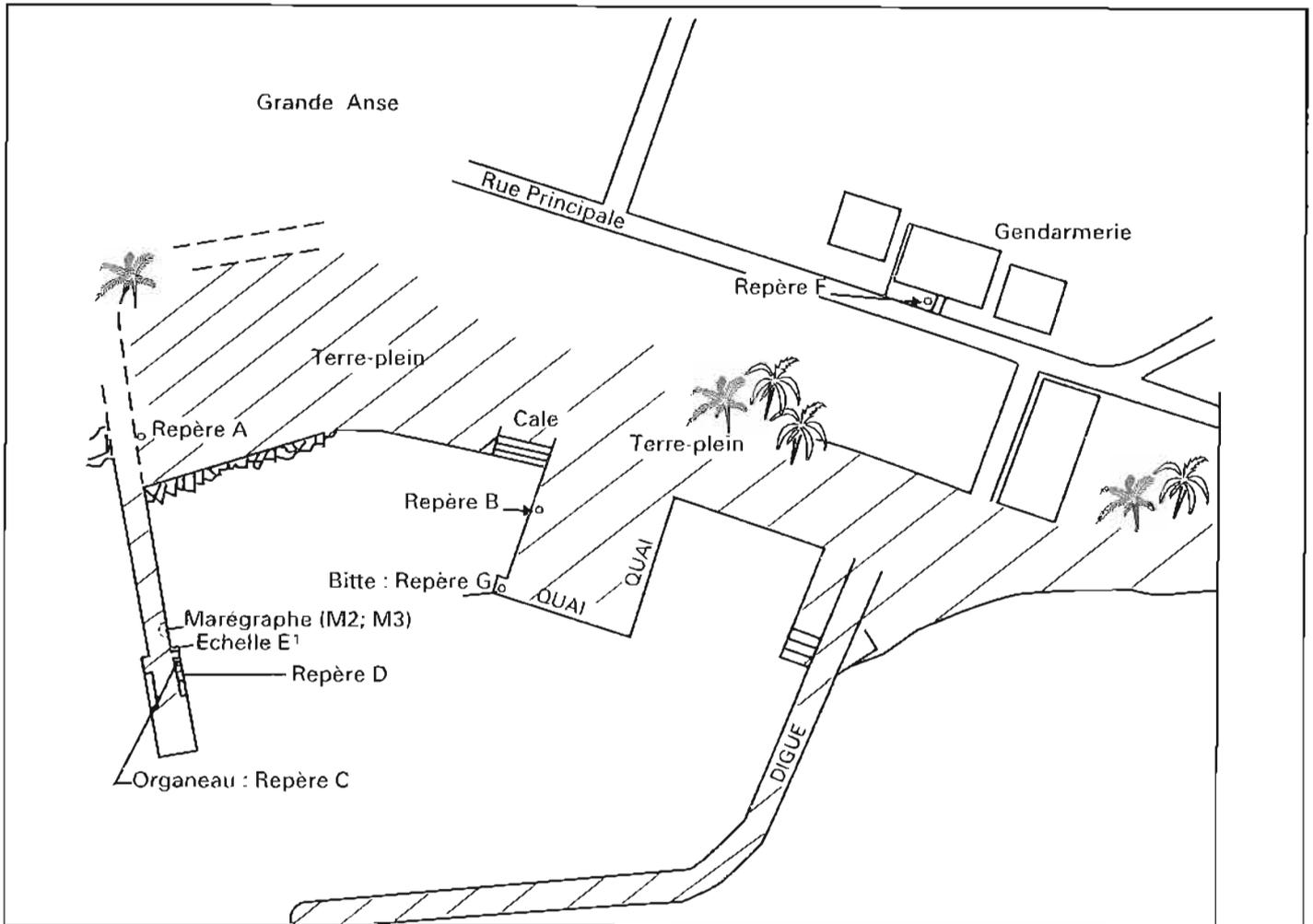


FIG. 12. — Observatoire de marée de Saint-François (Grande-Terre)



Situation en élévation des repères d'altitude et des différents zéros de référence.
(Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéro IGN, etc...)

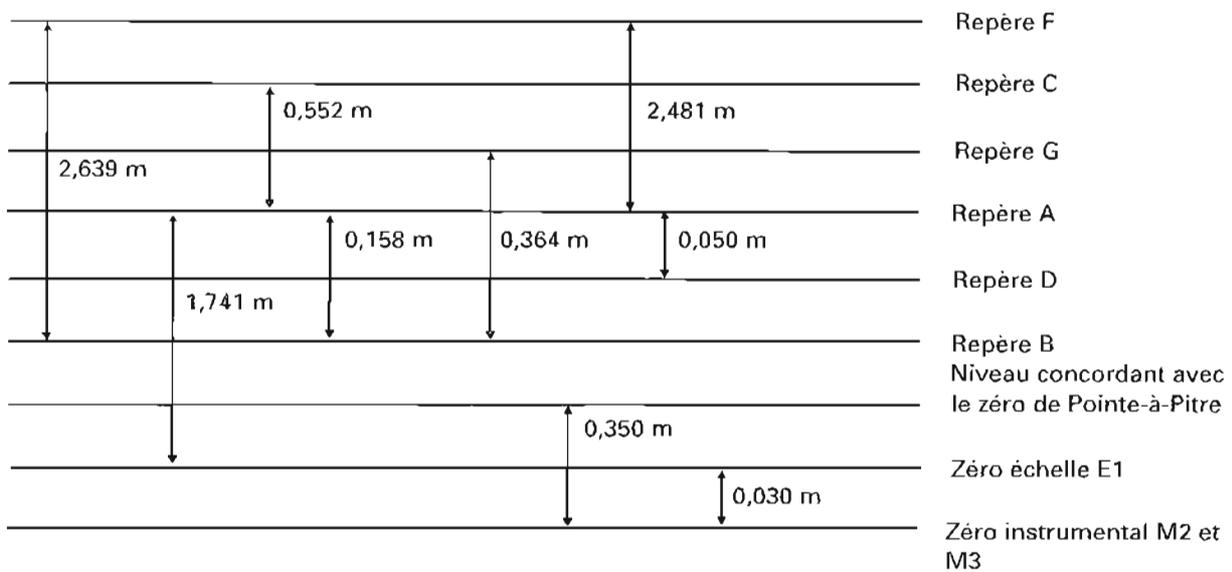


FIG. 13. — Observatoire de marée de Grande Anse (Désirade)

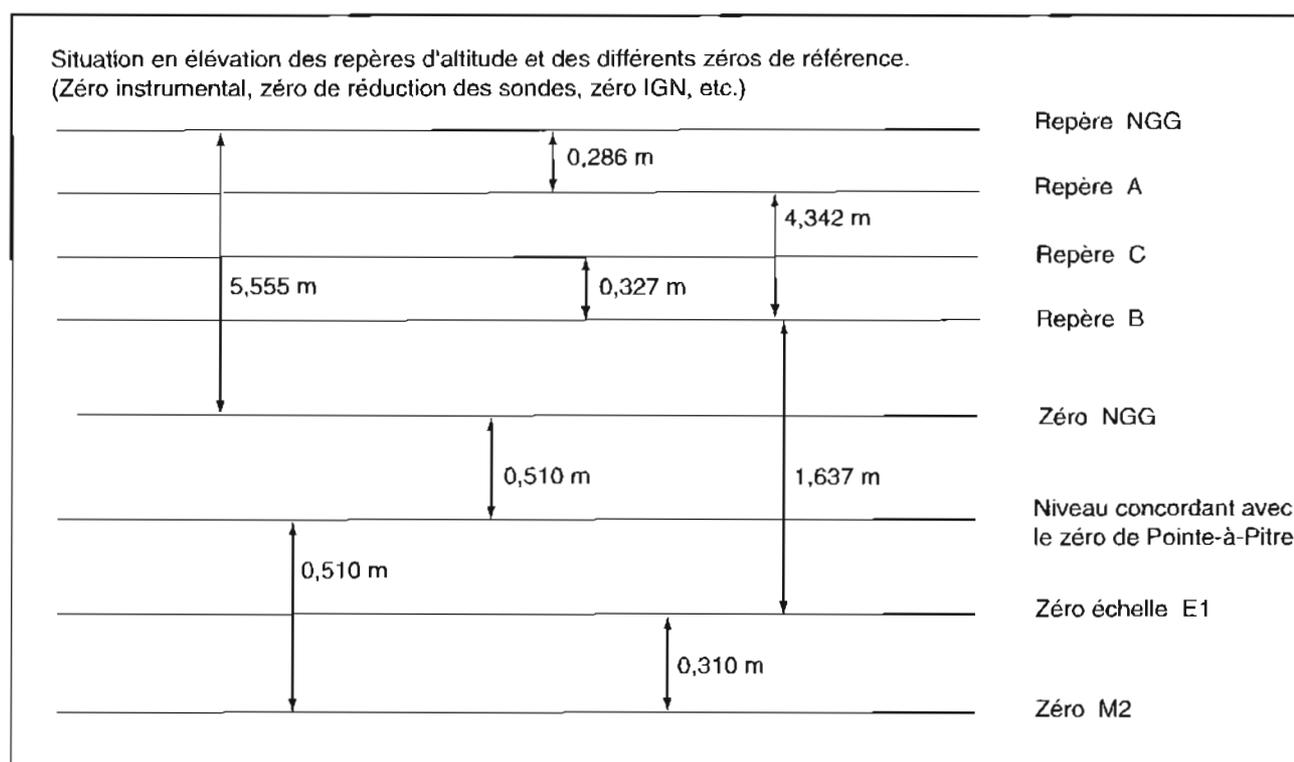
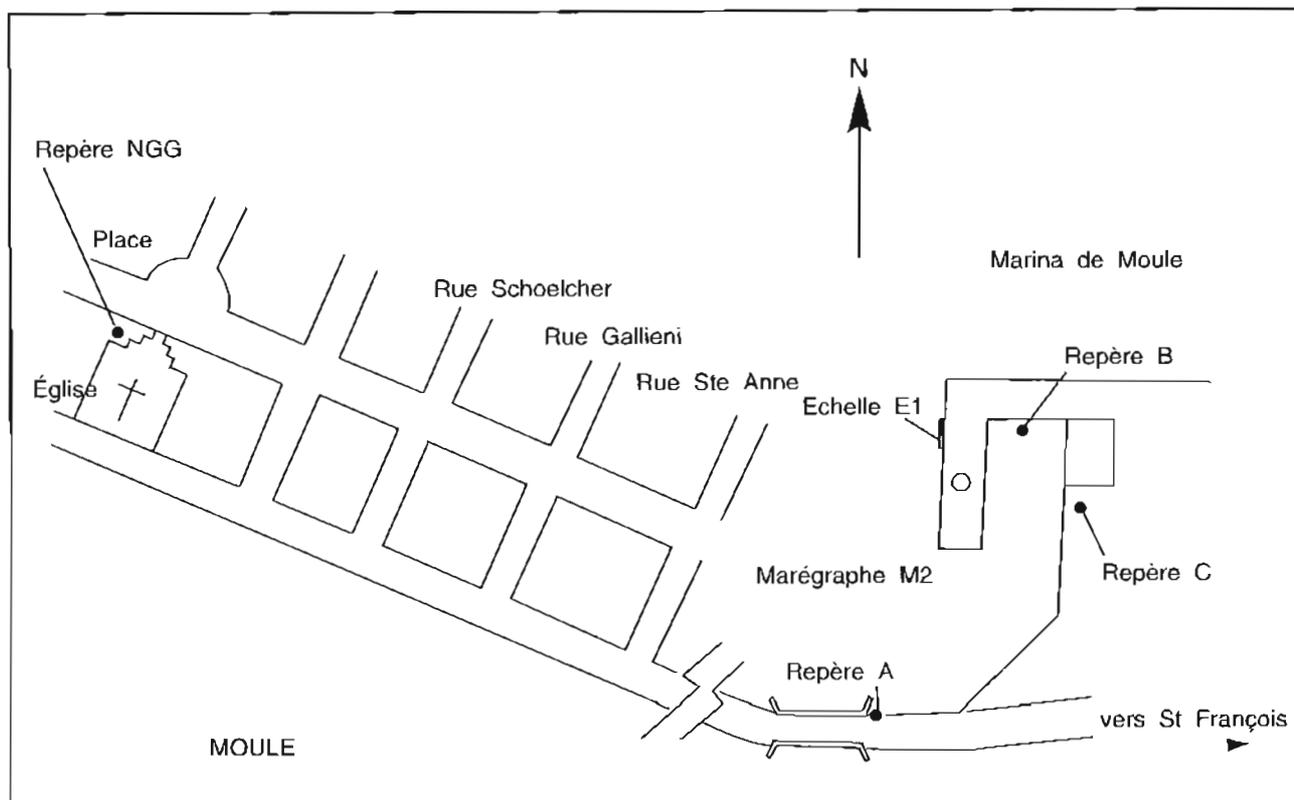
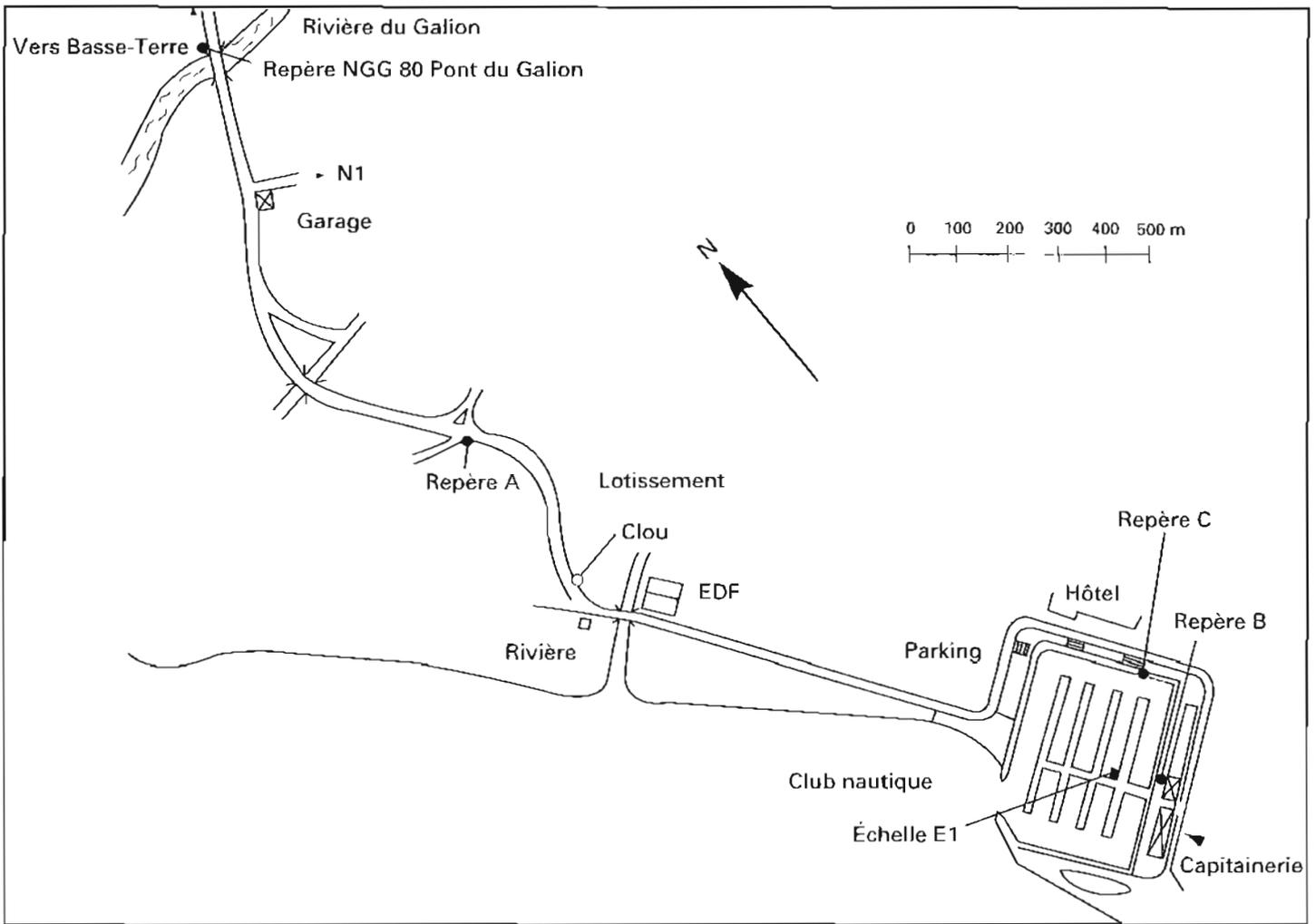


FIG. 14 — Observatoire de marée de Moule (Grande-Terre)



Situation en élévation des repères d'altitude et des différents zéros de référence.
(Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéro IGN, etc.)

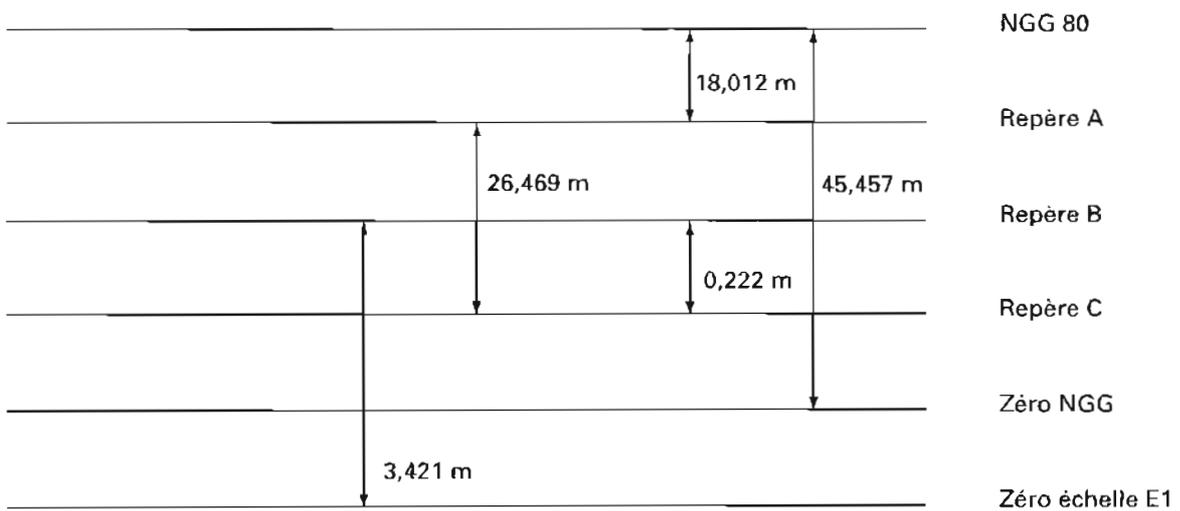


FIG. 15. — Observatoire de marée de Rivière Sens (Basse-Terre)

Tableau 9. — Évolution de la dénivelée B-A à la Pointe Fouillole

Année	Dénivelée observée	Affaissement annuel moyen
1979	260 mm	
1983	272 mm	3 mm/an
1984	276 mm	4 mm/an
1987	298 mm	7 mm/an

Tableau 10. — Côtes des niveaux moyens et des niveaux concordants avec le zéro hydrographique de Pointe-à-Pitre rapportées au NGG

Observatoire	Niveau concordant avec le zéro hydro.		Niveau moyen	
	Côte NGG (m)	Période de référence	Côte NGG (m)	Période de référence
Pointe-à-Pitre	-0,46	zéro traditionnel	0,00	définition du NGG
Saint-François	-0,48	zéro 1984	-0,01 (1)	27 janv. - 4 mai 1987
Moule	-0,51	21 mars - 1 mai 1987	-0,04 (1)	21 mars - 1 mai 1987
Rivière Sens	non déterminé (-0,46 m à Basse-Terre)		0,04	26 juin 84 - 3 déc. 85

(1) valeur corrigée de l'écart entre le niveau moyen observé à Pointe-à-Pitre sur la même période et la valeur de référence 0,46 m (au-dessus du zéro hydrographique).

L'espacement initial des profils était fixé par les instructions techniques :

- 2 000 m pour les fonds supérieurs à 1 000 m ;
- 400 m pour les fonds compris entre 250 et 1 000 m ;
- 200 m pour les fonds compris entre 100 et 250 m ;
- 100 m pour les fonds inférieurs à 100 m ;
- 50 m pour les mouillages et accès.

Le changement d'espacement a été obtenu facilement en interrompant un profil sur deux ou quatre profils sur cinq. Les profils ont été resserrés ou des recherches ont été effectuées chaque fois que cela a paru nécessaire.

Les sondages ont été effectués exclusivement au sondeur vertical. Le sondeur latéral n'a été mis en œuvre que pour préciser les limites du sommet du banc Flandre à l'est de la Désirade. Le levé régulier et les recherches correspondantes sont achevés dans la zone prioritaire fixée par les instructions techniques. Le levé régulier au 1 : 50 000 (fonds supérieurs à 250 m) et au 1 : 10 000 (fonds inférieurs à 250 m) de la zone de deuxième priorité au nord de la pointe de la Grande Vigie a été entre-

pris. La limite ouest du banc situé au nord de la pointe n'ayant pu être atteinte faute de temps, aucune recherche n'a été entreprise dans cette zone.

La petitesse de la correction de marée a permis d'édi-ter au fur et à mesure des sondages des « bleus » des sondes brutes, qui ont constitué une aide appréciable pour la conduite du levé.

II. 3.4.2. Sondages effectués

Les travaux ont été menés du sud vers le nord en réservant la zone de petits fonds au sud de la Grande-Terre pour un chantier autonome des vedettes pendant la PEI du *D'Entrecasteaux*. Les profils suivis par les vedettes ont été orientés pratiquement perpendiculairement à la côte. Pour le *D'Entrecasteaux*, trois orientations différentes ont été utilisées en fonction de la houle et du vent dominants (pour permettre autant que possible la mise en œuvre de l'hélicoptère sur profil) et de la direction générale des isobathes : 80-260° au sud de la Désirade, 20-200° puis 90-270° au nord.

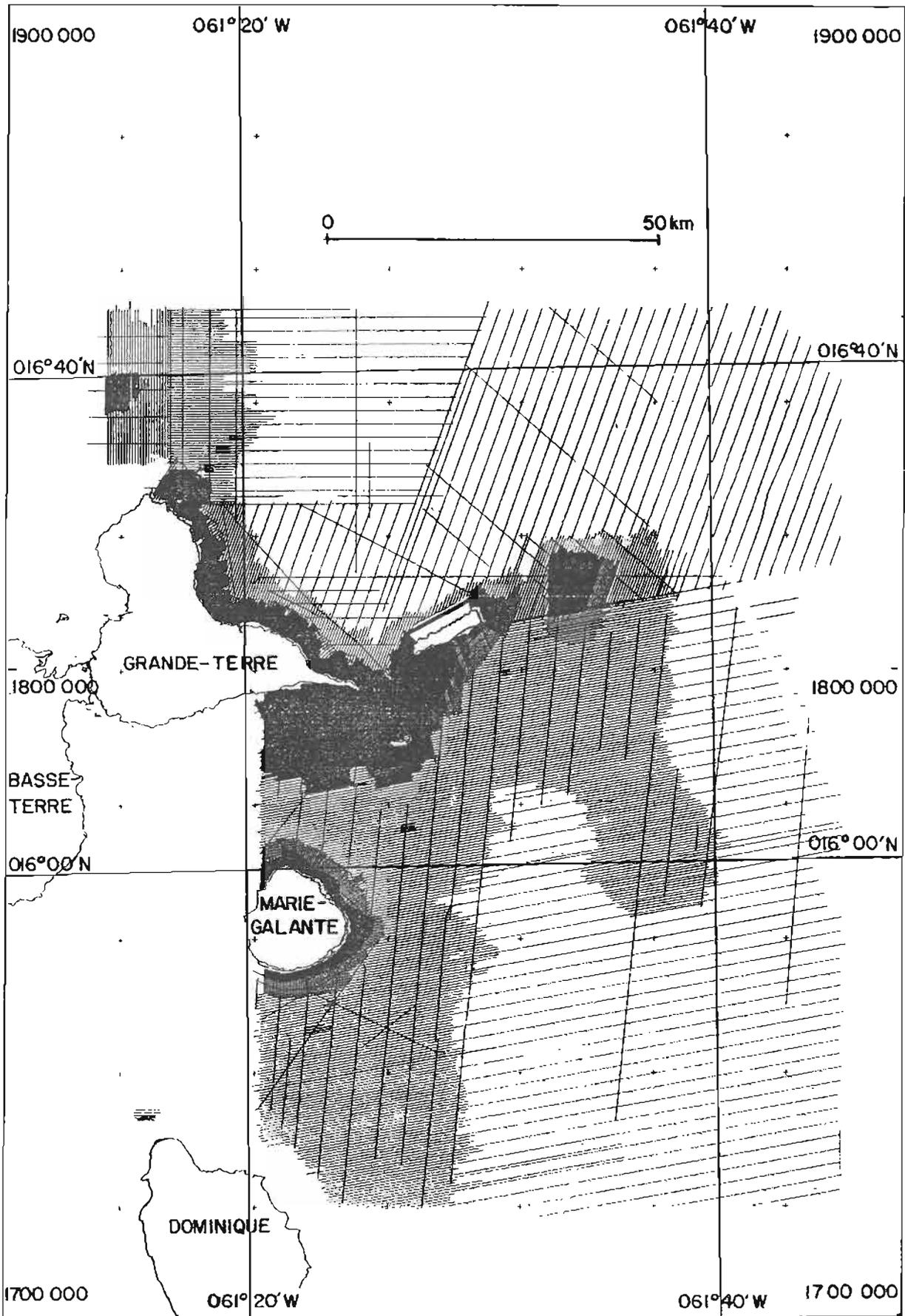


FIG. 16 — Profils de sondage du levé Guadeloupe 1987

La figure 16 donne le détail des sondages effectués. Leurs caractéristiques principales sont rappelées ci-dessous :

- levé au 1 : 200 000 : zone du large (fonds supérieurs à 1 000 m) ;
- levé au 1 : 40 000 : zone intermédiaire (fonds compris entre 250 et 1 000 m), essentiellement au sud de la Grande-Terre, au sud et à l'est de la Désirade et au nord de la pointe de la Grande Vigie ;
- levé au 1 : 20 000 : zone côtière (fonds compris entre 100 et 250 m) - essentiellement côte de Marie-Galante et côte sud de la Désirade, à l'est de Grande-Anse - abords sud et est du banc Flandre ;
- levé au 1 : 10 000 : zone côtière (fonds inférieurs à 250 m) - abords de Marie-Galante, de la Grande-Terre et de la Petite Terre - banc Flandre et banc au nord de la pointe de la Grande Vigie ;
- levé au 1 : 5 000 : côte sud de la Désirade, à l'ouest de Grande-Anse ;

Des levés à grande échelle (espacement des profils compris entre 10 et 50 m) ont été effectués ponctuellement sur des accès (Capesterre, Grande Anse - photo 15, Moule - photo 16), une zone de mouillage (Anse des Galets) et des zones de petits fonds (sud et ouest de Petite Terre). Les accès à Baie Mahaut et au mouillage de Petite Terre ont été reconnus mais n'ont pas donné lieu à un sondage exhaustif en raison de leur étroitesse.

L'espacement des profils traversiers a été fixé à environ 10 fois l'espacement des profils du levé régulier, conformément à la norme en vigueur.

En dehors des abords immédiats de la côte, inaccessibles ou dangereux pour les embarcations, la seule zone non hydrographiée à l'intérieur du levé est une bande de 1 500 m de large au nord de la Désirade. La houle dominante rendant aléatoire l'intervention des vedettes et la localisation le long de cette côte à falaise abrupte étant difficile à assurer, il n'a pas paru opportun de consacrer un temps disproportionné à cette zone qui ne présente aucun intérêt pour la navigation.

A l'occasion du démontage de la balise Trident installée en Dominique, la sonde 152 ED portée sur la carte 1003 au nord de la Dominique à la limite du levé de 1984 a été recherchée. Ce haut-fond existe bien. L'espacement des profils fixé initialement à 400 m a été réduit à 100 m sur la tête.

II. 3.4.3. Rédaction

L'élaboration des fichiers et des minutes définitifs a été entreprise pendant le transit retour. Les corrections suivantes ont été appliquées aux sondes brutes :

a) la correction de marée a été appliquée aux sondes inférieures à 200 m et calculée par interpolation linéaire en fonction du temps à partir du fichier de marée de référence mentionné au § II.3.3.2 (pas d'échantillonnage : 7,5 min).

b) la correction résiduelle d'immersion de la base a été déterminée pour le *D'Entrecasteaux* à partir d'observations régulières des tirants d'eau avant, milieu et arrière.

c) la correction de célérité du son a été déterminée à partir du profil de célérité moyen résultant de 11 mesures au bathycélérimètre Suber SLS 12 et prolongé au-delà de 1 000 m à l'aide des données de la table NP 139 (3^e édition). Le profil adopté est représenté sur la figure 17.

La zone du levé est couverte par 49 minutes définitives, soit :

- 1 minute au 1 : 200 000 : B 200 ;
- 6 minutes au 1 : 50 000 : B 50-1 à 6 ;
- 30 minutes au 1 : 10 000 : B 10-1 à 30 ;
- 8 minutes au 1 : 5 000 : B 5-1 à 8 ;
- 4 minutes au 1 : 2 000 : 2-1 à 4.

Les limites des coupures sont indiquées sur les figures 18 et 19.

Au changement de directeur technique, le choix de sonde surfacique, dernière étape avant l'écriture des minutes, était pratiquement achevé.

II. 3.4.4. Résultats

Les grandes structures bathymétriques déduites des données éparses antérieures ont été confirmées et précisées. Si aucun haut-fond nouveau important n'a été détecté, on peut a contrario affirmer que plusieurs sondes anormales portées sur la carte 1003 (édition 4, 1987) n'existent pas ; quelques unes ont été retrouvées avec une profondeur plus faible que prévue (voir tableau 11).

La cote du banc des Vaisseaux au sud de la Grande-Terre a été légèrement améliorée : 9,7 m contre 10,1 m en 1971 (Commolet-Tirman, 1976). L'écart n'est d'ailleurs pas forcément significatif en raison de l'incertitude due à la houle. L'inexistence du 7 m signalé en 1892 est confirmée.

Les trois principaux hauts-fonds situés à l'ouest de Petite Terre ont été signalés par message à l'issue du levé régulier. Les sondes correspondantes ont été légèrement améliorées lors des recherches complémentaires. La sonde 14 m signalée en 1973 se trouve ainsi couverte par un 11,9 m.

La sonde la plus faible obtenue sur la partie étudiée du band situé au nord de la pointe de la Grande Vigie est un 69,5 m, pour 70 m porté sur la carte.

II. 3.5. Nature du fond

La nature du fond a été déterminée principalement par les vedettes, d'abord avec une benne légère puis avec un plomb suiffé qui s'est révélé plus efficace. Quelques prélèvements au plomb suiffé ont également été réalisés par le *D'Entrecasteaux* sur le banc Flandre. On a assuré ainsi la couverture des fonds inférieurs à 100 m à l'intérieur de la zone du levé, à l'exclusion du banc situé au nord de la Grande Vigie. L'espacement entre les points de mesure est de l'ordre de 1 000 m.



Photo 15. Vue aérienne du port de Grande Anse (Désirade)

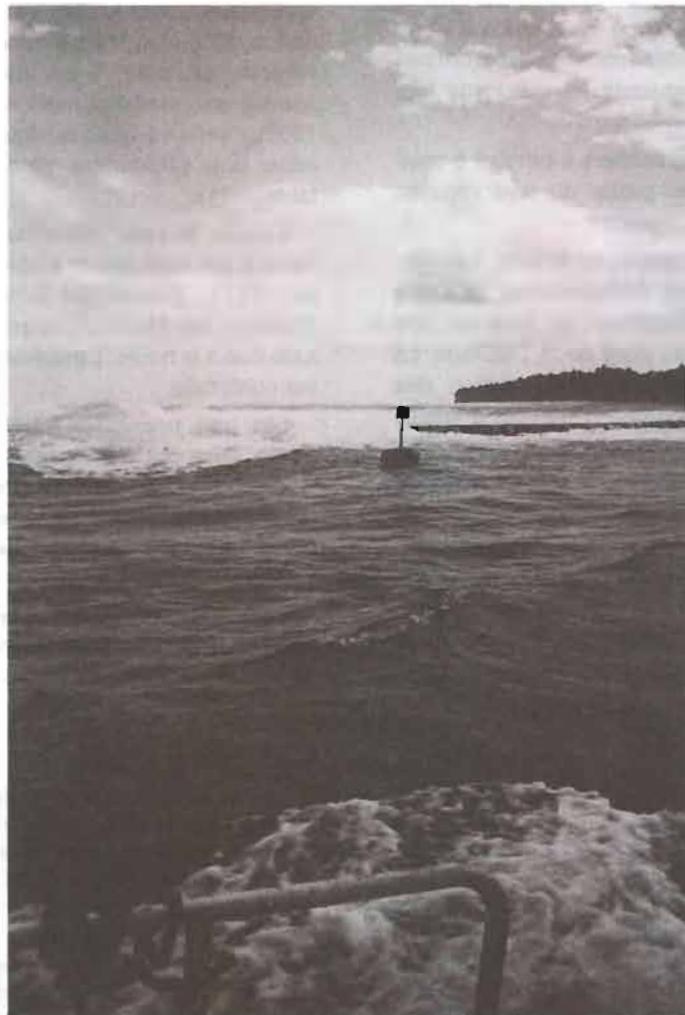


Photo 16. Dans la passe d'accès de Moule (Guadeloupe)

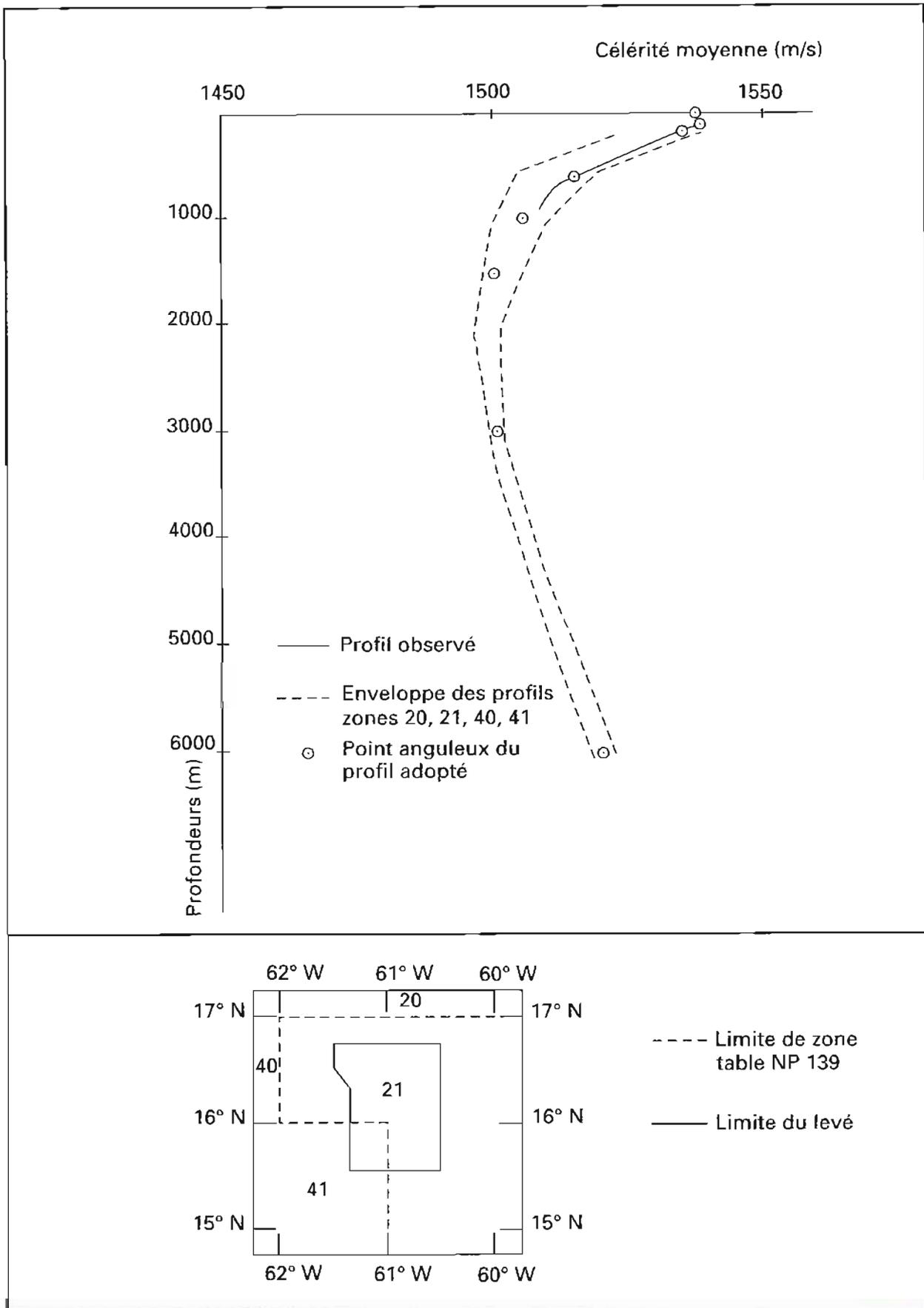


FIG. 17. — Profil de célérité adopté pour le levé Guadeloupe 1987

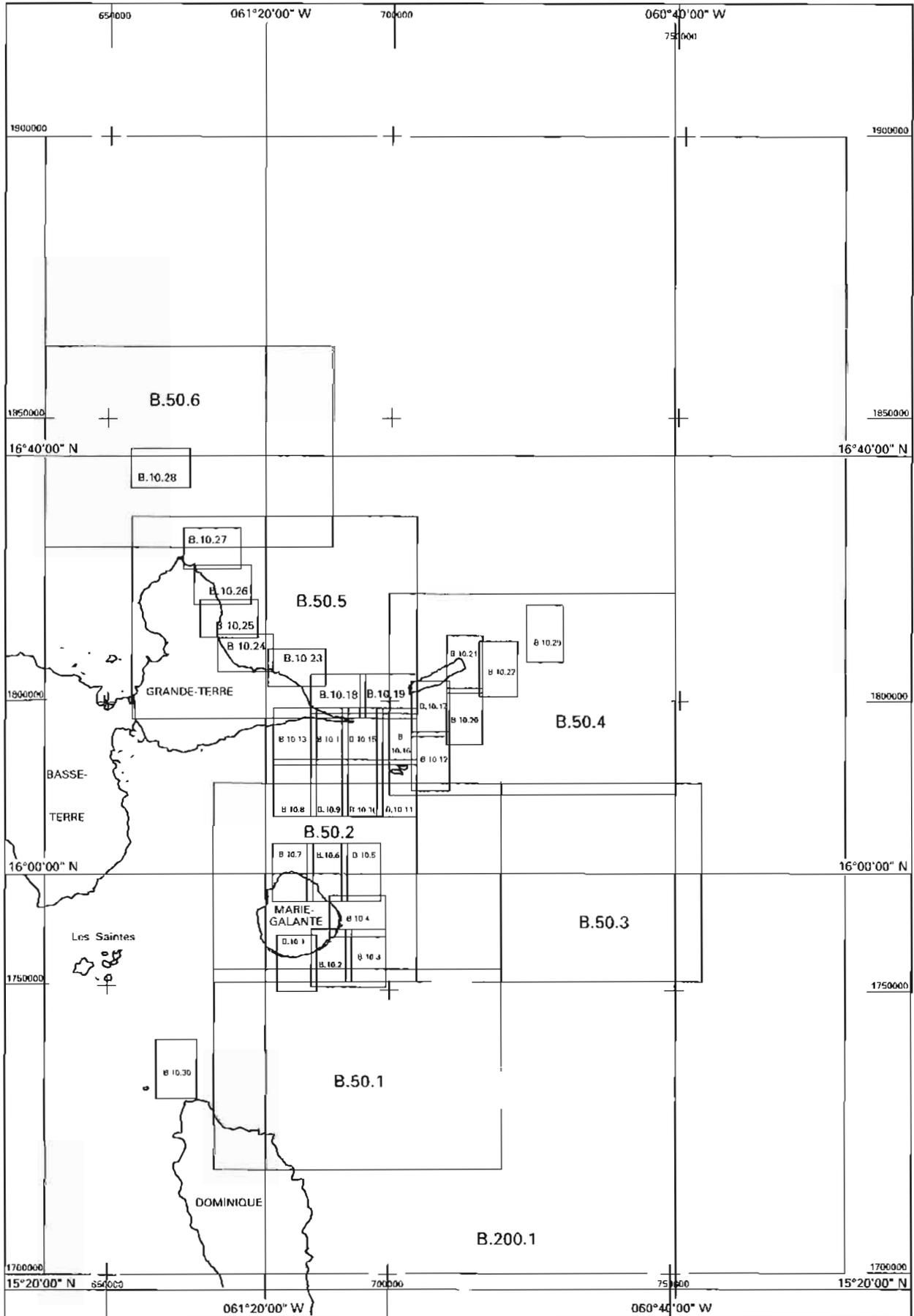


FIG.18. — Index des coupures (échelle 1 : 200 000 à 1 : 10 000)

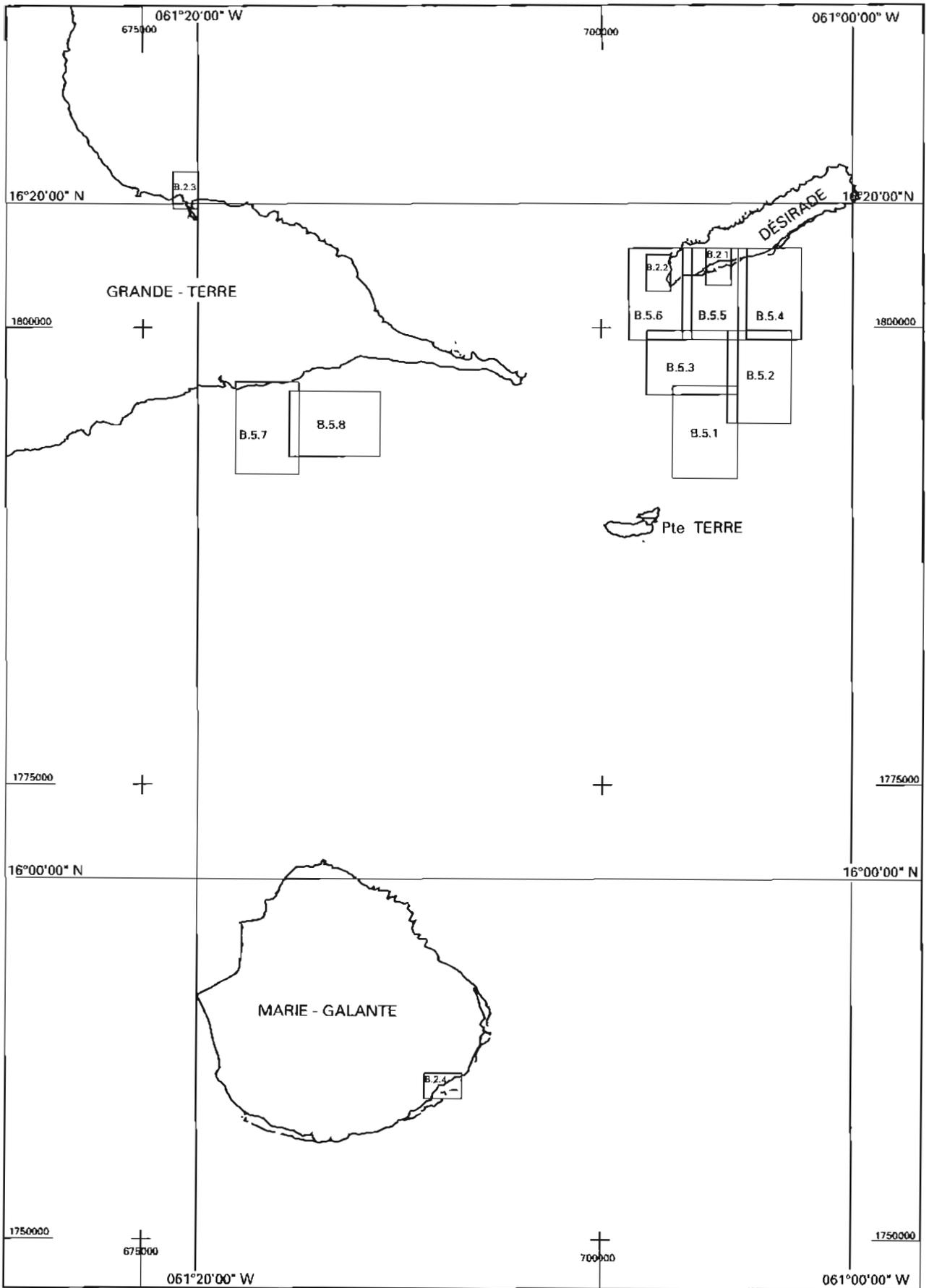


FIG. 19. — Index des coupures (échelle 1 : 5 000 à 1 : 2 000)

Tableau 11. — Observations sur les sondes de la carte 1003 (Édition 4, 1987)

Sonde CM 1003	Position approchée		Commentaires
	Lat. (N)	Long. (W)	
152 ED	15° 41,0'	61° 28,8'	Mention ED à supprimer. Sonde réelle observée : 153 m
486	15° 59,0'	60° 48,8'	Sonde réelle observée : 398 m
426 et 472	16° 12'	60° 50'	Sondes appartenant à la même structure qui culmine à 430 m
311	16° 13,8'	60° 41,0'	Sondes provenant de la minute GEBCO 152 ; n'existe pas (fonds > 1 500 m)
10.3 PA	16° 21,5'	60° 47,5'	N'existe pas (fonds > 400 m)
373	16° 24,4'	60° 43,5'	Sondes provenant de la minute GEBCO 152 ; n'existe pas (fonds > 1 000 m)
3 584	16° 38'	60° 49'	Les sondes inférieures à 4 000 m inscrites sur la minute GEBCO 152 n'existent pas (fonds > 5 000 m)
69 PA	16° 41,5'	61° 29,0'	N'existe pas (fonds > 400 m)
916	16° 42,0'	61° 20,5'	N'existe pas (fonds > 1 400 m)

La documentation disponible au laboratoire de Géologie de l'Université Antilles-Guyane a également été rassemblée. A quelques exceptions près, les renseignements obtenus ne concernent que des zones extérieures au levé.

Une synthèse de tous les renseignements relatifs à la zone du levé a été établie sur une minute au 1 : 100 000.

II. 3.6. Topographie

La zone du levé a fait l'objet en 1982 (Marie-Galante, Petite Terre) puis en 1984 (Désirade, Grande-Terre) d'une couverture photographique aérienne par l'IGN. Les travaux de topographie se sont donc limités au recueil des renseignements nécessaires pour une restitution éventuelle ultérieure et pour le contrôle de la partie maritime des documents de l'IGN (cartes ou documents révisés provisoires).

Les points caractéristiques ont été positionnés par moyens optiques (théodolites et distancemètre) à partir des points géodésiques existants ou mis en place à cet effet. La coralline a été utilisée pour la délimitation des récifs et la détermination de cotes ponctuelles à la perche (photo 17).

Les zones couvertes sont :

- la zone de récifs le long de la côte sud-est de Marie-Galante ;
- Petite Terre ;
- la côte sud de la Désirade, de l'anse des Galets à Baie Mahaut ;
- les abords de Moule ;
- la côte de la Grande-Terre, de Saint-François à la pointe des Châteaux et à Moule.

Les données des stations ont été saisies et traitées (calcul des positions et des sondes réduites de la marée) mais aucune restitution n'avait encore été entreprise au changement de directeur technique.

II. 3.7. Courants

II. 3.7.1. Stations de courantométrie

Sur les quatre stations prévues par les instructions techniques, seules 3 ont été réalisées. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 12. La mesure au mouillage de Capesterre n'a pas été effectuée en raison des très petits fonds trouvés.

On a utilisé à chaque fois le mouillage de surface avec ligne de pare-battages expérimenté en Bretagne Sud en 1986. La ligne était fixée soit à une bouée Selco mise en place à cet effet (photo 18), soit à une bouée des Phares et Balises. L'intégrité des mouillages, signalés par AVURNAV, a été respectée.

Le courant observé devant Grande Anse est de type alternatif semi-diurne. Sa direction est pratiquement parallèle à la côte et son intensité maximum ne dépasse pas 0,8 nœud.

Le courant observé dans la passe de Moule est en général faible (moins de 0,2 nœud) et modulé par la marée sauf pendant les périodes de renforcement de la houle d'est pendant lesquelles apparaît un courant de vidange du lagon orienté suivant l'axe de la passe et pouvant atteindre 0,8 nœud.

Le courant observé à l'extérieur de la passe d'entrée de la marina de Saint-François est généralement un peu plus marqué qu'à Moule mais son intensité ne dépasse pas 0,4 nœud. Les maxima sont associés là-aussi aux périodes de renforcement du vent.

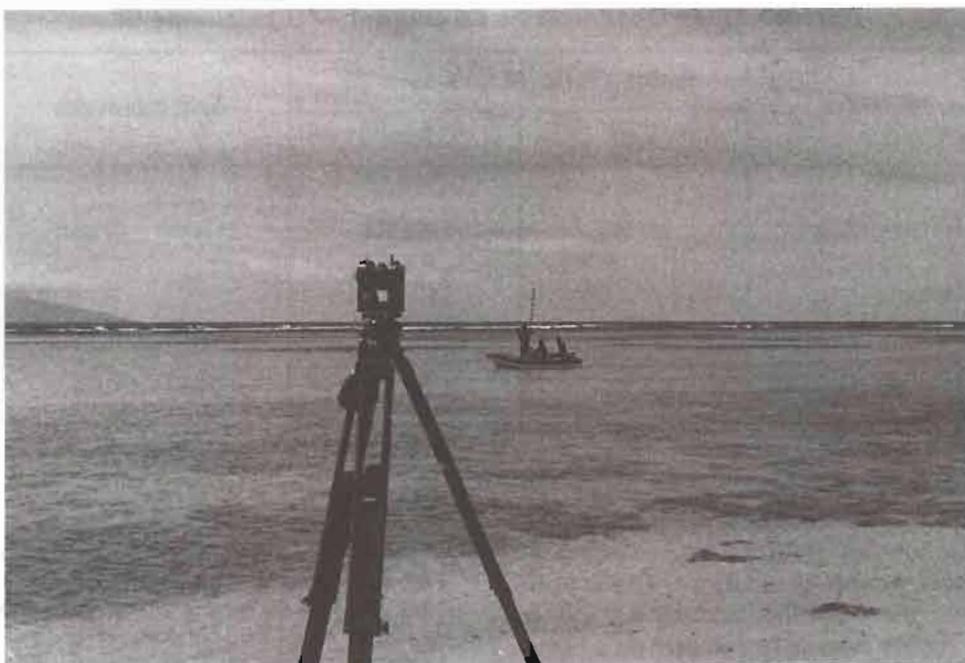


Photo 17. Séance de topographie en coralline (Guadeloupe)

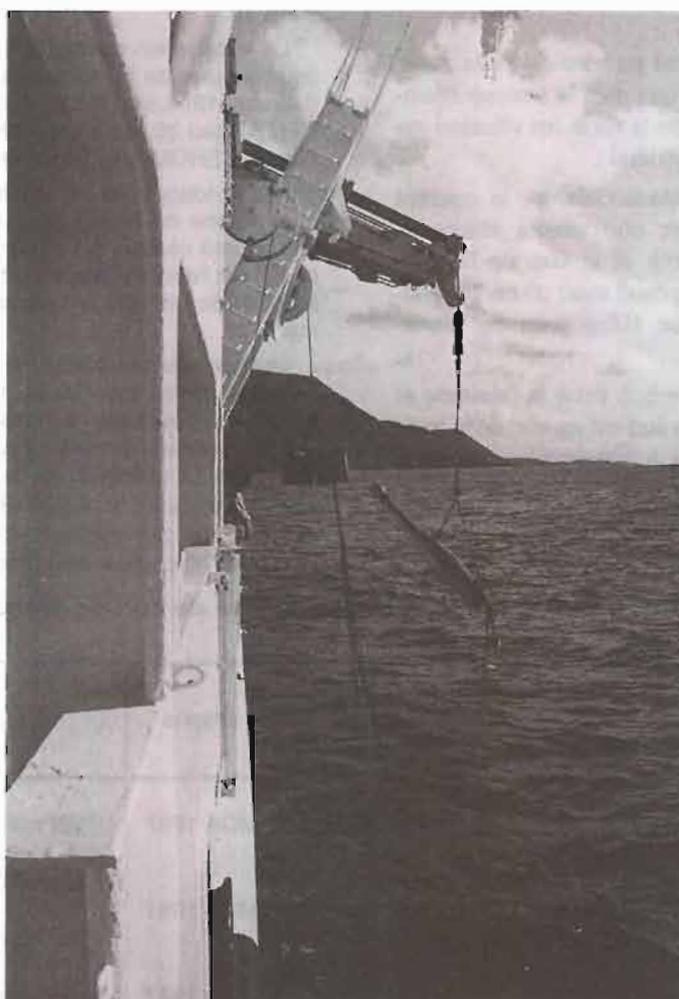


Photo 18. Mise à l'eau d'une bouée Selco devant Grande Anse (Désirade)

Tableau 12. — Observations de courant — Guadeloupe 87

N° de station	Lieu d'observation	Position (IGN 1951-52 ; UTM, fuseau 20)		Période d'observation	Type de courantomètre
		E (m)	N (m)		
1	Désirade Accès à Grande Anse	707 083	1 802 346	24 février - 09 mars	Suber SLS 11
2	Grande-Terre Moule, bouée M2	677 202	1 807 332	24 mars - 07 avril	" " "
3	Saint-François, bouée PC2	686 665	1 797 450	9 avril - 27 avril	" " "

II.3.7.2. Circulation générale

Une estimation de la circulation générale de surface dans la zone de sondage du *D'Entrecasteaux* a été élaborée à partir des données de localisation et d'estime du bâtiment et du vent observé à bord ou à la station automatique de la Désirade. Les résultats doivent être utilisés avec prudence, compte tenu de l'imprécision de la détermination de la vitesse du bâtiment par rapport à la surface.

Les caractéristiques principales du schéma obtenu (figure 20) sont les suivantes :

- Le courant est plus marqué au nord-est de la zone, avec un tourbillon anti-cyclonique dont la vitesse atteindrait 1,5 nœud. Dans le reste de la zone, les vitesses ne dépassent pas 0,5 nœud en général ;
- entre la Dominique et Marie-Galante, le courant porte vers le nord-ouest avec une vitesse atteignant 0,5 nœud. Entre Marie-Galante et la Grande-Terre, il porte à l'ouest et atteindrait 1 nœud avec un contre-courant vers l'est nettement plus faible près de Marie-Galante ;
- il n'y a pas de courant marqué entre la Désirade et la Grande-Terre : il porterait au sud-est au sud de la ligne reliant la pointe des Châteaux à l'extrémité ouest de la Désirade et au nord-ouest au nord ;
- au nord de la pointe de la Grande Vigie, le courant porterait vers l'est à 0,5 nœud.

II.4. TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES

II.4.1. Martinique

Sur la demande du Service des Travaux Maritimes de Fort-de-France, la MOA a effectué un levé de contrôle du plan d'eau de la Marine à Fort-de-France. Ce levé eut lieu du 21 au 24 avril pendant la PEI du *D'Entrecasteaux*. Les embarcations du *D'Entrecasteaux* continuant d'opérer en Guadeloupe pendant cette période, les sondages furent réalisés avec un youyou de l'Unité Marine équipé par la mission d'une base hors-bord et d'un sondeur Deso 10.

La localisation de l'embarcation était assurée à l'optique à partir de trois stations implantées sur les quais (tableau 13). Les calculs ont été menés en projection UTM fuseau 20, dans le système MOA 1978 assimilé au système SHOM1984 (Bessero, 1985).

Les sondages ont été réduits de la marée observée au marégraphe du bassin de radoub. Le niveau de réduction adopté se situe à 1,475 m au-dessous du repère SH scellé sur l'escalier ouest du bassin de radoub auquel le sommet de l'échelle en place a été rattaché par nivellement.

La zone représentée sur la figure 21 a été sondée suivant des profits espacés de 10 m et complétés par des sondages ponctuels au plomb de sonde autour du *D'Entrecasteaux* amarré à couple de la *Garonne* au quai des avisos. La célérité du son adoptée est de 1 538 m/s.

Une minute au 1 : 1 000 (Bc 1 n° 87. 45.1) a été rédigée. On n'a pas constaté d'évolution significative des fonds par rapport au levé précédent de 1980-1981.

Tableau 13. — Stations optiques du levé de Fort-de-France

Nom	Coordonnées - système SHOM 1984 Projection UTM, fuseau 20		Origine	Remarques
	E (m)	N (m)		
Quai aux huiles	708 263,4	1 614 974,2	MOA 1987	Point non matérialisé
Port de commerce				Fiche n° 043.41.67
Feu 1 (vert)	708 438,6	1 614 826,7	MOA 1981	
Station excentrée	706 438,9	1 614 826,7		Point non matérialisé
Feu 5 (rouge)	708 097,0	1 614 961,2	MOA 1987	
Station excentrée	708 097,0	1 614 960,9		Coordonnées recalculées à partir des observations de 1981

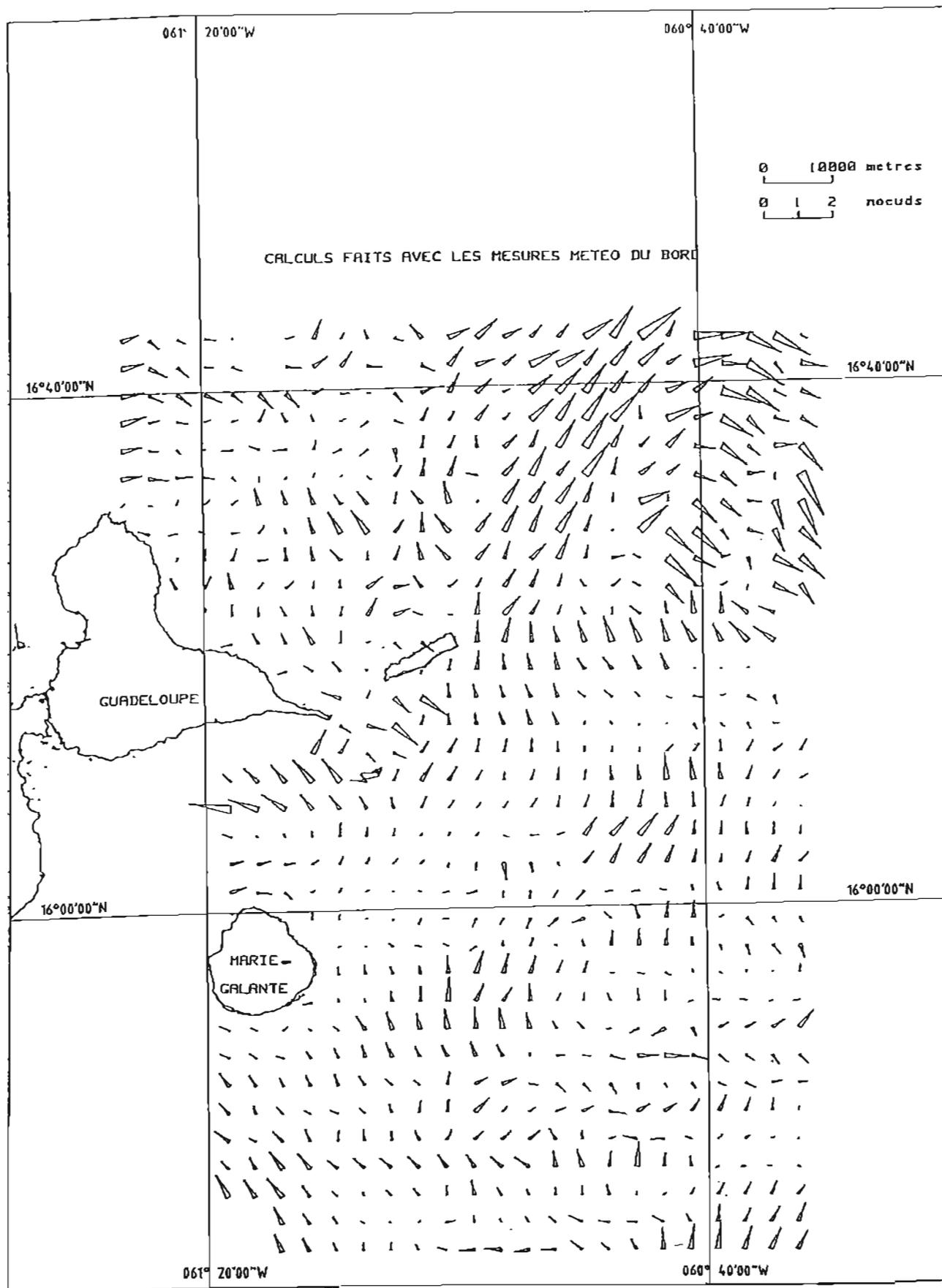


FIG. 20. — Courants de surface Guadeloupe 1987

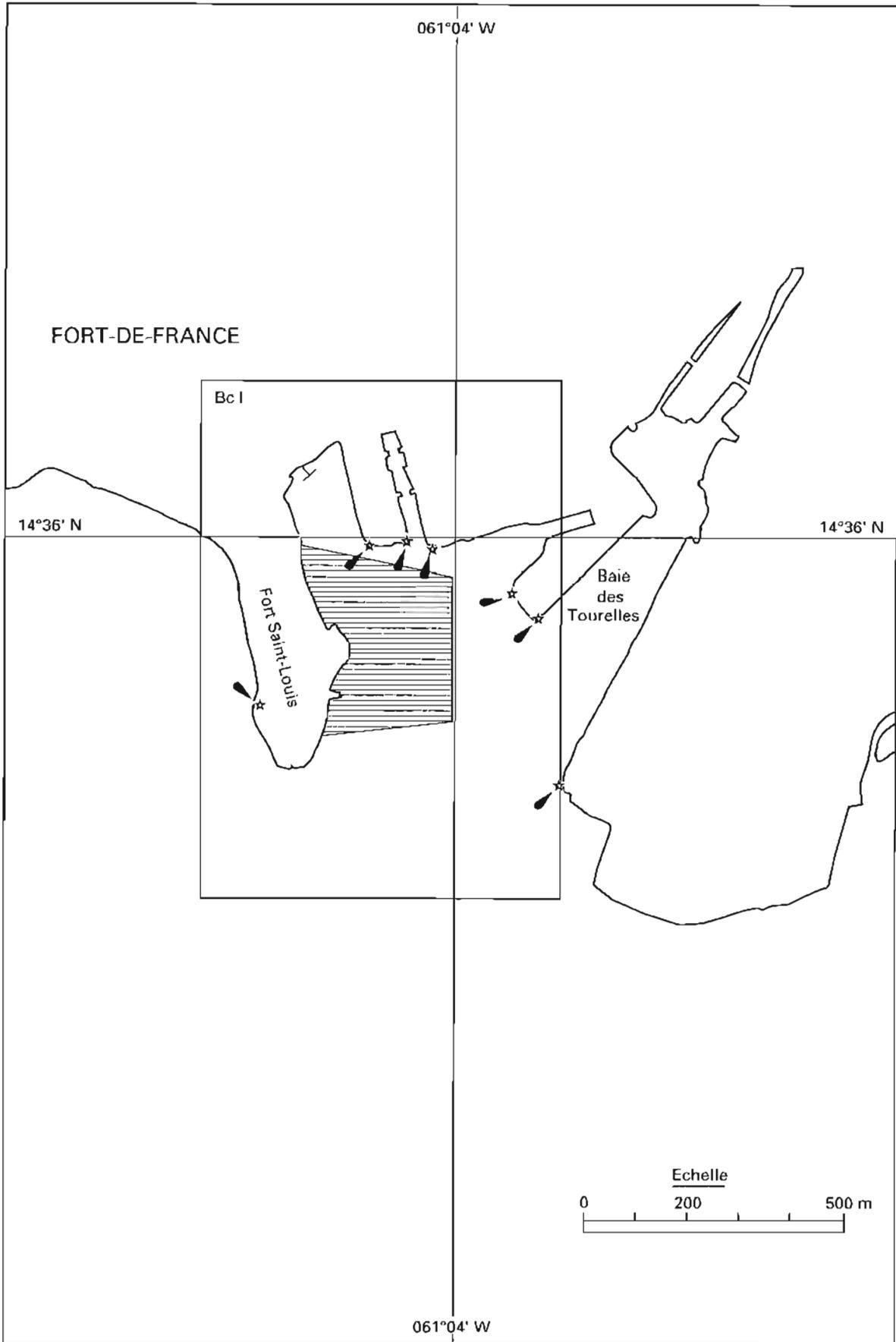


FIG. 21. — Levé de contrôle à Fort-de-France

II.4.2. Guadeloupe

II.4.2.1. Les Saintes

Le stage d'hydrographie de l'EAOM aux Saintes a été mis à profit pour contrôler l'état des repères géodésiques de Terre de Haut et de l'Îlet à Cabrit. On a noté à cette occasion que la durabilité des douilles scellées à proxi-

mité des lieux fréquentés (sites touristiques, sentiers) était aléatoire. Le tableau 14 résume les constatations faites. Les deux repères de nivellement de Terre de Haut (maison bateau, phare) ont été retrouvés intacts. Une douille SHOM non fichée a été retrouvée à l'extrémité du wharf du Bourg à Terre de Haut.

Tableau 14. — État des repères géodésiques aux Saintes - Février 1987

N° de la fiche	Nom du point	Observations
43.51.001	Tour du Chameau	Repère 1 (douille SHOM) disparu Repère 2 (pastille IGN) intact
013	Fort Napoléon	Fiche complétée
024	Station Rodrigue S1	Retrouvé
025	Colonne Marigot	Repère 1 (douille SHOM) arraché Il ne reste qu'une partie de la borne
026	Station Rodrigue S3	Retrouvé
027	Petit Bourg	Fiche complétée
028	Pointe Coquelet	Douille SHOM disparue
029	Table d'orientation	Fiche complétée
032	Pointe à Cabrit	Non retrouvé (éboulis)
047	Pointe Sable	Douille SHOM et signal disparus : borne en morceaux

II.4.2.2. Pointe-à-Pitre

Sur demande du port autonome de Guadeloupe, la MOA a effectué un levé de contrôle le long des quais de Pointe-à-Pitre. Les travaux eurent lieu du 4 au 6 mai, pendant la dernière escale du *D'Entrecasteaux* avant son transit retour. Les sondages furent réalisés avec la coralline équipée d'une base hors bord et d'un sondeur Deso 10, en utilisant la technique de la cordelle (photo 6).

La localisation fut assurée en relatif par rapport aux quais. Deux rangées distantes de 5 à 7 m de repères espacés de 10 m ont été matérialisées parallèlement au bord des quais, à partir de stations théodolite placées aux extrémités des quais. Les positions de ces repères en projection UTM fuseau 20 dans le système géodésique IGN 1951-1952 ont été ensuite obtenues par construction graphique à partir du plan PP-PGM-B8411 au 1 : 1 000 fourni par le port autonome. Chaque profil à suivre était matérialisé au fur et à mesure par un alignement constitué de deux voyants triangulaires montés sur un pied de théodolite et centrés sur les repères correspondants. La distance entre la base du sondeur et le bord du quai était mesurée avec une cordelle graduée.

Les sondages ont été réduits de la marée observée à l'observatoire de la Pointe Fouillole dans les mêmes conditions que l'ensemble du levé Guadeloupe 1987. Le niveau de réduction des sondes se situe à 2,457 m au-dessous du repère fondamental NGG 9 scellé dans le transformateur du lieu-dit « Carénage ».

La zone sondée est représentée sur la figure 22. Trois groupes de profils perpendiculaires aux quais et espacés de 10 m ont été explorés sur une longueur de 50 m devant le quai 2, entre les quais 3 et 4 et du quai 5 au quai 8. La célérité du son adoptée est 1 538 m/s. Des sondages ponctuels au plomb de sonde ont été effectués à l'aplomb du quai 3 et du quai 1 occupés par des bâtiments.

La zone explorée avait été sondée au 1 : 2 000 en 1983. On ne constate pas d'évolution importante des fonds entre les deux levés. Par contre, les isobathes portées sur le plan du port autonome ne sont pas cohérentes avec les profondeurs observées. Une minute au 1 : 1 000 comportant deux cartouches (Bc 1 n° 87.46.1) a été rédigée.

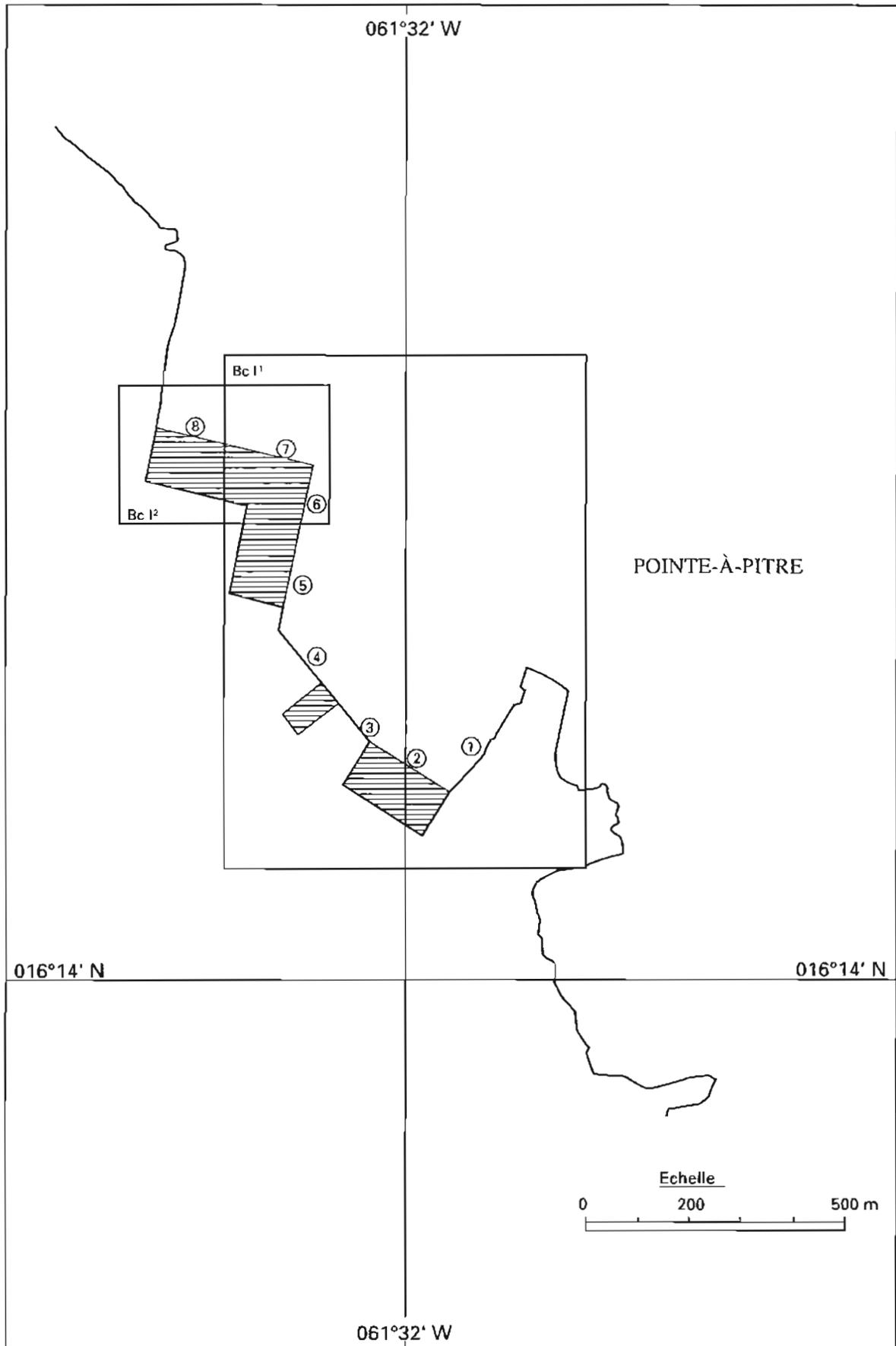


FIG. 22. — Levé de contrôle à Pointe-à-Pitre

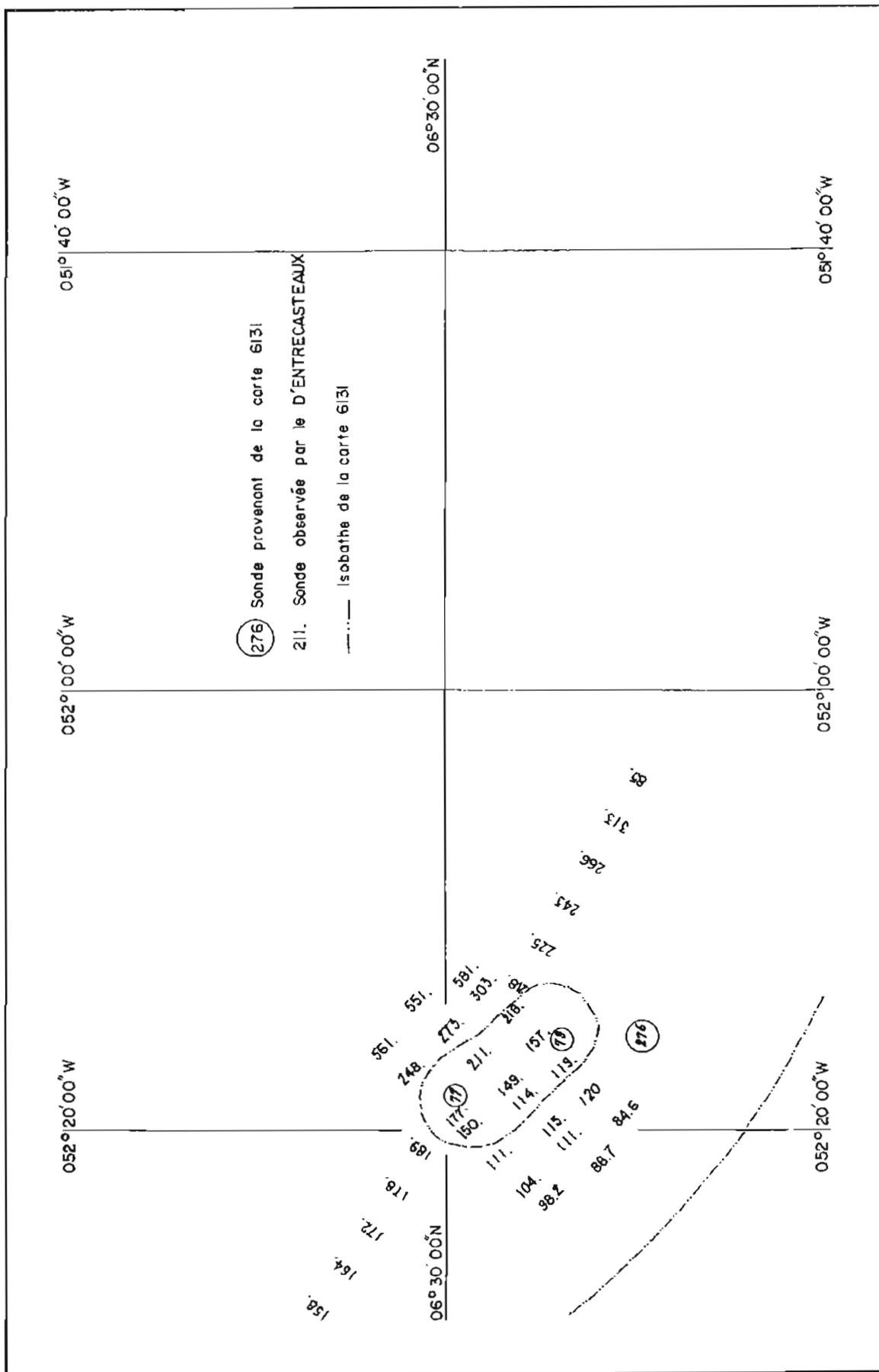


FIG. 23. — Recherche de sondes douteuses au large de la Guyane.

II.4.3. Guyane

La mission de surveillance maritime du *D'Entrecasteaux* aux abords des côtes de Guyane, du 11 au 13 mai 1987, a été mise à profit pour vérifier le balisage et effectuer quelques vues de côte des zones suivantes :

- îles du Salut ;
- accès du fleuve Kourou ;
- accès à Cayenne ;
- accès à Degrad des Cannes.

Le contrôle du balisage s'est limité à la photographie des feux, bouées et balises et à la vérification de leurs caractéristiques diurnes. Les positions n'ont pas été déterminées et les caractéristiques de nuit n'ont pas été vérifiées. 54 feuillets photographiques ont été établis ainsi qu'une collection de 11 vues de côte. Les divergences avec l'état de la signalisation maritime ont été signalées à l'EPSHOM ;

Une investigation sommaire du relief représenté sur la carte 6131 (publication 1955) par 6° 26' N et 52° 17' W a été réalisée (fig. 23). Elle n'a pas permis de conclure à l'inexistence des sondes correspondantes mais a montré que le tracé des isobathes est erroné. Si ces sondes existent, elles sont isolées et n'appartiennent pas à un relief unique.

II.5. RELEVÉS EN TRANSIT

II.5.1. Localisation

La focalisation pendant le transit de Brest vers les Antilles et pendant le transit retour a été assurée à l'aide des systèmes suivants :

- système GPS : pendant les périodes de visibilité d'au moins 3 satellites (mode 2D+T);
- système Oméga : utilisation en mode différentiel dans les zones de réception des stations ou en mode naturel hors de ces zones;
- système NNSS (Transit) et estime.

Un rejeu en temps différé des données de localisation a été nécessaire pour assurer la cohérence des points adoptés. Une cible GPS et Transit a été effectuée pendant l'escale de Santa Cruz de la Palma (Canaries).

II.5.2. Bathymétrie

Outre l'acquisition des sondes le long du trajet, quelques recherches de sondes anormales ont été effectuées chaque fois que l'avance acquise sur le calendrier de la traversée l'a permis. Le tableau 15 précise les principaux résultats obtenus.

Les données correspondantes ont été fournies à l'EPSHOM sous forme de fichiers numériques et de tracés de contrôle.

Tableau 15. — Résultats des recherches de sondes douteuses

N° minute GEBCO	Latitude (N)	Longitude (W)	Observations
80	33° 27'	017° 56'	Sonde 2 095 m non confirmée par profil isolé (pas d'anomalie gravimétrique)
	33° 00'	018° 58'	Sonde 2 926 m non retrouvée : suppression proposée
	33° 22'	018° 56'	Sonde 2 725 m non retrouvée : suppression proposée
103	29° 10'	020° 17'	Sonde 2 194 m non retrouvée : suppression proposée
	29° 00'	019° 40'	Sondes inférieures à 4 000 m non confirmées par profil traversier
	28° 47'	022° 00'	Sonde 3 970 et 4 070 m non retrouvées : suppression proposée
	28° 31'	024° 00'	Sonde 3 190 m non confirmée par profil isolé (pas d'anomalie gravimétrique)
	27° 12'	028° 08'	Sonde 3 109 m non retrouvée : suppression proposée
104	29° 26'	018° 40'	Sonde 3 956 m non confirmée par profil isolé (pas d'anomalie gravimétrique)

II.5.3. Gravimétrie

Le gravimètre KSS 5 fut remis en route peu avant le départ vers les Antilles. Il fonctionna de manière continue jusqu'à l'arrivée à Pointe-à-Pitre. Il fut alors stoppé puis remis en marche fin mars, pour effectuer un rattachement entre Pointe-à-Pitre et Philipsburg (Saint-Martin). Le *D'Entrecasteaux* n'ayant pu obtenir un poste à quai pour cette escale, cette opération se réduisit à un contrôle de la liaison Roseau (Dominique) - Pointe-à-Pitre. De nouveau stoppé, le gravimètre ne fut relancé que pour le transit retour. Le tableau 16 résume les mesures de référence réalisées.

Le gravimètre terrestre Worden du SHOM n'était pas disponible pour rattacher les mesures à quai aux points de référence existants, parfois situés à une distance notable du point de mesure. Les valeurs de référence utilisées doivent en outre être exprimées dans un système

homogène, en principe le système IGSN 1971. Si la situation semble claire en Europe, il n'en est pas de même aux Antilles où il n'existe pas partout de points rattachés au système IGSN 1971. Les valeurs de référence en Martinique et en Guadeloupe sont connues dans le système de Postdam - ou Europe 1962 - (Comolet-Tirman, 1976)) et les rares éléments disponibles en 1987 permettant le passage à l'IGSN 1971 donnent des résultats incohérents (différence de plus de 1 mGal entre les références de Martinique et de Guadeloupe).

Dans l'attente d'informations complémentaires demandées au Bureau Gravimétrique International, la dérive a été calculée provisoirement en utilisant les valeurs de référence exprimées dans le système de Postdam. Les valeurs obtenues entre deux ports de référence ou par fermeture sur le même port sont cohérentes entre elles et voisines de -0,060 mGal/jour.

Tableau 16. — Mesures gravimétriques de référence

Lieu	Date	Remarques
Brest Penfeld. poste 5	05/01	Point rattaché au réseau BRGM
Quai des Flotilles, poste E	01/06	“ “ “ “
Santa Cruz de la Palma (Canaries) Espignon Norte-Sur	13/01	Station MOA 1983 à 500 m (Muelle de Ribera)
Roseau (Dominique)	23/01 27/03	
Fort-de-France (Martinique)	24/01	Station MOA 1971 (Quai des Tourelles) à 300 m
Folle Anse (Marie-Galante)	26/01	
Pointe-à-Pitre (Guadeloupe) Poste 3	28/01	Station MOA (Quai A)
Poste 1	29/03	
Poste 3	06/05	
Dastries (Sainte-Lucie)	09/05	
Funchal (Madère)	26/05	Stations MOA 1972 à 500 m et MOA 1973 à 300 m

II.5.4. Hydrologie

Des tirs de sondes Sippican ont été effectués régulièrement pendant les transits au titre des mesures océanographiques de routine.

La fréquence des relevés a été augmentée entre Funchal (Madère) et Brest, à la demande de la section Océanographie de l'EPSHOM, pour couvrir deux traces successives du satellite GEOSAT. 87 tirs (58 sondes T7 et 29 sondes T5) ont ainsi été réalisés entre le 27 et 31 mai.

Chapitre III

CAMPAGNE OCÉANOGRAPHIQUE MEASURED STRIDE

III.1. PRÉSENTATION

Le *D'Entrecasteaux* participa du 8 juillet au 14 août à l'opération Measured Stride, première phase de la campagne d'acoustique et d'océanographie militaires Resolute Support organisée en Atlantique Nord par le groupe d'océanographie militaire (MILOC) de l'OTAN.

Une équipe du Groupe d'Études et de Recherches de Détection Sous-Marine (GERDSM) dirigée successivement par MM. Ancey puis Esperandieu avait la charge des mesures acoustiques tandis que l'unité hydrographique assurait la localisation et les mesures hydroocéanographiques.

III.2. CONDITIONS D'EXÉCUTION DE LA CAMPAGNE

III.2.1 Préparation

La MOA ne fut associée que tardivement à la préparation de l'opération : son directeur technique ne participa qu'aux deux dernières réunions préparatoires (Celle, RFA, décembre 1986 ; La Spezia, Italie, avril 1987) alors que la planification des expérimentations était déjà pratiquement arrêtée. En particulier, les restrictions d'emploi du mouillage par grand fond du *D'Entrecasteaux* n'avaient pas été prises en compte. Un compromis put néanmoins être trouvé quant aux conditions de mise en œuvre du mouillage.

L'implantation du matériel du GERDSM (conteneur de mesures, dispositif de mise à l'eau de la ligne d'hydrophones, tourets de rechange) fit l'objet de deux réunions à bord du *D'Entrecasteaux* en décembre 1986 puis en juin 1987.

III.2.2. Chronologie

Le *D'Entrecasteaux* quitta Brest le 3 juillet pour rallier Rosyth (Grande-Bretagne), port de regroupement de la plupart des bâtiments participant à la campagne. L'escale de Rosyth (du 6 au 8 juillet) permit de régler divers détails de l'opération et d'embarquer du matériel fourni par les États-Unis (lanceur de charges SUS, balises émettrices pour le guidage des avions).

L'opération se déroula en deux phases, du 10 au 26 juillet puis du 5 au 12 août, avec une escale intermédiaire à Reykjavik (Islande) du 29 juillet au 3 août. A l'issue, le *D'Entrecasteaux* rejoignit le port de Leith (Grande-Bretagne) où il séjourna du 14 au 17 août puis regagna Brest le 20 août. La critique de la campagne eut lieu à Newcastle (Grande-Bretagne) le 15 août.

III.2.3. Mise en œuvre des équipements acoustiques

Deux configurations différentes furent retenues pour les mesures acoustiques en station :

- configuration A : bâtiment en dérive,

Ligne d'hydrophones filée par le travers (à l'aide du treuil autonome du GERDSM et d'une demi-lune suspendue sous le portique milieu) et reliée au bâtiment par une rallonge de surface de 500 m destinée à éloigner la ligne des sources de bruit (photos 19 et 20).

La propulsion auxiliaire est actionnée pour maintenir le dispositif par le travers. Des bâtonnets luminescents fixés à la rallonge permettent d'apprécier de nuit son orientation au départ du bord. L'extrémité de la rallonge est repérée par une bouée équipée d'un feu et d'une mire radarisable;

- configuration B : bâtiment mouillé,

ligne d'hydrophones filée par l'arrière (à l'aide du treuil et du portique arrière), sans rallonge, et suspendue sous le portique brassé à l'extérieur. Un dispositif amortisseur permet de découpler partiellement la ligne des mouvements de plate-forme (photo 21).

La propulsion auxiliaire est éventuellement utilisée pour soulager le mouillage lorsque sa tension augmente.

La configuration A, déjà utilisée lors des campagnes précédentes semble la plus favorable du point de vue acoustique. Elle ne permet cependant pas de « tenir » une station de longue durée car il est généralement impossible de compenser la dérive dans cette situation. Le retour périodique à la position nominale exige pratiquement d'interrompre les mesures pour remonter la ligne d'hydrophones et augmente les risques de détérioration du matériel.

La configuration B est moins favorable mais est imposée par l'usage du mouillage si l'on veut maîtriser les dispositions relatives de la ligne de mouillage, du bâtiment et de la ligne d'hydrophones.

Les conditions limites de mise en œuvre de la ligne d'hydrophones sont sensiblement les mêmes dans les deux situations : force du vent inférieure ou égale à 5, état de la mer inférieur ou égal à 4, houle ne dépassant pas 2 à 3 m de creux.

L'emplacement habituel du conteneur du GERDSM sur le pont milieu à la place de la vedette n° 2 (photo 22) fut conservé malgré le passage à proximité du câble de mouillage sous tension. La possibilité d'accéder au conteneur par la coursive limite les contraintes liées à la sécurité du personnel.



Photo 19. La ligne d'hydrophones à poste sous le portique milieu pendant la campagne Measured Stride



Photo 20. Récupération de la ligne d'hydrophones par le travers pendant la campagne Measured Stride



Photo 21. La ligne d'hydrophones à poste sous le portique arrière pendant la campagne Measured Stride



Photo 22. Mise en œuvre du lanceur de charges SUS pendant la campagne Measured Stride; à droite, le conteneur du GERDSM

III.2.4. Mouillage par grand fond

III.2.4.1. Historique

Deux versions de mouillage ont été utilisées depuis la mise en service du *D'Entrecasteaux*. La première version était un mouillage qualifié de « léger » sur ancre Danforth et câble. Le câble prévu initialement était un câble thermoplastique de 18,5 mm de diamètre. Les essais de recette en 1971 furent infructueux et ce n'est qu'en 1974, pendant la campagne Mill Pond, que quatre mouillages furent réalisés par fonds de 500, 2 000 et 2 400 m. Le câble se rompit à deux reprises et le dispositif ne put être considéré opérationnel (Schrumpf, 1978).

Une nouvelle version dite « mouillage lourd » fut étudiée en 1977-1978. Elle consistait à mettre en place un ensemble de grosses bouées sur lequel le bâtiment devait s'amarrer et qu'il pouvait larguer en cas de mauvais temps. La seule tentative d'utilisation en août 1978 (campagne TBF 78) se solda par un échec et cette version fut abandonnée.

Le mouillage léger fut remis en service lors de l'IPER de 1980 avec un câble d'acier de 12 mm de diamètre. Un essai positif en octobre 1980 fut suivi en août 1981 d'un incident qui aurait pu avoir des conséquences dramatiques : lors d'une tentative infructueuse de mouillage (non accrochage de l'ancre), la rupture du support de la poulie de renvoi de l'aire milieu entraîna le sectionnement du câble et la perte de la ligne. Après remise en état et renforcement de l'installation deux mouillages furent réalisés par 4 600 m de fond au cours de la campagne Plain Sailing de 1981. Un troisième mouillage fut également effectué avec succès par 4 350 m de fond pendant la campagne TBF de 1982. L'incompatibilité entre l'emploi du mouillage et l'utilisation de lignes d'hydrophones écartées du bord fut démontrée lors de ces opérations. L'engagement répété des lignes dans les propulseurs, le safran ou les lignes d'arbre n'eut heureusement pas de conséquence, les conditions météorologiques ayant permis à chaque fois l'intervention des plongeurs.

Un essai de mouillage par 800 m de fond lors de l'inspection générale de 1983 se solda par la détérioration de 1 500 m de câble. Un autre essai fut réalisé en 1984 en Guadeloupe, sans difficulté particulière.

Les campagnes acoustiques de 1984 et de 1986 furent réalisées sans utilisation du mouillage.

On notera que l'installation n'a jamais été recettée.

III.2.4.2. Description du mouillage

La figure 24 rappelle le schéma général de la ligne de mouillage. Ses principaux éléments sont :

- une ancre Danforth de 250 kg dont la tenue est estimée à 3 500 daN ;
- 10 m de chaîne de mouillage de calibre 22 fixée à l'ancre sur émerillon et barrette cassante calculée pour se rompre sous un effort de 5 000 daN ;
- un câble antigiratoire en acier galvanisé de 7 000 m, de diamètre 12,25 mm et de résistance à la rupture 13 000 daN. Il est équipé d'une douille à chape à une extrémité.

La mise en œuvre du mouillage nécessite la mise en place de 6 poulies de renvoi, d'une poulie dynamomé-

trique et d'un chaumard orientable (photo 23). L'ancre est débordée à partir de son poste de repos à l'aide d'une potence (photo 24). La poulie dynamométrique est reliée à deux indicateurs situés à la passerelle et dans le local des enrouleurs. Le câble est protégé par des tubes amovibles (photo 23), sauf au passage du pont principal à la plage avant.

III.2.4.3. Déroulement des opérations

Les opérations réalisées en 1987 furent les suivantes :

- 21 mai : essai de mise en œuvre pendant le transit Guyane-Madère, profondeur : 5 000 m ; ligne filée : 2 000 m ;
- juin : révision et réglage de l'installation par la DCAN de Brest, embarquement d'un câble neuf de rechange ;
- juillet : trois mouillage opérationnels pendant la campagne Measured Stride :
 - n° 1 : du 12 au 13 ; durée : 24 h ; profondeur : 3 800 m ; ligne filée : 4 400 m ;
 - n° 2 : du 17 au 20 ; durée : 65 h ; profondeur : 950 m ; ligne filée : 1 300 à 1 600 m ;
 - n° 3 : du 20 au 21 ; durée : 20 h ; profondeur : 500 m ; ligne filée : 1 200 à 1 400.

L'essai de mai permit de redécouvrir les points faibles connus du système :

- cheminement compliqué du câble avec de trop nombreuses poulies de renvoi (photo 23) ;
- mise en œuvre délicate de l'ancre (photo 24) ;
- dispositifs de trancannage et de contrôle de la tension peu fiables ;

et de préciser les mises au point nécessaires qui furent effectuées pendant la PEI suivante.

Les deux premiers mouillages se déroulèrent par beau temps sans incident. Le troisième fut interrompu par la rupture de la barrette cassante lors d'une surtension due à la conjonction d'une abatée du bâtiment et d'un mouvement vertical liés aux conditions météorologiques (mer 4 ; vent force 5/6). Cette rupture entraîna la perte de l'ancre et la détérioration du câble en plusieurs endroits. Il ne fut pas nécessaire de régréer la ligne de mouillage, la configuration A ayant été préférée pour la suite de la campagne.

Les phases de mise à l'eau et de récupération du mouillage ne posèrent pas de difficulté particulière, une fois retrouvés les réglages adéquats. Chaque phase dura entre 1 et 2 heures, avec une vitesse de déroulement ou d'enroulement variant entre 0,5 et 2 m/s.

III.2.4.4. Analyse

a) mouillage n° 1 (fig. 25) :

La tenue du mouillage ne fut assurée que pendant les douze premières heures : l'ancre se mit à chasser dès que la mer et le vent forcèrent un peu (mer 2, vent 2) et la dérive se poursuivit jusqu'à la fin de la station à une vitesse moyenne voisine de 0,2 nœud, sensiblement dans le lit du vent (secteur sud à sud-est). La tension du câble passa de 2 000 daN au mouillage à 2 500 daN en dérive, avec des à-coups de +/- 250 daN. La tension maximum observée au début de la remontée du mouillage fut de 3 350 daN.

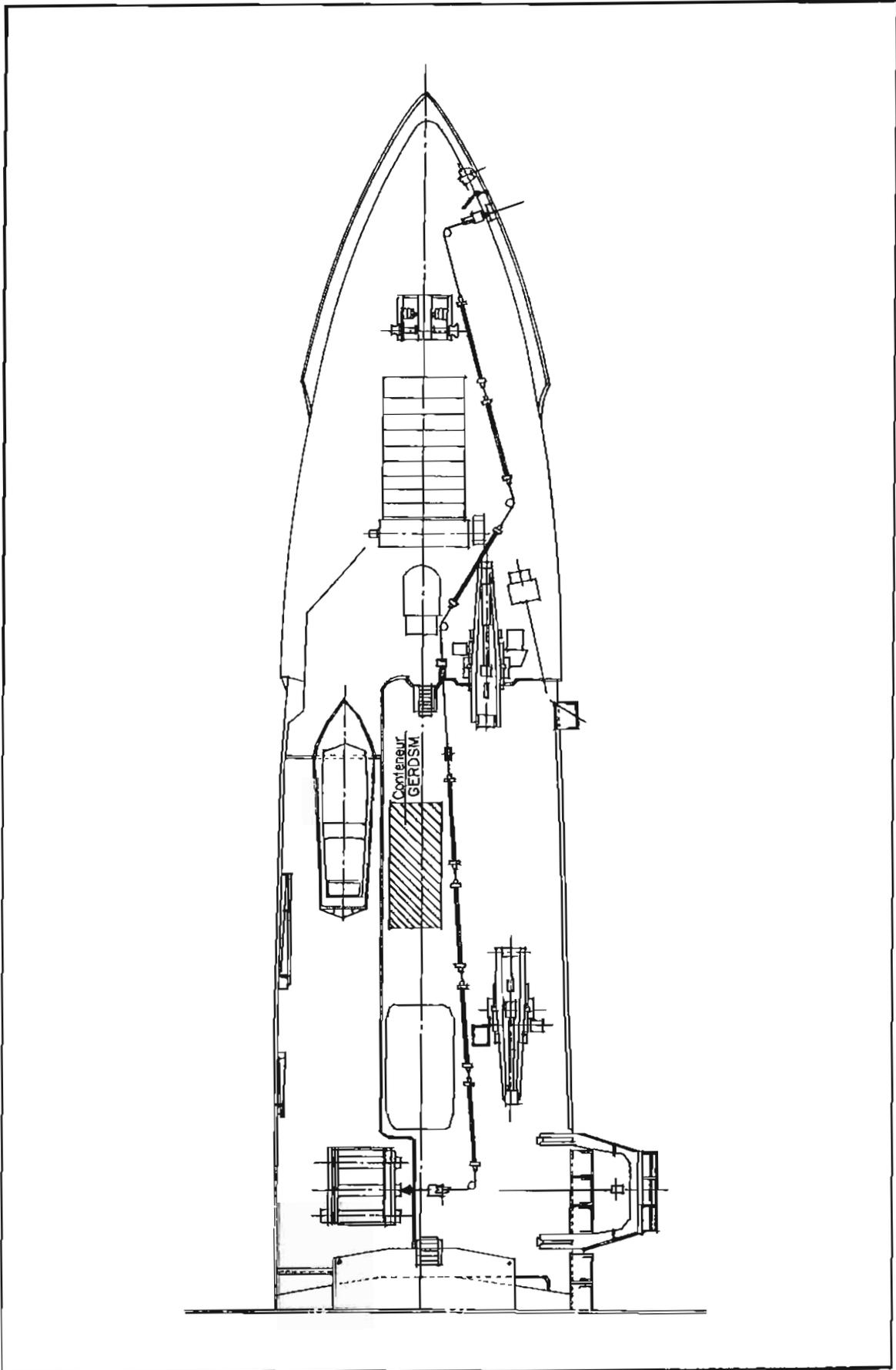


FIG. 24. — Disposition générale de la ligne de mouillage par grand fond du D'Entrecasteaux



Photo 23. Cheminement de la ligne de mouillage par grand fond du *D'Entrecasteaux* sur la plage avant



Photo 24. Mise en œuvre de l'ancrage de la ligne de mouillage par grand fond

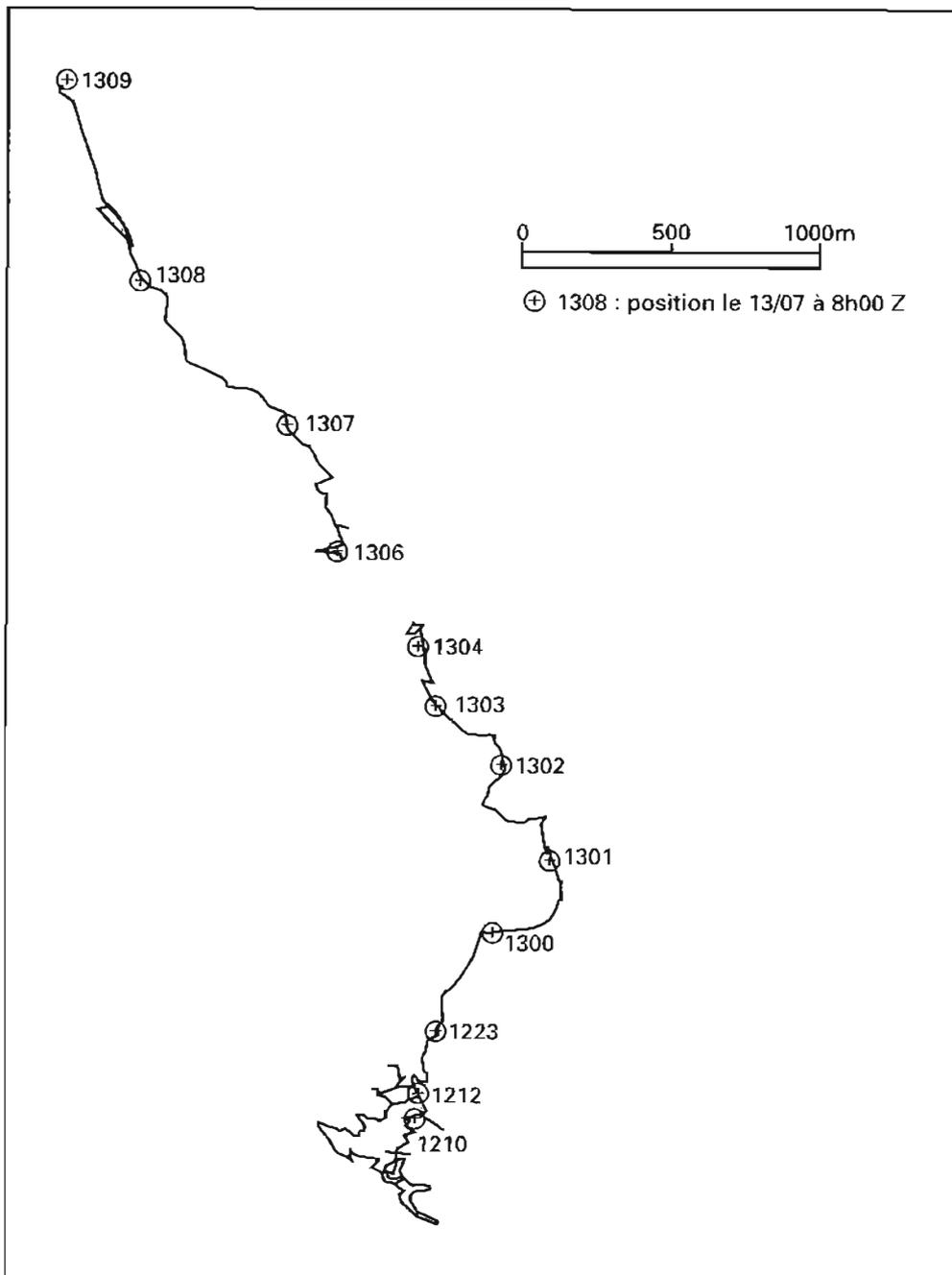


FIG. 25. — Mouillage n° 1

La mauvaise tenue du mouillage fut attribuée à une longueur de ligne insuffisante et on fixa par la suite cette longueur à au moins 1,5 fois le fond.

b) mouillage n° 2 (fig. 26) :

Le deuxième mouillage par mer 2/3 et vent de force 3 se révéla plus efficace : le bâtiment resta à moins de 0,6 mille de la position nominale. Cette distance est très voisine du rayon du cercle qui serait décrit en maintenant la ligne de mouillage tendue. La trajectoire du bâtiment fut assez complexe, la vitesse sur le fond étant en général comprise entre 0 et 0,3 nœud, avec quelques pointes à plus de 1 nœud.

La tension resta le plus souvent inférieure à 1 000 daN ; on observa en fin de période des surtensions régulières de 500 daN liées à l'évitage du bâtiment. La mise

en route du cabestan pour remonter la ligne provoqua une augmentation brutale de la tension qui atteignit 4 000 daN.

c) mouillage n° 3 (fig. 27) :

Le troisième mouillage fut également réussi, jusqu'à la rupture de la ligne. Il fournit une indication sur les conditions limites de tenue du mouillage. La figure 28 montre l'évolution des valeurs horaires des principaux paramètres : état de la mer, hauteur de la houle, vitesse du vent, tensions minimum et maximum du câble. On note que la rupture de la barrette cassante, tarée à 5 000 daN, ne s'est pas produite lors de la surtension maximum. Si les tensions moyennes et minimums croissent aussi avec la vitesse du vent, ce sont surtout les pointes de tension qui augmentent nettement avec le renforcement simultané du vent, de la houle et de l'état de la mer.

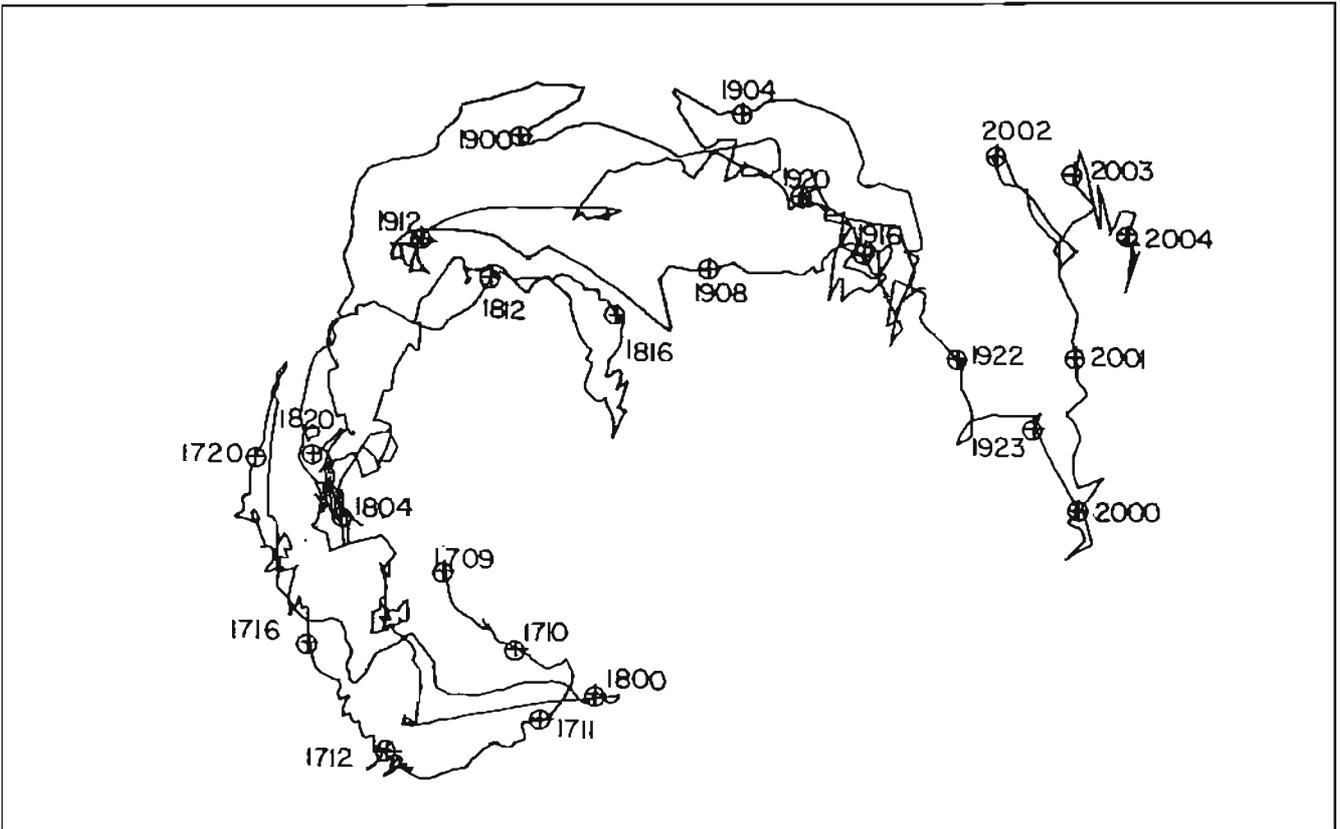


FIG. 26. — Mouillage n° 2

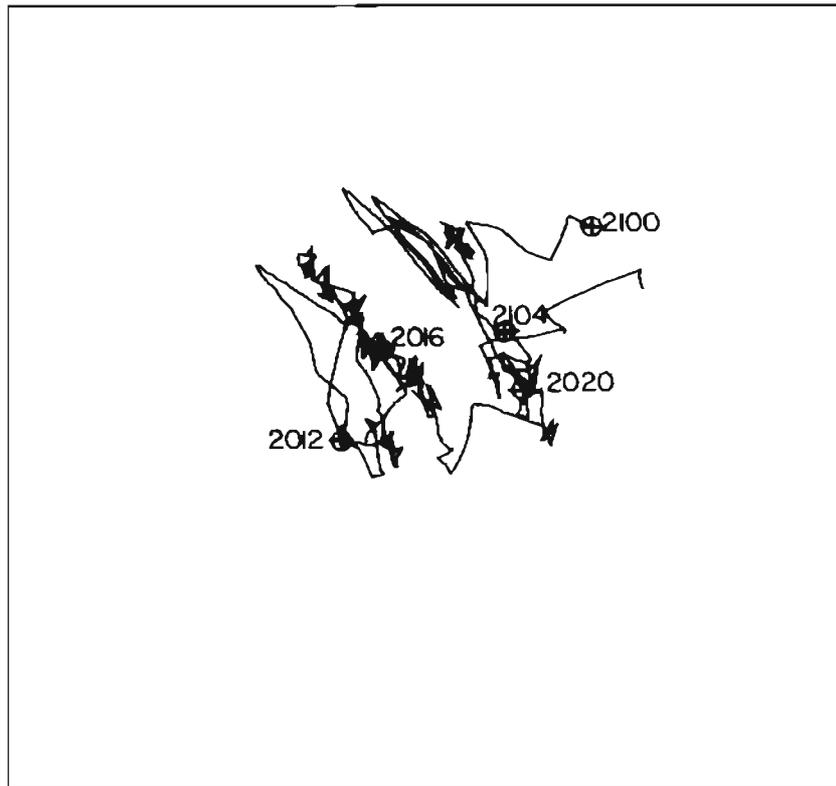


FIG. 27. — Mouillage n° 3

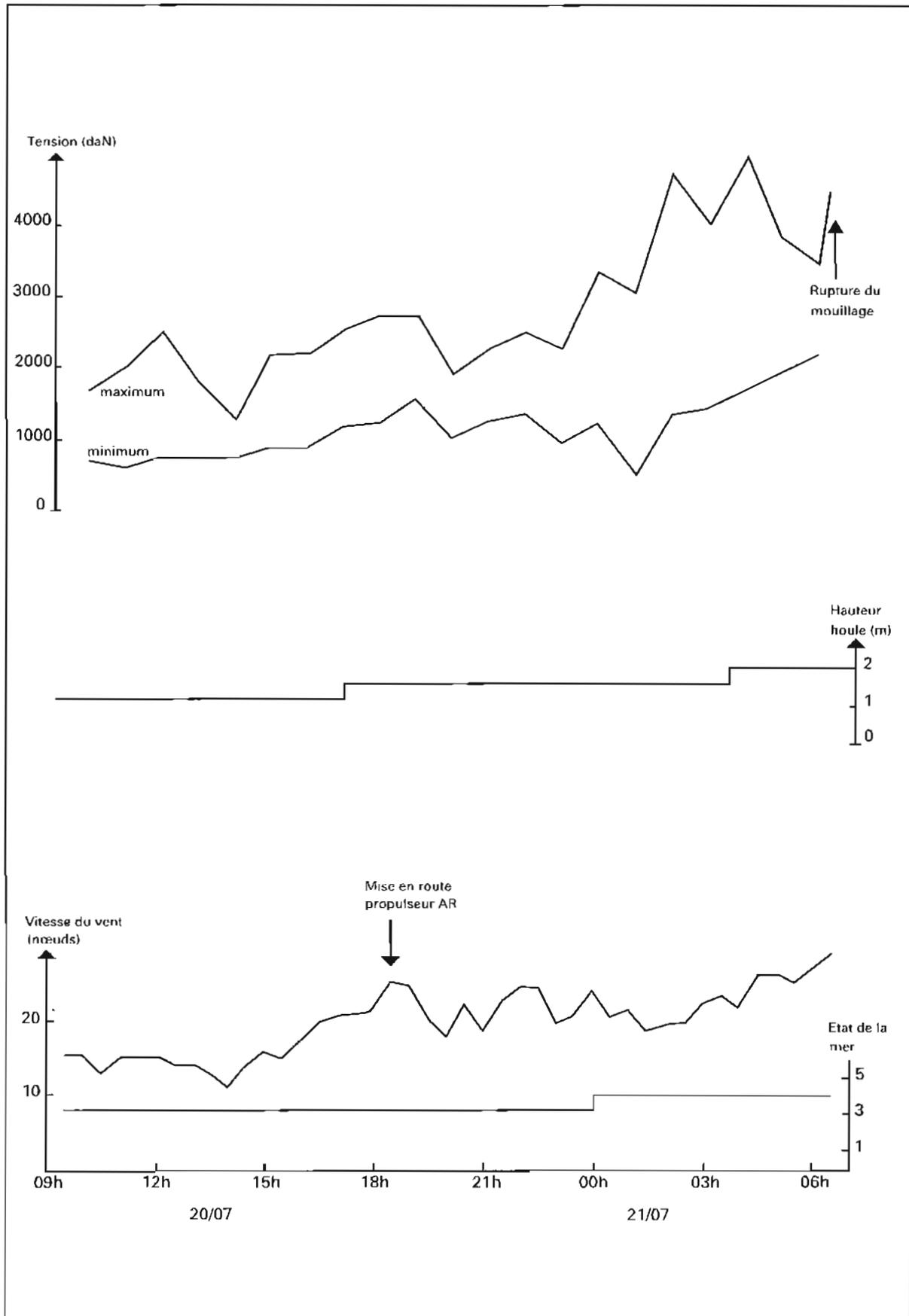


FIG. 28. — Évolution des paramètres observés pendant le mouillage n° 3

A la mise en place du mouillage, on a observé une augmentation brutale de la tension, de 750 à 3 500 daN, lorsque l'ancre a croché. Ce phénomène, qui ne s'était pas produit lors des deux autres mouillages, est vraisemblablement dû à l'état de la mer.

L'examen des enregistrements de tension suscite trois remarques complémentaires :

- l'arrivée de l'ancre sur le fond est facilement repérable par une diminution de la tension de 300 à 500 daN ;
- la houle et l'état de la mer ont une influence importante sur les variations de tension ; ce phénomène s'explique en particulier par la sensibilité du chaumard latéral au roulis ;
- Lorsque la longueur de la ligne filée est importante par rapport à la profondeur, l'ancre ne dérape plus forcément à 3 500 daN comme prévu normalement.

III.2.4.5. Conclusion

Le mouillage par grand fond du *D'Entrecasteaux* est un dispositif expérimental utilisable essentiellement par beau temps. Il ne présente actuellement de l'intérêt que pour des mesures acoustiques continues de longue durée (plus de 24 heures) exigeant de rester au voisinage d'une position donnée dans une zone ou à une saison où les conditions météorologiques sont bonnes. Avant de prendre une décision quant à son avenir (suppression ou refonte), il conviendrait de s'assurer que l'emploi de lignes d'hydrophones non écartées du bord (imposé par la trajectoire complexe du bâtiment mouillé) est compatible avec des mesures acoustiques de bonne qualité et que le recours aux techniques de mesure à partir de bouées mouillées ou dérivantes bien connues en océanographie ne permettrait pas de résoudre plus sûrement, sinon plus simplement, le problème.

III.3. LOCALISATION

Le matériel utilisé au cours de la campagne comprenait :

- 2 récepteurs Loran C Decca DL 91 Mk 2 ;
- 1 récepteur NNSS JMR 4 Sealand surveyor ;
- 1 récepteur GPS SerCEL TR5S.

Deux combinaisons de réseaux Loran ont été retenues : la chaîne 7970 (SL 3, réseau W, X, Y et Z) à l'est de l'Islande, les chaînes 7970 (SL 3, réseau Z) et 9980 (SS 2, réseaux W et X) à l'ouest de l'Islande.

Pour le calcul du point en temps réel, on a appliqué aux phases Loran des corrections moyennes ajustées à vue sur les points GPS. Ces corrections ont été affinées a posteriori en analysant tous les points GPS archivés. Compte tenu des dispersions observées, on peut estimer que la précision à 95 % de la localisation est meilleure que 500 m, voire 100 m pendant les créneaux de passage d'au moins 3 satellites GPS.

Les fichiers « localisation » ont été validés et des projections de construction au format des coupures GEBCO au 1 : 1 000 000 ont été élaborées pour la critique finale.

III.4. BATHYMÉTRIE

Les travaux bathymétriques de la campagne comprenaient :

- des relevés pendant les transits entre les stations de mesure ;
- des profils de reconnaissance autour des stations de mesure.

III.5. OCÉANOGRAPHIE

61 stations bathysonde ont été réalisées au cours de la campagne (photo 7). La plupart de ces stations comportaient au moins un palier d'étalonnage. Ces stations ont fait l'objet d'un pré-traitement à bord (tri et élimination des données surabondantes, tracés divers pour contrôle et exploitation).

Seules les observations de température des paliers ont pu être traitées à bord pour contrôler les corrections d'étalonnage des capteurs de pression et de température. Les échantillons d'eau ont été analysés par l'EPSHOM au retour du bâtiment à Brest et les corrections d'étalonnage du capteur de conductivité ont été adoptées à l'issue. La précision obtenue est meilleure que 0,02°C en température, 10 dbar en pression et 0,07 mmho/cm en conductivité.

Les stations bathysonde ont été complétées par 202 firs Sippican dont 179 ont été réussis.

III.6. MESURES COMPLÉMENTAIRES

Pendant certaines stations, les observations complémentaires suivantes ont été réalisées, sans difficulté particulière :

- détermination de la profondeur d'extinction de la lumière avec un disque de Secchi ;
- observation de la profondeur de la couche diffusante profonde (DSL) avec le sondeur Raytheon.

En outre, le *D'Entrecasteaux* a mis en œuvre un lanceur de charges sous-marine SUS prêté par les États-Unis (photo 22).

RÉFÉRENCES

BESSERO G. - Logiciel d'ajustement d'un réseau géodésique
Rapport n° 884/EPHOME/GG/NP du 10 octobre 1984

BESSERO G. - Géodésie de la Martinique
Annales Hydrographiques, 5^e série, n° 760, 1985, pp. 27 à 38

BESSERO G. - Rattachement des systèmes géodésiques des Antilles
Rapport d'étude du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine n° 5/86, 1986

COMOLET-TIRMAN A. - Mission Océanographique de l'Atlantique (avril 1971 - octobre 1972)
Annales Hydrographiques, 5^e série, n° 743, 1976, pp. 85 à 180

GUYON J.-C. - Mission Hydrographique de l'Atlantique (février 1980 - avril 1983)
Annales Hydrographiques, 5^e série, n° 760, 1985, pp. 41 à 238

SCHRUMPF B. - Mission Océanographique de l'Atlantique (octobre 1972 - octobre 1974)
Annales hydrographiques, 5^e série, n° 749, 1978, pp. 29 à 86

ANNEXE 1

RÉDUCTION DES SONDES

A.1.1. PRINCIPE

Les corrections à appliquer aux sondes brutes sont les suivantes :

- La correction d'étalonnage $E = C + T$
- C : correction de propagation du son
- T : correction d'immersion de la base ;
- La correction de marée M (sonde inférieures à 200 m).

La correction d'étalonnage est calculée à l'aide des éléments suivants :

- éléments de réglage des sondeurs utilisés ;
- célérité réelle du son.

En sondage côtier, la célérité réelle du son est observée in situ. En sondage océanique, elle peut être estimée à partir d'éléments statistiques.

A.1.2. ÉLÉMENTS DE RÉGLAGE DES SONDEURS

Les sondeurs utilisés sont caractérisés par leur numéro de base b et par les tableaux suivants :

- $d_i(k)$: dates ($k = 1$ à N) ;
- $ta(k,b)$: immersion affichée (m) ;
- $tr(k,b)$: immersion réelle (m) ;
- $va(k,b)$: célérité instrumentale (m/s).

Les variables ta , tr et va sont supposées constantes entre les dates $d_i(k)$ et $d_i(k+1)$.

A.1.3. CORRECTION D'ÉTALONNAGE

a) célérité observée

La célérité du son dans la zone du levé est caractérisée par une collection de P profils valables entre les dates $dp(l)$ et $dp(l+1)$ ($l=1$ à P). Chaque profil est assimilé à une fonction linéaire par morceaux définie par :

- $p(l,m)$: profondeurs de référence ;
- $vr(l,m)$: valeur moyenne de la célérité sur la couche $0 - p(l,m)$.

Soit SO la sonde brute observée à la date d avec le sondeur b . On lui associe les indices k et l tels que

- k : $d_i(k) \leq d < d_i(k+1)$;
- l : $dp(l) \leq d < dp(l+1)$.

On calcule successivement

$$T = tr(k,b) - ta(k,b) ;$$

$$S1 = SO + T : \text{profondeur apparente.}$$

Soit m l'indice tel que :

$$p(l,m) < S1 \leq p(l,m+1)$$

La célérité moyenne réelle du son sur la tranche d'eau ($0 - S1$) est :

$$vr = vr(l,m) + \frac{(vr(l,m+1) - vr(l,m)) * (S1 - p(l,m))}{p(l,m+1) - p(l,m)}$$

La correction de propagation est :

$$C = (SO - ta(k,b)) * \left(\frac{vr}{va(k,b)} - 1 \right)$$

soit :

$$E = SO * \left(\frac{vr}{va(k,b)} - 1 \right) + tr(k,b) - ta(k,b) * \frac{vr}{va(k,b)}$$

Les éléments nécessaires au calcul sont archivés dans un fichier donnant pour chaque jour de l'année les valeurs de ta , tr , va de chaque sondeur et les points anguleux (p , vr) des profils de célérité moyenne.

b) sondages océaniques

On suppose que le sondeur est réglé à 1 500 m/s. La correction de propagation du son est calculée à partir des éléments de la table NP 139, en fonction de la profondeur et de la position. La surface des océans est divisée en 85 zones numérotées de 1 à 85. En se limitant au quadrant $0^\circ - 90^\circ W / 0^\circ - 90^\circ N$, on peut associer à chaque carreau $i^\circ - (i+1)^\circ W / j^\circ - (j+1)^\circ N$ le numéro de zone correspondant $n(i, j)$. On définit des profondeurs vraies standard $p(k)$ ($p = 1$ à 15) et on caractérise chaque zone n par les corrections correspondantes $c(n, k)$ pour un sondeur réglé à 1 500 m/s.

Soit SO la profondeur observée. On néglige l'effet de l'immersion de la base et on calcule successivement :

- le numéro n de la zone correspondant à la position de la sonde ;

- l'indice k tel que :

$$p(k) - c(n,k) < SO \leq p(k+1) - c(n,k+1)$$

- la correction C :

$$C = c(n,k) + \frac{(SO - p(k) + c(n,k)) * (c(n,k+1) - c(n,k))}{p(k+1) - c(n,k+1) - p(k) + c(n,k)}$$

- la correction d'étalonnage :

$$E = C + tr - ta$$

Les calculs sont effectués à l'aide de trois fichiers :

- le fichier donnant les éléments de réglage des sondeurs pour chaque jour de l'année (cf § a) ;
- le fichier donnant le numéro de zone pour chaque carreau de $1^\circ \times 1^\circ$;
- le fichier donnant pour chaque zone les corrections aux profondeurs standard (200, 600, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 6 000, 7 000, 8 000, 9 000, 10 000, 11 000, 12 000, 13 000 m).

Ces deux derniers fichiers sont constitués à partir des données de l'ouvrage NP 139, 3^e édition : limites des zones (p. 134) et tables des corrections aux profondeurs standard (pp.18 et 19).

ANNEXE 2

ALGORITHME DE CONSTITUTION DES FICHIERS RELATIFS À UN ENSEMBLE DE COUPURES

A.2.1. OBJET

Les fichiers de type « FIMAPE » correspondant à un ensemble de coupures sont normalement constitués à partir des fichiers valeurs de type « TRAVAL » par un programme de tri qui teste l'appartenance de chaque sonde à chaque coupure. Dans le programme standard de tri, les coupures sont définies par leurs coins NE et SW et le test porte sur toutes les coupures de l'ensemble considéré. Cette méthode est inadaptée à un levé tel que celui effectué en Guadeloupe caractérisé par la juxtaposition de zones sondées à des échelles différentes dont les limites ne sont pas simples. Elle aboutirait à la constitution de fichiers très volumineux contenant un pourcentage élevé de données inutiles.

Un nouveau programme de tri a donc été conçu sur les principes suivants :

- les sondes à rédiger à une échelle donnée doivent être exclues des fichiers « FIMAPE » correspondant à des coupures d'échelle inférieure ;

- un recouvrement minimum doit néanmoins être prévu entre les zones à rédiger à des échelles différentes.

On a cherché en outre à optimiser l'algorithme de tri de façon à garantir un temps de traitement raisonnable et à combiner les deux supports de masse disponibles (disque dur et lecteur Bering) pour pouvoir effectuer le tri complet en une seule passe.

A.2.2. CARACTÉRISTIQUE DU LEVÉ

On définit d'abord les caractéristiques du levé :

- coins NE et SW du rectangle englobant la zone du levé. On assimile dans la suite la zone du levé au rectangle qui l'englobe ;

- nombre et caractéristiques des minutes ;

- coupure : numéro, coins NE et SW, échelle, niveau ;

- zone d'écriture : rectangle inclus dans la coupure et défini par ses coins NE et SW, à l'extérieur duquel il n'y aura pas de sonde à écrire ;

- zone exclusive : polygone contenant les sondes qui ne doivent pas être écrites sur des minutes de niveau supérieur. Cette zone est définie par le nombre de sommets et leurs coordonnées.

Ces éléments sont archivés dans un fichier descriptif des coupures. Ils permettent d'élaborer automatiquement les données complémentaires suivantes :

- nombre de carreaux de 10 km x 10 km dans la zone du levé ;

- pour chaque carreau :

- numéros des coupures dont la zone d'écriture a une partie commune avec le carreau,

- niveaux minimum et maximum des coupures concernées;

- pour chaque coupure :

- numéros des coupures dont la zone d'écriture a une partie commune avec celle de la coupure considérée (coupures en recouvrement).

Dans les deux cas, les numéros de coupures sont classés dans l'ordre des niveaux croissants.

Le classement des coupures par niveau est défini de telle sorte qu'une sonde ne puisse appartenir à des coupures de plus de deux niveaux différents et que l'appartenance d'une sonde à une coupure de niveau n'exclue son appartenance aux coupures de niveau supérieur à n+1. En général les coupures de même échelle appartiennent au même niveau mais un niveau donné peut regrouper des coupures d'échelles différentes.

A.2.3. ALGORITHME

L'algorithme de recherche des coupures auxquelles appartient une sonde caractérisée par ses coordonnées comprend les étapes suivantes :

- recherche du carreau de 10 km x 10 km auquel appartient la sonde ;

- recherche de la première coupure du carreau à laquelle appartient la sonde. Le niveau de cette coupure est appelé niveau de base dans la suite ;

- recherche des coupures en recouvrement de niveau égal au niveau de base auxquelles appartient la sonde ;

- recherche des coupures en recouvrement de niveau immédiatement supérieur auxquelles appartient la sonde.

Si cette dernière recherche est positive on examine alors si la sonde appartient à la zone exclusive des coupures de niveau égal au niveau de base. Dans l'affirmative (sonde appartenant à une zone exclusive), la sonde est exclue des coupures de niveau supérieur au niveau de base ; dans la négative (pas de zone exclusive ou sonde extérieure aux zones exclusives), la sonde est affectée à toutes les coupures concernées.

Les sondes n'appartenant à aucune coupure sont signalées.

A.2.4. MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre du programme de tri nécessite quelques opérations préliminaires liées à la constitution du fichier des coupures :

- définition de la zone du levé ;

- choix des coupures et classement par niveau : citons à titre d'exemple le classement adopté pour le levé Guadeloupe 1987 (cf. § II.3.4.3) :

- niveau 1 : coupures B 2-1 et B 2-2
- niveau 2 : coupures B 2-3, B 2-4, B 5-1 à 8
- niveau 3 : coupures B 10-1 à 30
- niveau 4 : coupures B 50-1 à 6
- niveau 5 : coupure B 200 ;

- définition des zones exclusives : cette opération peut être effectuée à partir d'une construction à petite échelle des profils suivis ; on veillera à assurer la

continuité des limites des coupures adjacentes. On assure un recouvrement minimum entre zones de niveaux différents en plaçant la limite un peu à l'intérieur de la zone sondée à l'échelle considérée.

Avant de lancer le tri, il est conseillé de vérifier le fichier des coupures à l'aide d'un tracé de contrôle.

Après mise au point et essais, la version définitive du programme a permis de répartir les 76 disquettes «TRAVAL» du levé Guadeloupe sur 49 fichiers «FIMAPE» en une seule passe, soit 84 h de calculateur HP 9816 pour environ 425 000 sondes.

ANNEXE 3

ANALYSE DE L'ÉTALONNAGE DU SYSTÈME TRIDENT

A.3.1. PRINCIPE

La comparaison des distances fournies par le système Trident et de la longueur connue de la base d'étalonnage permet de former un système d'équations de la forme :

$$l_n + B_m = C_k$$

avec : l_n : correction de l'interrogateur n ($0 < n < N+1$),

B_m : correction de la balise m ($0 < m < M+1$),

C_k : moyenne des écarts observés sur les quatre voies entre la longueur théorique de la base et la distance lue sur l'interrogateur pour un code donné.

Pour achever la détermination du système, il convient de choisir une balise de référence r pour laquelle on impose :

$$B_r = 0$$

Le système ainsi constitué peut être résolu par les moindres carrés. On notera qu'il n'est pas indispensable d'observer tous les couples possibles sur tous les codes. Il suffit que chaque balise et chaque interrogateur soit observé au moins une fois pour chaque code et que le nombre de couples traités pour chaque code soit au moins égal au nombre d'inconnues $N+M-1$.

A.3.2. Résultats

Le traitement décrit au § A.3.1 a été appliqué aux observations de la campagne Antilles 1987. Le tableau 17 présente les résultats de l'étalonnage initial

(26 janvier 1987). Les balises étaient connectées à leur antenne avec un coaxial standard de 12 m ; les interrogateurs étaient connectés à l'antenne du *D'Entrecasteaux* avec un coaxial de 34 m introduisant un retard de 40 m par rapport à un coaxial de vedette de 7 m.

Les résultats obtenus sur les quatre codes sont relativement cohérents, la dispersion maximum étant de 9 m pour les interrogateurs et de 6 m pour les balises. On notera la cohérence des corrections propres aux balises. Seules les balises 1 et 3 (référence) s'écartant sensiblement de la moyenne.

Le tableau 18 présente les résultats du contrôle du 4 avril effectué entre les six interrogateurs et deux des balises en fonction (n° 1 à la Soufrière sur code A ; n° 17 à Kikali - Désirade - sur code D).

On note la bonne stabilité des corrections propres aux interrogateurs sur le code A, à l'exception de celle de l'interrogateur 15. Sur le code D, on observe un décalage d'ensemble de - 7 m attribué au trajet terrestre entre la balise et le *D'Entrecasteaux*. Le décalage observé sur le code A pour l'interrogateur 15 n'a pas été confirmé par l'analyse des données recueillies en sondage. Son origine reste inexpliquée. Les corrections initiales ont été conservées pour toute la campagne.

La dispersion des résultats fournit une estimation de la précision de l'étalonnage : la valeur obtenue (2 m) est compatible avec la résolution du système.

Tableau 17. — Étalonnage du 26 janvier 1987

Corrections en mètres
Référence : balise 3

Code	Interrogateurs						Balises									
	2	4	6	7	8	15	1	5	6	7	9	10	11	12	17	18
A	-32	-44	-47	-51	-50	-48	-10	6	8	9	11	6	8	7	7	5
B	-38	-43	-44	-53	-50	-49	-10	8	7	11	9	7	7	8	7	11
C	-36	-43	-42	-53	-54	-48	-11	8	6	11	8	6	5	5	6	9
D	-35	-45	-43	-52	-45	-49	-13	7	10	8	8	6	7	6	7	7
Moy.	-35	-44	-44	-52	-50	-48	-11	7	8	10	9	6	7	6	7	8
Dis.	6	2	5	2	9	1	3	2	4	3	3	1	3	3	1	6

Tableau 18. — Contrôle du 4 avril 1987

Corrections en mètres

Code	Balise réf.	Date	Interrogateurs						Moyenne
			2	4	6	7	8	15	
A	1	26/01	-43	-54	-57	-61	-60	-58	
		04/04	-44	-53	-59	-61	-59	-66	
		Diff.	-1	1	-2	0	1	-8	-1
D	17	26/01	-28	-38	-36	-45	-38	-42	
		04/04	-34	-43	-45	-52	-44	-49	
		Diff.	-6	-5	-9	-7	-6	-7	-7

ANNEXE 4

ÉVALUATION DU RÉCEPTEUR GPS TR5S

A.4.1. PRÉSENTATION

Le *D'Entrecasteaux* a été équipé en novembre 1986 d'un récepteur GPS TR5S de Sercel connecté au réseau d'acquisition des données hydroboucle par l'intermédiaire d'une station développée par le Centre Informatique de l'EPSHOM. Le levé hydrographique à l'est de la Guadeloupe a été l'occasion d'une comparaison systématique des données élaborées fournies par le récepteur et de la position précise fournie par le système de radiolocalisation Trident mis en place pour les sondages. Cette annexe présente les résultats de cette comparaison et fournit des éléments simples d'appréciation des possibilités d'utilisation du système GPS en mode standard (SPS) en hydrographie.

A.4.2. MISE EN ŒUVRE DU RÉCEPTEUR

Les paramètres d'initialisation du récepteur adoptés pendant tout le levé furent les suivants :

- mode : 2D+T
- hauteur du géoïde calculée par le modèle interne au récepteur
- élévation minimale : 3 ou 5°
- facteur de dégradation géométrique de la position horizontale (HDOP) inférieur à 10.

Quatre blocs d'éléments étaient sélectionnés sur la sortie numérique J7 du récepteur :

- date et heure : Zda
- position : Gll (latitude et longitude)
- précision : Sgd (HDOP et LPME)
- mode : Sys

L'acquisition et l'archivage des données étaient effectués avec le système d'acquisition classique du *D'Entrecasteaux*. Le programme utilisé était une version modifiée du programme temps réel ACQLCS. La cadence d'acquisition était de 2 ou 3 secondes et la cadence d'archivage des données était fixée à 1 minute en général. Le principe du traitement de la réponse du récepteur à chaque interrogation de la station est décrit sur la figure 29. Seules les réponses validées correspondant à un HDOP inférieur au seuil fixé par l'opérateur sont acceptées. Le passage du système WGS au système local est effectué par l'intermédiaire des coordonnées trirectangulaires. La correction de synchronisation est calculée en admettant que le décalage entre l'heure d'acquisition des données et l'heure de calcul de la position est constant et égal à 1 seconde. Elle ne dépasse pas 5 m pour une vitesse inférieure à 10 nœuds. La correction de réduction au centre tient compte du décalage entre l'antenne Trident et l'antenne GPS qui sont distantes de 12 m. Les données GPS archivées sont les coordonnées géographiques brutes de l'antenne dans le système WGS.

Dans l'ensemble, le récepteur a bien fonctionné. Néanmoins quelques défauts ont été constatés :

- difficultés d'accrocher un satellite lorsqu'il a été sélectionné avant son lever. Si l'accrochage n'est pas rapide, on observe souvent un blocage du canal correspondant (en mode «It control» par exemple). Pour y remédier il faut affecter un autre satellite au canal considéré puis revenir au satellite initial. Ce défaut nécessite dans la pratique le suivi par un opérateur de la constellation utilisée, à partir des prévisions de passage ;

- blocages du système interdisant toute intervention de l'opérateur (disparition des clés). La cause de ces blocages reste indéterminée ; la parade consiste à éteindre le moniteur et le récepteur puis à relancer ;

- anomalies d'affichage en mode estime (nombre des minutes des coordonnées supérieur à 60 par exemple). Là aussi, la seule possibilité de correction semble être d'éteindre l'appareil ;

- sensibilité du moniteur aux interférences, dues semble-t-il aux émissions radio du PC Telec, se manifestant par l'apparition de parasites dont l'accumulation rend l'écran illisible.

En fin de période, le canal 2 était inutilisable, le passage du mode «Data synch» au mode «C/A lock» ne se faisant plus.

A.4.3. DISPONIBILITÉ DU SYSTÈME GPS PENDANT LA CAMPAGNE

Cinq satellites (n° 3, 6, 9, 12 et 13) ont été disponibles pendant toute la période ; le satellite 11 a été invalidé (code de santé = 220) entre le 23 février et le 1^{er} mars. Cette constellation assurait chaque jour dans la zone du levé deux crénaux de fonctionnement en mode 2D+T de 3 et 4 h respectivement.

A.4.4. TRAITEMENT DES DONNÉES

Sauf exception (sondages en limite de portée des stations Trident), les données GPS n'ont pas été utilisées pour l'adoption du point en temps réel. Pour la comparaison des positions Trident et GPS, l'ensemble des points pour lesquels des données GPS étaient archivées ont été rejoués à l'aide d'une version modifiée du programme « REJLCS ». Le rejeu a été effectué dans les conditions indiquées sur la figure 30.

Les valeurs numériques utilisées sont les suivantes

- seuil de validation des points Trident : 7,5 m (précision théorique à 95 % et moyenne quadratique des résidus inférieures au seuil) ;

- paramètres de la translation d'ellipsoïde permettant de passer des coordonnées WGS aux coordonnées IGN 1951-52 :

$$T_x = 481,6 \text{ m} ; T_y = 24,0 \text{ m} ; T_z = 306,5 \text{ m}.$$

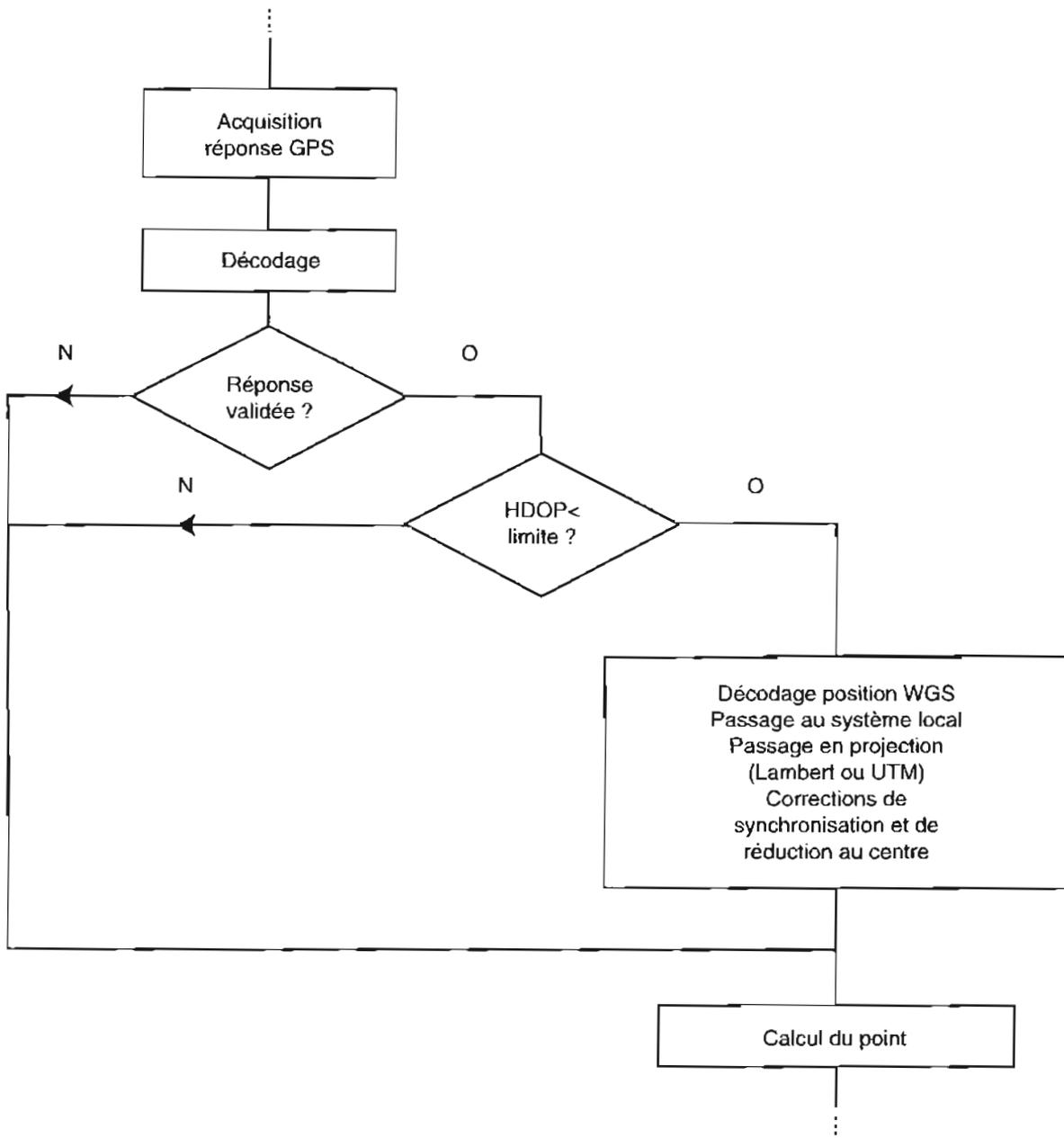


FIG. 29. — Traitement du message GPS

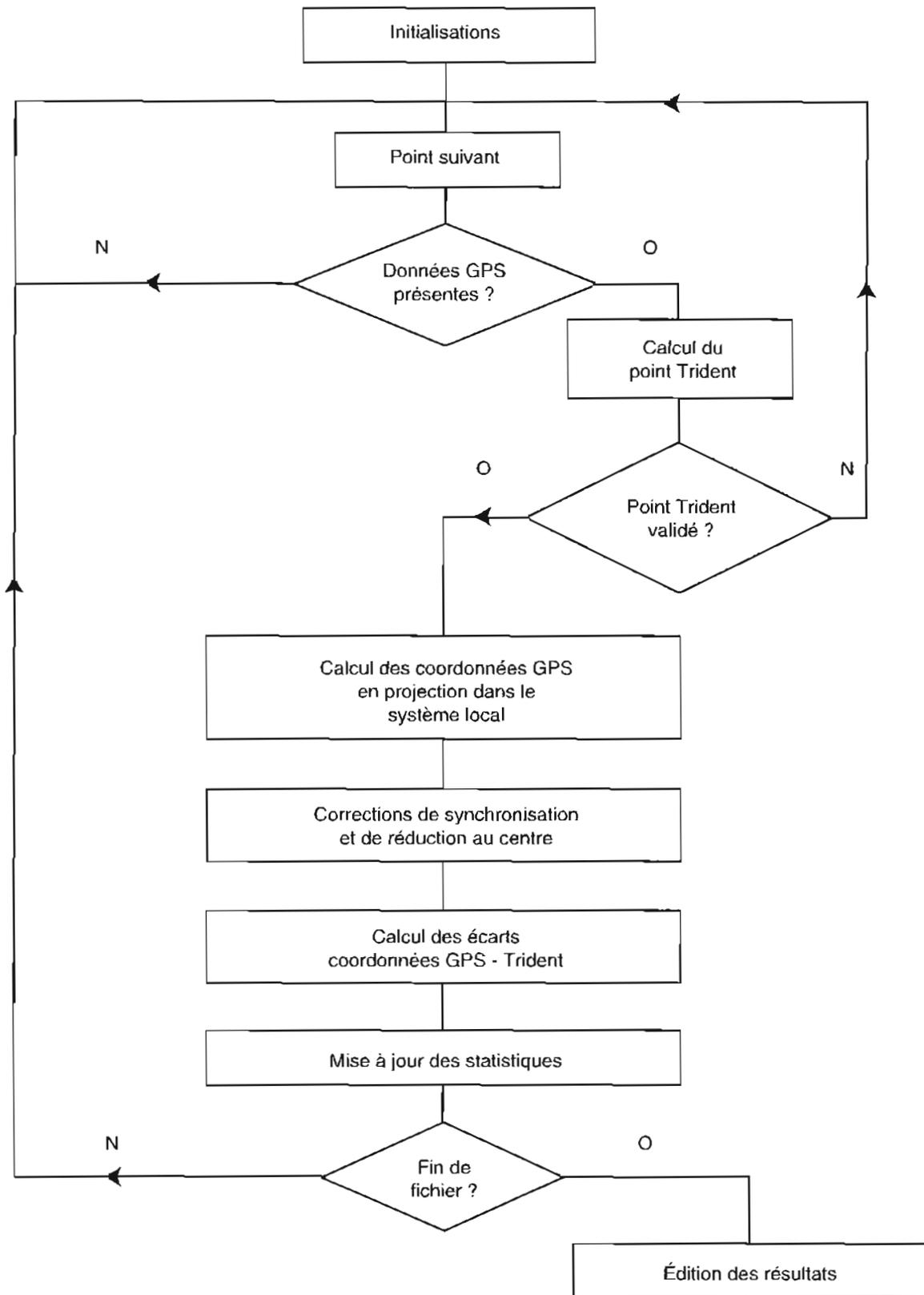


FIG. 30 — Principe du rejeu des points Trident-GPS

Ces valeurs sont issues du rapport d'étude n° 5/86 (Bessero, 1986).

On a négligé les effets du remplacement, en janvier 1987, du système WGS 72 par le système WGS 84 pour le calcul des éléments orbitaux des satellites. On a supposé que l'incidence de ce changement sur le calcul du point par le récepteur ne dépassait pas l'écart entre les deux systèmes qui est en principe inférieur à 7 m sur chacune des coordonnées.

Le système a été utilisé seul hors de portée des stations Trident. Le suivi de profil n'a pas alors posé de difficulté particulière.

A.4.5. RÉSULTATS

Le tableau 19 présente les résultats de la statistique globale des écarts entre les coordonnées rectangulaires des points GPS et Trident. La figure 31 représente la cible des points GPS rapportés au point Trident associé. On note 2,4 % de points aberrants (écarts en distance supérieurs à 500 m). L'examen de ces points montre qu'il s'agit :

- soit de sauts dus à un changement de constellation ou à un décrochage temporaire d'un satellite. Ces sauts devraient pouvoir être éliminés par un filtrage approprié ;
- soit d'une anomalie temporaire qui pourrait provenir d'une dégradation volontaire ou involontaire des signaux d'un ou plusieurs satellites.

La figure 32 illustre ces deux types d'anomalies.

Après élimination des points GPS situés à plus de 100 m du point Trident associé on obtient la répartition suivante des écarts radiaux, sur les 5 171 points restants :

- inférieurs à 30 m : 78,8 % ;
- inférieurs à 50 m : 96,1 %.

On note alors une légère augmentation de l'écart moyen en abscisse qui atteint 14 m. Cette valeur reste compatible avec l'ordre de grandeur des différentes approximations dans la transformation des coordonnées GPS. La cible réduite aux points d'écarts radiaux inférieurs à 100 m est présentée à la figure 33.

Les conclusions que l'on peut tirer de cette évaluation sont les suivantes :

- le récepteur TR5S permet d'atteindre sans précaution particulière une précision absolue meilleure que 100 m (à 95 %) en mode 2D + T, pour un facteur HDOP inférieur à 10. L'élimination de points aberrants assez facilement identifiables permet d'obtenir une précision absolue meilleure que 50 m (à 95 %). Le système est donc d'ores et déjà suffisant pour les levés hydrographiques aux échelles inférieures ou égales à 1 : 50 000 ;
- la précision relative du système permet le guidage sur profil pendant les périodes de configuration stable.

Tableau 19. — Statistique des écarts GPS-Trident

Écarts en m	Abscisse	Ordonnée	Distance
Minimum	- 788	- 230	0
Moyenne	- 5	3	41
Maximum	456	252	792
Nombre de points :			5 363
Pourcentage d'écarts radiaux inférieurs à :			
- 30 m : 76,0 %			
- 50 m : 92,7 %			
- 100 m : 96,4 %			

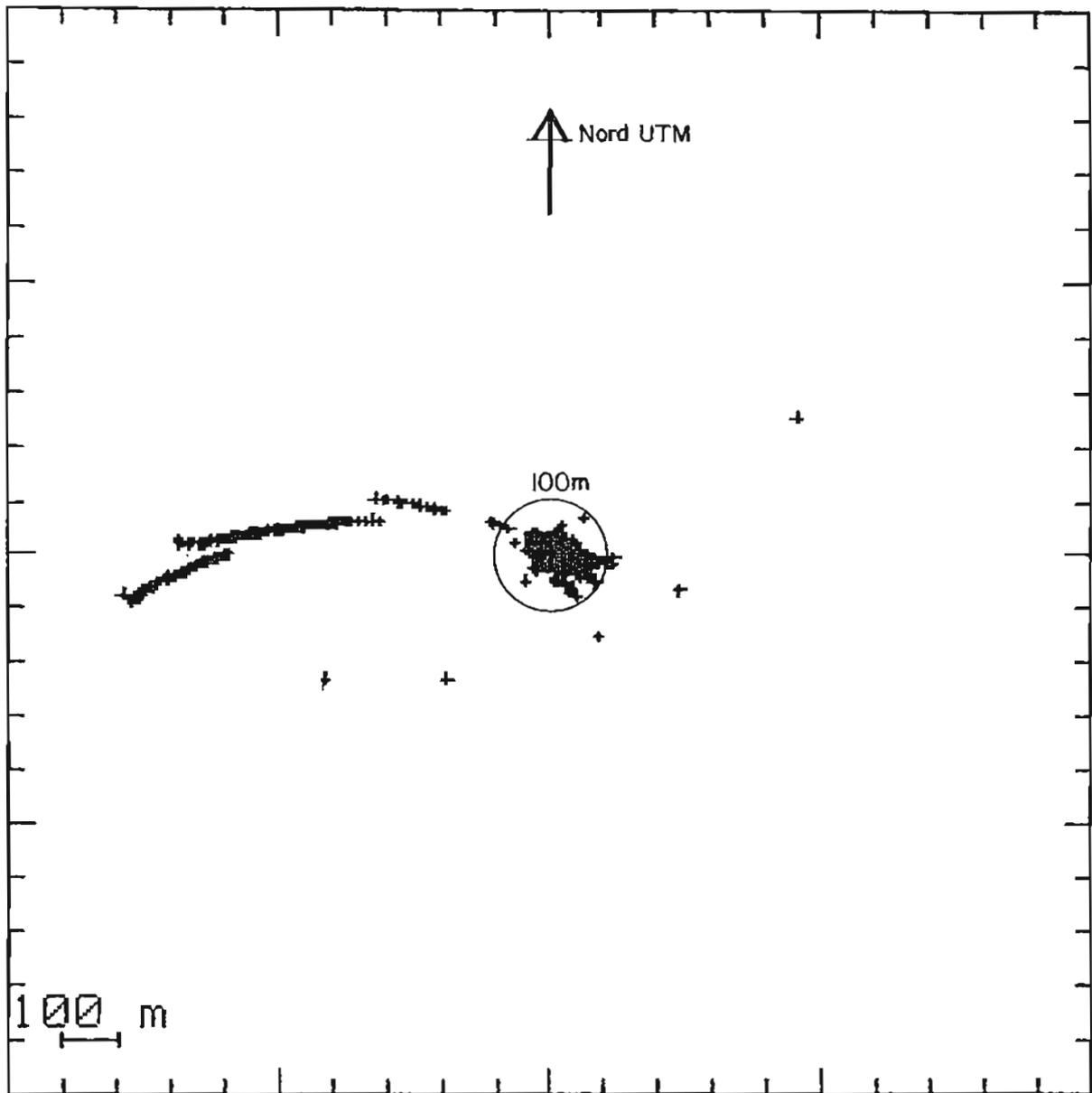


FIG. 31. — Cible des points GPS rapportés au point Trident associé

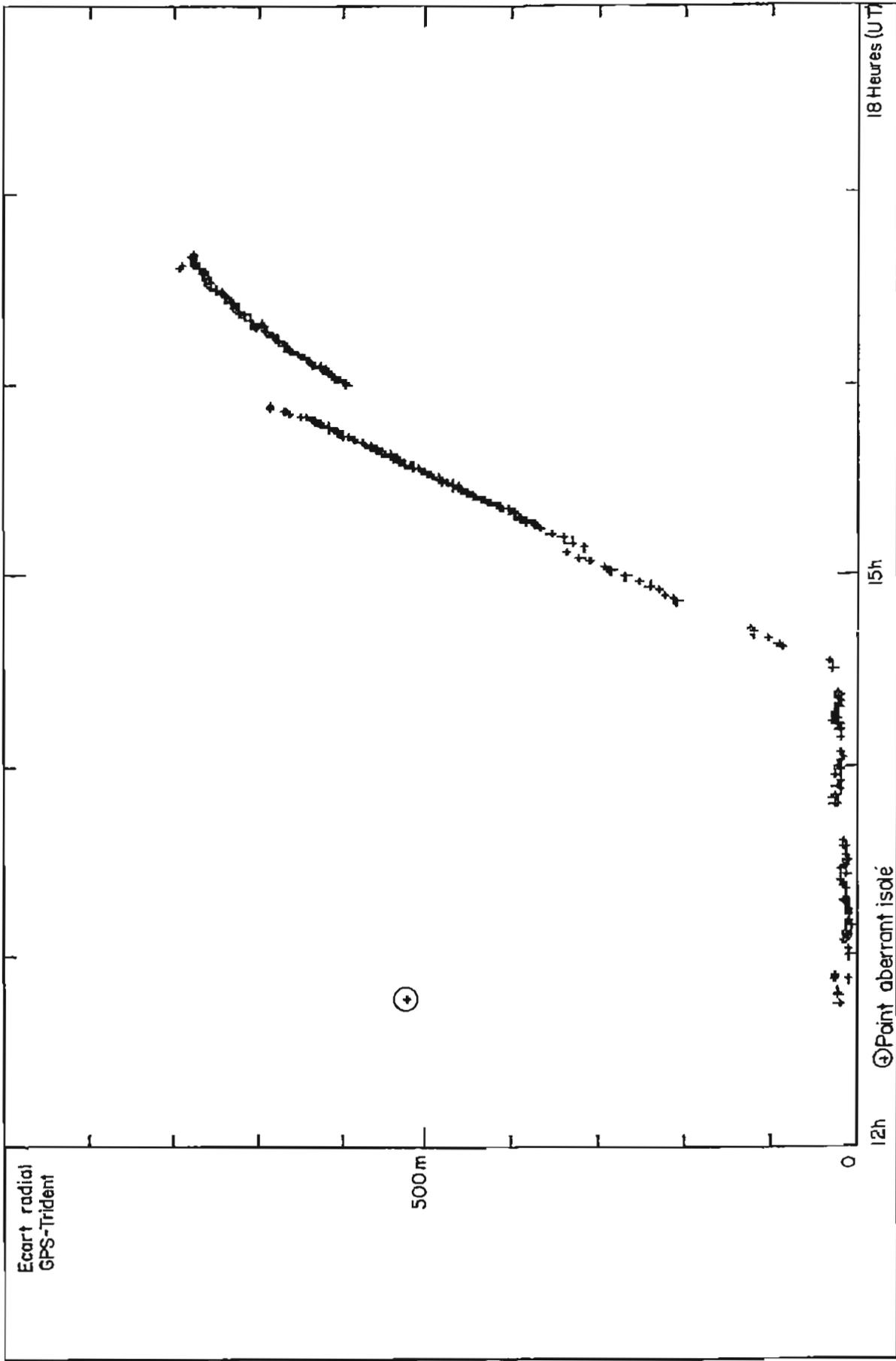


FIG. 32. — Observations GPS du 5 mars 1987

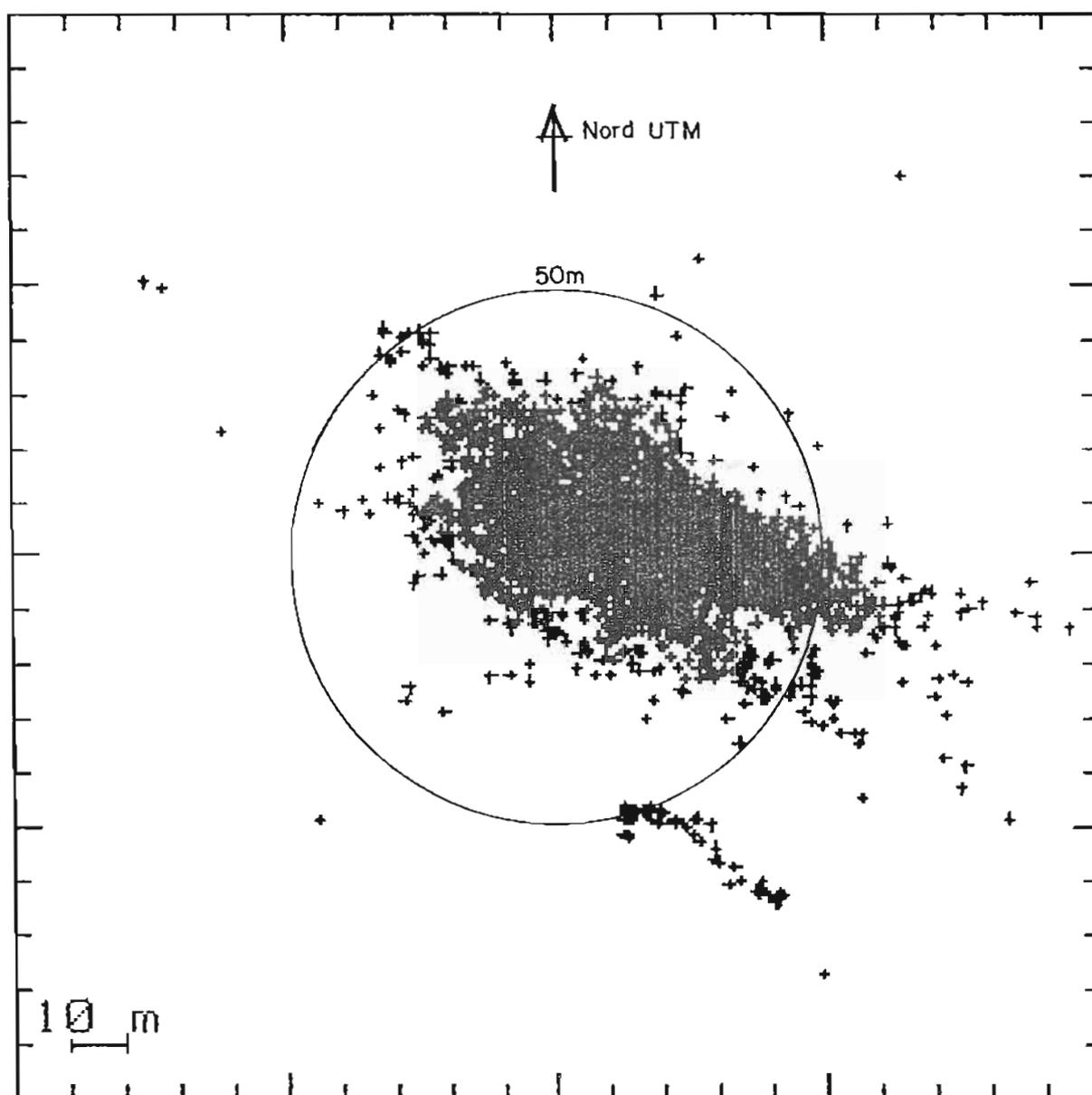


FIG. 33. — Cible des points GPS rapportés au point Trident associé (écart radial ≤ 100 m)

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

Échelon de Polynésie

(3 février 1992 - 10 août 1993)

par

Y. GUILLAM

Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement

SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
PREMIÈRE PARTIE	
1. Organisation	3
2. Travaux effectués	3
3. Personnel	3
4. Moyens	4
5. Méthodes	6
DEUXIÈME PARTIE	
Chapitre I : Travaux hydrographiques dans l'Archipel des Tuamotu	
I.1. Atoll d'Arutua	12
I.2. Atoll d'Anaa	16
I.3. Atoll de Katiu	21
I.4. Atoll de Haraiki	25
I.5. Atoll de Kaukura	28
I.6. Atoll de Marutea Nord et rattachements inter-îles	33
Chapitre II : Travaux hydrographiques aux Îles Marquises	
II.1. Levé des abords du banc Clark	37
II.2. Levé de la baie d'Anaho (Nuku Hiva)	40
II.3. Levé des abords du quai de la base de pêche de Taiohae	44
II.4. Levé de la baie du Contrôleur	46
II.5. Levé des baies d'Hakatea et de Uauka	50
II.6. Levé de la baie d'Aakapa et de ses abords	54
II.7. Levé de la baie de Vaipae et des abords de la côte sud de Ua Huka	58
II.8. Levé de la baie de Hakamaï	64
II.9. Contrôles bathymétriques dans les baies d'Hakahau et de Tahauku	68
II.10. Levé des approches sud-ouest de Hiva Oa et Tahuata	75
Chapitre III : Travaux hydrographiques aux Îles de la Société	
III.1. Levé de la baie de Parea	76
III.2. Contrôle de la passe Tapuaeraha	81
III.3. Levé des abords du quai des mouvements généraux	81
Chapitre IV : Travaux hydrographiques aux Îles Australes	
IV.1. Rurutu et Tubuai	85
RÉFÉRENCES.....	91
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉS	92

INTRODUCTION

L'activité de l'Échelon Polynésie de la MOP entre les 3 février 1992 et 10 août 1993, période pendant laquelle j'ai exercé les fonctions de directeur technique, a reposé sur l'*Arago*, quatrième et dernier bâtiment de la classe des BH2C, qui effectuait ses premières missions opérationnelles.

Alors qu'au début de l'année 1992, le positionnement optique était encore très utilisé et préféré au système de radiolocalisation Trident, l'activité a été marquée par l'arrivée du système Axyle, qui a grandement facilité les levés côtiers. La mission a en effet principalement évolué aux Îles Marquises, dont le relief et la côte souvent inaccessibles, compliquent à loisir le déroulement des levés. Enfin pendant ces 18 mois, la mission est parvenue à maintenir un équilibre rigoureux entre les travaux à la mer et ceux de rédaction, équilibre facilité par une période d'IPER de l'*Arago* en mai et juin 1993.

PREMIÈRE PARTIE

1. ORGANISATION

La création en 1986 de l'Échelon Polynésie a été accomplie avec la scission de la MOP en deux échelons permanents, l'un basé à Nouméa, l'autre à Papeete. L'organisation n'a pas sensiblement évolué depuis, si ce n'est que l'indépendance technique et administrative des deux échelons s'est affirmée au fil des ans. En fin d'année 1991, le BH2C *Arago* succédait au BH1 *L'Estafette*, désarmé, et arrivait à Papeete, son nouveau port de base.

Ainsi, entre 1992 et 1993, l'Échelon comprenait :

- le BH2C *Arago* ;
- une unité hydrographique, avec ses personnels spécialisés et moyens propres.

L'unité hydrographique, chargé de la préparation, de l'exécution et de la rédaction des levés, n'a pas été divisée, formellement, en services distincts, du fait de son effectif réduit. Une relative polyvalence des personnels permettait ainsi d'assurer la continuité de l'action à terre, lorsque le bâtiment était à la mer, avec à son bord plus de 75% de l'effectif de l'unité.

La collaboration entre les deux échelons du Pacifique, très éloignés géographiquement, est cependant restée étroite notamment au niveau des échanges de matériels.

Pendant la période considérée, l'activité des deux échelons a été coordonnée par les directeurs de mission suivants : l'Ingénieur en Chef de l'Armement Fourgassié jusqu'au 27 mai 1992 puis l'Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement Dolou.

2. TRAVAUX EFFECTUÉS

Les travaux réalisés pendant la période ont été variés puisque la mission s'est déplacée dans l'ensemble de la Polynésie, excepté aux Gambier. L'activité se décompose de la manière suivante :

2.1. Hydrographie générale

- poursuite des levés aux Îles Marquises : les levés côtiers ont concerné le groupe d'îles du nord avec Nuku Hiva, Ua Huka et Ua Pou. Les reconnaissances bathymétriques ont été étendues dans le nord-est de Nuku Hiva, aux abords du banc Clark et autour de Hiva Oa. En jours de mer, 70% de l'activité globale du BH *Arago* ont été consacrés aux travaux sur le théâtre marquisien ;

- travaux géodésiques et spatiopréparations aux Tuamotu dans les atolls d'Anaa, Katiu, Haraiki, Kaukura et Marutea nord ;

- reconnaissances bathymétriques dans les Tuamotu : seuls, les abords de l'atoll d'Anaa ont été levés.

2.2. Hydrographie militaire

- levé de la baie de Parea et de la passe Araara à Huahine, à la demande d'ALPACI, afin d'évaluer les possibilités d'accès à la baie pour un patrouilleur de type P400.

2.3. Hydrographie civile

- levés bathymétriques des ports d'Hakahau à Ua Pou et de Tahauku à Hiva Oa, à la demande de l'Équipement, afin de statuer sur l'évolution sédimentologique de ces ports ;

- géodésie et marégraphie à Tubuai.

La description des travaux d'hydrographie qui, pour l'*Arago*, ont représenté sur la période, 152 jours de missions en 1992 et 57 au premier semestre 1993 (du fait de l'IPER), fait l'objet de la deuxième partie de ce rapport.

2.4. Développement - formation

- contrôle au sondeur latéral EGG 260 de la passe Tapuaeraha à Tahiti ;

- actions diverses de développement, d'entraînement ou d'évaluations, relatives à des matériels nouveaux comme le système de radiolocalisation Axyle et les récepteurs GPS de géodésie Ashtech LDXII.

3. PERSONNEL

3.1. de l'unité hydrographique

Dans les domaines clefs que sont l'encadrement de la salle de dessin, le service général et la logistique, le plan d'armement de l'unité hydrographique de l'échelon n'a souffert d'aucune redondance : lors des missions à la mer, le quart de l'effectif restait à la base à terre pour assumer des tâches intérimaires, mais sans avoir toujours la qualification requise. Néanmoins, l'affectation, en supplément au plan d'armement, d'un aspirant de marine, de la branche EOR-DGA et de formation ENSTA, spécialité « Environnement marin » et celle d'un EOR de formation ESE, placé sous l'autorité du chef du laboratoire électronique, ont rendu possible l'évaluation des matériels nouveaux en déchargeant les hydrographes. Il s'avère à posteriori que, si le nombre a parfois fait défaut, la qualité et l'expérience des officiers-mariniers affectés, ont permis d'assurer avec sérénité les missions tout au long de la période.

Au sein de l'unité hydrographique :

- les fonctions de chef des services généraux ont été assurées jusqu'au 3 juillet 1992 par l'EV1 Doll puis par l'EV1 Bain, à compter du 20 juillet 1992 ;

- celles de chef de la salle de dessin par le MP Vandenberghe jusqu'au 10 août 1992, puis par le MP Kerneis ;

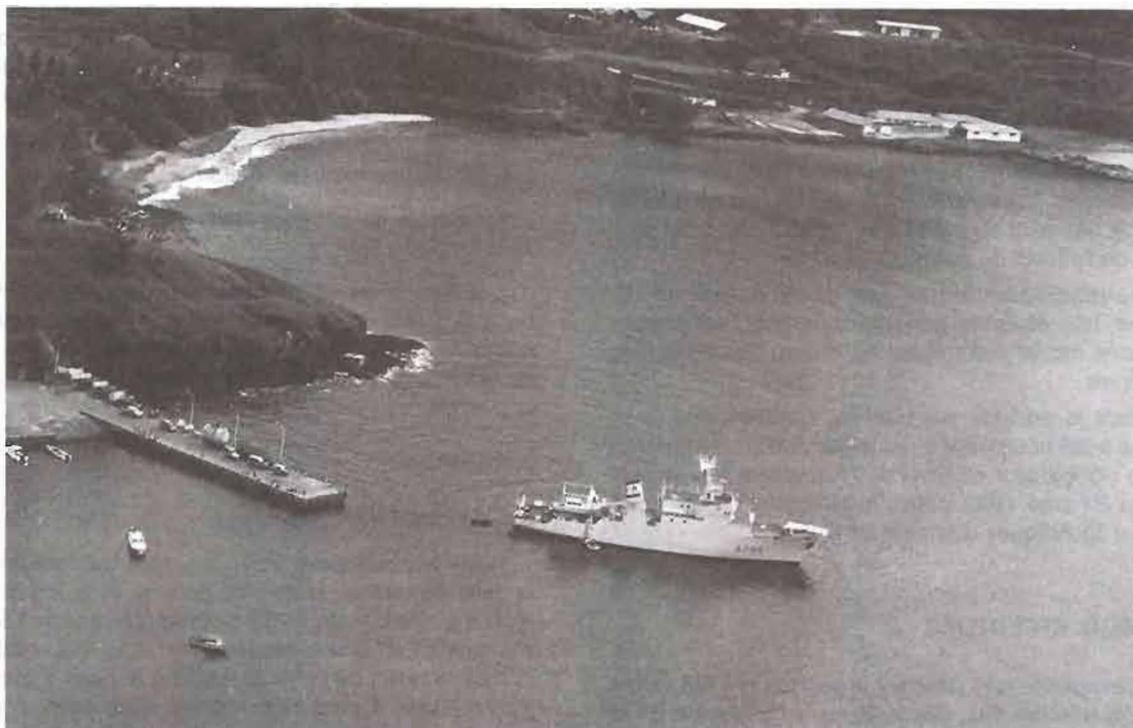
- le PM Morat a rempli le rôle de chef du laboratoire électronique. Sa qualification CELECTRONI était particulièrement bien adaptée aux lourdes responsabilités dont il avait la charge.

3.2. de l'Arago

Sur l'*Arago*, l'effectif réduit a toujours constitué un handicap à surmonter, en particulier au niveau du service énergie-propulsion : le plan d'armement du BH *Arago* était en effet inférieur en nombre de 9 personnes à celui des bâtiments hydrographiques analogues basés en métropole. Alors que le taux d'activité et les contraintes en Polynésie étaient sensiblement identiques à ceux de la métropole, ce déficit a rendu parfois critique l'entretien préventif du bâtiment et provoqué un relatif désengage-

ment des personnels du bord vis-à-vis des travaux hydrographiques proprement dits, notamment lorsque le bâtiment était à la mer. La situation s'est cependant améliorée en fin d'année 1992 et en 1993, grâce à la volonté affirmée de l'état-major du bâtiment et à la mise en subsistance à bord de plusieurs quartiers-maitres ou matelots de l'unité marine de Papeete. D'autre part, afin de rendre systématique, le concours d'une équipe d'entretien de l'unité marine, lors des périodes d'entretien à quai du bâtiment, il a été proposé de faire admettre l'*Arago* dans la catégorie «des bâtiments à faible équipage».

Le 17 août 1992, le LV Maréchal succédait au CC Paire, comme commandant du bâtiment.



Le BH2C *Arago*, embossé à Nuku Hiva.

4. MOYENS

4.1. Moyens flottants

Au cours de la période, le BH2C *Arago* a été naturellement le principal vecteur de la mission. A la condition d'avoir la possibilité de changer de zones de levés au cours d'une mission pour s'affranchir des paramètres météorologiques, le bâtiment est bien adapté aux travaux hydrographiques côtiers, en milieu tropical. Spacieux, bénéficiant d'un système de conditionnement d'air efficace, d'une autonomie en vivres de l'ordre de 25 jours, il répond tout à fait aux exigences des missions en Polynésie, éloignées du port de base. Il aura cependant fallu veiller à éviter les mouillages où la houle

se fait sentir ainsi que les périodes de sondage large par mer supérieure ou égale à 4 ; en effet la stabilité médiocre de plate-forme a rendu inconfortables sinon dangereux les mouvements d'embarcations le long du bord et a provoqué des décrochages intempestifs du sondeur grand fond Raythéon lors des sondages au large par mer agitée.

Pour les travaux à proximité de la côte, les deux vedettes hydrographiques de type VH8, portées sur bossoirs par l'*Arago* ont été utilisées intensivement, sans avarie majeure, malgré leur vétusté. Elles ont, en particulier, bénéficié en 1992 d'une vérification approfondie de leur alimentation électrique, ce qui a contribué pour une large part au bon déroulement des travaux.

La drome, dont dispose l'échelon, a été très sollicitée, exceptée l'embarcation de type Starvag, inadaptée aux conditions de mer. Les motogodilles de 20 et 40 ch, équipant respectivement les 3 corallines en aluminium et les 2 canots pneumatiques de 10 places ont subi de

multiples avaries, perturbant notablement les levés dans leurs phases préparatoires (géodésie, implantation de balises...). Pour les missions de longue durée, la capacité d'emport en essence de l'*Arago*, a été portée de 360 à 800 l.



Franchissement d'une passe a Anaa

Lors des travaux réalisés aux Tuamotu, une embarcation robuste à forte capacité, a fait défaut puisque, à maintes reprises, la sécurité des personnels et la protection des matériels ont conduit à reporter des transits en lagon. L'*Arago* n'avait pas en effet la possibilité d'emporter et de débarquer par sa grue de pont, une baleinière en bois de 800 kg, procédé qui était employé jusqu'alors par les BH. Le besoin d'un nouveau type d'embarcation a donc été exprimé en 1993 et adressé à la Direction du SHOM pour tenter de résoudre ces difficultés en proposant la construction d'une baleinière spécifique en alliage léger.

Pour quelques travaux aux Tuamotu, la mission a par ailleurs bénéficié de certains concours extérieurs, lors des périodes d'indisponibilité à quai de l'*Arago* pour entretien :

- la frégate de surveillance *Prairial*, du 29 septembre au 8 octobre 1992 ;
- le patrouilleur P400 *La Tapageuse*, du 24 mai au 3 juin 1993 ;
- et le *Gardian* de l'escadrille 12 S, les 18 et 27 mai 1993.

4.2. Locaux à terre

L'immeuble Bir-Hakeim, situé sur le front de mer à Papeete, en dehors de l'enceinte de la Base Marine de Fare Ute, accueille l'essentiel des installations à terre de la mission.

Au rez-de-chaussée, entièrement rénové et climatisé, se tiennent :

- la salle de dessin, vaste et fonctionnelle ;
- le secrétariat, le local transmission et les bureaux du chef des services généraux et du directeur technique.

Devenus exigus et vétustes, l'atelier mécanique-électricité, situé dans l'arsenal de la DCN Papeete, le laboratoire électronique et le magasin « matériel spécifique » ont été transférés en juin 1993, dans la zone militaire de Motu Uta, dans un immeuble spécifique, réétudié et rénové pour l'occasion.

La situation géographique éclatée des différents éléments à terre de la mission a compliqué quotidiennement les liaisons entre services ainsi qu'avec l'*Arago*. Des liaisons en embarcations par le port ont souvent été préférées à la route. Néanmoins, le parc de véhicules mis à la disposition de la mission a généralement permis de surmonter ce genre de difficultés.



Salle de dessin de la mission

4.3. Véhicules

Jusqu'à avril 1992, la mission était dotée d'un Peugeot 4 X 4 Dangel, dont la spécificité tout-terrain n'était, pour ainsi dire, jamais utilisée. A la suite d'une panne majeure, le véhicule fut remplacé par une camionnette Renault Trafic, beaucoup mieux adaptée aux transports de matériels et personnels. Une Peugeot 405 Break complète utilement le parc automobile de l'unité hydrographique.

Ces deux derniers véhicules donnent entière satisfaction pour les travaux sur Tahiti ; lorsque le besoin s'est fait sentir, des véhicules ont été loués temporairement sur les îles.

4.4. Matériel spécifique

Dans la perspective des levés hydrographiques côtiers, la mission était dotée en janvier 1992 :

- du système de radiolocalisation Trident III ;
- du coffret d'acquisition de données Hydrac, pour vedette ,
- du sondeur DESO 20 ;
- et du sondeur latéral EGG modèle 259.4.

Le taux d'avaries élevé de ces matériels, excepté le sondeur vertical DESO 20, et plus encore la difficulté de leur mise en œuvre aux Îles Marquises avaient conduit le directeur technique précédent à opter pour la localisation optique, fiable, mais fortement dépendante des conditions météorologiques.

La période 1992-1993 aura été marquée par la remise à niveau du parc des matériels spécifiques de l'Échelon. En effet, en août 1992, trois équipements majeurs ont été reçus :

- le système de radiolocalisation Axyle ;
- le sondeur latéral EGG modèle 260 TH ;
- et le couple de récepteurs GPS bifréquence de géodésie Ashtech LDXII.

Dès lors, la mission était dotée d'un ensemble satisfaisant d'équipements fonctionnels, opérationnels et bien adaptés à l'exécution des travaux prescrits dans l'environnement polynésien.

Les quelques difficultés rencontrées au début de la mise en œuvre de ces nouveaux matériels ont été progressivement résolues grâce à un échange régulier d'informations avec l'EPSHOM. La description du domaine d'utilisation de ces matériels fait l'objet du chapitre « méthodes ».

5. MÉTHODES

L'effectif limité de l'unité hydrographique n'a pas permis de dégager le potentiel suffisant pour évaluer de manière approfondie le fonctionnement des matériels ou développer de nouvelles méthodes. Le personnel a été consacré essentiellement à l'exécution des travaux hydrographiques qui ont cependant nécessité quelques adaptations dans les procédures du fait de l'utilisation de nouveaux matériels. Elles sont décrites ci-après :



Système Axyle, sondeur EGG 260 TH et récepteur GPS Astech LDXII

5.1. Géodésie

Les mesures traditionnelles ont laissé peu à peu la place à la technique GPS différentielle avec les récepteurs Ashtech LDXII. Leur mise en œuvre est aisée et particulièrement adaptée à l'établissement de réseaux géodésiques dans les atolls, où les portées optiques sont limitées.

Dans les atolls, les réseaux locaux ont été constitués, grâce à un récepteur disposé en un site de référence, à partir duquel étaient rattachés les points secondaires. La première version du logiciel GPPS (Ashtech, v.4.0.00), partiellement incompatible avec les récepteurs, n'a pu être utilisée qu'avec difficultés, la suivante corrigée (v.4.4.01) a donné ensuite toute satisfaction. C'est ainsi que le point fondamental de chaque réseau était adopté en tant que barycentre des résultats des différentes sessions. Les paramètres de calcul des lignes de base utilisés par « GPPS » (météorologie, fréquences...) ont été choisis selon les règles énoncées dans la notice constructeur et dans le rapport d'étude SHOM (Bisquay, 1991).

En général, le calcul des réseaux locaux, combinant des résultats des mesures angulaires, de distance et GPS, a été souvent effectué par ajustement (Bessero, 1984).

5.2. Spatiopréparation

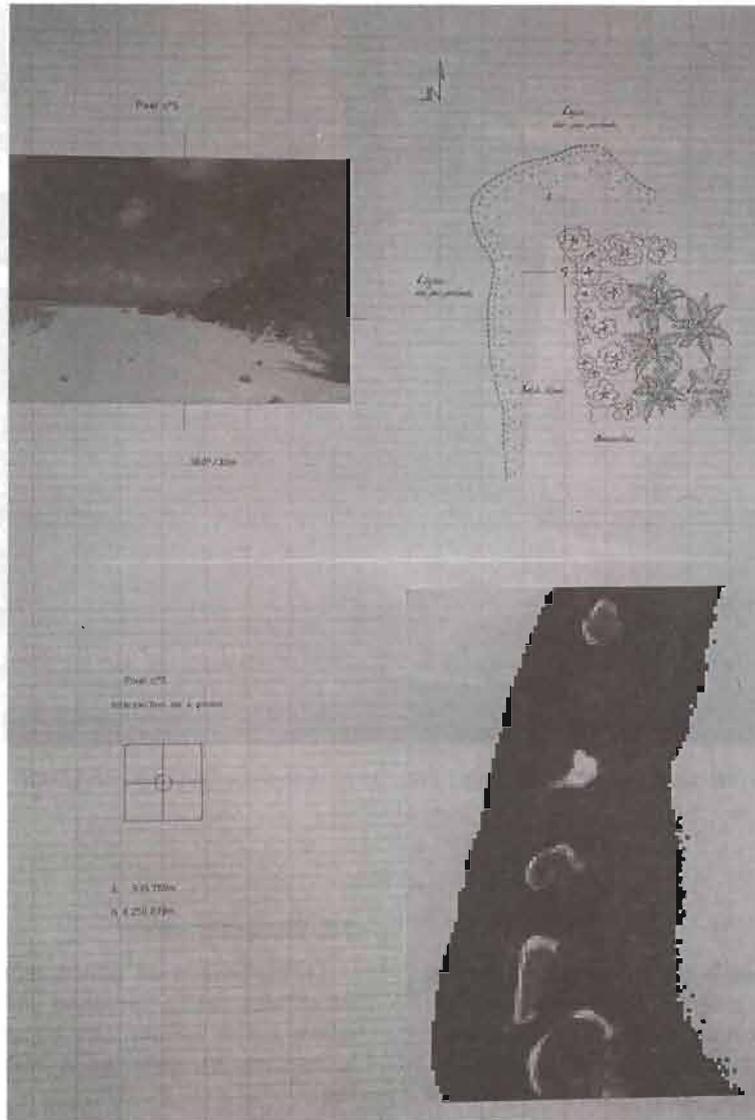
La réalisation de cartes marines à partir d'images satellitaires SPOT nécessite certaines opérations préalables sur le terrain. Les «spatiopréparations» effectuées dans les atolls par la mission, ont consisté de ce fait :

- à éditer des planches en fausses couleurs, à partir de bandes numériques d'images SPOT. Les traitements ont été accomplis avec les moyens mis à la disposition de la mission par la SPT, organisme placé sous la double tutelle IFREMER - Territoire et avec lequel l'Échelon était lié par un protocole d'échange (projet de convention, non ratifiée en août 1993, mais entrée en application d'une manière générale) ;

- à identifier et positionner des pixels remarquables, afin d'assurer le calage géographique de l'image, dans le système géodésique WGS 84 ;

- et à réaliser quelques profils bathymétriques dans des fonds homogènes, pour faciliter le calcul ultérieur par l'EPSHOM du modèle bathymétrique, calcul qui consiste à affecter une profondeur en fonction de certaines valeurs de radiométrie.

Dans les cahiers de spatiopréparation, les croquis montrant l'environnement des pixels remarquables ont été systématiquement complétés de photographies.



Extrait d'un cahier de spatiopréparation

5.3. Hydrographie côtière

Le système de radiolocalisation Axyle, développé par Sercel, a été systématiquement utilisé au cours des sondages côtiers. Rapidement mise en œuvre, la configuration matérielle, minimale et suffisante, se présente comme indiquée sur la figure 1.

En août 1993, l'acquisition automatique de la sonde restait à développer. Les bandes de sondes étaient numérisées sur table Altek, tandis que sur PC, seule était réalisée l'acquisition des paramètres de localisation.

La chaîne d'acquisition est présentée sur la figure 2 et la chaîne de traitement, figure 3.

Le format ACQ88 a déjà été présenté (*Annales Hydrographiques* n°765, 1992) ; sa description n'est pas reprise ici.

5.4. Hydrographie hauturière

Les travaux ont toujours été conduits à l'aide du récepteur TR5SB de Sercel, en mode naturel 2D + T. Cependant, afin de contrôler la dégradation des messages GPS par l'application du code SA, un récepteur de géodésie était généralement placé sur un point de référence à terre, lors des périodes de sondage.

A l'époque où l'Échelon ne disposait que du récepteur de géodésie NR 52 de Sercel, le calcul en temps différé de la position du bâtiment était réalisé en transportant les écarts planimétriques mesurés au point de référence.

La légitimité de cette technique, qui reste approchée, tient au fait que la constellation reçue sur le récepteur embarqué, forcé en mode manuel, était la même que celle reçue à terre. Lorsque les récepteurs de géodésie

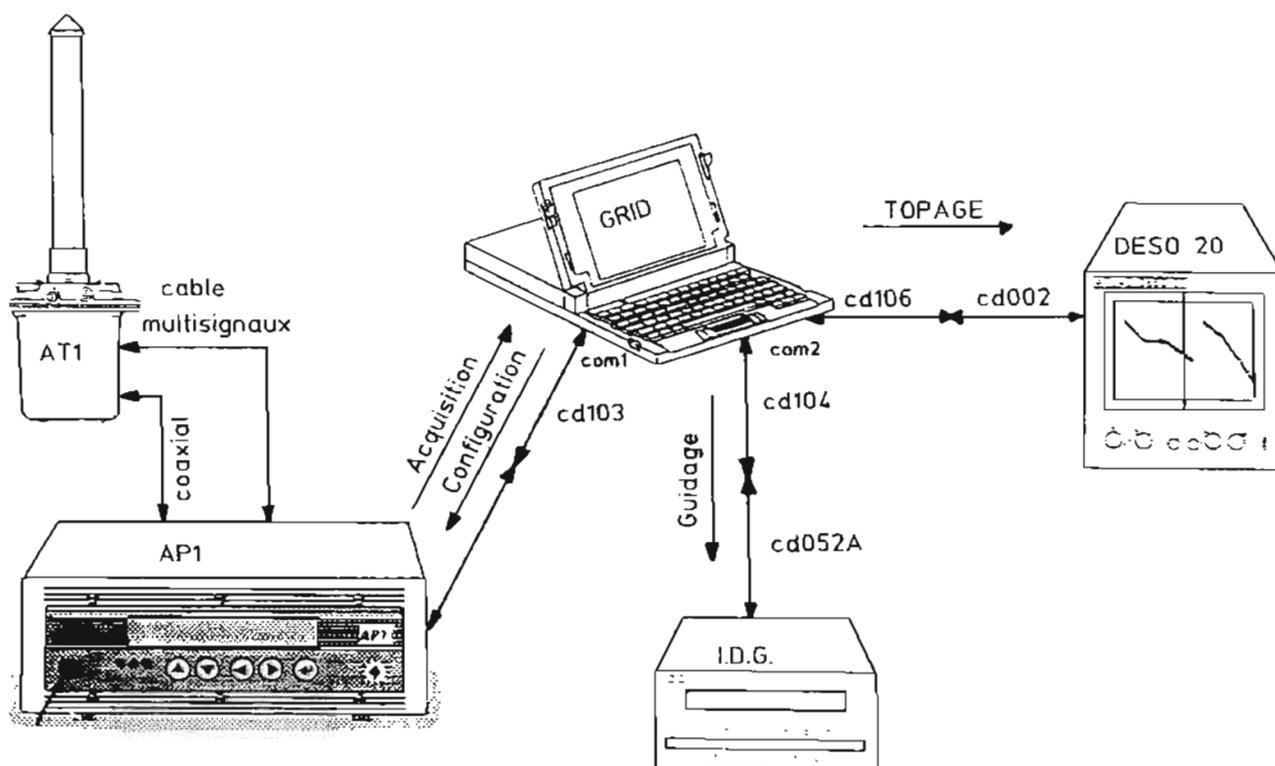


FIG. 1. — Configuration matérielle pour hydrographie côtière

bifréquence Ashtech sont arrivés, le couple a été utilisé en acquisition, en plaçant l'un des appareils à bord et l'autre à terre au point de référence, le suivi du profil restant assuré par le récepteur TR5SB, connecté au réseau hydroboucle. La version 4.4.0.1 du logiciel GPPS, module PPDIFF (Ashtech) a permis de calculer en temps différé, la position corrigée du bâtiment. Les positions relatives des différentes antennes ont bien entendu été prises en compte.

L'application de ces méthodes pseudo-différentielles, temps différé, est restée limitée à des sondages menés par l'*Arago*, à proximité des côtes ou sur des hauts fonds, lorsque l'échelle du levé imposait une précision de la localisation meilleure que celle du GPS naturel (SA

activé) : soit en pratique pour des levés à l'échelle 1:20 000 et 1:50 000. Lors des campagnes de reconnaissances bathymétriques menées au 1 : 100 000 et 1 : 200 000, le GPS naturel a été conservé, car les traitements en temps différé, relativement complexes ont toujours consommé un potentiel conséquent.

Enfin, lors des sondages hauturiers, le sondeur grand fond Raythéon n'a été vraiment opérationnel et les enregistrements exploitables que pour des conditions de mer, inférieures ou égales à 3 Beaufort. Le bruit engendré par une mer forte de l'avant, sur les transducteurs interdit les sondages par mer 4, état qui, de toute façon, est déjà inconfortable pour le personnel. La conduite adoptée fut ainsi de sonder par beau temps.

CHAÎNE AXYLE

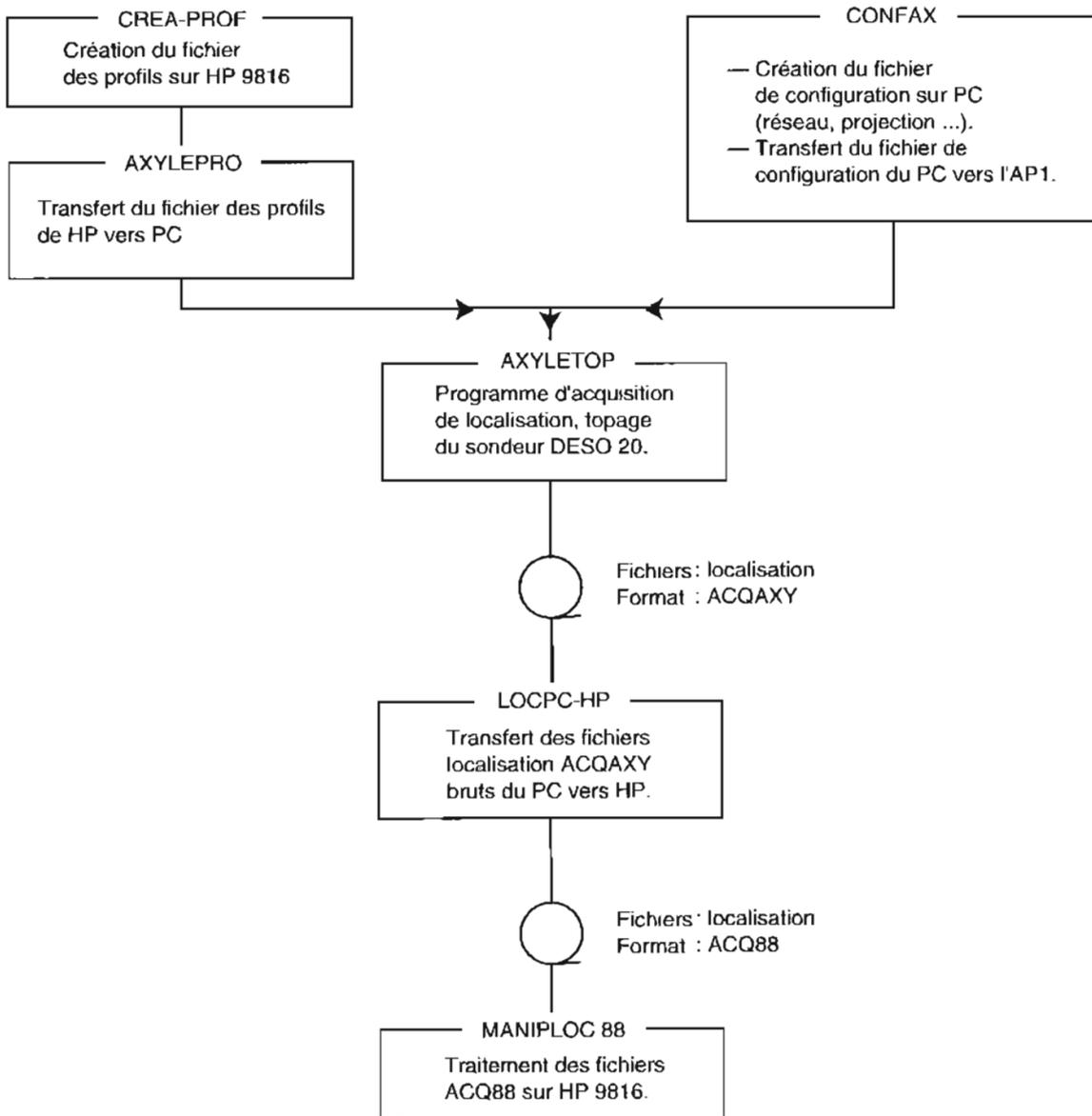


FIG. 2. —

TRAITEMENT DES FICHIERS FORMAT ACQ88 ET RÉDACTION
(Organigramme général)

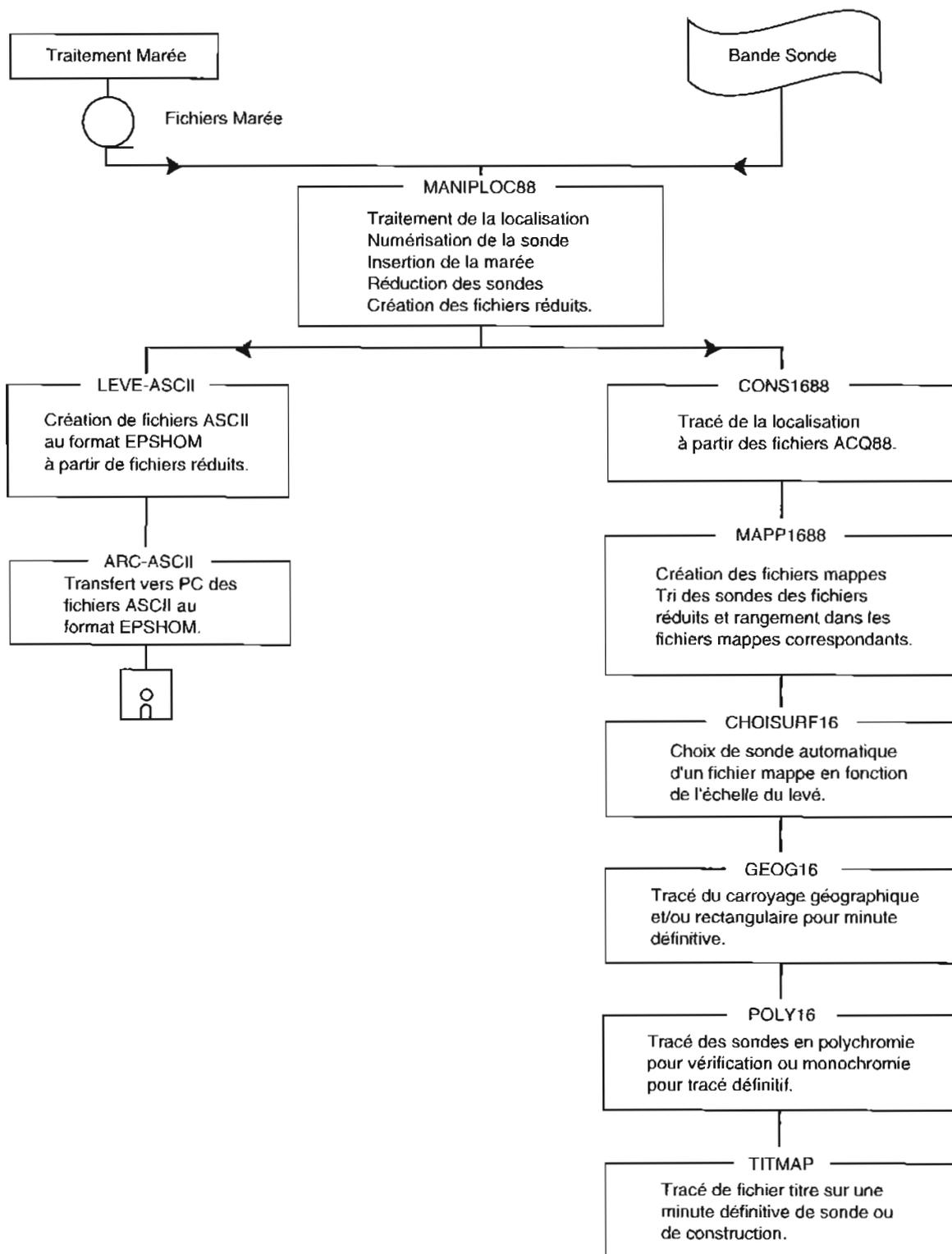


FIG. 3. —

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES DANS L'ARCHIPEL DES TUAMOTU

I.1. ATOLL D'ARUTUA

I.1.1. Généralités

Un réseau géodésique, rapporté au système géodésique WGS 84, a été implanté sur l'atoll d'Arutua au cours de travaux qui se sont déroulés du 11 au 19 juin 1991 avec le concours du patrouilleur P400 *La Gracieuse*. Les intempéries n'ont pas permis de terminer ces travaux, malgré une prolongation de la mission. Aussi, ceux-ci ont-ils été achevés le 17 avril 1992 par le BH *Arago*.

Outre l'implantation d'un réseau géodésique, la mission a procédé à une reconnaissance et un positionnement de pixels SPOT afin d'élaborer une spatiopréparation de Arutua.

I.1.2. Géodésie

Cinq stations principales (Jane B, Éliisa, Javanaise, Marilou et Manon) ont été matérialisées et placées par mesures GPS différentielles relativement à la station de référence Gainsbar située sur le quai du village.

Les coordonnées de cette station de référence ont été déterminées par mesures GPS en mode pseudo-distance, par moyenne arithmétique des huit meilleures sessions.

La précision absolue des coordonnées horizontales de cette station est estimée meilleure que 10 m. La cohérence du réseau ainsi défini est de l'ordre de 0,50 m.

Ces stations GPS constituent le réseau géodésique d'ordre 3.

Les coordonnées de ces stations font l'objet de l'annexe I.1.a. tandis que les vecteurs de base entre la station de référence et les stations relatives sont donnés en annexe I.1.b.

Le mauvais temps ainsi que les grandes dimensions de l'atoll ont empêché l'équipe d'installer une autre station près de Manon pour constituer une base dans la zone de l'aéroport.

Le mât de pavillon, situé sur le quai à proximité de Gainsbar a été positionné en tant qu'amer ainsi que l'épave de la goélette située sur la barrière de corail au sud de la station Javanaise.

I.1.3. Marée

Deux repères de nivellement (F et D) ont été implantés, venant s'ajouter aux deux repères A1 et C1 mis en place en 1961 (LV Batz de Trenquellon) et en remplacer deux autres (D1 et E1) qui n'ont pas été retrouvés.

Un marégraphe Suber SLS23 a été mouillé aux abords du quai de Rautini, du 13 juin au 25 juillet 1991. La cote du zéro de réduction des sondes a été déterminée par mesures de tirant d'air par rapport aux anciens repères (voir pl. 4).

I.1.4. Spatiopréparation

Une préparation (extraction, zooms,...) réalisée localement grâce aux moyens mis à disposition par la SPT a permis de sélectionner sept pixels sur une image SPOT. Toutefois la correction géométrique des scènes SPOT par le logiciel Syriac n'a pu être effectuée. La scène livrée par Spot Images, mosaïque de plusieurs scènes, n'incluait en effet pas le fichier nécessaire à l'utilisation de ce dernier. Les pixels ont donc été sélectionnés sur l'image de niveau 1A. Ils ont été identifiés sur le terrain, leur environnement a été décrit au moyen de photos et de croquis.

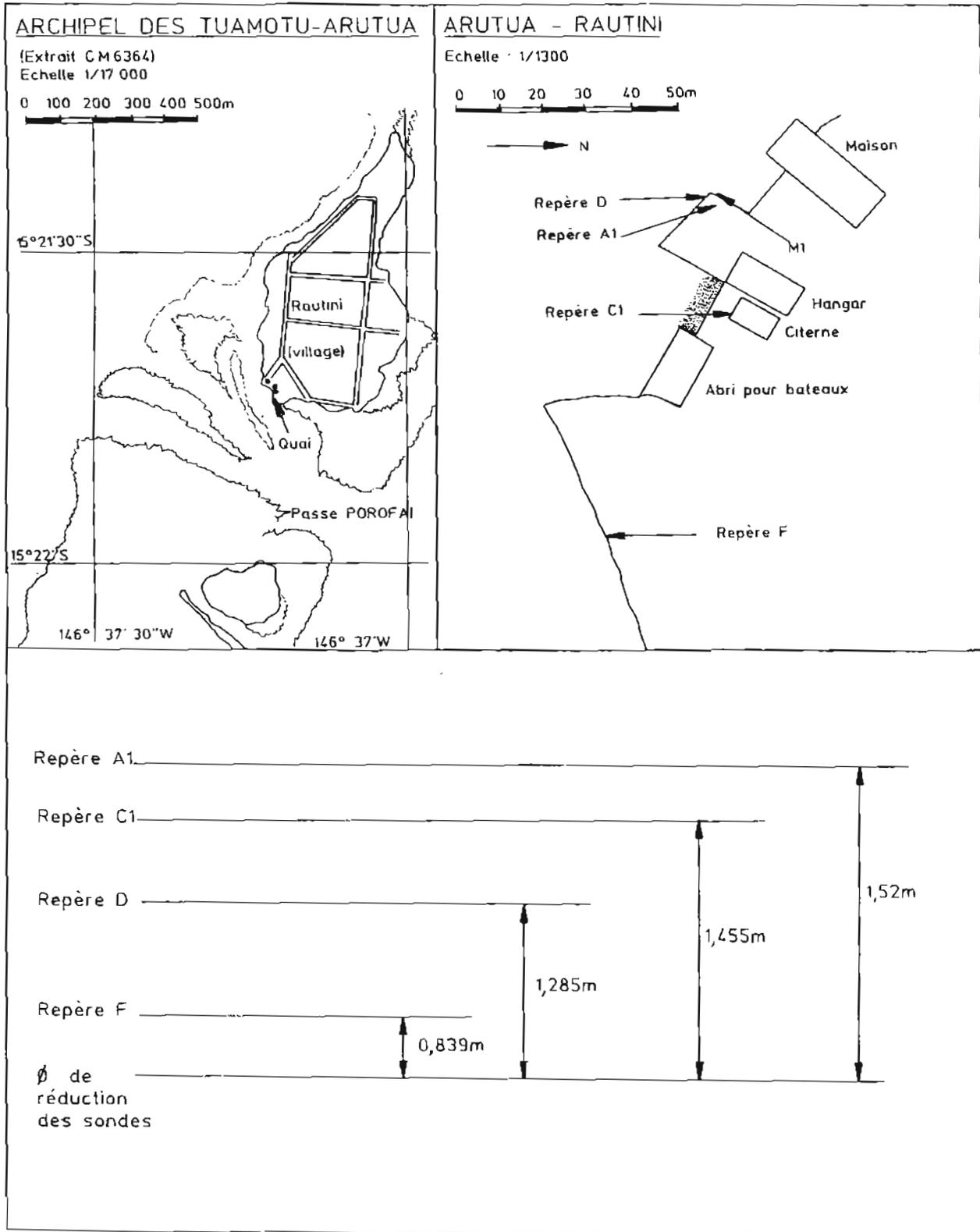
Quatre profils bathymétriques susceptibles d'être utilisés pour caler le modèle des profondeurs pour une exploitation bathymétrique de l'image SPOT d'Arutua, ont été effectués en canot pneumatique localisé par deux théodolites T2. La sonde était acquise au sondeur à main Hondex.

I.1.5. Magnétisme

Des mesures de magnétisme ont été effectuées pendant 12 heures sur la borne Mag, située sur le Motu One. Ces mesures ont permis d'établir en 1991, une déclinaison magnétique de 11°52,6'E.

I.1.6. Documents rédigés

- 1 minute bathymétrique B10 ;
- 6 fiches géodésiques et 2 fiches d'amer ;
- 1 dossier de spatiopréparation ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Arutua ;
- 1 fiche de magnétisme.



Pl. 4. — Observatoire de marée de Rautini (Arutua)

Annexe I.1.a.

ARUTUA

Coordonnées des stations et amers

Ellipsoïde : WGS 84
 Projection : UTM Sud fuseau 6
 Système géodésique : WGS 84
 Altitudes rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Gainsbar	540 540,78	8 301 510,82	1,2
Jane B	536 831,00	8 297 910,53	0,5
Élisa	530 651,55	8 295 392,26	0,76
Javanaise	512 210,30	8 308 158,05	0,39
Marilou	517 087,53	8 313 424,72	0,23
Manon	528 696,99	8 317 107,33	0,69
Mât pavillon	540 535,79	8 301 512,65	4,68
Épave	513 390	8 304 460	

L'épave a été positionnée par une série de relèvements directs issus du BH *Arago*, dont la position était connue par GPS.

Annexe 1.1.b.

Analyse GPS

1. Station Gainsbar

Position absolue obtenue par moyenne arithmétique des 8 meilleures sessions.

L'altitude adoptée, déduite de mesures de tirant d'air, est de 1,20 m au-dessus du niveau moyen.

Précision estimée des coordonnées absolues : 6 m en horizontal, 0,5 m en vertical.

Coordonnées géographiques

$$\begin{aligned} L_{\text{WGS84}} &= 15^{\circ} 21' 46,075'' \text{ S} \\ G_{\text{WGS84}} &= 146^{\circ} 37' 20,138'' \text{ W} \end{aligned}$$

Coordonnées géocentriques

$$\begin{aligned} X &= - 5\,137\,030,15 \text{ m} \\ Y &= - 3\,384\,384,43 \text{ m} \\ Z &= - 1\,678\,843,27 \text{ m} \end{aligned}$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

$$\begin{aligned} E_{\text{WGS84}} &= 540\,540,78 \\ N_{\text{WGS84}} &= 8\,301\,510,82 \\ H_{\text{WGS84}} &= 1,2 \end{aligned}$$

2. Coordonnées géocentriques du vecteur **Gainsbar - Éliisa** (WGS 84)

$$\begin{aligned} dX &= - 4\,070,35 \text{ m} \\ dY &= + 9\,152,59 \text{ m} \\ dZ &= - 5\,916,09 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Coordonnées géocentriques du vecteur **Gainsbar - Javanaise** (WGS 84)

$$\begin{aligned} dX &= - 17\,005,08 \text{ m} \\ dY &= + 22\,749,89 \text{ m} \\ dZ &= + 6\,382,19 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Coordonnées géocentriques du vecteur **Gainsbar - Marilou** (WGS 84)

$$\begin{aligned} dX &= - 15\,502,95 \text{ m} \\ dY &= + 17\,907,66 \text{ m} \\ dZ &= + 11\,467,72 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Coordonnées géocentriques du vecteur **Gainsbar - Manon** (WGS 84)

$$\begin{aligned} dX &= - 9\,956,28 \text{ m} \\ dY &= + 7\,661,66 \text{ m} \\ dZ &= + 15\,033,08 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Coordonnées géocentriques du vecteur **Gainsbar - Jane. B** (WGS 84)

$$\begin{aligned} dX &= - 1\,238,20 \text{ m} \\ dY &= + 3\,620,93 \text{ m} \\ dZ &= - 3\,478,62 \text{ m} \end{aligned}$$

I.2. ATOLL D'ANAA

I.2.1. Généralités

Un réseau géodésique rapporté au système WGS 84 a été implanté sur l'atoll d'Anaa, du 11 au 19 mars 1992. Une spatiopréparation de l'atoll a également été réalisée tandis que du 13 au 23 avril 1992, les abords de l'atoll faisaient l'objet d'une reconnaissance bathymétrique (voir pl. 5.). Le levé bathymétrique a été étendu jusqu'à l'atoll de Tahanea pour profiter des périodes de sondage nocturnes sans engager la sécurité du bâtiment au voisinage des récifs.

Sur l'atoll, la mission s'est déroulée en utilisant une baleinière classique prêtée par le patrouilleur *La Raillieuse*. Elle fut mise à l'eau à partir de l'*Arago*, mais les conditions de mer rendirent impossible sa récupération en fin de mission. Les opérations difficiles de mise à l'eau de la baleinière, qui se déroulèrent sous les yeux du Commandant de la Marine à Papeete alors en inspection, marquèrent la fin de l'utilisation de cette embarcation à partir de l'*Arago*.

I.2.2. Géodésie

Quatre stations principales (V. Hugo, J. Verne, B. Vian et M. Pagnol) ont été matérialisées et placées relativement à la station de référence H. Melville par mesures GPS différentielles, les coordonnées de cette dernière ayant été déterminées par mesures GPS en mode pseudo-distance.

Chaque journée comportait 4 sessions. La dégradation non annoncée affectant 2 ou 3 satellites, lors de 2 des sessions quotidiennes a donné des mesures de qualité médiocre pour la détermination de la position absolue de la station de référence. Par contre les mesures différentielles n'ont pas été affectées. La précision absolue des coordonnées horizontales de H. Melville est estimée meilleure que 25 m.

Les mesures redondantes, par GPS et azimuth-distance, ont conduit à compenser le réseau d'ordre 3 (Bessero, 1984). Par ailleurs, 3 bornes (P. Loti, J. Steinbeck et Aimé Toti) ont été placées par azimuth-distance, pour constituer le réseau d'ordre 4. Les coordonnées de ces stations et celles des lignes de base sont respectivement données en annexes I.2.a. et I.2.b.

I.2.3. Spatiopréparation

Sept pixels ont été sélectionnés à partir de zooms d'une image SPOT 2A. Leur identification a toutefois été rendue difficile car la réponse de nombreuses étendues de corail noir est identique à celle de la végétation. L'incertitude possible sur l'identification des points à l'intérieur du pixel (20 x 20 m) est de l'ordre du demi pixel. Le point de référence GPS étant adopté à 25 m près, la précision du positionnement absolu des pixels est donc estimée à 30 m. Quatre profils bathymétriques ont par ailleurs été effectués à l'intérieur du lagon au sondeur à main Hondex.

I.2.4. Localisation - Bathymétrie

Les reconnaissances bathymétriques ont été menées à raison d'un profil tous les 2 000 m, le bâtiment étant localisé au GPS naturel au moyen du récepteur TR5SB. Malgré l'activation du code SA, le suivi de profil est resté compatible avec l'échelle du levé. La météo clémente a favorisé le bon déroulement du sondage et l'enregistrement analogique du sondeur Raythéon fut de bonne qualité. Toutes les bandes ont été numérisées sur table Altek.

I.2.5. Marée

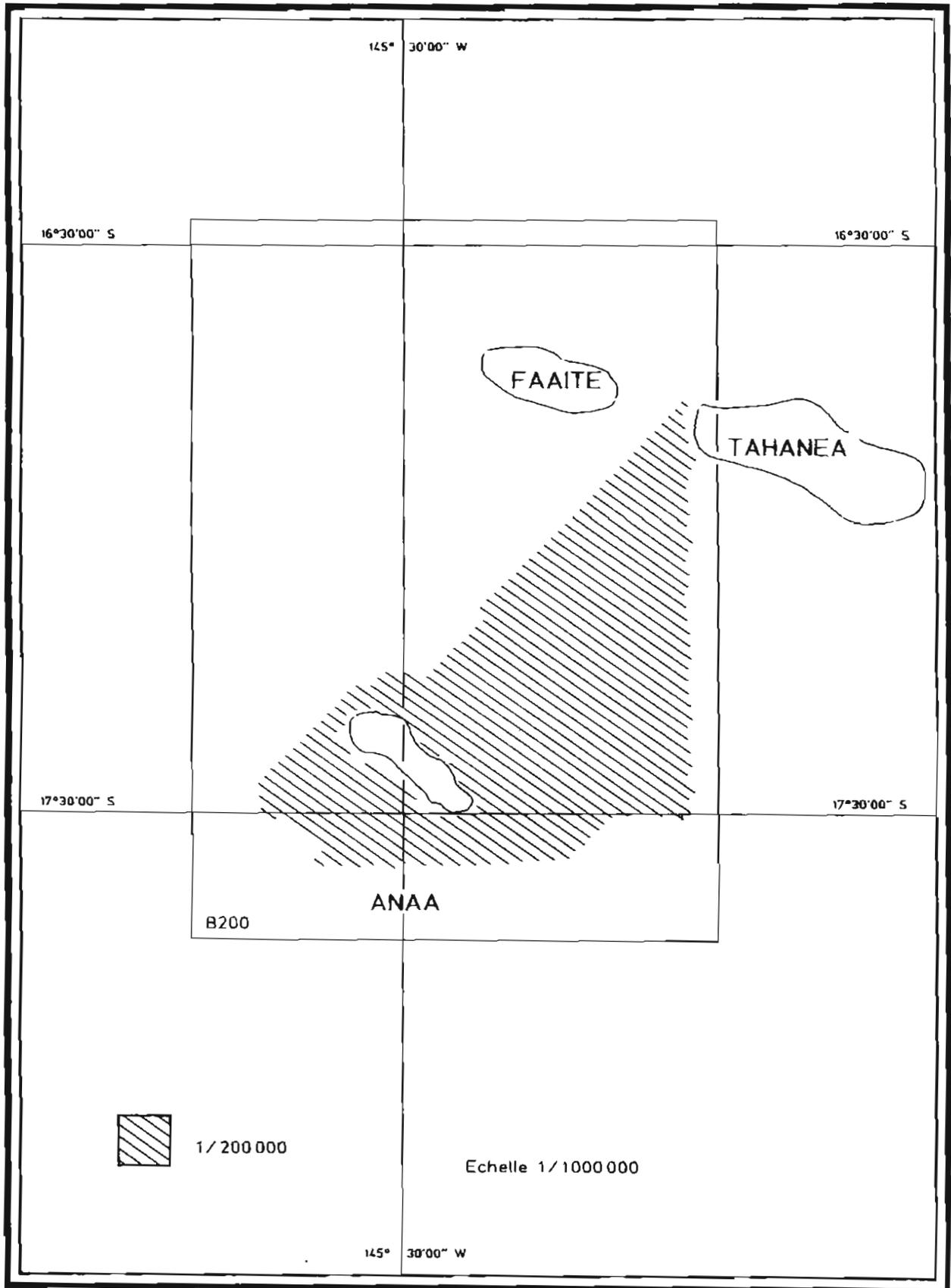
Un marégraphe Suber SLS23 a été mouillé dans le lagon d'Anaa du 12 mars au 19 avril 1992. Comme le lagon est pratiquement fermé, ce sont les perturbations météorologiques qui influent principalement sur le niveau.

Un marégraphe fut également mouillé du 10 mars au 18 avril 1992, à l'observatoire de référence de l'atoll voisin de Tahanea et les sondages ont été corrigés grâce à la marée ainsi observée.

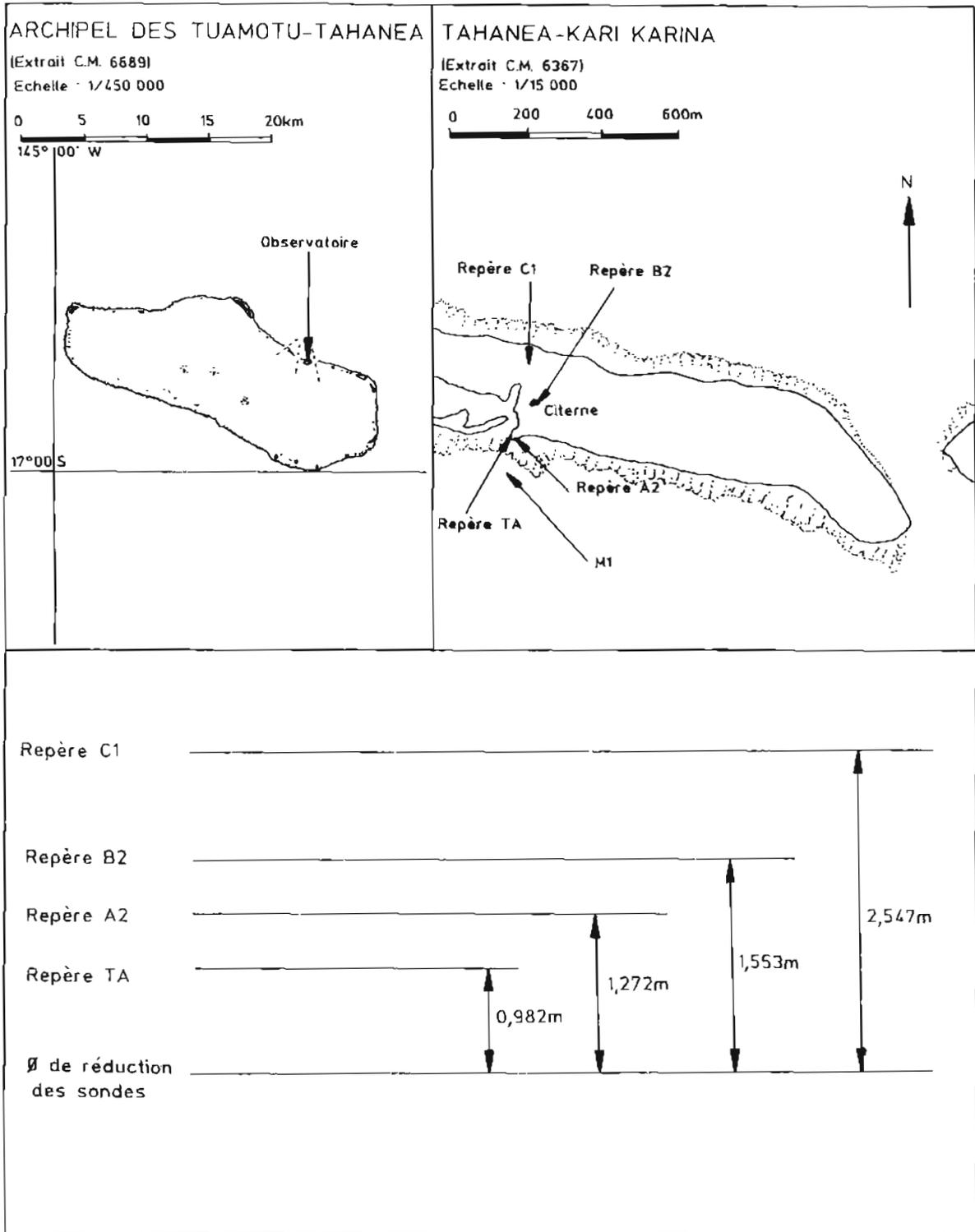
A Tahanea, les repères d'altitude mis en place en 1960 (MHPF, LV Batz de Trenquellon) ont été recherchés : A1 et C1 ont été retrouvés. Trois repères nouveaux ont été rattachés aux précédents (voir pl. 6.).

I.2.6. Documents rédigés

- 1 minute B200 (large) et B10 (lagon) ;
- 8 fiches géodésiques ;
- 1 dossier de spatiopréparation ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Tahanea.



Pl. 5. — Levé large Anaa



Pl. 6. — Observatoire de marée de Kari Karina (Tahanea)

Annexe I.2.a.

ANAA

Coordonnées des stations

Ellipsoïde : WGS 84
 Projection : UTM Sud fuseau 6
 Système géodésique : WGS 84
 Altitudes rapportées à l'ellipsoïde

Station	E	N	H
H. Melville	657 685,62	8 081 479,48	17,8
V. Hugo	656 706,51	8 075 190,59	5,5
J. Verne	659 297,72	8 072 199,53	4,3
B. Vian	663 772,96	8 073 740,18	4,2
M. Pagnol	670 199,27	8 066 100,05	4,8
J. Steinbeck	652 269,07	8 081 522,98	4
P. Loti	656 955,97	8 081 590,01	4,6
Aimé Toti	656 010,57	8 078 323,46	4

Annexe I.2.b.**Analyse GPS****1. Station H.Melville**

Position absolue obtenue par moyenne arithmétique des 5 meilleures sessions.

Coordonnées géographiques

$$L_{WGS84} = 17^{\circ} 20' 48,1911'' \text{ S}$$

$$G_{WGS84} = 145^{\circ} 30' 57,5121'' \text{ W}$$

Coordonnées géocentriques

$$X = - 5\,019\,787,77 \text{ m}$$

$$Y = - 3\,447\,944,16 \text{ m}$$

$$Z = - 1\,889\,499,76 \text{ m}$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

$$E_{WGS84} = 657\,685,62$$

$$N_{WGS84} = 8\,081\,479,48$$

$$H_{WGS84} = 17,82$$

2. Coordonnées géocentriques du vecteur Melville - Hugo (WGS 84)

$$dX = + 1\,032,90 \text{ m}$$

$$dY = + 1\,838,35 \text{ m}$$

$$dZ = - 6\,005,86 \text{ m}$$

3. Coordonnées géocentriques du vecteur Melville - Verne (WGS 84)

$$dX = + 3\,247,36 \text{ m}$$

$$dY = + 187,47 \text{ m}$$

$$dZ = - 8\,840,37 \text{ m}$$

4. Coordonnées géocentriques du vecteur Melville - Vian (WGS 84)

$$dX = + 5\,388,35 \text{ m}$$

$$dY = - 3\,757,76 \text{ m}$$

$$dZ = - 7\,336,43 \text{ m}$$

5. Coordonnées géocentriques du vecteur Melville - Pagnol (WGS 84)

$$dX = + 10\,943,28 \text{ m}$$

$$dY = - 7\,809,87 \text{ m}$$

$$dZ = - 14\,574,74 \text{ m}$$

I.3. ATOLL DE KATIU

I.3.1. Généralités

Les travaux sur l'atoll de Katiu se sont déroulés du 30 septembre au 9 octobre 1992 avec le concours de la frégate de surveillance *Prairie*. L'hélicoptère de celle-ci a grandement facilité les opérations de débarquement et d'embarquement du matériel : 8 heures de vol y ont été consacrées. Pendant la durée des travaux, la frégate est restée au mouillage dans plusieurs atolls des Tuamotu.

La Direction du Port de Papeete a prêté une baleinière de 21 pieds qui a été utilisée par l'équipe itinérante pour le déplacement du chargement dans le lagon.

Les travaux effectués par la mission à Katiu comprenaient :

- l'implantation d'un réseau géodésique ;
- la reconnaissance et le positionnement de pixels et quelques relevés bathymétriques dans le lagon pour établir la spatiopréparation d'une image SPOT.

Un levé bathymétrique expéditif au 1 : 1 000 des abords du quai et de la passe Pakata ne put malheureusement être rédigé car les enregistrements du sondeur portable Simrad, utilisé pour la première fois par l'Échelon en conditions réelles, étaient inexploitable. Aucune autre tentative d'utilisation opérationnelle de ce sondeur n'eut lieu. L'EPSHOM confirma par la suite que le levé de cette passe, réalisé en 1954 (LV Bonzon, MHEFO) n'avait pas à être repris.

I.3.2. Géodésie

Quatre stations principales (Corto Maltez, XIII, Mac Coy, Buck Danny) constituant le réseau d'ordre 3 ont été matérialisées et placées par mesures GPS différentielles par rapport à la station de référence Blueberry, située sur le quai dans la passe.

Les coordonnées absolues de la station Blueberry ont été déterminées à partir de mesures GPS en mode pseudo-distance par moyenne pondérée de chacune des sessions. La précision absolue des coordonnées horizontales de la station de référence est estimée meilleure que 10 mètres.

Cinq amers, bien ou peu visibles, ont par ailleurs été placés et fichés (ordre 4). L'un d'entre eux, le mât de pavillon avait été positionné en 1947 par mesures astronomiques (astrolabe à prisme) par le lieutenant de vaisseau Nay à bord du ketch *La Zélée*. Les coordonnées astronomiques alors observées diffèrent de moins de 2 secondes des coordonnées déterminées par GPS (WGS 84).

Le réseau a été ajusté en combinant mesures de géodésie classique et mesures GPS. La cohérence du réseau ainsi défini est de l'ordre de 10 cm.

Les coordonnées des différents amers et stations, l'analyse GPS et les coordonnées des vecteurs lignes de base, sont données en annexes I.3.a et I.3.b.

I.3.3. Spatiopréparation

Une préparation (extraction, zooms...) a été réalisée localement grâce aux moyens mis à disposition par la SPT. Cinq pixels d'une image SPOT 2A ont été reconnus sur le terrain et positionnés.

Les nombreuses étendues de corail noir affleurant ont donné sur les images SPOT une fausse couleur rouge proche de celle de la végétation. Il a été toutefois possible de les distinguer.

L'incertitude sur la position absolue des pixels est estimée à 20m.

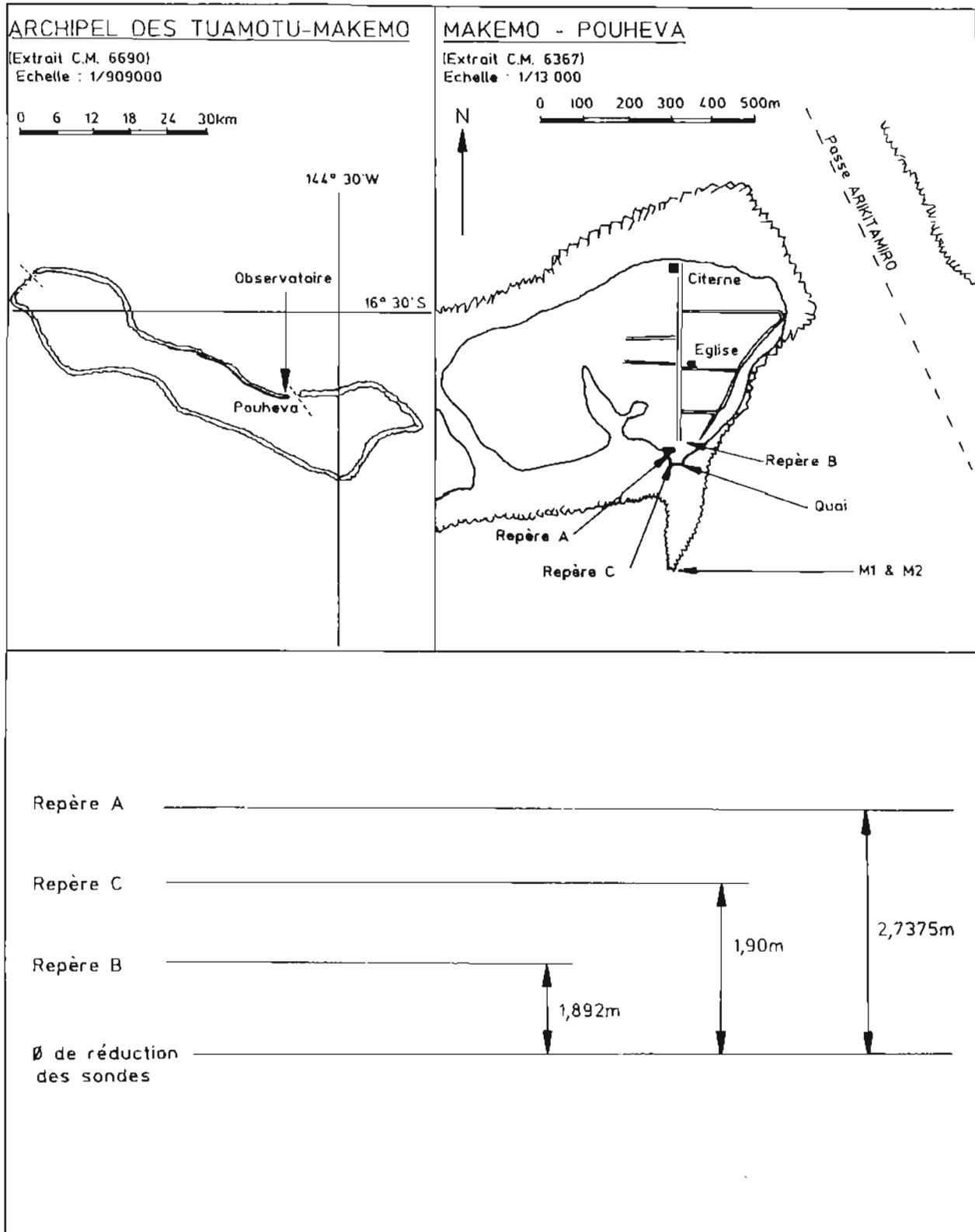
Quatre profils bathymétriques (58 sondes) ont été effectués au sondeur à main Hondex dans le lagon pour permettre de caler le modèle bathymétrique utilisé pour l'élaboration des spatio-cartes.

Un marégraphe Suber SLS13 n°107 a été mouillé simultanément le 30 septembre à l'observatoire de référence de Makemo, à l'extrémité sud du récif Pirautoe par 5 m de fond. Les repères de nivellement (A, B, C) qui matérialisaient le zéro des observations de 1991 (fiche d'observatoire de marée du 12 avril 1991) ont été retrouvés et contrôlés. Les écarts constatés avec les mesures de 1991 sont millimétriques. Le marégraphe a été relevé le 6 octobre 1992 (voir pl. 7).

Les profondeurs mesurées à Katiu n'ont pas été corrigées de la marée.

I.3.4. Documents rédigés

- 5 fiches géodésiques et 5 fiches d'amer ;
- 1 dossier de spatiopréparation ;
- 1 minute bathymétrique B 5 ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Makemo.



Pl. 7. — Observatoire de marée de Pouheva (Makemo)

Annexe I.3.a.

KATIU

Coordonnées des stations et amers

Ellipsoïde : WGS 84
 Projection : UTM Sud fuseau 6
 Système géodésique : WGS 84
 Altitudes rapportées à l'ellipsoïde

Station	E	N	H
Blueberry	782 587,57	8 188 413,15	8,7
Corto Maltez	777 425,23	8 177 893,04	7,5
XIII	771 090,40	8 186 213,57	7,2
Mac Coy	775 311,74	8 191 252,48	7,5
Buck Danny	789 465,68	8 182 407,06	7,0

Amer	E	N	H
Clocher	782 500,28	8 188 551,38	33,0
Mât de pavillon	782 594,65	8 188 434,69	12,3
Balise rouge	782 710,87	8 188 575,37	7,0
Amer antérieur	782 632,79	8 188 328,39	9,0
Amer postérieur	782 611,33	8 188 235,14	11,0

Nota : Toutes les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde WGS 84 ; la hauteur du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde, estimée à partir des mesures de tirant d'air du quai (Blueberry), est de 6,2 m.

Annexe I.3.b.

Analyse GPS

1. Station Blueberry

Position absolue obtenue par moyenne des quatre sessions pondérées par l'inverse des sigma X, Y, Z donnés par le logiciel de post-traitement Ashtech.

Coordonnées géographiques

$$L_{WGS84} = 16^{\circ} 22' 08,226'' \text{ S}$$

$$G_{WGS84} = 144^{\circ} 21' 16,821'' \text{ W}$$

Coordonnées géocentriques

$$X = - 4\,974\,369,82 \text{ m}$$

$$Y = - 3\,567\,254,74 \text{ m}$$

$$Z = - 1\,785\,940,72 \text{ m}$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

$$E_{WGS84} = 782\,587,57$$

$$N_{WGS84} = 8\,188\,413,15$$

$$H_{WGS84} = 8,73$$

2. Coordonnées géocentriques du vecteur **Blueberry - Corto Maltez** (WGS 84)

$$dX = - 493,95 \text{ m}$$

$$dY = + 5\,825,22 \text{ m}$$

$$dZ = -10\,148,36 \text{ m}$$

3. Coordonnées géocentriques du vecteur **Blueberry - XIII** (WGS 84)

$$dX = - 6\,132,00 \text{ m}$$

$$dY = + 9\,706,32 \text{ m}$$

$$dZ = - 2\,249,27 \text{ m}$$

4. Coordonnées géocentriques du vecteur **Blueberry - Mac Coy** (WGS 84)

$$dX = - 4\,882,44 \text{ m}$$

$$dY = + 5\,491,63 \text{ m}$$

$$dZ = + 2\,633,40 \text{ m}$$

5. Coordonnées géocentriques du vecteur **Blueberry - Buck Danny** (WGS 84)

$$dX = + 5\,411,57 \text{ m}$$

$$dY = - 4\,673,56 \text{ m}$$

$$dZ = - 5\,670,32 \text{ m}$$

I.4. ATOLL DE HARAIKI

I.4.1. Généralités

La mission a procédé du 12 au 15 décembre 1992 à l'implantation d'un réseau géodésique sur l'atoll de Haraiki et à une spatiopréparation de l'image SPOT de l'atoll, selon le cadre habituel des travaux menés dans les Tuamotu.

I.4.2. Géodésie - Spatiopréparation

Trois stations principales (Ature, Maito, Ihii) ont été matérialisées et placées par mesures GPS différentielles par rapport à la station de référence Marara, située sur le quai du village d'Opipine, côté lagon.

Les coordonnées absolues de la station Marara ont été déterminées à partir de mesures GPS en mode pseudo-distance par moyenne pondérée sur 2 jours d'observation. Malgré la durée limitée des mesures (environ 4 heures au total), le nombre élevé de satellites visibles (6 ou 7 par session) fait que l'incertitude estimée sur la position absolue de cette station est inférieure à 20 m. Les coordonnées des stations, l'analyse GPS et les coordonnées des vecteurs lignes de base sont données en annexe I.4.a. et I.4.b.

La spatiopréparation a été réalisée de manière classique en positionnant 4 pixels, dont 2 sont confondus avec les stations Maito et Ihii. Par ailleurs, 4 profils bathymétriques ont été suivis au sondeur à main Hondex. Les profondeurs n'ont pas été corrigées de la marée.

I.4.3. Documents rédigés

- 4 fiches géodésiques ;
- 1 dossier de spatiopréparation ;
- 1 minute bathymétrique B 5 ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Makemo.

Annexe I.4.a.

HARAIKI

Coordonnées des stations

Ellipsoïde : WGS 84
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : WGS 84
 Altitudes rapportées à l'ellipsoïde

Station	E	N	H
Marara	239 220,29	8 069 229,61	25,2
Maito	242 682,64	8 067 536,17	24,8
Ature	239 180,47	8 065 449,28	26,2
Ihii	237 521,74	8 068 807,98	25,3

Nota : Toutes les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde WGS 84 ; la hauteur du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde, estimée à partir des mesures de tirant d'air au quai du village d'Opipine est de 24 m.

Annexe I.4.b.

Analyse GPS

1. Station Marara

Position absolue obtenue par moyenne des 2 sessions pondérées par l'inverse des sigma X, Y, Z donnés par le logiciel de post-traitement Ashtech.

Coordonnées géographiques

$$L_{WGS84} = 17^{\circ} 26' 52,091'' \text{ S}$$

$$G_{WGS84} = 143^{\circ} 27' 18,820'' \text{ W}$$

Coordonnées géocentriques

$$X = -4\,889\,874,77 \text{ m}$$

$$Y = -3\,624\,233,66 \text{ m}$$

$$Z = -1\,900\,177,50 \text{ m}$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$$E_{WGS84} = 239\,220,29$$

$$N_{WGS84} = 8\,069\,229,61$$

$$H_{WGS84} = 25,23$$

2. Coordonnées géocentriques du vecteur **Marara - Ature** (WGS 84)

$$dX = + 857,52 \text{ m}$$

$$dY = + 745,64 \text{ m}$$

$$dZ = - 3\,603,98 \text{ m}$$

3. Coordonnées géocentriques du vecteur **Marara - Maito** (WGS 84)

$$dX = + 2\,467,33 \text{ m}$$

$$dY = - 2\,451,66 \text{ m}$$

$$dZ = - 1\,656,68 \text{ m}$$

4. Coordonnées géocentriques du vecteur **Marara - Ihii** (WGS 84)

$$dX = - 917,72 \text{ m}$$

$$dY = + 1\,439,68 \text{ m}$$

$$dZ = - 381,15 \text{ m}$$

1.5. ATOLL DE KAUKURA

1.5.1. Généralités

L'Échelon a effectué du 12 au 19 janvier 1993 des travaux géodésiques sur l'atoll de Kaukura.

L'*Arago* a apporté son soutien pour les opérations de débarquement, puis, Kaukura ne présentant ni passe praticable, ni mouillage sûr, le bâtiment, après s'être rendu dans divers atolls pour une mission d'intérêt public, a gagné le mouillage de Rangiroa pour attendre la fin des travaux.

Le réseau géodésique implanté par mesures GPS a été rapporté au système WGS 84 et dans le cadre d'une spatiopréparation, le détachement a également procédé au repérage et au positionnement de pixels remarquables d'une image du satellite SPOT prétraitée à la SPT.

1.5.2. Géodésie

La position de la station de référence Blanche Neige a été adoptée en prenant en compte 7 mesures GPS indépendantes. Sa précision planimétrique absolue est estimée à 5 m.

Le mât de pavillon positionné en 1951 par la MHPF (M. Guy Nay) n'a pas pu être retrouvé ; sa position ancienne diffère de 370 m de celle du mât de pavillon actuel. Compte tenu de la précision des mesures astronomiques et de la distance possible entre les 2 repères, les résultats sont compatibles.

Un réseau géodésique d'ordre 3 a été implanté dans l'atoll. Il est constitué de six stations GPS relatives (Grincheux, Atchoum, Dormeur, Prof, Joyeux, Timide).

Aux abords du village, les points caractéristiques (quai de la passe, clocher de l'église, nouveau mât de pavillon) ont été positionnés par des moyens optiques ainsi que la station complémentaire Simplet.

Bien qu'accessible uniquement aux embarcations navigant à l'intérieur du lagon, le quai du village a fait l'objet d'un levé topographique sommaire.

La position des différents points et l'analyse GPS font l'objet des annexes 1.5.a. et 1.5.b.

1.5.3. Spatiopréparation

Huit pixels remarquables ont été reconnus sur le terrain et positionnés.

D'autre part, 9 profils bathymétriques ont été effectués dans la partie nord-ouest du lagon au sondeur à main Hondex. Ces sondes, destinées au calcul du modèle bathymétrique appliqué à l'image SPOT, n'ont pas été réduites de la marée.

1.5.4. Documents rédigés

- 10 fiches géodésiques ;
- 1 minute de profils bathymétriques B5 ;
- 1 dossier de spatiopréparation.

Annexe I.5.a.

Coordonnées des points
Projection UTM Sud - fuseau 6 - WGS 84

Nota : toutes les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde WGS 84; la hauteur du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde, estimée à partir des observations faites au quai du village de Raitahiti (Station Blanche Neige), est de 27,9m.

Points d'ordre 3 (Stations GPS)

	E	N	H
Blanche-Neige (ordre 0)	513 595,75	8 267 165,76	29,04
Grincheux	520 065,60	8 270 533,74	28,50
Atchoum	519 913,21	8 257 785,08	28,30
Dormeur	535 768,88	8 250 839,49	28,50
Prof	554 089,87	8 249 789,29	29,42
Joyeux	538 812,26	8 262 903,88	24,83(*)
Timide	532 086,95	8 264 894,49	28,05

(*) pour l'altitude du point Joyeux, cf. annexe I.5.b, paragraphe 2.4.

Points d'ordre 5

	E	N	H
Simplet	515 882,93	8 270 066,97	28,5
Blanche Neige excentrée	513 558,06	8 267 194,33	29,0
Clocher	513 425,75	8 267 491,72	44,9
Mât de pavillon	513 507,95	8 267 160,32	30,0

Annexe I.5.b.

Analyse GPS

La position absolue de la station de référence Blanche Neige a été déterminée en faisant la moyenne des positions obtenues pour les différentes sessions par mesures GPS en mode pseudo-distance, selon le mode opératoire en usage à la MOP/PPT : calcul des lignes de base pour chaque session en laissant les 2 extrémités libres puis calcul de la moyenne des positions de la station de référence ainsi obtenues .

Ensuite, les lignes de bases ont été recalculées en fixant la position adoptée pour la station de référence.

Nota : Toutes les coordonnées sont données dans le système géodésique WGS 84

1. Position absolue de la station GPS de référence Blanche Neige

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6 (WGS 84)

E	N	H ellips.
513 595,75	8 267 165,76	29,04

Précision estimée des coordonnées absolues adoptées :
5 m en horizontal
10 m en vertical

Coordonnées géographiques de Blanche Neige

L = 15° 40' 24,921" S

G = 146° 52' 23,271" W

2. Position des stations GPS esclaves par double différence

Précision estimée des vecteurs de base
20 cm en X et Y
20 cm en Z

2.1. Stations Atchoum et Grincheux

2.1.1. Coordonnées géocentriques des vecteurs de base

En plus des lignes de base Blanche Neige -> Atchoum et Blanche Neige -> Grincheux, il a été possible de faire une mesure GPS entre Atchoum et Grincheux, ce qui a permis de fermer un triangle GPS. L'erreur de fermeture n'étant pas nulle a été répartie de façon égale sur les 3 vecteurs de base suivant la méthode suivante :

Notations : B, A, G représentent respectivement les points Blanche Neige, Atchoum et Grincheux,

\underline{BA}_{GPS} représente le vecteur mesuré de B vers A,

\underline{BA}_{AD} représente le vecteur adopté de B vers A.

On définit l'erreur de fermeture par :

$$\epsilon = \underline{BA}_{GPS} + \underline{AG}_{GPS} + \underline{GB}_{GPS}$$

Le problème consiste à trouver les vecteurs \underline{BA}_{AD} , \underline{AG}_{AD} et \underline{GB}_{AD} tels que :

$$\underline{BA}_{AD} + \underline{AG}_{AD} + \underline{GB}_{AD} = \underline{0}$$

et que les corrections ($\underline{BA}_{GPS} - \underline{BA}_{AD}$, ...) soient les plus petites possible.

La solution est de répartir l'erreur également sur les 3 vecteurs, c'est-à-dire de poser :

$$\underline{BA}_{AD} = \underline{BA}_{GPS} - \frac{1}{3} \underline{\epsilon}$$

$$\underline{AG}_{AD} = \underline{AG}_{GPS} - \frac{1}{3} \underline{\epsilon}$$

$$\underline{GB}_{AD} = \underline{GB}_{GPS} - \frac{1}{3} \underline{\epsilon}$$

Coordonnées géocentriques

	X	Y	Z
\underline{BA}_{GPS}	5 587,93	- 3 906,74	- 9 028,84
\underline{AG}_{GPS}	- 2 811,33	- 2 007,38	12 278,03
\underline{GB}_{GPS}	- 2 776,73	5 914,35	- 3 248,95
$\underline{\epsilon}$	- 0,13	0,23	0,24
\underline{BA}_{AD}	5 587,99	- 3 906,82	- 9 028,92
\underline{AG}_{AD}	- 2 811,29	- 2 007,46	12 277,95
\underline{GB}_{AD}	- 2 776,69	5 914,27	- 3 249,03

Remarque : Malgré des sessions de plus de deux heures à 7 ou 8 satellites, la précision reste visiblement très inférieure à celle annoncée par le constructeur (5 mm et 1 ppm soit de l'ordre de 2 cm) puisque l'erreur de fermeture circulaire atteint 36 cm. Cette erreur de fermeture est de l'ordre des erreurs citées par H. Bisquay pour des lignes de base de longueur analogue lors de l'évaluation des récepteurs GPS Ashtech (Bisquay, 1991).

2.1.2. Coordonnées géographiques des stations

	LATITUDE S	LONGITUDE W
Atchoum	15° 45' 30,075"	146° 48' 50,769"
Grincheux	15° 38' 35,150"	146° 48' 46,027"

2.1.3. Coordonnées en projection des stations : UTM Sud fuseau 6

	E	N	H _{Ellips}
Atchoum	519 913,21	8 257 785,08	28,30
Grincheux	520 065,60	8 270 533,74	28,50

2.2 Station Dormeur

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Blanche Neige - Dormeur

$$dX = 15\,868,32 \text{ m}$$

$$dY = -16\,143,69 \text{ m}$$

$$dZ = -15\,696,28 \text{ m}$$

Coordonnées géographiques

$$L = 15^\circ 49' 15,487'' \text{ S}$$

$$G = 146^\circ 39' 57,537'' \text{ W}$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

E = 535 768,88
 N = 8 250 839,49
 H = 28,50

2.3 Station Prof

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Blanche Neige - Prof

dX = 26 193,91 m
 dY = -31 291,19 m
 dZ = -16 672,07 m

Coordonnées géographiques

L = 15° 49' 48,475" S
 G = 146° 29' 41,559" W

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

E = 554 089,87
 N = 8 249 789,29
 H = 29,42

2.4 Station Joyeux

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Blanche Neige - Joyeux

dX = 14 793,45 m
 dY = -20 471,86 m
 dZ = -4 075,46 m

Coordonnées géographiques

L = 15° 42' 42,681" S
 G = 146° 38' 15,924" W

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

E = 538 812,26
 N = 8 262 903,88
 H = 24,83

Remarque : L'altitude ellipsoïdique de Joyeux est inférieure de plus de 3 m à toutes les autres altitudes observées dans l'atoll, alors que son altitude au dessus du niveau moyen est proche de celle des autres stations. Bien que rien ne permette d'invalider la session GPS n° 7 qui a servi à positionner cette station et que la station soit à proximité immédiate de la passe Faape, une erreur sur la mesure GPS semble plus probable qu'une dépression de 3 m du niveau moyen.

2.5 Station Timide

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Blanche Neige - Timide

dX = 10 644,39 m
 dY = -15 144,28 m
 dZ = -2 169,39 m

Coordonnées géographiques

L = 15° 41' 38,237" S
 G = 146° 42' 01,984" W

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 6

E = 532 086,95
 N = 8 264 894,49
 H = 28,05

I.6. ATOLL DE MARUTEA NORD ET RATTACHEMENTS INTER-ÎLES

I.6.1. Généralités

Le patrouilleur P400 *La Tapageuse* a apporté son concours à l'Échelon Polynésie de la MOP, pour des travaux hydrographiques aux Tuamotu, du 24 mai au 4 juin 1993. La mission consistait à rattacher entre eux plusieurs atolls des Tuamotu, par mesures GPS simultanées afin d'établir les bases du Réseau de Référence de Polynésie Française. Par ailleurs, une image SPOT de Marutea Nord a fait l'objet d'une préparation sur le terrain : identification et positionnement de points de calage, levé bathymétrique sommaire.

La fin de la mission aura été marquée par la récupération difficile de l'équipe de Marutea et le retournement d'une baleinière dans une mer formée. Seuls des dégâts et pertes matériels ont été à déplorer.

Les travaux ont pu être menés grâce à une synchronisation des interventions de l'équipe sur l'atoll d'Anaa et de celles dépêchées sur les atolls à rattacher. Une analyse des éphémérides des satellites avait été effectuée au préalable pour augmenter les chances de l'opération.

Enfin, compte tenu des distances entre atolls, il était nécessaire d'utiliser le couple de récepteurs bi-fréquences GPS Ashtech LDXII. Profitant de la vitesse de transit du P400 ainsi que du concours d'un *Gardian* de l'escadrille 12 S pour transférer le récepteur d'Anaa vers Marutea, les travaux ont été poursuivis sur ce dernier atoll et Haraiki sans difficulté.

I.6.2. Géodésie

a) - Rattachements inter-îles

Les points fondamentaux des réseaux locaux implantés naguère par la MOP sur les atolls de Faaité, Katiu puis au cours de la mission de mai 1993 à Marutea Nord ont été rattachés par mesures GPS différentielles à partir du point H. Melville situé sur l'atoll d'Anaa. Ce point de référence fait partie des sites d'observation Doris. L'atoll d'Haraiki a lui, été rattaché à partir de D'Artagnan, point fondamental de Marutea.

L'analyse des mesures GPS et les coordonnées des lignes de base font l'objet de l'annexe I.6.a.

b)- Marutea Nord

Quatre bornes ont été placées sur l'atoll de Marutea. Les stations ont été positionnées par rapport au point de référence D'Artagnan, par mesures GPS différentielles relatives ou par mesures classiques quand les portées étaient réduites. L'analyse des données GPS et les coordonnées de ces points sont données en annexes I.6.b. et I.6.c.

I.6.3. Spatiopréparation

Cinq pixels ont été reconnus sur les zooms d'image SPOT et identifiés sur le terrain. Quelques profils bathymétriques ont été réalisés dans une zone de couleur de fond homogène pour compléter la spatiopréparation.

I.6.4. Documents rédigés

- un cahier de spatiopréparation ;
- 4 fiches géodésiques ;
- une minute de profils bathymétriques B10.

Annexe I.6.a.

Analyse GPS : Rattachements entre atolls (WGS 84)

Des mesures GPS différentielles ont été effectuées entre les atolls d'Anaa, Faaite, Katiu, Marutea Nord et Haraiki. Sur ces lignes de base longues de 60 à 300 km, deux sessions d'une heure trente au moins ont été effectuées.

La station H.Melville à Anaa, dont les coordonnées sont celles adoptées en juin 1992, a servi de référence pour Katiu et Faaite. Celle de Marutea Nord, baptisée D'Artagnan a été utilisée pour le rattachement d'Haraiki.

Coordonnées géocentriques adoptées pour la station H.Melville :

X = - 5 019 787,77 m
Y = - 3 447 944,16 m
Z = - 1 889 449,76 m

1. Anaa (H. Melville) - Faaite (Jésus)

dX = - 7 349,36 m
dY = - 26 120,86 m
dZ = 68 204,10 m

2. Anaa (H. Melville) - Katiu (Blueberry)

dX = 45 422,67 m
dY = - 119 311,97 m
dZ = 103 557,88 m

3. Anaa (H. Melville) - Marutea Nord (D'Artagnan)

dX = 143 089,18 m
dY = - 218 787,76 m
dZ = 37 354,67 m

4. Marutea Nord (D'Artagnan) - Haraiki (Marara)

dX = - 13 158,65 m
dY = 42 512,59 m
dZ = - 48 029,83 m

Annexe I.6.b.

Analyse GPS : Marutea Nord

Deux stations et un pixel ont été placés par GPS différentiel à Marutea Nord par rapport à la station de référence D'Artagnan.

Toutes les coordonnées sont données dans le système géodésique WGS 84. Les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde.

1. Pixel Ouest

Coordonnées du vecteur de base D'Artagnan - Pixel Ouest

$$dX = - 18\,560,9 \text{ m}$$

$$dY = 21\,288,4 \text{ m}$$

$$dZ = 6\,907,7 \text{ m}$$

Coordonnées de Pixel Ouest en projection UTM fuseau 7 Sud

$$E = 252\,329,43 \text{ m}$$

$$N = 8\,126\,920,35 \text{ m}$$

$$H = 3,16 \text{ m}$$

2. Station Athos

Coordonnées du vecteur de base D'Artagnan - Athos

$$dX = 6\,838,94 \text{ m}$$

$$dY = 1\,340,27 \text{ m}$$

$$dZ = - 20\,396,56 \text{ m}$$

Coordonnées de Athos en projection UTM fuseau 7 Sud

$$E = 283\,845,92 \text{ m}$$

$$N = 8\,098\,702,07 \text{ m}$$

$$H = 3,22 \text{ m}$$

3. Station Aramis

Coordonnées du vecteur de base D'Artagnan - Aramis

$$dX = 734,67 \text{ m}$$

$$dY = 756,05 \text{ m}$$

$$dZ = - 3\,405,79 \text{ m}$$

Coordonnées de Aramis en projection UTM fuseau 7 Sud

$$E = 280\,456,00 \text{ m}$$

$$N = 8\,116\,448,01 \text{ m}$$

$$H = 3,53 \text{ m}$$

Annexe I.6.c.**MARUTEA NORD**

Coordonnées des stations

Ellipsoïde : WGS 84
Projection : UTM Sud fuseau 7
Système géodésique : WGS 84
Altitudes rapportées à l'ellipsoïde

Station	E	N	H
D'Artagnan	280 581,11	8 120 011,72	3,24
Athos	283 845,92	8 098 702,07	3,22
Aramis	280 456,00	8 116 448,01	3,53
Porthos	277 325,40	8 121 483,15	3,2

Nota : Toutes les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde WGS 84; la hauteur du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde, estimée à partir des observations faites au quai de la passe, est de 2,7 m.

CHAPITRE II

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES AUX ÎLES MARQUISES

II.1. LEVÉ DES ABORDS DU BANC CLARK

II.1.1. Généralités

Le levé à petite échelle des approches des Îles Marquises s'inscrit dans un programme régional d'hydrographie qui a débuté en 1986. Dans ce cadre, une reconnaissance bathymétrique des abords du banc Clark, situé à 50 M environ dans le nord-est de Nuku Hiva, a été réalisée en février 1992 par l'*Arago*.

Depuis le levé de reconnaissance de 1955 (MHEFO, LV Bonzon) relaté dans les *Annales Hydrographiques* 1957, Tome 8, il semblait nécessaire de préciser la position du banc, sans toutefois engager la sécurité du bâtiment.

Trois raisons majeures ont conduit à ne pas effectuer un levé détaillé à grande échelle du banc qu'il conviendra donc de faire :

- les fonds probablement voisins de 10 m n'autorisaient pas le sondage par l'*Arago* ;
- la précision du positionnement en GPS naturel, avec activation du code SA n'aurait pas été compatible avec l'échelle du levé ;
- la mise à l'eau des vedettes par mer 3-4 n'était pas envisageable du fait des mouvements de plate-forme.

Ayant laissé passer une dépression tropicale baptisée Cliff, l'*Arago* a réalisé le levé du 10 au 13 février 1992, dans des conditions de mer 3-4, assez difficiles. La nuit, il évoluait au large du banc laissant les profils de reconnaissance aux abords mêmes de ce dernier pour le jour. Les transits nécessaires à cette démarche et les fréquents décrochages du sondeur Raythéon ont ralenti la progression du levé dont les limites figurent sur la planche 8.

II.1.2. Localisation

La constellation GPS a permis d'assurer un positionnement du bâtiment 24 heures sur 24 en mode 2D+T, avec un GDOP inférieur à 10.

La qualité du positionnement a été systématiquement contrôlée afin de ne pas subir inconsciemment l'activation du code SA, particulièrement aux abords du banc. Moyennant quelques précautions opératoires, la technique différentielle classique consistant à transporter des corrections de positions, déterminées à une station de référence à terre, a été utilisée :

- le récepteur GPS de référence avait été disposé à la station Résidence, située en baie de Taiohae (Nuku Hiva) à 100 km environ de l'*Arago* ;

- les créneaux horaires étaient sélectionnés afin d'assurer un GDOP inférieur à 2 ;

- les constellations étaient figées à terre et à bord (mode manuel sur le récepteur TR5SB) ;

- les mesures de référence à terre étaient coordonnées avec les périodes de sondage des abords du banc ;

- les différences entre les paramètres météorologiques, affectant le signal GPS à bord et à terre, ont été négligées.

Pour les profondeurs inférieures à 500 m, la rédaction en temps différé a été effectuée en calculant par interpolation linéaire entre 2 tops, les δN (Northing) et δE (Easting) de chaque sonde. La cadence d'acquisition à la station de référence était de 15 s tandis qu'à bord la cadence de topage était en général de 2 min.

II.1.3. Bathymétrie

Les sondages ont été effectués à raison d'un profil tous les 2 000 m au large du banc et tous les 1 000 m au voisinage immédiat. La mer agitée provoqua de fréquents décrochages du sondeur Raythéon. Bien que de qualité médiocre, les enregistrements ont cependant été numérisés avec fiabilité. Pour des raisons de sécurité de navigation, l'isobathe 200 m n'a pu être complètement déterminée.

II.1.4. Hydrologie - Marée

La célérité 1 500 m.s⁻¹ étant affichée sur le sondeur, les profondeurs mesurées ont été corrigées de la célérité, déduite des mesures effectuées au bathycélérimètre jusqu'à 916 m et des données des « echo-sounding correction tables » (NP139, 3^e édition, 1980) au-delà.

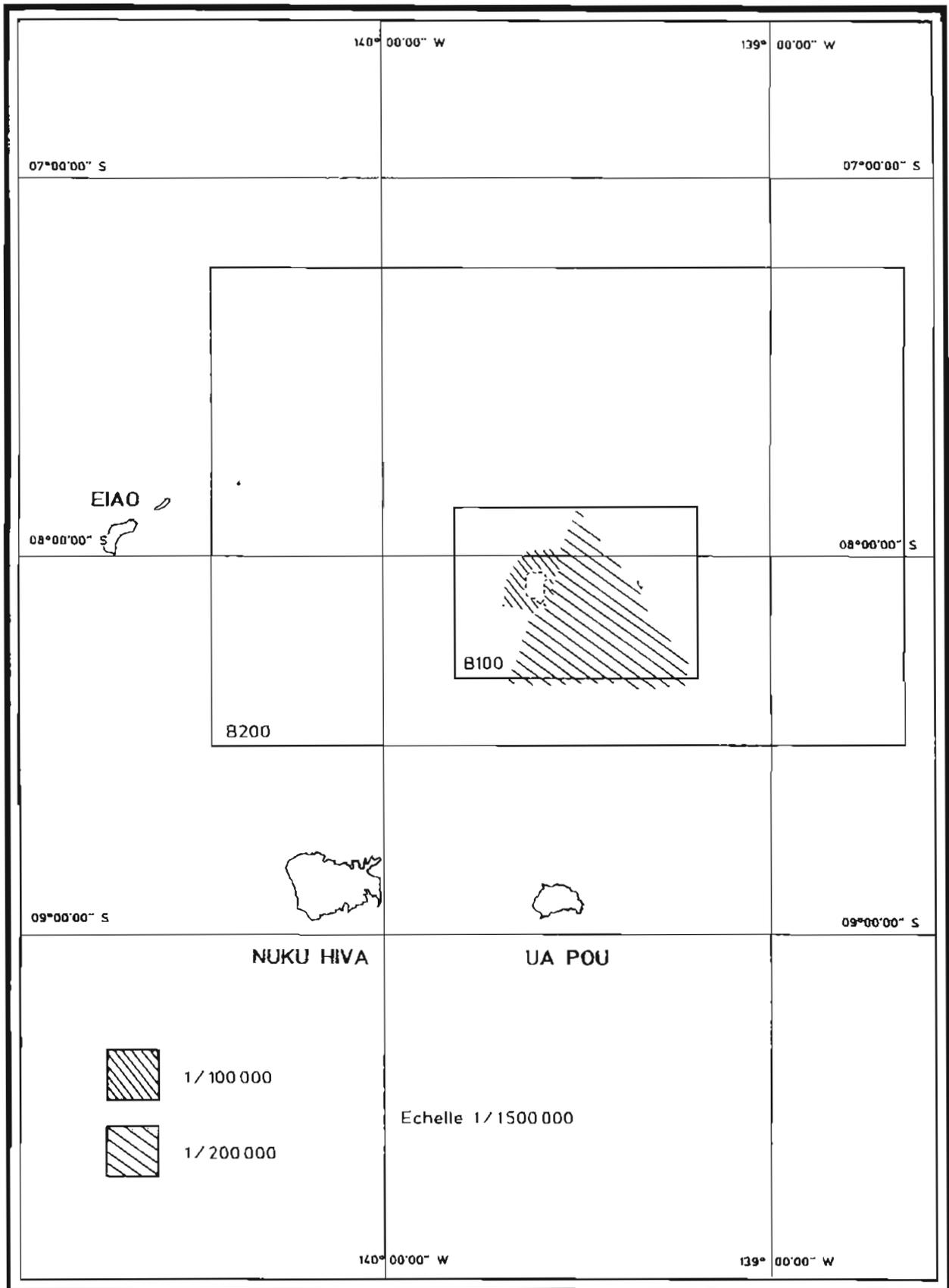
D'autre part, les sondes inférieures à 200 m ont été réduites de la marée observée à Taiohae (Nuku Hiva), observatoire de référence pour les Marquises.

Le zéro de réduction des sondes se situe à 6,727 m en dessous du repère de nivellement (repère fondamental A) scellé horizontalement dans le soubassement du mur du bâtiment des Travaux Publics (voir pl. 9).

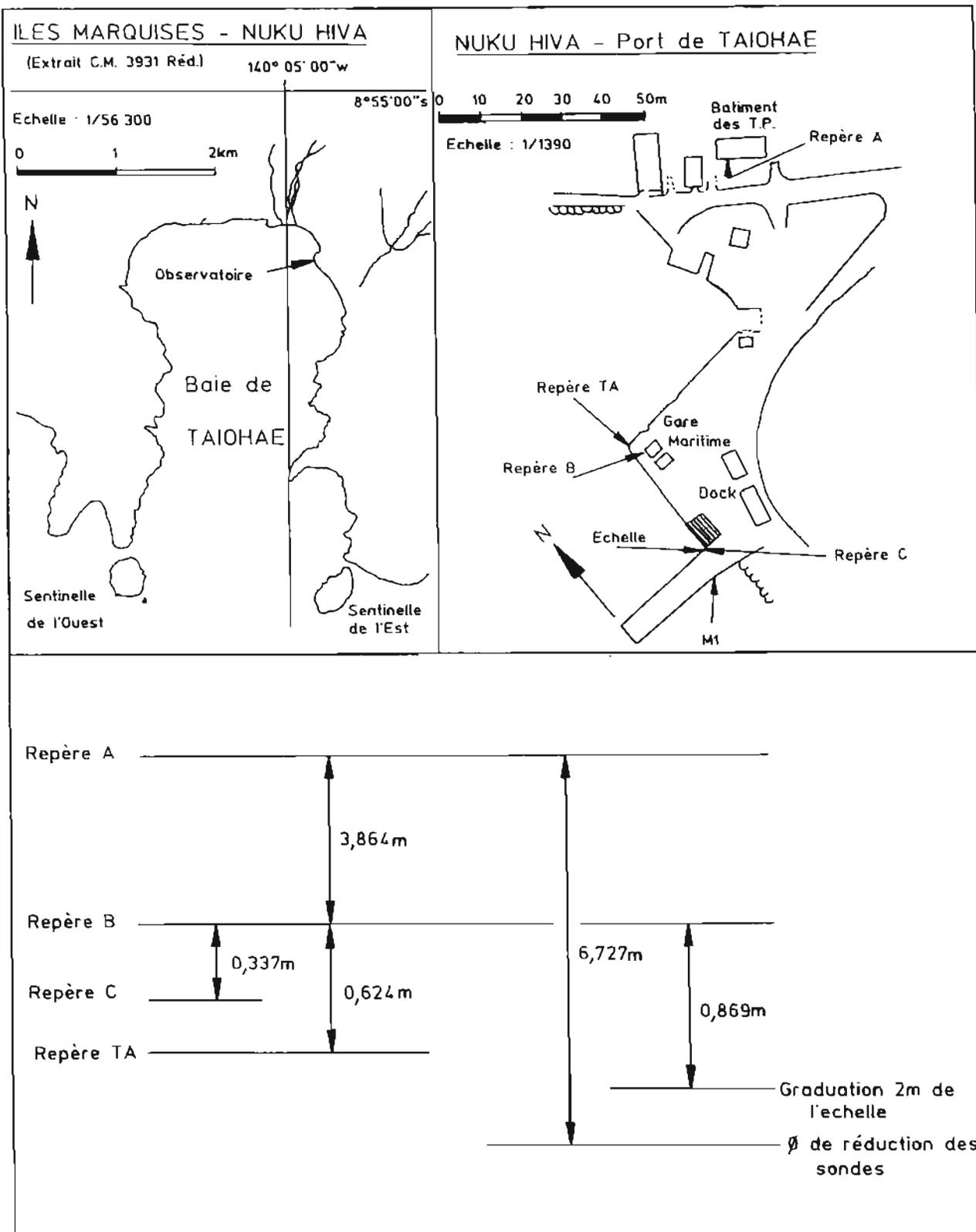
II.1.5. Documents rédigés

- une minute B200¹ ;
- une minute B100¹ ;
- une fiche d'observatoire de marée : Taiohae.

La minute B100¹ a été rédigée pour les abords immédiats du banc. La précision de la localisation et le choix de sonde effectué au 1 : 100 000 étaient compatibles avec l'échelle de rédaction.



Pl.8. — Levé des abords du banc Clark



Pl. 9. — Observatoire de marée de Taiohae (Nuku Hiva)

II.2. LEVÉ DE LA BAIE D'ANAHO (NUKU HIVA)

II.2.1. Généralités

La baie d'Anaho, située au nord de Nuku Hiva est une baie profonde, qui offre dans sa partie sud un mouillage abrité des vents et de la houle dominante de nord-est. L'abri est très fréquenté par les voiliers hauturiers, bien qu'il n'y ait pas de village véritablement habité dans la baie.

La baie a été levée au 1 : 5 000, dans les limites précisées sur la planche 10 :

- le réseau géodésique a été implanté en avril 1990 ;
- la partie sud a été levée en février 1992, les conditions météorologiques rencontrées interdisant l'accès aux stations à l'ouvert de la baie ;
- en mai 1992, le levé était achevé malgré les intempéries.

II.2.2. Géodésie - Localisation

Le réseau géodésique qui a été implanté, au cours de la mission d'avril 1990 a été rattaché au réseau existant, défini dans le système géodésique IGN 72. Il s'appuie également sur le point Muscadet, déterminé relativement à la station GPS Référence située en baie d'Hatiheu, par mesures GPS différentielles.

Les coordonnées des stations, en projection UTM Sud, fuseau 7, système géodésique IGN 72 (annexe II.2.a), ont été déterminées selon les éléments de transformation WGS 84 → IGN 72 (Nuku Hiva) suivants :

$$\begin{aligned} E_{IGN72} &= E_{WGS84} + 62 \text{ m} \\ N_{IGN72} &= N_{WGS84} - 177 \text{ m} \\ H_{IGN72} &= H_{WGS84} + 0 \text{ m} \end{aligned}$$

Ces paramètres, qui proviennent d'observations antérieures (Le Gouic, 1990), ont été confirmés par de nouvelles mesures GPS réalisées en 1991.

La borne Muscadet, difficilement retrouvable car immergée ou ensablée quotidiennement, a été excentrée pour une nouvelle station, matérialisée et baptisée Muscadet Exc.

Au cours du sondage, l'écart quadratique moyen sur les points déterminés par trois lieux optiques était en moyenne de 1 m et n'excédait que rarement les 3 m.

II.2.3. Bathymétrie

La baie d'Anaho a été sondée en vedette localisée à l'optique, au 1 : 5 000. La station Cabernet, qui devait permettre de prolonger quelques profils vers le nord afin d'assurer le recouvrement avec le levé large n'a jamais pu être stationnée du fait des conditions météorologiques. Le levé de recouvrement a ainsi fait l'objet d'une mission ultérieure, réalisée par l'*Arago* (voir II.6.3).

Le contrôle au sondeur latéral du mouillage et de l'axe d'accès à la baie n'a pas été réalisé en raison d'avaries répétées du matériel. La densité du levé, le mode de positionnement utilisé et l'homogénéité des

fonds permettent cependant d'assurer que ce levé régulier au sondeur vertical est suffisant.

II.2.4. Topographie - Natures de fond

a) Comme pour la baie d'Hatiheu adjacente, la côte accore, est bordée de falaises abruptes. Sur la minute en projection, les laisses de pleine et basse mer sont donc souvent confondues.

La minute de topographie qui a été rédigée, et qui fait foi, intègre les éléments mesurés et vérifiés sur le terrain et ceux des minutes de photogrammétrie (minutes P) :

- dans la partie sud de la baie, le trait de côte de la minute P coïncide avec les mesures faites sur le terrain. Les éléments précisés dans le rapport particulier accompagnant la restitution sont conformes aux observations ; la cote du trait de côte est en effet à 1,6 m au dessus du zéro de réduction des sondes ;

- les réserves sur la restitution effectuée à partir de clichés au 1 : 25 000 ont été confirmées dans la partie nord de la baie aux abords du motu Iti. Dans cette partie, une restitution au 1 : 5 000 réalisée par le Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme du Territoire plus proche de la réalité et cohérente avec les limites des profils bathymétriques a été utilisée ;

- les « brisants » portés sur la minute P sont généralement des retours d'écume provoqués par la houle qui bat sur les falaises. Ils ne révèlent pas la présence de hauts-fonds, leur suppression a donc été proposée ;

- le fond de la baie, où les vagues déferlent fréquemment, a été topographié afin de préciser et corriger les limites « bleues » des minutes P. La bordure du platier de corail a été cotée pour compléter le levé bathymétrique.

b) En complément des indications figurant sur la CM 5988, la nature superficielle du fond a été déterminée au plomb suiffé tous les 500 m environ.

II.2.5. Marée

La marée a été observée en baie d'Anaho pendant les périodes s'étendant du 9 au 22 février 1992 et du 9 au 19 mai 1992.

Les deux périodes d'observation ont été utilisées pour adopter par concordance avec la marée de Taiohae, la position du zéro de réduction des sondes en baie d'Anaho ; par ailleurs un marégraphe Suber avait été placé les deux fois au même endroit grâce au concours des plongeurs.

Au cours du levé, une nouvelle échelle de marée, calée au zéro hydrographique, fut installée à l'observatoire de référence pour les Îles Marquises, sur le quai de Taiohae (voir pl. 9).

II.2.6. Information nautique

a) Bien qu'aucun ravitaillement ne soit possible, la baie d'Anaho est régulièrement fréquentée par les voiliers hauturiers. C'est une baie profonde encadrée de

falaises abruptes qui offre dans sa partie sud un mouillage bien abrité de la houle et des vents dominants de secteur est. On mouille par 20 m, sur fond de sable, à environ 550 m de la pointe de la Mésange (CM 5988), dans le 175°.

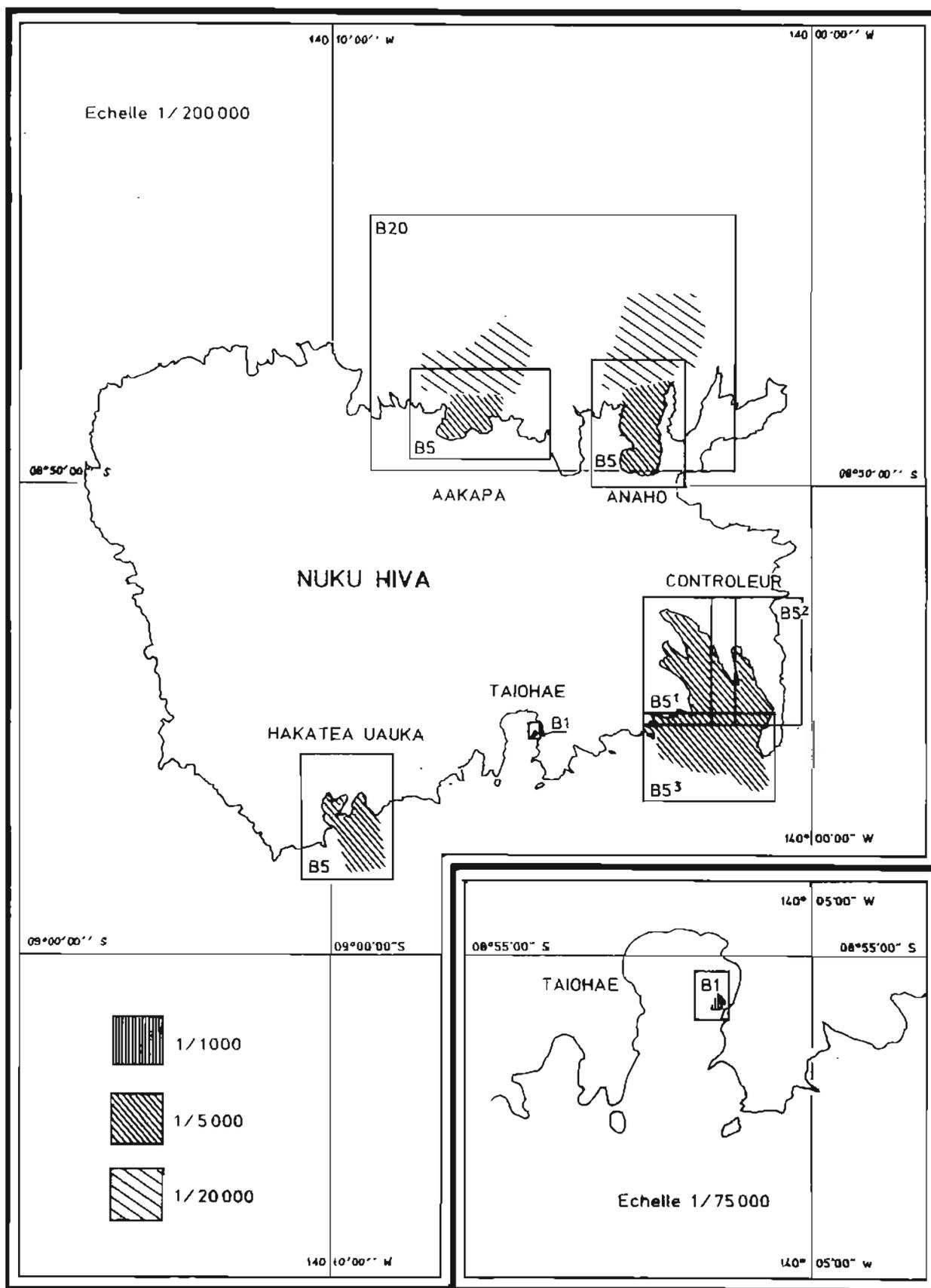
La houle parvient toutefois à se propager par réflexion au fond de la baie interdisant l'accès à la plage de sable blanc du fait du déferlement des vagues au voisinage du platier de corail. Un petit chenal situé à l'ouest, permet cependant aux embarcations légères d'accéder au rivage. Un chemin de montagne escarpé conduit alors au village d'Hatiheu.

b) Il n'y a pas de courant, ni à l'ouvert de la baie, ni au voisinage du point de mouillage.

c) Des vues de côtes ont été prises, mais la couverture nuageuse quasi-permanente, leur fait perdre quelque peu leur intérêt.

II.2.7. Documents rédigés

- une minute B5 et TN5 ;
- sept fiches géodésiques ;
- un dossier vue de côte ;
- deux fiches d'observatoire de marée : Taiohae et Anaho.



Pl. 10. — Levés à Nuku Hiva

Annexe II.2.a.**NUKU HIVA****Baie d'Anaho**

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 72
 Les altitudes sont référencées par rapport au géoïde.

Station	E	N	H
GPS Référence	600 792,18	9 023 764,23	3,9
Muscadet	602 889,79	9 023 960,82	0,5
Muscadet exc.	602 896,26	9 023 945,95	1,9
Beaujolais	603 139,65	9 024 760,71	6,4
Julienas	604 110,24	9 024 208,03	1,0
Pommard	604 046,31	9 025 811,02	1,8
Médoc	602 751,36	9 026 108,07	2,1
Macon	604 669,94	9 027 446,04	2
Cabernet	604 028,2	9 026 727,8	2
Sauvignon	602 027,6	9 026 733,7	2

II.3. LEVÉ DES ABORDS DU QUAI DE LA BASE DE PÊCHE DE TAIOHAE

II.3.1. Généralités

A l'occasion d'une mission de l'*Arago* à Nuku Hiva, un levé bathymétrique des abords du nouveau quai de la base de pêche de Taiohae a été réalisé afin d'actualiser le levé de la baie de 1988 (minute B5 - n° EPSHOM 91.6 - Baie de Taiohae). Les limites du levé sont précisées sur la planche 10.

II.3.2. Géodésie - Localisation - Bathymétrie

La localisation était assurée par deux théodolites en traversiers et un alignement à terre pour les profils réguliers perpendiculaires au quai, par trois théodolites pour les profils traversiers.

Les stations se trouvant aux extrémités sud (quai coin SW) et nord du quai (quai coin NW) ont été durablement matérialisées à l'aide de goujons, les stations intermédiaires par peinture. Les coordonnées de ces points sont données en annexe II.3.a.

Le sondage a été réalisé au 1 : 1 000 par coralline équipée d'une base hors-bord connectée à un sondeur Deso 20. Les sondes ont été réduites de la marée observée à Taiohae (voir pl. 9).

II.3.3. Information nautique

Le quai a été ouvert au trafic maritime le 20 août 1992. Il n'était malheureusement pas utilisable en toute sécurité à cette date. En effet, la baie de Taiohae est très ouverte à la houle et le ressac aux abords du quai, particulièrement aux étales, est important. L'*Arago* y a endommagé sa coque car les défenses, fixes et horizontales, étaient à l'époque très basses. Les plans du quai ont été obtenus auprès du chantier qui l'avait construit. Situé à environ 3 km du village, il n'était alimenté ni en eau ni en électricité en août 1993.

II.3.4. Documents rédigés

- une minute B1 ;
- 2 fiches géodésiques.

Annexe II.3.a.**NUKU HIVA**

Base de pêche de Taiohae

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International

Projection : UTM Sud fuseau 7

Système géodésique : IGN 72

Les altitudes sont rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Quai coin SW	599 502,6	9 013 474,1	2,1
Quai coin NW	599 533,2	9 013 569,1	2,1

II.4. LEVÉ DE LA BAIE DU CONTRÔLEUR

II.4.1. Généralités

La baie du Contrôleur est une vaste baie située dans la partie sud-est de Nuku Hiva. Trois échancrures principales la composent, celle du centre conduisant au village habité de Taipivai. Bien que largement ouverte au sud, cette baie offre de bons mouillages pour tous les types de navires.

Le levé de cette baie a été conduit en trois phases :

- géodésie, du 20 au 24 février 1992 ;
- sondage bathymétrique, du 20 au 24 mai 1992 ;
- achèvement du levé, du 25 août au 5 septembre 1992.

Les limites de la zone levée (voir pl. 10) s'étendent assez nettement vers le sud car le recouvrement avec le levé large a été assuré.

En complément, la recherche d'une sonde ancienne 15 m, figurant sur la carte marine 5988 a été prescrite par la direction du SHOM et effectuée le 10 avril 1993.

II.4.2. Géodésie - Localisation

Le réseau géodésique a été implanté en prenant comme points d'appui, soit la station Résidence, située en baie de Taiohae, lorsque la technique GPS différentielle était utilisée, soit les points IGN avoisinants pour le rattachement au système géodésique IGN 72 par mesures angulaires.

Le réseau a été calculé *in fine*, par compensation, en utilisant des logiciels d'ajustement (Bessero, 1984).

Un calvaire blanc a été fiché en tant qu'amer et porté sur la carte marine 5988 en vigueur en 1992, par l'avis n° 92 18.

L'analyse des mesures GPS et les coordonnées des points sont présentées respectivement en annexes II.4.a. et II.4.b.

La densité du levé n'est pas identique dans toutes les parties de la baie du fait de la réalisation du sondage à l'optique ou au moyen du système de positionnement Axyle. Quel que soit le mode de positionnement choisi, l'écart quadratique moyen sur les points calculés au cours du sondage a été en moyenne inférieur au mètre et n'a pas excédé 1,5 m.

II.4.3. Bathymétrie

La baie du Contrôleur a été sondée à raison d'un profil tous les 100 m dans les fonds supérieurs à 50 m, conformément aux Instructions Techniques générales sur les levés aux Marquises et au 1 : 5 000 pour les fonds moindres. Les profils espacés de 100 m ont été prolongés vers le large pour assurer le recouvrement avec le levé au 1 : 200 000.

Un contrôle du point de mouillage et de son accès a été réalisé au sondeur latéral EGG 260. Aucune obstruction n'a été décelée. La limite au large de cette zone d'investigation était fixée à l'isobathe 50 m.

Une station de bathycélérimétrie a été effectuée lors de chaque période de sondage et les sondes ont été réduites après adoption de la célérité réelle.

Après transformation de leurs coordonnées (WGS 84 en IGN 72), les sondes du levé antérieur au 1 : 200 000 ont été comparées à celles de la minute au 1 : 5 000 du présent levé. Cohérentes avec ces dernières, elles n'ont cependant pas été reportées sur les minutes B5 du fait de l'incertitude sur leur position (GPS naturel) et de leur acquisition par sondeur Raytheon.

Une recherche complémentaire a été effectuée à raison d'un profil tous les 10 m autour de la sonde 15 m portée sur la carte marine 5988, dans le fond de l'anse Haka Paa. La remontée de fond, que l'on pouvait supposer à partir de la minute B5¹ - 1992 fut confirmée et une sonde 12,7 m trouvée.

II.4.4. Topographie - Natures de fond

Les travaux topographiques ont consisté dans le complètement et le contrôle des minutes P. L'accent a été mis sur le contrôle de la côte Est de la baie puisque le rapport accompagnant les documents photogrammétriques soulignait que des ombres dues au relief accentué, ne permettaient pas de restituer avec certitude le trait de côte dans cette zone : les quelques points placés confirment cependant la bonne qualité de la restitution. Les limites de hauts-fonds affleurants ont également été précisées dans plusieurs secteurs. Les observations formulées sur les minutes de photogrammétrie ont concerné :

- le rocher Te Oho Te Kea qui est monolithique (minute P92-5-87) ;
- l'embouchure de la rivière Hooumi, qui est bordée à l'est par un banc de sable sujet à déplacements. Ce banc a été délimité et esquissé sur la minute P92-5-8³,
- la partie de côte située entre la pointe Tataka et la pointe Kapu, qui est inaccessible en embarcation et où il n'y a pas eu de contrôle. La mer très agitée justifie les zones non hydrographiées. Toutefois, le trait de côte reporté sur la minute P92-5-8⁵ était vraisemblable ;
- le fond de l'anse Hakapaa, parsemé de hauts fonds, qui n'a pas été levé du fait de la visibilité nulle et des vagues qui s'y formaient ;
- l'ouest de l'embouchure de la rivière de Taipivai où se forme une langue de sable sur laquelle la mer déferle (minute P92-5-8¹).

Les natures superficielles de fond ont été déterminées à vue ou au ramasseur léger et rédigées sur les minutes P.

II.4.5. Marée

La marée a été observée en baie du Contrôleur du 7 au 24 mai 1992 et du 24 août au 5 septembre 1992.

Les marégraphes ont été mouillés sur largueur acoustique du fait de la visibilité très réduite en fond de baie. Les deux périodes d'observation ont été utilisées pour adopter la côte du zéro de réduction des sondes par concordance avec la marée de l'observatoire de référence de Taiohae (pl. 9).

II.4.6. Information nautique

La baie du Contrôleur, qui est facilement accessible à tous les types de navires, offre des mouillages abrités des vents dominants de secteur est. La houle peut cependant se faire sentir jusque dans le fond de la baie.

Les navires, qui y accèdent par l'est, doivent contourner avec prudence le rocher Te Oho Te Kea situé dans le 197° à 565 mètres de la pointe Tikapo. Ce rocher accore, peu visible lorsque la mer est agitée, est débordé dans le sud-ouest à 110 m environ par un haut-fond coté 6,5 m. L'accès en provenance de l'ouest doit s'effectuer à une distance raisonnable de la falaise abrupte, où le risque d'éboulement est très élevé. Cette zone est d'ailleurs non hydrographiée. La côte intérieure de la baie est en général aussi très accore sauf en fond de baie où quelques structures coralliennes se développent. On mouille sur fond de vase dense à 0,75 M dans le 160° du calvaire blanc remarquable. Le mouillage est de bonne tenue.

L'accès au village de Taipivai est possible pour des embarcations légères de faible tirant d'eau par le côté est de la rivière. A marée basse, une barre de sable sujette aux déplacements, peut entraver l'accès à la rivière.

L'utilisation des désalinisateurs à bord des navires est à déconseiller par temps de pluie du fait de la très forte turbidité de l'eau, au voisinage du point de mouillage.

II.4.7. Documents rédigés

- trois minutes de bathymétrie B5¹; B5² et B5³ ;
- les minutes P92-5-8¹, P92-5-8³, P92-5-8⁵ et P92-5-8⁷ complétées ;
- une fiche d'amer ;
- cinq fiches géodésiques ;
- un dossier vue de côte ;
- deux fiches d'observatoire de marée : Taiohae et Contrôleur.

Annexe II.4.a.

Analyse GPS

1. Station Edelweiss

La station a été positionnée par mesures GPS différentielles relativement à Résidence, station de référence de la baie de Taiohae. Les mesures ont été réalisées au moyen du récepteur NR52 de Sercel.

Plusieurs sessions ont été effectuées et la position a été adoptée par moyenne arithmétique des deux meilleures sessions choisies selon les critères en usage : durée, précision, écart-type.

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Résidence - Edelweiss (WGS 84)

$$dX = 4\,572,91 \text{ m}$$

$$dY = -5\,857,22 \text{ m}$$

$$dZ = 1\,503,17 \text{ m}$$

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

$$X = -4\,829\,345,82$$

$$Y = -4\,048\,510,70$$

$$Z = -980\,511,65$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$$E_{\text{WGS84}} = 607\,044,84$$

$$N_{\text{WGS84}} = 9\,015\,787,99$$

$$H_{\text{WGS84}} = 21,23$$

$$E_{\text{IGN72}} = 607\,106,74$$

$$N_{\text{IGN72}} = 9\,015\,610,79$$

$$H_{\text{IGN72}} = 21,2$$

2. Station Acacia

La station a été également placée par mesures GPS différentielles relativement à la station Résidence et calculée par moyenne arithmétique des deux meilleures sessions.

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Résidence - Acacia (WGS 84)

$$dX = 3\,460,00 \text{ m}$$

$$dY = -4\,434,60 \text{ m}$$

$$dZ = 1\,192,09 \text{ m}$$

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

$$X = -4\,830\,458,73$$

$$Y = -4\,047\,088,17$$

$$Z = -980\,822,73$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$$E_{\text{WGS84}} = 605\,239,37$$

$$N_{\text{WGS84}} = 9\,015\,476,05$$

$$H_{\text{WGS84}} = 9,36$$

$$E_{\text{IGN72}} = 605\,301,57$$

$$N_{\text{IGN72}} = 9\,015\,298,63$$

$$H_{\text{IGN72}} = 9,4$$

Annexe II.4.b.

NUKU HIVA

Baie du Contrôleur

Coordonnées des stations et amers

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 72
 Les altitudes sont rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Acacia	605 301,57	9 015 298,63	9,4
Edelweiss	607 106,74	9 015 610,79	21,20
Hergé	607 969,51	9 013 829,90	2,0
Lifas	604 379,70	9 016 781,36	0,6
Santal	605 162,80	9 017 124,47	0,6
Santal exc.	605 149,19	9 017 132,12	0,6
Bambou	605 479,41	9 018 139,44	97,8
Edika	607 245,22	9 016 764,84	16,1
Binet	608 102,75	9 015 229,36	3,9
Station calvaire	605 257,66	9 018 324,11	82,2

Amer	E	N	H
Calvaire	605 255,0	9 018 328,5	88,7

II.5. LEVÉ DES BAIES D'HAKATEA ET DE UAUKA

II.5.1. Généralités

Les baies d'Hakatea et de Uauka sont des criques de faible étendue situées à 4 M à l'ouest de la baie principale de Taiohae à Nuku Hiva. La baie d'Hakatea offre un mouillage bien abrité pour les bâtiments de petit tonnage. Elle est très fréquentée par les voiliers hauturiers qui y découvrent un havre de paix à proximité d'une des rares plages de sable blanc de l'île. La baie de Uauka ouverte à la houle du large n'est pas un abri.

Le levé de ces baies a été conduit en trois phases :

- géodésie du 29 août au 7 septembre 1992 pour la baie de Hakatea, complément du 17 au 19 novembre 1992 pour celle de Uauka ;
- sondage bathymétrique du 14 au 21 novembre 1992 ;
- achèvement du levé vers le sud, le 4 février 1993.

Les limites de la zone levée assurent le recouvrement avec le levé large (voir pl. 10)

II.5.2 Géodésie - Localisation

Le réseau géodésique a été implanté par mesures GPS différentielles, mesures angulaires et de distances.

Les stations Comolet-Tirman et Renaud ont été placées par GPS différentiel, relativement à la station de référence Résidence située en baie de Taiohae.

Les mesures classiques ont permis de rattacher ce réseau local au réseau IGN existant. L'analyse des mesures GPS et les coordonnées des points utilisés figurent respectivement en annexe II.5.a. et II.5.b.

Le sondage a été réalisé au moyen du système de positionnement Axyle ; l'écart quadratique moyen sur les points calculés est en moyenne de 0,50 m et n'excède que rarement 1 m.

Les travaux ont été rédigés en projection UTM Sud, fuseau 7, dans le système géodésique IGN 72 de Nuku Hiva rapporté à l'ellipsoïde international.

II.5.3. Bathymétrie

Les baies d'Hakatea et de Uauka ont été sondées à raison d'un profil tous les 50 m. Des profils espacés de 200 m ont été prolongés vers le large pour assurer le recouvrement avec le levé au 1 : 200 000.

Une recherche de la sonde « 10 m », portée sur la carte marine 5988 à l'ouvert de la baie d'Hakatea, a été réalisée par profils intercalaires et exploration au sondeur latéral EGG 260. Aucune remontée de fond ou obstruction n'a été décelée.

Une station de bathycélérimétrie a été effectuée lors de chaque période de sondage et les sondes réduites après adoption de la célérité réelle.

La cohérence entre les sondes du levé antérieur au 1 : 200 000 et celles de la minute au 1 : 5 000 de ce levé a également été vérifiée dans la partie sud des baies.

II.5.4. Topographie - Natures de fond - Toponymie

Les travaux de topographie ont consisté dans le contrôle et le complètement de la minute P92-5-18¹. L'accent a été mis sur le contrôle *in situ* de la présence de hauts-fonds au niveau des brisants portés sur la minute et des différences entre la restitution photogramétrique et le trait de côte de la carte marine

- il n'a pas été trouvé de hauts-fonds aux positions des brisants portés sur la minute de restitution : ils correspondent en général à des retours d'écume provoquée par la houle qui bat les falaises ;

- le trait de côte des baies d'Hakatea et de Uauka a été contrôlé ; celui de la minute P est dans l'ensemble exact et des corrections mineures ont été portées sur la minute de restitution.

Les natures superficielles de fond déterminées à vue ou au ramasseur léger, ont été rédigées sur la minute P.

La toponymie empruntée aux cartes IGN a été confirmée localement pour les baies d'Hakatea et de Uauka. L'appellation « crique des Tai Oa » indiquée dans les *Instructions Nautiques* K9 et sur la carte marine 5988 n'est pas usitée.

II.5.5. Marée - Courant

La marée a été observée en baie d'Hakatea du 11 au 21 novembre 1992 et en baie de Taiohae à l'observatoire de référence pendant la même période ainsi que du 4 au 20 février 1993.

La côte du zéro de réduction des sondes à Hakatea, non matérialisée, a été déterminée par concordance avec le zéro de Taiohae (pl. 9).

Le courant a été observé à l'ouvert de la baie d'Hakatea du 10 au 20 novembre 1992 au moyen d'un courantomètre Suber SLS11 sur mouillage de type sub-surface, et immergé à 8 m environ. Le courant est négligeable puisque la valeur maximale observée sur la période est de 3,2 cm/s.

II.5.6. Information nautique

Le B.H. *L'Estafette* a mouillé dans la baie d'Hakatea en février 1991. En novembre 1992, le B.H. *Arago* s'y est également engagé pour y mouiller un courantomètre. Ces deux bâtiments disposaient d'un propulseur d'étrave sans lequel il est difficile, sinon imprudent de manœuvrer dans cette baie de faible étendue.

L'appellation « crique ou baie des Tai Oa » n'est pas usitée. La baie d'Hakatea est aussi connue par le nom du village d'Hakau, mais cette dénomination est peu pratiquée. Par contre, beaucoup de navigateurs américains et maintenant francophones l'ont baptisée « Daniel's bay » du prénom d'un habitant qui se convertit à l'occasion en shipchandler. Cette appellation est à proscrire.

Compte tenu des observations effectuées au cours du levé, une modification du texte figurant dans les *Instructions Nautiques* K9 a été proposée :

« La baie d'Hakatea est une petite crique située à 4 milles à l'ouest de la baie principale de Taiohae, où les navires peuvent trouver un bon abri dans un site spectaculaire et à proximité d'une des rares plages de sable blanc de Nuku Hiva.

Les navires de petit tonnage peuvent mouiller par 12 m d'eau, sur fond de sable et vase, dans le nord de la pointe ouest de l'anse d'Hakatea. Le mouillage est bien abrité de la mer mais des vents orographiques, tourbillonnants et assez forts, peuvent se faire sentir.

Lorsque la houle et les vents sont de secteur est à sud-est, les conditions de mer à l'entrée de la baie, provoquées par le ressac, peuvent être très dures.

Avec une embarcation de faible tirant d'eau, on peut se rendre au petit village habité d'Hakau par une rivière qui se jette dans la baie d'Hakatea, au NE de l'anse Hakau ».

La baie de Uauka ouverte à la houle du large n'est pas un bon abri, et ne mérite donc pas qu'on s'y arrête dans les *Instructions Nautiques*. Aucun courant portant à l'ouest n'a été mesuré ni constaté.

II.5.7. Documents rédigés

- une minute de bathymétrie B5 ;
- la minute P92-5-18¹ complétée ;
- six fiches géodésiques ;
- deux fiches d'observatoire de marée : Hakatea et Taiohae ;
- un dossier d'observation de courant ;
- un dossier vues de côte.

Annexe II.5.a.

Analyse GPS

1. Station Comolet-Tirman

La station, située en baie d'Hakatea, a été positionnée par mesures GPS différentielles en doubles différences relativement à Résidence, station de référence de la baie de Taiohae. Les mesures ont été réalisées au moyen du récepteur NR52 de Sercel.

Deux sessions ont été effectuées. Elles étaient toutes les deux excellentes et ont donné, après traitement au moyen du logiciel GPSMIS (Sercel, v.1.6), des résultats cohérents.

La position adoptée a été obtenue par moyenne arithmétique des deux sessions selon les critères en usage : durée, précision, écart-type.

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Résidence - Comolet-Tirman (WGS 84)

$$dX = -4\,584,34 \text{ m}$$

$$dY = 6\,332,20 \text{ m}$$

$$dZ = -3\,523,73 \text{ m}$$

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

$$X = -4\,838\,503,17$$

$$Y = -4\,036\,321,55$$

$$Z = -985\,538,55$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$$E_{WGS84} = 591\,811,48$$

$$E_{IGN72} = 591\,873,48$$

$$N_{WGS84} = 9\,010\,737,36$$

$$N_{IGN72} = 9\,010\,560,36$$

$$H_{WGS84} = 15,5$$

$$H_{IGN72} = 15,5 \text{ (*)}$$

(*) Des mesures de site ont été réalisées entre le point 18 du réseau I.G.N. et la station Comolet-Tirman, ce qui a conduit à adopter une altitude au-dessus du niveau moyen de 15,5 m (précision 0,50 m).

2. Station Renaud

La station a été également placée par mesures GPS différentielles en doubles différences relativement à la station Résidence, mais au moyen des récepteurs Ashtech et en utilisant le logiciel GPPS.

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Résidence - Renaud (WGS 84)

$$dX = -3\,895,76 \text{ m}$$

$$dY = 5\,452,56 \text{ m}$$

$$dZ = -3\,218,96 \text{ m}$$

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

$$X = -4\,837\,814,49$$

$$Y = -4\,037\,200,92$$

$$Z = -985\,233,78$$

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$$E_{WGS84} = 592\,928,46$$

$$E_{IGN72} = 592\,990,46$$

$$N_{WGS84} = 9\,011\,041,19$$

$$N_{IGN72} = 9\,010\,864,19$$

$$H_{WGS84} = 2,8$$

$$H_{IGN72} = 2,8$$

Annexe II.5.b.

NUKU HIVA

Baies d'Hakatea et de Uauka

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 72
 Les altitudes sont rapportées au niveau moyen.

Station	E	N	H
Comolet-Tirman	591 873 ,48	9 010 560,36	15,5
Bourgoin	591 785,4	9 010 021.7	6,9
Grousson	591 593,7	9 011 020,2	0,9
Eyries	591 371,5	9 010 574,6	1,7
Renaud	592 990,46	9 010 864,19	2,8
Cossa	592 490,0	9 011 132,5	2,9

II.6. LEVÉ DE LA BAIE D'AAKAPA ET DE SES ABORDS

II.6.1. Généralités

Malgré la présence d'un petit village retiré, la baie d'Aakapa située au nord de Nuku Hiva reste peu fréquentée. Ouverte aux vents et houle dominants de secteur est, elle n'offre pas d'abri : accoster au débarcadère du village où en tout autre point du rivage peut même présenter des risques. Une route relie Aakapa au village voisin d'Hatiheu par lequel s'effectue l'essentiel du ravitaillement.

La baie et la zone de recouvrement avec la partie large ont été levées selon les limites portées sur la planche 10.

Le levé s'est déroulé en trois phases :

- le réseau géodésique a été implanté en novembre 1992 ;
- le levé de la baie d'Aakapa a été effectué en février 1993 ;
- la continuité entre les levés à grande échelle des baies d'Anaho et d'Aakapa et la zone large a été assurée en novembre 1992 et février 1993.

II.6.2. Géodésie

Le réseau géodésique principal a été rattaché au réseau IGN existant et rapporté au système géodésique IGN 72 sur l'ellipsoïde international.

Il s'appuie sur deux points de la baie d'Hatiheu : borne Maroilles pour l'origine des mesures angulaires et la station GPS Référence pour les mesures GPS différentielles, dont l'analyse est présentée en annexe II.6.a.

Les coordonnées des stations ont été déterminées selon les éléments de transformation WGS 1984 vers IGN 1972, indiqués au chapitre II.2.2. et qui sont rappelés ci-dessous :

$$\begin{aligned} E_{IGN72} &= E_{WGS84} + 62 \text{ m} \\ N_{IGN72} &= N_{WGS84} - 177 \text{ m} \\ H_{IGN72} &= H_{WGS84} + 0 \text{ m} \end{aligned}$$

Une balise Axyle arrachée par la mer de la station Er Lanic en début de mission nécessita l'implantation de points complémentaires pour permettre un positionnement à trois lieux circulaires. Matérialisés sommairement par peinture, ces points secondaires baptisés Débarcadère, Creizig et Méaban n'ont pas fait l'objet de fiche.

Les coordonnées de l'ensemble des stations utilisées sont données en annexe II.6.b.

II.6.3. Localisation

Selon les époques et l'échelle des levés, diverses méthodes ont été mises en œuvre. Elles sont décrites ci-dessous :

a) *Recouvrement du levé de la baie d'Anaho avec le levé large*

La constellation GPS a permis un positionnement du bâtiment sur profil en mode 2D+T en assurant un GDOP inférieur à 10, au moyen du récepteur TR5SB de Sercel (GPS naturel, mode manuel).

Les positions ont été corrigées en temps différé des écarts planimétriques observés à la station GPS Référence de Hatiheu, située à proximité de la zone de sondage et équipée d'un récepteur de géodésie NR52 sur lequel étaient sélectionnés les mêmes satellites que ceux reçus à bord.

Quatre profils (nos 20, 30, 40 et 50 sur la minute C20) n'ont cependant pas été corrigés faute de données à la station de référence, alors masquée.

b) *Recouvrement du levé de la baie d'Aakapa avec le levé large*

Le suivi de profil a été assuré par GPS naturel au moyen du récepteur Sercel TR5SB (mode 2D+T avec GDOP inférieur à 10).

Simultanément, deux récepteurs de géodésie Ashtech LDXII ont été mis en œuvre, l'un installé à bord du BH *Arago*, l'autre placé sur la borne GPS Référence de Hatiheu. Le calcul en temps différé de la position du bâtiment a été effectué au moyen du logiciel de calcul différentiel PPDIFF de la chaîne GPPS - Ashtech, version 4.4.0.1. La précision des calculs, annoncée par le constructeur, est de 10 m.

Les décalages entre les positions GPS naturel temps réel et les positions adoptées en temps différé sont, en projection, au maximum de 100 m en abscisse et de 80 m en ordonnée. Les calculs effectués en temps différé tiennent compte des changements de système géodésique, des positions relatives des antennes et des bases.

c) *Baie d'Aakapa*

Le levé de la baie a été effectué en utilisant le système de radiolocalisation Axyle. Trois lieux circulaires étaient utilisés et les écarts types sur les points calculés sont systématiquement inférieurs au mètre.

II.6.4. Bathymétrie

La baie d'Aakapa a été levée au 1 : 5 000. Pour les zones de recouvrement avec le levé large aux abords des baies d'Aakapa et d'Anaho, deux échelles ont été utilisées afin de faciliter le travail des vedettes dans une mer agitée et de confier une partie du sondage à l'*Arago*. Pour respecter une progression normale entre les échelles 1 : 5 000 et 1 : 200 000, l'ouverture immédiate des baies a été sondée au 1 : 20 000 puis au 1 : 50 000 plus au large.

Le recouvrement aux abords de la baie d'Hatiheu n'a pas été repris.

Deux stations de bathycélérimétrie ont été effectuées en novembre 1992 et février 1993 afin de permettre la réduction des sondages.

II.6.5. Topographie - Natures de fond

La topographie, rédigée sur la minute de photogrammétrie, ayant été contrôlée par report des différentes stations obtenues lors des travaux de géodésie, n'a pas été reprise de manière approfondie. Chaque accès au rivage présentait d'ailleurs des risques pour le matériel et le personnel. Le complètement de la minute P92-5-13¹ a néanmoins été effectué.

Le gradient important (on atteint en effet rapidement plus de trente mètres) et le manque d'intérêt de la baie comme point de mouillage n'ont pas justifié de prélèvements de fond selon un quadrillage systématique. Quelques natures de fond à vue par plongeurs et prélèvements ont été cependant réalisés et les résultats, portés sur la minute BN5 de la baie.

II.6.6. Marée

La marée a été observée à l'observatoire de référence en baie de Taiohae du 10 au 21 novembre 1992, puis du 4 février au 17 avril 1993 par marégraphe Suber.

En baie d'Aakapa, un marégraphe Suber a été mouillé dans une cage lestée, du 5 au 19 février 1993. Cependant, seule la période postérieure au 9 février a été exploitée, le marégraphe ayant été déplacé sur le fond lors d'un coup de vent. Ceci n'a pas eu de conséquence pour la réduction des sondages qui n'ont débuté qu'après l'incident.

Les sondes des levés de recouvrement ont été réduites de la marée observée à Taiohae.

Les sondes du levé de la baie d'Aakapa ont été réduites de la marée observée sur site après que la cote du zéro de réduction ait été déterminée par concordance avec le port de Taiohae.

Les repères de nivellement de Taiohae ont été contrôlés en début d'année 1993 mais aucun décalage n'a été constaté (voir pl. 9).

II.6.7. Information nautique

La baie d'Aakapa ne présente que peu d'intérêt pour les navigateurs. Sa large ouverture aux vents et houles dominants de secteur est fait qu'elle ne constitue pas un abri. Elle possède dans sa partie sud-ouest un petit débarcadère mais le ressac rend son accès difficile.

Aucun amer n'a été signalé, ni aucun courant observé.

II.6.8. Documents rédigés

- 1 minute BN5 ;
- 1 minute B20 ;
- la minute P92-5-13¹ complétée ;
- 4 fiches géodésiques ;
- 2 fiches d'observatoire de marée : Aakapa et Taiohae ;
- 1 dossier vues de côtes.

Annexe II.6.a.

Analyse GPS

La station Berder (Nuku Hiva, baie d'Aakapa) a été positionnée par mesures GPS différentielles en doubles différences relativement à la station Référence (Nuku Hiva, baie d'Hatiheu). Les récepteurs Ashtech LDXII ont été utilisés à cet effet.

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Référence - Berder (WGS 84)

dX = - 3 478,60 m
 dY = 3 372,64 m
 dZ = 2 690,26 m

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

X = - 4 837 841,74
 Y = - 4 041 074,08
 Z = - 969 776,63

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$E_{WGS84} = 595\,919,46$	$E_{IGN72} = 595\,981,46$
$N_{WGS84} = 9\,026\,687,94$	$N_{IGN72} = 9\,026\,510,94$
$H_{WGS84} = 91,39$	$H_{IGN72} = 91,39$

Altitudes rapportées à l'ellipsoïde; le modèle donné par les récepteurs donne : hauteur du géoïde = - 0,9 m.

Annexe II.6.b.

NUKU HIVA

Baie d'Aakapa

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 1972
 Altitudes rapportées à l'ellipsoïde (hauteur géoïde = - 0,9 m)

Station	E	N	H
GPS Référence	600 792,18	9 023 764,23	3,9
Berder	595 981,46	9 026 510,94	91,4
Ars	596 979,33	9 025 676,24	3,4
Er Lanic	597 642,42	9 026 042,15	3,7
Gavrinis	596 044,52	9 025 172,73	2,5
Débarcadère	595 637,01	9 025 441,67	2,3
Creizig	597 095,90	9 025 634,02	1,8
Méaban	597 177,07	9 025 519,67	3,7

II.7. LEVÉ DE LA BAIE DE VAIPAAE ET DES ABORDS DE LA CÔTE SUD DE UA HUKA

II.7.1. Généralités

Les deux villages principaux de Ua Huka sont situés sur la côte sud de l'île, au fond des baies de Hane et de Vaipae. Ils sont desservis régulièrement par le caboteur mixte *Aranui* ; celui-ci s'emboîte dans la baie étroite de Vaipae et transite ensuite le long de la côte sud de l'île, jusqu'à la baie de Hane pour y mouiller.

Les levés hydrographiques, effectués en février et avril 1993 ont concerné cette partie sud de l'île. Les baies de Hane et d'Hokatu ayant été levées en 1990, la baie de Vaipae et la zone côtière de transit ont été sondées dans les limites figurées sur la planche 11. Le recouvrement avec le levé large à petite échelle a été également assuré, notamment au sud de la baie d'Hokatu.

Le levé de la baie de Haavei, au sud-ouest de l'île, réalisé en 1960 par la MHPF, n'a pas été repris.

II.7.2. Géodésie

Les minutes P ayant été rédigées par l'EPSHOM dans le système géodésique IGN 72 sur l'ellipsoïde international, le réseau géodésique a été établi dans le même système afin de faciliter l'exploitation ultérieure des documents.

Ce réseau s'appuie sur celui, défini dans le système WGS 84, mis en place en 1990 par la MOP en baie de Hane. Les paramètres de passage entre les deux systèmes qui ont été utilisés sont ceux formulés dans le rapport (Le Gouic, 1990) car aucun autre point IGN n'a pu être retrouvé. L'annexe II.7.a. présente les calculs qui ont servi à la définition de la base dans le système IGN 72. Les coordonnées des points utilisés au cours du levé sont données en annexe II.7.b.

Les observations GPS de 1991 sur les stations Ermitage et Pylône TV, qui avaient pour objectif de rattacher Nuku Hiva et Ua Huka, ont été exploitées à nouveau et intégrées à de nouvelles mesures effectuées à partir du réseau de la baie de Hane. Cela a conduit à modifier les coordonnées antérieures des stations Ermitage et Pylône TV.

En coordonnées géocentriques et pour Ua Huka, les éléments de transformation WGS 84 vers IGN 72 sont rappelés ci-après :

$$\begin{aligned} X_{\text{IGN72}} &= X_{\text{WGS84}} - 84 \text{ m} \\ Y_{\text{IGN72}} &= Y_{\text{WGS84}} - 274 \text{ m} \\ Z_{\text{IGN72}} &= Z_{\text{WGS84}} - 64,5 \text{ m} \end{aligned}$$

L'application de ces formules a permis de constater la cohérence du réseau avec les documents photogrammétriques établis d'après une stéréopréparation réalisée par l'IGN dans le système IGN 72.

II.7.3. Localisation

a) Baie de Vaipae

Les sondages réalisés en vedette ou en embarcation légère de type coralline, ont été effectués en utilisant le système de radiolocalisation Axyle. Trois lieux circulaires étaient utilisés et les écarts types sur les points calculés étaient en moyenne de 0,2 m et systématiquement inférieurs à 0,5 m.

b) Zone de transit

Les balises Axyle ont été disposées en altitude ce qui a rendu possible le levé par vedette de la zone côtière en assurant le recouvrement avec le levé large à petite échelle. Les écarts types sur les points calculés étaient également inférieurs à 1 m.

II.7.4. Bathymétrie

a) Les faibles profondeurs ont conduit à choisir l'échelle 1 : 2 500 pour le levé bathymétrique de la baie de Vaipae ; les profils ont ainsi été espacés de 25 m.

L'accès de la baie a été également exploré au sondeur latéral jusqu'à la zone d'emboisement.

Le sondage régulier a été effectué par coralline équipée d'un sondeur Atlas Deso 20 avec base hors-bord afin de permettre une progression significative en fond de baie, où l'apport de sédiments est conséquent.

b) La zone de transit entre les baies de Vaipae et de Hane a été sondée à raison d'un profil tous les 100 m et rédigée au 1 : 10 000. Cependant le prolongement vers le sud-ouest de la pointe Mata Te Hotu, qui se manifeste par la présence de nombreux hauts-fonds, a nécessité un levé de détail. Les profils ont été resserrés autour des sommets, autant que le permettaient l'état de la mer et la précision du système Axyle. Cette zone particulière a fait l'objet d'une rédaction à l'échelle 1 : 1 000.

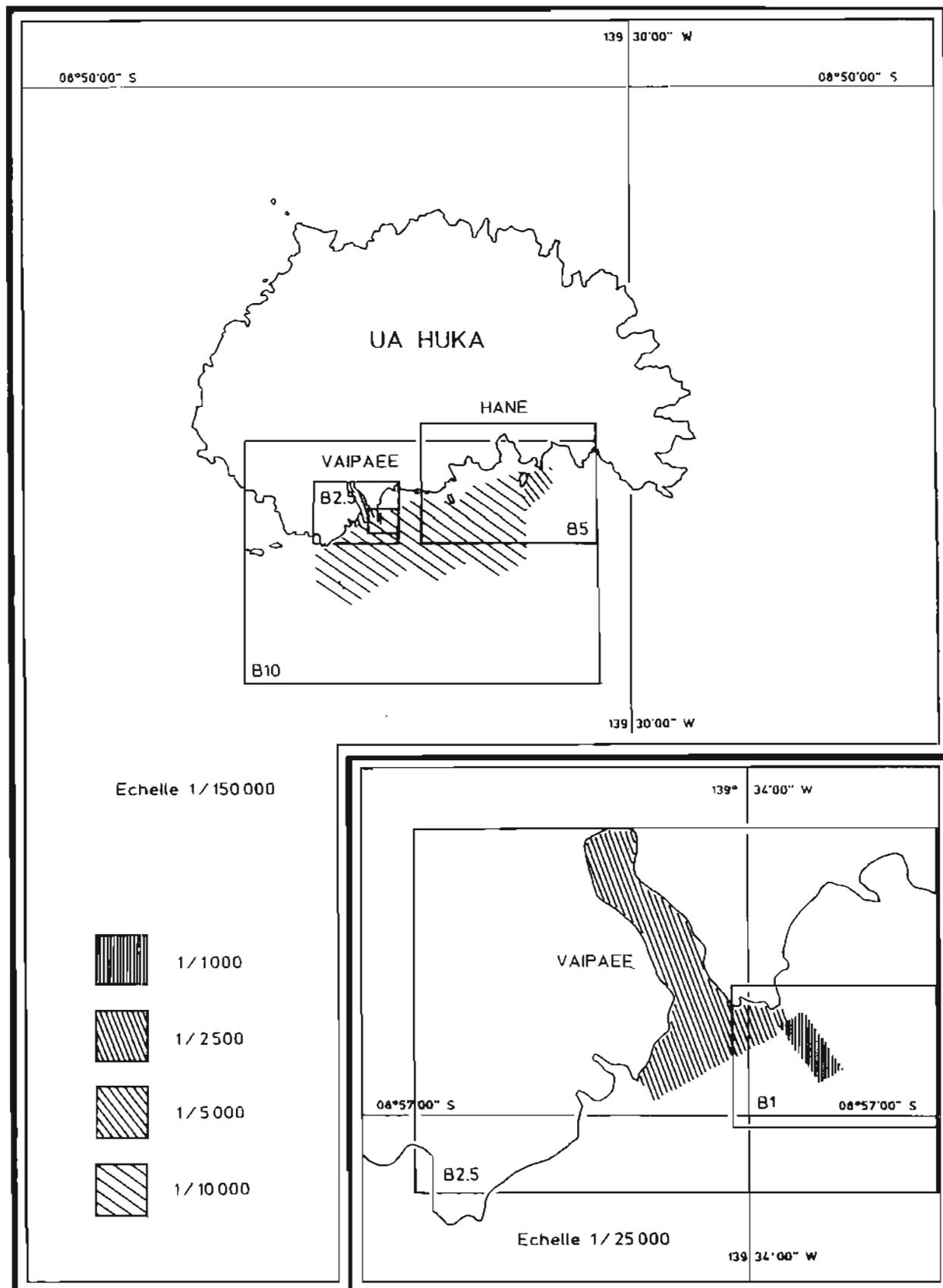
Le levé à l'optique de la baie d'Hokatu, située à l'est de la baie de Hane, a été étendu vers le sud à raison d'un profil tous les 50 m et rédigé au 1 : 5 000 dans le système IGN 72. La continuité avec le levé réalisé en 1990, dans le système WGS 84, a été assurée.

II.7.5. Topographie - Natures de fond

Les minutes de photogrammétrie ont été contrôlées dans la baie de Vaipae par quelques mesures complémentaires. Les bittes d'amarrage, le point de mouillage et l'axe de présentation ont été portés à l'encre marron sur la minute P91-5-10³, qui a été ainsi complétée.

La topographie de la zone côtière de transit n'a pas fait l'objet d'un contrôle approfondi, à cause des conditions météorologiques et parce qu'il n'y avait pas lieu d'étendre le levé bathymétrique jusqu'au rivage.

L'échelle de la CM 5989 au 1 : 70 000 ne rend bien entendu pas significative la comparaison du trait de côte avec la partie commune restituée qui elle est au 1 : 5 000. En général, la topographie a été largement améliorée.



Pl. 11. — Levés à Ua Huka

Quelques reconnaissances de natures de fond par plongeurs et quelques prélèvements ont été réalisés en baie de Vaipae et à son ouvert. Les résultats sont portés sur la minute BN2.5 de la baie.

II.7.6. Marée - Courants

a) La marée a été observée à l'observatoire de référence en baie de Taiohae au moyen du marégraphe Suber SLS23 n° 383, du 4 février au 17 avril 1993.

En baie de Hane, le marégraphe Suber SLS13 n°109 a été mouillé du 8 au 16 février 1993 et du 15 au 16 avril 1993.

Les profondeurs mesurées au cours des levés relatifs à Ua Huka ont été corrigées de la marée observée en baie de Hane après que la cote du zéro de réduction à Hane ait été contrôlée par concordance avec le port de Taiohae.

Un nivellement de contrôle a été effectué. La situation du repère D n'a pas été reconduite dans la fiche d'observatoire de marée car l'état du quai le rendait peu fiable; le repère A reste le repère fondamental (voir pl. 12).

b) Un courantomètre a été mouillé dans le 219° du feu vert de la pointe Mata Te Hotu à 200 mètres par fond moyen de 9 mètres. Le courant mesuré n'excédait pas 0,20 m/s.

II.7.7. Information nautique

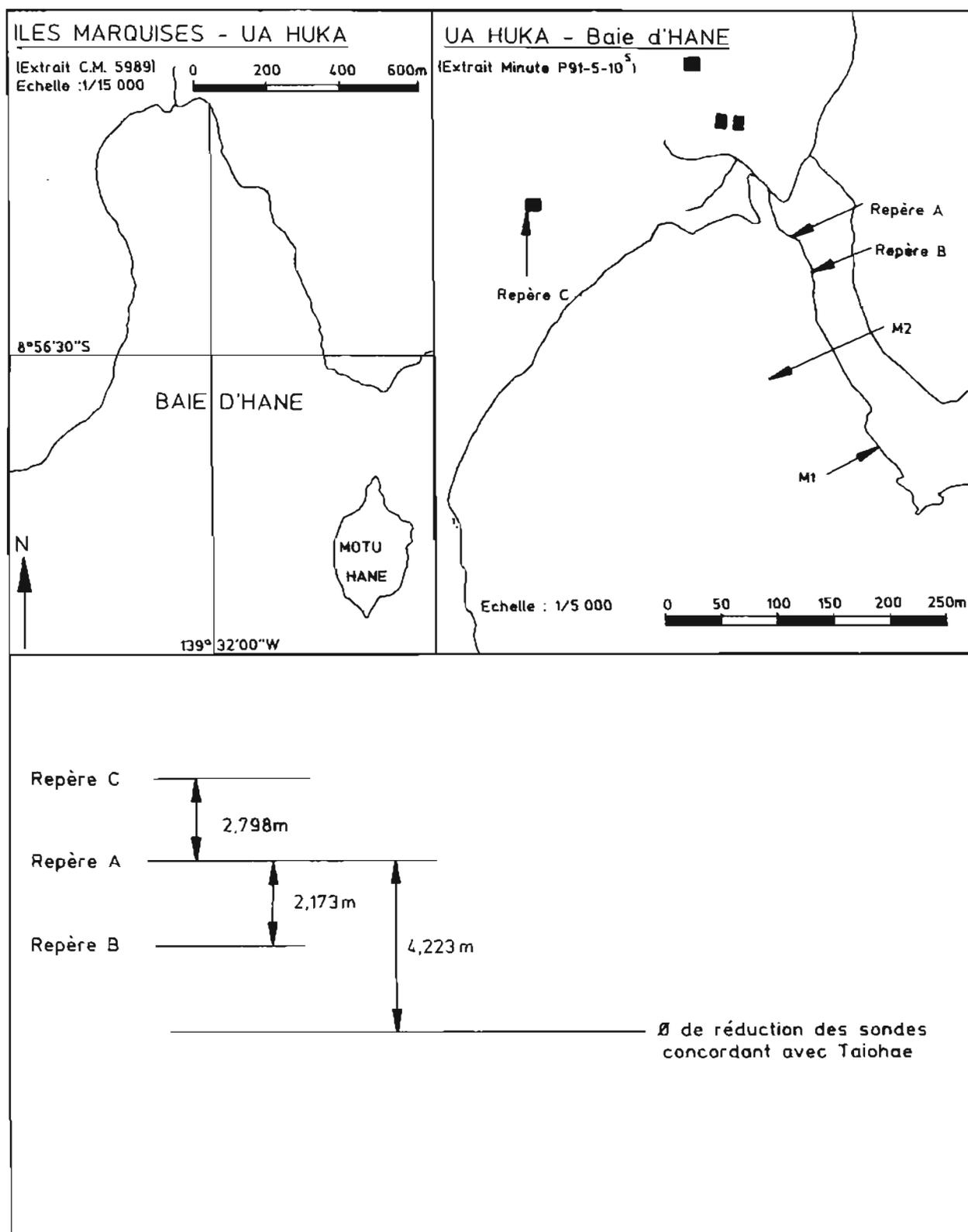
Peu de modifications ont été proposées pour les *Instructions Nautiques*.

L'identification de la baie de Vaipae a pu être précisée grâce à la présence d'un pylône TV blanc, bien visible sur le relief. Il a également été suggéré d'insister sur les dangers qui débordent dans le sud-est de la pointe Mata Te Hotu avec un seuil à 4,7 m.

Le point de mouillage principal, situé dans le 302° du feu de la pointe Mata Te Hotu à 545 m, proposé sur la CM 5989 a été conservé ; il a été porté sur la minute P91-5-10³ ainsi que son axe de présentation au 334°. L'autre point de mouillage porté sur la CM 5989 pour la baie de Vaipae (310°/Feu/775 m) a été supprimé.

II.7.8. Documents rédigés

- 1 minute B10, B5, BN2.5, B1 ;
- la minute P 91-5-10³ complétée ;
- 15 fiches géodésiques, 2 fiches d'amer ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Hane ;
- 1 dossier vues de côtes.



Pl. 12. — Observatoire de marée de Hane (Ua Huka)

Annexe II.7.a.

Géodésie à Ua Huka

Le réseau géodésique de Ua Huka a été établi dans le système géodésique IGN 72 à partir des stations *Bubry* et *Ploerdut*, placées en 1990 dans le système WGS 84.

Les altitudes sont rapportées au niveau moyen.

1. Coordonnées en projection UTM fuseau 7 (WGS 84) sur l'ellipsoïde WGS 84 :

	$E_{WGS84} = 661\,726,2\text{ m}$		$E_{WGS84} = 661\,012,4\text{ m}$
Bubry	$N_{WGS84} = 9\,012\,343,1\text{ m}$	Ploerdut	$N_{WGS84} = 9\,013\,069,4\text{ m}$
	$H_{WGS84} = 63,2\text{ m}$		$H_{WGS84} = 1,5\text{ m}$

2. Coordonnées géocentriques :

	$X_{WGS84} = -4\,793\,666,95$		$X_{WGS84} = -4\,794\,171,19$
Bubry	$Y_{WGS84} = -4\,089\,978,24$	Ploerdut	$Y_{WGS84} = -4\,089\,466,29$
	$Z_{WGS84} = -983\,743,30$		$Z_{WGS84} = -983\,018,97$

$$t_x = -84 ; t_y = -274 ; t_z = -64,5 \text{ (Le Gouic, 1990)}$$

	$X_{IGN72} = -4\,793\,750,95$		$X_{IGN72} = -4\,794\,255,19$
Bubry	$Y_{IGN72} = -4\,090\,252,24$	Ploerdut	$Y_{IGN72} = -4\,089\,740,29$
	$Z_{IGN72} = -983\,807,80$		$Z_{IGN72} = -983\,083,47$

3. Coordonnées en projection UTM fuseau 7 (IGN 72) sur l'ellipsoïde international :

	$E_{IGN72} = 661\,886,31\text{ m}$		$E_{IGN72} = 661\,172,51\text{ m}$
Bubry	$N_{IGN72} = 9\,012\,277,29\text{ m}$	Ploerdut	$N_{IGN72} = 9\,013\,003,58\text{ m}$
	$H_{IGN72} = 63,2\text{ m}$		$H_{IGN72} = 1,5\text{ m}$

Annexe II.7.b.

UA HUKA

Côte sud et baie de Vaipae
Coordonnées des stations et amers

Ellipsoïde : International
Projection : UTM Sud fuseau 7
Système géodésique : IGN 1972
Altitudes rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Roscoff	660 835,8	9 012 109,2	79,0
Calais	659 309,0	9 011 385,4	28,5
Marquise	656 218,6	9 009 943,9	113,4
Boulogne	657 669,7	9 010 934,0	33,0
Dieppe	657 213,2	9 010 874,5	7,5
Hardelot	657 385,1	9 011 042,8	6,5
Le Touquet	657 119,4	9 011 174,4	7,1
Le Portel	657 072,2	9 011 269,3	9,3
Wimereux	656 885,3	9 011 433,1	6,0
Wissant	657 037,4	9 011 533,3	1,5
Fouesnant	663 411,99	9 012 065,51	4,2
Beg-Meil	662 278,5	9 012 088,2	5,1
Ermitage	657 433,6	9 011 057,5	53,9
Bubry	661 886,31	9 012 277,29	63,2
Ploerdut	661 172,51	9 013 003,58	1,5
Feu vert	657 710,75	9 010 821,34	7,5
Pylône TV	656 344,49	9 012 984,31	274,4

II.8. LEVÉ DE LA BAIE DE HAKAMAII

II.8.1. Généralités

Hakamaii est un petit village adossé au pied d'une falaise sur la côte ouest de Ua Pou. La baie qui porte son nom, offre un bon mouillage pour tous les types de navires malgré sa large ouverture à l'ouest.

Le levé bathymétrique de cette zone a été conduit du 8 au 15 avril 1993, l'implantation du réseau géodésique ayant été effectuée en 1991.

Les limites de la zone levée à l'échelle 1 : 5 000, figurées sur la planche 13, ont été étendues vers l'ouest pour assurer la continuité avec le levé large.

II.8.2. Géodésie - Localisation

a) Les points géodésiques placés en 1991 (Sauvage, 1992) ont été retrouvés sans difficulté et utilisés pour le levé de la baie d'Hakamaii. L'utilisation du système de radiolocalisation Axyle a cependant nécessité de placer le point complémentaire SM Carmès pour assurer le sondage de l'anse Hapateki. L'annexe II.8.a. donne la liste des points utilisés.

Les travaux ont été rédigés en projection UTM Sud, fuseau 7, dans le système géodésique IGN 72 de Ua Pou rapporté à l'ellipsoïde international.

L'écart quadratique moyen sur les points calculés est en moyenne de 0,50 m et n'excède que rarement 1 m.

b) Dans le cadre de la préparation du levé de la baie adjacente de Vaiehu, aux falaises aussi remarquables qu'inaccessibles, une base a été placée par GPS différentiel, relativement au Motu Kuara de la baie d'Hakamaii. Bien que voisines, ces deux baies ne sont pas en visée directe ce qui a conduit à utiliser la technique GPS. L'analyse de ces mesures est consignée dans l'annexe II.8.b.

Les coordonnées des points Mah et Jong, calculées dans le système WGS 84 ont été transformées en projection UTM Sud, fuseau 7, système géodésique IGN 72 selon les éléments de passage WGS 84 → IGN 72 (Ua Pou) suivants :

$$\begin{aligned} E_{IGN72} &= E_{WGS84} + 61,5 \text{ m} \\ N_{IGN72} &= N_{WGS84} - 194,5 \text{ m} \\ H_{IGN72} &= H_{WGS84} + 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Ces paramètres, qui proviennent d'observations antérieures (Le Gouic, 1990), ont été confirmés par de nouvelles mesures GPS réalisées en 1991.

II.8.3. Bathymétrie

a) La baie d'Hakamaii a été sondée à raison d'un profil tous les 50 m. Quelques profils intercalaires et mesures de profondeur ponctuelles, effectués en vedette sur des roches identifiées à vue, ont complété le levé régulier dans la zone d'éboulis située entre le rivage et le nord du Motu Kuara.

b) La zone de mouillage portée sur la carte marine 5989 a été explorée au sondeur latéral EGG 260 dans les conditions suivantes :

portée maximale sélectionnée sur l'enregistreur	: 100 m
espacement des profils	: 75 m
vitesse d'exploration sur le fond	: environ 4 nœuds
câble filé	: 50 m

Aucune remontée de fond ou obstruction n'a été décelée.

II.8.4. Topographie - Natures de fond - Toponymie

a) Les manœuvres d'accostage d'embarcations, rendues dangereuses par la houle, n'ont pas permis de contrôler le trait de côte. Le report des points géodésiques sur la minute P92-5-3¹ a montré cependant que le trait de côte restitué était de qualité. D'autre part, l'écume provoquée par cette houle à l'aplomb des falaises et qui avait été identifiée à la restitution comme des « brisants », n'était en fait aucunement la manifestation de hauts-fonds. Enfin, la limite « bleue » tracée sur la minute P a été confirmée par l'extrémité des profils bathymétriques.

b) Les natures superficielles de fond déterminées à vue ou au ramasseur léger, ont été limitées à la zone de mouillage puis rédigées sur la minute P.

c) La toponymie portée sur la carte IGN, dont quelques éléments étaient repris sur la minute P, a été confirmée auprès de l'instituteur du village.

II.8.5. Marée

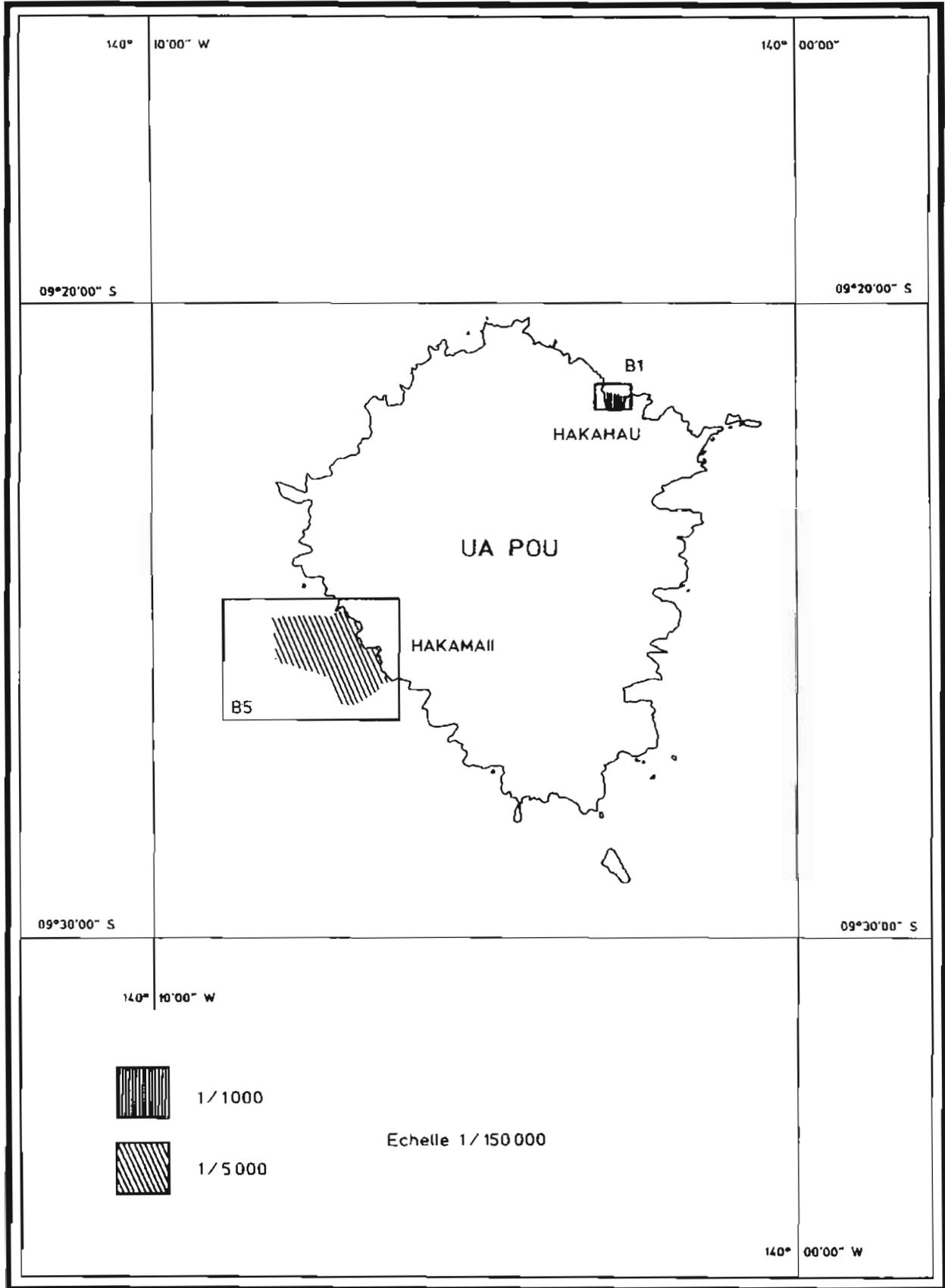
La marée a été observée dans la baie adjacente de Vaiehu, plus abritée que celle de Hakamaii, du 8 au 15 avril 1993 et en baie de Hakahau à l'observatoire de référence pour Ua Pou pendant la même période.

La cote du zéro de réduction des sondes à Vaiehu, non matérialisé, a été déterminée par concordance avec Taiohae à Nuku Hiva. Comme le zéro de Hakahau avait été adopté relativement à Taiohae, une concordance de contrôle a été également effectuée entre Vaiehu et Hakahau. Elle a permis de confirmer la situation des zéros.

Le zéro de réduction des sondes à Taiohae est situé à 6,727 mètres au-dessous du repère fondamental de l'observatoire, repère en bronze de type SHOM scellé horizontalement dans le mur des T.P. (voir pl. 9).

II.8.6. Documents rédigés

- deux minutes de bathymétrie B5 et Bq5 ;
- la minute P92-5-3¹ complétée ;
- trois fiches géodésiques ;
- deux fiches d'observatoire de marée : Hakamaii et Hakahau.



Pl. 13. — Levés à Ua Pou

Annexe II.8.a.**UA POU****Baie d'Hakamarii**

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 72

Les altitudes sont rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Motu Mouku	595 781,0	8 959 870,3	15,6
Motu Kuara	597 137,3	8 958 666,5	4,8
Falaise	597 184,0	8 958 878,3	65,6
Motu Kau	597 933,5	8 957 303,0	2,6
Baie Hapateki	597 795,0	8 958 024,0	8,3
SM Carmes	597 894,6	8 957 874,0	6,4

Annexe II.8.b.

Analyse GPS

Les stations Mah et Jong, situées en baie de Vaiehu, ont été placées par GPS différentiel relativement à la station Motu Kuara de la baie d'Hakamaii. Altitudes rapportées au niveau moyen.

Position des stations GPS esclaves par double différence

Précision estimée des vecteurs de base

20 cm en X et Y

20 cm en Z

1. Station Mah :

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Motu Kuara - Mah (WGS 84)

dX = - 1 416,10 m

dY = 782,97 m

dZ = 3 510,67 m

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

X = - 4 830 100,64

Y = - 4 034 362,32

Z = - 1 033 239,66

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$E_{WGS84} = 595\,576,40$

$N_{WGS84} = 8\,962\,422,81$

$H_{WGS84} = 7,8$

$E_{IGN72} = 595\,637,86$

$N_{IGN72} = 8\,962\,228,27$

$H_{IGN72} = 8,2$

2. Station Jong :

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Motu Kuara - Jong (WGS 84)

dX = - 1 300,85 m

dY = + 1 045,45 m

dZ = + 1 960,57 m

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

X = - 4 829 985,39

Y = - 4 034 099,84

Z = - 1 034 789,76

Coordonnées en projection UTM Sud fuseau 7

$E_{WGS84} = 595\,444,96$

$N_{WGS84} = 8\,960\,852,38$

$H_{WGS84} = 7,5$

$E_{IGN72} = 595\,506,42$

$N_{IGN72} = 8\,960\,657,84$

$H_{IGN72} = 7,9$

II.9. CONTRÔLES BATHYMÉTRIQUES DANS LES BAIES D'HAKAHAU ET DE TAHAAKU

II.9.1. Généralités

A la demande de l'Arrondissement Maritime de la Direction de l'Équipement du Territoire, la baie d'Hakahau à Ua Pou et celle de Tahauku à Hiva Oa font l'objet d'un suivi sédimentologique depuis 1989.

A Ua Pou, la reconstruction de la digue en 1988, modifiant le régime des courants, a en effet provoqué un engraissement de la partie est de la baie, qu'il convient de contrôler.

Le port principal de Hiva Oa est lui-même protégé par une jetée, le fond y est vaseux et il a paru nécessaire d'y contrôler l'évolution des profondeurs.

Les contrôles bathymétriques, réalisés dans le cadre de deux conventions signées entre le SHOM et le Territoire, ont été menés à l'échelle 1 : 1 000, entre les 20 et 24 août 1992 pour Hakahau et du 5 au 9 novembre 1992 pour Tahauku.

II.9.2. Géodésie - Localisation

a) Hakahau (Ua Pou)

Des travaux ont été réalisés pour placer ou rechercher les stations nécessaires à l'exécution du sondage. Certains points de 1990 n'ont pas été retrouvés, ainsi que pouvaient le laisser supposer les rapports antérieurs; des mesures complémentaires s'appuyant sur le réseau établi en 1987 et 1988 ont donc été effectuées. Deux nouvelles stations ont ainsi été placées. Le caractère répétitif du levé a conduit à matérialiser durablement toutes les stations et à consolider les bornes du réseau antérieur. L'annexe II.9.a. donne la liste des points utilisés.

Au cours du levé, l'écart quadratique moyen sur les points déterminés par trois ou quatre lieux optiques était en moyenne de 0,5 m et n'a que rarement excédé 1 m.

b) Tahauku (Hiva Oa)

Les stations utilisées lors du sondage de 1990 ont été recherchées, retrouvées et réutilisées. Les deux stations Teo et Ote déjà matérialisées et trois amers ont été fichés. L'annexe II.9.b. donne la liste des points utilisés.

Au cours du levé, l'écart quadratique moyen sur les points déterminés par trois lieux optiques est resté également inférieur à 1 m.

II.9.3. Bathymétrie

a) Hakahau (Ua Pou)

La baie d'Hakahau a été sondée dans les limites figurées sur la planche 13 à l'échelle 1 : 1000, par coralline localisée à l'optique et équipée d'un sondeur Atlas Deso 20 ainsi que d'une base hors-bord.

Les plongeurs ont constaté que la couche molle de vase, reposant sur le fond ou en suspension mesurait environ 0,10 m. Les échos obtenus grâce aux fré-

quences 33 kHz et 210 kHz du sondeur confirment cette indication.

La numérisation des bandes de sonde a été réalisée en moyennant la houle, dont l'influence sur les enregistrements est forte compte-tenu de l'exécution du sondage par une embarcation légère. La présence de nombreuses embarcations et de voiliers aux abords du quai a entraîné des interruptions de profils ou des écarts.

La sonde 2,9 m portée sur la minute BT1 de 1990 en $x = 604\,497$ et $y = 8\,965\,237$, a été « recherchée » par 2 profils réguliers et un traversier et enfin par plongeur en avril 1993. Elle n'a pas été retrouvée et n'existe donc pas. Elle provenait probablement d'une interprétation prudente de la houle très prononcée dans cette zone.

L'examen comparatif des minutes bathymétriques de 1990 et 1992 a montré que l'engraissement de la baie restait très localisé. Il était en moyenne de 0,20 m et se situait au voisinage de la plage dans le sud-est du quai.

b) Tahauku (Hiva Oa)

Le levé bathymétrique au 1 : 1 000 a été effectué dans les mêmes conditions qu'à Ua Pou (voir pl. 15). A titre de contrôle, les plongeurs ont constaté qu'au fond la couche de vase molle atteignait :

- 1 m devant le quai ;
- 0,50 m à 20 m du quai ;
- et 0,20 m à 50 m du quai.

De même qu'à Hakahau, l'engraissement de la baie était assez faible depuis 1990 puisque l'évolution pouvait atteindre 0,30 m, mais au voisinage du quai seulement. Ailleurs, les variations voisines de 0,10 à 0,20 m étaient de l'ordre de grandeur de l'incertitude sur les profondeurs, compte tenu des erreurs de mesures et de traitement, et de ce fait peu significatives.

La topographie des ports de Hakahau et de Tahauku n'a pas été reprise au cours de ces levés.

II.9.4. Marée

a) Hakahau (Ua Pou)

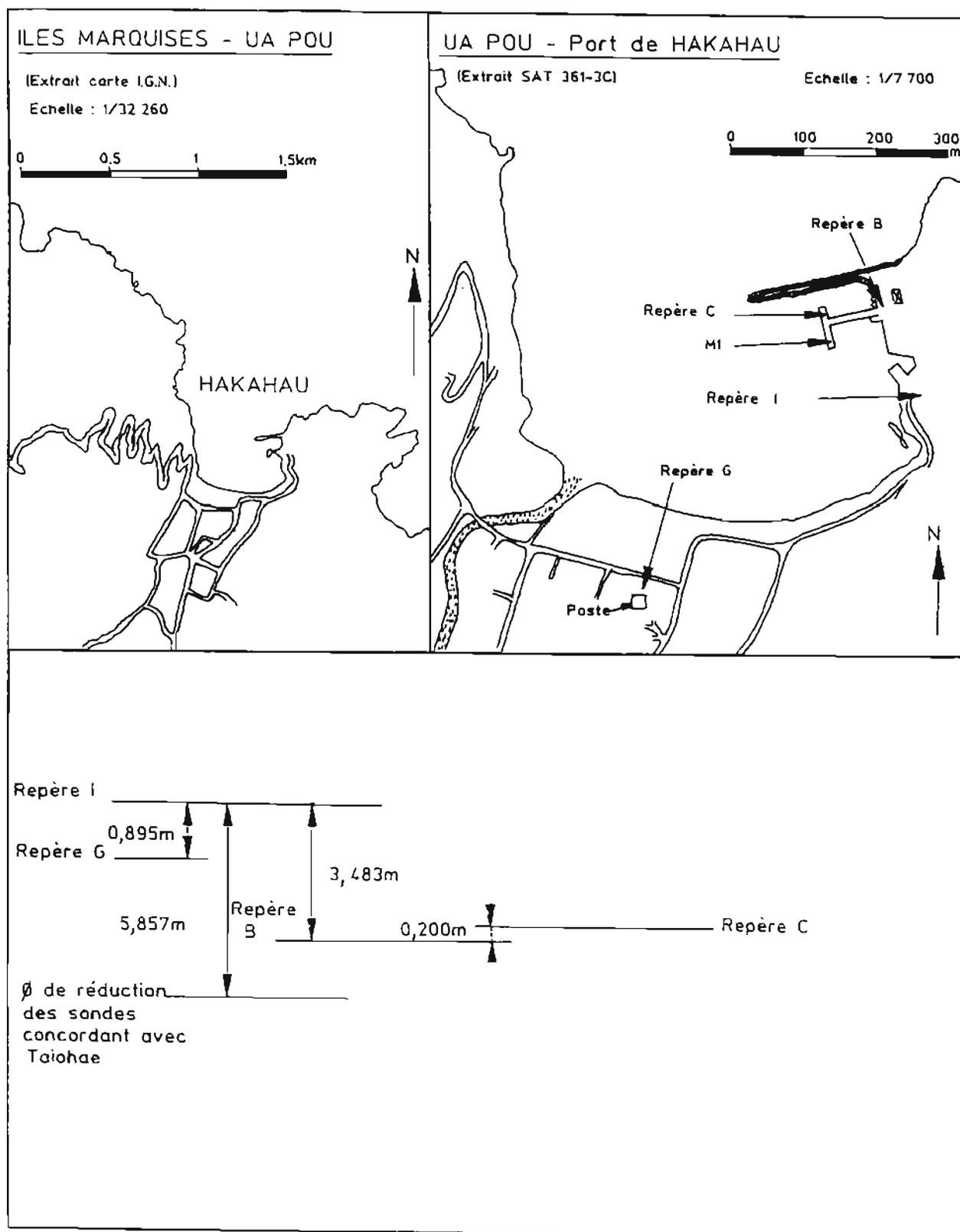
Deux marégraphes Suber ont été mouillés à l'aplomb du coin sud-est du quai. Les repères de nivellement de l'observatoire ont été contrôlés : A, D et F avaient disparu.

Le repère I a été choisi comme nouveau repère fondamental et son baptême a été maintenu. Le zéro de réduction des sondes, adopté en 1990, a été conservé. Il se situe à 5,86 m au-dessous du repère I (voir pl. 14).

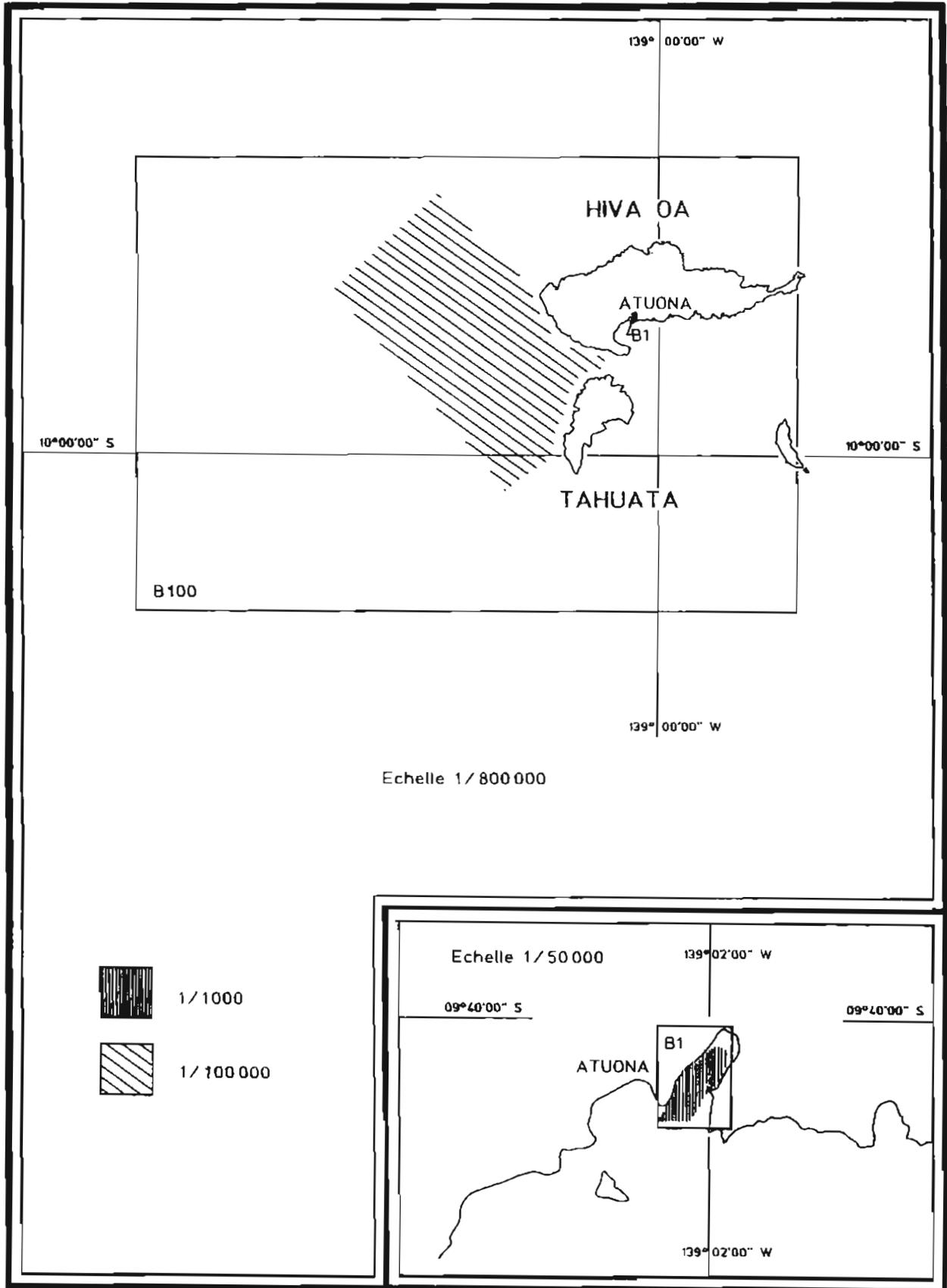
La référence de ce zéro par rapport au repère C a été abandonnée, du fait de la durabilité moyenne de C et de l'incertitude de l'ordre du centimètre sur sa cote.

b) Tahauku (Hiva Oa)

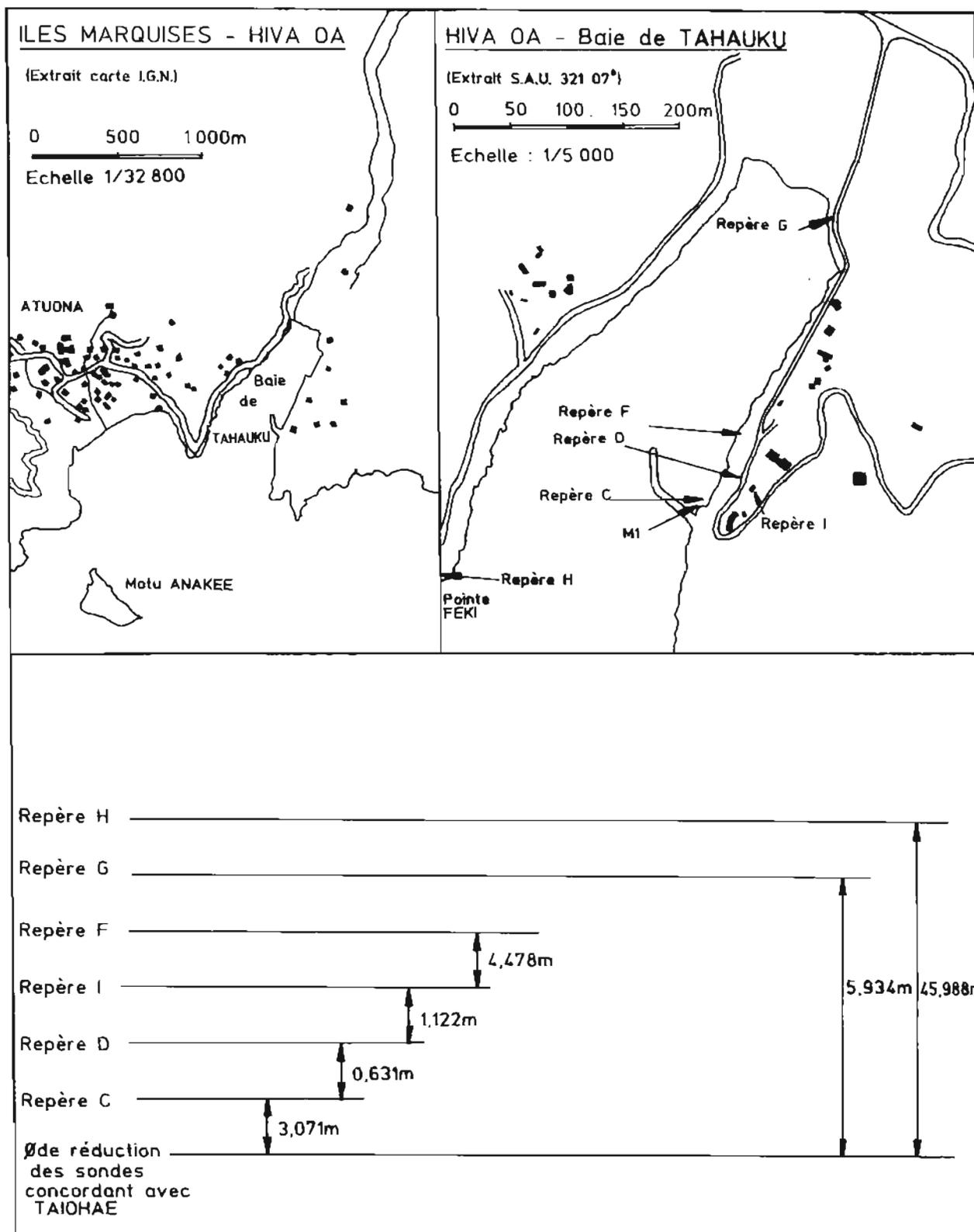
L'observatoire de marée de Tahauku a été également remis en service grâce à deux marégraphes Suber, mouillés au pied du débarcadère. Les repères de nivellement ont été contrôlés à cette occasion.



Pl. 14. — Observatoire de marée de Hakahau (Ua Pou)



Pl. 15. — Levés à Hiva Oa



Pl. 16. — Observatoire de marée de Tahauku (Hiva Oa)

Le zéro de réduction des sondes se situe à 45,988 m au-dessous du repère fondamental H, scellé dans l'embase du phare de la pointe Feki (voir pl.16).

II.9.5. Documents rédigés

pour Hakahau :

- une minute B1 ;
- quatre fiches géodésiques ;
- une fiche d'observatoire de marée : Hakahau.

pour Tahauku :

- une minute B1 ;
- deux fiches géodésiques et trois fiches d'amer ;
- une fiche d'observatoire de marée : Tahauku - Atuona.

Annexe II.9.a.

UA POU

Baie d'Hakahau

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 7
 Système géodésique : IGN 72

Altitudes rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Maitai exc. 92	605 092,0	8 964 861,4	127
Marché 92	604 536,50	8 965 010,90	5,7
Jetée	604 813,9	8 965 362,9	4,8
Borne incendie	604 893,9	8 965 084,4	12
F. rouge jetée	604 679,1	8 965 328,6	7
Java	604 314,94	8 965 244,47	20,0

Annexe II.9.b.**HIVA OA****Baie de Tahauku**

Coordonnées des stations et amers, placés ou utilisés

Ellipsoïde : International

Projection : UTM Sud fuseau 7

Système géodésique : IGN 72

Altitudes rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Teo	715 725,13	8 915 284,64	15,0
Ote	715 829,27	8 915 444,01	22,8
Feu vert jetée	715 625,06	8 915 444,06	4,3
Pylône Clovis	714 223,00	8 915 019,00	136,0
Calvaire blanc	714 848,19	8 916 302,28	163,6
Motu Anakee	714 864,6	8 914 255,9	2,4
Phare Feki	715 231,25	8 915 267,35	45,8

II.10. LEVÉ DES APPROCHES SUD-OUEST DE HIVA OA ET TAHUATA

II.10.1. Généralités

Les approches sud-ouest des îles de Hiva Oa et Tahuata ont été levées dans le cadre des reconnaissances bathymétriques qui se poursuivent depuis 1986. Lors de ces travaux effectués du 19 au 21 avril 1993, l'*Arago* s'est efforcé de pénétrer dans les baies de Tahuata qui restent à lever, afin d'éviter un recouvrement ultérieur problématique. Les conditions météorologiques étaient bonnes et les enregistrements sur sondeur Deso 20 ou Raythéon ont toujours été de qualité. Les limites de la zone levée figurent sur la planche 15.

II.10.2. Localisation

Le bâtiment a été localisé au GPS naturel pendant toute la durée des sondages, en mode 2D+T au moyen du récepteur Sercel TR5SB. Les quelques « sauts » observés sont toujours restés compatibles avec l'échelle du levé au 1 : 100 000. Pour les profondeurs supérieures à 1000 m, les profils ont cependant été espacés de 2 000 m.

II.10.3. Bathymétrie

Les profondeurs ont été mesurées simultanément au moyen des sondeurs Raythéon et Deso 20. Les bandes de sondes ont été numérisées sur table Altek de la manière suivante : dès lors que l'enregistrement analogique du Deso 20 était exploitable, c'est-à-dire généralement à partir des profondeurs voisines de 300 m, il était préféré à celui obtenu sur Raythéon compte tenu de sa meilleure résolution.

L'acquisition numérique du Raythéon a été utilisée à titre de contrôle.

A la position :

$E_{WGS84} = 700\ 769$ m et $N_{WGS84} = 8\ 918\ 917$ m, un écho correspondant à une sonde 16,6 m a été détecté sur les deux sondeurs. Cependant, sa trace sur les enregistrements n'était pas rattachée au fond ; il est vraisemblable qu'il correspondait à la réponse d'une forte concentration de poissons. La côte située à environ 700 m représentant un danger pour l'*Arago* et l'absence d'une localisation compatible avec un levé à plus grande échelle ont fait que cette sonde n'a pu être confirmée. Elle a été portée sur la minute de bathymétrie comme sonde d'existence douteuse.

Une recherche ultérieure sera d'autant plus difficile à entreprendre qu'à la pointe, les falaises sont accores et rendraient donc périlleuse la mise en place de stations. L'utilisation d'une station DGPS en 1994, placée sur un site approprié à Tahuata, permettrait de résoudre cette difficulté.

Les sondes des levés antérieurs ont été confirmées dans les parties communes et notamment dans le canal du Bordelais entre Tahuata et Hiva Oa (minute 91.39.3).

Une station de bathycélérimétrie a été effectuée à l'époque du sondage. La célérité intégrée a été déduite de ces mesures jusqu'à 980 m et des données des « echo-sounding correction tables » (NP139, 3^e édition, 1980) au-delà.

II.10.4. Marée

La marée a été observée à l'observatoire de Tahauku, à Atuona - Hiva Oa au moyen d'un marégraphe Suber SLS13 du 19 au 21 avril 1993.

A Tahauku, la cote du zéro de réduction des sondes est située à 45,988 m au-dessous du repère fondamental H, type SHOM scellé dans la base du phare de la pointe Feki (voir pl. 16).

Les profondeurs inférieures à 200 m ont été corrigées de la marée observée sur ce site.

II.10.5. Documents rédigés

- 1 minute B100 ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Atuona - Tahauku.

CHAPITRE III

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES AUX ÎLES DE LA SOCIÉTÉ

III.1. LEVÉ DE LA BAIE DE PAREA

III.1.1. Généralités

La baie de Parea, située au sud de l'île de Huahine, est une baie abritée à l'est, par le Motu Araara et du nord à l'ouest par le relief accentué de Huahine.

A la demande d'ALPACI, recherchant un éventuel accès pour patrouilleur de type P400, la baie et la passe ont été levées au 1 : 1 000 dans les limites figurées sur la planche 17. Trois étapes ont été consacrées à ce levé :

- le réseau géodésique a été implanté et les marégraphes ont été placés fin juin 1992 ;
- le levé de la baie s'est déroulé du 6 au 15 juillet 1992.

Au cours de cette phase, quelques profils de reconnaissance montrèrent que la passe était trop peu profonde pour permettre l'accès à un patrouilleur. Tandis qu'ALPACI renonçait alors à sa demande, il était décidé de poursuivre le levé de la passe au titre de l'hydrographie générale ;

- en décembre 1992, le sondage de la passe et de ses abords achevait le levé.

III.1.2. Géodésie - Localisation

Le réseau géodésique a été rattaché au réseau IGN-SAU⁽¹⁾ existant.

Les coordonnées des stations utilisées, en projection UTM Sud, fuseau 5, système géodésique IGN 1951-54 sur l'ellipsoïde international sont données en annexe III.1.a. Seuls les points nouveaux, placés par la mission, ont été fichés.

La localisation a été assurée dans la baie, par trois ou quatre lieux optiques ; l'écart quadratique sur les points calculés était en moyenne de 0,30 m et n'a que rarement dépassé le mètre.

A l'ouvert de la baie, le système Axyle a été utilisé pour guider et positionner la vedette ; l'espacement entre les profils a été alors porté de 10 m dans l'axe de la passe à 20 m puis, à 50 m plus à l'extérieur.

III.1.3. Bathymétrie

a) La baie de Parea a été sondée à l'échelle 1 : 1 000 en coralline localisée à l'optique. La passe a été levée par vedette à raison d'un profil tous les 10 m, et les abords extérieurs au récif tous les 20 m puis 50 m.

b) Dans la passe Araara, la reconnaissance à vue des fonds de 3 à 6 m a révélé la présence de profonds et étroits sillons qui pénètrent dans la barrière. Ils apparaissent nettement grâce à leur sable blanc qui tranche sur la masse grise du corail.

Leur orientation parallèle à la direction générale de la passe (et donc des profils), ainsi que le roulis ayant affecté la vedette, permettent d'expliquer des différences de mesures au sondeur vertical, pouvant dépasser 2 m pour une même position. Même par beau temps, la houle reste significative compte tenu des faibles profondeurs et difficilement moyennable sur les bandes de sonde. Les sondes les plus courtes ont été conservées lorsque le doute ne pouvait être levé.

c) Le contrôle au sondeur latéral du mouillage et de la passe n'a pas été réalisé en raison des risques très importants de perte du matériel compte-tenu des faibles profondeurs et de l'impossibilité de pratiquer des retournements en vedette.

d) Pour les raisons invoquées au paragraphe III.1.5.a et principalement celles relatives aux variations de niveau moyen, la marée observée sur le site même du levé à Parea, n'a pas été utilisée pour la correction des sondages. A l'observatoire de référence de Fare il a été constaté que la hauteur moyenne dans le lagon est restée stable pendant la même période.

Il s'avère qu'après le 12 juillet 1992, début de l'ensachage du lagon provoqué par de forts vents de sud-est, 7 profils seulement ont été réalisés, dont 5 de type traversier et 2 réguliers. Dans la pratique, le choix de sonde surfacique a donc privilégié aux intersections les profondeurs les plus faibles, en général issues du levé régulier. Enfin, le complément bathymétrique de décembre 1992, effectué dans le nord du Motu Araara par un temps très calme, a confirmé les sondes situées aux intersections des profils communs aux deux périodes.

Il ressort de cette analyse que les incertitudes sur les profondeurs portées sur les minutes de bathymétrie de la baie de Parea peuvent être estimées à :

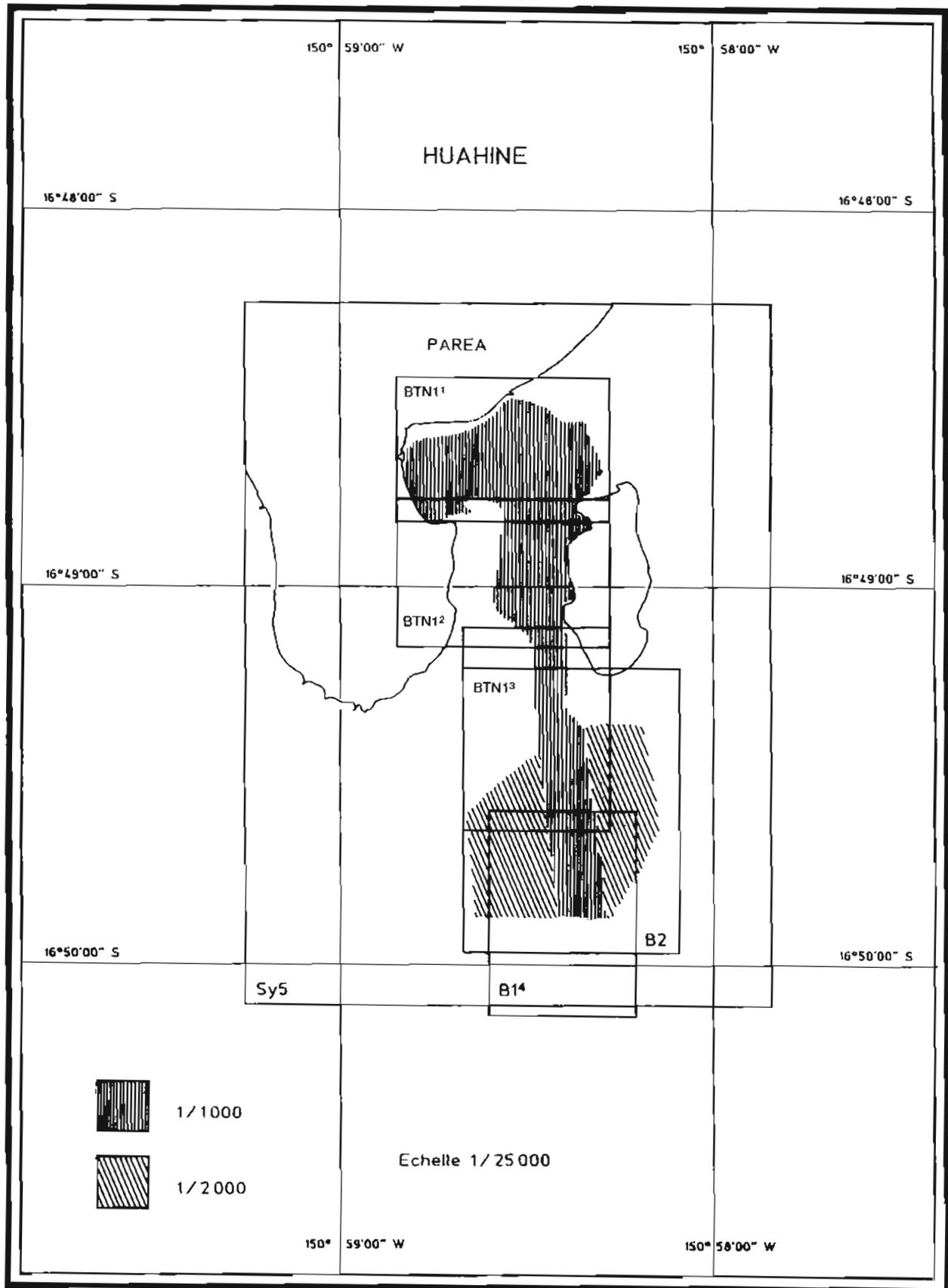
- 0,10 m pour l'erreur de mesure ;
- 0,10 m pour l'erreur de traitement-numérisation ;
- 0,10 m pour l'erreur sur la correction de marée ;
- et donc en moyenne à 0,17 m (erreurs indépendantes).

Néanmoins, **une surestimation de certaines profondeurs de l'ordre de 0,30 m est possible.** Cette mention a été portée sur les minutes B.

III.1.4. Topographie - Natures de fond

a) Le levé topographique de la baie de Parea a été volontairement restreint à la délimitation des hauts-fonds situés à l'intérieur de la baie afin de ne pas prolonger la durée du levé de manière prohibitive. Une minute topographique au 1 : 5 000 a par ailleurs été obtenue auprès du SAU. La partie topographie de la minute de synthèse Sy au 1 : 5 000 est d'ailleurs issue de ce document.

(1) SAU : Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme du Territoire



Pl. 17. — Levé de la baie de Parea

b) La nature superficielle du fond a été déterminée au ramasseur léger ou à vue par plongeur, tous les 100 m environ.

III.1.5. Marée - Courants

a) La marée a été observée en baie de Parea et à l'observatoire de référence de Fare pendant les périodes s'étendant du 22 juin au 15 juillet 1992 et du 7 au 10 décembre 1992.

Les conditions météorologiques régnant en baie de Parea au cours de juillet ont provoqué des variations de l'ordre de 0,30 m du niveau moyen en quelques jours. D'autre part, une erreur de manipulation des fichiers a entraîné la perte des données marégraphiques de la baie de Parea alors que les piles du marégraphe arrivaient à échéance et que sa relecture était impossible. Ces raisons ont conduit à utiliser la marée de l'observatoire de référence de Fare pour la réduction des sondages. Le zéro de réduction des sondes se situe à 1,809 m sous le repère A3 scellé dans l'angle sud-est du soubassement de la capitainerie de Fare.

Au cours du levé, une nouvelle échelle de marée, calée au zéro hydrographique, a été installée à l'observatoire de référence sur le quai de Fare (voir pl.18).

b) Afin d'avoir une appréciation du courant dans la passe, des drogues dérivantes ont été immergées à l'intérieur de la baie à proximité immédiate de la passe. Un mouillage classique de courantomètre était en effet exclu compte tenu des conditions de mer provoquées par la barre. La trajectographie des drogues a été déterminée par l'intermédiaire d'une embarcation positionnée par le système Axyle et qui se plaçait périodiquement à proximité du flotteur.

L'analyse de la trajectoire de ces drogues a permis de déterminer un courant sortant de l'ordre de 2 nœuds.

III.1.6. Information nautique

a) Bordée de plages de sable blanc, la baie de Parea offre un mouillage sûr aux bateaux de plaisance de faible tirant d'eau, dans la mesure où ils parviennent à embouquer la passe Araara. La passe étant étroite, peu profonde et non balisée, son franchissement est rendu dangereux par la barre qui se lève lorsque le courant sortant s'oppose à la mer du vent.

Bien que balisé à partir de la baie de Parea, l'accès vers la baie de Maroe sur la côte est de l'île n'est théoriquement praticable que par de petites embarcations.

Compte tenu de la fréquentation importante du lagon de Huahine, il pourrait être envisagé de lever ce passage qui conduit à la baie de Maroe.

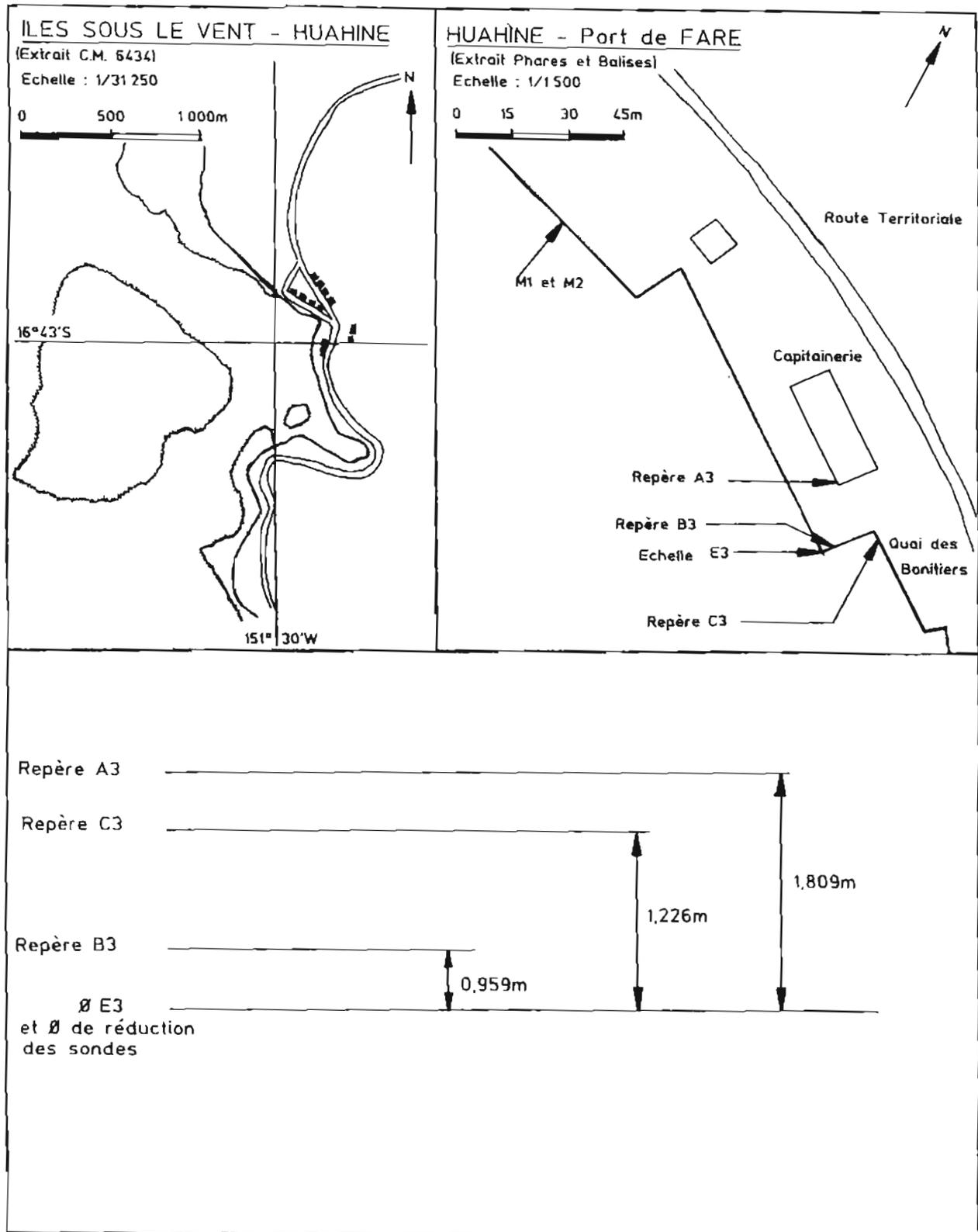
b) La vue de côte qui a été prise du mont Paumoe permet de constater que l'accès à la baie de Parea par la passe Araara est particulièrement sinueux.

III.1.7. Documents rédigés

- 3 minutes BTN1, une minute B1⁴ et une minute B2 ;
- une minute Sy5 ;
- 5 fiches géodésiques et 4 fiches de balisage ;
- une fiche d'observatoire de marée : Fare ;
- une vue de côte.

Les éléments de la minute de synthèse sont issus :

- pour la bathymétrie, d'un choix de sondes manuel effectué sur les minutes au 1 : 1 000 et au 1 : 2 000, ramené ensuite au 1 : 5 000 ;
- pour la topographie, du plan au 1 : 5 000 du SAU, dont un film positif a été adressé au SHOM par la mission.



Pl. 18. — Observatoire de marée de Fare (Huahine)

Annexe III.1.a.**HUAHINE****Baie de Parea**

Coordonnées des points utilisés ou placés

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 5
 Système géodésique : IGN 1951-54

Les altitudes sont rapportées au niveau moyen

Station	E	N	H
Doors	716 051,15	8 139 994,52	1,8
JJ Cale	715 464,71	8 139 493,86	0,8
F. Zappa	715 216,84	8 140 198,50	0,9
Led Zep	716 113,93	8 139 205,83	1,1
Stone	715 324,4	8 139 194,2	1
Wharf Parea	715 752,65	8 140 527,82	1,2
Hue 39	716 262,3	8 140 497,2	2,2
Hue 40	716 078,5	8 140 389,4	2,2
Hue 41	715 779,6	8 139 956,7	2,1
Hue 42	715 820,3	8 139 562,7	2,4

III.2. CONTRÔLE DE LA PASSE TAPUAERAHA

III.2.1. Généralités

A l'occasion d'un passage du BH *Arago* dans le sud de Tahiti, un contrôle au sondeur latéral EG&G 260 a été effectué sur l'alignement d'entrée de la passe de Tapuaeraha (voir pl. 19).

Ce travail, réalisé à titre d'entraînement juste après la réception à la mission de ce dernier sondeur, faisait suite à une demande du Port Autonome de Papeete.

III.2.2. Localisation

Le contrôle a été effectué par l'*Arago* en route dans les deux sens, sur l'alignement d'entrée de la passe.

Après qu'une variation ait été réalisée pour vérifier la qualité des indications du compas gyroscopique, des relèvements traversiers ont été effectués sur les balises du récif Toataire.

D'autre part, le positionnement était contrôlé par GPS naturel, au moyen du récepteur Sercel TR5SB. L'*Arago*, toujours sur l'alignement, est repassé dans les deux sens, sur le même axe à quelques mètres près.

III.2.3. Bathymétrie

Aucune obstruction nouvelle n'a été détectée sur l'enregistrement analogique du sondeur latéral dont la portée était de 150 m.

III.2.4. Rédaction

Les travaux ont été rédigés en surcharge sur la minute de rédaction des sondes de janvier 1966 n° 65.12.3 (projection UTM sud - fuseau 6 - IGN 51-54 - ellipsoïde international).

Bien que la zone explorée au sondeur latéral n'ait pas été insonifiée sous deux directions différentes comme l'imposent les normes, une délimitation par un trait tireté noir fléché a quand même été portée sur la minute.

III.3. LEVÉ DES ABORDS DU QUAI DES MOUVEMENTS GÉNÉRAUX

III.3.1. Généralités

Avant de procéder à des travaux d'aménagement du quai des mouvements généraux, situé dans la zone de réparation navale du port de Papeete, la Direction Mixte des Travaux en Polynésie a demandé que soit effectué un levé à grande échelle des abords du quai. La géodésie et la topographie du quai ont été réalisés les 25 et 27 mai 1993, puis le sondage bathymétrique les 8 et 13 juin 1993.

La situation de la zone levée est présentée sur la planche 19.

III.3.2. Géodésie - Localisation - Bathymétrie

La géodésie a été réalisée en plaçant des points temporaires à proximité du quai. Ils n'ont pas fait l'objet de fiches géodésiques. Les coordonnées des principaux points utilisés sont données en annexe III.3.a.

A partir des points P1, P2 et P3 ont été placés par relèvements et distances, 16 stations guides, espacées de 5 m sur le quai et matérialisées par des croix peintes.

A raison d'un profil tous les 5 m, le sondage a été réalisé par positionnement optique ; les travaux ont été rédigés au 1 : 500 en projection UTM Sud, fuseau 6, dans le système géodésique IGN 79 rapporté à l'ellipsoïde international.

III.3.3. Topographie - Natures de fond

Une topographie sommaire, limitée à la zone sondée et au levé du quai, a été dressée.

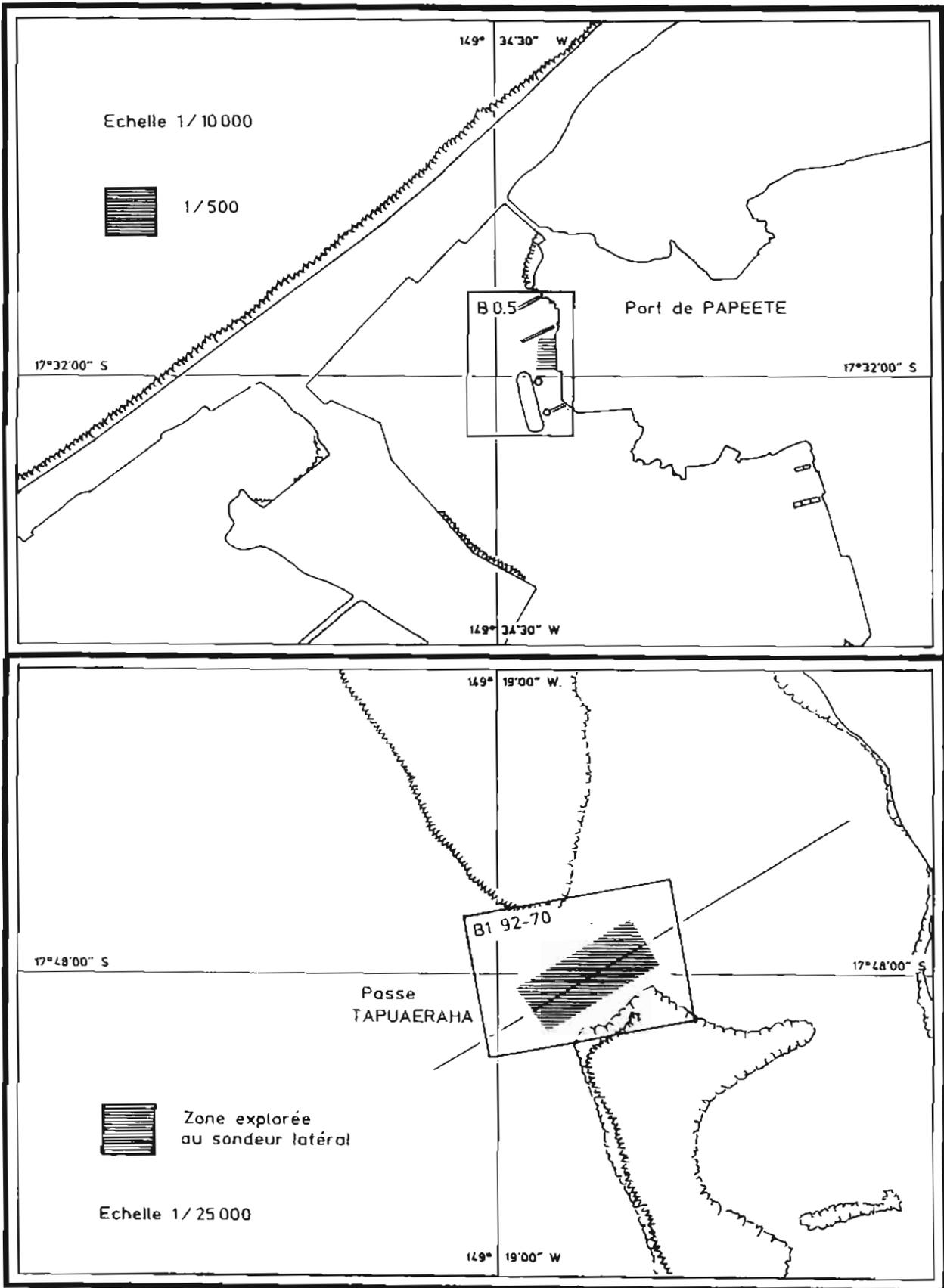
Les natures superficielles de fond déterminées à vue par plongeur ont été rédigées sur la minute BTN 0.5. La bande comprise entre le quai et l'isobathe 10 m a été reconnue comme étant parsemée de nombreux débris divers : tôles, pneus, tubes ...

III.3.4. Marée

La marée a été observée localement du 8 au 21 juin 1993. La cote du zéro de réduction des sondes non matérialisé, a été déterminée par concordance avec le zéro de Matavaï. Le zéro de réduction des sondes à Matavaï est situé à 2,225 mètres sous le repère F (IGN A1 bis), scellé dans un pilier support de clôture (voir pl. 20).

III.3.5. Documents rédigés

- une minute de bathymétrie, topographie, nature de fond BTN 0.5 ;
- une fiche de marée : Port de Papeete.



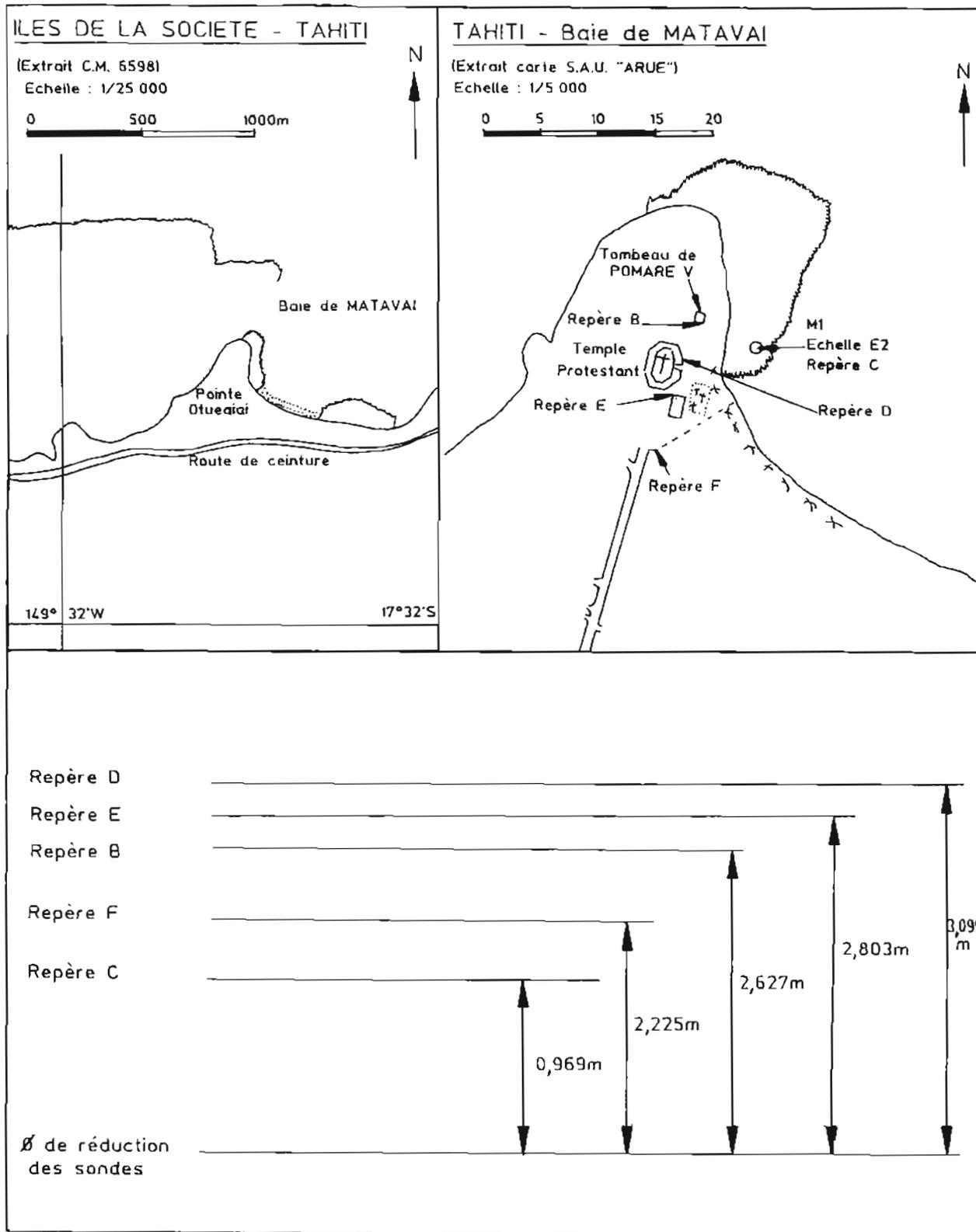
Pl. 19. — Levés à Tahiti

Annexe III.3.a.**TAHITI****Port de Papeete**

Coordonnées des stations utilisées

Ellipsoïde : International
Projection : UTM Sud fuseau 6
Système géodésique : IGN 1979

Station	E	N
Vigie port	226 358,85	8 059 424,42
Temple Paofai	226 750,47	8 058 320,91
P1	226 718,6	8 059 640,6
P2	226 727,3	8 059 559,6
P3	226 704,7	8 059 502,2



Pl. 20. — Observatoire de marée de Matavaï (Tahiti)

CHAPITRE IV

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES AUX ÎLES AUSTRALES

IV.1. RURUTU ET TUBUAI

IV.1.1. Généralités

Dans le cadre d'une convention onéreuse signée entre le SHOM et le Territoire, des travaux hydrographiques ont été réalisés du 4 au 8 janvier 1993 par un détachement de l'Échelon Polynésie de la Mission Océanographique du Pacifique au profit de la Direction de l'Équipement du Territoire. La Subdivision de l'Équipement des Îles Australes a apporté son concours efficace pour le soutien logistique lors des travaux.

A Rurutu, un réseau géodésique a été implanté aux abords du port de Moerai et la marée y a été observée du 4 au 29 janvier 1993. D'autre part, Rurutu et Tubuai ont été rattachés par mesures GPS différentielles.

IV.1.2. Géodésie

a) Trois points ont été placés et durablement matérialisés au voisinage immédiat du port de Moerai pour fournir à l'Équipement le réseau géodésique local nécessaire au levé du port et de ses abords.

Quatre points du Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme ont été retrouvés et contrôlés. Ils ont servi de points d'appui pour les visées angulaires et les mesures de distance.

Les coordonnées de ces points sont données en annexe IV.1.a.

b) A titre de contrôle, des mesures GPS différentielles ont été réalisées entre le point Matonaa et le bloc d'amarrage NE du port de Moerai.

D'autre part, un rattachement par GPS différentiel a été effectué entre Tubuai et Rurutu :

- les points stationnés à Rurutu sont le quai et le bloc d'amarrage NE (port de Moerai) ;
- à Tubuai, la station Alouette a servi de point de référence.

Les résultats des mesures GPS sont donnés en annexe IV.1.b. Il est précisé qu'il n'a pas été défini de nouveau système géodésique du fait de ces observations GPS, puisque des points déterminés antérieurement ont été réutilisés. Une comparaison entre les systèmes géodésiques WGS 84 et SAT 1984 à Rurutu est donnée en annexe IV.1.c.

IV.1.3. Marée

Un marégraphe SUBER SLS 13 a été mouillé le 4 janvier 1993 à l'aplomb nord du quai du port de Moerai. Les repères de nivellement portés sur la fiche d'observatoire antérieure (octobre 1957, L.V. BONZON)

ont tous disparu. Trois nouveaux repères ont été placés et nivelés. Le marégraphe a été relevé le 29 janvier 1993.

Les mesures de marée et de pression atmosphérique ont été adressées à l'EPSHOM pour la détermination de la cote du zéro hydrographique dont avait besoin l'Équipement pour la réduction de ses sondages. Les observations de marée de 1958 ont également été utilisées pour cette détermination.

Le zéro hydrographique est situé à 4,215 m sous la douille SHOM, repère fondamental scellé verticalement dans la base de la stèle du temple de Moerai (voir pl. 21).

IV. 1.4. Information nautique

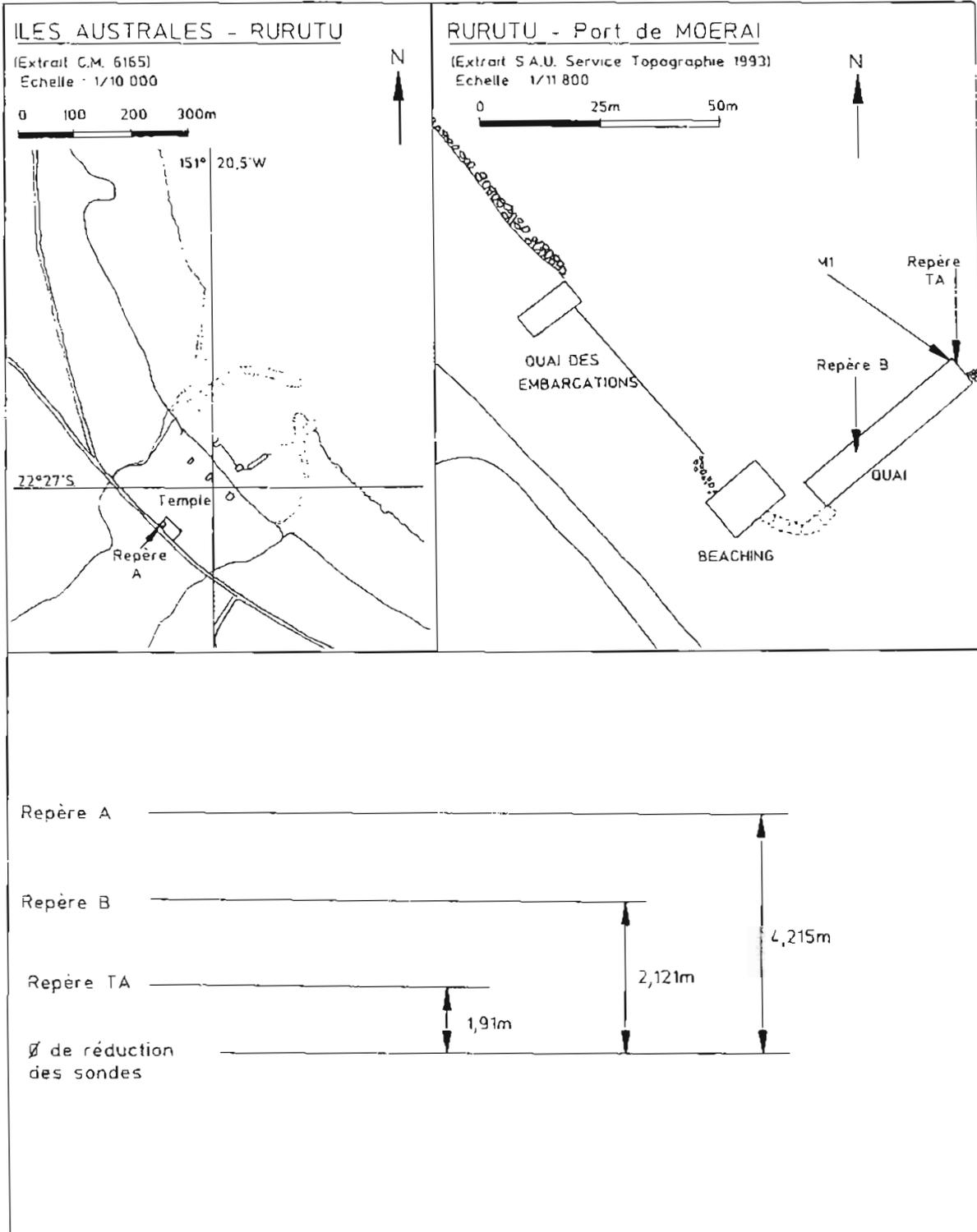
Des photographies du port de Moerai ont été jointes aux documents bathymétriques et topographiques établis par le Service Hydrographique de l'Équipement et adressées à l'EPSHOM.

Le temple de Moerai a été classé amer peu visible.

Un projet de texte à insérer dans les *Instructions Nautiques*, rédigé à partir des informations fournies par les services de l'Équipement, un pilote du port autonome de Papeete et le capitaine de la goélette assurant la liaison Papeete-Australes a été également proposé à l'EPSHOM : en 1993, le port permettait d'accueillir des navires de 3,5 m de tirant d'eau. La passe non balisée, d'une largeur effective de 20 m et fortement exposée, rendait son accès dangereux.

IV.1.5. Documents rédigés

- 4 fiches géodésiques et une fiche d'amer ;
- 1 fiche d'observatoire de marée : Rurutu.



Pl. 21. — Observatoire de marée de Moerai (Rurutu)

Annexe IV.1.a.

RURUTU

Coordonnées des points du Service de l'Aménagement et de l'Urbanisme retrouvés et contrôlés

Ellipsoïde : International
 Projection : UTM Sud fuseau 5
 Système géodésique : SAT 1984
 Altitudes rapportées au niveau moyen

Points et amer	E	N	H
Piquet Matonaa	670 267,59	7 517 368,67	56,13
Relais Matonaa	669 760,03	7 517 261,88	
Temple Moreai	670 585,6	7 516 306,3	23,60
Ant. Manureva	668 998,20	7 515 277,02	

Coordonnées des nouvelles stations placées aux abords du port de Moreai

Station	E	N	H
Quai	670 735,96	7 516 408,34	1,1
Pont	670 592,00	7 516 474,46	1,9
Bloc amarrage	670 806,19	7 516 473,99	2,3

Annexe IV.1.b.

Analyse GPS

La position absolue de la station de référence *Alouette* (Tubuai), dans le système géodésique WGS84, a été déterminée par mesures GPS en mode pseudo-distances.

Dans un premier temps, les lignes de bases Alouette-Bloc d'amarrage et Alouette-Quai ont été calculées en fixant la position adoptée pour la station de référence ; ensuite la ligne de base Bloc-Matonaa a été calculée en fixant la position obtenue pour Bloc.

1. Position absolue de la station GPS de référence « Alouette »

Précision estimée des coordonnées absolues :

30 m en horizontal
60 m en vertical

Coordonnées géocentriques (WGS 84)

X = - 5 047 313,9 m
Y = - 2 975 673,2 m
Z = - 2 511 769,7 m

Coordonnées géographiques (WGS 84)

L = 23° 20' 38,386" S
G = 149° 28' 41,799" W

Altitude ellipsoïdique : 69,17

Nota: Toutes les altitudes sont rapportées à l'ellipsoïde WGS 84, la hauteur du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde, estimée à partir des observations faites à Tubuai, est de 67 m.

2. Mesures GPS différentielles entre Tubuai et Rurutu

Précision estimée des vecteurs de base entre Tubuai et Rurutu

30 cm en X et Y
20 cm en Z

2.1. Vecteur Alouette - Bloc

Coordonnées géocentriques du vecteur de base (WGS 84)

dX = - 127 856,4 m
dY = 147 128,2 m
dZ = 91 229,0 m

2.2. Vecteur Alouette - Quai

Coordonnées géocentriques du vecteur de base (WGS 84)

dX = - 127 867,5 m
dY = 147 201,6 m
dZ = 91 169,7 m

3. Mesures GPS différentielles à Rurutu

Le positionnement et le contrôle des points géodésiques à Rurutu a été fait par des moyens classiques. Une seule base a été mesurée par GPS à titre de vérification. Les résultats sont excellents.

Précision estimée du vecteur de base

1 cm en X et Y

1 cm en Z

Coordonnées géocentriques du vecteur de base Bloc-Matonaa (WGS 84)

dX = -604,05 m

dY = 293,34 m

dZ = 801,68 m

Annexe IV.1.c.

**Passage du système WGS 84 au système SAT 1984
à Rurutu**

Coordonnées géocentriques dans le système WGS 84 (ellipsoïde WGS 84) et le système SAT 1984
(ellipsoïde international).

Point	Système	X	Y	Z
Matonaa	WGS 84	- 5 175 774,31	- 2 828 251,61	- 2 419 739,00
	SAT1984	- 5 175 925,67	- 2 828 394,27	- 2 419 690,52
Bloc	WGS 84	- 5 175 170,26	- 2 828 544,94	- 2 420 540,69
	SAT1984	- 5 175 321,24	- 2 828 688,98	- 2 420 491,36
Quai	WGS 84	- 5 175 181,35	- 2 828 471,54	- 2 420 599,98
	SAT1984	- 5 175 331,34	- 2 828 615,29	- 2 420 552,29

Calcul du vecteur de translation entre les centres d'ellipsoïde (hypothèse de translation simple).

	dX	dY	dZ
Matonaa	151,36	142,66	- 48,48
Bloc	150,98	144,04	- 49,33
Quai	149,99	140,80	- 47,69
Moyenne	150,78	142,50	- 48,50

RÉFÉRENCES

BESSERO G. - Logiciel d'ajustement d'un réseau géodésique. Rapport n° 884 EPSHOM/E/GG du 10 octobre 1984.

BESSERO G. - *Annales hydrographiques*, 5^e série, vol.18 - 1992, n° 765, annexe 2, p. 254 à 256.

BISQUAY H. - Premiers essais des récepteurs GPS Ashtech LDXII au SHOM. Rapport d'étude SHOM n° 004/91 d'avril 1991.

LE GOUIC M. - Systèmes géodésiques de l'Archipel des Marquises. Rapport particulier n° 131 MOP/PPT du 12 juillet 1990.

SAUVAGE J.L. - Travaux géodésiques à Hakamaï. Rapport particulier n° 22 MOP/PPT du 28 janvier 1992.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉS

ALPACI	Amiral, Commandant les Forces Maritimes du Pacifique
BH2C	Bâtiment hydrographique de 2 ^e classe côtier
CC	Capitaine de Corvette
COMAR	Commandant de la Marine
DCN	Direction des Constructions Navales
ENSTA	École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
EOR	Élève Officier de Réserve
EPSHOM	Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
ESE	École Supérieure d'Électricité
EV1	Enseigne de Vaisseau de 1 ^{re} classe
GDOP	Geometric Dilution Of Precision
ICA	Ingénieur en Chef de l'Armement
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IPER	Indisponibilité Périodique pour Entretien et Réparation
IPETA	Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement
LV	Lieutenant de Vaisseau
MHEFO	Mission Hydrographique des Établissements Français de l'Océanie
MHPF	Mission Hydrographique de Polynésie Française
MOP	Mission Océanographique du Pacifique
MP	Maître Principal
PC	Personnel Computer
PEI	Période d'Entretien Intermédiaire
SA	Selective Availability
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SPT	Société Polynésienne de Télédétection

Imprimerie de l'Établissement Principal
du Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine
13, rue du Chatellier
B.P. 426 — 29275 Brest Cedex
Février 1996

Dépôt légal premier trimestre 1996
Numero d'éditeur : 2202

AVIS AUX AUTEURS

Les auteurs sont priés de se conformer aux indications suivantes :

Texte

1) Les articles ou communications doivent être remis dactylographiés de préférence avec double interligne et sur le recto seulement de feuilles format 21 x 29,7 cm. Il est fortement souhaitable que les textes soient saisis au moyen d'un logiciel de traitement de texte de grande diffusion et les fichiers correspondants transmis sur disquettes en accompagnement de la version sur papier.

2) Les noms propres, les noms de lieux et les noms d'instruments doivent être écrits en bas de casse (minuscules) avec la première lettre en capitale (majuscule).

Par exception à la règle ci-dessus, les noms propres sont écrits en capitales dans la bibliographie.

Les noms de navires, les références à des ouvrages et les noms des espèces animales ou végétales doivent être écrits en italique ou soulignés d'un trait continu.

3) Le titre de l'article 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 en anglais.

5) Les références bibliographiques seront groupées à la fin de l'article ; 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 articles dactylographiés et les planches ne doivent pas, sauf accord préalable, excéder 25 pages.

Illustration

1) Les dessins doivent être exécutés :

a) soit 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). Dans ce cas :

- ils doivent être envoyés roulés ou à plat, mais jamais pliés ;

- ils peuvent être présentés à grande échelle ; des réductions, exécutées par l'atelier de photographie, les ramèneront au format maximal permis pour la publication : 16,5 x 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.

b) soit au moyen d'un logiciel de dessin. Les fichiers correspondants, à un format standard du marché, accompagneront alors l'épreuve papier, avec indication du logiciel utilisé et de sa version. Pour la définition de la taille du dessin, il sera tenu compte des prescriptions exposées ci-dessus.

2) 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 l'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 de l'article en précisant le nombre d'exemplaires ainsi que l'adresse à laquelle doivent être envoyées les factures.

Sommaire

Première partie

Approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction de sa vitesse,

par P. RÉVILLON, Capitaine de Vaisseau honoraire, Centre d'Études et de Recherches de Biologie et d'Océanographie Médicale, Nice.

Détermination des hauteurs d'eau extrêmes pour la délimitation du domaine public maritime, par B. SIMON, Ingénieur Civil sous contrat

Évaluation d'un sondeur multifaisceaux grands fonds pour les levés hydrographiques, par H. TONCHIA, Ingénieur Principal de l'Armement

Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne, par O. CONNAN, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale ; C. CHAUMERY ; T. LABASQUE ; P. LE CORRE, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale ; Y. MARTY, URA 322/CNRS, Université de Bretagne Occidentale

Deuxième partie

Mission Océanographique de l'Atlantique (janvier-septembre 1987),
par G. BESSERO, Ingénieur Principal de l'Armement

Mission Océanographique du Pacifique - Échelon de Polynésie
(février 1992 - août 1993),
par Y. GUILLAM, Ingénieur Principal des Études et
Techniques d'Armement

ANNALES HYDROGRAPHIQUES 767



ISBN 2-11-088134-8