

Annales Hydrographiques

6^e Série - Vol. 1

N° 770



Service
Hydrographique
et Océanographique
de la Marine



2000

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
■ Préambule	1-1
Première partie	
■ Réseau géodésique de Polynésie française – Synthèse des campagnes Doris, <i>par S. LANNUZEL...</i>	2-1
■ Évaluation du système de localisation GPS différentiel multi-référence Multifix sur le BH1 <i>L'Espérance, par J.-M. LÉCULIER.....</i>	3-1
■ Étude des paramètres physico-chimiques du port militaire de Brest de mai 1994 à décembre 1995, <i>par T. LABASQUE</i>	4-1
■ Courants de marée sur la côte nord de Bretagne, <i>par L. PINEAU</i>	5-1
■ Baie de Somme : cartographie magnétique et détection d'obstructions en baie de Somme, <i>par</i> <i>M. CROUZAT, M.-F. LALANCETTE</i>	6-1
■ Détection automatique des erreurs ponctuelles présentes dans les données bathymétriques à l'aide d'un estimateur robuste, <i>par N. DEBESE.....</i>	7-1
■ Bilan du projet Medatlas, <i>par D. JOURDAN</i>	8-1
Deuxième partie	
■ Mission océanographique de l'Atlantique – (juillet 1984 – janvier 1987), <i>par J. BONNOT</i>	9-1
■ Mission océanographique du Pacifique – (avril 1986 – avril 1988), <i>par J. LAPORTE</i>	10-1
■ Index de la 5 ^e Série	11-1

© S.H.O.M. 2000 — Tous droits réservés.

ISBN 2-11-088283-2

PRÉFACE DE LA SIXIÈME SÉRIE

Les Annales Hydrographiques constituent la plus ancienne publication du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Depuis le début de sa parution en 1848, 5 séries se sont succédées, représentant 138 volumes parus sur un rythme quasi annuel. La 5^e série démarrée en 1972 s'est achevée en 1998 sur le numéro spécial du 150^e anniversaire des annales qui fut l'occasion de rappeler le cadre historique de l'action du Service, de retracer l'évolution des méthodes et des techniques scientifiques mises en œuvre par les hydrographes et de dresser un panorama de la coopération nationale et internationale.

La 6^e série qui commence avec ce numéro vise à pérenniser la publication d'articles scientifiques et techniques rendant compte des progrès réalisés dans les domaines de l'hydrographie, de la cartographie marine et de l'océanographie. Si l'ambition principale est de mieux faire connaître l'activité et le savoir-faire du Service, les colonnes de ces annales sont également ouvertes aux auteurs extérieurs, qu'ils soient hydrographes ou océanographes, praticiens ou théoriciens, qui souhaitent contribuer à l'amélioration de la connaissance de l'océan en matière de compréhension, de modélisation ou d'instrumentation.

Comme pour la série précédente, les volumes de la 6^e série comporteront deux parties, la première sera plus particulièrement consacrée aux études scientifiques et techniques, la seconde sera quant à elle réservée aux rapports sur les travaux exécutés par les missions hydro-océanographiques et aux comptes rendus de fin de campagne des directeurs de mission. Le lecteur pourra constater à nouveau, dans le premier numéro de cette nouvelle série, la diversité des sujets abordés (localisation par satellite, étude des courants de marée et des paramètres physico-chimiques de la mer, cartographie magnétique) qui témoignent toujours de la richesse des compétences maintenues et développées au sein du Service au profit des marins. Il trouvera également, à la fin de ce numéro, un index regroupant par thèmes et par auteurs les articles parus dans la 5^e série.

Nous espérons que cette nouvelle série répondra encore mieux aux attentes de ceux qui s'intéressent à la connaissance de l'océan et restera un outil d'information utile pour la diffusion des travaux concernant l'ensemble des activités liées à l'hydrographie et à l'océanographie.

L'ingénieur général de l'armement Yves DESNOËS
directeur du service hydrographique
et océanographique de la marine

PREMIÈRE PARTIE



RÉSEAU GÉODÉSIQUE DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

SYNTHÈSE DES CAMPAGNES DORIS DÉTERMINATION DES DÉCALAGES AVEC LES SYSTÈMES GÉODÉSQUES LOCAUX

Serge LANNUZEL

Ingénieur des Études et Techniques d'Armement
Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
Section Géodésie - Géophysique

RÉSUMÉ

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a mis en place un système géodésique actualisé en Polynésie française : le réseau géodésique de Polynésie française (RGPF). Ce système géodésique est basé sur l'ITRF92 (1993.0), référentiel terrestre géré par l'IERS.

La matérialisation de ce réseau a été menée en deux étapes distinctes. La première a consisté à construire un réseau de référence constitué de treize stations réparties sur le territoire et dont les positions ont été déterminées à l'aide de la technique spatiale Doris. Cette étape s'est déroulée en collaboration avec l'Institut Géographique National (IGN) qui dispose d'une compétence théorique et pratique du système Doris.

La deuxième phase de cette matérialisation est toujours en cours. Elle est réalisée progressivement par la mission océanographique du Pacifique, entité du SHOM installée à Tahiti. L'objectif est de déterminer au moins un point durable sur chaque groupe d'atolls proches afin de matérialiser le RGPF et de déterminer les décalages entre les systèmes géodésiques locaux et le RGPF. Ceci permettra au SHOM de réaliser ses travaux hydrographiques futurs dans un système mondial et de rattacher à ce système les levés hydrographiques anciens dont les positions, avant les années 90, étaient exprimées dans un système géodésique local.

ABSTRACT

The French Hydrographic and Oceanographic Service (SHOM) has set up a new modern geodetic system in French Polynesia: the « réseau géodésique de Polynésie française », (French Polynesia geodetic system), called RGPF. It is based on the international terrestrial frame ITRF92 (1993.0) from IERS.

This geodetic network was materialized in two steps. The first step consisted in building the reference frame: 13 geodetic points on the whole territory localized with French spatial positioning system Doris. This step occurred in collaboration with French geographic institute (IGN) which has a theoretical and practical competence in Doris system.

The second step is still on. The Pacific oceanographic unit of SHOM at Tahiti progressively densifies the RGPF network. The aim is to have at least one point in RGPF for each group of atolls, and to calculate datum shifts between local geodetic systems and RGPF. So, SHOM will refer its future hydrographic surveys in a clearly defined world geodetic system as well as its old hydrographic surveys, where positions were till the 90's expressed in local geodetic system.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ 1. INTRODUCTION	2-3
■ 2. LA CAMPAGNE DORIS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	2-4
2.1 Système Doris	2-4
2.2 Observations Doris	2-4
2.3 Monumentation des sites	2-4
2.4 Mesures de marée	2-5
■ 3. LE RGPF	2-5
3.1 Choix d'un nouveau système géodésique	2-5
3.2 Description du RGPF	2-5
3.3 Détermination des coordonnées des sites du RPPF	2-5
3.4 Précision des coordonnées des points du RGPF	2-6
3.5 Coordonnées des stations du RPPF	2-6
■ 4. LA DENSIFICATION DU RGPF	2-6
■ 5. DÉCALAGES ENTRE SYSTÈMES GÉODÉSQUES	2-6
5.1 Introduction	2-6
5.2 Décalages entre systèmes locaux et le RGPF	2-7
5.3 Décalages entre systèmes locaux et le WGS 84	2-7
■ ANNEXE A : LE SYSTÈME DORIS	2-7
■ ANNEXE B : FICHES SIGNALÉTIQUES DU RGPF	2-8
■ ANNEXE C : DÉCALAGES ENTRE SYSTÈMES GÉODÉSQUES LOCAUX ET LES SYSTÈMES MONDIAUX ITRF 92 ET WGS 84	2-13
■ ANNEXE D : PARAMÈTRES DE PASSAGE DU SYSTÈME ITRF 92 VERS LE SYSTÈME WGS 84	2-22
■ ANNEXE E : RÉFÉRENCES	2-22
■ ANNEXE F : SIGLES	2-23
■ ANNEXE G : SYNTHÈSE GRAPHIQUE DU RGPF	2-24

1. INTRODUCTION

A l'initiative du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et en coopération avec l'Institut Géographique National (IGN), il a été décidé d'établir un réseau géodésique unique pour l'ensemble de la Polynésie française : le Réseau Géodésique de Polynésie Française (RGPF). Le système de géodésie spatiale Doris (Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite) a été utilisé pour la détermination des 13 stations de référence qui forment le réseau de référence en Polynésie française (RRPF). La campagne de mesure s'est déroulée entre août 1993 et juin 1995, permettant la détermination des coordonnées des stations de référence dans un système géodésique mondial basé sur l'International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

Ce rapport présente la campagne de mesure et les résultats obtenus. Une densification du réseau est depuis en cours pour permettre le rattachement de tous les îlots et atolls de Polynésie française au RGPF. On déduit ensuite les décalages entre les systèmes géodésiques locaux et les systèmes mondiaux.

La Polynésie française

La Polynésie française regroupe un ensemble de 118 îles ou atolls du Pacifique, soit 4 167 km² dispersés sur 5 500 000 km². Elle est composée de 5 archipels : Société, Marquises, Australes, Gambier, Tuamotu. Quelque 220 000 habitants y résident.

Objectifs

Les objectifs des campagnes Doris et des travaux complémentaires étaient la définition d'un réseau géodésique (RGPF) matérialisé par :

- un réseau de référence (RRPF) composé de stations Doris, et de stations de sauvegarde ;
- une densification à partir du RRPF et de techniques spatiales (GPS) pour établir, par ordre de priorité décroissante :
 - si possible un point RGPF sur des îles ou atolls espacés de 500 à 1000 km pour permettre l'installation de stations différentielles GPS afin d'assurer une localisation de qualité lors des travaux hydrographiques dans la ZEE française ;
 - si possible un point RGPF par île ou atoll habité ;
 - si possible un point RGPF par île ou atoll, habité ou non.

Le rattachement des systèmes locaux à un système mondial (ITRF) a été considéré comme un objectif secondaire des travaux, compte tenu de la facilité de densification locale permise par les techniques spatiales actuelles (GPS statique, RTK...).

2. LA CAMPAGNE DORIS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

2.1 Système Doris

L'annexe A présente succinctement le système Doris.

2.2 Observations Doris

La campagne de mesures Doris en Polynésie française s'est déroulée en deux phases, l'une d'août 1993 à mars 1994, l'autre de janvier à juin 1995. Les travaux ont été menés par la Mission Océanographique du Pacifique (MOP), unité du SHOM installée à Tahiti.

Douze sites ont été localisés en Polynésie (tableau 1). Dans le cadre de cette campagne, il n'a pas été nécessaire de stationner le site de Huahine car de janvier 1989 à août 1994 il faisait partie du réseau permanent d'orbitographie Doris : il est donc naturellement intégré au réseau géodésique constitué.

Pendant les campagnes Doris en Polynésie, une équipe de la MOP se déplaçait de site en site pour installer et entretenir le matériel Doris, effectuer les travaux complémentaires : rattachement au réseau local, installation de bornes de sauvegarde, mesures de marée et de nivellement ... Pour éviter les conséquences d'une avarie matérielle qui aurait nécessité de redéfinir dans l'urgence une nouvelle stratégie d'observation, elle disposait de matériel Doris en double.

La durée nominale d'observation sur chaque site avait été fixée à 17 jours : elle fut respectée sauf pour le site de Nuku Hiva (8 jours) suite à un défaut de fonctionnement du matériel (voir §B.4.1) et pour la station d'Apataki (12 jours) en raison d'opérations de maintenance sur les satellites. Le fonctionnement de la balise de Tubuai a été perturbé à plusieurs reprises par des coupures de courant (voir §B.2.1). A Tahiti (Pamatai), pour garantir une meilleure précision, les observations ont duré un mois.

Une station permanente du système Doris a depuis été installée à Tahiti, dans l'enceinte du laboratoire de géophysique de l'UFP à Faaa, qui accueille également l'instrumentation de suivi laser, du système PRARE et du système GPS, mis en place progressivement depuis 1995. Cette station est intégrée à l'ITRS et à l'IGS (International GPS Service). Le rassemblement en un même lieu de ces quatre techniques de positionnement précis autorise le recalage des différents repères. Cette capacité confère au site le titre d'Observatoire Géodésique de Tahiti, depuis son inauguration officielle le 12 mai 1998.

2.3 Monumentation des sites

Les sites retenus sont adaptés aux mesures spatiales, d'accès aisé, durables et ayant un masquage minimal. La monumentation a été réalisée chaque fois que possible selon les normes de l'IGN, en particulier en insérant le repère dans un bloc de béton de 1 m³. Des repères de sauvegarde ont été installés dans l'environnement immédiat du site Doris. Par ailleurs, des repères géodésiques des systèmes locaux ont été rattachés à la station Doris, généralement par géodésie spatiale à l'aide de récepteurs GPS (mode statique), et dans quelques cas par les méthodes de la géodésie classique.

Tableau 1

Archipel	N° du site	Îles ou îlot	Observations
Îles de la Société	1	Tahiti	du 19/08 au 28/09/1993
	13	Huahine	de 01/1989 à 08/1994
Archipel des Tuamotu	5	Apataki	du 17/12 au 28/12/1993
	3	Anaa	du 09/11 au 26/11/1993
	8	Napuka	du 26/01 au 06/02/1995
	7	Hao	du 15/02 au 09/03/1994
	9	Nukutavake	du 15/02 au 28/02/1995
	6	Mururoa	du 19/01 au 14/02/1994
	12	Mangareva	du 18/06 au 27/06/1995
Îles Marquises	4	Nuku Hiva	du 04/12 au 11/12/1993
Îles Australes	11	Rurutu	du 08/05 au 29/05/1995
	2	Tubuai	du 07/10 au 27/10/1993
	10	Rapa	du 11/03 au 30/03/1995

2.4 Mesures de marée

En même temps que les mesures Doris, la marée a été observée sur chacun des îlots, sauf à Furuu en raison d'un dysfonctionnement du marégraphe et à Anaa qui constitue un atoll fermé⁽¹⁾. Des repères de nivellement ont été mis en place lorsque cela était nécessaire, et les repères d'altitude de l'observatoire de marée ont été rattachés au site Doris par nivellement géométrique ou par mesures GPS.

3. LE RGPF

3.1 Choix d'un nouveau système géodésique

Le nouveau système géodésique est un système géocentrique, basé sur une réalisation de l'ITRS (International Terrestrial Reference System). Ceci est en accord avec les recommandations de l'Association Internationale de Géodésie.

Du point de vue de la maintenance du réseau géodésique, on distingue trois types de systèmes géodésiques ([DOC 2]) :

- dans un **système statique**, les coordonnées des stations de référence du réseau sont figées : la NTF est un système statique ;
- un **système semi-dynamique** est défini par sa relation à un système de référence dynamique à une époque donnée. Sa définition est figée à cette époque. Les coordonnées à l'époque de référence peuvent être légèrement modifiées si des observations nouvelles sont disponibles afin d'entretenir le système semi-dynamique par rapport au système de référence dynamique. Ceci nécessite d'effectuer les calculs à une époque donnée (en principe celle des mesures), et donc d'utiliser un modèle d'évolution des coordonnées (modèle de vitesse) pour un transport des coordonnées à l'époque des mesures, puis pour rapporter les résultats à l'époque de référence du système. Les ITRFs, sur lesquels s'appuient le RGF (Réseau Géodésique Français) ou le RGPF par exemple, sont des systèmes semi-dynamiques reliés au système ITRS.
- un **système dynamique** est directement défini par sa relation à un système dynamique de référence global tel que l'ITRS. Les dépendances temporelles sont incluses dans sa définition.

Le SHOM a défini le RGPF comme un système semi-dynamique, basé sur un ITRF. Ce choix est justifié par le fait que les coordonnées des antennes Doris sont connues dans l'ITRS : l'ITRF92(93.0) à l'époque des campagnes Doris en Polynésie française, et que les relations entre ITRFs sont estimées et publiées.

Ce système est ainsi parfaitement utilisable pour des applications géodésiques, tout en restant utilisable directement comme un système statique par une majorité d'utilisateurs, pour des applications dont la précision requise reste supérieure au demi-mètre (navigation, topographie, restitution photogrammétrique ...).

Cas du WGS84

Système de référence établi par les États-Unis d'Amérique (ministère de la défense), le WGS84 est un système mondial statique : les coordonnées des stations de référence du réseau (les 5 stations de poursuite du système GPS) sont figées. L'évolution du WGS84 est non maîtrisée par la communauté internationale. Ce manque de transparence le rend difficilement utilisable en géodésie.

La dernière version ([DOC 3]) du WGS84 est le G873 (mis en fonction pour la transmission des éphémérides radiodiffusées au début de la semaine GPS 873), la précédente le G730. WGS84 (G730) est équivalent au niveau décimétrique à l'ITRF92 ; WGS84 (G873) est cohérent avec une solution de l'ITRS au niveau de 10 cm : les écarts entre les coordonnées WGS84 (G873) et celles dans l'ITRF ne devraient pas dépasser 10 cm en moyenne. Au contraire des ITRFs qui sont liés les uns aux autres, aucune relation n'a été estimée entre le WGS84 (G873) et une réalisation de l'ITRS, ni entre cette version du WGS84 et une précédente. Aucun modèle de vitesse n'est associée au WGS84.

Cela fait du WGS84 un système inadapté pour la géodésie, mais assimilable à un ITRF en localisation quand la précision requise est au plus le mètre.

3.2 Description du RGPF

Par analogie avec le réseau géodésique mis en place en France métropolitaine (RGF, Réseau Géodésique Français), un nouveau réseau géodésique a été mis en place en Polynésie française, le RGPF (Réseau Géodésique de Polynésie Française). Il est également basé sur l'ITRS. Le RGPF comprend plusieurs niveaux, dont le premier est le réseau de référence de Polynésie française (RRPF).

Les coordonnées RGPF sont des coordonnées ITRF92 (1993.0). Le RGPF est associé à l'ellipsoïde IAG-GRS 1980.

Le RRPF comporte treize points. Un soin particulier a été apporté au choix de ces points, à leur matérialisation et à leur détermination. Ils forment par la suite le réseau de référence à partir duquel ont été réalisées les densifications locales du réseau. Ce RRPF a été déterminé à l'aide de la technique Doris ; les treize points sont indépendants les uns des autres.

3.3 Détermination des coordonnées des sites du RRPF ([CLS 1] et [CLS 2])

La société CLS a déterminé les positions des sites Doris dans le système terrestre Doris (STD). Les positions déterminées par CLS se rapportent au point de référence de l'antenne : le centre de phase d'émission de la voie 400 MHz (antenne de localisation), sauf pour le site de Huahine où le point de référence se situe à la base de l'antenne (antenne d'orbitographie).

La détermination des coordonnées des sites stationnés a été effectuée par l'EPSHOM à partir des coordonnées du

(1) Napuka et Nukutavake sont également des atolls fermés (voir §B.8 et §B.9). A Napuka et à Nukutavake, le marégraphe a été installé à l'extérieur du lagon.

point de référence de l'antenne ([CLS 1] et [CLS 2]), et de la hauteur d'antenne au dessus du repère [RP 1]).
Le Système Terrestre Doris (STD) peut être confondu avec l'ITRF92 (époque 1993.0) ([CLS 1]).

3.4 Précision des coordonnées des points du RGPF

A partir du début de l'année 1994, le satellite Spot3 a été déclaré opérationnel ; les mesures recueillies par le récepteur Doris installé sur ce satellite ont pu alors être utilisées en complément de celles du satellite Spot2.
Avec les deux satellites en fonction, la précision obtenue pour les sites Doris est estimée à 0,1 m, contre 0,2 m avant l'utilisation de Spot3.

Les sites du RRPF ont une précision, à 1σ , meilleure que 0,2 m sur les trois composantes géocentriques : 0,2 m pour les sites de Nuku Hiva, Apataki, Tubuai et Anaa, contre 0,1 m pour les autres ([CLS 1] et [CLS 2]).

Les rattachements effectués par mesures GPS ont une précision relative meilleure que $2 \text{ mm} + D \times 10^{-6}$ ([DOC 4]) en respectant les recommandations minimales suivantes : récepteurs bi-fréquences, acquisition d'une durée adaptée à la distance entre les points, traitement avec le logiciel constructeur et éphémérides radiodiffusées.

Ainsi, on estime que le RGPF est en absolu cohérent au demi-mètre près.

Contrôle qualité a posteriori

Des vérifications de l'exactitude du RGPF doivent être réalisées a posteriori. Deux méthodes peuvent être utilisées :

- mesures Doris réalisées sur des sites du RRPF (exemple : Rapa où est installée une station permanente Doris⁽²⁾),
- fermetures internes au réseau et liaisons directes ou indirectes entre sites du RRPF (exemples : liaison Anaa - Hao ; rattachements GPS entre Apataki, Aratika, Toau et Kauehi ...).

3.5 Coordonnées des stations du RRPF

Le RRPF est composé des treize sites déterminés lors de la campagne Doris en Polynésie. Les coordonnées des repères géodésiques matérialisant ces sites sont exprimées dans le RGPF [ITRF92 (1993.0)] (tableau 2).

Ces coordonnées géographiques dans l'ITRF92 (1993.0) ont été calculées à partir des coordonnées géocentriques dans l'ITRF92 (1993.0) fournies par CLS ([CLS 1] et [CLS 2]), et les hauteurs du point de référence de l'antenne par rapport au repère matérialisé, fournies par la MOP ([RP 1]).

Les fiches signalétiques de chacun des sites Doris sont fournies en annexe B ; les positions sont exprimées dans le RGPF [ITRF92 (1993.0)].

4. LA DENSIFICATION DU RGPF

Le rattachement de stations aux sites Doris par techniques de géodésie spatiale permet de densifier le RGPF sur l'ensemble de la Polynésie. On obtient ainsi un système géodésique unique, géocentrique et tridimensionnel, de précision absolue submétrique pour l'ensemble de la Polynésie .

Les travaux réalisés par le SHOM en Polynésie conduiront progressivement à rattacher tous les îles et atolls au RGPF. Afin de conserver la cohérence du réseau, les points rattachés à des points du RRPF sont exprimés dans le RGPF [ITRF92 (1993.0)].

L'annexe C recense les rattachements inter-îles réalisés par techniques spatiales (GPS géodésique).

5. DÉCALAGES ENTRE SYSTÈMES GÉODÉSQUES

5.1 Introduction

L'objet prioritaire de la campagne Doris et des travaux complémentaires était d'établir un réseau de référence robuste (stations durables) composé de peu de stations. En effet, pour des travaux modernes de géodésie, d'hydrographie, il est relativement aisé et rapide de déterminer de nouveaux points par l'utilisation du GPS en mode géodésique. Aussi, l'accent a été mis sur la

Tableau 2

N° du site	Île ou atoll	Latitude	Longitude	Hauteur ellipsoïdale
1	Tahiti	17° 34' 00,0967"S	149° 34' 28,3389"W	337,834 m
2	Tubuai	23° 22' 10,7389"S	149° 31' 40,5369"W	1,934 m
3	Anaa	17° 20' 48,0589"S	145° 30' 57,6087"W	12,876 m
4	Nuku Hiva	08° 52' 57,2992"S	140° 06' 05,5665"W	863,101 m
5	Apataki	15° 34' 04,5712"S	146° 24' 47,5994"W	2,460 m
6	Mururoa	21° 48' 54,4679"S	138° 47' 45,0332"W	-2,929 m
7	Hao	18° 05' 55,4661"S	140° 54' 43,9717"W	-3,918 m
8	Napuka	14° 10' 26,7586"S	141° 16' 16,9600"W	-0,041 m
9	Nukutavake	19° 16' 46,5543"S	138° 46' 24,1291"W	-5,260 m
10	Rapa	27° 37' 06,0949"S	144° 20' 05,3679"W	-1,322 m
11	Rurutu	22° 25' 59,6237"S	151° 22' 08,6908"W	8,796 m
12	Mangareva	23° 07' 13,6086"S	134° 58' 07,7994"W	-6,581 m
13	Huahine	16° 44' 00,6527"S	151° 02' 28,4322"W	43,793 m

(2) La dernière solution publiée de l'ITRS, l'ITRF96, n'intègre pas encore ce site, où un système Doris a été installé en avril 1996. Les résultats provisoires de l'ITRF97 donnent des coordonnées ITRF97 (98.0) de la station de Rapa qui s'écartent d'environ 10 cm des coordonnées ITRF92 (93.0). L'exactitude du point Doris de Rapa et des réalisations de l'ITRS devrait être analysée en profondeur dès que la nouvelle réalisation sera disponible.

détermination de stations dans le RGPF plutôt que la détermination systématique des décalages entre les systèmes géodésiques locaux et un système géodésique mondial. Toutefois, des points des anciens réseaux ont été réutilisés pour le nouveau réseau (sauvegarde, densification), ou des mesures annexes ont été réalisées, autorisant ainsi le rattachement des réseaux anciens au RGPF.

5.2 Décalages entre systèmes locaux et le RGPF

Les systèmes géodésiques locaux ont une étendue généralement limitée à l'île pour laquelle ils ont été établis. Les systèmes anciens séparent système horizontal⁽³⁾ et système d'altitude. Aussi, la détermination des décalages a consisté à rechercher un couple $[(\Delta L, \Delta G)$ ou $(\Delta E, \Delta N)$ en projection UTM], éventuellement un défaut d'orientation et une erreur d'échelle du réseau originel.

Les coordonnées dans le RGPF sont des coordonnées référencées à l'ellipsoïde. Pour les systèmes locaux, les coordonnées planimétriques [(latitude / longitude) ou (abscisse / ordonnée)] sont référencées à l'ellipsoïde, tandis que les altitudes sont dans le système d'altitude local.

Les décalages entre le RGPF [ITRF92 (1993.0)] et les systèmes locaux ont été déterminés à partir de points en colocation dans les deux systèmes géodésiques : ils sont indiqués en annexe C.

5.3 Décalages entre systèmes locaux et le WGS84

Pour des objectifs de production cartographique et de transformation des cartes actuelles dans le système recommandé par la XV^e Conférence Hydrographique Internationale pour la cartographie marine, le WGS84, les décalages entre les systèmes géodésiques locaux et le WGS84 ont également été déterminés et sont donnés en annexe C : la transformation utilisée pour passer de l'ITRF92 (1993.0) au WGS84 est indiquée en annexe D⁽⁴⁾.

ANNEXE A : LE SYSTÈME DORIS

A.1 Présentation du système Doris

Le système Doris (Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite) est un système français d'orbitographie précise de satellites bas développé par le CNES, et réalisé en coopération avec le GRGS et l'IGN. Il a principalement été conçu pour des applications scientifiques et tout particulièrement pour des applications océanographiques.

Doris est un système radioélectrique ascendant bifréquence (environ 2036,25 MHz et 401,25 MHz). A l'inverse des systèmes de navigation par satellites tel que le GPS, ce

sont des balises au sol qui émettent le signal Doris, alors que les mesures Doppler sont effectuées à bord par un récepteur spécialisé. Les mesures sont ensuite téléchargées régulièrement vers une station de réception au sol, station d'Aussaguel à Toulouse : Centre de Traitement des données Doris - Poséidon (CTDP).

Cette méthode permet d'obtenir à bord du satellite la totalité des mesures du réseau de poursuite et est donc parfaitement adaptée à l'orbitographie précise. Il n'y a pas non plus besoin de connecter les balises au sol au centre de calcul pour récupérer les mesures.

A.2 Des satellites

Les mesures sont effectuées à bord des satellites. La constellation Doris actuelle comporte trois satellites : Topex-Poseidon, Spot3 et Spot4.

A.3 Un réseau permanent de poursuite

Pour assurer des mesures d'orbitographie, un réseau d'environ 50 balises Doris permanentes a été mis en place. Ces stations sont réparties géographiquement de façon homogène sur le globe terrestre, de préférence sur des sites permanents de géodésie spatiale, en colocation avec des radiotélescopes VLBI, des observatoires de télémétrie laser sur satellites et des récepteurs GPS permanents du réseau IGS (International GPS Service).

En Polynésie française, deux stations permanentes sont installées, à Tahiti depuis septembre 1994 et Rapa depuis avril 1996.

A.4 Des balises mobiles de localisation

Lorsqu'on dispose de mesures Doppler et d'orbites très précises, il est naturel d'essayer d'étendre les applications primaires du système à la localisation précise. Des balises de localisation placées sur un site permettent la détermination des coordonnées du point dans un système géodésique mondial de référence. Ne pouvant effectuer des mesures simultanément sur un grand nombre de balises (selon la visibilité de la balise et le séquençement programmé des acquisitions), Doris nécessite un temps d'observation assez long. Actuellement, il est possible de localiser une balise dans un système géodésique mondial de référence à une précision d'environ 2 à 3 cm en une semaine, 1 à 2 cm en un mois.

C'est pourquoi, afin de localiser des sites, on a recours à des balises mobiles de localisation que l'on peut déplacer de site en site après une durée raisonnable de mesures.

Pour la durée de la campagne Doris en Polynésie française, deux balises de localisation avaient été louées par l'EPSHOM et l'IGN. Le matériel mis en place sur chaque site représentait un poids d'environ 300 kg et comprenait les éléments suivants :

(3) La réalisation d'un réseau bi-dimensionnel (système horizontal) est généralement constituée par l'adoption d'un point fondamental (coordonnées géographiques) et d'une relation entre le géoïde et l'ellipsoïde. Souvent, on choisit de rendre tangent l'ellipsoïde et le géoïde au point fondamental, ce qui revient à effectuer une translation et une rotation de l'ellipsoïde.

(4) Cette transformation à 7 paramètres donne pour l'ensemble de la Polynésie Française des différences entre ITRF92 (1993.0) et WGS84 de :
- 0,386 à - 0,654 m pour la latitude,
- 0,391 à 0,658 m pour la longitude.

Il est à noter que cette transformation n'est valable que pour le WGS84 (version originale) et non pas une des deux versions ultérieures (G730 ou G873). L'utilisation de cette transformation ne permettra pas d'obtenir des coordonnées dans le WGS84 (G873). Le WGS84 est cohérent au niveau de 10 cm avec l'ITRF96 (1997.0).

- un coffret comprenant les deux émetteurs Doris 400 MHz et 2 GHz,
- des panneaux solaires, des batteries et un groupe électrogène,
- une horloge ultra-stable et un récepteur GPS pour la mise à l'heure,
- une centrale d'acquisition des paramètres météorologiques : température, pression et humidité,
- un terminal de programmation pour configurer la balise.

ANNEXE B : FICHES SIGNALÉTIQUES DU RPPF

Les coordonnées de tous les points sont données dans l'ITRF92(1993.0). Une information complémentaire est disponible à l'EPSHOM sur demande⁽⁵⁾ : description détaillée des points stationnés, photographies des bornes et des installations, fiche géodésique, extraits des rapports de mission ...

Les principaux éléments sont issus de [CLS 1], [CLS 2] et [RP 1].

Convention : les noms des stations, bornes qui matérialisent les réseaux géodésiques sont en italique.

B.1 Site Doris n° 1 : Tahiti - Îles de la Société

B.1.1 Généralités

La station Doris de Tahiti est située dans l'enceinte du Laboratoire de Géophysique (LDG) de Papeete au Sud de Papeete. Elle correspond à la borne *Bronze Monument* appelée aussi station *Médoc* ou IGN 1 par l'IGN. Le repère matérialisant la station Doris est scellé dans une dalle en ciment à 25 cm du mur des bureaux des V.A.T (Volontaire Aide Technique). Le repère est situé sous une toiture sur laquelle était fixée l'antenne Doris.

La balise Doris a fonctionné sans interruption du 19 août au 28 septembre 1993. Les travaux de géodésie effectués à la même époque pour positionner des bornes de sauvegarde ont été repris en totalité en 1996.

B.1.2 Géodésie

B.1.2.1 Coordonnées de la station Doris

TAHITI - ÎLES DE LA SOCIÉTÉ COORDONNÉES DE LA STATION DORIS SYSTÈME ITRF92 (1993.0)

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
17°34'00,0967"S	149°34'28,3389"W	337,834 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.1.2.2 Repères de sauvegarde

Plusieurs repères secondaires ont été rattachés à la borne Doris de Tahiti :

- des repères de sauvegarde dans l'enceinte du Laboratoire de Géophysique :
 - stations *Landmark*, *Ecrou ouest*, *Intermédiaire et GPS* (site IGS) ;
- des bornes du réseau local IGN79 :
 - stations *De Gaulle*, *Croix Transit*, *Vera* et *Cité de l'air* (repère *IGN J5* dont la disparition a été constatée en 1997) ;
- et la borne *Gwen* sur la presqu'île de Tahiti positionnée en 1996 pour le programme océanographique Zepolyf.

Ces repères ont été positionnés par rapport à la borne Doris en utilisant des récepteurs de géodésie GPS (récepteurs bifréquence Ashtech, traitement des données avec le logiciel Ashtech GPPS et utilisation d'éphémérides radiodiffusées). La durée des sessions de mesures a été de deux heures pour les repères les plus proches et de 5 heures pour les repères plus éloignés (*Vera* et *Gwen*).

B.2 Site Doris n° 2 : Tubuai - Îles Australes

B.2.1 Généralités

Tubuai est située à 325 milles de Tahiti et fait partie des îles Australes. Cette île est grossièrement elliptique et comprend deux massifs montagneux caractérisés par le mont Taita (322 m) et le mont Hanareho (325 m).

Une borne en béton de un 1 m³ a été construite, avec le concours du Service de l'Équipement sur le terrain de l'aérodrome, à une centaine de mètres de la piste. La balise Doris a été installée sur cette borne et a fonctionné du 7 au 27 octobre 1993.

Le fonctionnement de la balise a été perturbé à plusieurs reprises par des coupures de courant entraînant des remises à zéro de l'horloge. La précision estimée de la position de la station n'est ainsi que de 0,20 m (1σ - [CLS 1]).

B.2.2 Géodésie

B.2.2.1 Coordonnées de la borne Doris

TUBUAI - ÎLES AUSTRALES COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS SYSTÈME ITRF92 (1993.0)

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
23°22'10,7389"S	149°31'40,5369"W	1,934 m

La précision est de 0,20 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.2.2.2 Repères de sauvegarde

Les repères rattachés à la station Doris à Tubuai sont :

- des repères de sauvegarde matérialisés dans l'enceinte de l'aéroport :
 - Pluviomètre et Vor* ;
- et des repères du réseau local MHPF69 :
 - Alouette*, *Relais Haurii*, *Relais TV 1*, *Terme Sud*, *Nanue*, *Morava*, *Relais Panee*.

⁽⁵⁾ Ces demandes sont à adresser à l'EPSHOM - Section Géodésie - Géophysique - Bureau Prestations - 13, rue du Chatollier - BP 426 - 29275 Brest cedex

Ces repères ont été rattachés à la borne Doris en GPS statique au moyen de récepteurs de géodésie Ashtech (session de deux heures).

B.3 Site Doris n°3 : Anaa - Archipel des Tuamotu

B.3.1 Généralités

L'atoll d'Anaa se trouve dans la partie nord-ouest de l'archipel des Tuamotu. Sa longueur est de 24 km pour une largeur de 6 km environ. Il s'agit d'un atoll fermé, très boisé sur tout son pourtour. Le village principal (Tukuhora) est situé non loin d'une jetée en béton construite sur le bord d'une anfractuosité du récif corallien. C'est le seul point d'accès de l'atoll pour une embarcation légère. Il est impossible pour un bâtiment de mouiller   proximité de l'atoll, le récif étant trop accore.

La balise Doris a été install e sur la borne *Melville* au sommet du château d'eau situé près de la mairie du village de Tukuhora. Les observations Doris se sont d roul es du 9 au 26 septembre 1993. Une borne de sauvegarde en béton de 1 m³ a été construite à proximité et rattach e à la borne Doris en GPS statique.

B.3.2 Géodésie

B.3.2.1 Coordonnées de la station Doris

**ANAA - ARCHIPEL DES TUAMOTU
COORDONNÉES DE LA STATION DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
17°20'48,0589"S	145°30'57,6087"W	12,876 m

La précision absolue est de 0,20 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.3.2.2 Repères de sauvegarde

Une borne de sauvegarde en béton de 1 m³ baptis e *Mairie* a été positionn e en GPS statique par rapport à la station Doris (ancienne borne *Melville*) (session de 5 heures). Puis à partir de la station *Mairie*, deux bornes du réseau local MOP92 (*Steinbeck* et *V.Hugo*) ont été positionn es.

B.4 Site Doris n°4 : Nuku Hiva -  les Marquises

B.4.1 Généralités

Nuku Hiva est l' le principale des Marquises. Son sommet culmine à une hauteur de 1200 mètres.

La balise Doris a été install e au sommet du mont Muake (865 m) sur un repère scellé dans une plaque de b ton situ e sur une aire de décollage de parapentistes. Les observations Doris se sont d roul es du 4 au 11 décembre 1993. Une borne de sauvegarde en béton de 1 m³ a été construite à proximité avec le concours du Service de l'équipement.

La balise a été arr t e et d mont e avant la date prévue suite à un message du CTDIP signalant ne plus recevoir de mesures depuis le 12 décembre. La présence de traces de corrosion a été constat e sur les raccords d'antenne après démontage.

B.4.2 Géodésie

B.4.2.1 Coordonnées de la station Doris

**NUKU HIVA - ÎLES MARQUISES
COORDONNÉES DE LA STATION DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
8°52'57,2992"S	140°06'05,5665"W	863,101 m

La précision est de 0,20 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.4.2.2 Repères de sauvegarde

Plusieurs repères ont été rattachés à la borne Doris de Nuku Hiva en GPS différentiel au moyen de récepteurs de géodésie Ashtech :

- une borne en béton de 1 m³ (*Doris R2*) sur le mont Muake ;
- des bornes du réseau local IGN72 :
 - le repère *IGN n°11 (Doris R3)* situ e sur le mont Muake,
 - la station *Résidence (R2)*   Taiohae,
 - un repère de nivellement de l'observatoire de marée sur le quai du port de commerce de Taiohae (utilisé pour les tirants d'air) ;
- et quelques bornes cr e es pour des besoins hydrographiques :
 - les stations *Terai* et *Eliane* sur l'aérodrome de Terre D serte,
 - la station *Sable blanc* situ e en baie d'Haahopu.

B.5 Site Doris n°5 : Apataki - Archipel des Tuamotu

B.5.1 Généralités

L'atoll d'Apataki est situé dans la partie ouest de l'archipel des Tuamotu.

La station Doris a été implant e sur le quai du village de Niutahi au sud de la passe Pakaka. La balise a fonctionné du 17 au 28 décembre 1993. Elle a été stopp e avant la date prévue suite à un message du Centre de Traitement Doris Poseïdon (CTDP) signalant l'arrêt des mesures en raison d'opérations de maintenance sur les satellites.

B.5.2 Géodésie

B.5.2.1 Coordonnées de la borne Doris

**APATAKI - ARCHIPEL DES TUAMOTU
COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
15°34'04,5712"S	146°24'47,5994"W	2,460 m

La précision absolue est de 0,20 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.5.2.2 Repères de sauvegarde

Un défaut de fonctionnement des récepteurs Ashtech n'a pas permis d'effectuer le rattachement des bornes de sauvegarde en GPS statique. En attendant la reprise de ces mesures, les paramètres de transformation déterminés au §C.1.5 ont été appliqués aux stations ayant servi à déterminer les coordonnées de la borne Doris dans le système local. Les altitudes des repères ont été déterminées par rapport à la borne Doris par nivellement géométrique.

B.6 Site Doris n°6 : Mururoa - Archipel des Tuamotu

B.6.1 Généralités

A Mururoa, la balise Doris a été installée sur le toit de l'atelier de la météorologie (bâtiment LEA). Elle a fonctionné du 19 janvier au 14 février 1994.

Une borne de sauvegarde en béton de 1 m³ a été construite par la Direction Mixte des Travaux à proximité de l'atelier et rattachée en GPS statique à la station Doris. Elle est cependant masquée en partie par l'atelier pour des observations spatiales GPS à moins de surélever l'antenne de plusieurs mètres ou d'allonger les sessions d'observation.

B.6.2 Géodésie

B.6.2.1 Coordonnées de la station Doris

MURUROA - ARCHIPEL DES TUAMOTU COORDONNÉES DE LA STATION DORIS SYSTÈME ITRF92 (1993.0)

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
21°48'54,4679"S	138°47'45,0332"W	- 2,929 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.6.2.2 Repères de sauvegarde

Les repères rattachés à la borne Doris en GPS statique (session de deux heures) sont :

- des bornes de sauvegarde :
 - une borne en béton de 1 m³ devant le bâtiment de la météorologie,
 - deux repères hémisphériques en inox implantés par le C.E.A (n°48 et n°49) ;
- des bornes du réseau géodésique local IGN78 :
 - *Anémone, Kathie et Jeanne* ;
- la station *Denise II* positionnée en 1997 dans le cadre de travaux au profit de la DIRCEN.

B.7 Site Doris n°7 : Hao - Archipel des Tuamotu

B.7.1 Généralités

L'atoll de Hao est situé dans la partie Est de l'archipel des Tuamotu. Il s'étire sur 30 km pour une largeur de 8 km. La borne Doris a été implantée par l'Atelier Mixte de Hao sur le quai de la petite darse de la Direction du Port. La balise Doris a fonctionné du 15 février au 9 mars 1994.

B.7.2 Géodésie

B.7.2.1 Coordonnées de la borne Doris

HAO - ARCHIPEL DES TUAMOTU COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS SYSTÈME ITRF92 (1993.0)

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
18°05'55,4661"S	140°54'43,9717"W	- 3,918 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.7.2.2 Repères de sauvegarde

Plusieurs repères ont été rattachés en GPS statique à la borne Doris (session de deux heures) :

- deux repères de sauvegarde scellés sur le quai de la petite darse de l'ancienne Direction du Port ;
- trois bornes du réseau géodésique local MOP86 :
Otepa, Louam et Echo 4.

B.8 Site Doris n°8 : Napuka - Archipel des Tuamotu

B.8.1 Généralités

L'atoll de Napuka fait partie des îles du Désappointement avec son île sœur Tepotu. C'est un atoll fermé long de 11 km sur 6 km de large.

La balise Doris a fonctionné du 26 janvier au 6 février 1995. Elle a été placée sur une borne en béton de 1 m³ construite dans l'enceinte de l'aérodrome.

B.8.2 Géodésie

B.8.2.1 Coordonnées de la borne Doris

NAPUKA - ARCHIPEL DES TUAMOTU COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS SYSTÈME ITRF92 (1993.0)

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
14°10'26,7586"S	141°16'16,9600"W	- 0,041 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.8.2.2 Repères de sauvegarde

Trois repères de sauvegarde ont été rattachés en GPS statique à la borne Doris à Napuka :

Aéro, Porthos et Athos.

B.9 Site Doris n°9 : Nukutavake - Archipel des Tuamotu

B.9.1 Généralités

L'atoll de Nukutavake est un atoll fermé situé dans l'archipel des Tuamotu à environ 615 milles de Tahiti.

La balise Doris a été installée sur une borne matérialisée près de la Poste du village de Tavava. Elle a fonctionné du 15 au 28 février 1995. Une borne de sauvegarde en béton

de 1 m³ a été construite à quelques dizaines de mètres. Elle a été rattachée à la station Doris en GPS statique.

B.9.2 Géodésie

B.9.2.1 Coordonnées de la station Doris

**NUKUTAVAKE - ARCHIPEL DES TUAMOTU
COORDONNÉES DE LA STATION DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
19°16'46,5543"S	138°46'24,1291"W	- 5,260 m

La précision absolue est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.9.2.2 Travaux de géodésie

Plusieurs repères ont été rattachés à la borne Doris en GPS statique :

- des repères de sauvegarde :
 - une borne en béton de 1 m³ (repère *Doris n° 2*) (session Ashtech de 5 heures),
 - les stations *Rera* et *Hei* (session Ashtech de 2 heures).
- la station *S1009* du réseau local SAT94, borne scellée dans le quai de la darse du village de Tavava (session Ashtech de 2 heures).

B.10 Site Doris n°10 : Rapa - Îles Australes

B.10.1 Généralités

Rapa est située au sud-est de l'archipel des Australes. Le sommet de l'île culmine à 608 m (mont Namuere).

Une borne en béton de 1m³ a été construite sur le terrain de la station météorologique de Météo-France située dans le village de Haurei. La balise Doris a stationné cette borne du 11 au 30 mars 1995. Malgré la présence d'eau de mer décelée à un mètre de profondeur lors de la création de la borne, l'emploi du ciment à eau de mer devrait garantir sa pérennité. Les travaux de géodésie autour de la borne Doris ont été complétés en juin 1997 pour positionner des repères de sauvegarde et rattacher des repères du réseau géodésique local.

Une balise permanente d'orbitographie a été implantée en avril 1996 sur la borne Doris par le service de maintenance et d'installation du réseau Doris. La comparaison des solutions n'a pas pu être réalisée car aucune solution n'est encore publiée. Il faudra attendre la description de la réalisation de l'ITRF97.

B.10.2 Géodésie

B.10.2.1 Coordonnées de la station Doris

**RAPA - ÎLES AUSTRALES
COORDONNÉES DE LA STATION DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
27°37'06,0949"S	144°20'05,3679"W	- 1,322 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.10.2.2 Repères de sauvegarde

Deux repères de sauvegarde ont été matérialisés à proximité de la borne Doris. Le premier est scellé dans la plate-forme en ciment d'un ancien poste de suivi de ballons météorologiques, le second est scellé dans un plot d'ancrage du mât de l'anémomètre.

Les bornes *A*, *C* et *D* et la borne *Fondamentale* du réseau local MOP86 ont été également rattachées à la borne Doris en GPS statique.

B.11 Site Doris n°11 : Rurutu - Îles Australes

B.11.1 Généralités

Rurutu, le « rocher qui jaillit » en polynésien, est l'île la plus septentrionale des îles Australes. Elle s'étend sur 10 km du nord au sud pour une largeur de 5 km et couvre une superficie d'environ 38 km² avec des paysages très variés. Son originalité tient à la présence d'un plateau calcaire soulevé d'environ 100 m au dessus du niveau de l'océan, suite à une deuxième phase d'activité volcanique.

La balise Doris a été installée sur une borne en béton de 1 m³ construite sur le terrain appartenant à l'aviation civile et à proximité de la tour de contrôle. La balise a fonctionné sans interruption du 8 au 29 mai 1995. Des travaux complémentaires ont eu lieu en juin 97 pour surélever la borne de 0,50 m et pour rattacher des repères de sauvegarde complémentaires.

B.11.2 Géodésie

B.11.2.1 Coordonnées de la borne Doris

**RURUTU - ÎLES AUSTRALES
COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
22°25'59,6237"S	151°22'08.6908"W	8,796 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

Les coordonnées de la borne Doris sont celles de la borne définitive surélevée de 0,50 m.

B.11.2.2 Repères de sauvegarde

Les repères positionnés par rapport à la borne Doris en GPS statique (session de deux heures) sont :

- des stations de sauvegarde :
 - stations *Parc*, *Route*, *Panneau* et *Esso* ;
- des stations du réseau géodésique local SAT84 :
 - stations *Pont* et *Quai*.

B.12 Site Doris n°12 : Mangareva - Îles Gambier

B.12.1 Généralités

Mangareva est l'île principale des îles Gambier. Elle se trouve à environ 1400 km de Tahiti.

La borne Doris a été construite dans l'enceinte de la gendarmerie du village de Rikitea sur l'île de Mangareva. La balise Doris a fonctionné du 16 au 27 juin 1995.

B.12.2 Géodésie

B.12.2.1 Coordonnées de la borne Doris

**MANGAREVA - ÎLES GAMBIER
COORDONNÉES DE LA BORNE DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
23°07'13,6086" S	134°58'07,7994"W	- 6,581 m

La précision est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.12.2.2 Repères de sauvegarde

Les repères rattachés à la borne Doris en GPS statique sont :

- des stations de sauvegarde sur l'île de Mangareva :
 - la station *Quai Gend* sur le quai de la gendarmerie puis, à partir de celle-ci, la station *Commerce* sur le quai du commerce du village de Rikitea.
- des stations du réseau local MHPF67 :
 - la station *Belvédère* (douille de fusil scellée) sur l'île d'Aukena, la station *Mekiro* (croix gravée) sur l'île de Mekiro, la station *Agaka* sur l'île de Agakautai et les stations *Joëlle* et *Canot* sur l'île de Mangareva.

La durée des sessions GPS a été de deux heures pour chacune des bases. Les coordonnées définitives des stations sont déduites de la compensation de l'ensemble des mesures par le logiciel Geolab.

B.13 Site Doris n° 13 : Huahine - Îles de la Société

B.13.1 Généralités

L'île de Huahine fut entre janvier 1989 et août 1994 un site permanent du réseau de poursuite des satellites équipés du système Doris. La balise était située sur un terrain loué par la NASA où une station laser de trajectographie de satellites était également implantée.

Les coordonnées absolues de la station Doris sont déduites de cette phase d'observation.

A la fermeture du site par la NASA, la balise Doris a déménagée sur le terrain de l'Université Française du Pacifique (UFP) à Tahiti pour faciliter les opérations de maintenance.

Les travaux de rattachement des repères de sauvegarde de la borne Doris se sont déroulés du 10 au 14 mars 1997.

B.13.2 Géodésie

B.13.2.1 Coordonnées de la station Doris

**HUAHINE - ÎLES DE LA SOCIÉTÉ
COORDONNÉES DE LA STATION DORIS
SYSTÈME ITRF92 (1993.0)**

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES		
Latitude	Longitude	Hauteur/ellipsoïde
16°44'00,6527"S	151°02'28,4322"W	43,793 m

La précision absolue est de 0,10 m sur les trois coordonnées géocentriques.

B.13.2.2 Repères de sauvegarde

Les repères rattachés en GPS statique à la borne Doris de Huahine (session de deux heures) sont :

- le repère principal de l'ancienne station laser et ses deux repères secondaires ;
- deux bornes du réseau local IGN53 :
 - stations *Hiumoo* (repère IGN n°5) et *Hana Iiti* (repère IGN n°16).

ANNEXE C : DÉCALAGES ENTRE SYSTÈMES GÉODÉSIQUES LOCAUX ET LES SYSTÈMES MONDIAUX ITRF92 (1993.0) ET WGS84

On a recherché le décalage entre systèmes géodésiques (système horizontal et système d'altitude) et les systèmes ITRF92 (1993.0) et WGS84 sous la forme (ΔE , ΔN) et Δh . Si la répartition des points le permettait, on a déterminé une erreur d'orientation et une erreur d'échelle du réseau d'origine. Selon le nombre de points en colocation, une estimation des paramètres de décalage est fournie.

C.1 Campagnes Doris (référence [RP 1])

C.1.1 Site Doris n°1 : Tahiti - Îles de la Société

Le décalage entre le système local IGN79 et les systèmes ITRF92 et WGS84 sont estimés à partir des stations connues dans les deux systèmes : bornes *Cité de l'Air* (carnet IGN) et *De Gaulle* (fiche n° 350-79-482) :

$E_{ITRF} - E_{IGN79}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN79}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN79}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN79}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
-10,06 0,06	163,42 0,11	8,10 0,01	-9,52 0,06	162,96 0,11	8,30 0,01	2 points	UTM 6S

$TX_{IGN79 \rightarrow WGS84} = + 160,61$ m $TY_{IGN79 \rightarrow WGS84} = + 116,05$ m $TZ_{IGN79 \rightarrow WGS84} = + 153,69$ m

C.1.2 Site Doris n°2 : Tubuai - Îles Australes

Les paramètres de passage du système MHPF69 vers les systèmes ITRF92 et WGS84 sont :

$E_{ITRF} - E_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
-15,19 0,15	-86,64 0,10	-0,24 0,42	-14,70 0,15	-87,07 0,10	-0,02 0,42	5 points	UTM 6S

$TX_{MHPF69 \rightarrow WGS84} = + 237,17$ m $TY_{MHPF69 \rightarrow WGS84} = + 171,61$ m $TZ_{MHPF69 \rightarrow WGS84} = - 77,84$ m

C.1.3 Site Doris n°3 : Anaa - Archipel des Tuamotu

Le réseau géodésique local défini en 1992 à partir d'une cible GPS sur la station *Melville* est appelé MOP92.

Les paramètres de transformation calculés sur la station fondamentale *Melville* sont adoptés :

$E_{ITRF} - E_{MOP92}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MOP92}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MOP92}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MOP92}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
-2,82 -	4,09 -	-4,92 -	-2,29 -	3,59 -	-4,69	1 point	UTM 6S

$TX_{MOP92 \rightarrow WGS84} = + 1,50$ m $TY_{MOP92 \rightarrow WGS84} = + 3,84$ m $TZ_{MOP92 \rightarrow WGS84} = + 4,81$ m

C.1.4 Site Doris n°4 : Nuku Hiva - Îles Marquises

Les paramètres de passage entre IGN72 et, ITRF92 et WGS84 sont adoptés à partir des points *IGN n°11* et *Résidence R2* :

$E_{ITRF} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 62,20 0,04	178,24 0,13	5,02 0,02	- 61,62 0,04	177,67 0,13	5,27 1,02	2 points	UTM 7S

TX $IGN72 \rightarrow WGS84 = + 130,85$ m
TY $IGN72 \rightarrow WGS84 = + 185,17$ m
TZ $IGN72 \rightarrow WGS84 = + 174,72$ m

C.1.5 Site Doris n°5 : Apataki - Archipel des Tuamotu

La position de la borne Doris a été déterminée dans le système local MOP86 en géodésie classique (relèvements et distances) à partir des bornes *Lorientaise*, *Zizou*, *Niutahi* et *Îlot Hutihuti*. Une stèle située à proximité de la borne Doris a été positionnée simultanément.

$E_{ITRF} - E_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
17,88 -	20,81 -	1,63 -	18,43 -	20,31 -	1,85 -	1 point	UTM 6S

Le vecteur de translation des centres d'ellipsoïdes est déduit des coordonnées de la borne Doris :

TX $MOP86 \rightarrow WGS84 = + 216,84$ m
TY $MOP86 \rightarrow WGS84 = + 118,81$ m
TZ $MOP86 \rightarrow WGS84 = + 19,61$ m

C.1.6 Site Doris n°6 : Mururoa - Archipel des Tuamotu

Les paramètres de passage entre IGN78 et les systèmes mondiaux sont déduits des stations *Anémone*, *Jeanne* et *Kathie* .

$E_{ITRF} - E_{IGN78}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN78}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN78}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN78}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 25,53 0,03	126,77 0,08	- 7,54 0,33	- 25,06 0,03	126,26 0,08	- 7,25 0,33	3 points	UTM 7S

Le vecteur de translation est déterminé uniquement à partir de la station *Anémone* d'ordre 1 :

TX $IGN78 \rightarrow WGS84 = + 152,55$ m
TY $IGN78 \rightarrow WGS84 = + 156,28$ m
TZ $IGN78 \rightarrow WGS84 = + 121,16$ m

C.1.7 Site Doris n°7 : Hao - Archipel des Tuamotu

Les coordonnées des bornes *Otepa*, *Louarn* et *Echo 4* ont été déterminées en 1986 dans le système géodésique local MOP86.

$E_{ITRF} - E_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MOP86}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 63,85 0,10	75,85 0,17	- 5,50 1,01	- 63,34 0,10	75,34 0,17	- 5,23 1,01	3 points	UTM 7S

Le vecteur de translation entre les centres d'ellipsoïdes est calculé à partir des stations connues dans les deux systèmes :

TX _{MOP86 → WGS84} = + 143,60 m
TY _{MOP86 → WGS84} = + 197,82 m
TZ _{MOP86 → WGS84} = + 74,05 m

C.1.8 Site Doris n°8 : Napuka - Archipel des Tuamotu

Aucun réseau géodésique n'existait à Napuka avant la campagne Doris.

C.1.9 Site Doris n°9 : Nukutavake - Archipel des Tuamotu

Le Service de l'Aménagement du Territoire a créé un réseau géodésique sur l'atoll de Nukutavake en 1994 baptisé SAT94.

E _{ITRF} - E _{SAT94} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{SAT94} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	F _{WGS84} - F _{SAT94} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{SAT94} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 31,72 -	- 53,75 -	- 7,85 -	- 31,23 -	- 54,27 -	- 7,56 -	1 point	UTM 7S

Le vecteur de translation pour passer des coordonnées géocentriques SAT94 aux coordonnées WGS84 est calculé également à partir des coordonnées de la station S1009 :

TX _{SAT94 → WGS84} = + 197,16 m
TY _{SAT94 → WGS84} = + 200,17 m
TZ _{SAT94 → WGS84} = - 48,08 m

C.1.10 Site Doris n°10 : Rapa - Îles Australes

Les paramètres de passage de MOP86 vers ITRF92 et WGS84 sont déterminés à partir des repères connus dans les deux systèmes (stations Fondamentale C, A, D) :

E _{ITRF} - E _{MOP86} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{MOP86} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	E _{WGS84} - E _{MOP86} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{MOP86} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
4,79 0,08	39,33 0,08	- 2,15 0,19	5,22 0,08	38,88 0,08	- 1,89 0,19	4 points	UTM 6S

TX _{MOP86 → WGS84} = + 207,14 m
TY _{MOP86 → WGS84} = + 128,41 m
TZ _{MOP86 → WGS84} = + 38,50 m

C.1.11 Site Doris n°11 : Rurutu - Îles Australes

Le réseau local géodésique SAT84 a été créé par le Service de l'Aménagement du Territoire.

E _{ITRF} - E _{SAT84} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{SAT84} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	E _{WGS84} - E _{SAT84} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{SAT84} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 64,45 0,09	- 16,71 0,16	2,14 0,01	- 63,96 0,09	- 17,15 0,16	2,34 0,01	2 points	UTM 5S

Le vecteur de translation des centres d'ellipsoïde, à partir des stations Quai et Pont, est :

TX _{SAT84 → WGS84} = + 202,13 m
TY _{SAT84 → WGS84} = + 174,60 m
TZ _{SAT84 → WGS84} = - 15,74 m

C.1.12 Site Doris n°12 : Mangareva - Îles Gambier

Le décalage entre le système géodésique local MHPF 1967 et les systèmes mondiaux est estimé à partir des stations connues dans les deux systèmes. Le système MHPF 1967 s'étend sur les îles Mangareva, Agakau-tai, Aukena et Mekiro : des points ont été colocalisés dans les deux systèmes sur ces îles. Une transformation unique a été déterminée.

E _{ITRF} - E _{MHPF67} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{MHPF67} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	E _{WGS84} - E _{MHPF67} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{MHPF67} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
88,25 0,06	- 324,36 0,05	- 5,40 7,09	88,71 0,06	- 324,87 0,05	- 5,07 7,09	4 points	UTM 8S

Le vecteur de translation des centres d'ellipsoïdes est déterminé également malgré la dispersion des écarts d'altitude :

TX _{MHPF67} → WGS84 = + 338,08 m
TY _{MHPF67} → WGS84 = + 212,58 m
TZ _{MHPF67} → WGS84 = - 296,17 m

C.1.13 Site Doris n°13 : Huahine - Îles de la Société

Les paramètres de passage du système IGN 1953 vers les systèmes ITRF92 et WGS84 sont :

E _{ITRF} - E _{IGN53} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{IGN53} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	E _{WGS84} - E _{IGN53} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{IGN53} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 275,80 0,12	85,14 0,18	8,26 0,02	-275,26 0,12	84,67 0,18	8,45 0,02	2 points	UTM 7S

et le vecteur de translation déterminé par l'EPSHOM :

TX _{IGN53} → WGS84 = + 65,03 m
TY _{IGN53} → WGS84 = + 341,55 m
TZ _{IGN53} → WGS84 = + 76,67 m

C.2 Densification du RPPF

C.2.1 Travaux effectués

Depuis la campagne Doris, des repères géodésiques situés sur d'autres atolls ont été rattachés par la Mission Océanographique du Pacifique aux bornes du RPPF, dans le système géodésique mondial WGS84. Ces rattachements ont permis de déterminer le décalage entre les systèmes géodésiques locaux, s'ils existent et s'ils ont été retrouvés, et le WGS84.

C.2.2 Géodésie

C.2.2.1 Îles de la Société

Raiatea [RP 2]

Dans le cadre de la première phase bathymétrique de la campagne Zepolyf (décembre 1996), une borne (station *Tehuru*) a été créée sur l'île de Raiatea pour l'implantation d'une station de radiolocalisation GPS différentiel HF. Cette borne a été positionnée par rapport à la station Doris de Tahiti le 22 août 1996.

E _{ITRF} - E _{IGN52} (m) σ 95% (m)	N _{ITRF} - N _{IGN52} (m) σ 95% (m)	H _{ITRF} - h (m) σ 95% (m)	E _{WGS84} - E _{IGN52} (m) σ 95% (m)	N _{WGS84} - N _{IGN52} (m) σ 95% (m)	H _{WGS84} - h (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 275,71 0,21	84,63 0,22	9,38 1,00	- 275,17 0,21	84,17 0,22	9,56 1,00	8 points	UTM 5S

Ces paramètres sont applicables à Tahaa : ils ont été déterminés à partir de points disposés sur les deux atolls.

Tetiaroa [RP 2]

Le 1^{er} octobre 1996, deux bornes (stations *Tiare* et *Marlo*) ont été positionnées sur l'atoll de Tetiaroa par rapport à la borne Doris de Tahiti dans le cadre du levé d'une zone de mouillage aux abords de l'atoll.

A partir des coordonnées de la borne *Tiare* connue dans les deux systèmes, on en déduit les relations pour passer du système MOP90 aux systèmes ITRF92 et WGS84 en projection UTM :

$E_{ITRF} - E_{MOP90}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MOP90}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MOP90}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MOP90}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 4,67 -	15,62 -	5,84 -	- 4,12 -	15,15 -	6,04 -	1 point	UTM 6S

ainsi que le vecteur de translation entre les centres d'ellipsoïdes :

$TX_{MOP90 \rightarrow WGS84} = - 10,80$ m
$TY_{MOP90 \rightarrow WGS84} = - 1,80$ m
$TZ_{MOP90 \rightarrow WGS84} = + 12,77$ m

Maupihaa [RP 7]

La station *Gloria* a été rattachée par mesures GPS à la station Doris de Huahine, simultanément avec la station *Olivier* de Manuae. L'erreur de fermeture est inférieure à 10 cm.

Motu One

Cet atoll a été rattaché au RGPF. Aucun réseau géodésique ancien n'a été retrouvé.

Tahaa

Cet atoll a été rattaché au RGPF.

Les paramètres de passage entre l'IGN52 et les systèmes mondiaux sont ceux donnés pour Raiatea.

Les stations *Delphine* sur Raiatea et *Tiva* sur Tahaa ont été rattachées simultanément avec Huahine : la fermeture est inférieure à 10 cm.

Tupai

Cet atoll a été rattaché au RGPF. Aucun réseau géodésique ancien n'a été retrouvé.

Les stations *Pamela* sur Motu One et *Nolwenn* sur Tupai sont rattachées en simultanément à Huahine : l'erreur de fermeture est inférieure à 50 cm.

Un double rattachement d'une station de Tupai a été réalisé par rapport à Huahine et Tahiti : les résultats sont cohérents à la précision théorique des rattachements GPS près.

Manuae

La station *Olivier* a été rattachée par mesures GPS à la station Doris de Huahine. Aucun réseau géodésique local ancien n'a été retrouvé.

C.2.2.2 Archipel des Tuamotu

Aratika [RP 2] [RP 6]

La station *Aéroport* a été positionnée en GPS à partir de la station Doris d'Apataki. Des repères complémentaires ont été placés autour des deux passes de Fainukea et de Tamaketa.

Le décalage entre le système géodésique local MHPF63 (ellipsoïde International 1924) et les systèmes mondiaux est déduit de la borne *Astro* :

$E_{ITRF} - E_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 130,73 -	- 62,63 -	- -	- 130,19 -	- 63,14 -	- -	1 point	UTM 6S

Coordonnées Géographiques

$$L_{MHPF63} = L_{WGS84} - 2,746'' \text{ S}$$

$$G_{MHPF63} = G_{WGS84} - 4,144'' \text{ S}$$

Fangataufa [RP 2] [RP 5]

Les stations *Empereur* et *Empereur Exc.* ont été positionnées en GPS à partir de la station Doris de Mururoa.

A partir des coordonnées de la borne *Empereur* connue dans les deux systèmes, on en déduit les relations pour passer du système MOP84 au système WGS84 en projection UTM :

$E_{ITRF} - E_{MOP84}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MOP84}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MOP84}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MOP84}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
-28,47 -	123,74 -	-8,47 -	-28,01 -	123,23 -	-8,18 -	1 point	UTM 7S

ainsi que le vecteur de translation entre les centres d'ellipsoïdes :

$TX_{MOP84 \rightarrow WGS84} = + 150,57 \text{ m}$ $TY_{MOP84 \rightarrow WGS84} = + 158,33 \text{ m}$ $TZ_{MOP84 \rightarrow WGS84} = + 118,32 \text{ m}$

Kauehi [RP 2] [RP 4]

$E_{ITRF} - E_{MHPF70}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF70}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF70}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF70}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
-183,29 0,67	77,00 0,77	- -	-182,75 0,67	-77,51 0,77	- -	7 points	UTM 6S

Le décalage entre le système géodésique local MHPF70 et les systèmes mondiaux est déduit de bornes en colocation :

Remarque : Les stations les plus éloignées de l'ancien *point astronomique* fondamental présentent une erreur d'échelle de

Coordonnées Géographiques
$L_{MHPF70} = L_{WGS84} - 2,61'' \text{ S}$
$G_{MHPF70} = G_{WGS84} + 5,92'' \text{ S}$

$0,7 \cdot 10^{-4}$ pour la station *Bleu* et de $1,7 \cdot 10^{-4}$ pour la station *Passe*.

$TX_{MHPF70 \rightarrow WGS84} = + 126,74 \text{ m}$ $TY_{MHPF70 \rightarrow WGS84} = + 300,10 \text{ m}$ $TZ_{MHPF70 \rightarrow WGS84} = - 75,49 \text{ m}$

Le vecteur de translation entre les centres d'ellipsoïdes est :

Nihiru [RP 2]

Les travaux sur l'atoll de Nihiru se sont déroulés en plusieurs phases :

- le 3 juillet 1996 : création de la borne *Margaux* rattachée par mesures GPS à la borne Doris de Hao ;
- le 10 octobre 1996 : Rattachement complémentaire de la borne *Margaux* à la borne Doris de Anaa;
- du 20 au 21 octobre 1996 : travaux de spatiopréparation sur l'atoll de Nihiru.

Rangiroa [RP 2] [RP 3]

Les relations permettant de passer du système local MHPF66 de Rangiroa aux systèmes ITRF92 et WGS84 en projection UTM sud fuseau 6 sont :

$E_{ITRF} - E_{MHPF66}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF66}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF66}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF66}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
253,06 0,63	369,34 0,50	3,38 -	253,60 0,63	368,81 0,50	3,63 -	14 points	UTM 6S

Raroia [RP 2]

Un réseau géodésique a été créé sur l'atoll de Raroia à l'occasion du levé du chenal menant de la passe Ngarue jusqu'au village de Ngarumaova. Les travaux se sont déroulés pour l'essentiel en 1994 et ont été complétés en juin 1997.

La station fondamentale *Panthère* aujourd'hui disparue avait été rattachée en GPS statique à la borne Doris de Hao distante de 280 km. Ses coordonnées définitives ont été déduites de la moyenne de trois sessions Ashtech (2 sessions de 5 heures et une session de 2 heures).

Aucun repère ancien n'a été retrouvé sur l'atoll de Raroia. Le décalage entre le système géodésique de la carte marine n° 5267 a donc été estimé à partir de structures coralliennes ponctuelles situées dans la passe, entre la passe et le village et devant le village.

	Coordonnées géographiques	Ecart-type	Coordonnées en projection (UTM 7S)
Passe Ngarue	$L_{WGS84} = L_{CM} + 2,4''$ S $G_{WGS84} = G_{CM} - 6,7''$ W	1" 1"	$E_{WGS84} = E_{CM} + 203$ m $N_{WGS84} = N_{CM} - 51$ m
Chenal	$L_{WGS84} = L_{CM} + 0,3''$ S $G_{WGS84} = G_{CM} - 5,3''$ W	1" 1"	$E_{WGS84} = E_{CM} + 164$ m $N_{WGS84} = N_{CM} + 12$ m
Village Ngarumaova	$L_{WGS84} = L_{CM} - 2,6''$ S $G_{WGS84} = G_{CM} - 3,8''$ W	1" 0,5"	$E_{WGS84} = E_{CM} + 114$ m $N_{WGS84} = N_{CM} + 102$ m

Les écarts observés entre la passe et le village distants de 3000 m environ traduisent une erreur d'orientation de la carte marine de $\alpha = 1^{\circ}27'W$ et un erreur d'échelle de l'ordre de $4,7 \cdot 10^{-2}$.

Compte-tenu des éléments disponibles, le décalage entre le système de la carte marine n°5237 et l'ITRF92 (1993.0) est pris identique à celui entre les systèmes CM et WGS84.

Ravahere [RP 2]

Une borne a été créée sur l'atoll de Ravahere le 17 décembre 1996 et rattachée à la station Doris de Hao.

Reitoru [RP 2]

Les travaux sur l'atoll de Reitoru se sont déroulés en plusieurs phases :

- le 6 juillet 1996 : création de la borne *Fondaube* rattachée par mesures GPS à la borne Doris de Hao ;
- le 10 octobre 1996 : Rattachement complémentaire de la borne *Fondaube* à la borne Doris de Anaa ;
- le 22 octobre 1996 : positionnement d'une borne de sauvegarde complémentaire sur l'atoll Tauere [RP 2]

Une borne a été positionnée sur l'atoll de Tauere par rapport à la borne Doris de Hao. L'opération s'est déroulée le 17 décembre 1996.

Toau [RP 2]

Les travaux de géodésie à Toau se sont déroulés en plusieurs phases :

- le 21 septembre 1994 : rattachement de la borne *Maragai* à la borne Doris d'Apataki ;
- du 14 au 24 mars 1995 : début du levé bathymétrique dans le lagon ;
- du 2 au 24 octobre 1995 : poursuite des travaux bathymétriques ;
- du 18 au 21 juin 1997 : achèvement du levé.

Paraoa

Cet atoll a été rattaché au RGPF, à partir de la station Doris de Hao, simultanément avec une station de Manuhangi (*Bookmark*). Aucun réseau géodésique ancien n'a été retrouvé.

Manuhangi

Cet atoll a été rattaché au RGPF, à partir de la station Doris de Hao, simultanément avec une station de Paraoa (*Browser*). Aucun réseau géodésique ancien n'a été retrouvé.

La fermeture du triangle Hao, Paraoa, Manuhangi est inférieure à 5 cm.

Nengonengo

La station *WWW* a été rattachée à la borne Doris de Hao. Aucun réseau géodésique local ancien n'a été retrouvé.

Amanu

La station *Internet* a été rattachée à Hao. Sur cet atoll, existent deux systèmes géodésique horizontaux MHPF69 et MHPF63.

$E_{ITRF} - E_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF69}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
- 65,14 -	90,31 -	- -	- 64,62 -	89,80 -	- -	1 point	UTM 7S

$E_{ITRF} - E_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{MHPF63}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
114,02 -	- 42,28 -	- -	114,54 -	- 42,79 -	- -	1 point	UTM 7S

Hikueru

La station *Bretagne* a été rattachée à Hao.

Tekokota

La station *Fronsac* a été rattachée à Hao.

Rekareka

La station *Giscours* a été rattachée au RGPF à partir de Hao.

Tahanea

La station *MOP92-A2* a été rattachée à Anaa, simultanément au rattachement de la station *Poste* sur Raraka. L'erreur de fermeture est inférieure à 5 cm.

Motutunga

La station *Citerne* a été positionnée à partir de Anaa.

Raraka

Cet atoll a été rattaché à Anaa, simultanément à Tahanea.

C.2.2.3 Îles Marquises

Eiao [RP 2]

Le 24 janvier 1995, deux bornes *Xavier* et *Alph* créées en baie de Vaituha ont été rattachées en GPS statique à la borne Doris de Nuku Hiva au cours d'une session Ashtech simultanée de 5 heures. Plusieurs bornes secondaires dont des repères du réseau local IGN72 ont ensuite été positionnées par rapport à ces deux premières bornes.

On en déduit les relations suivantes :

$E_{ITRF} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
264,71 0,34	250,89 0,30	4,37 0,73	265,30 0,34	250,32 0,30	4,61 0,73	2 points	UTM 7S

ainsi que le vecteur de translation des centres d'ellipsoïdes :

$TX_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 333,71 \text{ m}$ $TY_{IGN72 \rightarrow WGS84} = - 71,31 \text{ m}$ $TZ_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 247,72 \text{ m}$
--

Hiva Oa [RP 8]

Des stations ont été positionnées par mesures GPS dans les systèmes mondiaux. Les stations d'ordre 1 sont directement rattachées à la borne Doris de Nuku Hiva.

$E_{ITRF} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
217,08 -	60,37 -	5,24 -	217,65 -	59,79 -	5,50 -	1 point	UTM 7S

Le vecteur de translation des centres d'ellipsoïdes est :

$TX_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 327,84$ m
$TY_{IGN72 \rightarrow WGS84} = - 14,96$ m
$TZ_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 59,33$ m

Nota : La station *Feki* sert également de support au rattachement de la plupart des stations secondaires sur Hiva Oa, Tahuata et Mohotani. Ses coordonnées mériteraient d'être contrôlées en GPS statique par rapport à la borne Doris de Nuku Hiva.

Tahuata [RP 2]

Des stations ont été rattachées par mesures GPS à la station *Feki* située à Hiva Oa.

Les décalages géodésiques pour l'île de Tahuata sont considérés identiques à ceux d'Hiva Oa ([RP 9]). Quelques bornes du réseau local sur l'île de Tahuata pourraient néanmoins être rattachées dans les systèmes ITRF92 et WGS84 pour le confirmer.

Ua Huka [RP 8]

La borne *Toki* a été créée en décembre 1994 au nord de la baie de Haavei à partir de la borne de sauvegarde Doris du mont *Muake* de Nuku Hiva (session GPS de deux heures).

Mohotani [RP 2]

Les décalages entre les systèmes géodésiques IGN72 et ITRF92 et WGS84 sont :

$E_{ITRF} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{ITRF} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{ITRF} - h$ (m) σ 95% (m)	$E_{WGS84} - E_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$N_{WGS84} - N_{IGN72}$ (m) σ 95% (m)	$H_{WGS84} - h$ (m) σ 95% (m)	Remarque	Projection
218,65 -	58,78 -	1,54 -	219,62 -	58,20 -	1,80 -	1 point	UTM 7S

ainsi que le vecteur de translation des centres d'ellipsoïdes :

$TX_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 330,91$ m
$TY_{IGN72 \rightarrow WGS84} = - 13,92$ m
$TZ_{IGN72 \rightarrow WGS84} = + 58,56$ m

C.2.2.4 Îles Australes

Raivavae

Cet atoll a été rattaché au RGPF à partir de Tubuai.

ANNEXE D : PARAMÈTRES DE PASSAGE DU SYSTÈME ITRF92 (1993.0) VERS LE SYSTÈME WGS84

Le système ITRF92 est associé à l'ellipsoïde GRS80 défini par les paramètres suivants :

Demi grand axe : a = 6 378 137,00 m
Coefficient d'aplatissement : f = 1/ 298,257222101

Les paramètres de transformation du système ITRF92(1993.0) vers le système WGS84 (changement de référentiel) sont ([DOC 1])⁽⁶⁾ :

Tx = 0,072 m
Ty = -0,507 m
Tz = -0,245 m
S(K) = 0,9999999907
Rx = 0,0183"
Ry = -0,0003"
Rz = 0,007"

ANNEXE E : RÉFÉRENCES

Les documents suivants ont été utilisés pour cette synthèse :

Spécification des travaux

- [IT 1] Lettre n°243 EPSHOM/CH/GG du 23/02/1993 (annexe technique spécifiant les travaux à réaliser par CLS)
- [IT 2] Instructions Techniques n°229 SHOM/EM du 10/06/1993
- [IT 3] Instructions Techniques complémentaires n°382 SHOM/EM du 24/11/1994

Rapports de la Mission Océanographique du Pacifique

- [RP 1] Rapport particulier n°115 MOP/UHP du 21/07/1997 (à jour des modificatifs de la note-express n°113 MOP/UHP du 19/06/1998) [*Réseau de Référence*]
- [RP 2] Rapport particulier n°139 MOP/UHP du 18/08/1997 (à jour des modificatifs de la note-express n°113 MOP/UHP du 19/06/1998) [*Raiatea, Tetiaroa, Aratika, Fangataufa, Kauehi, Nihiru, Rangiroa, Faraia, Ravahere, Reitoru, Tauere, Toau, Eiao, Hiva Oa, Mohotami, Tahuata* : les éléments des atolls Rekareka et Tekokota ne doivent pas être pris en compte]
- [RP 3] Rapport particulier n°244 MOP/PPT du 12/12/1996 [*Rangiroa*]
- [RP 4] Rapport particulier n°108 MOP/UHP du 17/07/1997 [*Kauehi*]
- [RP 5] Rapport particulier n°028 MOP/PPT du 18/02/1997 [*Fangataufa*]
- [RP 6] Rapport particulier n°138 MOP/UHP du 18/08/1997 [*Aratika*]
- [RP 7] Rapport particulier n°054 MOP/UHP du 17/03/1998 [*Maupihaa*]
- [RP 8] Rapport particulier n°129 MOP/PPT du 30/08/1995 [*Ua Huka, Hiva Oa*]
- [RP 9] Rapport particulier n°131 MOP/PPT du 12/07/1990 [*Hiva Oa, Tahuata*]
- [RP 10] Rapport particulier n°73 MOP/PPT du 27/05/1994 [*Tahuata*]

Traitements de CLS

- [CLS 1] Campagne Doris-RRPF II, rapport complémentaire et coordonnées finales, CLS.DT/L/96.058 du 29/03/1996
- [CLS 2] Compte-rendu des travaux menés par CLS : résultats du positionnement, 14/11/1994

Documentation

- [DOC 1] IERS Technical Notes 12, 13 et 15
- [DOC 2] Don Granf, Graeme Blick, « NZGD2000 : a new geocentric datum », Septembre 1998
- [DOC 3] « DoD WGS84 », NIMA TR8350.2, 3^e édition, 04/07/1997
- [DOC 4] M. Even et Al, « GPS, localisation et navigation », CNIG, Hermès, 1997
- [DOC 5] Guide technique du SHOM : Emploi du GPS en Géodésie, V1.1 du 28/03/1998

⁽⁶⁾ La relation liant le WGS84 à l'ITRF90 est donnée dans l'IERS Technical Note 13 de juillet 1992. Les paramètres indiqués ci-dessus font référence au WGS84 original, précédent les versions G730 et G873. Cette version diffère du WGS84 (G873) au niveau du mètre.

ANNEXE F : SIGLES

CEA :	Commissariat à l'Energie Atomique
CLS :	Collecte Localisation Satellites
CNES :	Centre National d'Etudes Spatiales
CTDP :	Centre de Traitement Doris - Poséïdon
DIRCEN :	Direction du centre d'essai nucléaire
DORIS :	Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite
EPSHOM :	Etablissement Principal du SHOM
GRGS :	Groupe de Recherches en Géodésie Spatiale
IERS :	International Earth Rotation Service
IGN :	Institut Géographique National
IGS :	International GPS Service
ITRF :	International Terrestrial Reference Frame
ITRS :	International Terrestrial Reference System
MOP :	Mission Océanographique du Pacifique
NAD83 :	North America Datum
ORSTOM :	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
ou IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
RGPF :	Réseau Géodésique de Polynésie Française
RRPF :	Réseau de Référence de Polynésie Française
RTK :	Real Time Kinematik
SHOM :	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SAT :	Service d'Aménagement du Territoire
STD :	Système Terrestre Doris
SAU :	Service d'Aménagement et d'Urbanisme
UFP :	Université Française du Pacifique
USCG :	US Coast Guards
WGS :	World Geodetic System
ZEE :	Zone Economique Exclusive
ZEPOLYF :	Zone économique de Polynésie française

ANNEXE G : SYNTHÈSE GRAPHIQUE DU RGPF

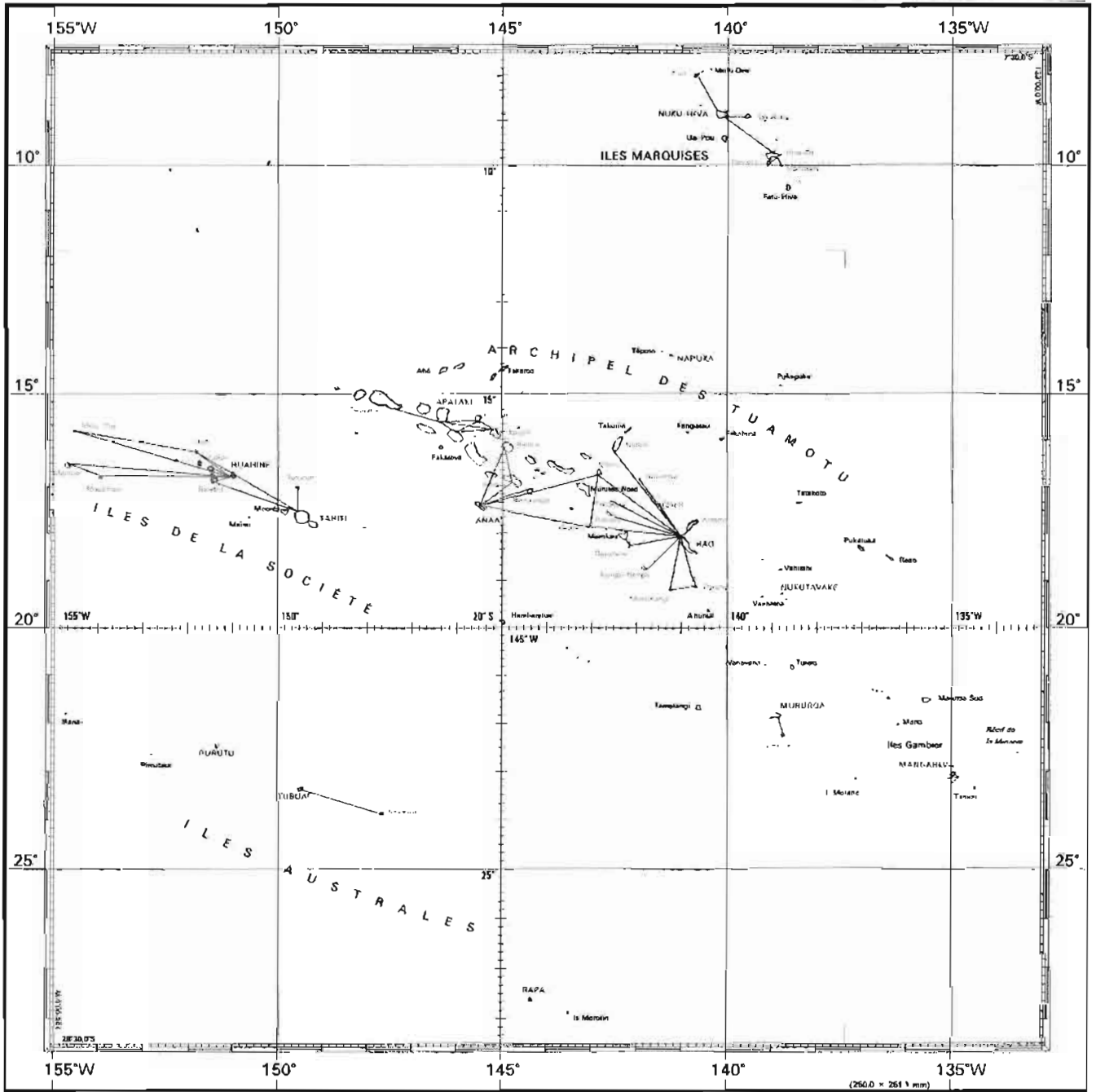
Légende
 Les îles en ROUGE font partie du RGPF
 Les îles en BLEU font partie des rattachements du RGPF
 En BLEU ses rattachements GPS initiaux

Réseau Géodésique de Polynésie Française (RGPF)

Carte de synthèse du RGPF
 Voir aussi
 le rapport d'état de 002/1995

RGPF

SYNTHÈSE



EPSHOM - MOP - 17 Décembre 1998

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OcéANOGRAPHIQUE DE LA MARINE

Projection de Mercator

© 1998 SHOM - FRANCE

RGPF

ÉVALUATION DU SYSTÈME DE LOCALISATION GPS DIFFÉRENTIEL MULTI-RÉFÉRENCE MULTIFIX SUR LE BH1 *L'ESPÉRANCE*

Jean-Michel LÉCULIER
Ingénieur des Études et Techniques d'Armement
Mission Océanographique de l'Atlantique

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de l'évaluation du système de positionnement DGPS multi-référence Multifix de RACAL à bord du BH1 *L'Espérance*. Après une brève présentation des GPS différentiels et du système Multifix proprement dit, les fonctionnalités utilisées pour l'évaluation sont présentées. Les performances de Multifix sont alors analysées et comparées à celles des solutions mono-référence du DGPS NR103 utilisant soit les corrections RTCM de Skyfix, soit les corrections différentielles Sercel transmises par radio. L'accent est mis principalement sur la robustesse des systèmes et la fiabilité des indicateurs de qualité. L'évaluation, fondée sur plus de 40 séances de mesure en statique et en dynamique confirme l'aptitude de Multifix à maintenir un positionnement précis, même lorsque les stations de référence sont éloignées de plus de 3000 km. Pour des distances plus faibles, le classique DGPS mono-référence NR103 s'est révélé plus précis et fiable.

ABSTRACT

This report presents the result of the evaluation of the multi-site differential GPS system Multifix from RACAL onboard the hydrographic vessel L'Espérance. After a short overview of DGPS and a description of the Multifix system itself, the capabilities used for the evaluation are outlined. The performance of Multifix is then analysed and compared to single station solution from the NR103 DGPS using either the Skyfix RTCM corrections or the Sercel radio link corrections. Focuses is put on the robustness of the systems and on the reliability of quality indicators. The evaluation, based on more than 40 test periods in static and dynamic conditions, confirm the capability of Multifix to maintain accurate positioning even when reference station are more then 3000 km away.

For shorter range, the classical single station DGPS NR103 is supprisingly more reliable and precise.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ INTRODUCTION.....	3-3
■ 1 PRÉSENTATION DU SYSTÈME	3-4
1.1 Interconnexion des GPS différentiels avec les autres équipements	3-4
1.2 Présentation des systèmes DGPS multi-référence.....	3-5
1.3 Description succincte de Multifix	3-5
1.4 Fonctionnalités de Multifix utilisées pour l'évaluation	3-6
1.5 Outils pour l'évaluation.....	3-7
■ 2 ÉVALUATION DE MULTIFIX	3-7
2.1 Fonctionnement	3-7
2.2 Performances	3-8
2.2.1 Position de référence	3-8
2.2.2 Performance du NR103 RTCM	3-8
2.2.3 Performances de Multifix.....	3-9
2.2.4 Intérêt de la solution multi-référence.....	3-10
2.3 Critères de qualité	3-10
2.3.1 Critère de qualité du NR103.....	3-10
2.3.2 Critères de qualité de Multifix.....	3-10
2.3.3 Critères de rejet de la solution Multifix	3-11
■ 3 SURVEILLANCE EN TEMPS RÉEL	3-12
3.1 Les fonctions de « monitoring » de Multifix	3-12
3.2 Interface de « monitoring »	3-12
■ CONCLUSIONS.....	3-12
a Performances	3-12
b Estimateurs de qualité.....	3-13
c Politique d'utilisation de Multifix et du NR103.....	3-13
d Perspectives	3-13
■ RÉFÉRENCES.....	3-14

INTRODUCTION

Le BH1 *L'Espérance* est doté depuis l'été 1993 du système Skyfix de RACAL. Ce système permet de recevoir via une liaison Inmarsat les corrections GPS différentiel d'un réseau de stations de référence à terre constitué à l'heure actuelle d'environ 55 stations de par le monde et transmises par 4 satellites géostationnaires. Les corrections au format RTCM 104 (version 2) sont fournies à un récepteur DGPS mono-station compatible (NR103 RTCM (réf. b) ou Trimble 4000 DL II) qui calcule le point. Ce système permet de bénéficier d'une localisation de précision dans une zone beaucoup plus étendue que ne le permet le réseau de stations GPS différentiel Sercel dont la portée est limitée de jour à environ 800 km pour les installations les plus puissantes.

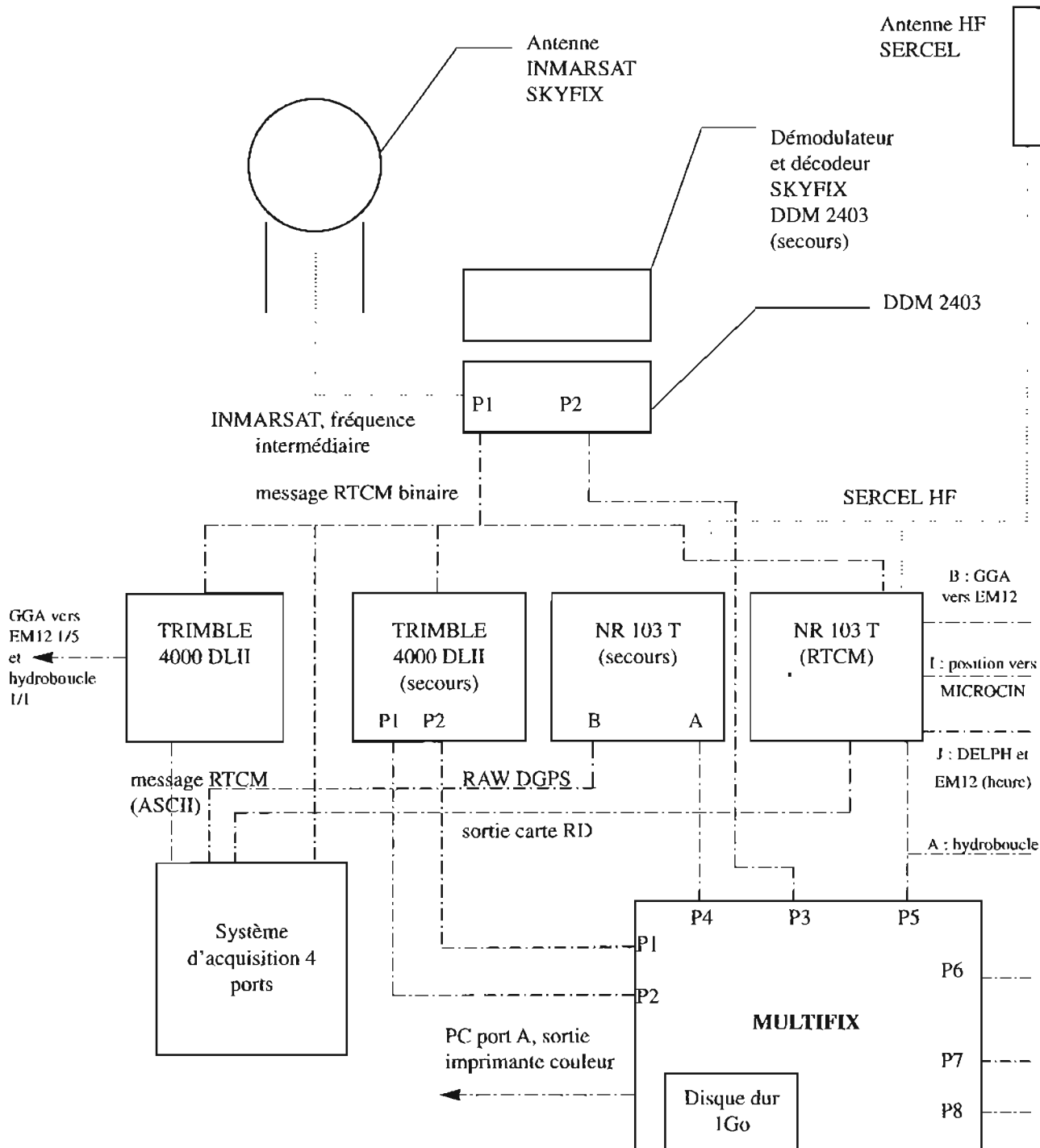
La volonté d'étendre la zone de travail de *L'Espérance* à plus de 2000 km des stations Skyfix (portée recommandée par le fournisseur), ainsi que celle d'accroître le contrôle d'intégrité de la position ont conduit le SHOM à s'intéresser aux systèmes de localisation multi-références (réf. a).

Le système de localisation Multifix de la société RACAL a été acquis début 96 pour une utilisation opérationnelle début 97 après évaluation durant les missions Acores 96.1 et 96.2. Multifix était au moment de la proposition de son achat le seul système DGPS multi-référence disponible sur le marché.

Ce rapport présente les résultats des analyses et comparaisons de données de localisation qui ont été effectuées sur une quarantaine de séances d'une quinzaine d'heures en moyenne durant ces deux missions. Il est enrichi de l'expérience acquise depuis plusieurs années sur les autres récepteurs GPS différentiel (réf. b et c) en navigation hauturière. Le but de l'étude est de tenter de déterminer si Multifix peut être utilisé de manière opérationnelle lors des levés géophysiques hauturiers, dans quelles conditions et avec quels réglages. Elle cherche à répondre d'une manière plus générale à la doctrine d'emploi des différents DGPS disponibles à bord.

1 PRÉSENTATION DU SYSTÈME

1.1 Interconnexion des GPS différentiels avec les autres équipements



1.2 Présentation des systèmes DGPS multi-référence

Au moment où cette étude a débuté en 1996, le GPS différentiel était réservé à une communauté restreinte qui avait les moyens financiers et techniques de l'utiliser. Outre les stations de référence diffusant des corrections en HF (station HF du réseau Veripos), deux systèmes mondiaux diffusant des corrections par Inmarsat avaient été recensés, Skyfix et Starfix (réf. g).

Aujourd'hui, les services de diffusion de corrections différentielles sont en pleine expansion, et accessibles à un large public, par les surfaces terrestres couvertes et par le prix des DGPS et des équipements de réception (y compris l'abonnement aux corrections lorsqu'il est onéreux). Signalons les services utilisant des satellites géostationnaires de communication à faisceau étroit (spot beam) tels que Landstar (RACAL) et Omnistar (FUGRO), les diffusions en MF (285 à 325 kHz) aux abords des côtes, et enfin les diffusions par radio FM numérique (RDS). Ces développements ne couvrent malheureusement pas de grandes surfaces océaniques pour lesquelles les stations de référence sont éloignées et les moyens de diffusion sont rares et coûteux.

Dans cette étude, seuls sont considérés les récepteurs GPS mono-fréquence (L1) en fonctionnement dégradé (SPS). Les corrections différentielles sont des corrections de pseudo-distance, elles sont utilisées en temps quasi-réel. On s'intéresse aux systèmes à longue portée (LRDGPS : Long Range Differential GPS).

On désignera par la suite comme des DGPS mono-station les systèmes DGPS utilisant les corrections différentielles d'une seule station de référence à la fois pour le calcul du point, la solution du calcul étant appelée « mono-référence ». Différentes méthodes sont possibles, elles dépendent des informations contenues dans les messages de correction différentielle (les formats RTCM 104 V2 et « Sercel » sont utilisés au SHOM), de la possibilité d'avoir recours à d'autres sources d'information que les messages de navigation des satellites GPS, et du degré de sophistication des algorithmes.

Un système DGPS multi-référence utilise les corrections différentielles de plusieurs stations de référence pour effectuer le calcul du point. Là encore, plusieurs types de systèmes existent :

- plusieurs solutions mono-référence sont calculées à partir des corrections de chacune des stations reçues, le point final est un barycentre pondéré de ces solutions ;
- toutes les corrections différentielles reçues servent à calculer autant de lieux dont l'intersection est le point adopté (en général, méthode des moindres carrés pondérée, c'est le cas de Multifix ;
- un jeu de corrections optimisées est calculé pour la position approchée, le calcul du point est ensuite analogue à celui effectué en mono-station.

Pour cette dernière méthode, la correction optimisée peut être calculée à bord du mobile (cas du VBS couplé au service Starfix de FUGRO) ou à terre (maillage de stations virtuelles (Landstar) et éventuellement modèle de zone).

1.3 Description succincte de Multifix

Multifix est un système de positionnement GPS différentiel multi-référence, il comprend donc une source (3 au maximum) de corrections différentielles au format RTCM 104 (version 1 ou 2), ici un démodulateur et décodeur RACAL DDM2400 des corrections Skyfix. Un récepteur GPS esclave lui fournit les données brutes GPS (DATA IN) par une liaison simple, ainsi que l'heure, les éphémérides et les almanachs par une liaison bidirectionnelle (RCI : Remote Control Interface). Le récepteur GPS esclave peut calculer une position, éventuellement différentielle, qu'il communique aussi à Multifix par la liaison « DATA IN ».

L'informatique est constituée par un ordinateur de bureau puissant (ici un PC Compaq Pentium 90 Mhz) équipé d'une carte 8 liaisons série RS232 et d'un port série et port parallèle. Le logiciel est la version 2.08 c reçue durant le stage de formation.

A) Le GPS différentiel entièrement autonome

Multifix étant avant tout un GPS différentiel, il est à même de calculer des solutions de position (6 solutions au maximum), et de les fournir en temps légèrement différé (1 à 2s) aux équipements qui les réclament dans une grande variété de formats de message et éventuellement de systèmes géodésiques. Une solution différentielle est calculée à partir d'un ensemble de stations de référence choisies par l'utilisateur, ensemble comprenant de une à huit stations. D'autres solutions peuvent être visualisées, il peut s'agir du point calculé en mode naturel, de la position calculée par le récepteur GPS esclave (en naturel ou en différentiel) ou de la position d'un autre système transmise sous la forme d'une entrée de « monitoring ». Pour un même ensemble de stations de référence, l'utilisateur a le choix entre le mode 3D + T traditionnel, ou un mode hybride du 2D+T appelé « alt aiding » qui utilise l'altitude relativement fixe du mobile au dessus du géoïde comme contrainte supplémentaire dans le calcul du point. Ce mode n'est rendu possible que par l'utilisation d'un modèle de géoïde beaucoup plus dense et précis (OSU91A) que ceux utilisés sur les récepteurs GPS classiques (NR103 ou Trimble 4000 DLII). Le nombre de stations différentielles différentes utilisées dans les solutions ne doit pas excéder 12.

Une fois configuré et initialisé, Multifix ne nécessite pas d'intervention de l'opérateur, et le système peut même fonctionner écran et clavier déconnectés.

B) La configuration

Une grande partie des paramètres de configuration relèvent en fait de l'installation du système et ne seront jamais modifiés en opération. Il s'agit principalement de la configuration des liaisons numériques, de leur rôle, des formats de message adoptés et des paramètres de liaison série.

D'autres paramètres affectent le calcul du point et seront adoptés par le directeur technique du levé, notamment :

- le seuil de masquage en élévation des satellites,
- les seuils de contrôle de qualité et leur effet,
- le mode de fonctionnement (3D+T ou « alt aiding »),
- l'extrapolation ou non à l'heure d'émission sur la liaison série (fonction « DESKVIEW »),
- l'activation ou non du rejet automatique d'un satellite déficient.

Il faut enfin définir pour chaque zone de travail l'ensemble des stations différentielles utilisées pour la solution de référence.

Tous les paramètres de configuration sont sauvegardés dans un fichier, l'utilisateur doit seulement sélectionner le fichier correspondant à la zone de travail du moment, et initialiser la position à une valeur proche de la position réelle (position du récepteur Trimble esclave).

C) Interface utilisateur

En fonctionnement temps réel, les différentes fenêtres graphiques de Multifix apportent un grand nombre d'informations claires sur le calcul du point, les mesures GPS et les données RTCM. Le système rappelle à certains points de vue le récepteur GPS différentiel TR5S par la richesse des informations fournies, les graphiques étant beaucoup plus évolués.

D) Rejeu et analyse des données

Le système est en mesure d'archiver les informations reçues afin de rejouer en post-traitement la localisation. Suivant la puissance de l'ordinateur utilisé et l'importance des traitements, le rejeu peut être accéléré d'un facteur cinq. Il n'est pas judicieux d'utiliser cette possibilité en fonctionnement normal, compte tenu du temps de traitement nécessaire, et de l'inadaptation aux logiciels de validation de la localisation utilisés au SHOM. Ce mode est par contre très utile pour fournir des données au constructeur en cas de dysfonctionnement, ou analyser finement une séance ou un phénomène particulier. La capacité d'archivage du disque dur limite l'archivage à environ une semaine de données. Cette capacité peut éventuellement être doublée en compressant les fichiers de données au moyen d'un utilitaire adapté.

En temps réel, mais au détriment de la rapidité de calcul, le système permet d'analyser les simples et doubles différences (réf. a) des corrections différentielles. Il peut aussi dans un mode spécial « PRC MONITORING » calculer l'écart entre la position géodésique d'une station de référence et la position que fournirait un récepteur GPS différentiel mono-station en ce même point.

1.4 Fonctionnalités de Multifix utilisées pour l'évaluation

Le principe de l'évaluation est de recueillir les messages de position des solutions élaborées par Multifix ainsi que ceux des 2 NR103 Sercel et de les analyser en post-traitement. Multifix permet d'archiver 3 messages différents sur son disque dur interne, et peut fournir jusqu'à

5 messages différents sur les ports série (sur les 8 ports, 3 sont utilisés pour les corrections différentielles et les deux liaisons avec le récepteur GPS esclave). Le maximum est donc de 10 messages (8 Multifix et 2 Sercel), dont 7 à recueillir par un système d'acquisition externe. Cette solution n'est pas réaliste car elle impose à Multifix une charge de travail beaucoup plus importante qu'en mode opérationnel et risque de saturer la carte 8 ports. Nous ne disposons pas de toute façon d'un système d'acquisition unique 7 ports série, par contre nous disposons d'un système d'acquisition 4 ports dédié aux cibles GPS différentiel (PC 486 équipé d'une carte 4 ports intelligente et de 40 Mo de mémoire de masse).

La solution retenue durant la mission 96.1 était la suivante :

- archivage en interne de 3 messages par Multifix,
- sortie de 2 messages Multifix sur 2 ports série,
- archivage des 4 messages série (2 Multifix et 2 NR103) par le système d'acquisition externe,
- transfert à haut débit (Laplink série) des données recueillies sur le système d'archivage externe vers le PC Multifix pour archivage et traitement.

Une analyse préliminaire avait permis de constater qu'il n'y avait que des différences infimes entre une même solution archivée en interne ou fournie sur un port série. Il était donc légitime d'utiliser l'une ou l'autre méthode pour recueillir les données.

L'avarie du port série standard du PC Multifix au début de la mission Acores 96.2 a empêché d'utiliser à nouveau cette solution, le « Laplink » utilisé ne fonctionnant plus, et le transfert des fichiers par copie de disquettes étant trop fastidieux.

Pour cette mission, une autre fonctionnalité de Multifix a été utilisée. Cette fonctionnalité est très peu documentée, et il a fallu en découvrir certains aspects. Lorsqu'un ou plusieurs ports série sont configurés comme une entrée auxiliaire externe (auxiliary GPS input), les messages reçus sont archivés intégralement sur le disque dur sous l'extension « .AGn », n correspondant à la nième entrée ainsi configurée.

La solution retenue pour 96.2 était la suivante :

- archivage en interne de 3 messages par Multifix,
- archivage des deux entrées auxiliaires connectées aux ports 4 et 5,
- ports 6 à 8 disponibles, ils seront utilisés en opérationnel pour fournir les messages au système de navigation (Aqidoc) et au sondeur multifaisceaux EM12 (position).

Le système d'acquisition externe pouvait acquérir les messages de corrections différentielles en provenance du démodulateur (message binaire), du Trimble 4000DLII (conversion ASCII du précédent message, pour une station), du NR103 (sortie carte DIF), ou du NR103 de secours (sortie « RAW DATA, DGPS » sur le port B). Cette étude complémentaire sur les formats RTCM et Sercel sera traitée par ailleurs (réf. e).

1.5 Outils pour l'évaluation

Le moyen le plus classique pour apprécier la performance d'un système de localisation est de réaliser ce que l'on appelle communément des « cibles », ces cibles pouvant être statiques (on compare alors la position fournie par le système à une position de référence, ou plus simplement à la position moyenne), ou dynamiques (on calcule alors l'écart de position entre le système à évaluer et un système de localisation de référence). Depuis plusieurs années, un certain nombre de programmes très simples ont été écrits pour permettre la comparaison des différents GPS différentiels de *L'Espérance* (Deltanav, Trimble 4000 DLII, NR103 RTCM et NR103 HF). Il s'agit principalement de filtres destinés à réduire et remettre en forme les données en ne gardant que quelques paramètres pertinents, et de programmes de calcul d'écart en dynamique. Pour la visualisation et les graphiques, les programmes Xyplot et Dataplot de Sercel étaient bien adaptés.

Durant la mission 96.1, on a employé pour les messages Multifix un format relativement complet qui était déjà connu, le format « DNAV » du nom du logiciel sur PC de Trimble qui effectuait un calcul du point GPS différentiel monostation. Ce format était bien adapté à l'évaluation d'un GPS différentiel classique, et a permis d'apprécier la dispersion planimétrique de Multifix dans différentes configurations. Ce format était par contre inadapté à deux points de vue : il ne permettait pas de connaître les stations de référence utilisées, et il ne produisait pas le résultat des tests de qualité effectués par Multifix (F-test, W test et 2D RMS qui n'était pas pris en compte après filtrage du message DNAV). C'est le format « Racaluk » qui a été utilisé durant la mission Acores 96.2.

Pour améliorer le calcul d'écart en dynamique entre la référence NR103 et Multifix on est amené à réduire la différence de position d'antenne qui est de 1.10 m dans l'axe du bâtiment. Plutôt que de calculer un estimateur de la route fond au moyen des points précédents, qui ne serait pas valide pour des points isolés, on conserve le cap fond donné par l'un des GPS. Si la valeur de la vitesse fond est inférieure à 2 nœuds, le cap est considéré comme non valide, sa valeur est figé à 400.0, et le rattachement d'antenne n'est pas effectué. Le calcul d'écart intègre aussi un calcul d'interpolation temporel, limité à 0.4 seconde d'écart maximum, mais, le plus souvent, ces écarts n'excèdent pas 0.1 seconde (sans la fonction « DESKVIEW »).

Précisons que la notion de cible n'a de sens que pour une durée d'observation suffisamment longue, de l'ordre de la période de révolution des satellites (environ 12 heures), et que le pas d'échantillonnage choisi est celui des systèmes d'acquisition, à savoir 1 seconde (Hydroboucle et Aqidoc). Même s'il est couramment admis qu'un sous-échantillonnage n'affecte pas la mesure de dispersion, ce choix est en général dicté par la limitation des systèmes d'archivage (volume) et de traitement (temps et éventuellement volume). Faute d'étude précise sur l'effet du sous-échantillonnage, et dans le but d'observer d'éventuels défauts isolés, la cadence de 1 seconde a été maintenue.

Les formats simplifiés après filtrage sont indiqués ci-après. Ils sont directement assimilables par les programmes de visualisation Dataplot et Xyplot.

1996.1 :

NR103 ---> message hydroboucle ---> GLL, heure, position, GDOP, qualité Sercel

Multifix ---> DNAV ---> GLL, heure, position, PDOP, qualité, qualité différentielle, nombre de satellites, retard, cap fond

1996.2 :

NR103 ---> message hydroboucle ---> GLL, heure, position, GDOP, qualité Sercel, cap fond

Multifix ---> Racaluk ---> GLL, heure, position, PDOP, nombre de satellites en vue, nombre de satellites corrigés en différentiel, nombre de stations de référence, retard, 2σ lat, 2σ long, F-test, W-test

2 Évaluation de Multifix

2.1 Fonctionnement

Multifix dispose d'une imprimante série couleur (HP Paint Jet) pour les copies d'écran et l'impression de paramètres de configuration. Si le fonctionnement en mode texte ne pose pas de problème, nous n'avons pas réussi à faire fonctionner correctement le mode graphique de copie d'écran. Le problème a été étudié avec l'ingénieur d'installation RACAL sans résultat. Une imprimante de rechange puis une alimentation d'imprimante de rechange ont été testées sans succès. On a par contre réussi à faire fonctionner l'impression d'écran sur un PC moins puissant (486 DX 66) sur des données rejouées. L'investigation a été arrêtée lorsque le port série du PC Multifix est tombé en avarie. L'absence d'imprimante n'est pas préjudiciable à l'évaluation de Multifix ou à son utilisation opérationnelle. Elle sera utile pour élaborer un mode d'emploi ou une consigne technique ; elle permet aussi au début d'une séance de vérifier l'adéquation des paramètres de configuration, et éventuellement d'archiver le listage comme preuve de la configuration.

Hormis ce dysfonctionnement dont l'origine n'a pas encore été trouvée, Multifix a fonctionné correctement durant environ 3000 heures sans blocage.

Le système Skyfix qui fournit les corrections différentielles à Multifix a posé deux problèmes qui étaient probablement liés. Une coupure de quelques jours a eu lieu à la mi-octobre 96 pour la simple raison que RACAL avait modifié la fréquence de transmission du satellite AOE sans en avertir le SHOM. Cette fausse panne a permis d'analyser finement tous le fonctionnement de l'antenne Inmarsat, et de se rendre compte que l'absence de pièces de rechange sur l'antenne et sa commande (ACU) rendait le système extrêmement vulnérable. Un lot de rechange devrait être acquis pour début 97 lorsque Multifix sera le moyen de localisation principal de *L'Espérance* pour ses levés bathymétrique et géophysique. L'autre problème constaté

était l'interruption courte, d'une trentaine de secondes, des corrections RTCM de la plupart des stations à des heures répétées. Cette interruption entraînait le passage de solutions comportant plus de 4 stations à parfois une seule. Le phénomène n'étant plus apparu après l'extinction de la fréquence, on peut penser que cette dégradation était présente sur l'ancienne fréquence durant la période de transition.

2.2 Performances

2.2.1 Position de référence

Le système de positionnement le plus précis utilisé en navigation hauturière sur *L'Espérance* est le récepteur GPS NR103T de Sercel utilisant les corrections HF Sercel (ce même récepteur acceptant les corrections au format RTCM104). Les deux stations de référence utilisées lors de l'évaluation sont celles de Santa-Maria (SM), île à l'extrémité

sud-est de l'archipel des Açores et de Cabo Raso (CB), cap situé à 30 km au nord de Lisbonne, Portugal. Ces deux stations appartiennent au SHOM et ont été positionnées précisément par des méthodes de géodésie spatiale dans un système mondial. Les cibles réalisées durant ces dernières années en portée diurne des stations HF Sercel et durant la campagne d'évaluation ont toujours montré une grande précision de localisation de l'ordre de 3 à 4 m à 95%, augmentée par un critère de qualité très fiable qui permet lorsque sa valeur est 9 d'atteindre une précision de l'ordre de 2 à 3 m à 95%. Dans l'état de la constellation actuelle des satellites, avec un masque en élévation de 5° et un seuil de GDOP de 10 pour la transition 3D/2D, et à moins de 500 km des stations, on estime que le pourcentage de point en qualité 9 est supérieur à 98%.

Cibles statiques

Les valeurs entre parenthèses sont les résultats n'utilisant que les points de note de qualité Sercel 9.

Lieu	Station	rayon 95% m	rayon 99% m	écarts >5 m %	biais estimé
Ponta Delgada	SM 100 km	1.2 (1.1)	1.5 (1.5)	0.1 (0.0)	<1 m
Horta	SM 300 km	1.3 (1.1)	2.0 (1.5)	0.2 (0.1)	<1 m
Funchal	CB 950 km	4.5 (2.2)	11.7 (3.8)	4.3 (0.4)	<2 m

Les valeurs sont calculées par rapport au centre de gravité de la cible, le biais estimé est l'écart entre ce point moyen et la position réelle non connue. Faute de mesure géodésique, le biais ne peut être qu'estimé au vu des cohérences entre les cibles réalisées au moyen de plusieurs stations de référence (HF Sercel et Skyfix, et de sa dégradation probable avec l'éloignement de la station de référence.

Cibles dynamiques (qualité 9)

Station 1	Station 2	rayon 95% m	rayon 99% m	écarts >5 m %	% rejeté (q<9)
SM 450 km	CB 900 km	2.7	3.2	0.2	10%
SM 800 km	CB 1000 km	2.7	3.4	0.3	25%
SM 300 km	CB 1700 km	3.2	4.2	0.4	30%

Cibles dynamiques, les deux récepteurs sur Santa-Maria (qualité 9)

Station 1	Station 2	rayon 95% m	rayon 99% m	écarts >5 m %	% rejeté (q<9)
SM 100 km	SM 100 km	0.8	1.2	0.0	0.5%
SM 400 km	SM 400 km	1.0	1.5	0.0	0.3%
SM 750 km	SM 750 km	1.3	2.4	0.2	6%

2.2.2 Performance du NR103 RTCM

Le tableau suivant présente les paramètres des cibles obtenues en mode dynamique (couple de stations) ou en mode statique. Dans le tableau, les stations de référence sont désignées par un bigramme (CD : Cadix, SC : Scillies,

SM : Santa-Maria, CB : Cabo Raso). Les cibles statiques portent la mention « quai ».

	28/05 CD	29/05 SM/ CD	30/05 CB/ SC	31/05 CB/ SC	04/06 CB/ CD	05/06 CB/ CD	15/06 CB/ CD	07/10 quai CD*	22/10 quai CD	23/10 quai CD	30/10 quai CD
95% (m)	3.14	2.09	3.06	2.81	2.90	2.45	2.50	1.22	1.70	1.51	1.62
99% (m)	3.74	2.73	4.18	3.62	4.66	3.13	3.30	1.62	2.46	2.63	2.38
>5m (%)	0.07	0.13	0.36	0.01	0.84	0.12	0.29	0.00	0.01	0.21	0.05

* : qualité 9 seulement

La dispersion en mode RTCM est légèrement supérieure à celle obtenue en mode HF, ce qui s'explique en grande partie par la plus grande proximité des stations HF Sercel. Les deux types de corrections (Sercel HF et RTCM Skyfix) ont des caractéristiques similaires (retard, cadence de rafraîchissement). Le format Sercel permet d'utiliser un plus faible débit numérique que le RTCM à cadence de rafraîchissement égale.

2.2.3 Performances de Multifix

Deux types de solutions ont été particulièrement analysées dans la zone des Açores :

- la solution A qui est la solution multi-référence utilisant les stations Skyfix les plus proches (6 stations) : Scillies, Cadix, Den Helder, Aberdeen, Flamborough et Halifax,
- la solution B destinée à simuler le fonctionnement de Multifix dans des conditions plus défavorables où toutes les stations sont à plus de 2500 km : Aberdeen, Flamborough, Den Helder, Halifax, Rome.

En plus de ces solutions, des séances ont été réalisées avec une solution mono-référence sur la station la plus proche pour comparer avec la solution A et avec la solution du NR103 RTCM sur la même station.

Enfin une solution C très longue distance (>4000 km) a été analysée durant la mission 96.2 : Le Caire, Nigéria, Hammerfest, Tampa.

Le tableau ci-dessous résume les performances des différentes solutions de Multifix. Les deux critères choisis sont la dispersion des cibles à 95% et 99%. Le nombre d'écartés supérieurs à 10 m est mentionné (en %). La référence utilisée est le NR103 pour les cibles dynamique (Santa-Maria), « quai » est précisé pour les cibles statiques.

Ce tableau amène les remarques générales suivantes :

- la cohérence entre les deux DGPS (Multifix et NR103 HF en qualité 9) est bonne, l'écart en position est inférieur à 5 m dans plus de 99% des cas ;
- la dispersion des cibles dynamiques est légèrement plus faible qu'en statique, ce qui peut s'expliquer par une corrélation probable de l'erreur de position des deux systèmes, ainsi qu'un rejet des points de qualité moindre par l'élimination des heures où la note de qualité Sercel est inférieure ou égale à 8.

En tenant compte de ces observations, la précision absolue de Multifix est de l'ordre de 5 m à 95% pour des solutions multi-référence jusqu'à 3000 km. La précision augmente lorsque les stations sont proches (environ 3 m à 95% dans un rayon de 1000 km).

Séances	solution	27/09	28/09	01/10	05/10 quai	06/10 quai	20/10	23/10 quai	25/10	30/10 quai	31/10 quai
95% (m)	A	3.12	2.19	2.66	3.56	4.15	2.48	3.41	2.50	2.26	3.06
99% (m)		3.63	2.71	3.40	5.18	6.19	2.95	4.96	2.94	2.98	5.78
>10m (%)		0.00	0.00	0.00			0.00		0.00		
95% (m)	B	3.29	2.33	2.79	3.68	4.25	2.57	3.78	2.69	2.47	3.46
99% (m)		3.82	2.89	3.53	5.53	6.36	3.04	5.90	3.17	3.27	5.83
>10m (%)		0.00	0.00	0.00			0.00		0.01		
95% (m)	C	3.05	2.83	3.13			3.97	3.00	2.98	3.37	4.21
99% (m)		3.72	3.71	3.99			4.58	4.59	4.18	3.99	5.66
>10m (%)		0.00	0.00	0.02			0.12		0.00		

2.2.4 Intérêt de la solution multi-référence

En terme de précision, l'intérêt de la solution multiréférence n'apparaît qu'à partir de 2000 à 2500 km ; en deçà, la solution mono-référence sur la station la plus proche a des performances similaires. Pour une même station de référence, la solution NR103 RTCM présente non seulement une dispersion légèrement plus faible, mais en plus elle présente l'intérêt d'être disponible avec un faible retard (de l'ordre de 0,5 s), alors que le retard des sorties numériques Multifix est de 1 à 2 secondes.

Il est possible d'obtenir des dispersions relativement faibles en mono-station (Multifix ou NR103 RTCM) à des distances parfois beaucoup plus importantes (>3000 km). Néanmoins, la principale source de dégradation de la qualité étant la diminution du nombre de satellites en visibilité commune, une telle utilisation, sans autre contrôle, n'est pas viable de manière opérationnelle. Ajoutons que les mesures ont été conduites durant une période d'activité solaire minimale (cycle de 11 ans), et que la modélisation des retards ionosphériques sera moins performante dans le proche futur. Rappelons aussi que certains DGPS mono-station appliquent directement les corrections aux pseudo-distances (direct injection), et que cette méthode dégrade fortement les mesures au delà de 1000 km du fait de la décorrélation des retards ionosphériques.

Les solutions Multifix multi-référence se caractérisent par un nombre de points « aberrants » extrêmement faible. La solution A (stations les plus proches) a donné un pourcentage d'écarts supérieurs à 10 m très inférieur à 0,1% par rapport à la référence NR103 HF. Des écarts du même ordre apparaissent sur les cibles « statiques ». Il faut remarquer en plus qu'aucun critère de rejet n'a été activé sur Multifix.

2.3 Critères de qualité

2.3.1 Critère de qualité du NR103

Les principales variables calculées par le NR103 qui peuvent servir de critère de qualité sont :

- critères a priori : DOP (principalement GDOP, HDOP), mode de fonctionnement,
- critères a posteriori : DRMS, LPME (écart moyen des lignes de position), résidus.

Les mesures de position, vitesse, cap et altitude peuvent aussi être exploitées lors du traitement de la localisation en utilisant des hypothèses sur la dynamique du mobile.

Le NR103 élabore une note de qualité de synthèse. Cette note s'échelonne de 1 à 9 et l'expérience montre que les notes 2, 3, 6 et 7 sont extrêmement rares et n'apparaissent éventuellement que lors de périodes transitoires ou pour des géométries pauvres.

Note	différentiel	mode	LPME
1	non		
4	oui	2D+T	>4
5	oui	2D+T	<4
8	oui	3D+T	>1
9	oui	3D+T	<1

L'expérience des nombreuses cibles réalisées depuis plusieurs années montre que le seuil de qualité 9 permet d'éliminer la quasi totalité des points aberrants (en toute rigueur il faudrait aussi éliminer le premier des points en qualité 9 après une baisse de qualité).

Dans le cadre de l'évaluation d'un autre système de localisation, il est légitime de ne retenir que les points de qualité 9 pour tirer le meilleur parti de la référence. Le seuil de 9 serait par contre trop sévère pour épurer les données de localisation en sondage hauturier. Il peut néanmoins servir à classer des points douteux et à les analyser plus finement lors du traitement de la localisation.

L'analyse de quelques comportements aberrants du NR103 montre qu'à des écarts de position importants sont associées des valeurs élevées de LPME. Ce critère, associé à la dégradation de la géométrie de la constellation (DOP) est d'ailleurs utilisé pour les levés côtiers à grande échelle de la MOA ($2 \text{ DRMS} = 2 * \text{GDOP} * \text{LPME}$, si $\text{LPME} >= 1$) pour quantifier la précision de la localisation. Bien qu'aucune analyse systématique n'ait été conduite, il semble bien, en effet, que les valeurs importantes de 2 DRMS soient souvent associées à des écarts de position notables et réciproquement. Dans le cadre d'un levé hauturier, et à environ 2000 km de la station de référence, un seuil d'alarme à 20 m pour le 2 DRMS semble assez adapté. Notons tout de même que pour les cas défavorables à 4 satellites, le LPME n'est pas calculé.

2.3.2 Critères de qualité de Multifix

Quatre variables du message RACAL UKOOA ont été enregistrées : Ftest, Wtest, et les estimations des dispersions (2σ) en latitude et longitude, ainsi que les variables classiques (PDOP, nombre de stations, nombre de satellites).

Les critères UKOOA sont destinés à fournir à l'utilisateur des indications sur :

- la précision qu'il est en droit d'attendre (ellipse d'incertitude (95%) ou $2\sigma_{lat}$ et $2\sigma_{long}$),
- l'adéquation entre le modèle adaptatif utilisé par le système et les évolutions constatées des données (Ftest),
- le rejet automatique d'un lieu (Wtest),
- l'écart de distance (MDE) sur un lieu ou son incidence sur la position (pos MDE) qui peut résulter d'un biais non détecté par le Wtest.

a) Wtest :

Malgré le grand nombre de messages de positions traités (plus de 1 million), aucun rejet automatique n'a été observé.

b) Ftest :

Le nombre de rejets du Ftest est en général très inférieur à 1% par séance, aucune corrélation nette n'est apparue entre l'erreur de position à quai et le rejet par Ftest.

c) $2\sigma_{lat}$ et $2\sigma_{long}$

Pour simplifier l'étude, on a calculé la moyenne quadratique des deux estimateurs (appelée par la suite σ_{2D}). Le lecteur averti trouvera peut-être ce raccourci un peu cavalier (ellipse d'incertitude), mais il s'agit d'une approche plus qualitative que quantitative.

Si l'on considère qu'un point est mauvais lorsque l'erreur dépasse 10 m, on s'aperçoit que la totalité des points mauvais sont éliminés en adoptant un seuil de 15 m sur l'estimateur de l'erreur. Quelques points réputés bons sont aussi éliminés.

On remarque par contre que, si l'estimateur d'erreur peut permettre d'éliminer des points aberrants, il ne mesure pas la précision, les 3 solutions ont en effet une dispersion comparable, avec des estimateurs d'erreur variant de près du simple au double.

d) Critères classiques :

Les principales sources de dégradation de la précision sont :

- l'absence des corrections différentielles d'une partie des stations utilisées,
- la dégradation de la géométrie de la constellation utilisée.

Une partie des cibles en dynamique ont été filtrées en éliminant les points tels que :

nombre de station <3 ou PDOP <7 ou $\sigma_{2D} >15m$.

Il ressort de cette analyse que la majorité des points éliminés l'ont été du fait du PDOP, et qu'une diminution significative des écarts supérieurs à 5 m est apparue (pour des éliminations de l'ordre de 1% des points, passage des écarts supérieurs à 5 m typiquement de 0.1% à 0.02%).

Comme pour la qualité 9 du NR103, l'élimination en temps réel de tels points est difficilement viable, le nombre de points éliminés étant trop important. Ces critères peuvent par contre servir à épurer les données de position afin de déterminer une position moyenne ou d'évaluer un système moins performant.

2.3.3 Critères de rejet de la solution Multifix

Il est possible d'invalider en temps réel une solution calculée par Multifix en fonction de critères décrits précédemment :

$\sigma_{2D} > \text{seuil}_{2D}$
 $\sigma_{3D} > \text{seuil}_{3D}$
mauvais Ftest
PDOP $>$ seuil PDOP
HDOP $>$ seuil HDOP

Il faut distinguer deux possibilités d'utilisation de ces critères, dans un premier cas, la solution de position Multifix est utilisée de manière opérationnelle, et il convient de ne rejeter la solution qu'en cas de forte présomption d'invalidité, dans le second cas, Multifix est utilisé comme position de contrôle, par exemple du NR103 RTCM, et on peut durcir les critères de rejet de manière à augmenter la confiance en la position.

Compte tenu de l'expérience acquise, on peut proposer dans le premier cas comme seuil : $\sigma_{2D} > 20 m$ et dans le second PDOP > 7 ou $\sigma_{2D} > 15 m$.

3 Surveillance en temps réel

L'Espérance dispose donc de deux systèmes DGPS qui peuvent être utilisés pour le calcul du point fourni à l'ordinateur de navigation et au sondeur multifaisceaux EM12. Une fois déterminé lequel des systèmes est utilisé (choix de la configuration pour le logiciel de navigation et changement de connexion pour l'EM12), on peut se demander que faire des données fournies par l'autre. Il vient naturellement à l'esprit l'idée de calculer les écarts de position en temps réel entre les deux systèmes et de les visualiser, réalisant de manière simple un contrôle de qualité supplémentaire sur le point adopté.

3.1 Les fonctions de « monitoring » de Multifix

Multifix ne permet pas de visualiser directement une position (lat, long, alt) calculée par un autre système, il est par contre doté d'une fonction dite de « monitoring » qui permet de visualiser des positions déterminées relativement par rapport à la solution de référence (Dx, Dy, Dz). On peut donc utiliser ce moyen pour afficher les positions d'un ou plusieurs systèmes de localisation externes dans les fenêtres graphiques de Multifix.

3.2 Interface de « monitoring »

Pour réaliser cette fonction, il faut calculer les écarts de position entre les deux NR103 (opérationnel et secours) et la position de référence de Multifix. Les messages de monitoring virtuels correspondants peuvent alors être élaborés. Ces messages intègrent en plus des informations sur les solutions NR103 tels que le mode (2D ou 3D), les satellites utilisés, le DRMS estimé, etc.

L'interface, qui doit disposer de trois entrées RS232 et d'une sortie est le système d'acquisition 4 ports décrit précédemment. Un programme rudimentaire en C réalise les acquisitions des messages, leur décodage, le calcul des écarts et la mise au format du message de monitoring en sortie. Il fonctionne sans intervention de l'opérateur (sans clavier ni écran). Une alarme sonore peut être déclenchée lorsque l'écart de position entre la référence Multifix et le NR103 dépasse un seuil modifiable et réglé à 10 mètres.

Conclusions

a) Performances

Les coordonnées calculées par Multifix présentent un bruit à court terme nettement plus fort et une dispersion plus importante que les coordonnées calculées par le NR103 en mode RTCM à partir de la station la plus proche utilisée par Multifix. Cette dégradation des performances est probablement due à une moins bonne qualité des mesures de pseudo-distances effectuées par le récepteur Trimble 4000 DLII. La précision de la mesure de pseudo-distance est estimée (documentation RACAL et FUGRO) à environ 2.5 à 3 m sur ce récepteur, contre 1 m pour des récepteur plus précis (4000DS) auquel s'apparente le NR103. L'antenne GPS NR103 est aussi probablement mieux placée à bord de L'Espérance et moins sujette aux multiples trajets.

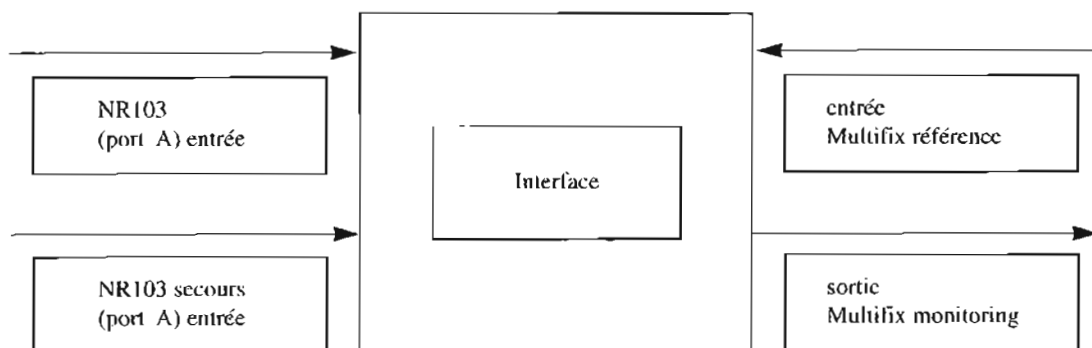
Cette supériorité du NR103 est maintenue au delà de 2000 km des stations de référence, et on peut s'attendre de manière empirique à ce quelle s'achève vers 2500 à 3000 km. L'utilisation de Multifix permettant d'ailleurs de connaître la valeur du « MSL » du modèle OSU91A, et ainsi de l'adopter sur le NR103 lors des passages en mode « 2D+T » qui se sont avérés tout à fait utilisables de manière opérationnelle.

Les solutions de position de Multifix utilisant des stations de référence plus éloignées que celles utilisées dans la solution principale se sont avérées moins précises, mais dans un rapport très faible, et sans commune mesure avec la croissance des estimateurs de précision. Il faut cependant noter une réserve car les solutions « lointaines » ont été calculées en même temps que des solutions « proches », favorisant peut être le calcul adaptatif des pondérations effectuées.

Un rayon d'incertitude absolue à 99% de 10 mètres doit pouvoir être maintenu avec un réseau de trois stations de référence dont deux à moins de 4000 km et une géométrie satisfaisante.

Multifix répond donc bien au besoin qui est de fournir une localisation assez précise et robuste (très faible nombre d'erreurs importantes) dans des configurations de stations différentielles très lointaines où les solutions mono-référence sont inopérantes.

L'étude a montré que le seuil de 2000 km de distance à la station de référence pouvait être franchi par le NR103 et que même lors des passages en mode « 2D+T » consécutifs à des faibles nombres de satellites en visibilité commune, le point restait utilisable.



b) Estimateurs de qualité

Bien que les critères UKOOA soient théoriquement mieux adaptés pour rendre compte de la dégradation possible de la précision, la différence par rapport aux estimateurs classiques est loin d'être flagrante. On a tout de même noté une bonne corrélation entre les valeurs élevées des estimateurs $2\sigma_{lat}$ et $2\sigma_{long}$ et les erreurs de position importantes, corrélation qui existe sur le NR103 entre LPME (ou éventuellement GDOP*LPME) et erreurs de position. L'aptitude de ces estimateurs à quantifier les erreurs réelles, même sur des périodes longues, est loin d'avoir été mise en évidence.

c) Politique d'utilisation de Multifix et du NR103

Le NR103 peut être maintenu comme moyen principal de navigation jusqu'à 2500 km de la station de référence. A partir de 1500 km, il est recommandé de calculer l'écart en dynamique en temps réel entre cette solution et la meilleure solution Multifix et de signaler les écarts supérieurs à 10 mètres par une alarme sonore. Multifix étant utilisé en contrôle, les critères de rejet peuvent être durcis (PDOP <7 et erreur 2D <15 m, voire 10 m). Un programme utilitaire a été réalisé, il permet de calculer l'écart entre les positions de 2 NR103 et une référence Multifix et de les transmettre à Multifix dans un format adapté (« monitoring »). Les positions des deux NR103 sont alors visualisées sur les fenêtres graphiques de Multifix en même temps que les positions calculées.

Le NR103 est configuré avec un masque d'élévation de 5°, masque qui peut sembler faible à certains spécialistes, mais qui a toujours donné satisfaction sur *L'Espérance* en levé hauturier. Pour Multifix un seuil de 7° (pondéré entre 7 et 10°) a été adopté.

Cette politique pourra être revue en fonction du taux de coupure dans la diffusion des corrections RTCM de la station la plus proche, le NR103 passant automatiquement en mode naturel au bout de 30 secondes d'interruption, alors que la solution multi-référence reste valide du fait des autres stations.

d) Perspectives

Si Multifix est un outil très intéressant pour analyser finement les corrections différentielles, le calcul du point, la constellation, la distance des stations de référence, son intérêt en tant que DGPS s'est avéré moins important que prévu initialement, d'autant plus que le système est limité par la faible qualité du récepteur GPS utilisé. L'évaluation de Multifix a permis de montrer que le seuil de 2000 km couramment admis comme la limite en mono-station des services comme Skyfix ou Starfix pouvait être facilement franchi avec le NR103. Il faut néanmoins admettre que l'utilisation de plusieurs stations différentielles est une sécurité pour le levé, par la redondance des informations, par la plus faible vulnérabilité aux coupures, et par l'augmentation du nombre de satellites utilisés. L'idéal serait donc de pouvoir continuer à utiliser le NR103 comme moyen unique de positionnement DGPS, associé à un système d'élaboration ou de réception de corrections optimisées pour la zone de travail. Un produit élaboré par FUGRO, le VBS (Virtual Base Station) permet ce type d'utilisation, et son expérimentation sur le BO *D'Entrecasteaux* est concluante. Ce produit n'est pas adaptable au format RTCM de Skyfix et nécessite donc l'abonnement au réseau Starfix (format SCF) qui diffuse en plus des corrections des informations relatives aux satellites, créant ainsi une dépendance gênante vis à vis du fournisseur de corrections. On peut aussi s'attendre à des développements multi-référence de Sercel (DSNP) avec le NR203. L'intérêt manifeste d'un tel produit étant, outre probablement les qualités du NR103, de permettre l'utilisation mixte des corrections RTCM et Sercel, rendant le point encore plus robuste vis à vis des corrections, et permettant de valoriser les stations Sercel du SHOM ainsi que le réseau de station Sercel existant (surtout la nuit où la portée des station HF est accrue).

Références

- a) Fiche 33 MHA/NP du 26/01/1995 (Jean-Michel LÉCULIER, présentation du système de positionnement GPS différentiel multi-référence Multifix)
- b) Fiche 34 MHA/NP du 26/01/1995 (Jean-Michel LÉCULIER, test du récepteur DGPS NR103 Sercel avec aptitude RTCM104)
- c) Fiche 37 MHA/NP du 26/01/1995 (Jean-Michel LÉCULIER, comparaison de plusieurs LRDGPS utilisant les corrections RTCM de Skyfix)
- d) Compte-rendu 183 MOA/NP du 09/05/1996 (Jean-Michel LÉCULIER, stage de formation Multifix - Visite de contrôle Skyfix)
- e) Article du bulletin technique IS (1996) (Jean-Michel LÉCULIER, utilisation des corrections RTCM par un NR103)
- f) Rapport d'évaluation 339 MOA/NP du 25/11/1996 (Gaël MORVAN, évaluation du système de localisation Starfix)
- g) Fiche 368 MOA/NP du 9/12/1996 (Jean-Michel LÉCULIER, comparaison des services Starfix et Skyfix)
- h) Fiche 387 MOA/NP du 19/12/1996 (Laurent KERLEGUER et Jean-Michel LÉCULIER, synthèse des évaluations Starfix et Skyfix) proposition d'équipement pour le *D'Entrecasteaux*.
- i) Fiche 32 MOA/NP du 21/01/1997 (Jean-Michel LÉCULIER, présentation du système DGPS Landstar)

ÉTUDE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DU PORT MILITAIRE DE BREST DE MAI 1994 À DÉCEMBRE 1995

Thierry LABASQUE
TSEF - EPSHOM - CMO - Laboratoire de Chimie Océanographique

RÉSUMÉ

L'évolution des paramètres physiques, chimiques et biologiques (pigments chlorophylliens) des eaux de surface du port militaire de Brest a été étudiée de mai 1994 à décembre 1995 au niveau de trois points de prélèvements situés à l'embouchure de la Penfeld, en rade abri et en grande rade.

La rade abri reçoit d'importantes quantités de phosphates par les eaux de la ville et des nitrates par la Penfeld.

Les cycles chimiques se déroulent normalement malgré ces apports et les importantes activités industrielles situées à la périphérie de la rade abri.

ABSTRACT

The evolution of physical, chemical and biological parameters (chlorophyll pigments) of surface water of military port of Brest has been studied from may 1994 to december 1995 at three stations located in the Penfeld river, military port and bay outside the port.

The military port receives important concentrations of phosphate from urban waters and nitrate from the Penfeld river.

Chemical cycles ordinarily progress in spite of important industrial activities wich take place all around the military port.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ 1. CADRE GÉOGRAPHIQUE.....	4-3
■ 2. STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT.....	4-3
2.1 Stratégie.....	4-3
2.2 Prélèvements.....	4-4
2.3 Prise des échantillons.....	4-4
■ 3. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	4-4
■ 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	4-6
4.1 - Caractéristiques météorologiques.....	4-5
4.2 - Caractéristiques hydrologiques (température, salinité).....	4-7
4.2.1. La température.....	4-8
4.2.2. La salinité.....	4-8
4.3 - L'oxygène dissous.....	4-9
4.4 - Les sels nutritifs.....	4-10
4.4.1. Les dérivés azotés.....	4-11
4.4.1.1. Les nitrates.....	4-11
4.4.1.2. Les nitrites.....	4-12
4.4.1.3. L'ammonium.....	4-12
4.4.2. Évolution du phosphore inorganique dissous.....	4-13
4.4.3. Les silicates.....	4-14
4.5 - Les pigments chlorophylliens.....	4-15
■ CONCLUSIONS.....	4-17
■ BIBLIOGRAPHIE.....	4-18

ÉTUDE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DU PORT MILITAIRE DE BREST DE MAI 1994 À DÉCEMBRE 1995

Le laboratoire de chimie océanographique (LCO) du centre militaire d'océanographie de l'EPSHOM participe à un programme de surveillance des eaux du port militaire en effectuant une détermination mensuelle des paramètres physiques et chimiques du milieu afin d'étudier leur évolution.

Ce programme de surveillance est effectué en collaboration avec le laboratoire de chimie analytique du port de Brest, dont le rôle est d'évaluer les aspects techniques et économiques d'une élimination progressive des apports en organo-étains dans la Penfeld et dans la rade abri. Cette expérience « pilote » sur les peintures antisalissures est menée depuis 1993 par la Marine Nationale.

Ce rapport présente le bilan des analyses en salinité, température, oxygène dissous et sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates, silicates) de mai 1994 à décembre 1995. Il succède ainsi à l'étude effectuée de décembre 1992 à avril 1993 sur la même zone (Chaumery et Labasque, 1994).

Le dosage des pigments chlorophylliens a été intégré en 1995 pour suivre le cycle d'évolution du phytoplancton de la zone étudiée.

1. CADRE GÉOGRAPHIQUE

Les principales caractéristiques de la rade abri du port militaire de Brest sont décrites dans le précédent rapport (Chaumery et Labasque, 1994). Nous rappellerons

simplement que la rade abri est soumise à l'influence des eaux douces, provenant de la Penfeld, et des eaux marines provenant de la mer d'Iroise via la rade de Brest. Le cycle de marée de type semi-diurne régit le système hydraulique de la rade abri, à savoir le remplissage ou la vidange suivant que l'on est au flux ou au jusant.

Le débit de la Penfeld varie en fonction des précipitations et influence ainsi le volume des eaux douces introduites en rade abri.

2. STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT

2.1 Stratégie

La stratégie de prélèvement est identique à celle utilisée en 1994 ; les prélèvements sont effectués en surface tous les mois, à pleine mer + 3h en situation de morte eau. Aux deux stations P1 et P2 étudiées lors des travaux précédents, nous avons ajouté une troisième station P3 située en grande rade, ceci dans le but de comparer l'hydrologie de cette dernière à celle de la rade abri. La figure 1 indique la position des trois stations ainsi que les courants au moment du prélèvement.

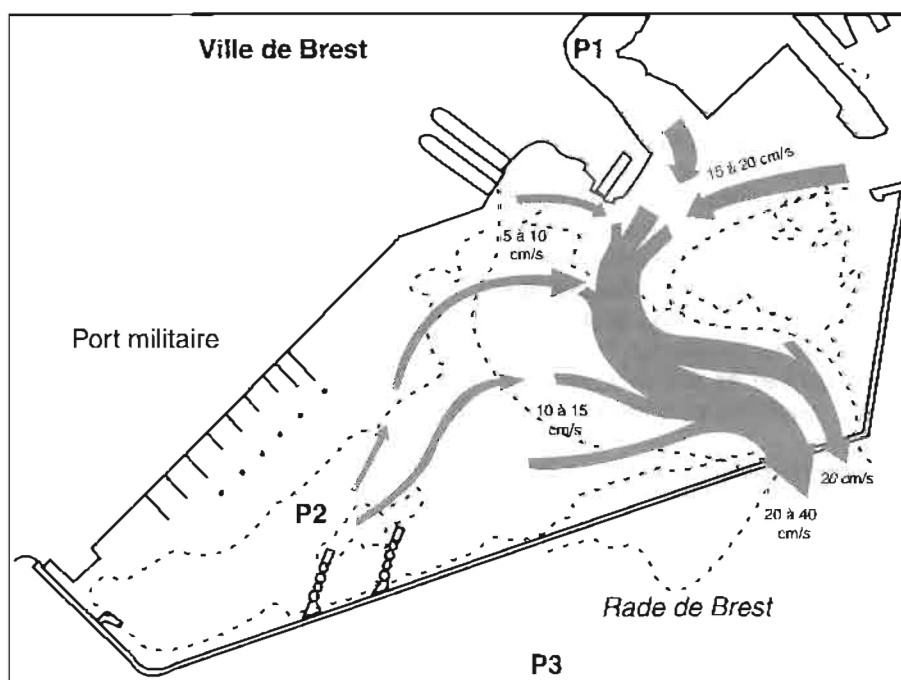


Figure 1 : position des stations de prélèvement et courantométrie à pleine mer+3h (Siess, 1977).

2.2 Prélèvements

La collecte des échantillons d'eau est effectuée au moyen d'une bouteille de type Niskin de 5 l munie d'un porte thermomètre, fixée à un câble de 6 mm de diamètre. La bouteille est munie d'un thermomètre électronique à renversement.

Une fois la bouteille immergée sous la surface (1m), la fermeture se fait après stabilisation du capteur de température, par l'intermédiaire d'un messenger coulissant sur le câble.

2.3 Prise des échantillons

La prise des échantillons est effectuée selon le protocole décrit par Aminot et Chaussepied (1983). L'ordre de prélèvement est le suivant :

- 1- oxygène dissous
- 2- ammonium
- 3- nitrates, nitrites, silicates et phosphates
- 4- salinité
- 5- chlorophylles.

3. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Le protocole d'analyse des différents paramètres a été détaillé lors de la précédente étude (Chaumery et Labasque, 1994). Nous citerons simplement les différentes techniques utilisées pour chaque paramètre et nous développerons la technique de dosage des *chlorophylles a* et *b*, et de *phéophytine a*.

Techniques d'analyses :

- **oxygène dissous** : méthode inspirée de celle de Winkler (1888), mise au point au laboratoire (Labasque et al., 1994).
- **ammonium** : méthode de Koroleff (1969).
- **nitrates** : les nitrates dissous dans l'eau de mer sont réduits presque totalement (>95%) en nitrites par passage sur une colonne de cadmium traité au cuivre (Wood et al., 1967). Les nitrites sont ensuite dosés selon la procédure décrite au paragraphe précédent.
- **nitrites** : La méthode utilisée pour le dosage des nitrites est basée sur la réaction de Griess appliquée à l'eau de mer par Bendschneider & Robinson (1952).
- **silicates** : La méthode qui sert de référence est celle de Mullin & Riley (1955), modifiée par Fanning & Pilson (1973).
- **phosphates** : méthode développée par Murphy & Riley (1962).
- **salinité** : mesure sur PORTASAL de chez Guildline (échelle pratique de salinité de 1978, UNESCO, 1984).
- **température** : mesure à l'aide d'un thermomètre électronique à renversement SIS

Détermination de la concentration en *chlorophylle a* et *b* ainsi qu'en *phéophytine a*.

La détermination quantitative globale de la fraction particulaire vivante dans les milieux aquatiques est importante pour l'étude et la compréhension des phénomènes écologiques. Pour cela, une estimation de la biomasse de phytoplancton par voie chimique, par extraction et détermination des pigments photosynthétiques, s'avère satisfaisante, plus simple et plus rapide que des méthodes basées, par exemple, sur le comptage des cellules. La *chlorophylle a* est commune à la majorité des espèces phytoplanctoniques et est couramment dosée pour estimer la biomasse du milieu étudié. La *chlorophylle b* est moins représentée et est plus spécifique des chlorophytes ou algues vertes. On peut en obtenir de fortes concentrations en milieu estuarien dessalé. Les phéopigments, qui sont des produits de dégradation des chlorophylles, représentent une part non négligeable de la composition pigmentaire du milieu, principalement dans les eaux côtières et estuariennes où la turbidité peut être forte.

Le prélèvement est effectué immédiatement après celui destiné à l'analyse de la salinité dans un flacon en polyéthylène de 1 l. L'échantillon est filtré de retour au laboratoire sur filtre WHATMAN GF/C, il est ensuite congelé à -24 °C jusqu'à l'analyse.

Le dosage est effectué selon le protocole développé au laboratoire par Barreto (rapport de DEA, 1995), inspiré des travaux de Neveux et Panouse (1987). Il repose sur une mesure de l'échantillon en spectrofluorimétrie à trois couples de longueur d'onde après extraction des pigments au mélange acétone/eau 90/10. Un calcul matriciel sur les facteurs de fluorescence permet de s'affranchir des interférences éventuelles dues aux différents pigments. Cette technique de dosage nous permet d'accéder aux concentrations en *chlorophylle a* et *b*, et en *phéophytine a*.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Afin de mieux comprendre l'évolution des paramètres physico-chimiques de la rade abri nous avons intégré à cette étude les données météorologiques mensuelles moyennes, à savoir pluviométrie, température et durée d'ensoleillement. Nous présenterons donc tout d'abord ces données météorologiques, puis les caractéristiques hydrologiques (température, salinité) observées. Enfin nous détaillerons les caractéristiques chimiques (oxygène et sels nutritifs) et les résultats des dosages pigmentaires.

4.1 Caractéristiques météorologiques

Les données fournies sont celles mesurées à la station météorologique de Brest-Guipavas. Il s'agit de données mensuelles moyennes. Le tableau 1 regroupe l'ensemble de ces résultats.

Mois	Températures moyennes de l'air (°C)	Cumul des précipitations (mm)	Durées d'insoation (heures)
04/94	8.8	103.0	121.4
05/94	12.3	137.4	140.5
06/94	14.9	29.8	246.7
07/94	17.2	20.4	216.2
08/94	16.6	84.0	136.2
09/94	14.1	94.2	91.7
10/94	12.9	138.0	142.6
11/94	11.8	68.6	39.7
12/94	9.5	190.4	53.0
01/95	8.0	284.6	28.1
02/95	9.0	211.2	37.4
03/95	7.9	104.8	140.0
04/95	9.6	66.0	137.2
05/95	13.3	67.8	211.6
06/95	14.8	20.2	224.3
07/95	18.0	95.2	191.6
08/95	18.7	24.0	231.5
09/95	14.4	163.8	103.5
10/95	14.9	52.8	113.8
11/95	9.6	73.8	91.5
12/95	6.5	54.4	53.4

Tableau 1 : caractéristiques météorologiques mesurées à la station de Brest-Guipavas de mai 1994 à décembre 1995.

Les évolutions de ces trois paramètres sont représentées par les figures 2, 3, et 4.

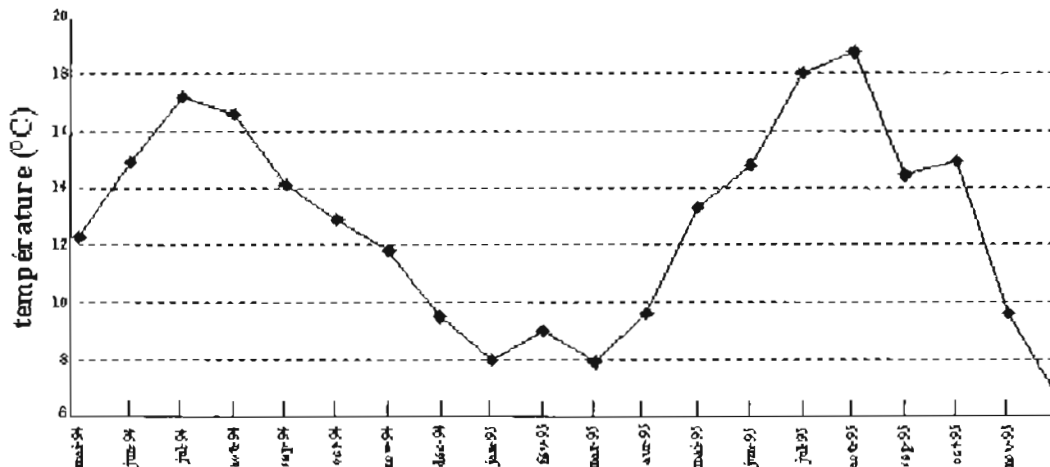


Figure 2 : évolution des températures moyennes mensuelles de l'air enregistrées à la station de Brest-Guipavas de mai 1994 à décembre 1995.

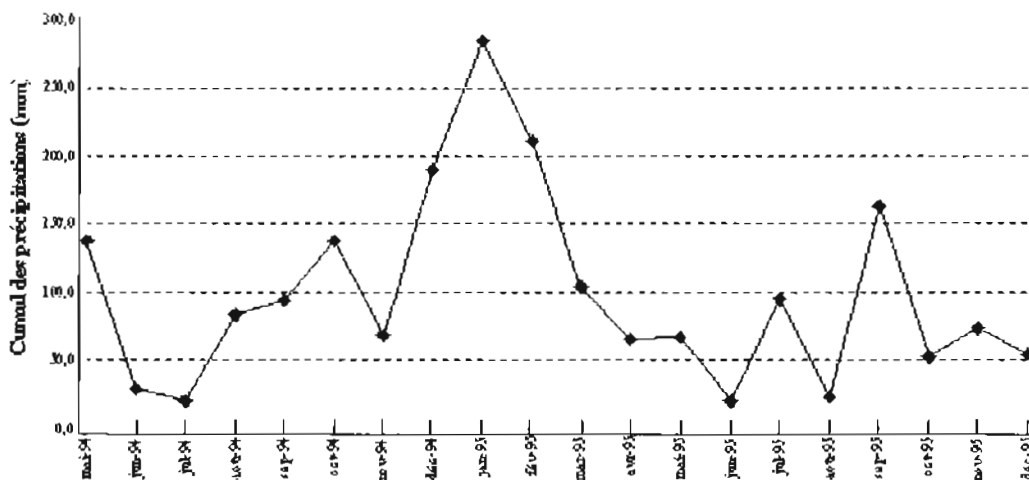


Figure 3 : évolution du cumul des précipitations enregistré à la station de Brest-Guipavas de mai 1994 à décembre 1995.

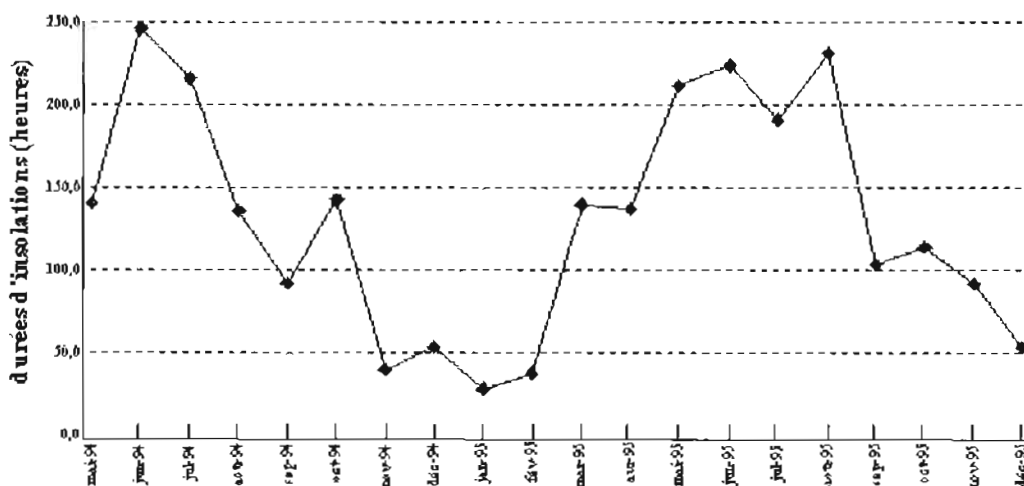


Figure 4 : évolution des durées mensuelles d'insolation enregistrées à la station de Brest-Guipavas de mai 1994 à décembre 1995.

Le caractère tempéré de la région brestoise est ici bien représenté à savoir de fortes précipitations en période hivernale (150 à 300 mm) accompagnées de températures relativement douces (8 à 12 °C). En été les précipitations diminuent notablement (<50mm) et les températures moyennes mensuelles augmentent (environ 18°C). Les durées d'insolation augmentent aussi fortement à partir du printemps pour atteindre des maxima en été (>200 heures). Ces cycles météorologiques ont des répercussions, comme nous le verrons par la suite, sur l'écosystème de la rade abri. La pluviométrie exceptionnelle enregistrée en janvier 1995 (285 mm) s'est traduite par des inondations importantes sur

l'ensemble du Finistère. Les eaux de ruissellement du bassin versant de la Penfeld se sont déversées en rade abri. Ces fortes pluies ont ainsi des répercussions importantes sur les paramètres physico-chimiques de la rade abri.

4.2 Caractéristiques hydrologiques (température, salinité)

Le tableau 2 regroupe les valeurs des salinités et des températures aux trois points de prélèvement de mai 1994 à décembre 1995.

Date	Température (°C)			Salinité (PSS)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
05/94	14.0	13.5		30.256	32.785	
06/94	15.6	16.0		31.453	33.469	
07/94	20.5	20.0		34.259	34.729	
08/94	18.0	18.6		34.321	34.967	
09/94	15.1	15.1		33.327	34.566	
10/94	15.6	14.5		33.870	34.730	
11/94	13.6	12.0		31.477	32.534	
12/94	12.6	12.5		31.402	32.586	
01/95	10.2	9.9		21.302	30.090	
02/95	10.2	9.9		27.184	31.248	
03/95	10.7	10.5		31.415	32.663	
04/95	11.3	11.4	11.5	31.821	33.862	34.120
05/95	14.0	14.5	14.2	33.956	34.652	34.448
06/95	15.9	16.0	16.4	33.902	34.682	34.492
07/95	18.0	18.1	17.9	34.571	34.880	34.874
08/95	18.7	19.1	18.5	34.640	35.026	34.958
09/95	16.0	16.1	15.9	34.059	34.722	34.714
10/95	15.8	15.8	15.8	34.198	34.345	34.628
11/95	13.9	13.8	14.1	33.261	34.901	35.107
12/95		10.0	9.9	33.331	34.262	34.244

Tableau 2 : valeurs des températures et des salinités obtenues aux trois points de prélèvements de mai 1994 à décembre 1995.

Remarque : l'unité utilisée pour exprimer la salinité est le **Practical Salinity Scale (PSS)**. Elle succède au PSU (Practical Salinity Unit).

4.2.1 La température

L'évolution mensuelle de la température est représentée figure 5.

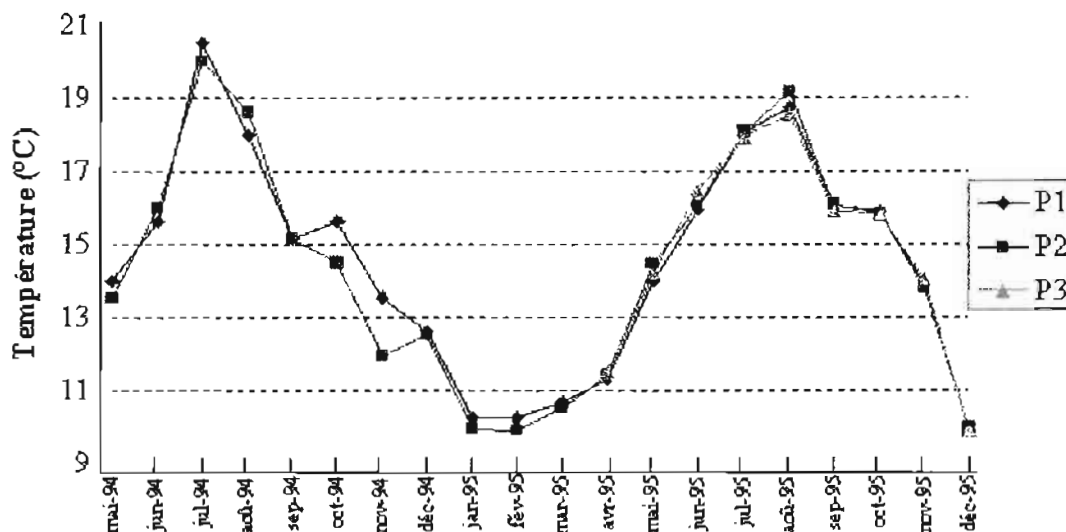


Figure 5 : évolution mensuelle de la température de surface aux trois stations de prélèvement de mai 1994 à décembre 1995.

Nous notons une évolution cyclique des températures de surface aux trois stations de prélèvement. Les maxima sont obtenus en été (environ 20°C) et les minima en hiver (10°C). Les températures de surface augmentent fortement dès avril 1995. Cette évolution est principalement due au réchauffement de la masse d'air et à l'ensoleillement. Le coefficient de corrélation entre les températures aériennes et les températures de l'eau en surface est de 0.95. Il y a donc une bonne corrélation entre ces deux séries.

L'écart de température entre les trois points de prélèvement est faible, néanmoins nous pouvons remarquer que les températures relevées en P2 en période hivernale sont généralement plus faibles que celles obtenues en P1. A l'inverse, en période estivale, les températures en P2 sont

supérieures à celles obtenues en P1. Ceci a déjà été constaté de décembre 1992 à avril 1994 (Chaumery et Labasque, 1994), mais de façon plus nuancée. Ce constat peut s'expliquer par la stabilité des eaux de surface en P2 par rapport à l'embouchure de la Penfeld où les courants au moment du prélèvement sont plus importants. Cette stabilité induit donc préférentiellement un réchauffement ou un refroidissement de la masse d'eau.

4.2.2 La salinité

La figure 6 représente l'évolution de la salinité des eaux de surface aux trois points de prélèvement de mai 1994 à décembre 1995.

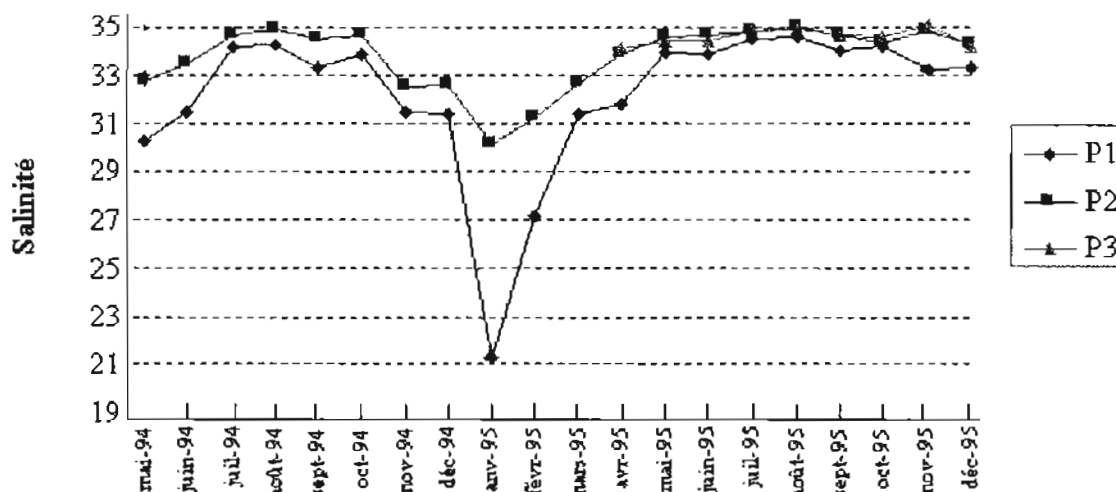


Figure 6 : évolution de la salinité aux trois stations de prélèvement de mai 1994 à décembre 1995.

L'évolution cyclique de la salinité est bien marquée : les minima sont obtenus en hiver et les maxima en été. L'amplitude des mesures est plus forte en P1 qu'en P2 ou P3 : le minimum est de 21 pss en janvier 1995 et le maximum de 34.5 pss en août de la même année. En P2 le minimum est de 30.2 pss obtenu à la même date et le maximum de 35 pss en août 1994. Cette évolution saisonnière des salinités de surface s'explique par les variations de débit de la Penfeld dues aux conditions météorologiques (volume des précipitations). La corrélation entre les salinités obtenues en P1 et P2 avec la volume des précipitations est respectivement de -0.8 et -0.7. Le point P1, situé à l'embouchure de la Penfeld, est plus affecté par les variations du débit de la rivière ; l'écart en salinité entre P1 et P2 est ainsi plus marqué en hiver, et minimum en été. Le point P2 est lui aussi soumis à l'influence de la Penfeld, mais de façon plus nuancée ; en effet cette station, en raison de son éloignement du courant de la Penfeld, présente un caractère plus océanique.

Tout comme lors de la précédente étude (Chaumery et Labasque, 1994), nous constatons une relative homogénéisation des eaux de la rade abri en période estivale.

L'effet des précipitations exceptionnelles de janvier 1995 est ici bien marqué par une dessalure importante au niveau de P1 (21 pss) et dans une moindre mesure en P2 (30 pss).

4.3 L'oxygène dissous

Le tableau 3 présente les valeurs de saturation en oxygène dissous aux trois stations, de juillet 1994 à décembre 1995.

Date	Oxygène dissous (% de saturation)		
	P1	P2	P3
07/94	128	141	
08/94	123	130	
09/94	88	108	
10/94	90	96	
11/94	83		
12/94	88	97	
01/95	102	99	
02/95	97	100	
03/95	100	107	
04/95	103	108	
06/95	137	140	139
07/95	120	125	126
08/95	114	125	121
09/95	95	107	101
10/95	93	99	101
11/95	92	96	98
12/95	89	94	95

Tableau 3 : valeurs d'oxygène dissous obtenues aux trois points de juillet 1994 à décembre 1995.

La figure 7 représente l'évolution de la saturation en oxygène dissous sur la même période.

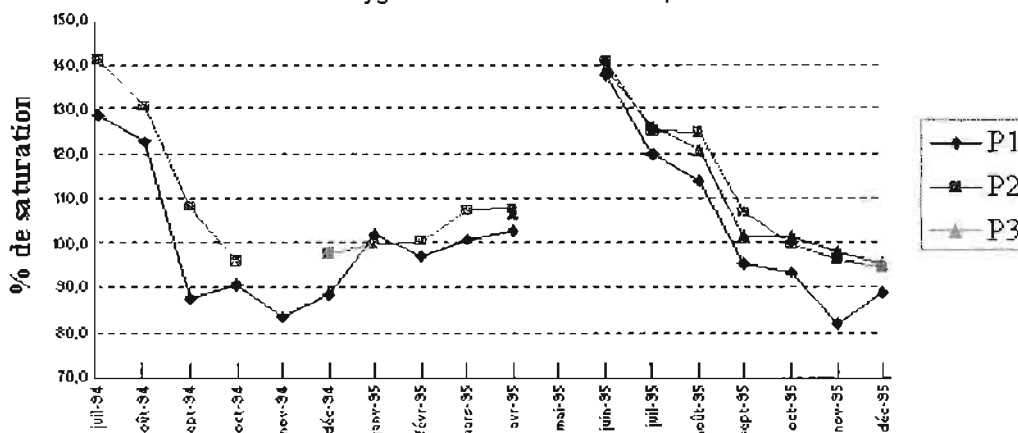


Figure 7 : évolution du pourcentage de saturation en oxygène dissous de juillet 1994 à décembre 1995.

Remarque 1 : les valeurs d'oxygène dissous sont exprimées en ml/l. Pour une exploitation des résultats, il est préférable, dans une zone où les gradients de température et de salinité sont forts, d'utiliser le pourcentage de saturation en oxygène dissous.

Remarque 2 : un problème d'ordre technique nous a privé des valeurs du mois de mai 1995.

Nous notons globalement une saturation des eaux de la rade abri toute l'année. Une évolution cyclique est mise en évidence, en effet aux sursaturations importantes obtenues en été 1994 et 1995 (140%) succèdent des saturations de l'ordre de 90% en période hivernale. Ces sursaturations importantes sont dues à la photosynthèse du

phytoplancton et des macroalgues qui se traduit par la production d'oxygène. Ces résultats confirment les valeurs obtenues de février 1993 à décembre 1993 (Chaumery et Labasque, 1994) et ceux de nombreux auteurs sur la rade en général, (Treguer et al., 1985, Delmas, 1981, ...), à savoir que la rade de Brest possède des eaux saturées en oxygène toute l'année.

4.4 Les sels nutritifs

Les concentrations en nitrates, silicates, phosphates, nitrites et ammonium mesurées aux trois stations sont regroupées dans le tableau 4.

Date	Nitrates (µmol/l)			Nitrites (µmol/l)			Ammonium (µmol/l)			Silicates (µmol/l)			Phosphates (µmol/l)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
05/94	67.5	21.4		1.41	0.8		9.5	2.6		13.3	14.9		2.1	1.1	
06/94	54.4	12.6		1.25	0.5		2.8	1.3		7	14.4		2.1	0.8	
07/94	14.6	0.8		0.5	0.1					4.5	0.7		0.7	0.1	
08/94	18.5	0		0.7	0					6.5	2.1		0.8	0.1	
09/94	63.4	15.2		1.0	0.4		9.5	1.9		14.5	8.0		1.6	0.9	
10/94	18.1	6.3		0.8	0.4		11.3	3.3		11.7	5.9		1.9	0.7	
11/94	65.1	40.5		2.0	1.4		31.6	10.6		23.6	14.3		3.3	1.5	
12/94	53.6	39.1		1.2	0.9		21.5	5.3		19.4	12.9		2.5	1.2	
01/95	139.7	67.3		1.3	0.6		25.2	3.8		51.2	20.4		2.7	1.1	
02/95	141.8	59.7		1.0	0.6		15.7	2.6		28.9	14.6		2.0	0.9	
03/95	70.7	46.5		0.7	0.4		5.5	1.1		20.5	11.6		1.4	0.8	
04/95	36.8	15.2	11.7	0.4	0.3		11.8	2.1	1.9	15.4	3.3	2.3	0.4	0.4	
05/95	14.9	0.6	1.6	0.5	0.1	0.1	8.8	0.6	0.5	6.6	1.2	1.3	1.6	0.3	0.13
06/95	17.6	0.1	0.2	0.7	0.0	0.1	1.8	0.3	0.7	6.4	1.4	2.1	1.2	0.3	0.4
07/95	8.6	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	1.9	0.4	0.3	6.4	3.0	3.2	1.2	0.2	0.1
08/95	7.6	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	6.9	2.8	3.7	1.7	0.2	0.3
09/95	12.0	3.3	3.8	0.8	0.3	0.3	17.5	1.0	2.7	9.0	5.9	5.3	2.2	0.5	0.5
10/95	17.6	4.5	6.5	1.3	0.4	0.4	18.4	3.9	4.7	13.4	7.1	7.6	3.0	0.8	0.7
11/95	25.2	6.2	3.4	2.0	0.9	0.9	17.6	3.3	1.2	16.8	7.7	5.5	3.0	0.8	0.5

Tableau 4 : concentrations en sels nutritifs aux trois points de prélèvement de mai 1994 à décembre 1995.

4.4.1 Les dérivés azotés

Ils sont caractérisés par trois espèces chimiques dominantes : les nitrates, les nitrites et l'ammonium.

4.4.1.1 Les nitrates

Les nitrates représentent la forme azotée prédominante dans le milieu marin car elle est

thermodynamiquement stable (degré d'oxydation élevé). En rade abri, les nitrates sont directement apportés par les eaux de la Penfeld.

La figure 8 indique l'évolution des concentrations en nitrates de mai 1994 à décembre 1995.

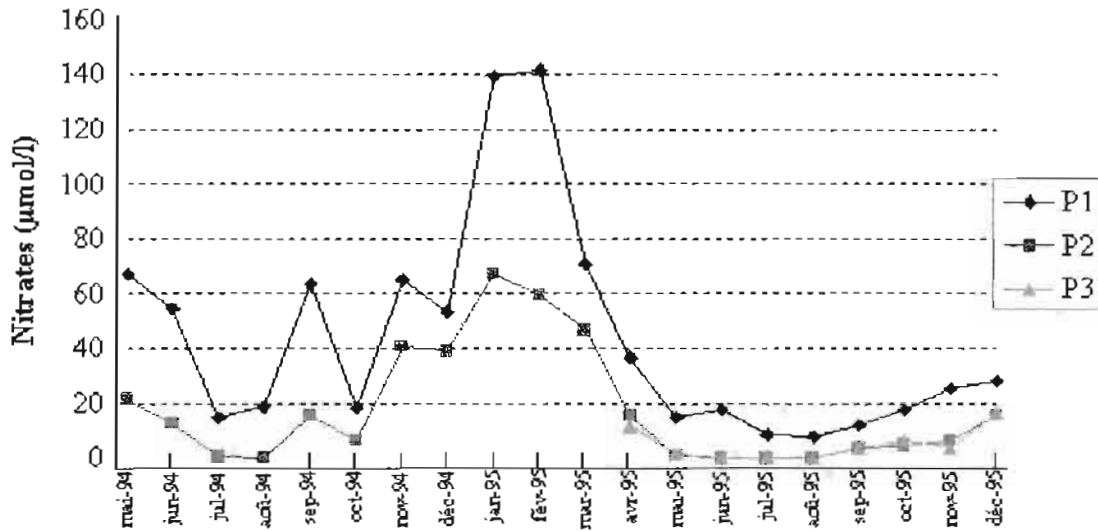


Figure 8 : évolution des concentrations en nitrates de mai 1994 à décembre 1995.

Nous remarquons une évolution cyclique des concentrations en nitrates aux trois stations hydrologiques. Les maxima sont obtenus en P1 et P2 au mois de janvier 1995 et sont respectivement de 140 et 70 µmol/l. Les minima sont obtenus en période estivale et sont proches voire égaux à 0 µmol/l en P2 et P3 ; en P1 le minimum est de l'ordre de 10 à 20 µmol/l suivant les conditions hydroclimatiques.

En période hivernale, la Penfeld, en raison de son débit élevé, apporte des nitrates dans la rade abri par suite du

lessivage du bassin versant par les eaux de pluie. Les maxima obtenus en P1 sont beaucoup plus importants que ceux constatés dans la précédente étude (Chaumery et Labasque, 1994), 110 µmol/l en décembre 1993 et 1994 contre 140 µmol/l en 1995. Cet écart peut s'expliquer par la forte dessalure constatée en janvier 1995 (21 pss) par rapport aux deux années précédentes (25 et 26 pss). La figure 9 représente la corrélation entre les valeurs de salinité et les valeurs de nitrates.

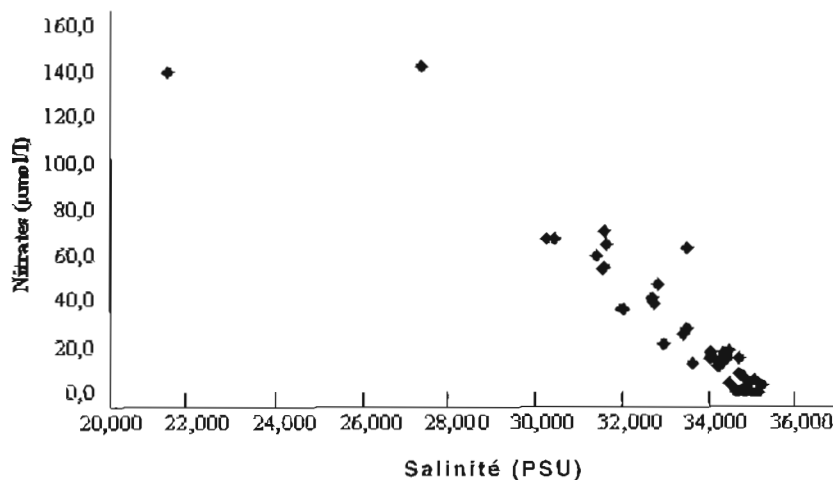


Figure 9 : représentation des valeurs de nitrates en fonction des valeurs de salinité.

Le coefficient de corrélation est de -0.93. Cela indique une distribution conservatrice des nitrates, à savoir qu'aux salinités faibles correspondent des taux de nitrates élevés et inversement. Les nitrates sont donc apportés par les eaux douces de la Penfeld.

En période estivale les concentrations mesurées en P2 et P3 sont de 0 $\mu\text{mol/l}$. Il y a donc un épuisement total des nitrates par le phytoplancton en rade abri et en grande rade. Cette consommation par le phytoplancton est combinée à la diminution des apports par les fleuves.

4.4.1.2 Les nitrites

Les ions nitrites sont des intermédiaires, relativement instables, entre l'ammonium et les nitrates dans le cycle de

nitrification, dont l'étape finale est la formation de nitrates. De ce fait, ils sont relativement peu présents dans le milieu marin. Des concentrations élevées traduiraient des phénomènes de dénitrification et seraient ainsi un indicateur de perturbation de l'écosystème.

La figure 10 représente l'évolution des concentrations en nitrites de mai 1994 à décembre 1995 aux trois points de prélèvement.

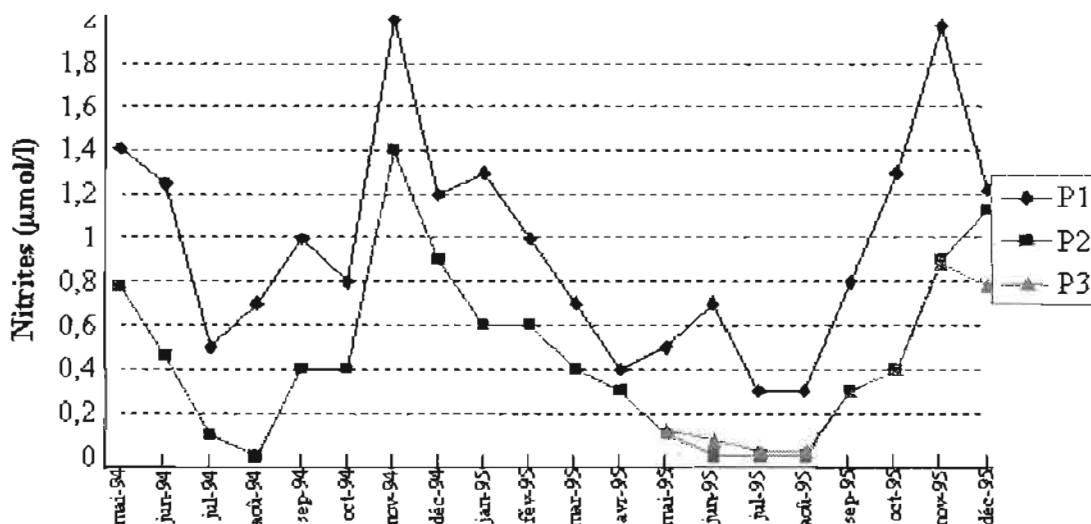


Figure 10 : évolution des concentrations en nitrites de mai 1994 à décembre 1995.

Les maxima sont obtenus au point P1 (2 $\mu\text{mol/l}$) aux mois de novembre 1994 et 1995. En P2, ils sont de 1.4 $\mu\text{mol/l}$ en novembre 1994 et 1.2 $\mu\text{mol/l}$ en décembre 1995. Les minima sont proches de 0 $\mu\text{mol/l}$ en P2 et P3 au mois d'août 1994 et 1995. Au point P1 le minimum (0.3 $\mu\text{mol/l}$) est obtenu en juillet et août 1995.

Nous remarquons ainsi une évolution cyclique des concentrations en nitrites d'une année sur l'autre. En période hivernale les concentrations augmentent avec le débit des fleuves et en période estivale elles diminuent fortement en raison de la consommation par le phytoplancton. Il est intéressant de noter que les maxima sont décalés d'un à deux mois par rapport aux maxima de nitrates. Ce décalage est dû au fait qu'ils sont l'étape préliminaire à la formation des nitrates dans le cycle de minéralisation de l'azote. Cette minéralisation induit une consommation d'oxygène, on remarque ainsi qu'aux maxima cités précédemment, correspondent des valeurs minimales en oxygène dissous.

Les concentrations en nitrites obtenues sont normales et leur évolution conforme à un milieu où le cycle de l'azote se déroule correctement.

4.4.1.3 L'ammonium

L'ammonium (NH_4^+) représente la forme azotée la plus facilement assimilée par le phytoplancton. C'est en effet sous ce degré d'oxydation (-III) que l'énergie requise pour son assimilation est la plus faible. Il a pour principale origine en rade abri, les apports des eaux douces de la Penfeld et dans une moindre mesure, la minéralisation des matières organiques.

La figure 11 représente l'évolution de l'azote ammoniacal de mai 1994 à décembre 1995.

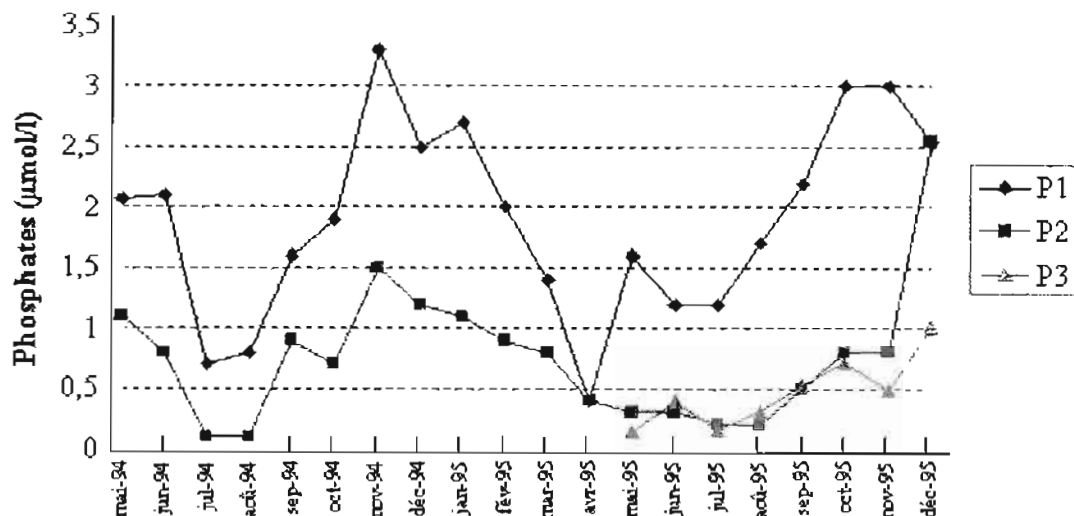


Figure 11 : évolution des concentrations en ammonium de mai 1994 à décembre 1995.

Le maximum de concentration est obtenu aux mois de novembre 1994 (31µmol/l en P1) et octobre 1995 (18,4 µmol/l en P1). Les minima sont obtenus en début de période estivale : juin et juillet 1994 et 1995 en P2 et P3. On remarque ainsi une évolution cyclique de l'ammonium.

Si l'on compare ce cycle avec celui des nitrates, on peut remarquer un décalage d'un à deux mois entre les maxima des deux formes azotés, et d'un mois entre les minima. En effet en période hivernale cette forme azotée est la première étape du cycle de minéralisation, d'où son apparition précoce. A l'inverse, au printemps, lorsque le phytoplancton commence à se développer, il consomme préférentiellement l'ammonium, puis les nitrites et enfin les nitrates.

L'examen des variations saisonnières des dérivés azotés indique que le cycle de l'azote se déroule normalement en rade abri ; aux maxima mesurés en période hivernale succèdent des minima proches de zéro en période estivale dus à la consommation par le

phytoplancton et à une diminution du débit de la Penfeld. Il s'ensuit à l'automne une reminéralisation des matières organiques qui conduit, avec l'augmentation du débit de la rivière, à accroître les concentrations en sels nutritifs azotés.

4.4.2 Évolution du phosphore inorganique dissous.

Le phosphore est un élément nutritif dont la forme majoritaire est l'ion orthophosphate. Des teneurs élevées (plusieurs dizaines de micromoles par litres) peuvent être observée dans certains estuaires. Ces teneurs élevées ont pour origine l'activité domestique ou agricole, et peuvent aboutir à des phénomènes d'eutrophisation.

La figure 12 représente l'évolution des concentrations en phosphates de mai 1994 à décembre 1995.

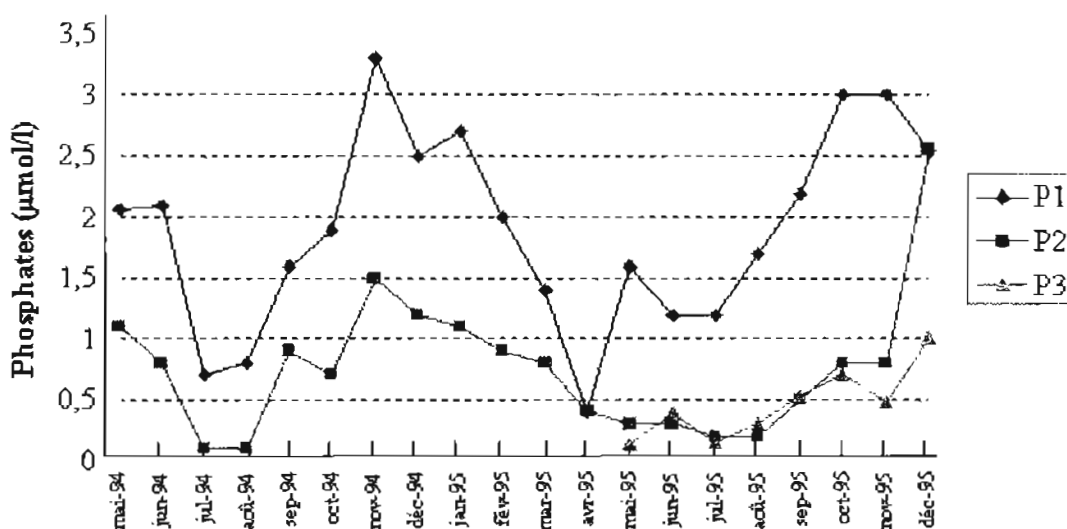


Figure 12 : évolution des concentrations en phosphates de mai 1994 à décembre 1995 aux trois stations de prélèvement.

Les phosphates ont une évolution cyclique ; les maxima sont mesurés en P1 en novembre 1994 et décembre 1995 et les minima sont obtenus en période estivale en 1994 et 1995 en P2.

En période estivale, on peut noter un appauvrissement presque total des phosphates en P2 et P3 dû à l'assimilation par le phytoplancton combiné à la diminution du débit des fleuves.

Les valeurs obtenues sont globalement similaires à celles mesurées en rade abri en 1993 (Chaumery et Labasque 1994). Elles sont néanmoins supérieures à celles mesurées en grande rade pour des salinités équivalentes. Ce phénomène pourrait être lié au fait que la rade abri reçoit une quantité importante d'eaux d'origines urbaines chargées en phosphates par rapport aux autres fleuves de la rade (Elorn et Aulne). De plus, les fortes dessalures

enregistrées en janvier 1995 ne sont pas accompagnées de concentrations très importantes en phosphates. Ces derniers n'auraient donc pas pour principale origine les eaux douces de la Penfeld mais plutôt les eaux d'origine urbaine de la ville de Brest.

4.4.3 Les silicates

Le silicium est un élément nutritif car il entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques auxquelles il est indispensable. La concentration dans les estuaires peu atteindre plusieurs centaines de $\mu\text{mol/l}$ car il est apporté par les eaux douces.

La figure 13 représente l'évolution des concentrations en silicates de mai 1994 à décembre 1995.

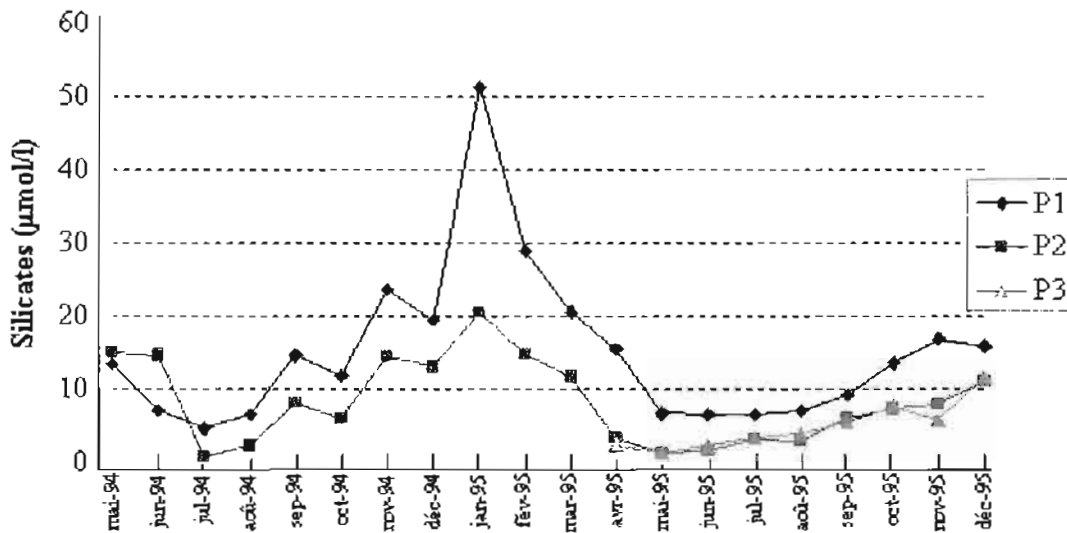


Figure 13 : évolution des silicates en rade abri de mai 1994 à décembre 1995.

Les maxima sont mesurés en période hivernale : 51 $\mu\text{mol/l}$ en P1 et 21 $\mu\text{mol/l}$ en P2 au mois de janvier 1995. En période estivale la combinaison de la consommation par le phytoplancton et de la diminution du débit des fleuves conduit à des concentrations relativement faibles : 1 $\mu\text{mol/l}$ en P2 et 5 $\mu\text{mol/l}$ en P1 au mois de juillet 1994, 2 $\mu\text{mol/l}$ en P2 et 3 $\mu\text{mol/l}$ en P1 au mois de mai 1995. Ainsi les concentrations en silicates diminuent dès le mois de février pour atteindre des valeurs minimales au printemps ou en été suivant les conditions hydroclimatiques.

La forte dessalure observée en janvier 1995 est bien marquée par un maximum très important en silicates (51 $\mu\text{mol/l}$). Les silicates ont ainsi pour principale origine les eaux douces de la Penfeld. Il existe une bonne corrélation entre ces deux paramètres. La figure 14 représente les concentrations en silicates en fonction de la salinité. Le coefficient de corrélation est de -0.91.

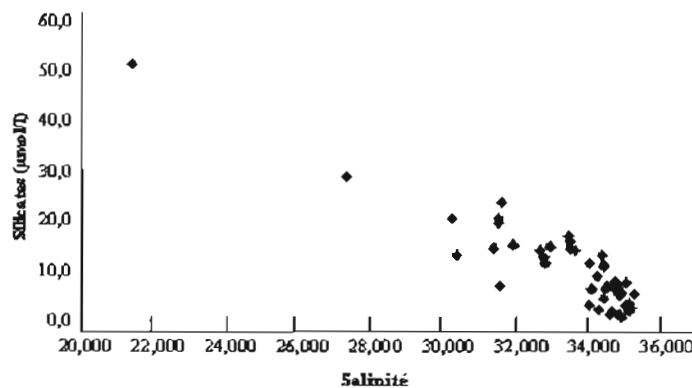


Figure 14 : concentrations des silicates exprimées en fonction de la salinité.

Tout comme les nitrates étudiés précédemment, les silicates ont un comportement conservatif en rade abri.

Les diatomées sont les principales utilisatrices de la silice, dont elle forme le squelette. Elles épuisent dès la fin du printemps le stock de silicates.

4.5 Les pigments chlorophylliens.

Le dosage chimique des pigments phytoplanctoniques est un moyen simple d'estimer la biomasse voire d'identifier des classes de phytoplancton. La *chlorophylle a* est commune à toutes les espèces de

phytoplancton. Les *phéophytines a* et *b* sont des produits de dégradation des chlorophylles respectives. La *chlorophylle b* est surtout présente dans les eaux estuariennes dessalées ou au niveau de l'océan profond.

Les figures 15, 16 et 17 représentent l'évolution des concentrations en *chlorophylle a*, *chlorophylle b* et *phéophytine a* de janvier à décembre 1995.

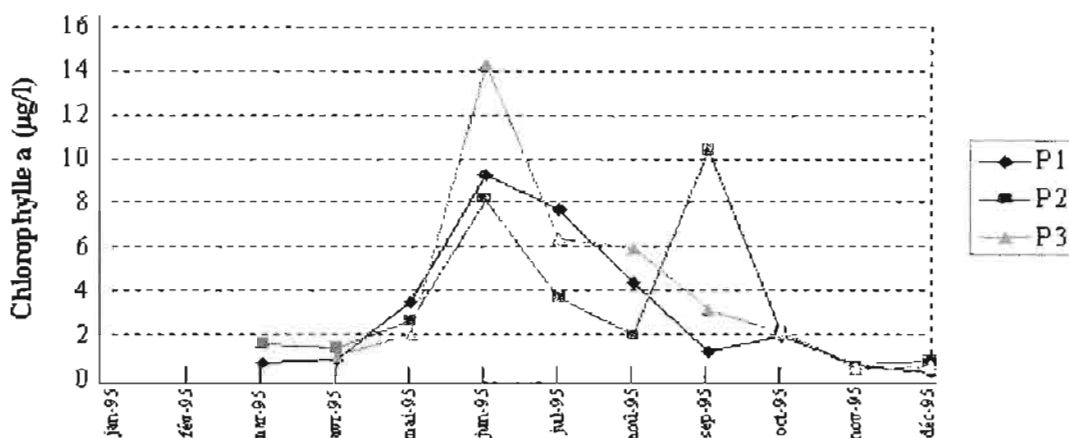


Figure 15 : évolution de la concentration en chlorophylle a de janvier à décembre 1995.

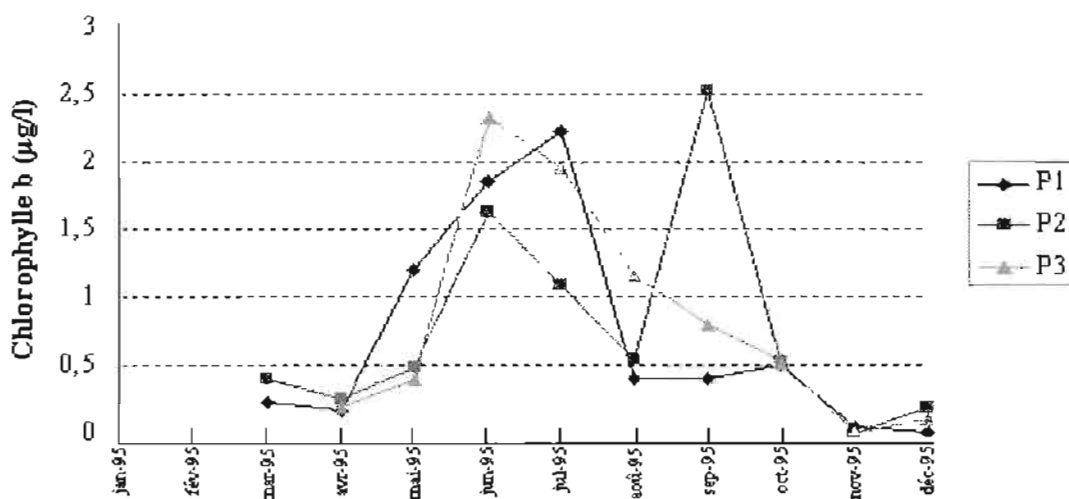


Figure 16 : évolution des concentrations en chlorophylle b de janvier à décembre 1995.

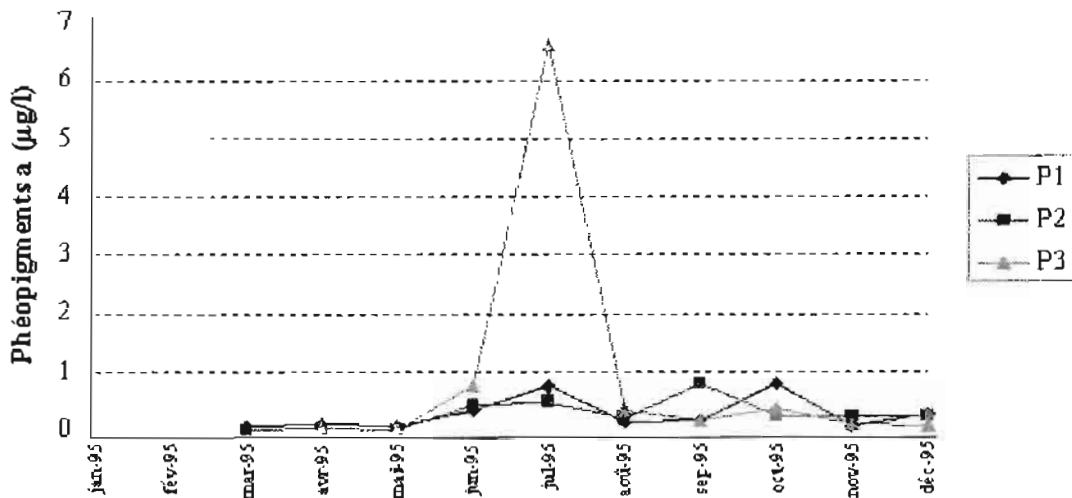


Figure 17 : évolution des concentrations en phéophtine a de janvier à décembre 1995.

Les concentrations en *chlorophylle a* et *b* augmentent fortement dès le mois de mai pour atteindre leur maximum au mois de juin. Le phytoplancton trouve alors des conditions favorables à son développement (sels nutritifs, ensoleillement et température).

Un haut niveau de biomasse (concentrations en chl_a > 4 µg/l et en chl_b > 1 µg/l) est maintenu durant tout l'été malgré une diminution constante après le bloom.

L'épuisement constaté en sels nutritifs (nitrates notamment) n'affecte pas la biomasse phytoplanctonique qui reste élevée jusqu'à l'automne de l'année 1995. Les faibles apports en sels nutritifs de la Penfeld en cette saison, ainsi que ceux dus au relargage par le sédiment et à la reminéralisation sont consommés rapidement. Un deuxième bloom phytoplanctonique apparaît en septembre 1995 en P2.

Les concentrations en *phéophtine a* sont généralement comprises entre 0 et 1 µg/l. La valeur obtenue en juillet 1995 (6.5 µg/l) est élevée et apparaît un mois après le maximum en *chlorophylle a* mesuré au même point. Cette concentration peut traduire une dégradation importante de la *chlorophylle a* par broutage zooplanctonique.

Remarque : les concentrations de chlorophylles mesurées sont des valeurs ponctuelles dans le temps et géographiquement. Compte tenu de la grande diversité de développement du phytoplancton, il est important de ne pas interpréter ces données comme des moyennes mensuelles en un point de la rade abri mais bien comme des valeurs instantanées en un endroit donné.

CONCLUSIONS

Les paramètres physico-chimiques de la rade abri du port militaire de Brest ont été mesurés mensuellement de mai 1994 à décembre 1995 en deux stations hydrologiques, l'une située à l'embouchure de la Penfeld (P1), et l'autre au centre de la rade abri. Une troisième station (P3), située dans la grande rade, a été ajoutée en avril 1995.

Les paramètres hydrologiques (température, salinité) ont une évolution cyclique bien corrélée aux données météorologiques (température aérienne moyenne et volume des précipitations mensuelles).

Les sources principales de sels nutritifs sont la Penfeld et les eaux d'origines urbaines. Les quantités introduites en rade abri sont fonction du débit de la rivière et des conditions hydroclimatiques. Les apports en nutriments sont caractérisés par des concentrations relativement élevées en phosphates par rapport à ceux déversés dans la grande rade par l'Elorn et l'Aulne.

Malgré ces apports importants, il se produit un épuisement relatif en phosphates et nitrates dû à la consommation par le phytoplancton. La mesure des concentrations en *chlorophylle a, b* et en *phéophytine a* indique que le bloom phytoplanctonique se développe au printemps (mai-juin) et que la biomasse phytoplanctonique, bien qu'en diminution ensuite, reste élevée jusqu'à l'automne.

L'écosystème de la rade abri semble fonctionner normalement ; les cycles biogéochimiques ne subissent aucune perturbation malgré les importantes activités industrielles présentes dans cette zone.

Cette étude mensuelle de la rade abri se poursuit. Nous allons maintenant nous attacher à déterminer, en plus des paramètres déjà étudiés, les classes de phytoplanctons se succédant tout au long de l'année par le dosage chimique des pigments phytoplanctoniques.

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A. et CHAUSSEPIED M. (1983).
Manuel des analyses chimiques en milieu marin
CNEXO, BND/DOCUMENTATION - Brest, 396 p.
- BARRETO I. (1995).
Mise au point d'une technique de dosage des pigments chlorophylliens par spectrofluorimétrie.
Rapport de D.E.A. EPSHOM/CMO/LCO.
- BENDSCHNEIDER K., ROBINSON R.J. (1952).
A new spectrophotometric determination of nitrites in sea water.
J. Mar. Res., 11, 87-96.
- CHAUMERY C. et LABASQUE T. (1994).
Etude des paramètres physico-chimiques des eaux du port militaire de Brest de décembre 1992 à avril 1994.
Rapport d'étude CMO n°94/11.
- DELMAS R. (1981).
Etude de l'évolution saisonnière des sels nutritifs dans la rade de Brest en fonction des apports fluviaux et des échanges avec l'Iroise.
Thèse de 3^e cycle. Fac. Sci. Brest. UBO. 163 p.
- KOROLEFF F. (1969).
Direct détermination of ammonia in natural waters as indophenol blue.
Int. Explor. Mer., 34, 516-521.
- LABASQUE T., QUINQUIS M., CHAUMERY C.J (1994)
Dosage de l'oxygène dissous dans l'eau de mer par spectrophotométrie.
Rapport d'étude EPSHOM/CMO n°94/3, 3 mai 1994, 28p., 11 fig.
- MURPHY J., RILEY J.P. (1962).
A modified single solution method for the determination of phosphate in sea water.
J. Mar. Res., 30, 305-11.
- MULLIN J.B., RILEY J.P. (1955).
The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water.
Anal. Chim. Acta, 1955, 12, 162-170.
- NEVEUX J., PANOUSE M. (1987).
Spectrofluorimetric determination of chlorophylls and pheophytins.
Arch., Hydrobiol., 109, 567-581.
- TREGUER P., DELMAS R., LE JEHAN S. (1985).
Conservativité et non conservativité de la distribution des matières nutritives et organiques dissoutes et particulaires en écosystème marin et estuarien macrotidal.
Oceanis, 11 (3), 169-180.
- SIESS, (1977).
Régime des courants en rade abri de Brest.
Rapport EPSHOM/E/OC n°163, 6p. 10 fig.
- UNESCO, (1984).
L'échelle de salinité pratique de 1978 et l'équation internationale d'état de l'eau de mer de 1980.
Documents techniques de l'Unesco sur les sciences de la mer, n°36, 1984.
- WINKLER L. W. (1888).
Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes.
Berichte der deutsch. Chem. Gesellschaft, 21, 2843-2854.
- WOODS E.D., ARMSTRONG F.A.J. and RICHARDS F.A (1967).
Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrite.
J. Mar. Biol. Ass. U. K., 47, 23-31.

COURANTS DE MARÉE SUR LA CÔTE NORD DE BRETAGNE

Lucia PINEAU

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine doit répondre aux besoins d'informations nautiques concernant les courants de marée le long des côtes françaises.

Cette étude présente la réalisation de l'atlas « Courants de marée Bretagne-Nord » (SHOM, 1999).

ABSTRACT

The « Service Hydrographique et Océanographique de la Marine » faces the nautical information needs concerning tidal streams along French coasts.

This study presents the realisation of charts « Tidal streams Bretagne-Nord ».

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ INTRODUCTION	5-3
■ 1. PRÉSENTATION DE LA ZONE.....	5-3
1.1 Présentation morphologique.....	5-3
1.2 Océanographie descriptive	5-3
■ 2. MISE EN PAGE DU MODÈLE	5-5
2.1 Maillage	5-5
2.2 Bathymétrie.....	5-7
2.3 Conditions limites	5-7
2.4 Logiciel hydrodynamique	5-7
■ 3. VALIDATION DU MODÈLE.....	5-7
3.1 Marée	5-7
3.1.1. Comparaison avec les prédictions	5-7
3.1.2 Marée à Brignogan	5-7
3.2 Courants	5-10
3.2.1 Données disponibles	5-10
3.2.2 Courants au large	5-11
3.2.3 Courants dans la baie de Morlaix	5-13
3.3 Comparaison avec les autres atlas	5-13
3.4 Résultats du modèle	5-13
■ 4. CONCLUSIONS	5-18
■ 5. ANNEXE	5-19
■ 6. BIBLIOGRAPHIE.....	5-23

INTRODUCTION

La modélisation numérique permet de calculer la marée et les courants de marée en tout point d'une zone considérée. Le modèle numérique est mis en place à partir des données disponibles (trait de côte, bathymétrie et conditions limites). Il est validé d'une part en comparant les hauteurs d'eau numériques et prédites, d'autre part en comparant les courants numériques aux mesures. Le modèle validé et ajusté aux mesures est à la base de l'atlas de courants publié par le SHOM.

1. PRÉSENTATION DE LA ZONE

1.1 Présentation morphologique

La zone qui nous intéresse s'étend de l'Aber Wrac'h aux Héaux de Bréhat. La côte nord de Bretagne est très découpée ; elle est débordée sur toute sa longueur par des dangers s'étendant plus ou moins au large. La figure 1 présente la morphologie de la zone étudiée :

- Des Héaux de Bréhat à l'île Grande, la côte rocheuse est entaillée par le Jaudy et formée de nombreuses anses dont la plus importante est l'Anse de Perros. D'innombrables rochers, roches et îlots bordent la côte. Le groupe des Sept Îles est nettement détaché au Nord de Ploumanac'h. Les anses de la côte abritent des ports de plaisance.
- Une large baie s'ouvre de l'île Grande à l'île de Batz, distantes de 16,5 M. Le plateau rocheux de la Méloine s'étend au centre de la baie et la divise en deux parties, la Baie de Lannion à l'Est et la Baie de Morlaix à l'Ouest. Les ports de Roscoff sont établis à l'extrémité de la pointe fermant à l'Ouest la baie de Morlaix.
- De Roscoff à l'Aber Wrac'h, la côte est débordée par des dangers qui s'étendent jusqu'à plusieurs milles au large.

Les nombreuses roches, îles et hauts-fonds influencent considérablement la circulation et rendent la navigation dangereuse :

- Les principales îles sont : les Sept Îles, l'île Tomé, l'île Callot et l'île de Batz.
- Les principaux plateaux sont les plateaux des Triagoz, de la Méloine et des Duons à l'entrée de la baie de Morlaix.

1.2 Océanographie descriptive

La marée est de type semi-diurne. Elle résulte de la propagation d'une onde incidente à l'Ouest de la Manche. Sur la côte française, le marnage croît de moins de 6 mètres à l'Ouest à 9 mètres à l'Est de la zone.

Les courants côtiers sont complexes, souvent violents et quelquefois en travers des chenaux. Ils sont, en général, alternatifs et parallèles à la côte ; les renverses se produisent aux environs des pleines et basses mers locales.

Les courants peuvent atteindre pour une marée de vive-eau moyenne :

- 3 noeuds dans le chenal de Batz ;
- plus de 4 noeuds au Nord de l'île de Batz ;
- plus de 4 noeuds au niveau des Sept Îles ;
- 3 noeuds entre le plateau des Triagoz et l'île Grande.

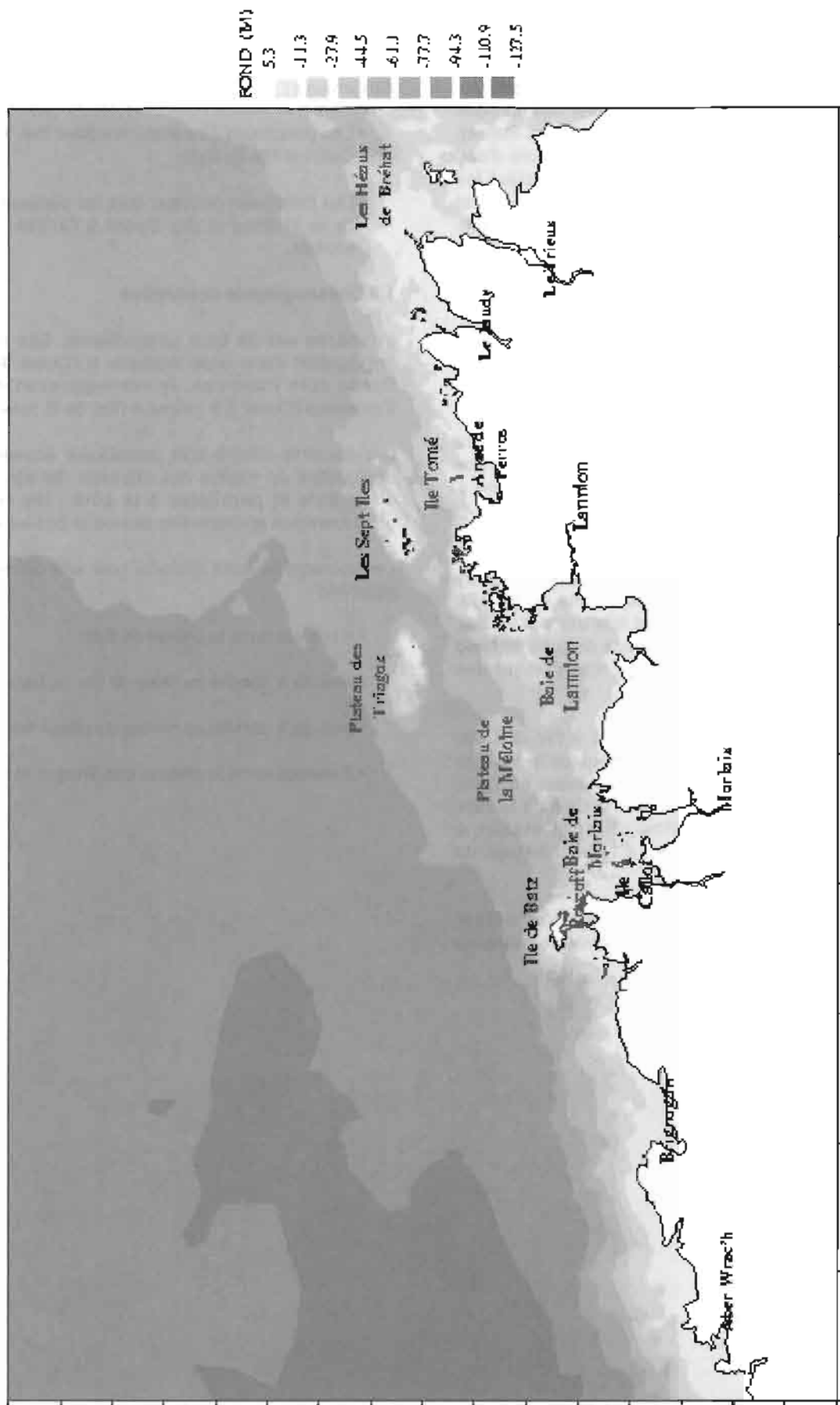


Figure 1 : Présentation morphologique de la Bretagne Nord.

2. MISE EN PLACE DU MODÈLE

2.1 Maillage

Les données disponibles sont récupérées dans les bases de données de l'EPSHOM (trait de côte et bathymétrie) pour pouvoir mettre en place le maillage. Le traitement des données correspondant au trait de côte a été long. Les difficultés provenaient du fait que nous avons à traiter des fichiers à différentes échelles : un fichier global au 1: 375 000, les baies de Morlaix et de Lannion au 1:150 000, les îles de ces zones au 1: 25 000, cinq ports au 1: 25 000.

Le maillage a été mis en place par le mailleur Matisse, développé par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF (Pineau, 1997). Le maillage obtenu, présenté figure 2, contient 27 300 points, 51 700 éléments et 102 îles. Les baies de Morlaix et de Lannion ont été représentées avec précision (cf. figure 3), ainsi que les ports de Roscoff, Perros-Guirrec, Trebeurden et l'île de Batz. Le pas d'espace varie de 20 m à 15 km.

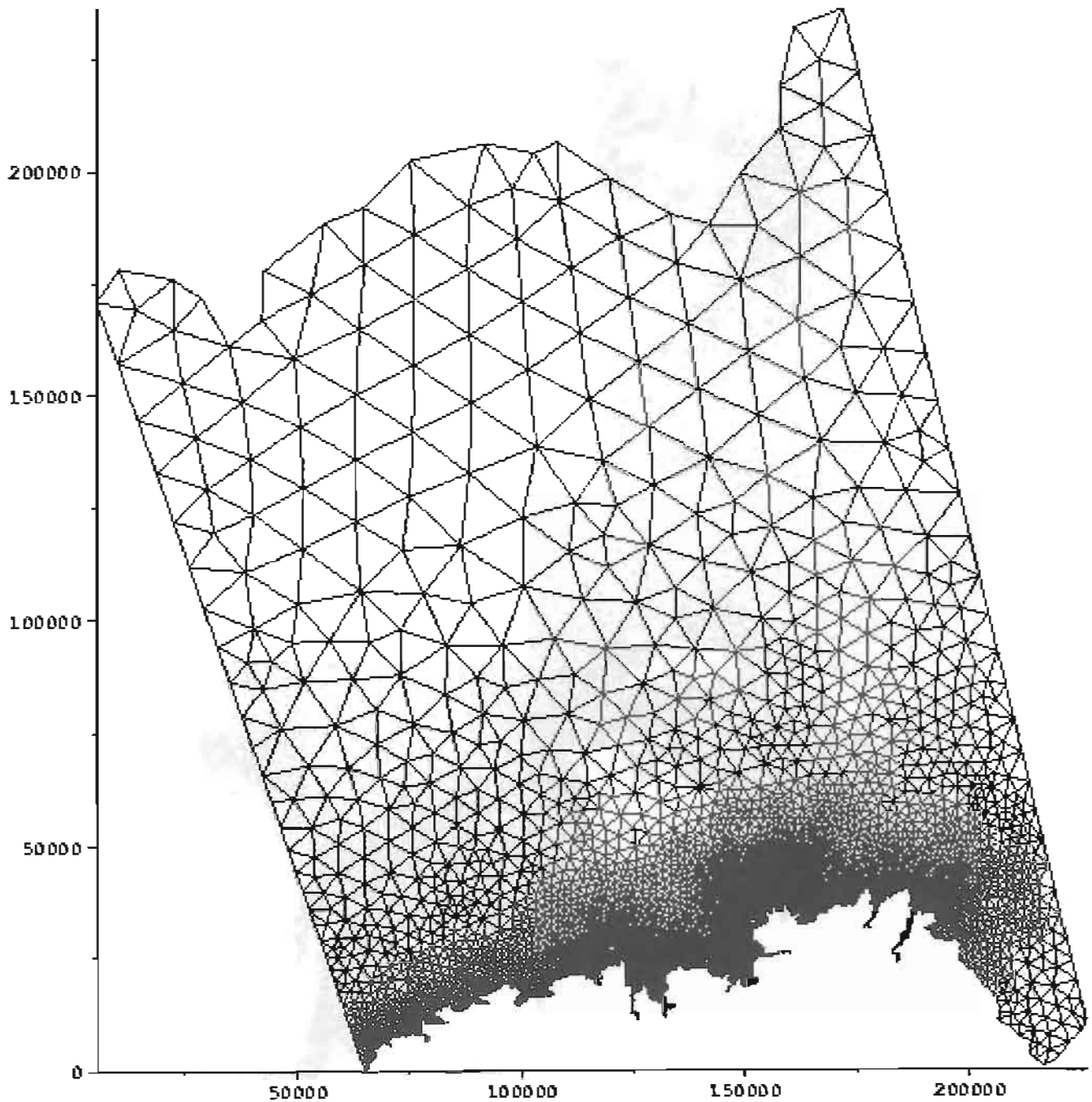


Figure 2 : Maillage de la Bretagne Nord.

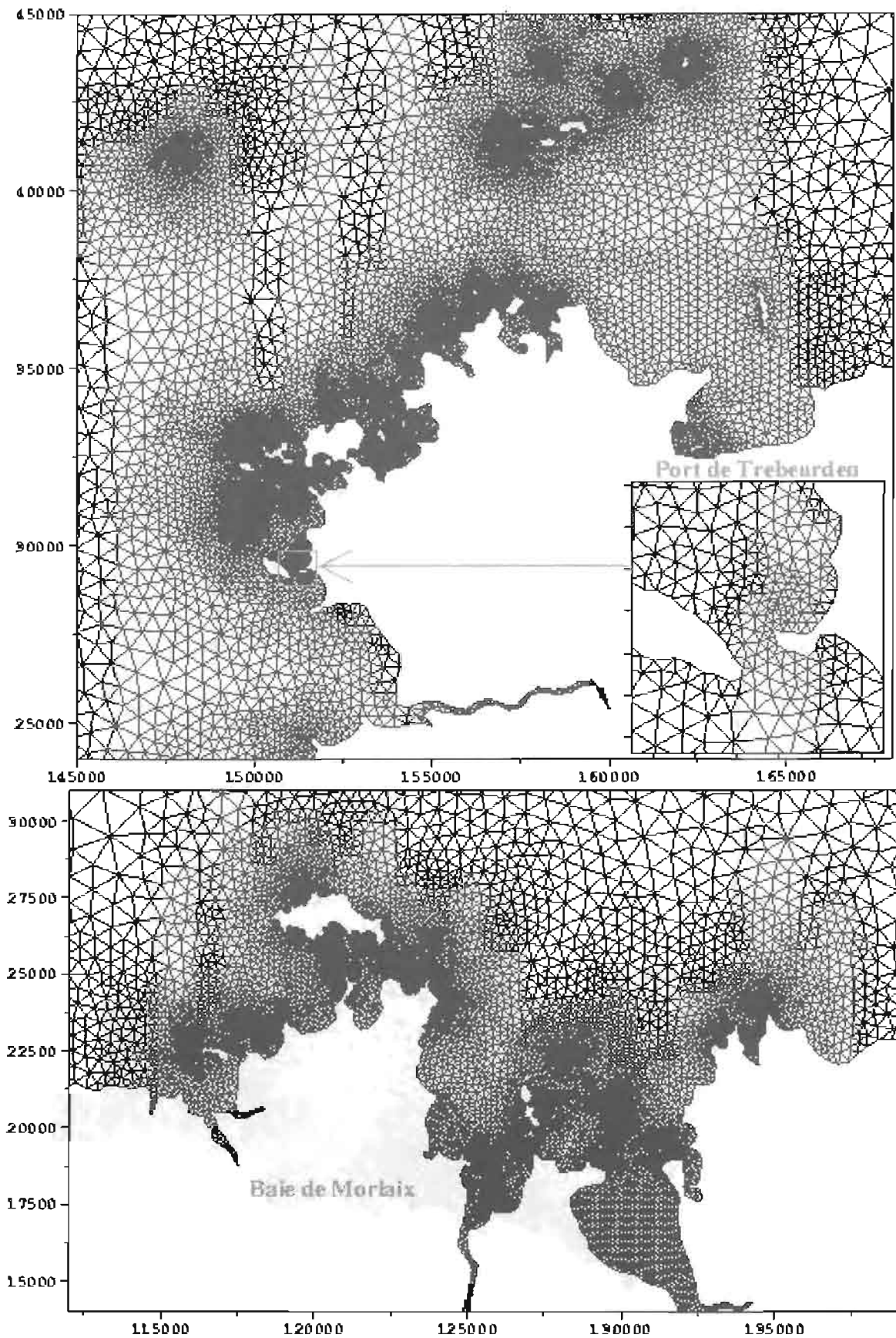


Figure 3 : Détail du maillage de la Bretagne Nord.

2.2 Bathymétrie

La bathymétrie provient des sondes des cartes (22 000 sondes), des isobathes des cartes à grande échelle (45 000 sondes) et des minutes disponibles sur la zone (1 500 000 sondes). Nous avons dû mettre en place un MNT (Modèle Numérique de Terrain), car au niveau des bancs découvrants nous avons par endroits si peu de sondes que l'interpolateur ne pouvait fonctionner (en particulier au niveau de l'Île Grande). Le fichier des fonds final contient :

- 61 000 sondes issues des cartes marines (sondes et isobathes) ;
- 383 000 sondes issues d'un MNT à partir des minutes et de la bathymétrie des cartes marines ;
- 220 000 sondes issues des minutes de la baie de Morlaix.

2.3 Conditions limites

Les conditions limites ont été générées de manière automatique, par prédiction harmonique. Elles sont établies pour des marées de vive-eau moyenne (coefficient 95) et de morte-eau moyenne (coefficient 45), grâce aux logiciels de prédiction développés à l'EPSHOM.

2.4 Logiciel hydrodynamique

Le logiciel hydrodynamique permettant de calculer la marée et les courants est Telemac2D développé par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF (Chatou) et commercialisé par SOGREAH (Grenoble). Ce code résout les équations de Saint-Venant.

Afin d'assurer la stabilité du modèle, il faut éviter les gradients de fonds importants (Janin, 1992), caler le pas de temps (plus la taille de maille est petite, plus le pas de temps de calcul sera petit), éviter de juxtaposer des petites mailles avec des grandes mailles, s'assurer que les triangles sont les plus équilatéraux possibles... L'étape de mise en place du modèle n'est donc pas immédiate. Une fois le modèle stable, un certain nombre de paramètres physiques et numériques doivent être ajustés (en particulier les paramètres liés au frottement).

3. VALIDATION DU MODÈLE

3.1 Marée

3.1.1 Comparaison avec les prédictions

Les hauteurs d'eau ont été déterminées numériquement en 19 points répartis sur l'ensemble du domaine (cf. figure 4), pour des coefficients de 45 et de 95. La figure 5 présente des exemples de superposition entre les hauteurs issues du modèle et les prédictions harmoniques (logiciel *cc145-95*).

Les hauteurs concordent systématiquement dans la partie Sud du domaine (points 1 à 13), mais les écarts se creusent quand on s'approche de l'Angleterre (points 14 à 19).

- Dans la partie Nord, les points 14, 17 et 18 présentent des écarts compris entre 15 cm et 22 cm (point 17) en vive-eau moyenne. Les points 16 et 19 sont satisfaisants mais ceci est dû à leur proximité avec la limite Ouest (conditions limites de marée proches).
- Dans la partie Sud, l'écart entre mesures et prédictions varie de 1 à 12 cm. Seuls les points 10 et 11 présentent des écarts supérieurs à 10 cm et ce sont également les points les plus au Nord. De nombreux points présentent des écarts inférieurs à 3 cm.

Cette différence de résultats Nord/Sud peut s'expliquer par la variation de la taille des mailles : le maillage est raffiné dans la partie Sud mais les mailles atteignent 15 km au milieu de la Manche (cf. figure 2). Ceci met en évidence l'influence de la taille des mailles sur la qualité des résultats.

Le modèle est très satisfaisant dans la zone qui nous intéresse (partie Sud) et présente des écarts par rapport aux prédictions globalement inférieurs à 10 cm, et fréquemment inférieurs à 5 cm. On note un déphasage inférieur à 10 minutes. Ce déphasage est certainement à attribuer aux paramètres physiques influant sur la propagation de l'onde de marée (frottement, viscosité...).

3.1.2 Marée à Brignogan

Lors d'une première comparaison Modèle/Prédiction, nous avons constaté des écarts nettement inférieurs à 10 cm à la côte sauf à Brignogan (11,4 cm). Nous avons donc été amenés à revoir les prédictions : une mesure récente des constantes harmoniques à Brignogan n'avait pas été introduite dans le modèle de prédiction *cc145-95*. Après calcul des nouvelles prédictions, l'écart n'était plus que de 1,6 cm ! La figure 6 présente la marée calculée par le modèle à Brignogan (Modèle95), la prédiction avant l'introduction des mesures de constantes harmoniques de Brignogan (Prediction95_old), les nouvelles prédictions (Prediction95) : en l'absence de point de mesure à Brignogan, le modèle donne des résultats plus exacts que la prédiction harmonique. Cette remarque est particulièrement importante et met en évidence **les possibilités d'amélioration des prédictions de marée grâce à la simulation numérique.**

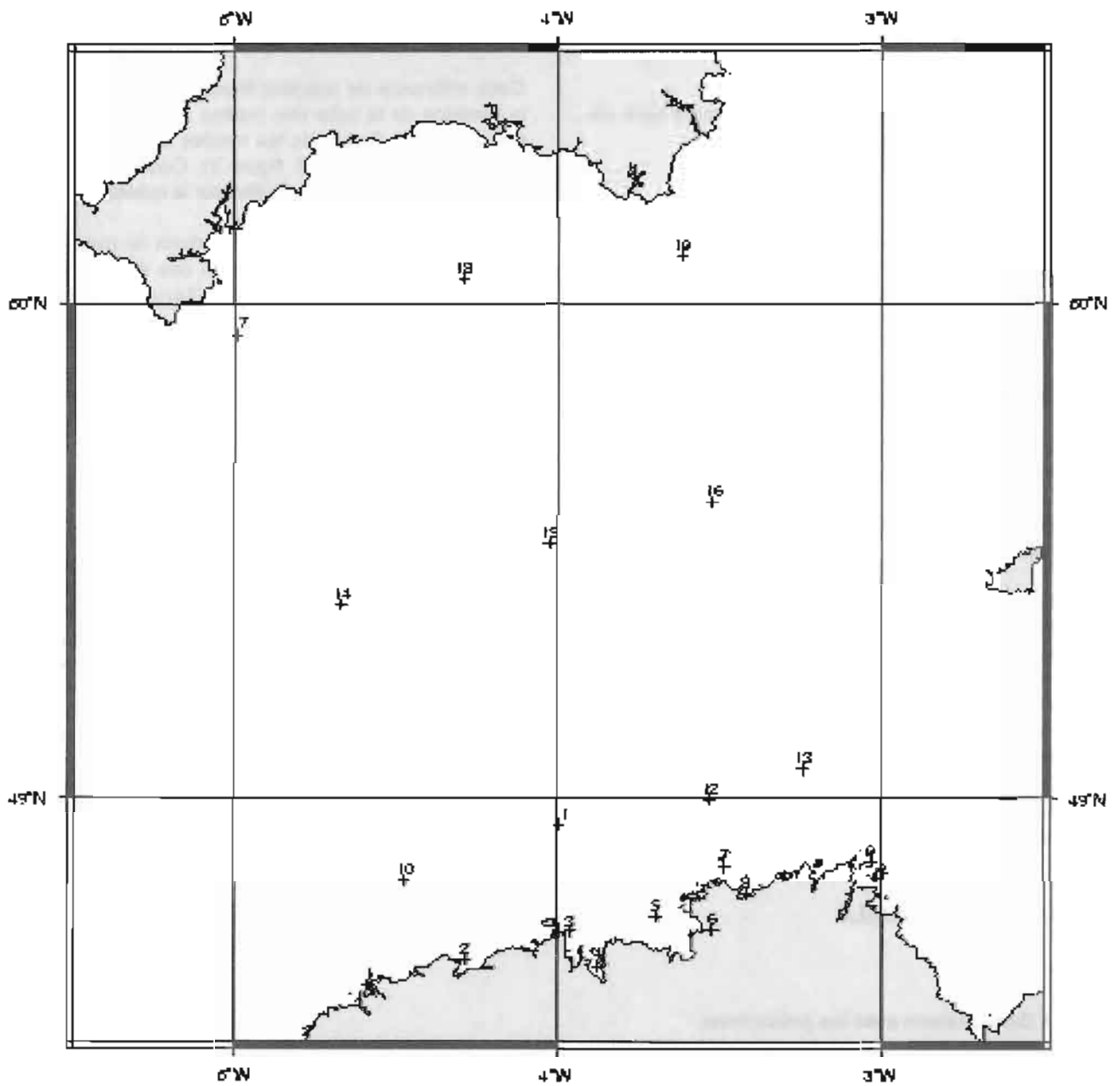


Figure 4 : Localisation des points de comparaison des hauteurs d'eau.

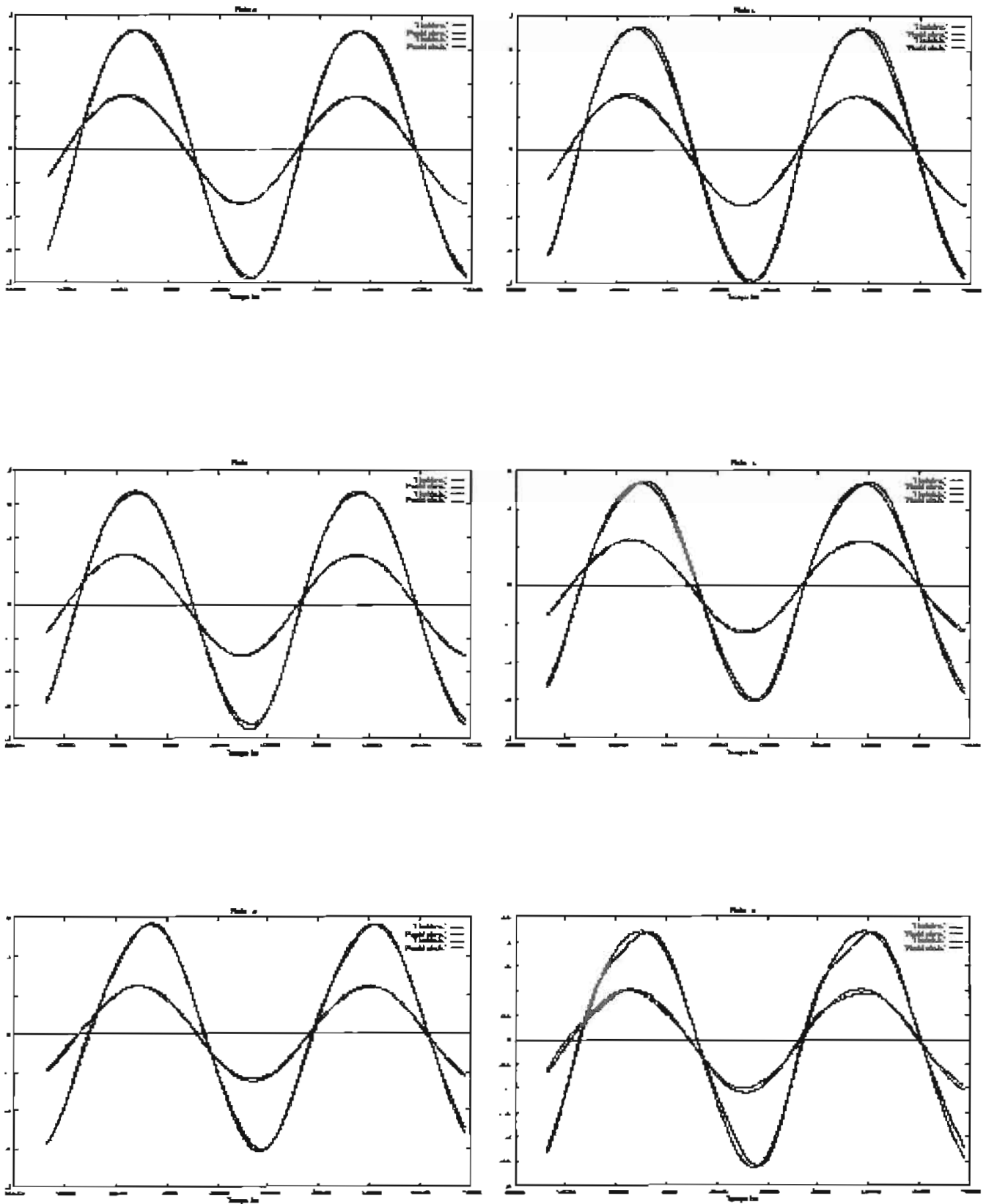


Figure 5 : Comparaison entre les hauteurs prédites et celles issues du modèle.
(coef. 45 et 95).

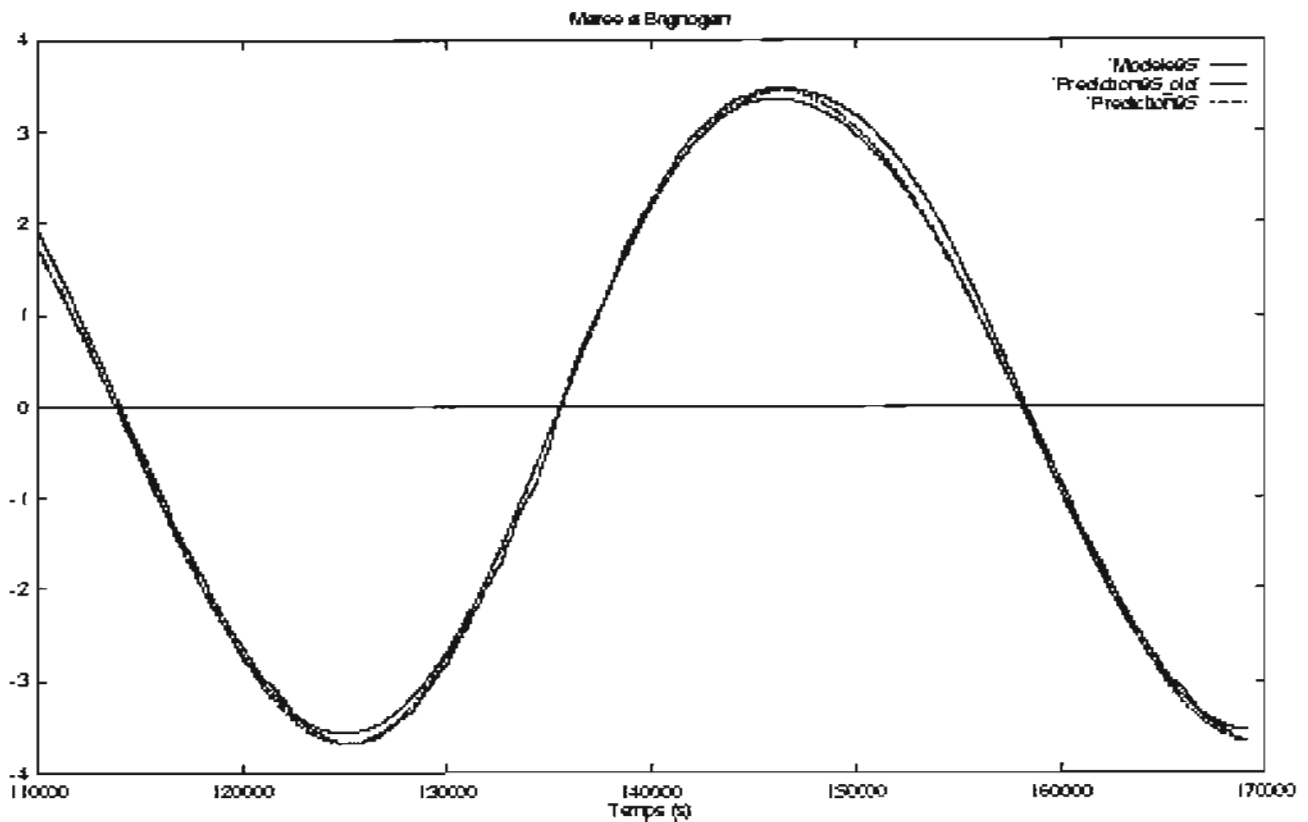


Figure 6 : Amélioration de la prédiction à Brignogan.

3.2 Courants

3.2.1 Données disponibles

Pour valider les courants, nous disposons de différentes sources d'informations :

- l'ouvrage n° 550 (SHOM, 1976) donne de nombreuses informations sur les courants, mais les intensités ont parfois tendance à être surestimées ;
- les mesures de courants du SHOM, dont une partie apparaît sous forme d'atlas de courants dans l'ouvrage n° 551 (SHOM, 1973) ;
- les mesures de courants EDF issues d'une étude pour le projet Salmor (Latteux, Thellier, 1987);
- les travaux de la Station Biologique de Roscoff (Cabioc'h, Douvillé 1979) ;
- les précédents atlas déjà parus : golfe Normand-Breton (SHOM, 1998) et Côte Ouest de Bretagne (SHOM, 1994).

La localisation des mesures de courants disponibles sont présentées figures 8 et 9. Sur notre domaine, 18 mesures sont exploitables :

- au large, les mesures 207, 208, 209, 211, 221, 222, 204, 1102, 202, 1130 et 1131 (cf. figure 8) ;

- dans la baie de Morlaix, les mesures 1128, 220, 1058, 217, 218, 219 et 1129 (cf. figure 9).

Les mesures 1129, 1130 et 1131 ont été effectuées en avril 1998, afin de valider le modèle.

Un certain nombre de mesures ne sont pas exploitables :

- Dans la baie de Morlaix, les mesures 937, 938, 939, 940 et 941. Il s'agit de mesures réalisées par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF à 5 mètres du fond, du 27 novembre au 10 décembre 1987. Pendant cette période le coefficient de marée a varié entre 54 et 81. Nous ne disposons que des mesures brutes sous forme de graphes papier : aucune analyse n'a été effectuée pour déduire les courants par coefficients 45 et 95. De plus ces mesures sont en désaccord avec les mesures provenant des travaux de la Station Biologique de Roscoff ainsi que des informations contenues dans l'ouvrage 550 : l'amplitude des courants est nettement plus faible. Le rapport de EDF (Latteux, Thellier, 1987) note cette contradiction, soulignant "qu'il pourrait éventuellement s'agir d'effets locaux, non visibles sur la carte marine, qui perturbent l'écoulement à leur voisinage". Le modèle logarithmique du profil vertical de vitesse du courant pourrait permettre d'évaluer la vitesse en surface, cependant nous ne savons pas évaluer le déphasage qui peut exister entre la surface et le fond.

- Les mesures 222, 225, 1104 et 205 . Ces points sont très proches des coins Sud-Ouest et Sud-Est du

domaine où des problèmes d'instabilités numériques liés au fait que nous n'imposons qu'une valeur lorsque le flux est entrant (hauteurs d'eau) alors que nous devrions en imposer deux (vitesse également). Malheureusement, les vitesses aux limites sont généralement mal connues. Pour pallier ce problème, nous avons imposé dans les coins Sud-Ouest et Sud-Est un fort frottement. Le courant devient alors inférieur aux mesures et un déphasage apparaît : le domaine exploitable doit donc se situer suffisamment loin des limites de la zone.

3.2.2 Courants au large

Ouvrage 550

Les informations générales recueillies dans l'ouvrage 550 sont vérifiées par le modèle : les vitesses dépassent nettement 2 nœuds au Nord de l'île de Batz alors qu'au milieu de la Manche, elles atteignent 1.8 nœud, puis elles diminuent progressivement vers le Nord, jusqu'à devenir inférieures à 1 nœud au Nord d'une ligne Start Point-Cap Lizard. Toutefois, devant les grands saillants, comme ces deux caps, le courant est localement nettement plus fort et dépasse 2 nœuds. Près de la côte, les courants sont généralement inférieurs à 2 nœuds excepté au niveau des passes ou chenaux.

La renverse a lieu plus tôt à l'Ouest qu'à l'Est et au Sud qu'au Nord, c'est à dire que la renverse a lieu d'abord à la côte, ce qui se voit très nettement au niveau des planches de courants (voir en annexe, planche de courants à PM+2). Voici quelques valeurs maximales du courant fournies respectivement par l'ouvrage 550 et par le modèle (cf. figure 7) :

- au Nord des Sept Iles : 2,5 à 3 nœuds / 2,5 à 4,1 nœuds ;
- chenal des Sept Iles : 2,5 à 3 nœuds / 2,5 à 4,1 nœuds ;
- 2 milles au Nord de l'île Grande : 3,5 à 4 nœuds / 3,5 nœuds ;
- entre les Triagoz et l'île Grande : 2,5 à 3 nœuds / 2,5 à 3 nœuds ;
- au Nord de l'île de Batz : 4 nœuds / 4,3 nœuds.

Les courants issus du modèle sont donc en accord avec les informations fournies par l'ouvrage 550. Les courants au niveau des Sept Iles atteignent tout de même 4 nœuds, alors que l'ouvrage précise seulement 3 nœuds.

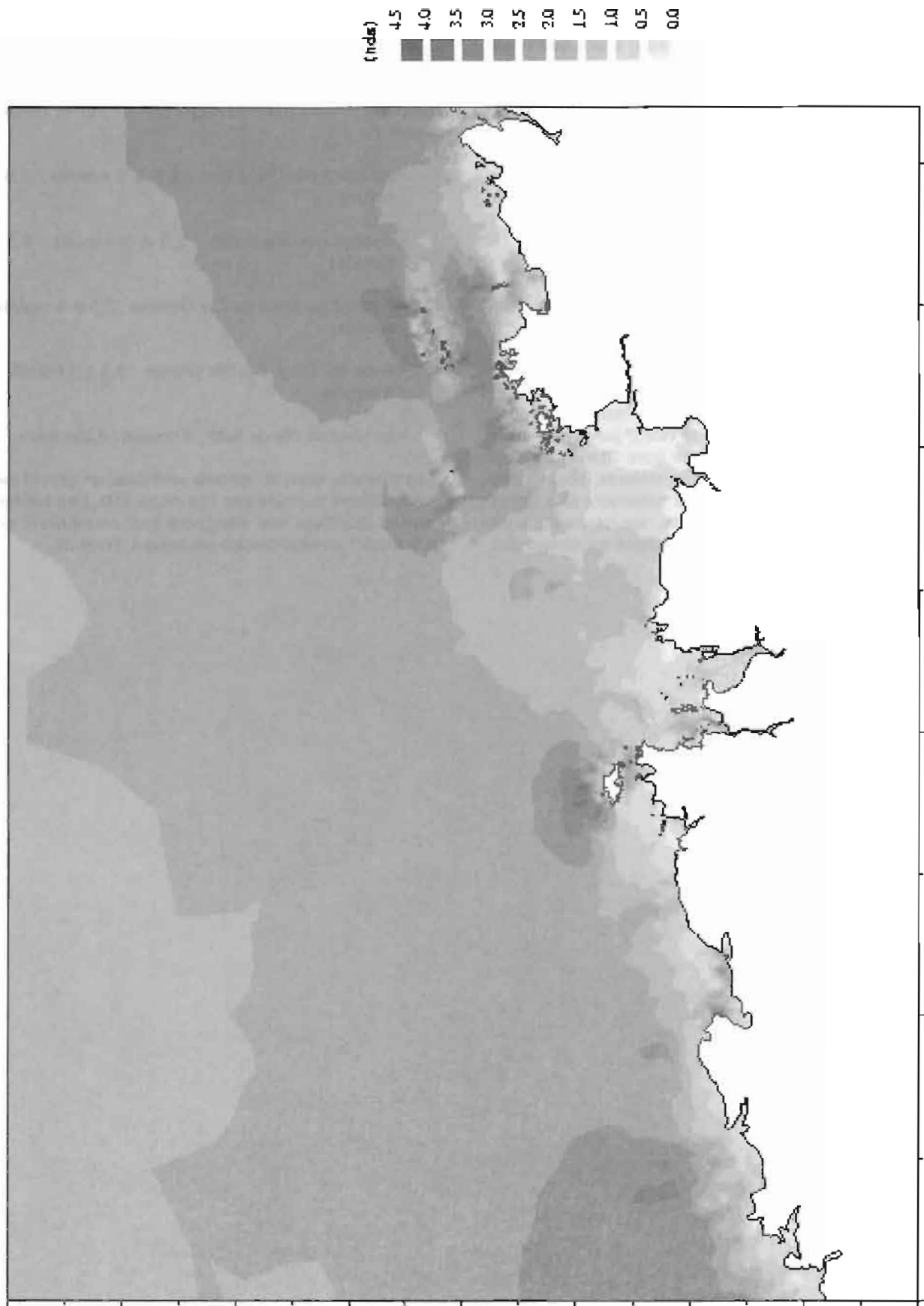


Figure 7 : Courants maximums sur notre zone d'intérêt.

Mesures SHOM

La figure 8 montre que les 11 points de mesures situés au large sont relativement bien répartis. La figure 10 présente des exemples de planches de superposition des roses de courants issues du modèle avec celles issues des mesures : ces graphes sont satisfaisants. Par coefficient 95, les roses 221, 222, 207, 202, 1102 et 1130 sont parfaitement en phase alors que les roses 211, 209 et 204 sont en avance d'environ 1/4 d'heure. Le déphasage minimum est nul (rose 1102), le maximum est de 30 mn (rose 211). L'écart minimum en amplitude est nul (rose 1102), le maximum est de 30 % (rose 204). Les directions sont globalement bien reproduites, mais le modèle a généralement tendance à lisser les roses (rose 1131 par exemple).

3.2.3 Courants dans la baie de Morlaix

Ouvrage 550

Les courants dans la baie de Morlaix varient notablement de point en point, selon leur position par rapport aux passes et aux roches. Voici quelques valeurs maximales du courant fournies respectivement par l'ouvrage 550 et par le modèle (cf. figure 7) :

- à 2 milles au Nord de l'île de Batz : 4 nœuds / 4,3 nœuds ;
- dans l'entrée Est du chenal de l'île de Batz : 2,5 à 3 nœuds / 3,2 nœuds ;
- entre le plateau des Duons et la pointe de Blosson : 2,5 à 3,5 nœuds / 2 nœuds ;
- dans les chenaux de la baie : 1,5 à 2 nœuds / 1 à 1,5 nœuds ;
- dans l'entrée de la Penzé : 1,5 à 2 nœuds / 1,5 à 2 nœuds ;
- dans la Penzé : 2,5 à 3 nœuds / 2,5 à 3 nœuds.

Les courants issus du modèle sont donc largement en accord avec les informations fournies par l'ouvrage 550, excepté au niveau des chenaux où ils sont plus faibles (1 à 1,5 nœuds au lieu de 2 à 2,5). Mais cet ouvrage a parfois tendance à surestimer certaines vitesses, ce qui va dans le sens de la sécurité de la navigation.

Mesures SHOM

La figure 9 présente la localisation des sept points de mesures exploitables dans la baie. Ces résultats sont globalement satisfaisants (Pineau, 1998), à part le point 1058 qui est particulièrement décevant. Il s'agit d'une mesure effectuée à 3,5 mètres du fond pour une profondeur totale de 15,3 mètres. L'amplitude maximum de la mesure est 1,2 nœuds alors que celle du modèle est 1,6 nœuds. Or d'après le modèle logarithmique du profil vertical de vitesse de courant, la vitesse en surface serait de 1,65 nœuds ce

qui correspondrait à la vitesse du modèle (Pineau, 1998). En ce qui concerne le déphasage, les mesures Doppler confirment qu'il peut exister un décalage entre le fond et la surface, mais nous n'avons pas connaissance d'étude permettant de l'évaluer de manière fiable. Ce point est donc à mettre à part.

Le point 1129 est satisfaisant en amplitude mais pas au niveau de la renverse. Il est surprenant de constater que pour un coefficient 95, 1/2 heure de déphasage apparaît alors que pour un coefficient de 45, le déphasage est nul. Dans cette zone où la bathymétrie est accidentée, la forme de la rose de courant est complexe et n'est pas obtenue numériquement.

Le déphasage est nul pour les roses 1128, 217 et 218 et reste dans tous les cas inférieur à 1/2 heure. L'écart en amplitude reste inférieur à 30 %.

Mesures SHOM 1998

Nous avons demandé la mise en place de trois courantomètres pour valider le modèle. Nous n'avons aucune mesure entre la baie de Morlaix et le Jaudy, or dans cette zone les courants sont violents, particulièrement entre les Sept Îles et la côte ainsi qu'entre le plateau des Triagoz et l'île Grande. Les mesures 1130 et 1131 ont permis de confirmer les prévisions du modèle (environ 2,5 nœuds).

Dans la baie de Morlaix, le modèle était en désaccord avec les mesures EDF (Latteux, Thellier 1987). Il prévoyait des courants toujours plus forts que ces mesures (par exemple au point 938, 0,8 nœuds pour le modèle et 0,5 pour la mesure, soit une "erreur" de 60 %). La mesure 1129, située près du point EDF 938 (cf. figure 9), a permis de confirmer les prévisions du modèle en mesurant une vitesse de 0,8 nœuds au flot.

3.3 Comparaison avec les autres atlas

La renverse coïncide pour l'atlas Côte Ouest de Bretagne, par contre un léger décalage apparaît avec l'atlas golfe Normand-Breton (de l'ordre de quelques minutes).

Étant donné les roses de courants à la limite Ouest du domaine (roses 1102 et 202 avec un déphasage nul), il est clair que le modèle Nord-Bretagne est correctement calé en cette limite. Il faut donc éviter d'ajuster les résultats du modèle Nord-Bretagne avec ceux du golfe Normand-Breton.

3.4 Résultats du modèle

Les planches de courants issues du modèle sont présentées en annexe. Il s'agit d'extraits de l'atlas « Courants de marée Bretagne-Nord » (SHOM, 1999).

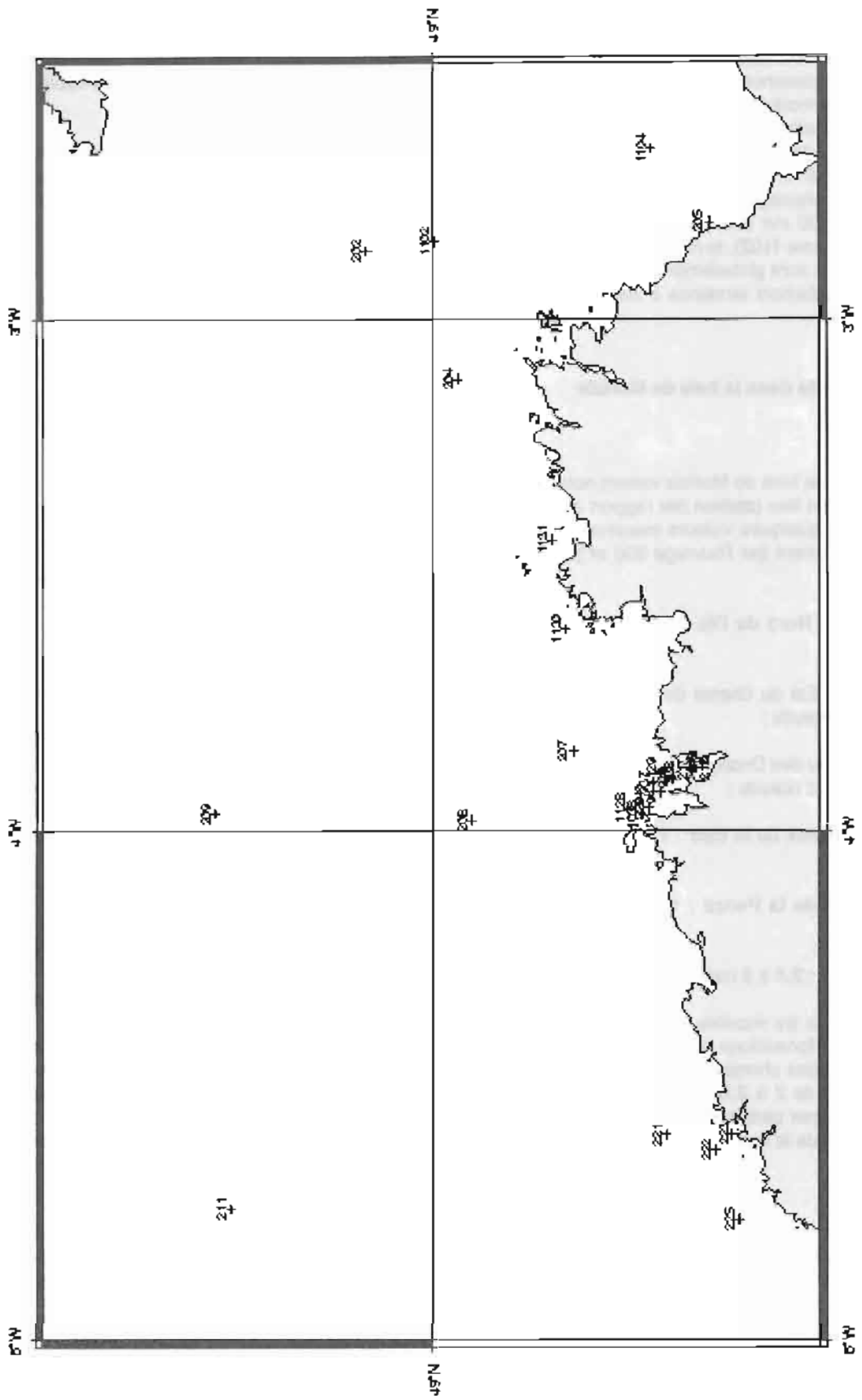


Figure 8 : Localisation des points de mesures de courants.

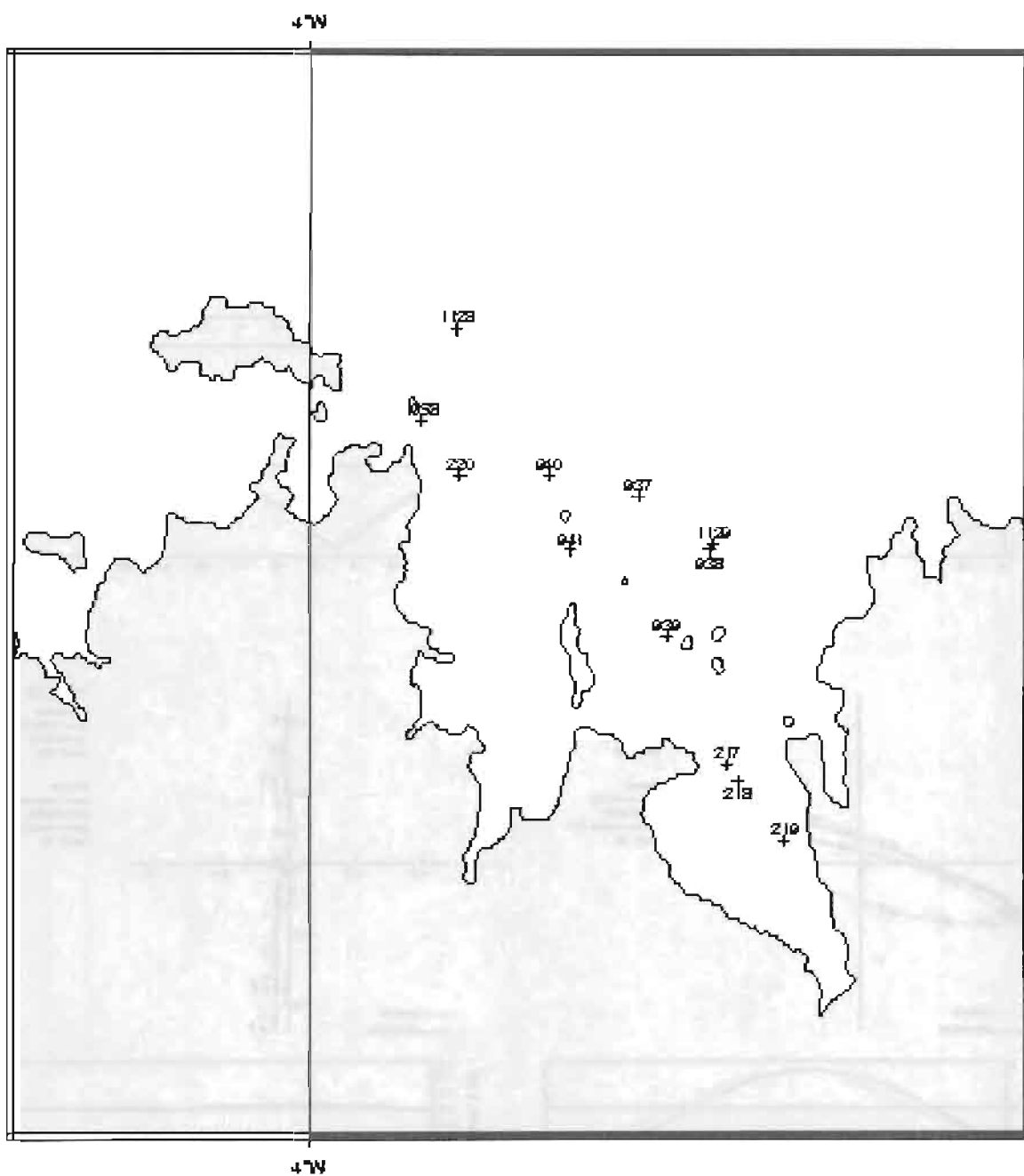


Figure 9 : Localisation des points de mesures de courants dans la baie de Morlaix.

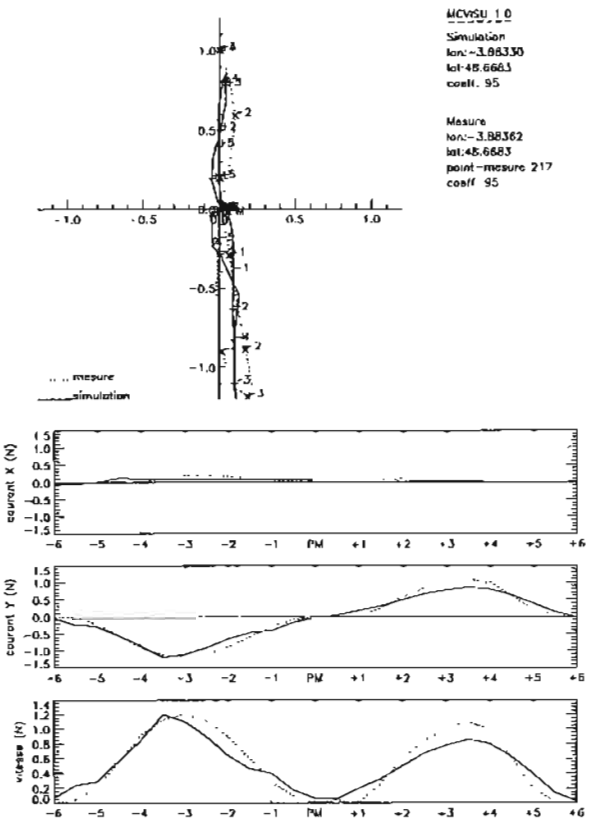
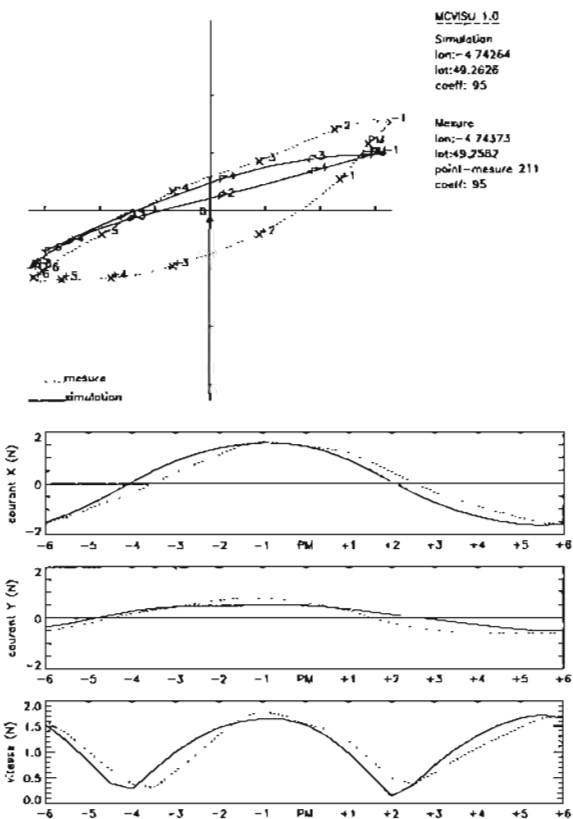
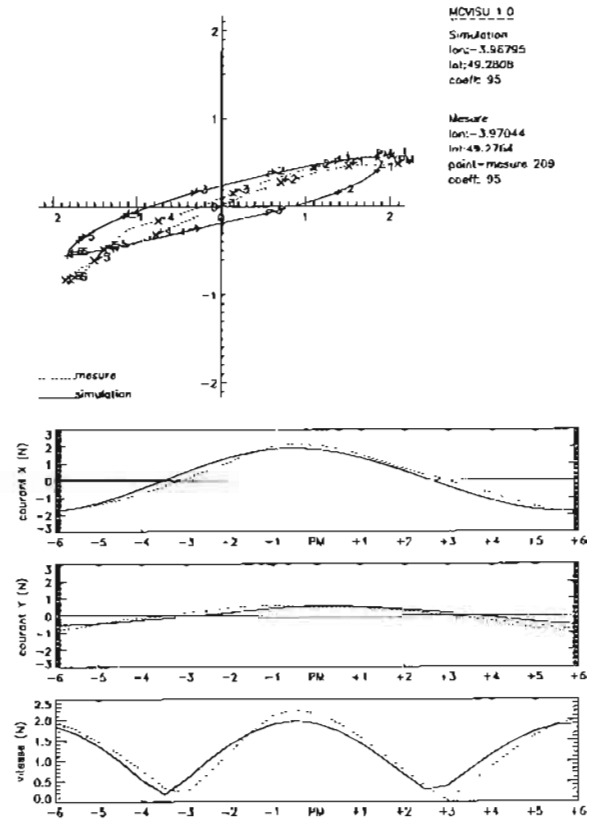
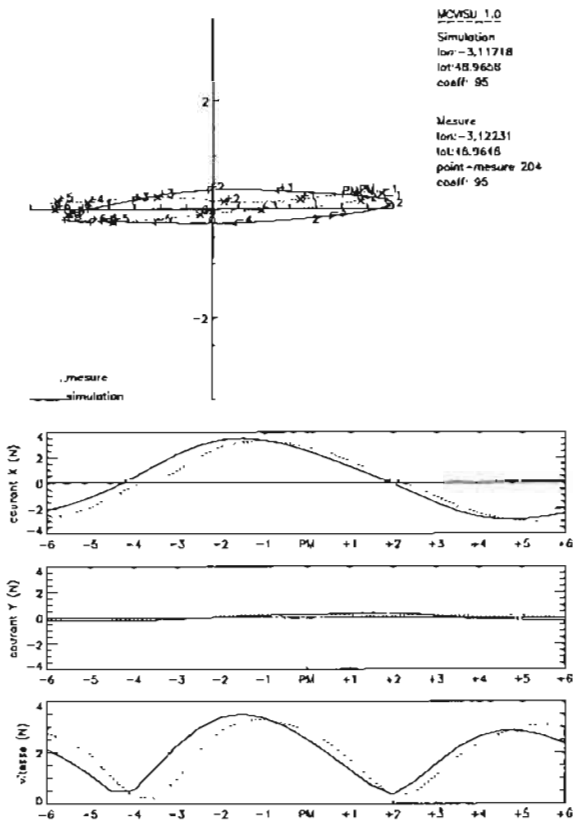
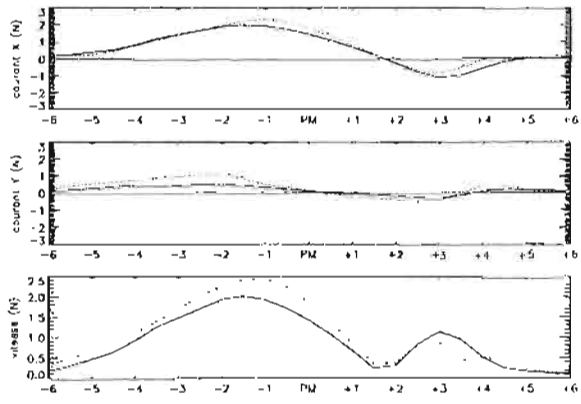
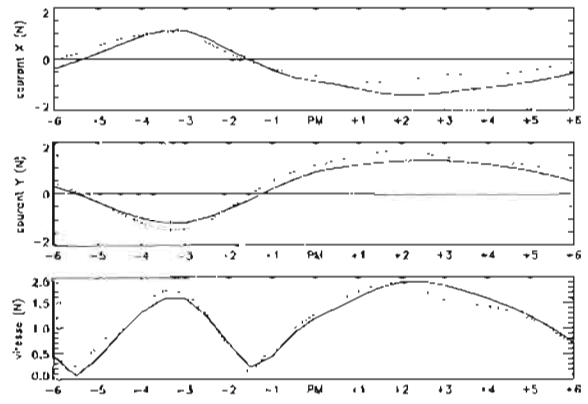
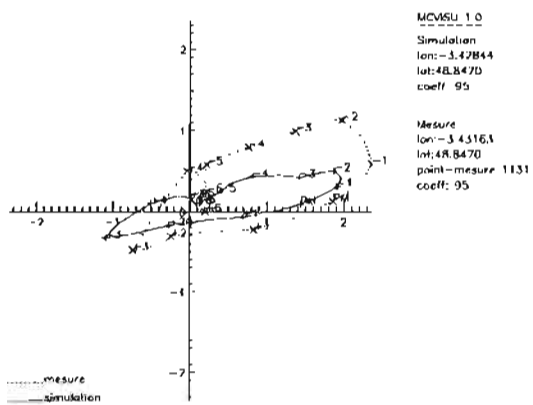
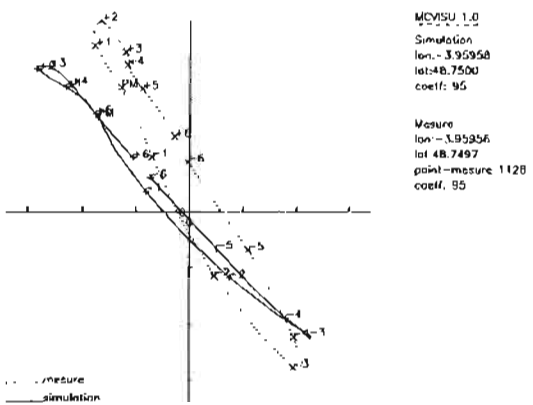
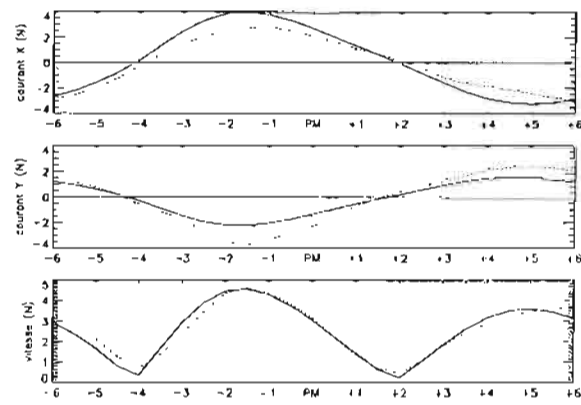
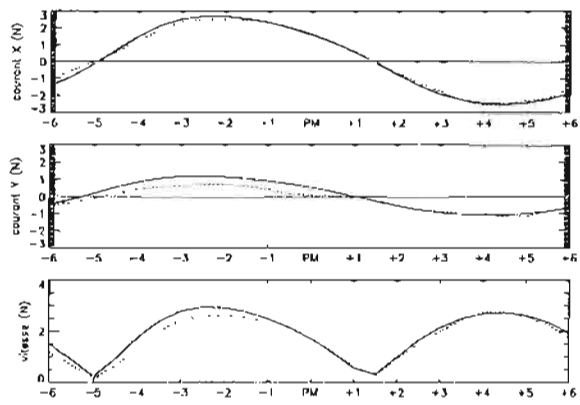
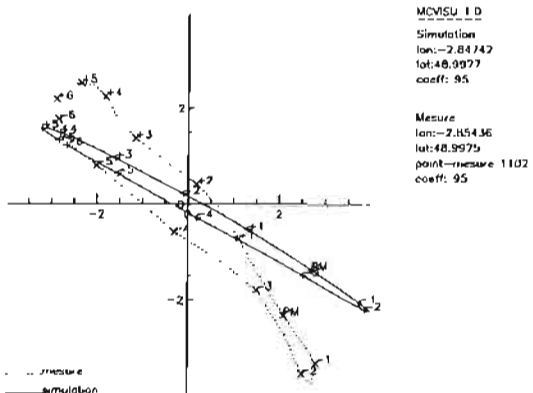
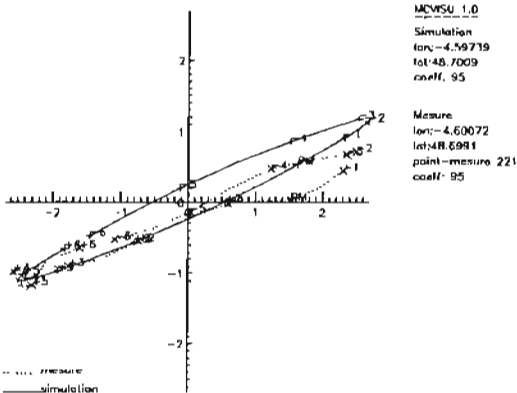


Figure 10 : Superposition des roses de courants issues des mesures et du modèle.



4. CONCLUSIONS

L'ensemble des résultats issus du modèle Nord-Bretagne est satisfaisant, et nettement encourageant par rapport aux précédents modèles. Pour le modèle golfe Normand-Breton, un déphasage systématique apparaissait dans certaines zones, atteignant parfois 1 heure. Au contraire, les courants issus du modèle Nord-Bretagne sont généralement en phase et le déphasage reste toujours inférieur à 1/2 heure. Ceci permet de donner un degré de fiabilité aux résultats nettement plus important.

La mise en place du modèle Bretagne-Nord souligne une fois de plus, l'importance des conditions limites et de la bathymétrie en modélisation numérique. Les cartouches au niveau du chenal de l'île de Batz et des ports de Roscoff n'auraient pu être mis en place sans la mise à notre disposition des données de la Base de Données Bathymétriques du SHOM, en particulier des minutes de la baie de Morlaix. Le SHOM possède la base de données la plus riche et la plus fine dans les eaux côtières françaises, et la mise en place de ce modèle permet de mettre en valeur ces données.

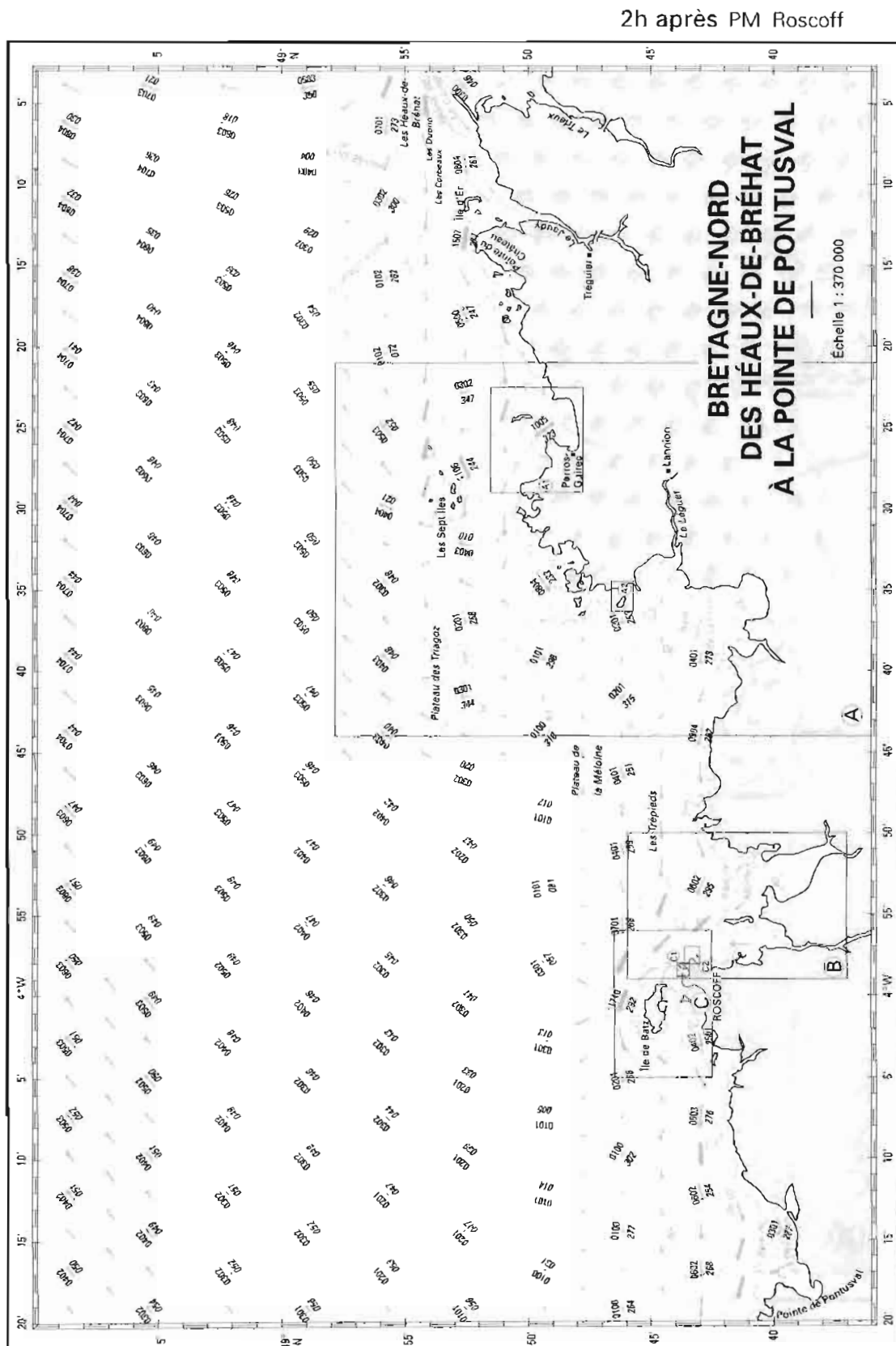
Nous voudrions également souligner l'importance des mesures : si la bathymétrie et les conditions limites sont la base d'un modèle, sa validation n'est possible que grâce aux mesures. Pour de nombreuses raisons, le modèle n'est pas nécessairement la bonne représentation de la réalité (maille trop lâche, bathymétrie imprécise, hypothèses non vérifiées...). Le degré de précision et de fiabilité que l'on peut accorder au modèle dépend des conclusions de la comparaison avec les mesures disponibles. Il serait contradictoire de se donner les moyens de mettre en place des modèles, mais pas ceux permettant de les valider.

Enfin, cette étude permet d'ouvrir de nouvelles perspectives en termes de prédiction de marée : le modèle Nord-Bretagne fournit des hauteurs d'eau très exactes, avec une précision supérieure à 10 cm. Ce modèle confirme les possibilités d'amélioration des prédictions de marée grâce à la simulation numérique.

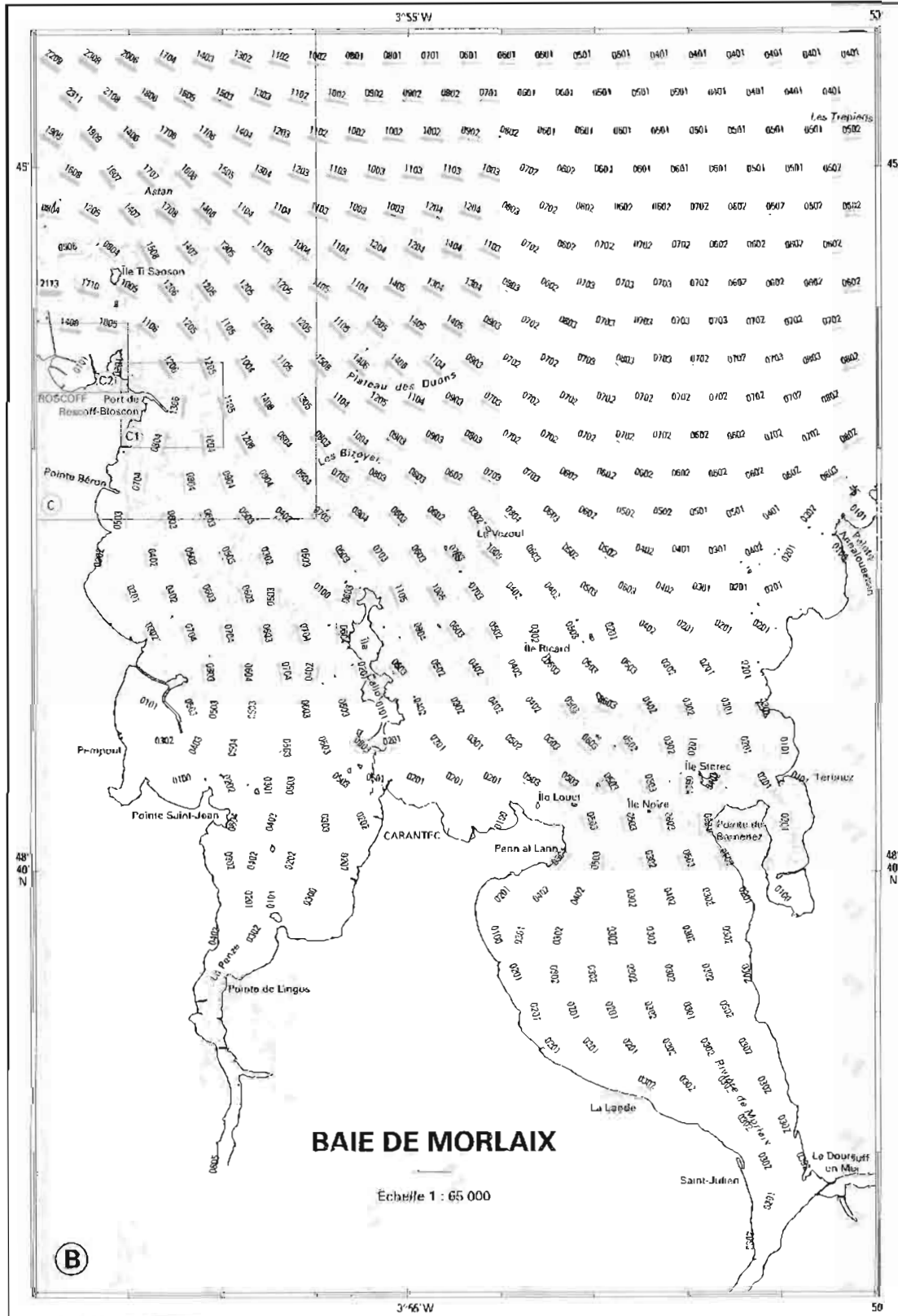
5. ANNEXE

4 planches de courants de marée extraites de l'atlas Bretagne-Nord (ouvrage n° 563) :

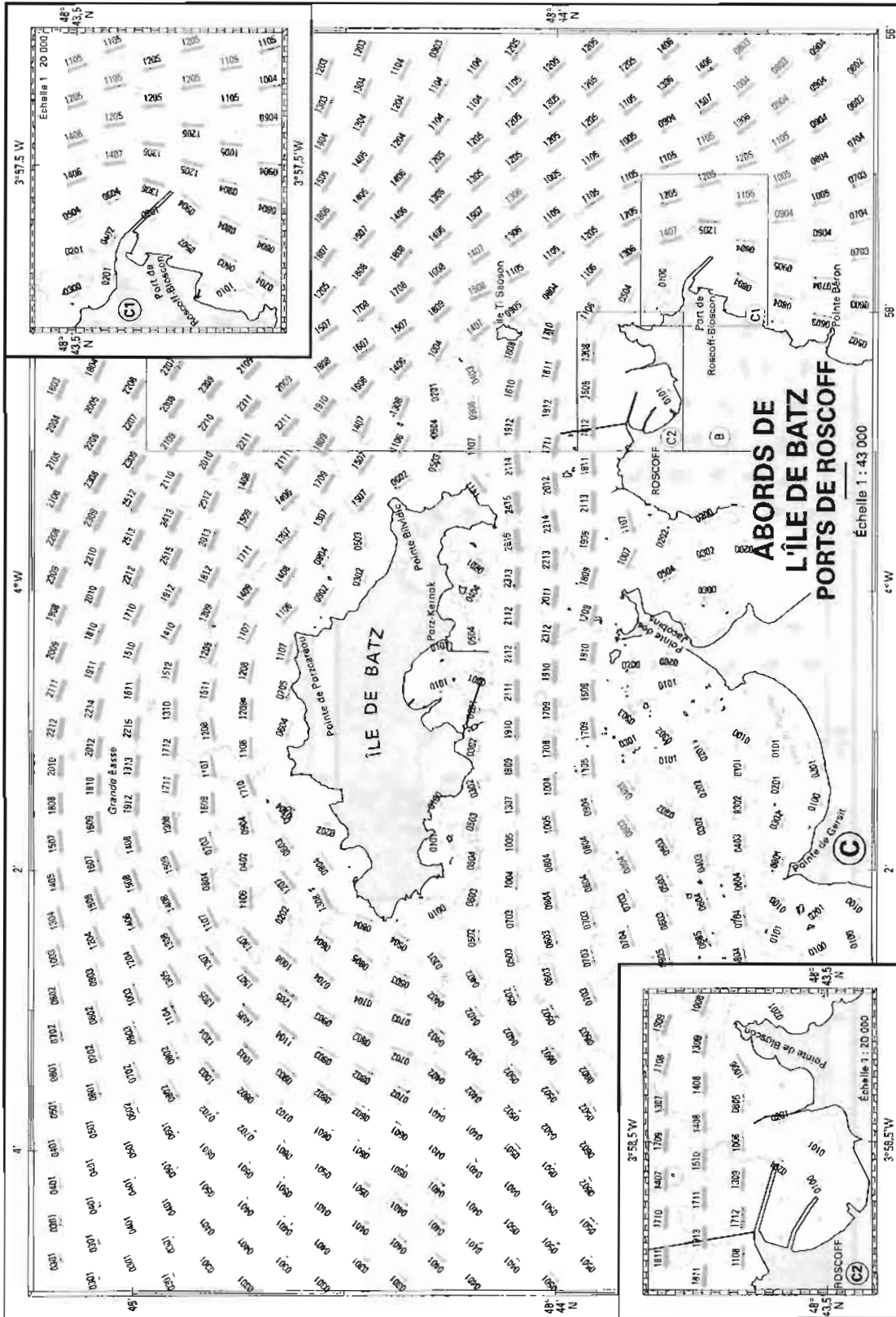
- planche générale à PM+2



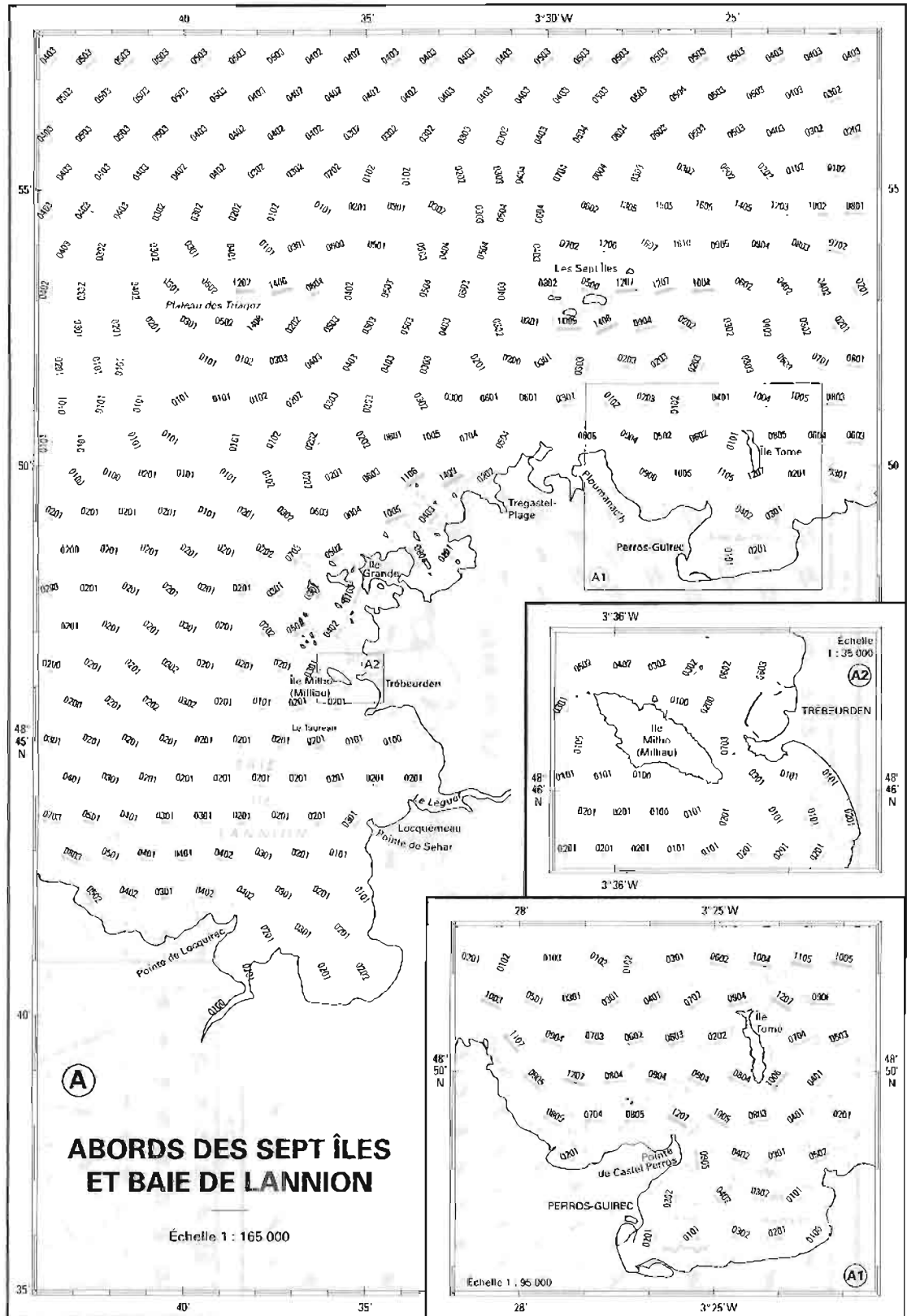
2h après PM Roscoff



2h après PM Roscoff



2h après PM Roscoff



6. BIBLIOGRAPHIE

SHOM, 1999. Courants de marée Bretagne-Nord. Ouvrage n° 563. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

PINEAU, L., 1997. Évaluation du mailleur Matisse. Rapport pour le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

JANIN, J.M., 1992. Club des utilisateurs de Telemac. Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF.

SHOM, 1976. Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique. Ouvrage n° 550. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

SHOM, 1973. Courants de marée de Dunkerque à Brest. Ouvrage n° 551. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

LATTEUX, B., THELLIER, P., 1987. Évaluation du cheminement et de la dilution des effluents. Rapport EDF pour le projet Salmor d'élevage de saumons en baie de Morlaix.

CABIOCH, L., DOUVILLE, J.L., 1979. La circulation des eaux dans la baie de Morlaix et ses abords : premières données obtenues par suivi de flotteurs dérivants. Station Biologique de Roscoff.

SHOM, 1998. Courants de marée golfe Normand-Breton. Ouvrage n° 562. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

SHOM, 1994. Courants de marée de la côte Ouest de Bretagne. Ouvrage n° 560. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

PINEAU, L., 1998. Courants de marée sur la côte Nord de Bretagne. Rapport d'étude n° 004/98. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

BAIE DE SOMME : CARTOGRAPHIE MAGNÉTIQUE ET DÉTECTION D'OBSTRUCTIONS

Michel CROUZAT (1)
Marie-Françoise LALANCETTE (2)

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ :

Des mesures magnétiques ont été réalisées en baie de Somme à l'occasion d'un levé hydrographique (échelle 1 : 10 000).

A cette occasion une station magnétique de référence a été mise en oeuvre au sémaphore d'Ault.

Après réduction des données, une carte de l'anomalie magnétique a été établie. Elle met en évidence de fortes anomalies générées par des épaves dans un environnement peu perturbé (faible gradient d'environ 3 nT/km).

L'utilisation d'une station de référence magnétique proche de la zone de levé permet d'atteindre une précision d'environ 5 nT (1 σ).

La faisabilité de telles mesures ainsi que les contraintes induites par la cartographie magnétique de haute résolution sur les levés hydrographiques sont étudiées.

Des solutions sont proposées pour améliorer la précision globale.

ABSTRACT :

Magnetic measurements have been collected in Baie de Somme together with a hydrographic survey at the scale of 1 : 10 000.

On that occasion, a magnetic reference station has been installed at the Ault's semaphore.

After data reductions, a map of the magnetic anomaly's field has been drawn. This map shows strong anomalies generated by wrecks in a slightly disturbed and low gradient environment (3 nT/km).

Since the magnetic reference station was placed near the area of the magnetic survey, a precision of 5 nT (1 σ) for the magnetic anomaly's field has been reached.

Feasability of these magnetic measurements and constraints brought by the high resolution magnetic cartography during hydrographic surveys are studied.

Solutions are suggested to improve the overall precision.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ 1. PRÉSENTATION DE LA ZONE ÉTUDIÉE	6-5
■ 2. LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE ET SA MESURE	6-6
2.1. LES COMPOSANTES DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE	6-6
2.1.1. Le champ d'origine interne.....	6-6
2.1.2. Le champ d'origine externe.....	6-6
2.1.3. Le champ d'anomalie	6-6
2.2. LE MATÉRIEL	6-6
2.2.1. Le magnétomètre marin.....	6-6
2.2.2. Le magnétomètre de la station sol (Ault)	6-6
2.2.3. Les magnétomètres de l'observatoire de Chambon-la-Forêt.....	6-7
■ 3. L'ACQUISITION DES DONNÉES	6-7
3.1. LES MESURES MARINES	6-7
3.1.1. Les périodes d'enregistrement.....	6-7
3.1.2. Les profils	6-7
3.1.3. Les paramètres d'acquisition	6-7
3.1.4. Algorithme de positionnement du capteur	6-8
3.2. LES MESURES DE LA STATION SOL	6-9
3.2.1. Station d'Ault.....	6-9
3.2.2. Observatoire de Chambon-la-Forêt	6-9
■ 4. RAPPELS SUR LE TRAITEMENT DES MESURES MAGNÉTIQUES	6-12
4.1. TRAITEMENT APPLIQUÉ AUX MESURES MARINES	6-12
4.2. TRAITEMENT APPLIQUÉ AUX MESURES STATION	6-12
4.3. CALAGE DES MESURES STATION PAR RAPPORT AUX MESURES BATEAU.....	6-12
4.4. CALCUL DE L'ANOMALIE MAGNÉTIQUE LOCALE.....	6-12
4.5. COMMENTAIRES	6-12
■ 5. LES RÉSULTATS	6-12
5.1. LE CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL	6-15
5.2. L'ANOMALIE MAGNÉTIQUE	6-15
5.2.1. L'erreur sur le champ d'anomalie aux points de croisement.....	6-15
5.2.2. Carte du champ d'anomalie en baie de Somme.....	6-17
5.3. LES ÉPAVES ET OBSTRUCTIONS MÉTALLIQUES	6-18
■ 6. DISCUSSIONS	6-22
6.1. STATION MAGNÉTIQUE OU OBSERVATOIRE DE CHAMBON-LA-FORÊT ?	6-22
6.2. POSITIONNEMENT DU CAPTEUR	6-28
6.3. MESURES MAGNÉTIQUES ET LEVÉ HYDROGRAPHIQUE : COMPATIBILITÉ	6-28
6.4. AMÉLIORATION DE LA RÉOLUTION ET DE LA PRÉCISION	6-28
■ 7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	6-28
■ 8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	6-29
■ 9. ANNEXE	6-30

LISTE DES FIGURES

	Page
■ Figure 1: Localisation de la zone maritime prospectée en baie de Somme (76)	6-5
■ Figure 2: Localisation des points de mesure.	6-8
■ Figure 3: Mesures magnétiques de la station d'Ault (du 23 au 26 mars 1995).....	6-10
■ Figure 4: Mesures magnétiques de la station d'Ault (du 29 mars au 3 avril 1995).....	6-11
■ Figure 5: Mesures magnétiques de la station d'Ault (du 23 au 26 mars 1995).....	6-13
■ Figure 6: Mesures magnétiques de la station d'Ault (du 29 mars au 3 avril 1995).....	6-14
■ Figure 7: Erreur sur l'anomalie aux intersections après traitement (IGRF retranché).....	6-16
■ Figure 8: Erreur sur l'anomalie aux intersections après traitement (station de Chambon-La-Forêt).....	6-16
■ Figure 9: Erreur sur l'anomalie aux intersections après traitement (station d'Ault).....	6-16
■ Figure 10: Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme (avec correction d'Ault).....	6-17
■ Figure 11: Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme (secteur 1).....	6-18
■ Figure 12: Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme (secteur 2).....	6-19
■ Figure 13: Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme (secteur 3).....	6-20
■ Figure 14: Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme (secteur 4).....	6-21
■ Figure 15: Comparaison des signaux haute fréquence enregistrés simultanément à Ault et Chambon-La-Forêt (du 24 au 26 mars 1995)	6-23
■ Figure 16: Comparaison des signaux haute fréquence enregistrés simultanément à Ault et Chambon-La-Forêt (du 30 mars au 2 avril 1995).....	6-24
■ Figure 17: Analyse spectrale du champ magnétique total (du 24 au 26 mars 1995).....	6-25
■ Figure 18: Analyse spectrale du champ magnétique total (du 30 mars au 2 avril 1995).....	6-26
■ Figure 19: Analyse spectrale du champ magnétique total (du 24 au 26 mars 1995).....	6-27

INTRODUCTION

La détection des épaves et obstructions métalliques en mer est l'un des sujets développés par la section Géodésie-Géophysique du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

Récemment, une *méthode de réduction des mesures magnétiques* (Réf. 0) a été mise au point et testée sur des données marines acquises par grands fonds (Açores). Cette méthode permet, grâce à l'exploitation de mesures magnétiques acquises simultanément en mer et à terre (sur une station fixe proche de la zone de prospection maritime), de **corriger les mesures marines des variations temporelles du champ magnétique terrestre** et donc de mieux connaître la signature magnétique des épaves et obstructions métalliques.

Les "petits fonds" (10-15 m) de sable de la baie de Somme, riches en épaves, ont servi de zone d'essai pour ce nouveau traitement. Le levé magnétique s'est déroulé du 23 mars au 3 avril 1995.

Dans un premier temps, les différentes composantes du champ magnétique terrestre sont rappelées. Ensuite, le matériel utilisé pour l'acquisition des mesures magnétiques en mer et à terre est exposé.

Les traitements développés pour déterminer le champ d'anomalie sont exposés et expliqués.

L'aboutissement de ce travail est la réalisation **d'une carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme**. Cette carte révèle plusieurs secteurs où le champ anomalie présente de forts gradients. Pour chacun de ces secteurs, la précision des cartes du champ d'anomalie est calculée. Enfin, les contraintes inhérentes à ce type de levé magnétique sont répertoriées.

1. PRÉSENTATION DE LA ZONE ÉTUDIÉE

La zone maritime prospectée (figure 1) se trouve en baie de Somme, au Nord du Tréport et au Sud-Ouest de Saint-Valéry-sur-Somme (département de Seine Maritime, 76).

Les coordonnées géographiques rapportées au système WGS 84 délimitant la zone de prospection sont les suivantes :

- latitude nord : 50,1764°
- latitude sud : 50,1001°
- longitude ouest : 1,29029°
- longitude est : 1,44591°

La carte marine des « Abords de Dieppe et du Tréport » (n° 7083) du SHOM, à l'échelle de 1 : 45 000 couvre cette zone.



Figure 1 - Schéma de la localisation de la zone maritime prospectée en baie de Somme

2. LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE ET SA MESURE

2.1. Les composantes du champ magnétique terrestre

La valeur du champ magnétique terrestre (**champ total**) mesurée en mer et à terre correspond à la somme de trois contributions : un **champ d'origine interne** généré par le noyau terrestre, un **champ d'origine externe** lié principalement à l'activité solaire et un champ magnétique local (**champ d'anomalie**) créé par des masses métalliques relativement proches du point de mesure (lithosphère, croûte océanique, épaves...).

2.1.1. Le champ d'origine interne

Le champ d'origine interne et ses variations sont déterminés par un modèle en harmoniques sphériques. Le modèle utilisé est l'I.G.R.F. 95 (International Geomagnetic Reference Field) adopté par l'Association Internationale de Géomagnétisme et d'Astronomie.

2.1.2. Le champ d'origine externe

Le champ d'origine externe présente des variations périodiques de fréquences diurnes et des variations plus difficilement prévisibles liées à l'activité solaire (tâches, éruptions solaires) qui sont les orages magnétiques. Cette composante est mesurée à partir d'une station magnétique de référence au sol. Aussi, pour la durée du levé magnétique en baie de Somme, un magnétomètre a été installé au sémaphore d'Ault (station sol).

2.1.3. Le champ d'anomalie

L'exploitation d'une carte magnétique réalisée à partir de mesures marines et terrestres de surface a pour objectif, le plus souvent, de caractériser les structures magnétiques locales. c'est-à-dire la détermination du champ d'anomalie.

Les magnétomètres utilisés au SHOM mesurent le module du champ magnétique total. Aussi, pour mettre en évidence le champ d'anomalie, la mesure du champ magnétique total est corrigée des effets internes et externes.

Les pages qui suivent ont pour objectif de présenter les outils, techniques et méthodes permettant de déterminer la valeur du champ d'anomalie.

2.2. Le matériel

Le levé magnétique de la baie de Somme a nécessité la mise en œuvre simultanée d'un magnétomètre marin remorqué et immergé et d'un magnétomètre terrestre fixe.

2.2.1. Le magnétomètre marin

Le magnétomètre marin utilisé lors du levé magnétique est le magnétomètre Thomson-Geomag SMM92.

2.2.1.1. Description générale

Le magnétomètre se compose de trois éléments principaux (illustrations en annexe) :

- la **console** de l'opérateur, qui permet l'initialisation des paramètres et la visualisation des mesures sur un écran à cristaux liquides. La profondeur d'immersion du poisson est aussi indiquée ;

- le **câble électroporteur** est un câble coaxial qui assure la traction du poisson ainsi que le transport d'énergie et le support des communications entre le poisson et la console ;
- le **poisson remorqué** dans lequel se trouvent le magnétomètre à effet Overhauser (voir § 2.2.1.2) et l'électronique associée (conversion analogique-numérique, gestion de la communication de l'information avec la console).

2.2.1.2. Principe du magnétomètre SMM92

Le principe repose sur la **résonance magnétique**. Un magnétomètre est constitué d'une enceinte renfermant un liquide riche en protons (eau, kérosène...) entourée d'une bobine détectrice.

Les protons, qui sont des noyaux d'hydrogène, réagissent au champ magnétique environnant. Les moments magnétiques des protons, ou "spins", s'orientent par rapport à la direction du champ magnétique. Ils précessionnent et émettent (ou absorbent) un rayonnement électromagnétique dont la **fréquence, dite de Larmor**, est proportionnelle au champ magnétique environnant. La mesure du champ magnétique revient donc à mesurer cette fréquence de Larmor.

Le rayonnement électromagnétique est dû à une transition des protons d'un niveau d'énergie à un autre. Pour que le rayonnement soit important, et par conséquent que le signal mesuré soit remarquable, il faut répartir convenablement les protons entre les différents niveaux d'énergie : c'est la **polarisation**.

Dans les magnétomètres à protons classiques, la polarisation des protons s'effectue par l'application, pendant un temps très court (de l'ordre de la seconde), d'un puissant champ magnétique perpendiculaire au champ terrestre. Après relâchement de ce champ fort, les moments magnétiques des protons s'orientent par rapport à la direction du champ magnétique terrestre ambiant et la mesure s'effectue.

Pour les magnétomètres à effet **Overhauser**, la polarisation se fait de façon **continue**. L'enceinte contient, en plus des protons, une proportion importante de radicaux libres qui donnent des électrons. L'application d'un champ électromagnétique de très haute fréquence transfère, par couplage, l'énergie des spins des électrons aux spins des protons. Il en résulte donc une polarisation continue des protons.

L'intérêt du magnétomètre à effet Overhauser par rapport au magnétomètre à protons classique (type Barringer M123) est d'avoir un signal entretenu et de forte amplitude au lieu d'exploiter un signal évanescent et peu redondant. De plus, le SMM92 exploite un signal numérique issu du poisson, et le câble électroporteur permet de s'affranchir des parasites dus au transit du signal. Le bruit est ainsi limité au bruit de mesure au niveau du capteur.

2.2.1.3. Précision sur la mesure

La résolution du capteur du magnétomètre est de 0,01 nT, la précision pratique est de 0,03 nT.

2.2.2. Le magnétomètre de la station sol (Ault)

Les mesures magnétiques terrestres ont été réalisées grâce à un magnétomètre à protons **EG&G GEOMETRICS G-856X** prêté par l'IFREMER pour la durée du levé.

Avant la réalisation du levé magnétique, la fiabilité du magnétomètre installé au sémaphore d'Ault a été contrôlée sur le site. Cette étude a permis de mettre en évidence une « **bonne cohérence des variations temporelles** » (réf. 2) entre les mesures effectuées à Ault et celles de Chambon-la-Fôret (station magnétique de référence).

2.2.2.1. Description générale du magnétomètre

Le magnétomètre terrestre se compose également de trois parties (voir illustrations en annexe):

- un **capteur** de forme cylindrique (9 x 13 cm) placé à l'extrémité supérieure d'un pied de 2,5 m de hauteur ;
- une **console** de petite taille (18 x 27 x 9 cm) qui enregistre les valeurs du champ magnétique total ;
- un **câble** qui assure la transmission des données numériques du capteur vers la console.

2.2.2.2. Principe du magnétomètre à protons EG&G GEOMETRICS G-856X.

Le magnétomètre EG&G GEOMETRICS G-856X est un magnétomètre à protons classique : la précession des protons génère un signal enregistré par le solénoïde qui a créé la polarisation. La fréquence de ce signal est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique total (cf. § 2.1.2).

2.2.2.3. Précision sur la mesure

D'après les spécifications du constructeur, la résolution de ce type de magnétomètre est de 0,1 nT dans des conditions normales d'utilisation.

2.2.3. Les magnétomètres de l'observatoire de Chambon-la-Forêt

Les mesures du champ magnétique total enregistrées à Chambon-la-Forêt ont été utilisées, comme celles de la station sol d'Ault, pour **extraire la contribution du champ externe sur la mesure**.

La détermination de cette composante externe, réalisée en utilisant les mêmes fréquences de coupure, conduit à des résultats sensiblement différents si l'on prend Ault ou Chambon-la-Forêt comme station de référence. Ces résultats et leurs implications sont présentés au paragraphe 6.1.

2.2.3.1. Caractéristiques des magnétomètres

Deux magnétomètres à protons enregistrent l'intensité du champ magnétique total :

- un magnétomètre LETI (département du CEA de Grenoble) mesure la valeur instantanée du champ total toutes les secondes (cet enregistrement est conservé environ un mois). Une valeur moyenne par minute est ensuite calculée : c'est cette valeur qui sera conservée et que nous utiliserons ;
- un magnétomètre GEM qui sert de contrôle et qui pare aux éventuelles défaillances du LETI. Sa cadence d'acquisition est de 5 secondes.

L'enregistrement des composantes X (Nord), Y (Est) et Z (bas) du champ magnétique total se fait à l'aide de trois magnétomètres à fluxgate en fonctionnement continu : VFO-31, MAGNOLIA (TSA) et GEOMAG. L'acquisition est faite toutes les 5 secondes et une valeur moyenne par minute est calculée.

(1) La longueur de la ligne filée est de 150 m mais la distance séparant le point de croche du capteur varie entre 135 m et 150 m, en fonction de la vitesse du bâtiment et des conditions hydrodynamiques.

(2) La cadence d'acquisition des mesures par le magnétomètre SMM92, initialement fixée à 2 secondes (Réf. 3), a été reportée à 10 secondes par la MHA lors de la mise en œuvre.

L'enregistrement des mesures absolues de déclinaison et d'inclinaison a lieu, au minimum, deux fois par semaine sur un système DI-flux.

2.2.3.2. Précision sur la mesure

La précision de la mesure est de 0,1 nT.

3. L'ACQUISITION DES DONNÉES

Les informations suivantes sont issues du rapport d'instruction particulière (réf. 3), du rapport particulier concernant le levé des abords de la baie de Somme (réf. 4) et des renseignements fournis par le service informatique ("Systèmes embarqués") du SHOM.

3.1. Les mesures marines

Les mesures marines ont été effectuées au cours de deux périodes à partir du bâtiment hydrographique Lapérouse. Elles se localisent le long de profils appelés "lignes" qui sont recoupés approximativement perpendiculairement par d'autres profils appelés "traverses". Ces recoupements de profils donnent des points de croisement qui permettent d'estimer l'erreur sur la mesure aux points de croisement. Les paramètres d'acquisition des mesures magnétiques marines sont également présentés dans ce paragraphe.

3.1.1. Les périodes d'enregistrement

Les périodes d'enregistrement des mesures magnétiques en mer sont couvertes par les périodes d'enregistrement à terre.

- 1^{re} période : du vendredi 24 mars 1995 (de 03h50'00" T.U. à 22h17'59" T.U.) au samedi 25 mars 1995 (de 03h46'22" T.U. à 05h51'00" T.U.).
- 2^e période : du samedi 30 mars 1995 (09h13'39" T.U.) au dimanche 31 mars 1995 (22h54'29" T.U.) et le lundi 1^{er} avril 1995 (de 00h09'41" T.U. à 22h21'49" T.U.).

3.1.2. Les profils

Dix-sept mille quatre cent quarante neuf (17 449) points de mesures composent le semis de points de la prospection magnétique en baie de Somme (figure 2).

Les lignes : régulièrement espacées de 100 m, elles sont au nombre de 107. Les lignes sont orientées N49 et approximativement parallèles à la côte.

Les traverses : 8 profils transverses orientés N146 recoupent à intervalles réguliers les profils N49 sur l'ensemble de la zone prospectée.

Les points de croisement sont au nombre de cinq cent douze (512).

3.1.3. Les paramètres d'acquisition

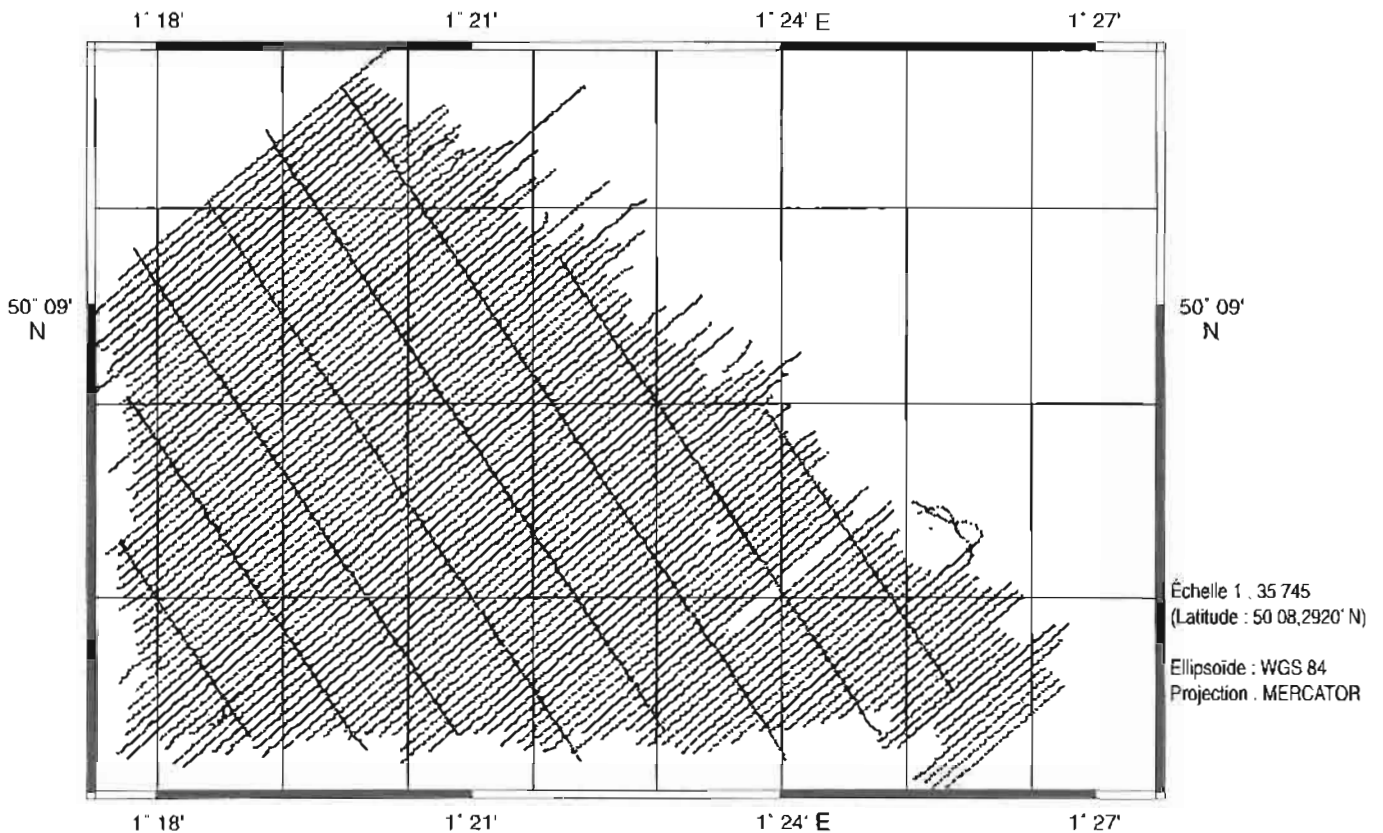
- Espacement des profils : 100 m ;
- Ligne filée : 150 m ⁽¹⁾ ;
- La vitesse du bâtiment était comprise entre 6 et 9 nœuds ;
- Cadence d'acquisition : une mesure toutes les 10 secondes ⁽²⁾ ;
- Distance minimale entre deux mesures : 30,87 m ;
- Distance maximale entre deux mesures : 46,30 m ;
- Profondeur d'immersion du poisson : 1,5 à 2 m.

Localisation des points de mesure

Figure 2

Baie de Somme

Nombre de points de mesure : 17449



3.1.4. Algorithme de positionnement du capteur

Toutes les dix secondes, le capteur situé dans le poisson remorqué effectue une mesure. Mais si la valeur du champ magnétique total est mesurée par le capteur remorqué, la position enregistrée par la console de l'opérateur est celle du GPS situé sur le bâtiment hydrographique.

L'objectif de l'algorithme est de **calculer la position réelle du poisson** remorqué derrière le bâtiment hydrographique à partir de la mesure GPS, en tenant compte des paramètres de navigation du bâtiment et de la géométrie du dispositif de mesure. Cet algorithme a été mis au point par le service "Systèmes embarqués" du SHOM.

Trois points fondamentaux interviennent dans cet algorithme :

- **le point de référence** : il s'agit du point de mesure de la position du bateau par le GPS différentiel embarqué sur le Lapérouse ;
- **le point de croche** : point situé à la poupe du bâtiment hydrographique où est fixée la "ligne filée" qui remorque le capteur ;
- **le poisson (ou capteur)** : point où est effectivement réalisée la mesure du champ magnétique total.

Dans un premier temps, la position du point de croche est calculée à partir du point de référence (1). puis la position du capteur est déterminée en fonction de la position du point de croche (2) :

$$\begin{aligned} X_{\text{croche}} &= X_{\text{réf}} + L' \sinus (G' + \text{Cap}) & (1) \\ Y_{\text{croche}} &= Y_{\text{réf}} + L' \cosinus (G' + \text{Cap}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{\text{poisson}} &= X_{\text{croche}} + L \sinus (G + \text{Cap}) & (2) \\ Y_{\text{poisson}} &= Y_{\text{croche}} + L \cosinus (G + \text{Cap}) \end{aligned}$$

- L'** est la distance séparant le point de référence du point de croche ;
G' est le gisement du point de croche ;
Cap est le cap gyroscopique (cap compas) ;
L est la longueur de la ligne filée ;
G est le gisement de la ligne filée.

Cet algorithme permet d'estimer la position du capteur avec une **précision de 20 m environ sur un plan horizontal** (source : "Systèmes embarqués", EPSHOM). L'ensemble des mesures magnétiques du levé de la baie de Somme ont été traitées avec cet algorithme par le service "Systèmes embarqués" et la MHA, puis fournies à la section géodésie-géophysique.

3.2. Les mesures de la station sol

Contrairement aux mesures marines, les mesures de la station sol sont acquises sur un point fixe. Ces mesures sont donc indépendantes des variations spatiales du champ magnétique total et vont de ce fait pouvoir apporter de précieux renseignements sur ses variations temporelles. Les périodes d'enregistrement des mesures de la station sol couvrent les périodes d'enregistrement en mer.

3.2.1. Station d'Ault

Pourquoi avoir installé un magnétomètre au sémaphore d'Ault, alors que l'on peut corriger le champ total des variations temporelles en utilisant l'observatoire de Chambon-la-Forêt ?

La réponse à cette question réside dans la **variabilité spatiale du champ magnétique externe** (voir § 6.1). En effet, les variations transitoires du champ magnétique terrestre (variations dues à l'activité solaire) n'ont pas la même amplitude pour deux points du globe distants de plusieurs centaines de kilomètres. Et ce, notamment, pour des raisons météorologiques (nébulosité différente...).

Or, le sémaphore d'Ault et l'observatoire de Chambon-la-Forêt se trouvent à plus de deux cents kilomètres l'un de l'autre.

Ainsi, le magnétomètre installé au sémaphore d'Ault, à proximité immédiate de la zone de prospection maritime, devrait permettre de corriger au mieux le champ total des variations temporelles qui affectent les mesures marines. Cette remarque attire l'attention sur le caractère "local" des variations transitoires.

3.2.1.1. Localisation géographique

Les coordonnées géographiques du site d'enregistrement sont les suivantes :

- latitude : 50°06'19,68" Nord ;
- longitude : 001°27'16,782" Ouest ;
- altitude : non déterminée.

3.2.1.2. Périodes d'enregistrement

Les figures 3 et 4 illustrent ces enregistrements : l'intensité du champ magnétique total mesuré (nanoTesla) est présenté en fonction du temps.

- 1^{re} période : du jeudi 23 mars 1995 (18h47'00" T.U.) au dimanche 26 mars 1995 (12h27'01" T.U.) ;
- 2^e période : du mercredi 29 mars 1995 (15h48'00" T.U.) au lundi 03 avril 1995 (07h55'00" T.U.).

3.2.1.3. Paramètres d'acquisition

La valeur du champ magnétique total a été enregistrée à la cadence d'une mesure toutes les soixante secondes (60 s).

3.2.2. Observatoire de Chambon-la-Forêt

3.2.2.1. Localisation de l'observatoire

L'observatoire magnétique de Chambon-la-Forêt est situé dans le bassin parisien, au Nord d'Orléans. Les coordonnées géographiques de ce site sont les suivantes :

- latitude : 48,0126°N ;
- longitude : 02,1536°E ;
- altitude : 145 m.

3.2.2.2. Périodes d'enregistrement

Les données numériques de ces deux périodes d'enregistrement ont été extraites des bases de données de Chambon-la-Forêt.

- 1^{re} période : du 23 mars 1995 à 00 h au 26 mars 1995 à 24 h ;
- 2^e période : du 28 mars 1995 à 00 h au 4 avril 1995 à 24 h.

Mesures magnétiques de la station d'Auit (du 23 au 26 mars 1995)
Données brutes échantillonnées avec un pas de 60 secondes

Figure 3

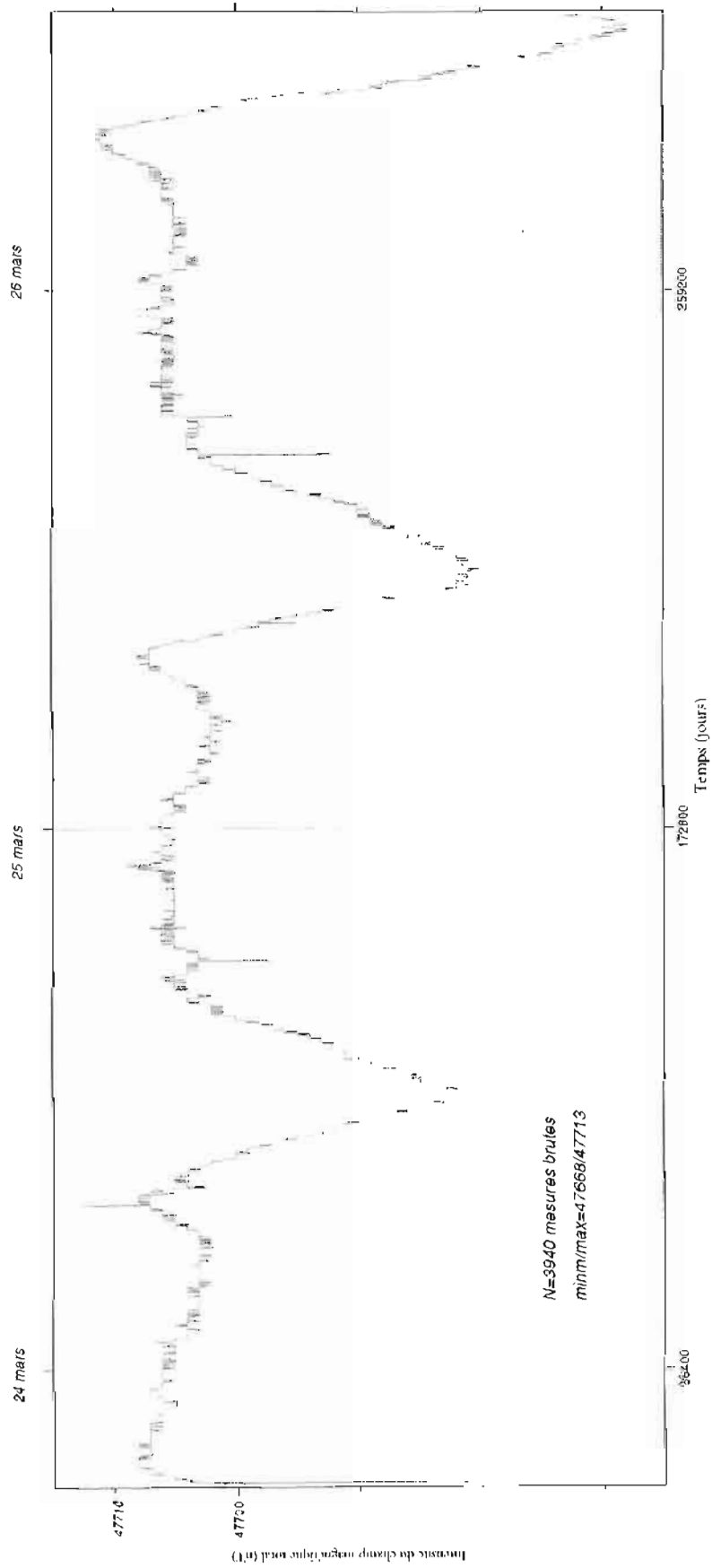
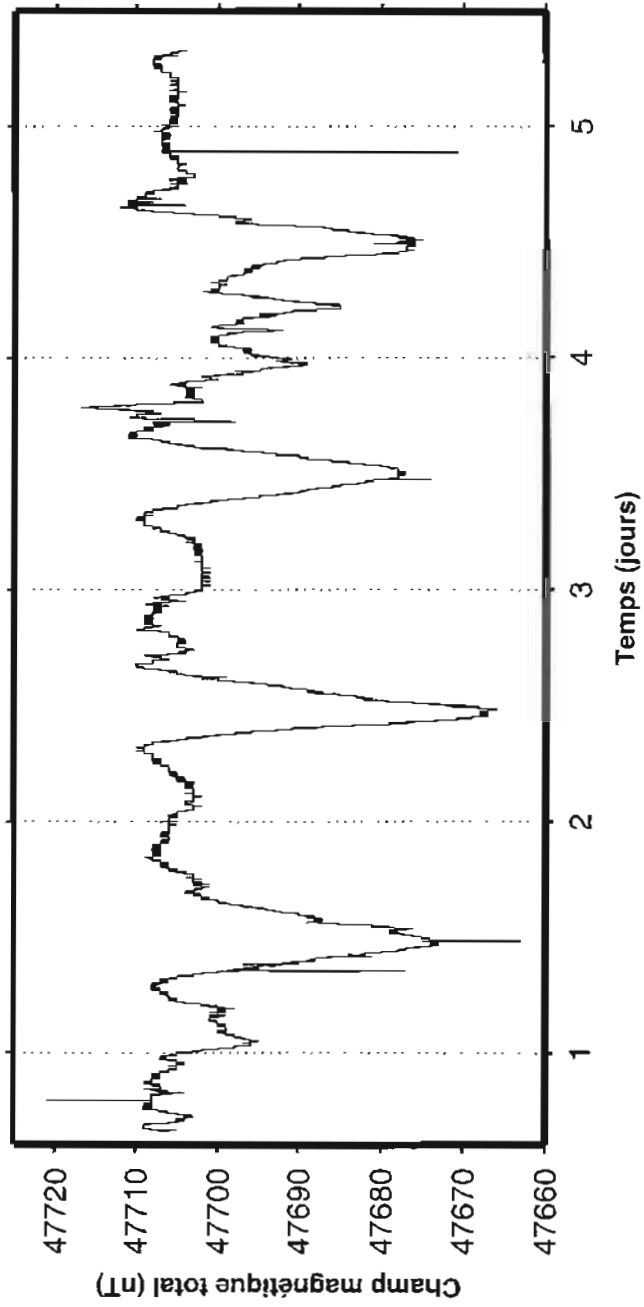


Figure 4

Station d'Ault
Données brutes échantillonnées à 60 s du 29 mars au 3 avril 1995



4. RAPPELS SUR LE TRAITEMENT DES MESURES MAGNÉTIQUES

La méthode de réduction des mesures magnétiques marines telle qu'elle a été développée par la section Géodésie-Géophysique comporte quatre phases principales :

- pré-traitement des mesures marines ;
- pré-traitement des mesures terrestres ;
- calage des mesures terrestres par rapport aux mesures marines ;
- calcul de l'anomalie magnétique locale.

4.1. Traitement appliqué aux mesures marines

Deux opérations sont effectuées sur les mesures magnétiques marines :

- mise au format des mesures par le logiciel ;
- **détermination de la valeur du champ interne** : pour chaque mesure bateau (individualisée par ses coordonnées géographiques ϕ et G et l'instant de la mesure t_j) est calculée la valeur du champ interne. Le modèle utilisé est l'International Geomagnetic Reference Field.

4.2. Traitement appliqué aux mesures station

- **nettoyage** : l'enregistrement du champ magnétique total comporte du bruit induit par des phénomènes aléatoires tels que le passage d'une masse métallique (véhicule, aéronef...) à proximité du capteur. Ce bruit se traduit sur les enregistrements par la formation de *spikes* qui doivent être éliminés (figures 5 et 6).

Remarque : les mesures bateau introduites dans la chaîne de traitement sont les **données brutes**. En effet, compte tenu des paramètres d'acquisition des mesures (cf. § 2.2.2 : une mesure tous les 30 à 50 m), il n'est pas possible de distinguer le signal magnétique propre à chaque épave d'un bruit éventuel (*spike*).

Ce fait a été constaté lors d'un premier traitement à l'issue duquel la carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme déterminée sur les données bateau nettoyées (seuils de 3 à 10 nT) mettait en évidence une atténuation du signal propre aux épaves et obstructions métalliques.

- **interpolation et mise au format** : l'élimination des *spikes* induit des lacunes dans les enregistrements. Ces lacunes sont comblées en remplaçant la valeur éliminée par une valeur interpolée. La méthode d'interpolation utilisée est celle des splines cubiques (réf. 0). Par ailleurs, les mesures stations sont acquises toutes les 60 s alors que les mesures bateau sont acquises toutes les 10 s. Or, afin d'avoir un échantillonnage similaire pour les mesures en mer et à terre, les valeurs station sont interpolées au pas d'acquisition des données bateau ;
- **filtrage** : séparation des signaux haute et basse fréquence. Pour cette opération, l'hypothèse suivante est retenue : les variations diurnes affectant les mesures marines sont les mêmes que celles affectant,

à la même heure solaire, les mesures station. Une fois cette hypothèse posée, les variations diurnes sont extraites du signal enregistré en station par l'application d'un filtre "passe-bas". Ce filtre ne laisse passer que la partie du signal dont la période est supérieure à **cinq heures**. Il permet de dissocier les variations transitoires de haute fréquence (champ externe) des variations séculaires de basse fréquence (champ interne).

4.3. Calage des mesures station par rapport aux mesures bateau

Cette phase du traitement compare les heures d'acquisition des mesures bateau et des mesures station afin d'associer exactement (en tenant compte du décalage horaire qui existe entre les mesures bateau et les mesures station) les signaux haute fréquence enregistrés à terre à une mesure bateau.

4.4. Calcul de l'anomalie magnétique locale

Le champ d'anomalie magnétique caractéristique de la zone marine prospectée est ensuite calculé comme précisé au paragraphe 1.3.

$$\text{anomalie} = ((\text{mesure bateau brute}) - (\text{valeur du champ correspondante déterminée par l'IGRF})) - (\text{signal haute fréquence station recalé par rapport à la mesure bateau})$$

4.5. Commentaires

En baie de Somme, les enregistrements du champ magnétique ont été réalisés au cours de deux périodes. De ce fait, le traitement des données bateau et station s'est déroulé en **deux étapes successives**.

Ensuite, les deux fichiers d'anomalies obtenus ont été concaténés pour constituer un seul **fichier d'anomalie** qui a alors été utilisé pour **deux applications** :

- d'une part, le calcul des valeurs des **erreurs aux points de croisement** utilisées pour estimer la précision sur la mesure (voir les **histogrammes**) ;
- d'autre part, la réalisation de la **carte du champ d'anomalie magnétique** de la zone marine prospectée.

5. LES RÉSULTATS

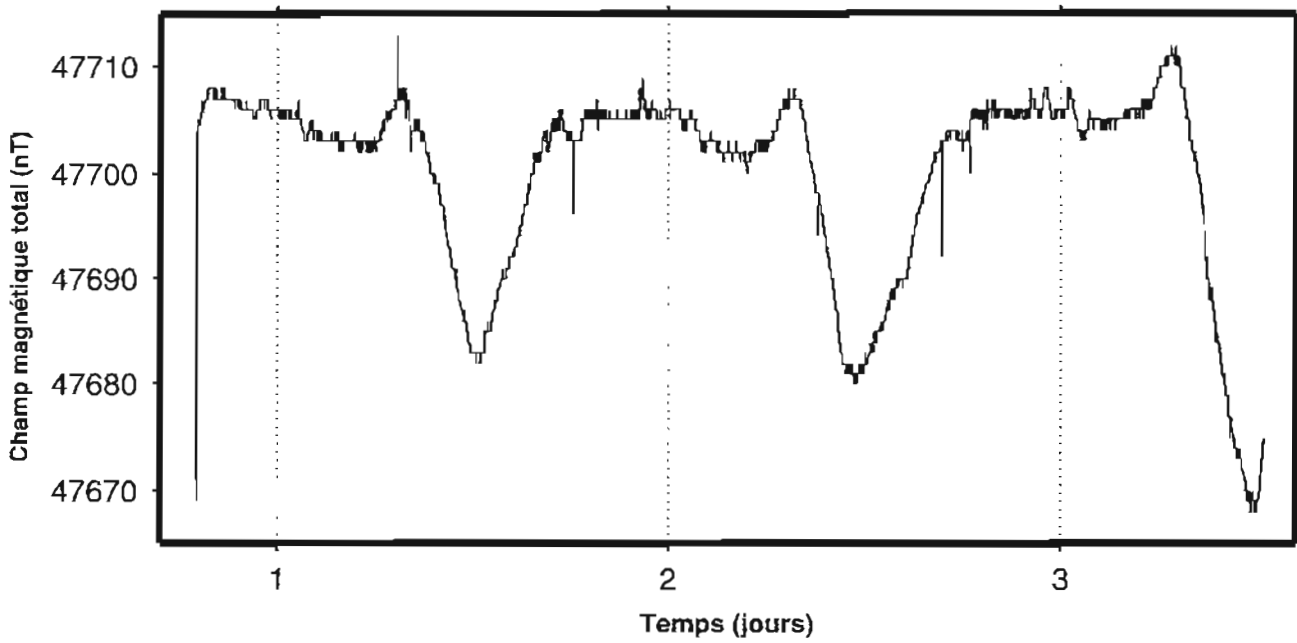
Cette partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus en appliquant la méthode de réduction des mesures magnétiques précédemment décrite aux données du levé magnétique de la baie de Somme.

Dans un premier temps, la phase de nettoyage et d'interpolation des mesures station est illustrée par les figures 3 et 4 : ces graphiques renseignent sur les caractéristiques des variations transitoires. La **composante diurne** (variation journalière) du champ magnétique est de l'ordre de 25 à 45 nT sur les deux périodes d'enregistrement.

Figure 5

Station d'Ault

a) Données brutes échantillonnées à 60 s du 23 au 26 mars 1995



b) Données après élimination des spikes et interpolation à 10 s du 23 au 26 mars 1995

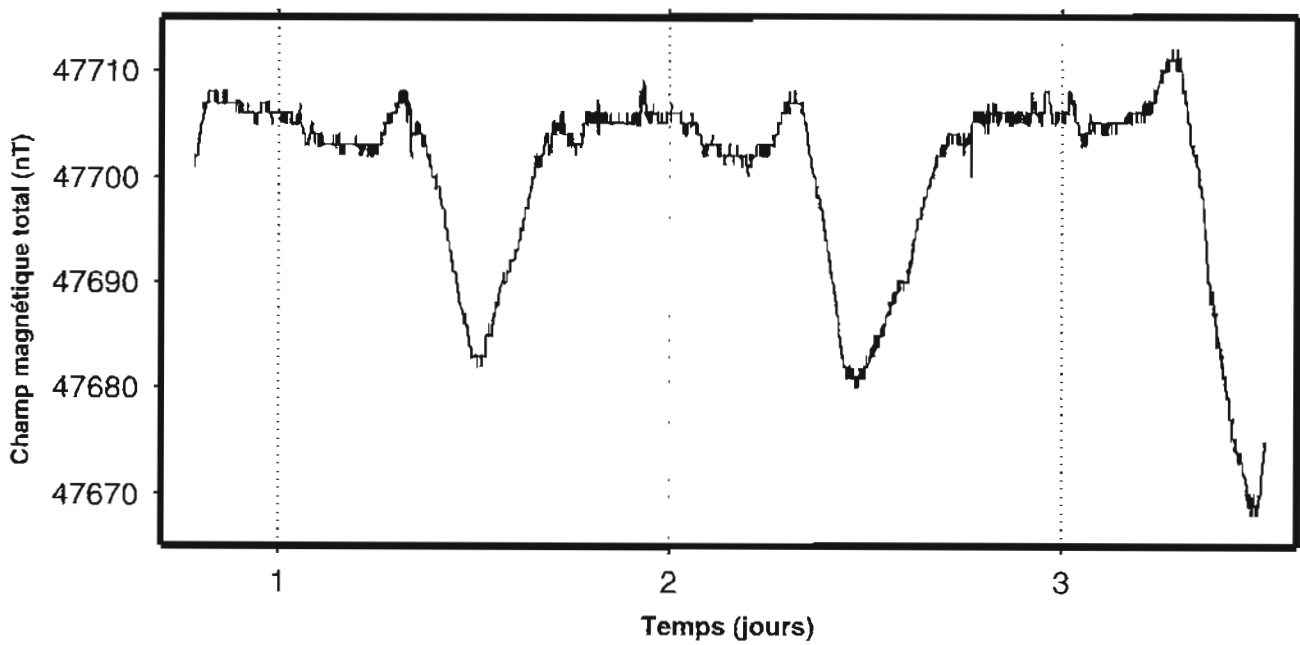
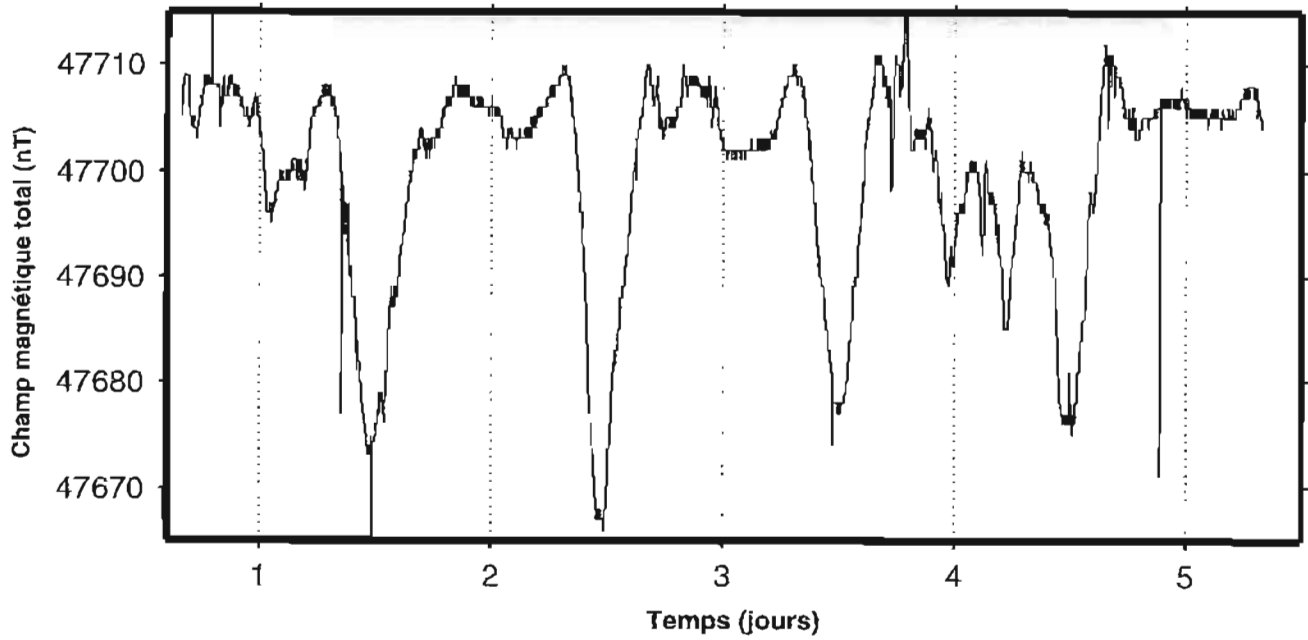


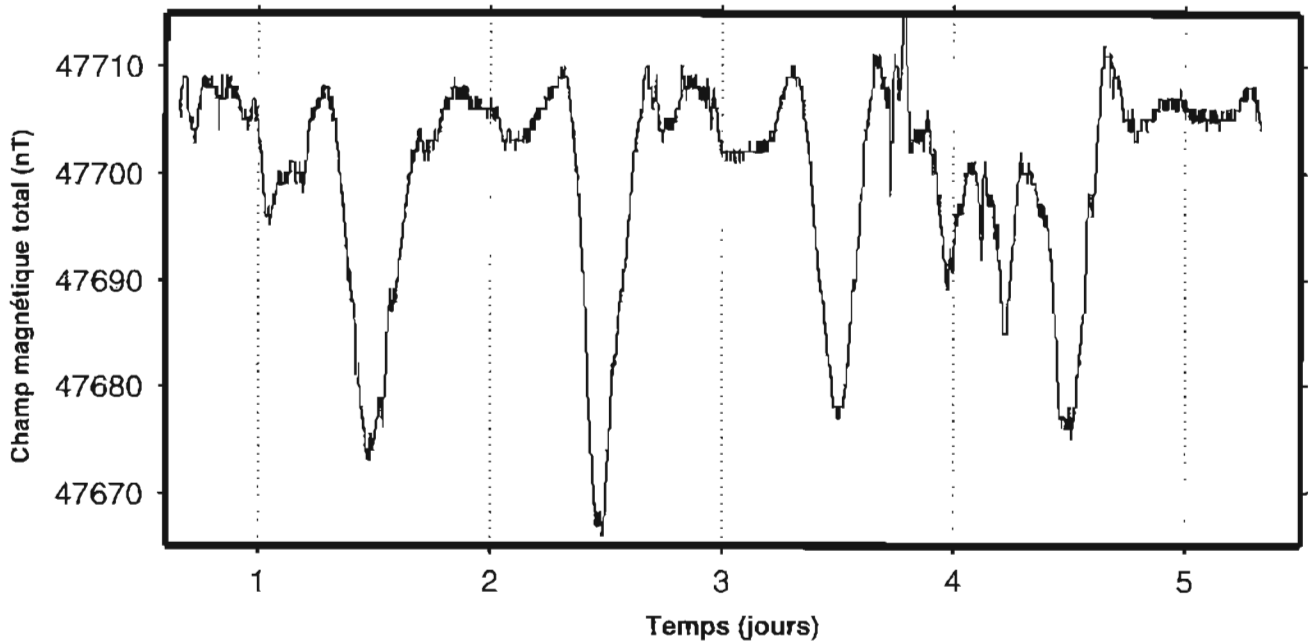
Figure 6

Station d'Ault

a) Données brutes échantillonnées à 60 s du 29 mars au 3 avril 1995



b) Données après élimination des spikes et interpolation à 10 s du 29 mars au 3 avril 1995



En outre, les **variations d'agitation** (réf. 0) sont faibles (inférieures à 5 nT) du 23 au 26 mars et plus importantes (15 à 20 nT) du 29 mars au 3 avril 1995.

5.1. Le champ magnétique total

Le champ magnétique total enregistré sur la zone de prospection marine a une valeur moyenne de l'ordre de 47 600 nT. Les extrema (47 090,1 et 48 200,4 nT) sont dus essentiellement à l'anomalie de forte amplitude (1 110 nT) décelée dans le secteur 1 (voir § 5.3).

5.2. L'anomalie magnétique

L'objectif principal de cette méthode de réduction des mesures magnétiques est d'obtenir une carte précise du champ d'anomalie caractéristique de la zone prospectée.

Le champ d'anomalie magnétique a été déterminé selon trois variantes du traitement présenté ci-avant. Pour chacune de ces variantes, l'erreur sur l'anomalie aux points de croisement est calculée.

5.2.1. L'erreur sur le champ d'anomalie aux points de croisement

Cette erreur sur l'anomalie aux points de croisement a été calculée dans les trois cas de figure suivants :

- cas 1 : calcul de l'anomalie en retranchant seulement la valeur du champ interne au champ total mesuré (figure 7 : histogramme 1) en mer ;
- cas 2 : calcul de l'anomalie après traitement complet en utilisant l'observatoire de Chambon-la-Forêt comme station de référence (figure 8 : histogramme 2) ;
- cas 3 : calcul de l'anomalie après traitement complet en utilisant la station sol d'Ault pour réduire les mesures magnétiques marines (figure 9 : histogramme 3).

Description des histogrammes (tableau 1) :

Les trois histogrammes présentent des erreurs de l'ordre de 72 à 82 nT sur moins de 0,5 % des points. Elles ont deux origines possibles :

- d'une part, l'hypothèse des données station représentant les variations en mer (pour les hautes fréquences) n'est pas tout à fait exacte car il faudrait tenir compte de l'effet magnétique des côtes et de l'effet de filtre joué par la tranche d'eau de mer ;
- d'autre part, il peut subsister des erreurs de positionnement du magnétomètre utilisé en mer.

Les trois histogrammes sont relativement symétriques (valeur du coefficient faible). Par contre, le coefficient d'aplatissement montre une variation significative entre les deux premiers histogrammes et le troisième. Ceci illustre le fait que les données traitées avec la station d'Ault (histogramme 3) ont des erreurs plus faibles ($\sigma = 5$ nT. à 99 % inférieures à 16 nT) que celles corrigées simplement de l'IGRF, ou réduites des valeurs de Chambon-La-Forêt (à 99 % inférieures à 22 nT (histogramme 2) et 46 nT (histogramme 3) et plus dispersées autour de 0.

Ainsi la prise en compte des variations temporelles du champ pour la correction des mesures magnétiques permet d'abaisser l'écart-type des erreurs de 9,9 nT à 5 nT, et de concentrer la distribution des erreurs autour de la valeur nulle.

La différence entre les données réduites à Chambon-La-Forêt et à Ault réside essentiellement dans le coefficient d'aplatissement et la valeur à 99 % de l'erreur. Pour un écart-type σ d'environ 5 nT, la valeur à 99 % devrait être de 3σ soit environ 15 nT pour les deux histogrammes. Ce qui n'est pas le cas pour l'histogramme 2 (22 nT > 3σ). Les données réduites à Ault sont par contre d'une qualité supérieure (16 nT $\cong 3\sigma$). Cette différence est due au fait que les variations temporelles du champ dans les fréquences choisies sont d'autant mieux corrigées que la station est proche de la zone de mesure. L'erreur résiduelle (histogramme 3) semble être due à l'éloignement de la station d'Ault de la zone de mesure, et aux effets magnéto-hydrodynamiques.

Tableau 1 :

	Histogramme 1	Histogramme 2	Histogramme 3
max	82,66 nT	73 nT	78 nT
moyenne	11,6 nT	7,3 nT	6,1 nT
σ	9,9 nT	5,6 nT	5 nT
coefficient de symétrie*	0,18	0,1	0,19
coefficient d'aplatissement*	- 2,38	- 2,8	- 1,82

* Les coefficients de symétrie et d'aplatissement sont les moments statistiques d'ordres 3 et 4 calculés sur l'ensemble des valeurs par rapport à une distribution normale (réf. 6).

Plus le coefficient de symétrie est petit, plus la distribution est symétrique.

Plus le coefficient d'aplatissement est négatif, plus la distribution est aplatie (= 0 pour 1 loi normale).

ECARTS AUX POINTS DE CROISEMENT

Figure 7

Anomalie corrigée de l'IGRF

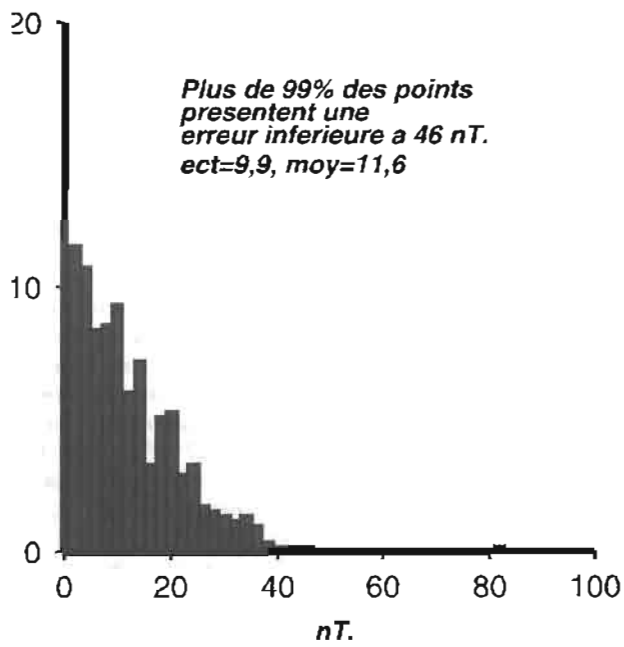


Figure 8

Anomalie corrigée de Chambon-La-Forêt

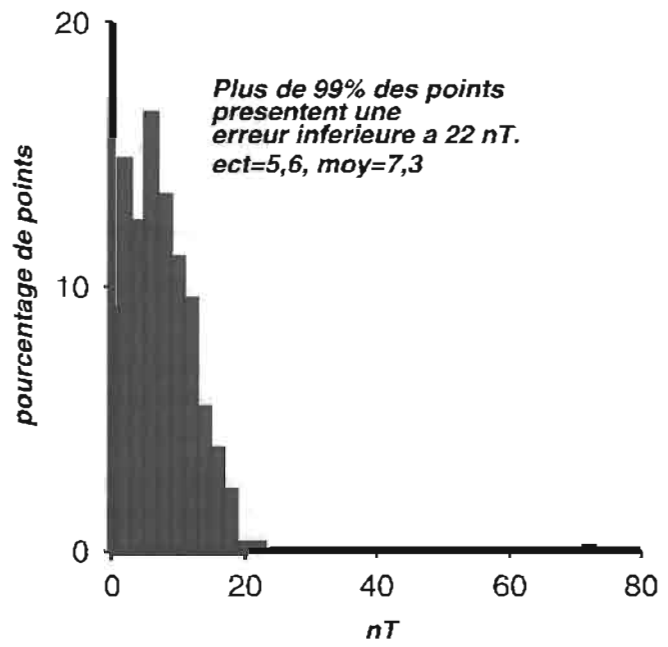
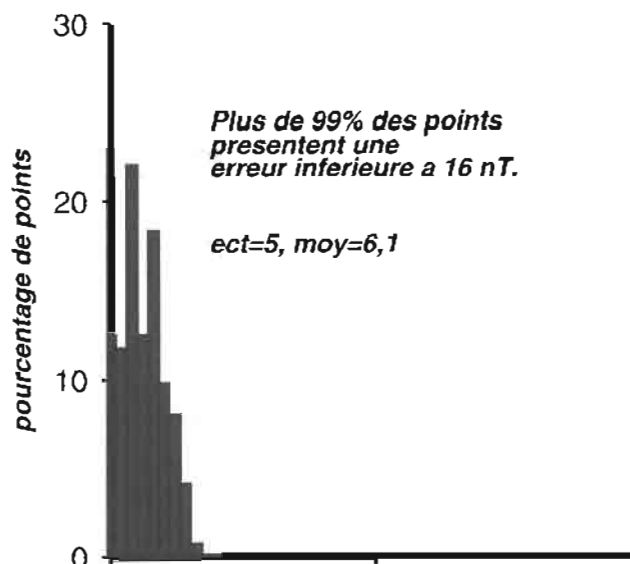


Figure 9

Anomalie corrigée de la station d'Ault



5.2.2. Carte du champ d'anomalie en baie de Somme

La carte générale de l'anomalie magnétique en baie de Somme (figure 10) a été réalisée en utilisant les données traitées dans le cas 3. Cette carte met en évidence quatre secteurs où les **gradients magnétiques** sont forts (voir § 5.3). Ces gradients traduisent une forte variation spatiale du champ magnétique induits par la présence de masses métalliques immergées (aussi appelées "**sources**"), reposant sur des fonds de sable.

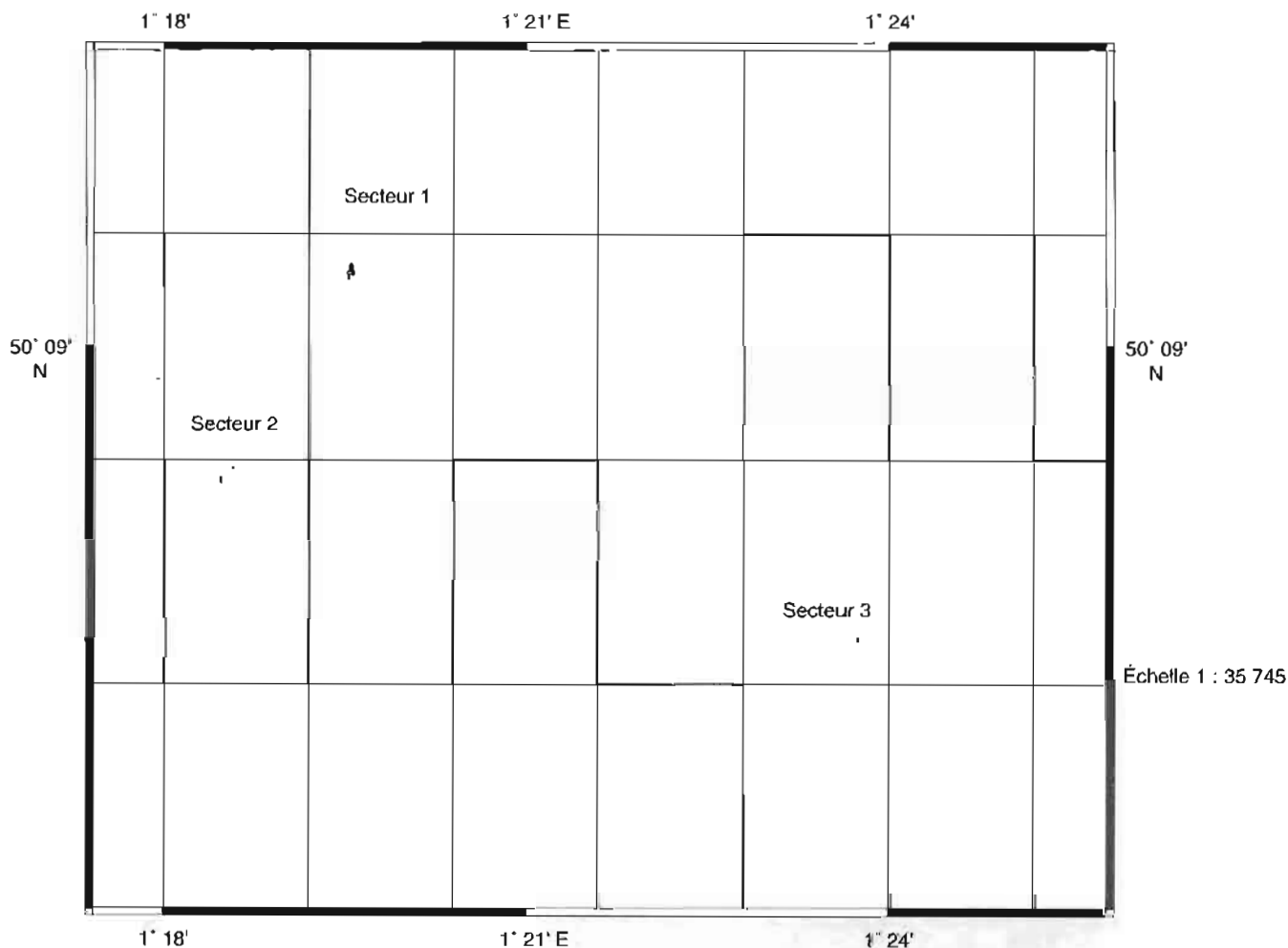
Le gradient moyen le plus fort de la zone marine prospectée est de 3,215 nT/km (0,003215 nT/m) selon une direction N45.

Les fonds de sable sur lesquels reposent ou sont enfouies les sources sont caractérisés par des valeurs d'anomalies allant de 50 à 80 nT.

A cette échelle de représentation, il n'est pas possible d'observer finement et d'analyser le signal propre à chaque épave, mais seulement de les **localiser**. Aussi, les figures suivantes présentent un agrandissement de chacun des quatre secteurs et permettent d'analyser et interpréter l'allure des isanomales.

Figure 10

Anomalie magnétique en baie de Somme
Peu de variations (< 3nT/km) sauf 3 secteurs (couleur bleu/rouge)



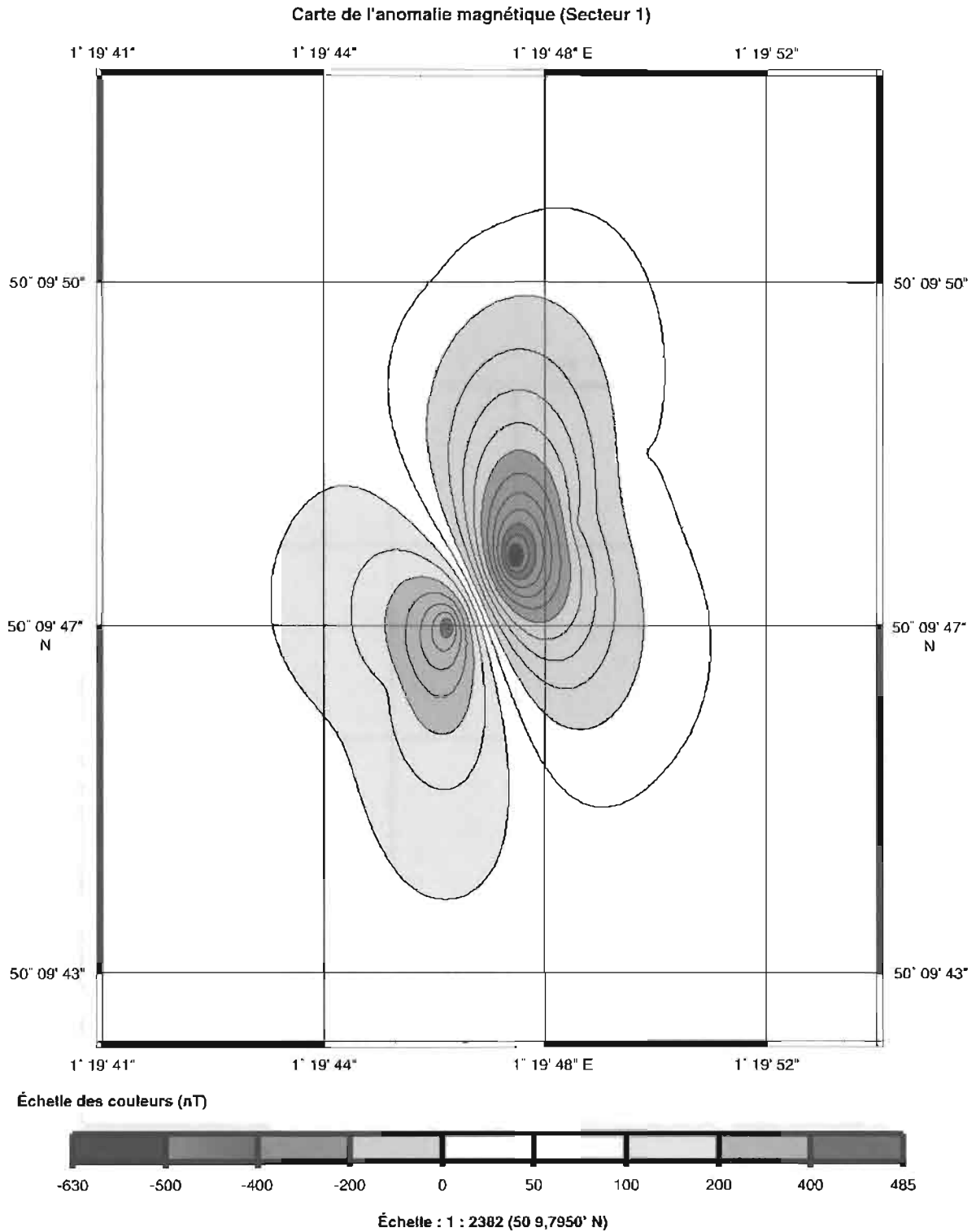
Représentation schématique

5.3. Les épaves et obstructions métalliques

Dans le *secteur 1* (figure 11), une source génère une **anomalie dipolaire**⁽³⁾ dont le pôle positif atteint la valeur de 483 nT et le pôle négatif la valeur de - 627 nT. L'amplitude

de cette anomalie est donc de 1110 nT. Gradient moyen : 0,4 nT/m, soit un gradient mille fois plus fort que le gradient magnétique local (voir § 5.2.2).

Figure 11



⁽³⁾ Anomalie dipolaire : la représentation planaire d'une anomalie induite par un dipôle magnétique est caractérisée par la juxtaposition d'une aire de valeurs négatives et d'une aire de valeurs positives, de forme sub-circulaire (lobes).

Dans le *secteur 2* (figure 12), l'allure des **isanomales**⁽⁴⁾ est plus complexe. La présence de deux pôles positifs couplés à deux pôles négatifs permet de soupçonner la présence de

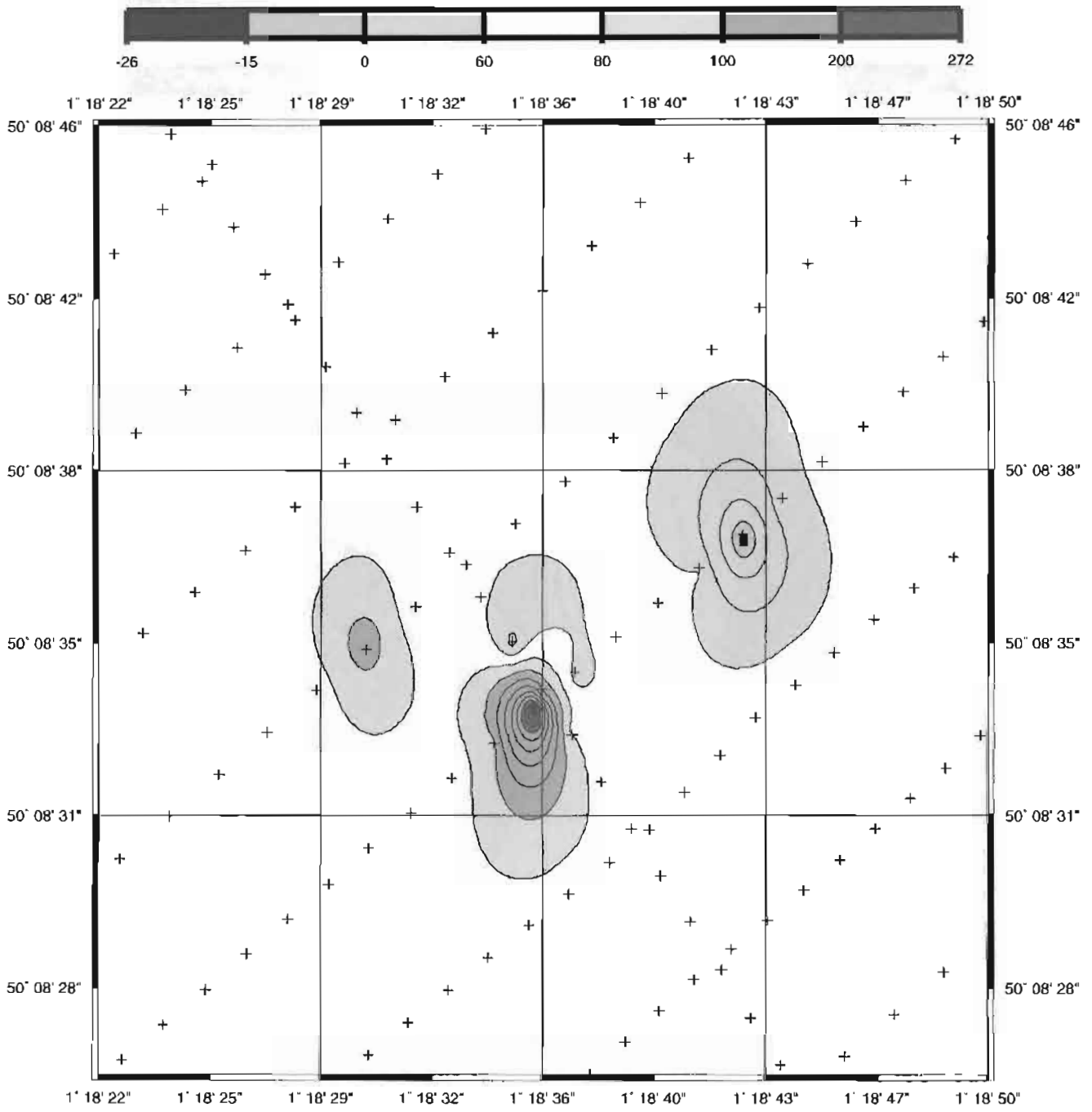
deux sources rapprochées. Mais cette hypothèse est à confirmer. Ici, l'amplitude maximale est de 296 nT. Gradient moyen : 0,3 nT/m.

Figure 12

Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme

Secteur 2

Échelle des couleurs (nT)



Point de mesure : +
 Nombre de points de mesure : 115

Échelle : 1 : 3574 (50 8,5950' N)
 Ellipsoïde : WGS84
 PROJECTION : MERCATOR

(4) Isanomale : courbe d'isovaleur de l'anomalie magnétique.

L'anomalie dipolaire du *secteur 3* (figure 13) a une amplitude de 128 nT. Le pôle négatif a une valeur de - 4 nT

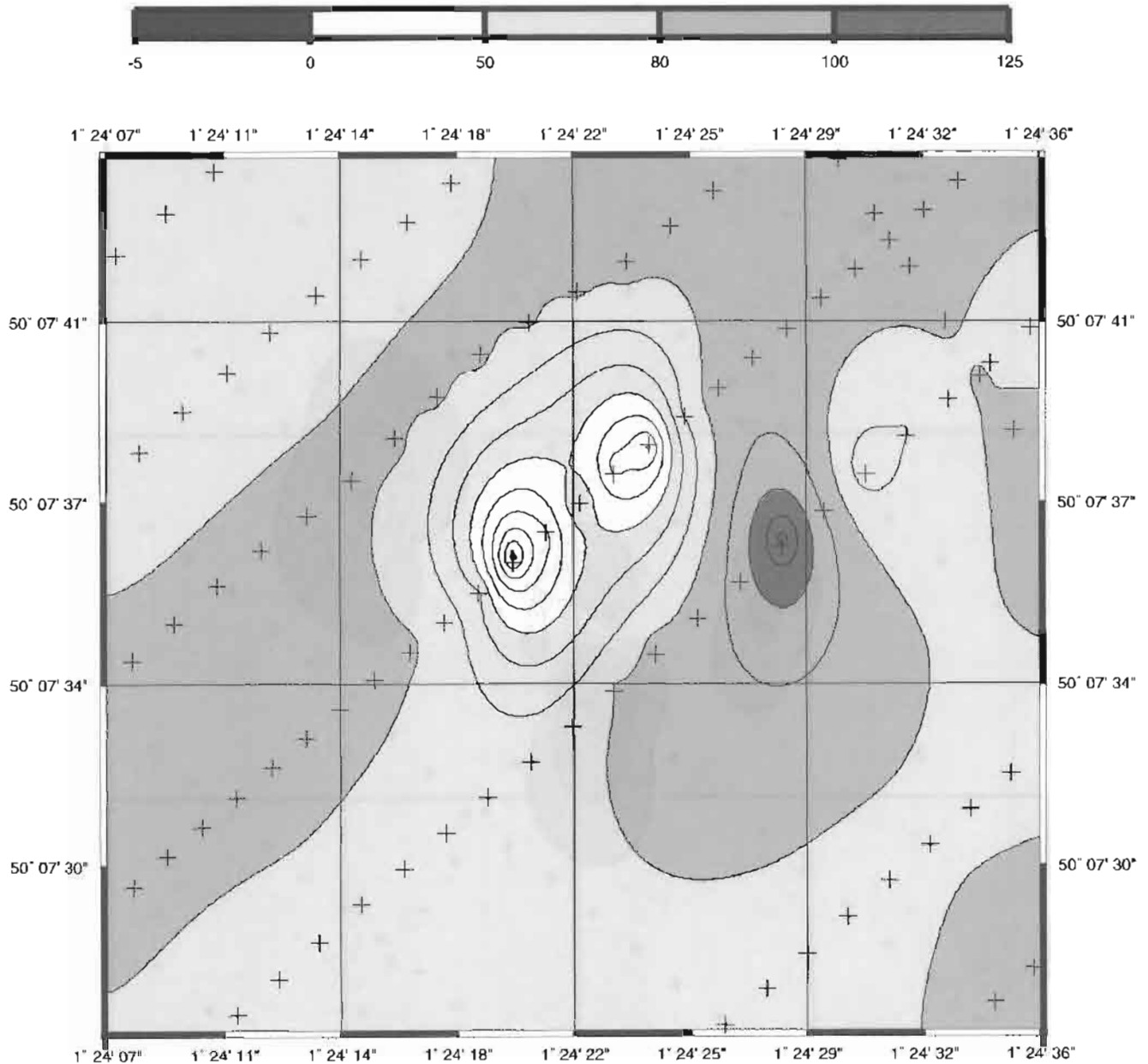
et le pôle positif une valeur de 124 nT. Gradient moyen : 0.1 nT/m.

Figure 13

Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme

Secteur 3

Échelle des couleurs (nT)



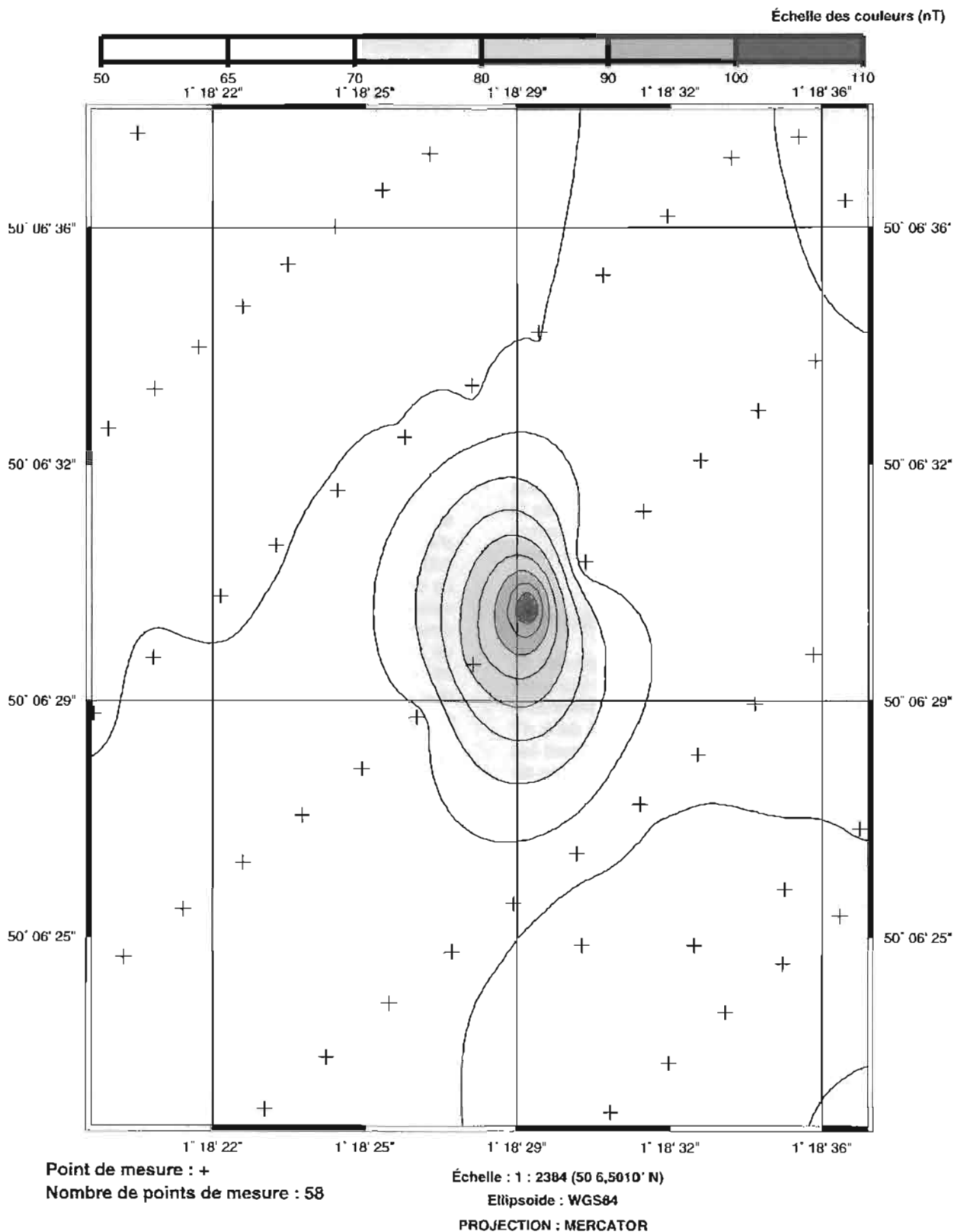
Point de mesure : +
Nombre de points de mesure : 87

Échelle : 1 : 3575 (50 7,5900' N)
Ellipsoïde : WGS84
Projection : MERCATOR

Le secteur 4 (figure 14) présente une anomalie magnétique à un seul pôle, positif (valeur maximale : 108 nT). Gradient moyen : 0,08 nT/m. Cette première approche des anomalies magnétiques et de l'allure des isanomales sera complétée,

ultérieurement, par des études qui devraient permettre de déterminer la profondeur d'immersion de la source, l'orientation de la source par rapport au méridien magnétique (contours de la source), la masse métallique de la source.

Figure 14
Carte de l'anomalie magnétique en baie de Somme - Secteur 4



6. DISCUSSIONS

Ce travail de réduction des mesures magnétiques marines par petits fonds en utilisant une station sol de référence est une "première" au SHOM. Aussi, les éléments de comparaison manquent pour qualifier et quantifier le résultat recherché, c'est-à-dire la carte du champ d'anomalie et sa précision.

Cependant, l'expérience du SHOM dans le traitement des mesures magnétiques par grands fonds et les apports bibliographiques permettent de répondre à certaines interrogations que se posent les opérateurs, interpréteurs et utilisateurs des cartes du champ d'anomalie.

6.1. Station magnétique ou observatoire de Chambon-la-Forêt ?

La mise en place, l'entretien et la surveillance d'une station sol de référence à proximité immédiate de la zone de prospection marine a évidemment un coût. Et ce coût est supérieur à celui de la récupération d'un fichier d'enregistrement du champ magnétique total auprès d'un observatoire magnétique tel que celui de Chambon-la-Forêt. Aussi, la question de la rentabilité de l'installation d'une station sol au cours d'une prospection magnétique marine se pose-t-elle !

Trois méthodes ont été employées pour répondre à cette interrogation : trace des **histogrammes** des erreurs aux points de croisement, trace de la valeur absolue de la **différence** entre les deux signaux de haute fréquence (variations d'agitation), **analyse spectrale** des deux enregistrements (cohérence et densité spectrale).

Histogrammes des erreurs sur l'anomalie aux points de croisement :

Comme décrits au paragraphe 5.2.1, les histogrammes de l'erreur sur l'anomalie aux points de croisement indiquent que l'erreur commise en réduisant les mesures marines à partir des enregistrements de la station sol est de 6 nT inférieure à celle provenant d'une réduction utilisant les enregistrements d'un observatoire éloigné (Chambon-la-Forêt).

Si l'on rapporte chacune de ces erreurs sur l'amplitude des anomalies détectées et que l'on détermine les pourcentages d'erreur on obtient les résultats du tableau 2.

Rappelons que les valeurs de 22 et 16 nT prises respectivement pour Chambon-la-Forêt et Ault sont les valeurs d'erreur maximale dans 99 % des cas.

Ainsi l'erreur sur la mesure de l'anomalie est :

- d'autant plus grande que l'amplitude de l'anomalie est faible ;
- d'autant plus grande que la station sol est éloignée de la zone de prospection marine.

Valeur absolue de la différence entre les variations d'agitation enregistrées simultanément à Ault et à Chambon-la-Forêt :

Afin de s'assurer de cette constatation et d'illustrer l'importance de la variabilité spatiale du champ magnétique externe, les signaux haute fréquence enregistrés simultanément à Ault et Chambon-la-Forêt au cours des deux périodes de mesure sont comparés (figures 15 et 16) : si les allures générales de ces deux courbes semblent, dans une première approche, être similaires, la courbe représentant la valeur absolue de la différence entre ces deux enregistrements montre d'importantes disparités. **Ainsi, la valeur de la différence entre ces deux enregistrements peut être égale à la valeur des variations d'agitation.**

Analyse spectrale du champ magnétique total enregistré simultanément à Ault et à Chambon-la-Forêt :

La **densité spectrale** calculée séparément pour chacun des enregistrements du champ magnétique total d'Ault et de Chambon-la-Forêt révèle trois populations de longueurs d'onde composant le champ magnétique externe. Des longueurs d'onde supérieures à 1 000 s (30 minutes) qui correspondent aux *variations diurnes*, des longueurs d'ondes comprises entre 100 et 1 000 s (*variations d'agitation*) et des longueurs d'onde comprises entre 20 et 100 s (*variations d'agitation de plus haute fréquence*).

La **cohérence du spectre** est représentée comme étant la valeur du coefficient de corrélation linéaire (nombre sans dimension compris entre 0 et 1) en fonction du logarithme de la longueur d'onde (s) : elle permet de *comparer deux séries de mesures et d'en apprécier les différences*. Le coefficient de corrélation linéaire vaut 1 lorsque deux séries de valeurs sont identiques et vaut 0 lorsque les deux séries ne présentent aucune similitude. Les figures 17 et 18 indiquent, pour chacune des deux séries de mesures réalisées simultanément à Ault et Chambon-la-Forêt, que **les enregistrements sont très mal corrélés** (coefficient de corrélation < 0,30 dans la majorité des cas).

Tableau 2

Pourcentage d'erreur sur la mesure de l'anomalie	Chambon-la-Forêt (22 nT)	Ault (16 nT)
Secteur 4 : amplitude de 108 nT	20,37 %	14,81 %
Secteur 3 : amplitude de 128 nT	17,19 %	12,50 %
Secteur 2 : amplitude de 296 nT	7,43 %	5,40 %
Secteur 1 : amplitude de 1 110 nT	1,98 %	1,44 %

Figure 15 : Comparaison des signaux haute fréquence
du 24 au 26 mars 1995

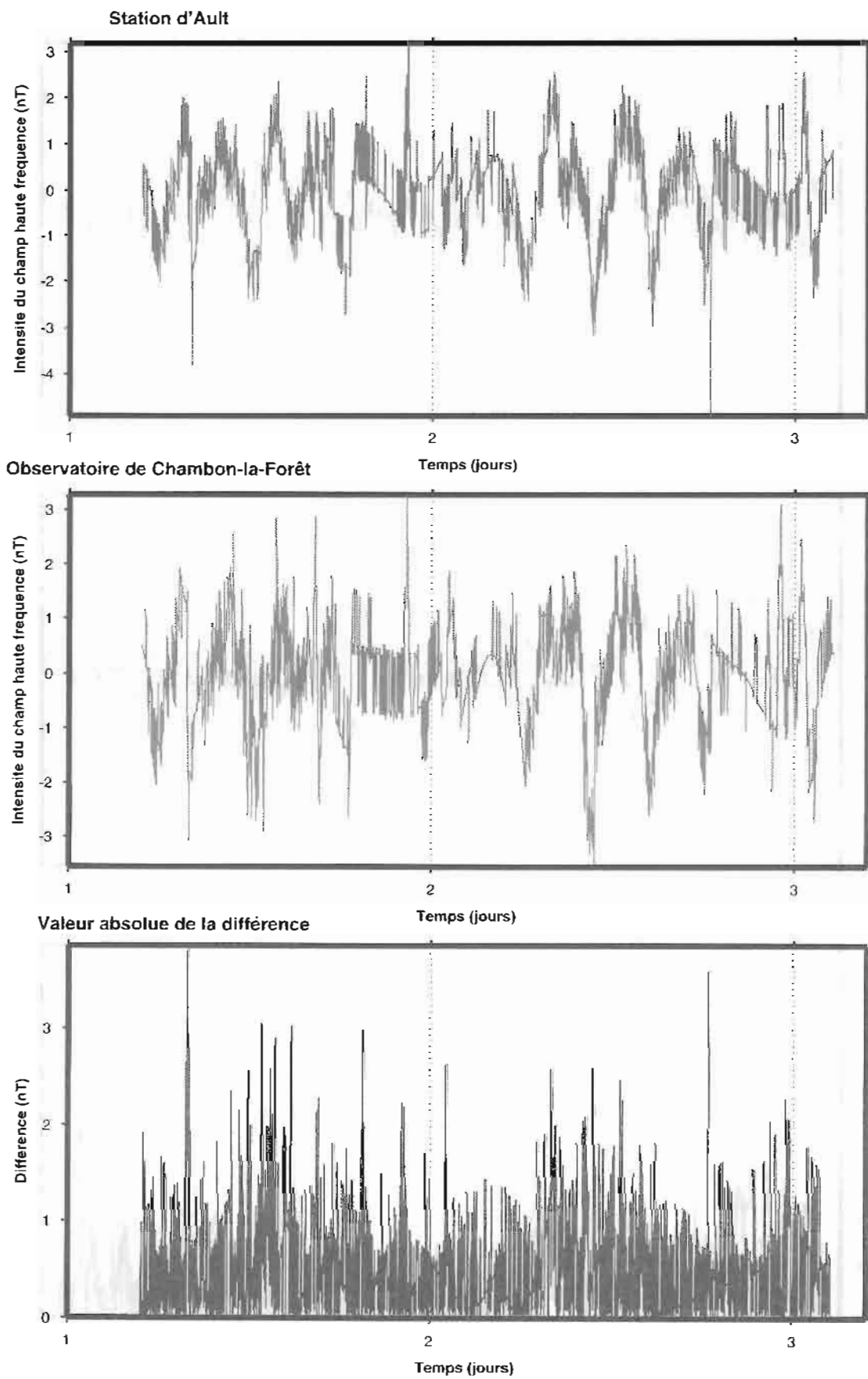


Figure 16 : Comparaison des signaux haute fréquence
du 30 mars au 2 avril 1995

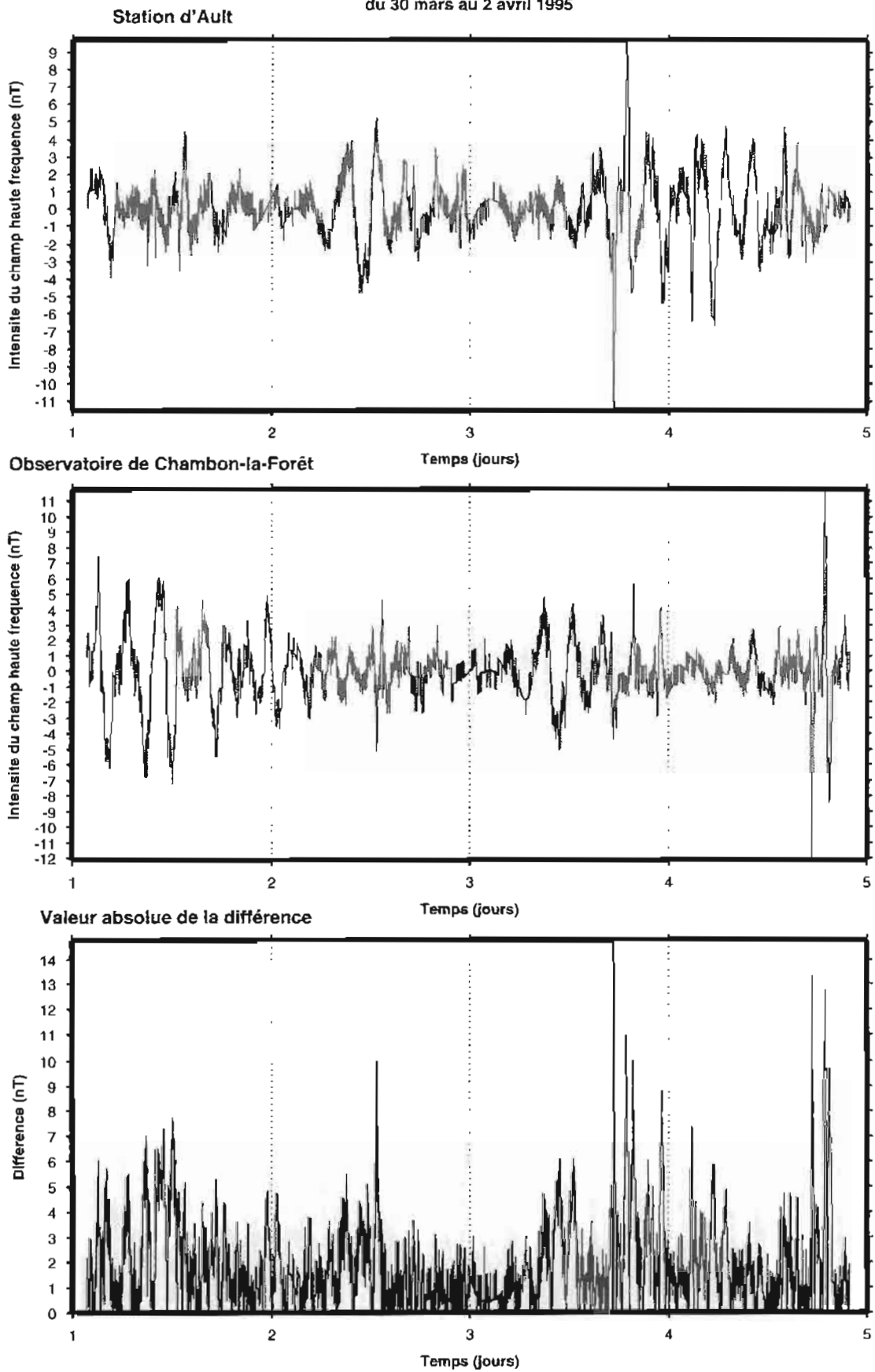


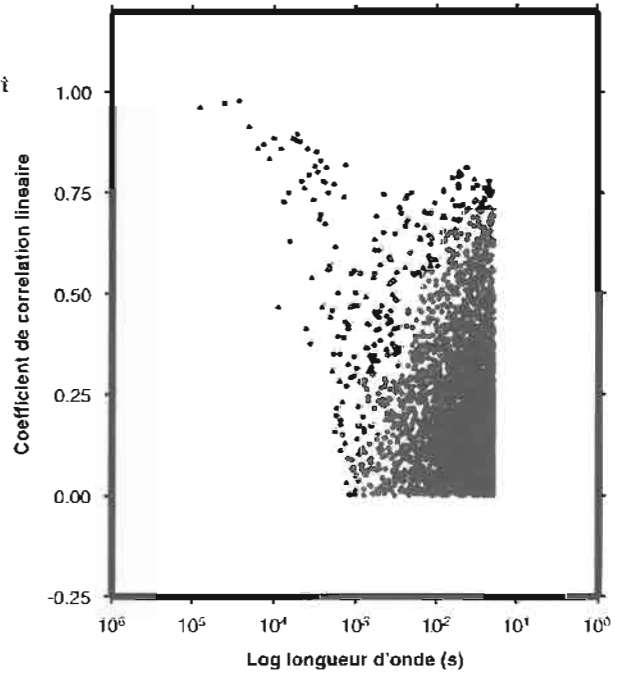
Figure 17

ANALYSE SPECTRALE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL Comparaison entre la station d'Ault et l'observatoire de Chambon-la-Forêt (Période 1 : du 24 au 26 mars 1995).

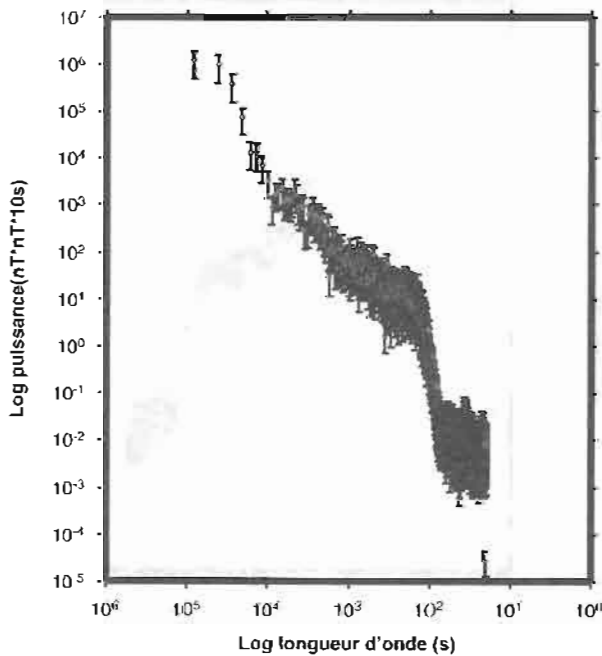
(1) : Forte densité de points présentant une faible cohérence pour les courtes longueurs d'onde ; faible densité de points présentant une forte cohérence pour les grandes longueurs d'onde (> 1000 s).

(2) et (3) : Trois populations de longueurs d'onde sont identifiées par leur densité spectrale.
 $t > 1000$ s : variations diurnes ;
 $100 < t < 1000$ s : variations d'agitation ;
 $20 < t < 100$ s : variations d'agitation de plus hautes fréquences.

(1) Cohérence du spectre



(2) Chambon-la-Forêt (densité spectrale)



(3) Ault (densité spectrale)

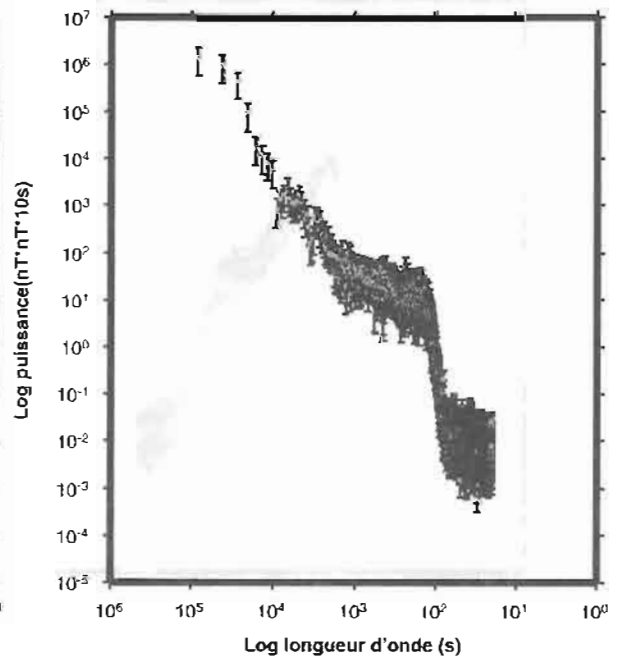


Figure 18

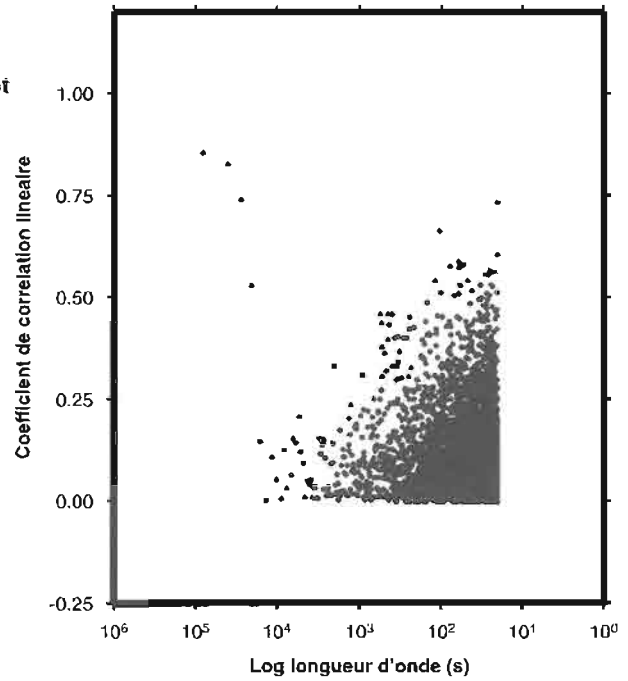
ANALYSE SPECTRALE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL

Comparaison entre la station d'Ault et l'observatoire de Chambon-la-Forêt
(Période 2 : du 30 mars au 2 avril 1995).

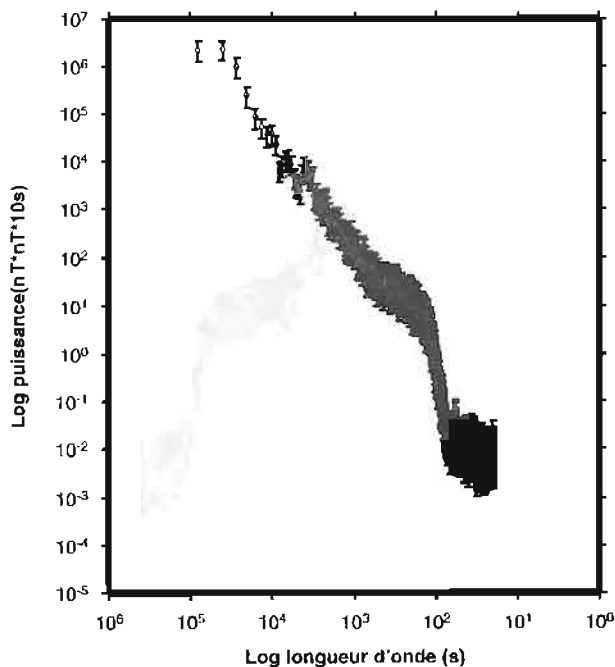
(1) : Forte densité de points présentant une faible cohérence pour les courtes longueurs d'onde ;
très faible densité de points présentant une forte cohérence pour les grandes longueurs d'onde (> 10000 s).

(2) et (3) : Trois populations de longueurs d'onde sont identifiées par leur densité spectrale.
 $l > 1000$ s : variations diurnes ;
 $100 < l < 1000$ s : variations d'agitation ;
 $20 < l < 100$ s : variations d'agitation de plus hautes fréquences.

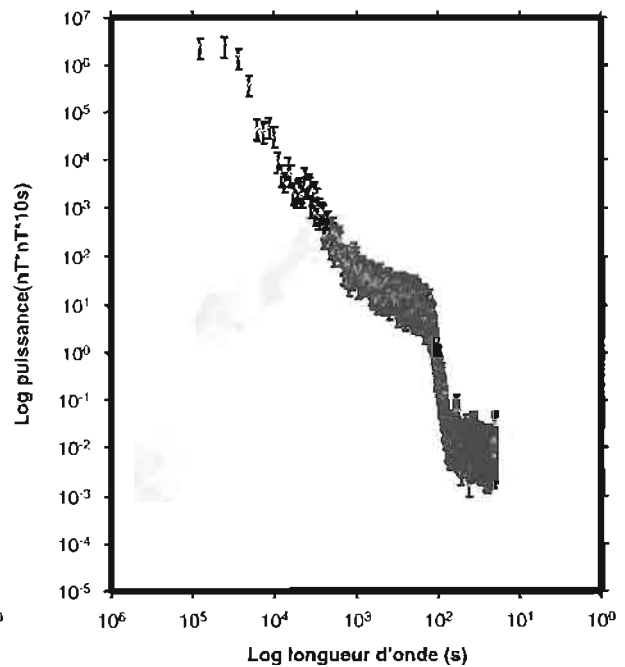
(1) Cohérence du spectre



(2) Chambon-la-Forêt (densité spectrale)



(3) Ault (densité spectrale)



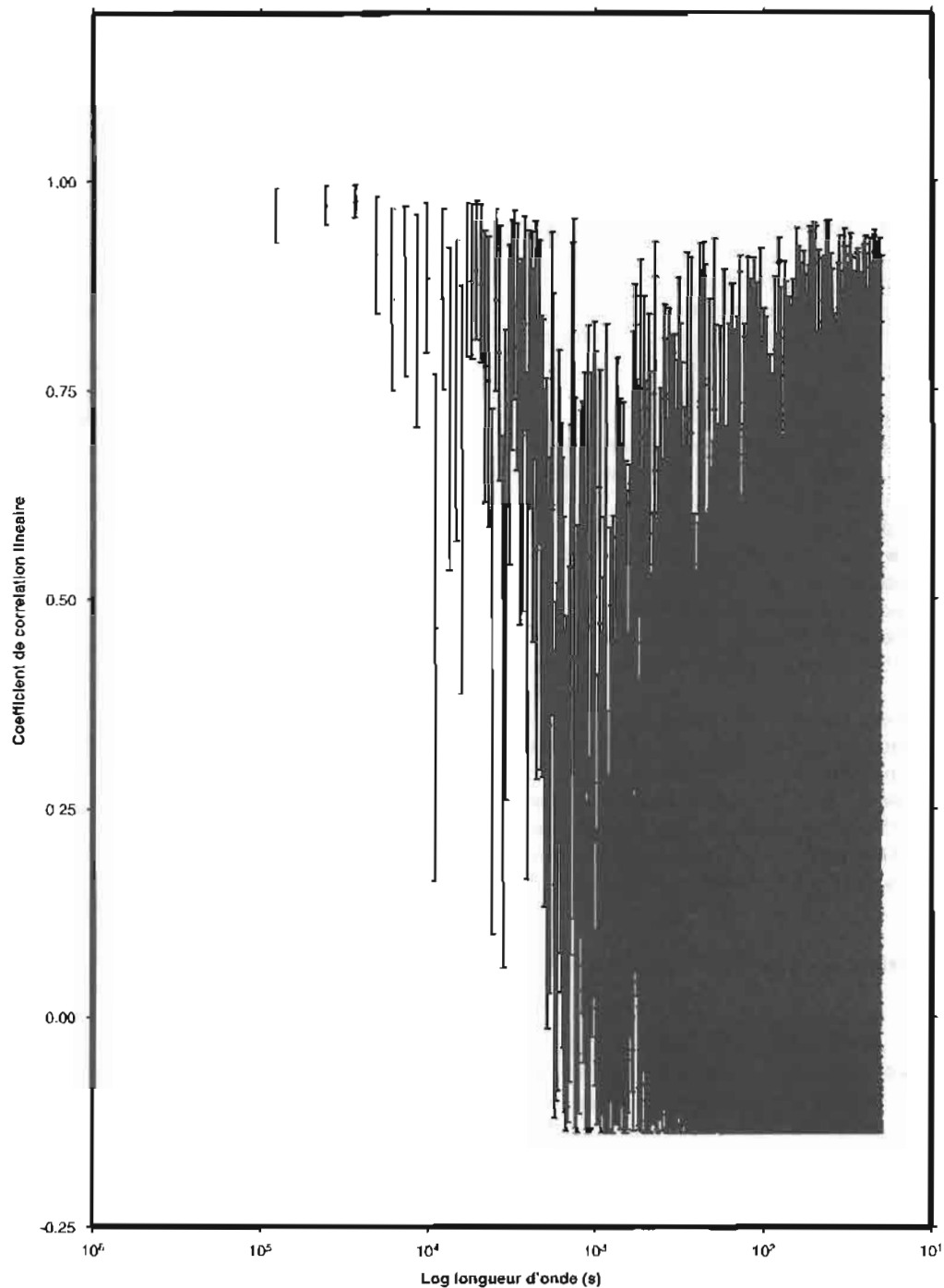
La figure 19 est un agrandissement de la représentation de la cohérence du spectre de la figure 17 sur laquelle sont ajoutées les barres d'erreur : on constate

ainsi, comme on s'y attendait, que l'incertitude sur le coefficient de corrélation linéaire diminue lorsque la longueur d'onde augmente.

Figure 19

ANALYSE SPECTRALE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL
Comparaison entre la station d'Ault et l'observatoire de Chambon-la-Forêt
(Période 1 : du 24 mars au 26 mars).

Cohérence du spectre



L'analyse spectrale du champ magnétique total montre que les enregistrements d'Ault et de Chambon-la-Forêt présentent de grandes disparités, surtout pour les courtes longueurs d'ondes. Or, le rôle de la station sol est de permettre de soustraire au champ magnétique total mesuré la valeur du champ magnétique externe. La longueur d'onde de coupure utilisée lors du traitement pour séparer ces deux composantes est de 5 heures, soit $1,8.10^4$ s. Et justement, les cohérences du spectre indiquent que les corrélations entre les enregistrements d'Ault et Chambon-la-Forêt sont médiocres en-deçà de cette longueur d'onde !

Cette étude confirme l'importance de la variabilité spatiale du champ magnétique externe et illustre l'intérêt d'utiliser une station à proximité immédiate de la zone maritime prospectée afin d'approcher au mieux la valeur du champ d'anomalie.

6.2. Positionnement du capteur

Comme évoqué au paragraphe 3.1.4, la position du capteur remorqué derrière le bâtiment hydrographique est calculée à l'aide d'un algorithme. Cet algorithme tient compte des paramètres de navigation du bâtiment, de la longueur de la ligne filée, du point de croche et du point de référence.

L'intégration de ces différents paramètres introduit une erreur finale sur la position du capteur qui est de l'ordre de 20 m dans un plan horizontal.

Erreur associée à la position du poisson :

Le gradient magnétique moyen le plus fort calculé sur la zone, selon une direction N45, est de 3,215 nT/km. Ainsi, avec une erreur de positionnement de 20 m, l'erreur maximale associée est de 0,064 nT ($20 \times 3,215 \times 10^{-3}$).

Sur la zone prospectée, hors des secteurs 1, 2, 3 et 4, le champ d'anomalie varie de 55 à 85 nT. L'erreur maximale associée à l'erreur de positionnement du poisson (0,064 nT) est alors comprise entre 0,075 % et 0,0116 % de la valeur du champ d'anomalie. Cette erreur est considérée comme négligeable.

Cependant, afin d'améliorer la précision sur le positionnement du capteur, il conviendrait, par exemple, de placer un système de positionnement (réflecteur radar, par exemple) à la verticale du capteur immergé. Ce type de dispositif est utilisé à l'heure actuelle par des sociétés de services (Compagnie Générale de Géophysique) lors des prospections par sismique réflexion en mer (positionnement de la flûte sismique).

6.3. Mesures magnétiques et levé hydrographique : compatibilité

Le levé magnétique de la baie de Somme a permis l'acquisition de 17 449 mesures. La carte du champ de l'anomalie magnétique issue du traitement de ces mesures magnétiques marines a révélé quatre secteurs où les amplitudes des anomalies sont fortes (de 108 à 1 110 nT).

Par ailleurs, le calcul des erreurs sur l'anomalie aux points de croisement permet d'estimer à 5 nT la précision (déduite de l'écart-type : σ) sur la détermination de l'anomalie. Ce qui est relativement faible par rapport à l'amplitude des anomalies.

Ainsi, l'acquisition de données magnétiques au cours des levés hydrographiques conduit à des résultats assez satisfaisants.

6.4. Amélioration de la résolution et de la précision

La résolution est définie dans le domaine spatial. Celle-ci pourrait être améliorée en adaptant la couverture spatiale aux mesures marines en fonction de la profondeur.

La précision est exprimée en fonction de l'écart-type des écarts aux intersections de profils. Plus celui-ci est faible, meilleure est la précision. Ainsi, l'exemple de la Baie de Somme montre que l'écart-type des écarts est réduit d'environ 50 % si une station proche du levé est utilisée pour l'estimation des variations temporelles. De plus, les effets magnéto-hydrodynamiques résiduels ($\sigma = 5$ nT) pourrait être diminués en utilisant une station placée au centre de la zone de mesure.

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le levé magnétique en baie de Somme, par petits fonds, a montré que l'acquisition simultanée de données sédimentologiques et magnétiques au cours des missions hydrographiques permet d'obtenir des résultats de bonne qualité.

Cependant, si la méthode de réduction des mesures magnétiques marines est efficace, il est encore possible d'améliorer les techniques de détection des masses métalliques en mer (objets métalliques de petites tailles, câbles...). Et notamment en modifiant les conditions d'acquisition des données marines :

- il conviendrait de trouver un compromis entre la vitesse d'avancement du navire hydrographique et la fréquence d'acquisition des mesures afin d'obtenir une maille de prospection dont le pas serait nettement inférieur à 30-45 m. Et ce, évidemment, en fonction de la dimension des objets recherchés ;

- amélioration du positionnement du poisson ;

- des travaux récents du LETI (réf. 5) montrent que le système eau de mer-sédiments marins joue un rôle de filtre qui, en fonction des cas (conductivité des sédiments, épaisseur des couches sédimentaires, morphologie de la plate-forme...) atténué ou bien augmente le signal enregistré ("coast effect"). Or, les stations côtières utilisées (Ault, les Açores) ne permettent pas de quantifier cet effet de filtre du milieu marin. Aussi, il serait intéressant, pour les prochaines campagnes d'acquisition de données magnétiques en mer, d'immerger un magnétomètre dans la zone de prospection (en position centrale) afin de s'abstraire de cet effet de filtre.

Par ailleurs, des travaux visant à connaître la profondeur d'immersion des sources magnétiques, leurs contours et leurs masses métalliques sont en cours. Les résultats de ces développements devraient permettre de compléter cette phase de détection des épaves et obstructions métalliques par petits fonds.

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Réf. 0** : GUYOT, I. (01.97). *Méthode de réduction des mesures magnétiques*. EPSHOM, section Géodésie-Géophysique, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.
- Réf. 1** : LALANCETTE, M.F. (25.01.95). *Mesures magnétiques en baie de Somme*. (fiche n° 122 EPSHOM/CH/GG/NP). EPSHOM, section Géodésie-Géophysique, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.
- Réf. 2** : LELONG, G. (03.95). *Enregistrement du champ magnétique en station terrestre*. EG&G GEOMETRICS). Rapport technique. EPSHOM, section Géodésie-Géophysique, B.P. 426, 29275 Brest Cedex.
- Réf. 3** : MOUSCARDÈS, P. (10.03.95). *Travaux à effectuer par le BH2 Lapérouse du 20 mars au 3 avril 1995* (instruction particulière n° 76 MHA/NP). Mission Hydrographique de l'Atlantique, Centre Marine de la Villeneuve, 29240 Brest Naval.
- Réf. 4** : MOUSCARDÈS, P. (27.08.96). *Levé des abords de la baie de Somme*. (rapport particulier n° 177 MHA/NP). Mission Hydrographique de l'Atlantique, Centre Marine de la Villeneuve, 29240 Brest Naval.
- Réf. 5** : ROBACH, F., BERTHIER, J., FLAMENT, B. (29.10.96). *Etude des effets géomagnétiques induits près des côtes*. CEA-LETI/EMRC, Département Systèmes, Service Capteurs et Systèmes pour la magnétométrie et l'électromagnétisme. CEA Grenoble, 38054 Grenoble Cedex 9.
- Réf. 6** : PRESS H.W., TEVKOLSKY S.A., VETTERLING W.T., FLANNERY B.P. *Numerical Recipes in C. The art of Scientific Computing*, Second Edition. Cambridge University Press, 963 pp.

9. ANNEXE

Cette annexe comporte des illustrations photographiques des magnétomètres marin (SMM92) et terrestre (EG&G GEOMETRICS G-856X.) utilisés lors de la prospection magnétique en baie de Somme.

Installation du magnétomètre EG & G GEOMETRICS G-856X au sémaphore d'Ault.



Le magnétomètre SMM92, avec ses quatre ailerons stabilisateurs sur le pont arrière du BH2 *Lapérouse*.



Mise à l'eau d'un manémètre SMM92 pour évaluation.



PC du BH2 *Lapérouse* en configuration AQIDOC Bâtiment.

DÉTECTION AUTOMATIQUE DES ERREURS PONCTUELLES PRÉSENTES DANS LES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES À L'AIDE D'UN ESTIMATEUR ROBUSTE

Nathalie DEBESE

Résumé

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (**SHOM**) exploite depuis 1988 deux sondeurs multifaisceaux. Ces systèmes réalisent une insonification totale des fonds marins dans une large bande située de part et d'autre du navire.

Par rapport aux systèmes de sondages monofaisceau, la résolution des mesures fournies a été considérablement accrue. Toutefois, des erreurs subsistent qu'il est nécessaire de détecter et d'éliminer pour obtenir des levés bathymétriques répondant aux normes hydrographiques internationales.

Le volume élevé des données acquises par ces systèmes d'acquisition, particulièrement dans le cas des sondeurs petits fonds, rend inappropriée toute validation manuelle des données. Afin de réduire le coût opératoire que représente cette phase d'épuration des données, le **SHOM** a développé des algorithmes de détection automatique de sondes douteuses.

L'algorithme décrit dans l'article s'appuie sur une modélisation locale des fonds marins. L'ajustement d'une quadrique sur les données brutes est effectué avec l'aide d'un *estimateur robuste*. L'estimateur de *Tukey* a été retenu en raison de son caractère adaptatif. De forts écarts mesurés entre les profondeurs mesurées et celles estimées par le modèle désignent les sondes potentiellement erronées. Une confrontation locale des résultats permet alors d'extraire de cet ensemble les sondes erronées.

Cet algorithme a été testé sur différents jeux de données bathymétriques. Son efficacité a été démontrée indépendamment des profondeurs ou types de reliefs envisagés. Qui plus est, son application ne requiert que l'ajustement de deux paramètres de contrôle. Pour ces raisons, il est actuellement utilisé à bord des bâtiments du **SHOM**.

Abstract

The Oceanographic and Hydrographic service of the Navy (SHOM) has been using two MultiBeam Echo-Sounders (MBES) since 1988. These systems enable swath coverage of the sea floor along a survey line.

Compared with single beam Echo-sounder systems, the resolution of the data provided by these systems has been considerably increased. Nevertheless, errors still remain and they must be detected and eliminated to meet the international standards of bathymetric charts.

The high volume of data, particularly in the case of very shallow water Echo-Sounder systems, makes manual validation of the data inappropriate. In order to reduce the operating costs of the data cleaning step, SHOM has developed algorithms to automatically detect huge data sets generated by MultiBeams.

The algorithm described in this paper is based on a local modelization of the seabed. The fitting of a quadratic surface over the raw data is carried out using a robust estimator. We retained Tukey robust estimator as the most effective choice due to its adaptative capabilities. Possible outliers are soundings with high residual values between measured depths and depths estimated from the local model. Retained outliers are deduced from this first outliers set, by computing local cross validation.

This algorithm has been tested on different bathymetric data sets. Its efficiency has been demonstrated whatever the depth or type of seabed. Moreover, its application only requires two parameters to be set, thus making it the obvious choice. It has currently been adopted and installed on board all the SHOM's ships.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ 1. INTRODUCTION	7-3
■ 2. DESCRIPTION DE L'ALGORITHME	7-3
2.1. Principe général	7-3
2.2. Caractéristiques principales d'un estimateur robuste	7-4
2.3 L'estimateur de <i>Tukey</i> : un cas particulier de <i>W</i> -estimateur	7-7
2.4 Paramètres de l'algorithme	7-7
2.5 Modes de fonctionnement de l'algorithme	7-8
■ 3. DESCRIPTION DES JEUX DE DONNÉES	7-11
■ 4. ÉVALUATION DE L'ALGORITHME	7-17
4.1. Ajustement des paramètres	7-17
4.2. Résultats	7-18
■ 5. CONCLUSION	7-19
■ 6. RÉFÉRENCES	7-20

1. INTRODUCTION

Le **SHOM** utilise depuis une dizaine d'années des sondeurs multifaisceaux pour l'exécution de ses levés bathymétriques. Le principe de fonctionnement des sondeurs multifaisceaux repose sur la technique sonar de formation des voies. Une onde sonore de courte durée est émise en direction du fond qu'il s'agit de retrouver dans le faisceau de réception. La bathymétrie est déduite du temps de propagation de l'onde sonore. Le sondage ne s'effectue plus uniquement à la verticale du navire, comme c'est le cas pour les sondeurs monofaisceau, mais sur toute une fauchée perpendiculairement à la route du navire.

L'utilisation de sondeurs multifaisceaux pour l'exécution de levés bathymétriques permet d'accroître la densité des mesures tout en améliorant leur résolution. Néanmoins, l'expérience montre que ces mesures peuvent comporter sporadiquement des données aberrantes. Les erreurs rencontrées peuvent s'expliquer par des phénomènes de réflexion du signal, être imputables aux mauvaises conditions météorologiques (faible rapport signal sur bruit), ou bien encore être dues à la présence de bulles devant les transducteurs. Bien que ces taux d'erreurs restent généralement très faibles, leur élimination s'avère indispensable si l'on veut pouvoir produire des cartes bathymétriques permettant d'assurer la sécurité de la navigation. A titre d'exemple, une étude réalisée par le **SHOM** [DEB 97] estime à moins de 0,5% ce taux d'erreurs dans le cas particulier du sondeur multifaisceaux Simrad EM12-Dual.

L'élimination des mesures erronées est un point crucial du traitement des données bathymétriques. Deux approches sont couramment envisagées pour l'aborder :

- la première est entièrement manuelle. Un opérateur est chargé de visualiser une à une les sondes d'un levé. La détection des sondes erronées, qui repose sur une validation locale de la bathymétrie, est laissée au libre arbitre de l'opérateur.
- la seconde est, à l'inverse, entièrement automatique. L'identification des sondes potentiellement erronées s'effectue par application d'algorithmes. Il s'agit de valider un ensemble de règles que l'on s'est préalablement définies.

Le **SHOM** a opté pour une solution intermédiaire s'appuyant sur une utilisation conjointe de ces deux approches. La phase de validation des données est toujours du ressort de l'opérateur qui décide d'invalider ou non les sondes douteuses que lui désigne un ou un ensemble d'algorithmes.

Cette approche hybride, qui répond à un souci d'homogénéisation des traitements réalisés nécessairement par différents opérateurs, offre un bon compromis temps de traitement/qualité d'épuration.

Tous les algorithmes de détection automatique de sondes erronées, issus des différentes études réalisées par le **SHOM**, s'appuient sur l'hypothèse d'une continuité locale de la bathymétrie. On distingue cependant deux catégories d'algorithmes. La première se compose d'algorithmes déduits d'une classification *définie a posteriori* d'un jeu d'environ cinq millions de sondes épuré manuellement.

Cette étude [DEB 97] a abouti à la construction de trois algorithmes spécifiquement dédiés aux données issues du sondeur grands fonds Simrad EM12-Dual.

L'algorithme décrit dans ce papier appartient à la seconde catégorie. La détection des erreurs ponctuelles s'appuie sur une modélisation locale de la bathymétrie. Le modèle retenu est une quadrique. Ainsi qu'introduit dans [DEB 98], la modélisation est directement réalisée sur les données brutes avec l'aide d'un estimateur robuste. Les estimateurs robustes les plus aisés à mettre en oeuvre, sont les estimateurs pondérés, que l'on désigne sous le vocable de *W-estimateurs*. Dans cette classe, notre choix s'est porté sur l'estimateur de *Tukey*, en raison de son caractère adaptatif. Comme la plupart des méthodes robustes, l'estimateur s'appuie sur une mesure résiduelle de l'information pour identifier les points potentiellement aberrants : un résidu élevé indique une forte déviation du point par rapport au modèle supposé. Les points douteux sont désignés comme erronés après confrontation des résultats locaux.

L'algorithme de détection automatique des erreurs ponctuelles présentes dans les données bathymétriques est décrit dans le paragraphe ci-après. Son évaluation a été réalisée sur cinq jeux de données réelles issus de différents sondeurs multifaisceaux (petits et grands fonds) choisis pour la diversité de leurs reliefs. Les jeux de données sont présentés dans le paragraphe 3. les critères et résultats de l'évaluation sont fournis dans le paragraphe 4.

2. DESCRIPTION DE L'ALGORITHME

2.1 Principe général

L'algorithme s'appuie sur l'hypothèse qu'il existe au moins une échelle de représentation des reliefs marins pour laquelle leur modélisation par une quadrique (1) est possible. Comme cet objectif est difficilement réalisable sur l'ensemble d'une zone géographique, il convient donc de la diviser en régions. On a choisi, en l'occurrence, un découpage en cellules carrées de taille identique (L). S'il s'avère que le modèle quadratique local est statistiquement vérifié, il devient alors possible d'utiliser l'information résiduelle, mesurée à partir de la profondeur réelle et de celle estimée par le modèle, pour contrôler la cohérence de chaque sonde vis à vis de son voisinage.

$$y = a_3 x_1^2 + a_4 x_2^2 + a_3 x_1 x_2 + a_2 x_1 + a_1 x_2 + a_0 = \hat{A} \cdot X \quad (1)$$

Lorsqu'il s'agit de détecter les erreurs ponctuelles présentes dans les données bathymétriques, le résidu mesuré peut être attribué à deux sources de bruit, à savoir [GAU 96] :

- le bruit de mesure du capteur, que l'on supposera gaussien,
- le bruit des erreurs ponctuelles, lié à des phénomènes erratiques, de loi de distribution non connue, mais à caractère non gaussien.

En présence de points aberrants, comme c'est le cas ici, une technique d'estimation classique, telle que celle des

moindres carrés (2), ne peut être utilisée puisque tous les points contribuent de façon identique à la construction de la surface.

$$\hat{A} = \operatorname{argmin}_A \sum_{i=1}^N (y_i - A \cdot X_i)^2 \quad (2)$$

Le calage de la surface sur des points aberrants peut parfois conduire au rejet de points valides, comme c'est le cas sur la figure 2-1 (a). Pour pouvoir déterminer les paramètres du modèle, l'utilisation d'une technique d'estimation robuste s'impose.

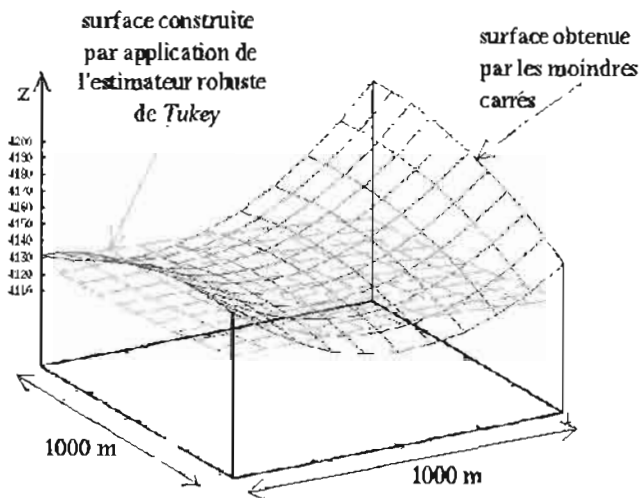


Figure 2-1 (a) - Comparaison d'une surface construite par la méthode des moindres carrés avec celle obtenue à l'aide d'une estimation robuste. L'estimateur utilisé est celui de Tukey.

2.2 Caractéristiques principales d'un estimateur robuste

L'estimation robuste vise la construction d'estimateurs faiblement influencés par la présence de points aberrants - communément appelés "outliers". Ainsi que le souligne Rousseeuw dans [ROU 87], ces estimateurs ne vont pas purement et simplement chercher à éliminer les points extérieurs. Au contraire, c'est à partir des résidus qui seront calculés à partir de ces estimateurs qu'il sera possible de mettre en évidence la présence de tels points au sein du jeu de données.

Contrairement à une méthode d'estimation basée sur la technique des moindres carrés, une procédure d'estimation robuste ne cherchera pas à se caler sur l'ensemble des données. Sur la figure 2-2 (a), les sondes erronées qui s'écartent de la surface ajustée sur les sondes valides possèdent, de fait, un résidu élevé. Néanmoins pour que l'estimateur robuste puisse effectivement se caler sur les données valides, il faut encore que ces dernières représentent plus de 50% du jeu initial.

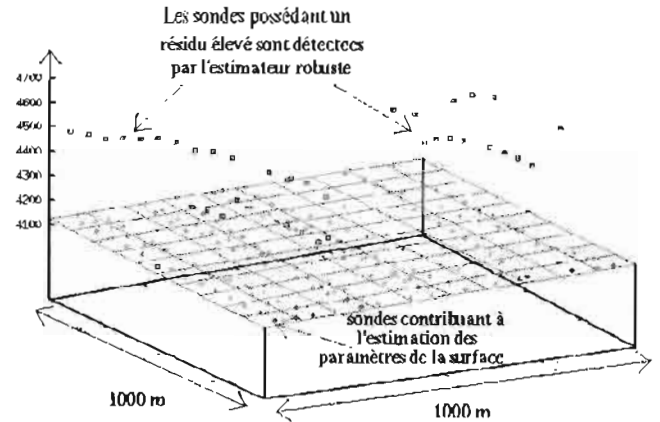


Figure 2-2 (a) - Les sondes marquées d'un carré ont été désignées par l'estimateur de Tukey comme erronées, celles repérées par un losange participent à l'estimation des paramètres de la quadrique. La région présentée est une cellule carrée de 1000 mètres de côté, qui contient environ 290 sondes (dont près de 15% sont erronées).

Dans la littérature [PRES 92], il est courant de regrouper les estimateurs robustes en trois catégories, chacune correspondant à un mode de construction particulier.

- **Les M-estimateurs** : sont grossièrement une généralisation de l'estimateur du maximum de vraisemblance. C'est la classe d'estimateurs habituellement utilisée dans les problèmes de modélisation de données. L'estimateur de Tukey est issu de cette classe.
- **Les L-estimateurs** : sont construits comme combinaison linéaire de statistiques.
- **Les R-estimateurs** : sont déduits de tests statistiques

Définition :

On se propose de représenter un ensemble constitué de N points $p_i = (X_i, y_i)_{i=1, \dots, N}$ au moyen de la classe de fonctions définies par (1). Pour tenir compte de l'incertitude caractéristique des mesures, on dira qu'en chaque point p_i d'abscisse $X_i = (x_1, x_2)_i$ supposé généralement fixe (ce qui est vrai lorsque le modèle est connu par avance). y_i est la réalisation d'une variable aléatoire, notée : Y_i . On parle alors d'échantillon de taille N pour désigner l'ensemble des N vecteurs aléatoires Y_i . Lorsque l'échantillon $Y_1 \dots Y_N$ est gaussien, l'estimateur aux moindres carrés est l'estimateur maximum de vraisemblance.

On suppose, à présent, que l'on dispose d'un échantillon $Y_1 \dots Y_N$, où les Y_i sont des variables aléatoires indépendantes mais de loi de probabilité quelconque. Soit $\rho(y_i, y(X_i))$ l'opposé du logarithme de la densité de probabilité de Y_i , alors le M-estimateur est l'estimateur du maximum de vraisemblance que l'on déduit en minimisant l'expression (3) :

$$\sum_{i=1}^N \rho(y_i, y(X_i)) \quad (3)$$

La mesure y et valeur prédite $y(X_i)$ étant généralement liées, on réécrit la fonction ρ pour qu'elle dépende de :

$$\frac{r_i}{\sigma_i} = \frac{y_i - y(X_i)}{\sigma_i} = z \quad (4)$$

où σ_i est le facteur d'échelle associé à la mesure y_i .
Il s'agit alors de minimiser :

$$\sum_{i=1}^N \rho\left(\frac{r_i}{\sigma_i}\right) \quad (5)$$

La fonction $\rho(y)$ est une fonction de coût [SOM 96], qui doit être continue, symétrique et posséder un minimum unique en 0.

Propriétés :

La classe des M-estimateurs comporte un grand nombre d'éléments. On présente brièvement, dans ce qui suit, quelques unes des propriétés de ces estimateurs, le but étant de pouvoir les différencier.

On mesure la robustesse d'un estimateur en faisant varier la taille de l'échantillon $Y_1 \dots Y_N$. La variable aléatoire \hat{E} - estimateur des paramètres du modèle - dépend à la fois de Y mais également de N . Cette notion est proche de celle de continuité suivant N de la fonction \hat{E} .

Cette propriété [HAM 86] pp 40-47 permet seulement d'éliminer les procédures d'estimation classiques. Elle ne permet pas de comparer, en termes de robustesse, plusieurs estimateurs robustes.

D'un point de vue physique, elle reflète l'idée qu'une faible perturbation de la taille de l'échantillon doit avoir de faibles effets sur l'estimateur.

La fonction d'influence d'un estimateur robuste est utilisée pour mesurer les effets de perturbations infinitésimales sur l'estimateur. Pour un ensemble suffisamment grand de réalisations de loi de distribution L - où L est la loi de vraisemblance de l'échantillon - [HAM 86], la fonction d'influence ψ reflète les perturbations d'un point quelconque sur la statistique E .

$$\psi(z) = \frac{d}{dz} \rho(z) \quad (6)$$

Le point d'effondrement d'un estimateur robuste est la plus petite fraction de points contaminés qui perturbe l'estimateur.

Lorsque l'on applique l'estimateur \hat{E} à la réalisation $z = (y_1, \dots, y_N)$ de l'échantillon (Y_1, \dots, Y_N) , on obtient le vecteur de coefficients de régression \hat{A} . On construit, à présent, une nouvelle réalisation t' de l'échantillon (Y_1, \dots, Y_N) , en remplaçant P points par des valeurs arbitraires, les autres valeurs étant conservées. Tout se passe comme si on avait volontairement introduit P points aberrants. On obtient ainsi un second vecteur de coefficients de régression \hat{A}' .

On définit le biais $B(P, E, z)$ par :

$$B(P, E, z) = \sup_z \left| \hat{A}' - \hat{A} \right| \quad (7)$$

Le point d'effondrement correspond au nombre minimum de points P pour lequel le biais devient infini.

Pour l'estimateur aux moindres carrés un seul point aberrant peut remettre en cause le vecteur de régression obtenu. Le point d'effondrement de cet estimateur vaut : $1/N$, si N représente la taille de l'échantillon. Lorsque N tend vers l'infini, le point d'effondrement tend vers 0, ce qui reflète l'extrême sensibilité de l'estimateur aux moindres carrés au bruit de mesure.

Un estimateur est d'autant plus intéressant que son point d'effondrement est élevé, autrement dit qu'il est peu sensible aux erreurs grossières.

Obtenir un point d'effondrement élevé soit 0,5 - qui est la valeur maximale possible - est chose facile [ROU 87]. En fait, dès que l'on cherche à atténuer la sensibilité de l'estimateur aux erreurs grossières, on se heurte à des problèmes d'efficacité : plus les estimateurs sont robustes et moins ils sont efficaces (i.e. ces estimateurs sont sans biais et de variance minimale). En ce sens, les M-estimateurs sont optimaux.

Construction :

On a vu précédemment qu'un M-estimateur \hat{E} minimise :

$$\sum_{i=1}^N \rho\left(\frac{r_i}{\sigma_i}\right) \quad (8)$$

En écrivant que :

$$\psi(z) = \frac{d}{dz} \rho(z) \quad (9)$$

\hat{E} est donc solution de l'équation :

$$\sum_{i=1}^N \psi\left(\frac{r_i}{\sigma_i}\right) = 0 \quad (10)$$

Ce qui se ramène à la résolution d'un système de M équations non linéaires, en général difficile à résoudre. On est donc contraint à reformuler le problème différemment.

Pour définir un M-estimateur, on a supposé que chaque variable aléatoire Y_i suivait une loi de probabilité p de la forme :

$$p(r_i) \propto \frac{1}{\sigma} g\left(\left(\frac{r_i}{\sigma}\right)^2\right) \quad (11)$$

où :

$$r_i = y_i - y(x_i, a) \quad (12)$$

$$r_i = y_i - \sum_{j=1}^M a_j x_{ij} \quad (13)$$

Le logarithme de la loi de vraisemblance de l'échantillon de taille N s'écrit :

$$L(a, \sigma | y_1, \dots, y_N) = C - \frac{1}{2} N L_N \sigma + \sum_{i=1}^N L_N \left[g \left(\left(\frac{r_i}{\sigma} \right)^2 \right) \right] \quad (14)$$

On pose :

$$w_i = -2 \left[\frac{\partial}{\partial (u_i)} L_N [g(u_i)] \right] \quad \text{avec} \quad u_i = \left(\frac{r_i}{\sigma} \right)^2 \quad (15)$$

w est la fonction de poids.
alors :

$$\left. \frac{\partial}{\partial a_k} L(a, \sigma | y_1, \dots, y_N) \right|_{a=\hat{a}} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial a_k} L_N \left[g \left(\left(\frac{r_i}{\sigma} \right)^2 \right) \right] = \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \sum_{i=1}^N w_i \left(y_i - \sum_{j=1}^M \hat{a}_j x_{ij} \right) x_{ik} = 0 \quad \text{avec} \quad k=1, \dots, M \quad (16)$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial \sigma} L(a, \sigma | y_1, \dots, y_N) \right|_{a=\hat{a}} = -\frac{1}{2\hat{\sigma}^2} N + \frac{1}{2\hat{\sigma}^4} \sum_{i=1}^N w_i \left(y_i - \sum_{j=1}^M \hat{a}_j x_{ij} \right)^2 = 0 \quad (17)$$

On retrouve la forme habituelle (18) des moindres carrés pondérés,

$$\sum_{i=1}^N w_i \left(y_i - \sum_{j=1}^M \hat{a}_j x_{ij} \right) x_{ik} = 0 \quad \text{avec} \quad k=1, \dots, M \quad (18)$$

que l'on résout au moyen d'une méthode itérative. On parle encore de w -estimateurs pour désigner les M -estimateurs pouvant se mettre sous cette forme.

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \left(y_i - \sum_{j=1}^M \hat{a}_j x_{ij} \right)^2}{N} \quad (19)$$

(19) est l'estimateur sans biais de σ^2 dans la méthode des moindres carrés pondérés, à condition toutefois de remplacer N par $N-M$.

Les estimateurs robustes les plus simples à mettre en oeuvre sont les W -estimateurs [ROU 87], ou *IRLS-Estimateurs (pour Iterative Reweighted Least Squares)*. Leur construction itérative est basée sur la technique des moindres carrés généralisés.

- En appliquant une première fois les moindres carrés classiques - tous les points sont affectés d'un poids identique -, on obtient une première estimation des paramètres :

$$\left(\hat{a}_j^{(0)} \right)_{j=1, \dots, M} \quad (20)$$

- A partir d'une première estimation des résidus et des poids :

$$\left(w_i^{(0)} \right) \quad \text{et} \quad \left(r_i^{(0)} \right) \quad (21)$$

- La valeur des résidus est utilisée pour le calcul des poids à l'itération suivante.

$$\hat{A}^{(j)} = \arg \min_A \sum_i w_i^{(j-1)} r_i^{(j-1)^2}$$

avec

$$r_i^{(j-1)} = \left| z_i - \hat{A}^{(j-1)} X_i \right|^2 \quad (22)$$

et ainsi de suite jusqu'à vérification d'un critère de convergence.

A un *W-estimateur* donné correspond une fonction d'influence particulière [HAM 86]. Cette fonction affecte à chaque point, en fonction de la valeur de son résidu, son poids à l'itération suivante. L'objectif de cet article n'étant pas de décrire les techniques de construction des *W-estimateurs*, on notera simplement qu'ils sont généralement regroupés en trois classes suivant les caractéristiques de leur fonction d'influence. $\psi(\cdot)$:

- « descendante »,
- « brutalement descendante »,
- « redescendante ».

Les *W-estimateurs* usuels ont une fonction d'influence décroissante strictement positive.

Autrement dit, d'une itération à l'autre, aucun point n'est rejeté. Sur la figure qui suit, on a indiqué, pour chacune de ces classes, l'allure de la fonction de poids correspondante.

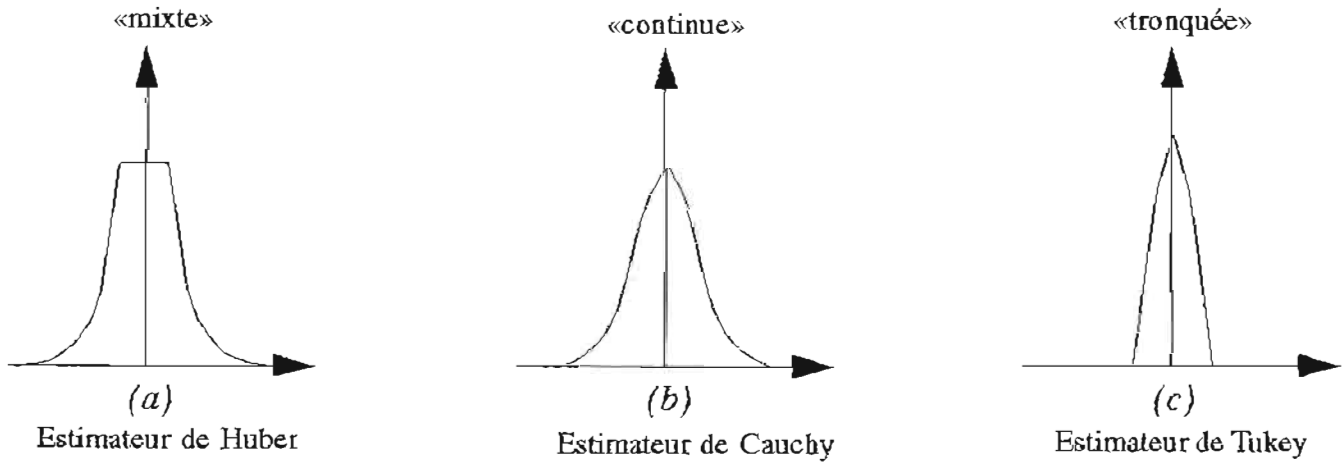


Figure 2-2 (b) - Illustration de l'allure de la fonction de pondération pour chaque classe de *W-estimateur*.

2.3 L'estimateur de Tukey : un cas particulier de *W-estimateur*

L'estimateur de *Tukey* est un cas particulier de *W-estimateurs*. Sa fonction d'influence de type « redescendante » est l'une des deux principales caractéristiques de l'estimateur. La fonction de poids qui lui est associée étant tronquée, des sondes peuvent être rejetées d'une itération à la suivante. Les sondes auxquelles est affecté un poids nul à la fin du processus itératif d'estimation sont celles désignées comme potentiellement erronées par l'estimateur.

Le second avantage, spécifique à l'estimateur de *Tukey*, provient de son caractère adaptatif - d'où son nom de «biweight» estimateur. Le seuil de rejet des sondes varie d'une itération à la suivante (23). Il dépend linéairement de la valeur médiane

$r_{\text{median}}^{(j-1)}$ calculée sur l'ensemble des résidus exprimés en valeur absolue et de α le coefficient de sensibilité de l'estimateur.

$$\begin{cases} w_i^{(j)} = \left(1 - \left(\frac{r_i^{(j-1)}}{\alpha \cdot r_{\text{median}}^{(j-1)}} \right)^2 \right)^2 & \text{si } r_i^{(j-1)} < \alpha \cdot r_{\text{median}}^{(j-1)} \\ w_i^{(j)} = 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (23)$$

C'est précisément cette caractéristique qui, dans notre cas, permet de distinguer les erreurs ponctuelles du bruit de mesure du capteur.

2.4 Paramètres de l'algorithme

L'algorithme proposé requiert simplement l'ajustement des deux paramètres que sont :

- le *facteur de sensibilité* de l'estimateur : α
- la *taille des cellules* (i.e. des régions) : L

Le *facteur de sensibilité* de l'estimateur, α , est un paramètre utilisé dans le calcul du seuil de rejet. Comme évoqué dans le paragraphe 2.2, les sondes possédant un résidu, en valeur absolue, α fois supérieur à la valeur médiane des résidus n'interviennent pas dans l'estimation de la surface à l'itération suivante : elles constituent l'ensemble courant des sondes erronées.

La *taille des cellules*, L , (cf. §2.1) doit être choisie de sorte que les reliefs présents sur chaque cellule admettent statistiquement un modèle quadrique.

Le comportement de l'estimateur de *Tukey* a été évalué sur un jeu de données construit artificiellement en superposant un bruit blanc à une zone de reliefs de profondeurs constantes. Ce test a clairement montré qu'en présence d'un bruit blanc, que l'on supposera correspondre au bruit de mesure du sondeur multifaisceaux, en dépit d'une taille de cellules correctement fixée - comme c'est nécessairement le cas pour un plan - l'estimateur désigne des sondes valides comme potentiellement erronées. Ce comportement est essentiellement imputable à son caractère adaptatif.

En conséquence, même lorsque la taille de la cellule L a été correctement fixée, les sondes correspondant au mode central de l'histogramme des résidus des sondes détectées ne constituent pas de véritables erreurs ponctuelles. C'est la contrepartie inhérente au caractère adaptatif du processus de détection. Il est donc primordial d'introduire, indépendamment au processus, un paramètre global définissant la valeur minimale des résidus des sondes ponctuellement erronées. Ce seuil peut être défini, de façon plus précise, à partir des caractéristiques intrinsèques (*i.e.* précision) du sondeur.

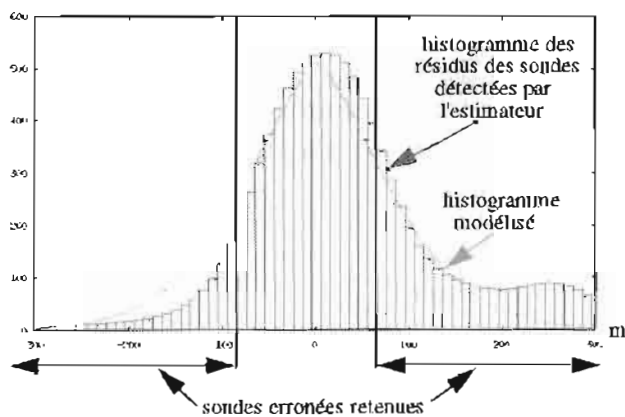


Figure 2-3 (a) La détection automatique du mode de l'histogramme, centré sur l'origine, est utilisé pour la construction de l'ensemble des sondes potentiellement erronées. Dans l'exemple ci-dessus, la largeur du lobe est fixé au 2/3 de sa hauteur.

Ainsi qu'illustré sur la figure 2-3 (a), il est également possible, en visualisant l'histogramme des résidus des sondes détectées par l'estimateur, d'ajuster plus finement ce seuil. Pour qu'il en soit ainsi, il faut néanmoins que le pas de discrétisation de l'histogramme soit correctement choisi (cf. figure 2-3 (b)). Il doit être suffisamment grand par

rapport à l'imprécision du sondeur si l'on veut obtenir un histogramme présentant un mode principal centré sur l'origine.

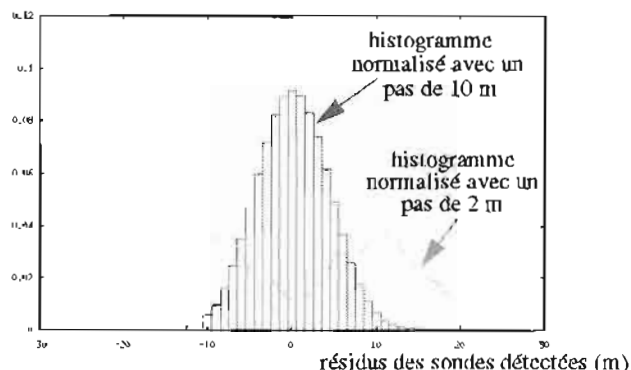


Figure 2-3 (b) Les histogrammes normalisés des résidus des sondes détectées, construits avec un pas de 10 et 2 mètres, sont obtenus dans le cas d'un jeu de données construit artificiellement en ajoutant un bruit blanc $N(0, \sigma^2)$ à un plan.

Dans certaines conditions, une valeur plausible peut être proposée à l'opérateur. Ce seuil peut, si l'opérateur le souhaite, être déterminé automatiquement par l'intermédiaire d'une modélisation du mode central de l'histogramme (sur la figure 2-3 (a) l'histogramme est représenté en traits pointillés).

2.5 Modes de fonctionnement de l'algorithme

L'algorithme décrit fonctionne selon deux modes, qui sont :

- le mode *rapide*, dans lequel chaque sonde est observée une seule fois,
- le mode *avec recouvrement*, permettant de tester chaque sonde plusieurs fois.

- Le mode rapide procède par examen séquentiel et séparé des cellules $L \times L$ adjacentes.

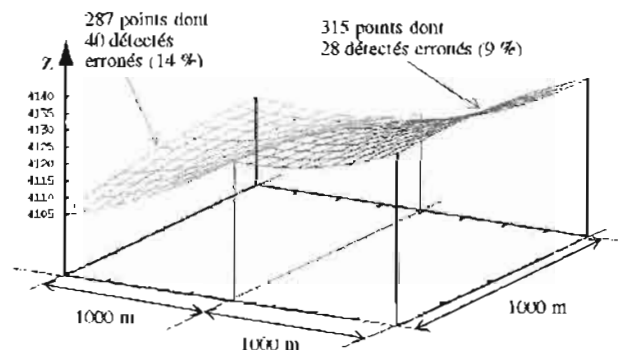


Figure 2-4 (a) Fonctionnement de l'algorithme en mode rapide.

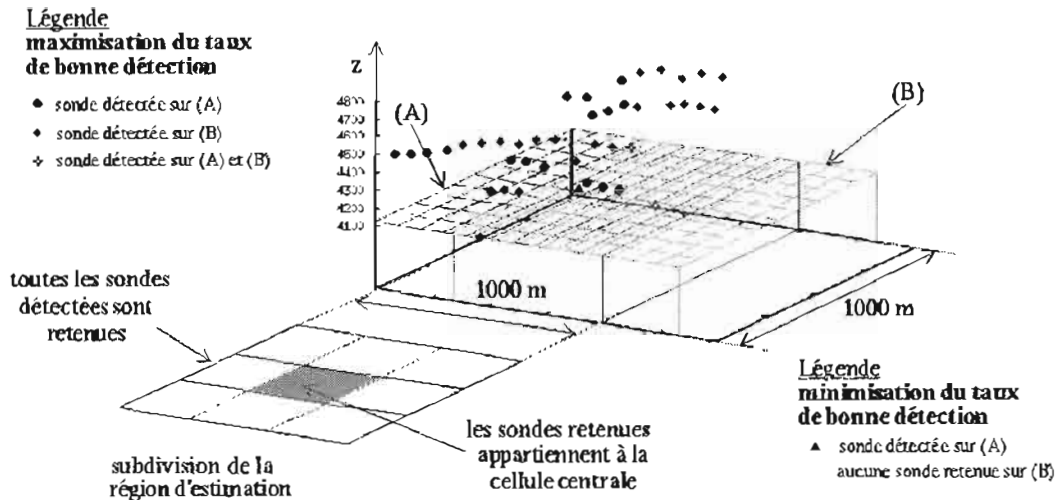


Figure 2-4 (b) Illustration des modes avec recouvrement.

- En mode avec recouvrement, la suite des cellules $L \times L$ est construite de manière à se chevaucher partiellement (*i.e.* $2/3$ en x et $2/3$ en y). Chaque sonde est observée plusieurs fois dans un voisinage différent. Ce mode permet de combler partiellement les faiblesses du modèle quadratique, là où les reliefs nécessiteraient d'adopter un modèle d'ordre supérieur. On augmente ainsi la probabilité de trouver une forme de relief quadratique incluant plus de sondes, autrement dit, on augmente la probabilité d'ajuster aux reliefs une quadrique. Par voie de conséquence, la probabilité de trouver une sonde erronée dans les zones de reliefs accidentés augmente également. Ce mode permet, qui plus est, d'attribuer à chaque sonde erronée une note traduisant le caractère douteux de celle-ci. La note la plus élevée est attribuée aux sondes N fois observées et N fois détectées par l'estimateur. Dans la pratique, l'implémentation de cette idée passe par une subdivision de chaque région. Chaque cellule dont la taille définit l'aire d'estimation, s'obtient par fusion de neuf sous cellules issues d'une grille plus fine (*cf.* figure 2-4 (b)).

Il existe plusieurs options possibles rattachées au mode *avec recouvrement*. Elles dépendent de la pondération attribuée à chaque cellule. En ne retenant que les sondes de la cellule centrale, on minimise le taux de détection abusive (*cf.* définition au §3) : seules les sondes pour lesquelles une répartition isotrope de l'information est disponible sont alors retenues. A l'inverse, si, pour chacune des 9 sous configurations, toutes les sondes détectées sont retenues, on maximise le taux de bonne détection étant donné que l'on accroît potentiellement le nombre de sondes erronées observées.

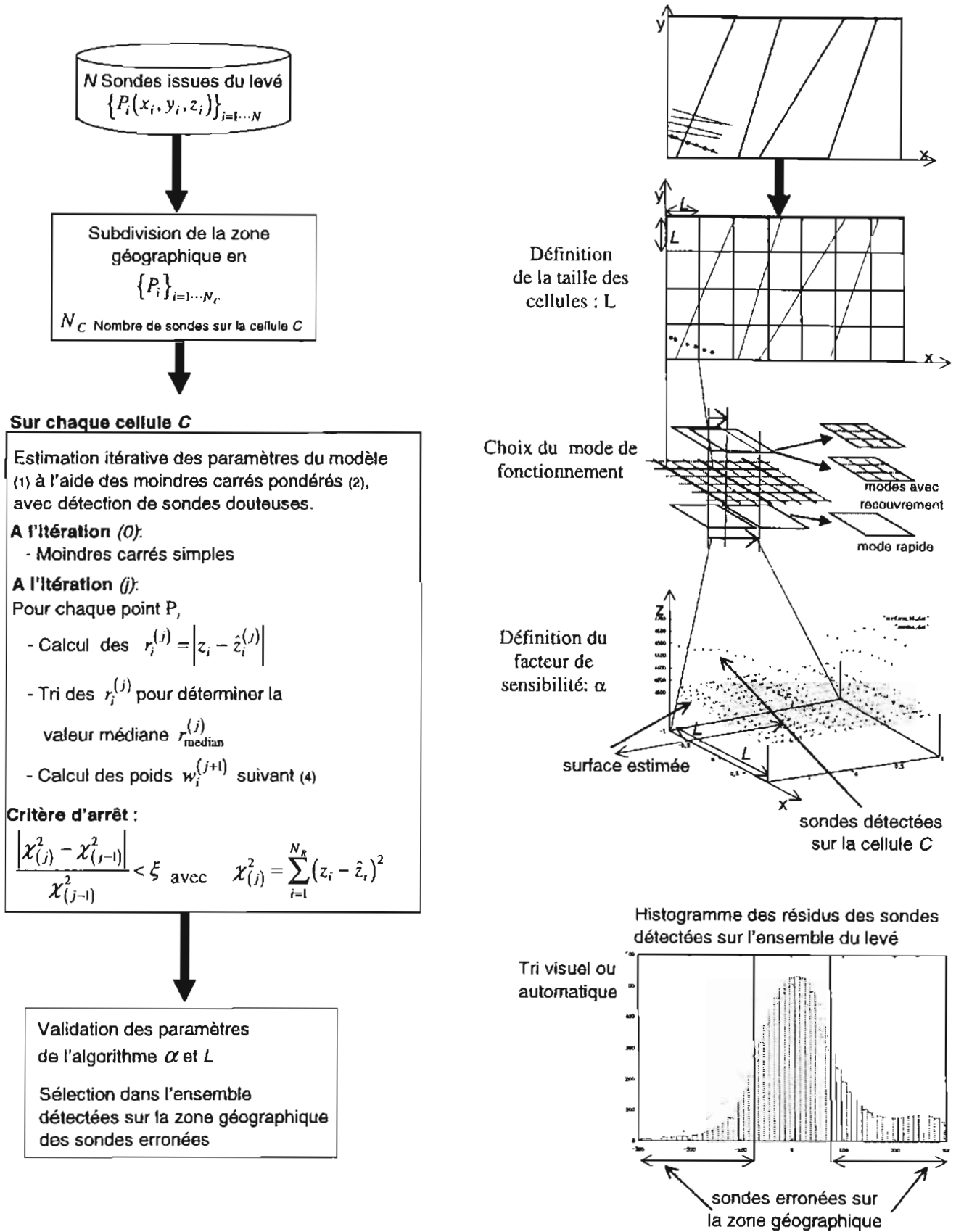


Figure 2-4 (c) Synopsis de l'algorithme.

3. DESCRIPTION DES JEUX DE DONNÉES

Cinq fauchées (i.e. ensemble des données bathymétriques acquises sur un profil de navigation) ont été retenues pour la mise au point et l'évaluation des performances de l'algorithme d'épuration que l'on propose. Ces données proviennent de trois sondeurs multifaisceaux :

- le sondeur grands fonds (200m - 12000m) Simrad *EM12-Dual* : caractérisé par 162 faisceaux et un angle d'ouverture de 128°,
- le sondeur petits fonds (5m - 300m) *Thomson-Lennermor* : caractérisé par 16 faisceaux et un angle d'ouverture de 75°,
- le sondeur très petits fonds (0 - 150m) Simrad *EM3000* : caractérisé par 127 faisceaux et un angle d'ouverture de 140°.

Les données des trois premières fauchées ont été acquises à l'aide du sondeur EM12-Dual, qui équipe *L'Espérance*. La première fauchée correspond à un mont sous-marin culminant à 2400 mètres. Au sud de ce mont se trouve une plaine située à environ 2700 mètres de profondeur. Au nord, les reliefs sont plus escarpés pour atteindre jusqu'à 3900 mètres de profondeur. Les sondes erronées sont très caractéristiques. Elles affectent essentiellement les faisceaux centraux du sondeur bâbord. Les écarts mesurés représentent plus de 10% de la profondeur d'eau.

Les données de la seconde fauchée proviennent d'un transit effectué entre Brest et les Açores. Les profondeurs s'échelonnent de 3600 à 4400 mètres. Là encore, les

sondes erronées sont aisément détectables. Les faisceaux externes et centraux du sondeur bâbord présentent les plus forts taux d'erreur.

Les données de la troisième fauchée sont celles d'une zone de reliefs de type «tôle ondulée» dont les profondeurs sont comprises entre 1800 et 3000 mètres. La nature des reliefs rend délicate leur épuration. Exception faite des faisceaux correspondant au changement de mode de détection phase amplitude, le taux d'erreur par faisceau est approximativement constant.

La quatrième fauchée a été acquise au moyen du sondeur *Lennermor*. Les reliefs traités sont ceux d'une dune sous-marine dont les profondeurs sont comprises entre 28 et 35 mètres. Ce sondeur présente un taux d'erreur maximal sur ses faisceaux latéraux. Les données ont été épurées au sein d'un jeu de 5 fauchées de 180 000 sondes présentant des zones de recouvrement pour palier au sous-échantillonnage du sondeur suivant l'axe transversal.

Les données de la dernière fauchée ont été acquises à l'aide du sondeur très petits fonds EM3000. Les quelques 180 000 sondes correspondent à moins de 2 minutes d'acquisition d'une zone présentant des fonds décrivant une très faible pente variant de 3 à 9 mètres. Sur cette fauchée, les faisceaux correspondant au changement de mode de détection phase amplitude présentent, là encore le plus fort taux d'erreur.

Ces jeux de données ont été épurés manuellement pour constituer des jeux de référence : toutes les sondes ont été systématiquement visualisées.

Tableau 3
Description des fauchées composant le jeu de référence
fourni par épuration manuelle.

Fauchée	Sondeur utilisé	Durée du sondage	Type de fonds observés	Profondeurs mesurées (mètres)
1	EM12-Dual	4h 40 mn	Plaine abyssale	3500 à 4700
2	EM12-Dual	1h 10 mn	Mont	2400 à 3900
3	EM12-Dual	1h 40 mn	« Tôle ondulée »	1800 à 3000
4	Lennermor	5mn 20s	Dune de sable	30 à 35
5	EM 3000	1mn 52s	Canal et levée	3 à 9

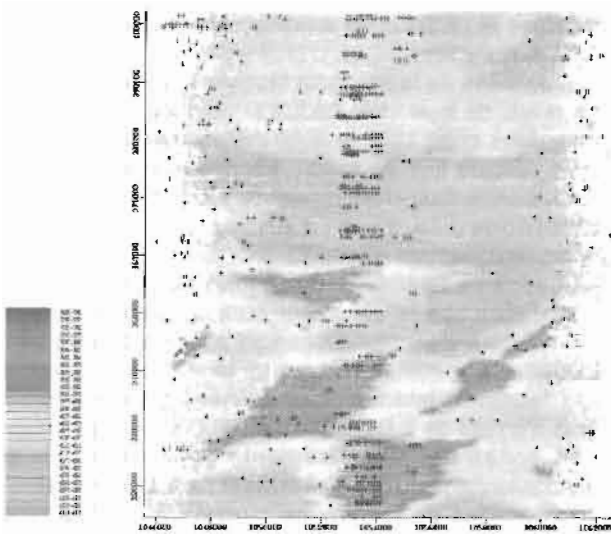
• Caractéristiques des données acquises sur la plaine abyssale :

Sur cette fauchée, 0,71 % des sondes sont erronées ou

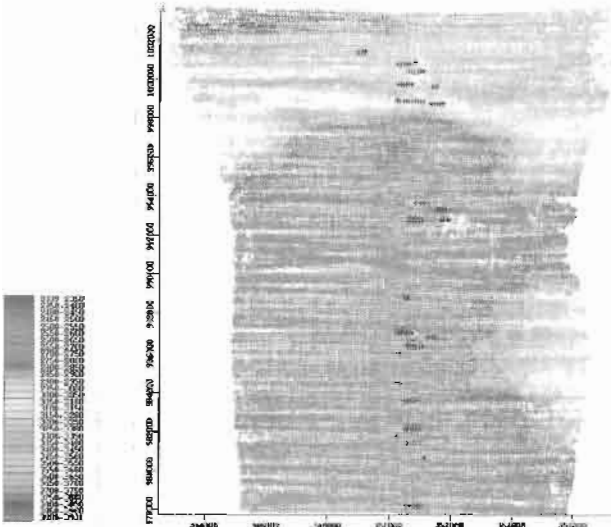
douteuses. L'hydrographe n'a pratiquement pas rencontré de difficultés pour épurer cette fauchée : moins de 15% de sondes erronées sont classées comme douteuses.

Tableau 4
Caractéristiques des données de la fauchée acquise sur la plaine abyssale.

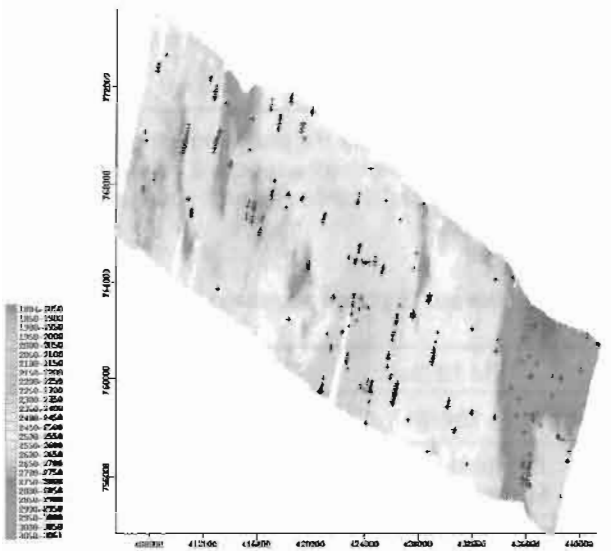
Sondeur :	EM 12 Dual
Campagne :	Mai 96
Profondeurs de la fauchée	Minimale : 3677 m Maximale : 4370 m
Nombre de sondes de la fauchée	108 257
dont	768 sondes erronées dont 154 sondes douteuses



Fauchée acquise sur la plaine



Fauchée acquise sur le mont



Fauchée acquise sur zone de relief de type « tôle ondulée »

Figure 3-1 (a) Description qualitative des sondes erronées et douteuses des fauchées acquises par l'EM12.

Les erreurs des classes 3-4 concernent pratiquement 5% des sondes erronées sur les voies centrales du sondeur bâbord. Contrairement aux données acquises sur le mont,

les faisceaux latéraux du sondeur bâbord présentent un fort taux d'erreur, voisin de 30%.

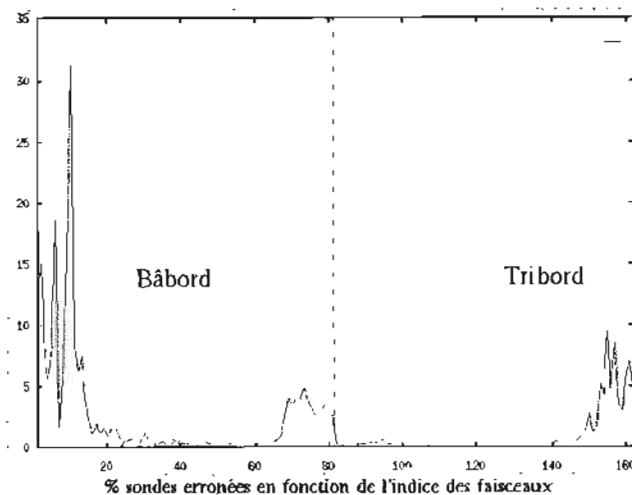


Figure 3-1 (b) Caractéristiques des sondes erronées de la fauchée acquise sur la plaine abyssale.

• Caractéristiques des données acquises sur le mont :

Le tableau qui suit résume les caractéristiques principales de cette fauchée.

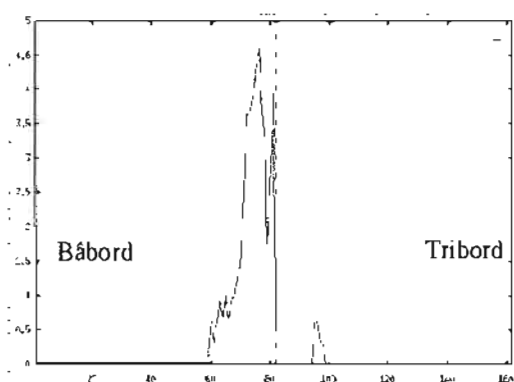
Tableau 5
Caractéristiques des données de la fauchée acquise sur le mont.

Sondeur	EM 12 Dual
Campagne	Juin 1993
Profondeurs de la fauchée	Minimale : 2339 m Maximale : 3930 m
Nombre de sondes de la fauchée	46 592
dont	142 sondes erronées dont 39 sondes douteuses

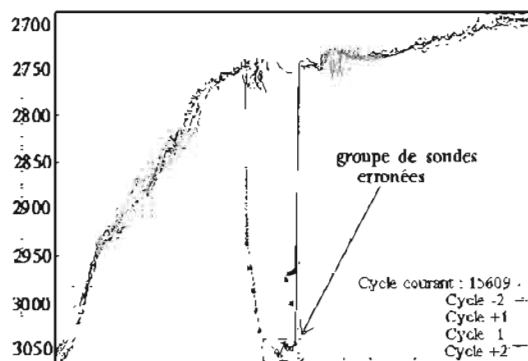
Les sondes erronées (sondes douteuses y compris) représentent 0,39 % du total des sondes de cette fauchée. Elles affectent principalement les faisceaux d'indice 60 à 81 du sondeur bâbord, pour lequel le taux d'erreur avoisine les 5%. La caractéristique essentielle des sondes aberrantes de cette fauchée est d'être statistiquement plus profondes.

Sur l'exemple du cycle 15 609, cet écart représente jusqu'à 11% de la profondeur d'eau.

Comme le souligne le faible pourcentage de sondes douteuses, lesquelles représentent moins d'un tiers des sondes erronées, l'épuration manuelle de cette fauchée s'est avérée aisée.



(a) % sondes erronées en fonction de l'indice des faisceaux



(b) Exemple d'une erreur de classe 3-4

Figure 3-1 (c) Caractéristiques des sondes erronées de la fauchée acquise sur le mont.

Les reliefs de la fauchée sont présentés sur la figure 3-1 (a). Chacune des sondes y est représentée à l'aide d'un point selon un code de couleurs. Les sondes erronées sont représentées en noir, les sondes douteuses en bleu. Comme l'illustre cette figure, les sondes erronées apparaissent par paquet.

• Caractéristiques des données acquises sur zone :

Le taux de sondes erronées est du même ordre de

grandeur sur cette fauchée (environ 0,5%) que pour les deux fauchées précédentes. Par contre, on constate que près de 60 % des sondes erronées de cette fauchée ont été affectées à la classe des sondes douteuses. L'exemple du cycle 4049 présenté sur la figure 3-1 (d) illustre particulièrement bien les difficultés auxquelles ont été confrontés les hydrographes pour la validation de ce jeu de données.

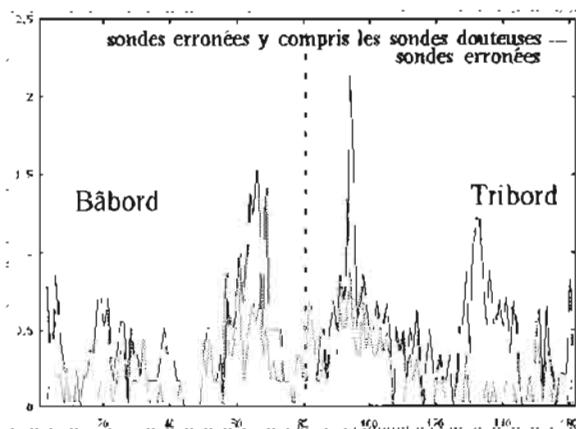
Tableau 6

Caractéristiques des données de la fauchée acquise sur zone.

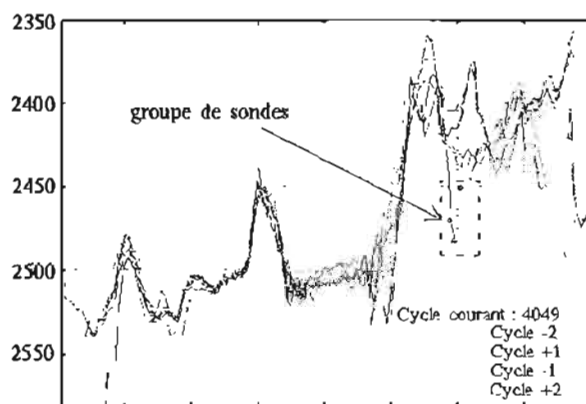
Sondeur	EM 12 Dual
Campagne	Octobre 1996
Profondeurs de la fauchée	Minimale : 1804 m Maximale : 3061 m
Nombre de sondes de la fauchée	88 574
dont	410 sondes erronées dont 238 sondes douteuses

La courbe représentant le taux de sondes erronées ou douteuses en fonction de l'indice des faisceaux ne met pas en évidence de disparité entre les faisceaux des sondeurs bâbord et tribord, comme c'était le cas avec les données de la fauchée acquise sur la plaine. Si l'on ne s'intéresse

qu'aux sondes erronées, on remarque que les faisceaux présentant les plus forts taux d'erreur sont ceux correspondant au changement de mode de détection : phase - amplitude.



(a) % sondes erronées en fonction de l'indice des faisceaux



(b) Illustration de la difficulté d'épurer ce levé

Figure 3-1 (d) Caractéristiques des sondes erronées de la fauchée acquise sur zone.

Si les sondes erronées ou douteuses de cette fauchée ne sont pas aussi caractéristiques que sur la fauchée 1, elles apparaissent là encore regroupées par paquets, ainsi que l'illustre la figure 3-1(a).

• Caractéristiques des données acquises sur la dune :

Le tableau qui suit résume les caractéristiques principales des fauchées acquises au moyen du sondeur Thomson-Lennormor.

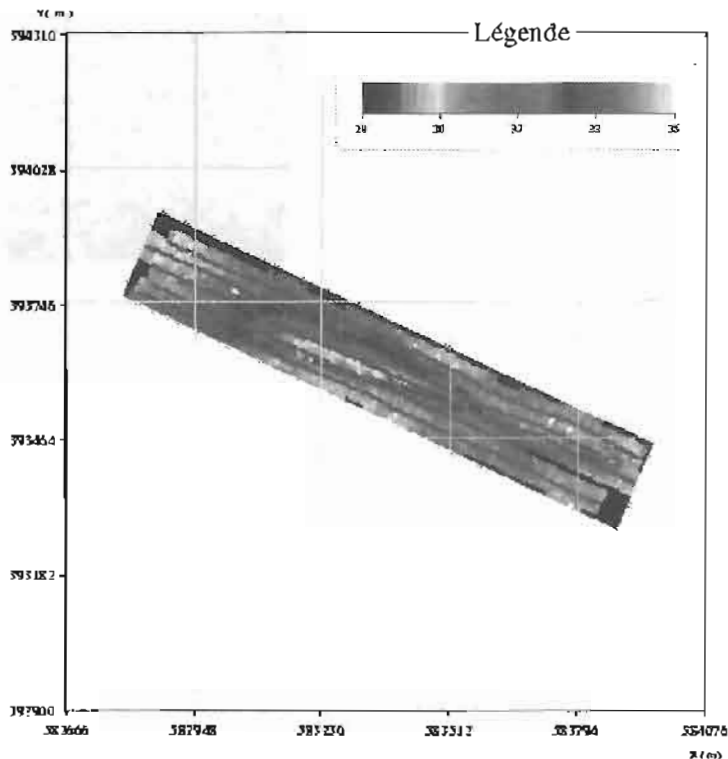
Tableau 7

Caractéristiques des données de la fauchée acquise sur la dune.

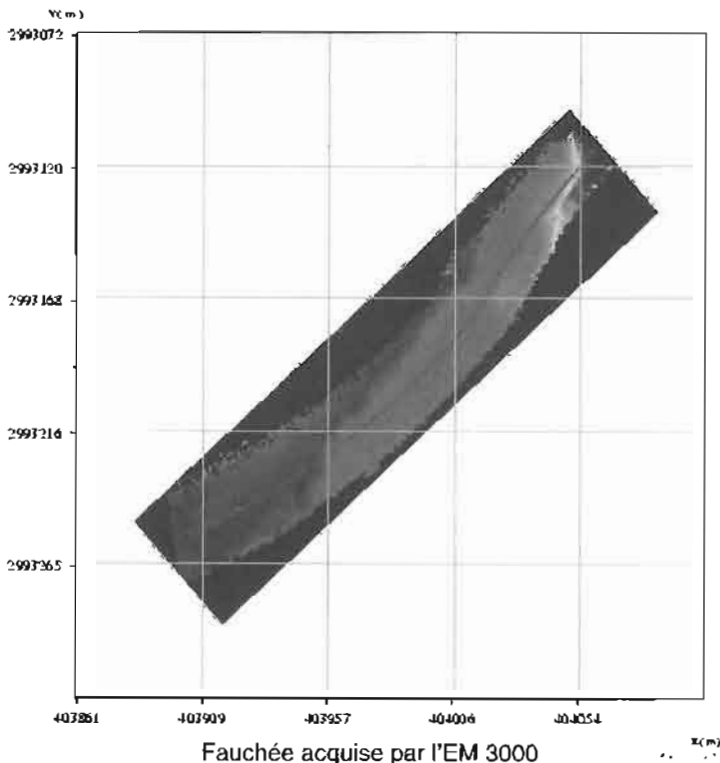
Sondeur	Lennormor
Profondeurs des fauchées	Minimale : 28 m Maximale : 35 m
Nombre total de sondes	178 525
Nombre de sondes de la fauchée	38 764
dont	327 sondes erronées

Les reliefs levés sur cette zone sont ceux d'une dune sous-marine située à une trentaine de mètres de profondeur (cf. figure 3-1(e)). Pour ce sondeur *Lennermor*, le taux d'erreur est, comme l'indique la figure 3-1(f), maximal sur les faisceaux latéraux. En raison du sous-échantillonnage que présente ce sondeur

suivant l'axe transversal, les épurations manuelles et automatiques ont été réalisées sur un ensemble de cinq fauchées parallèles présentant des zones de recouvrement, afin d'augmenter le nombre de sondes erronées détectées.



Fauchées acquises par le Lennermor sur la dune



Fauchée acquise par l'EM 3000

Figure 3-1 (e) Description des reliefs obtenus à l'aide de sondeurs petits fonds.

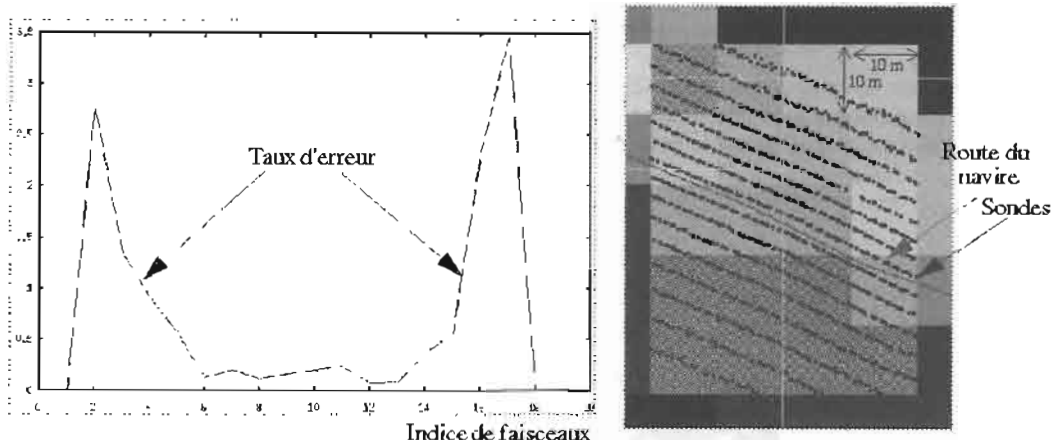


Figure 3-1 (f) Caractéristiques des sondes erronées et répartition des sondes d'une fauchée acquise par le sondeur Lennermor sur la dune.

• Caractéristiques des données EM 3000 :

Les reliefs levés par l'EM 3000 sont présentés sur la figure (C.f. → Figure - 3-1(e)).

Tableau 8
Caractéristiques des données EM 3000.

Sondeur :	EM 3000
Profondeurs des fauchées	Minimale : 3 m Maximale : 9 m
Temps d'acquisition	1 mn 52 s
Nombre de sondes	178 287
dont	774 sondes erronées

Sur la figure 3-1 (g), on a représenté le taux d'erreur en fonction de l'indice de faisceaux. Comme pour l'EM12-Dual les faisceaux centraux de l'EM3000 sont les moins fiables

avec près de 3% de sondes repérées comme erronées - et ce plus particulièrement au changement de mode de détection (i.e. amplitude-phase) du sondeur.

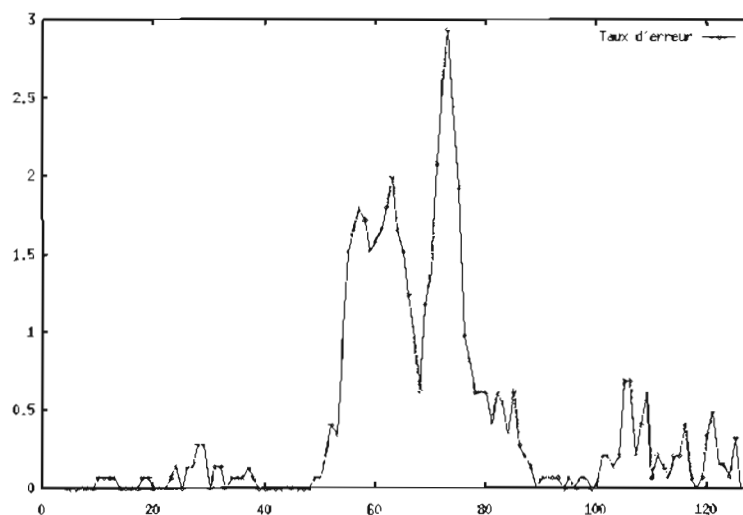


Figure 3-1 (g) Caractéristiques des sondes erronées de la fauchée acquise par l'EM 3000.

L'évaluation de l'algorithme s'appuie sur les deux critères suivants :

- le *taux de bonne détection*, défini comme le rapport du nombre de sondes erronées détectées au nombre de sondes à détecter,
- le *taux de détection abusive*, défini comme le rapport du nombre de sondes valides détectées au nombre de sondes détectées.

Ces taux d'erreur sont calculés par rapport au jeu de référence.

4. ÉVALUATION DE L'ALGORITHME

4.1 Ajustement des paramètres

La taille optimale des cellules (*i.e.* l'échelle maximale pour laquelle l'approximation locale des reliefs par une quadrique est valide) a été déterminée sur chaque jeu de données. Pour la fauchée 2, la figure 4-1(a) montre qu'une cellule de 1000 mètres de côté est statistiquement correcte. En effet, pour cette taille, l'histogramme des résidus des sondes

détectées par l'estimateur présente, sous réserve de choisir un pas convenable lors de sa construction, un mode principal étroit, centré sur l'origine.

Compte tenu de la diversité des reliefs étudiés ici, les résultats que l'on présente dans le tableau 4 peuvent, en pratique, être utilisés pour l'ajustement *a priori* de la taille des cellules.

Une analyse visuelle de l'histogramme doit permettre de contrôler (et valider) *a posteriori* la taille des cellules pour appréhender une plus large gamme des reliefs. On observe sur la figure 4.1 (a), les conséquences d'une taille de cellules inappropriées sur l'allure du mode principal de l'histogramme. Une taille de cellule trop faible augmente la probabilité de retenir des erreurs liées au bruit du sondeur. À l'inverse, une taille de cellule trop grande a pour effet de lisser les reliefs (*i.e.* les pics étant rabotés et les vallées partiellement comblées). L'inadéquation du maillage se traduit par une subdivision du mode principal de l'histogramme. Toutefois, il est à noter que ce critère heuristique devient inopérant lorsqu'il s'agit du sondeur Lennermor en raison d'un sous échantillonnage des données suivant l'axe transversal.

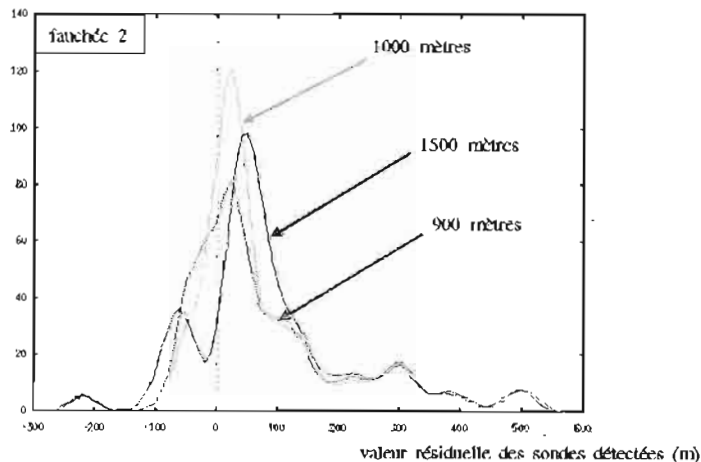


Figure 4-1(a) Histogrammes des résidus des sondes détectées par l'estimateur obtenus pour différentes tailles de cellules.

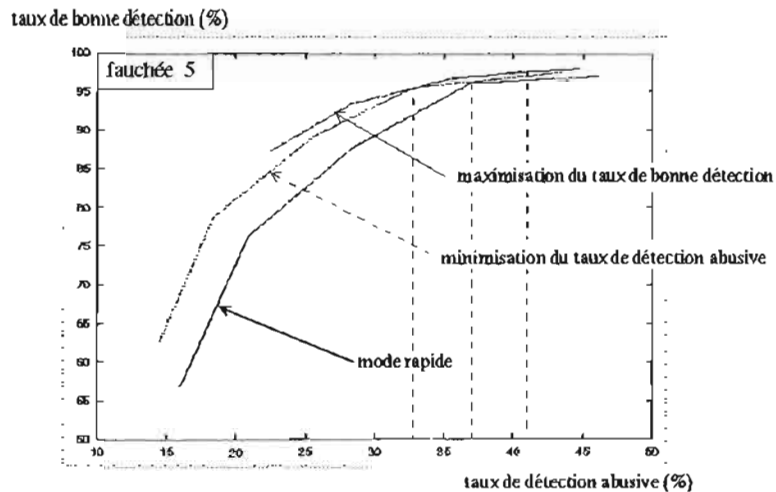


Figure 4-1(b) Représentation du taux de bonne détection en fonction du taux de détection abusive. Les verticales, en pointillés, sont les résultats fournis par le tableau 4 pour la fauchée 5 (i.e. données EM3000).

Le second paramètre de l'algorithme est le facteur de sensibilité de l'estimateur de Tukey. La figure 4-1(b) présente le taux de bonne détection en fonction du taux de détection abusive. Les trois courbes qui y sont présentées, une pour chaque mode de fonctionnement de l'algorithme, ont été obtenues pour différentes valeurs du facteur de sensibilité, α , (i.e. α varie de 6 à 14 par pas de 2). Plus le facteur de sensibilité est faible, plus le taux de détection abusive augmente (i.e. l'épuration devient sensible aux faibles perturbations). En pratique, le facteur de sensibilité est compris entre 6 (en petits fonds) et 10 (en grands fonds).

Le troisième paramètre est le seuil global appliqué sur les résidus des sondes détectées par l'estimateur.

4.2 Résultats

Le tableau 4 présente les taux de détection de l'algorithme pour les cinq fauchées du jeu de référence. Les seuils appliqués sur les résidus des sondes détectées par l'estimateur ont été déterminés automatiquement à partir du mode central de chaque histogramme (i.e. la largeur étant égale au 2/3 de la hauteur du lobe); les seuils obtenus sont sensiblement équivalents à ceux que l'on aurait déduits visuellement du lobe central de l'histogramme.

Pour l'EM3000 et l'EM12-Dual, le choix du mode de fonctionnement de l'algorithme dépend uniquement des contraintes que l'opérateur s'est fixées.

Pour les fauchées 1 à 3, le mode avec recouvrement permet d'augmenter le taux de bonne détection de 5%, tout en conservant un taux de détection abusive de 25% (exception faite de la fauchée 3). Les 108 000 sondes de la fauchée 1 représentent quatre heures de sondage EM12-Dual par fonds de 4000 m. L'algorithme, utilisé en mode avec recouvrement, permet de détecter 93% des sondes erronées en 2 mn 25 s (sur une station SUN Ultra-sparc).

Pour la fauchée 5, les taux de détection restent les mêmes. L'algorithme utilisé en mode rapide détecte 96% des sondes erronées présentes dans les 178 000 sondes que contient la fauchée, et ce, en moins de 30 s (sur station Sun Ultra-sparc).

A l'inverse, il est primordial, dans le cas de données issues du sondeur Lennermor, d'utiliser l'algorithme en mode avec recouvrement si l'on veut pouvoir détecter 88% des sondes erronées. On pallie ainsi partiellement la disparité spatiale des données.

Tableau 9
Taux de détection de l'algorithme.

Mode de fonctionnement	Taux de	
	bonne détection (%)	détection abusive (%)
Fauchée 1 : EM12 - Plaine abyssale taille des cellules : 1000 mètres - facteur de sensibilité : 10 - seuil sur les résidus : 50 mètres		
Mode rapide	88,1	21,3
Max, du taux de bonne détection	93,3	25,6
Min, du taux de détection abusive	87,8	11,6
Fauchée 2 : EM12 - Mont taille des cellules 1000 mètres - facteur de sensibilité : 10 - seuil sur les résidus : 50 mètres		
Mode rapide	81,6	19,5
Max, du taux de bonne détection	98,1	25,7
Min, du taux de détection abusive	94,2	8,8
Fauchée 3 : EM12 - « Tôle ondulée » taille des cellules 600 mètres - facteur de sensibilité : 10 - seuil sur les résidus : 40 mètres		
Mode rapide	86	58,2
Max, du taux de bonne détection	91,9	51,9
Min, du taux de détection abusive	86,1	28
Fauchée 4 : Lennermor - Dune de sable taille des cellules 10 mètres - facteur de sensibilité : 6 - seuil sur les résidus : 3 mètres		
Mode rapide	12,5	29,3
Max, du taux de bonne détection	88,1	29,4
Min, du taux de détection abusive	7,6	10,7
Fauchée 5 : EM3000 - Canal et levée taille des cellules 2 mètres - facteur de sensibilité : 8 - seuil sur les résidus : 0.25 mètres		
Mode rapide	96,1	36,9
Max, du taux de bonne détection	97,6	40,8
Min, du taux de détection abusive	95,5	32,8

5. CONCLUSION

L'algorithme proposé ici s'appuie sur l'estimateur robuste de Tukey pour détecter les erreurs ponctuelles présentes dans les données bathymétriques.

Il offre l'incontestable avantage de ne nécessiter que l'ajustement de deux paramètres. Qui plus est, la pertinence de l'un d'eux, en l'occurrence la taille des cellules, peut être contrôlée *a posteriori*.

Le second avantage de l'algorithme vient de ce qu'il peut fonctionner suivant différents modes. En mode rapide, pour les données très petits fonds, on conserve un facteur 4 entre les temps d'acquisition et d'épuration. En mode avec recouvrement, il est possible de détecter 98% des sondes

erronées avec 25% de détections abusives. Si l'objectif visé est une minimisation du taux de détection abusive, il est possible de détecter plus de 94% de sondes erronées, dans le cas de données grands fonds, avec moins de 10% de détections abusives. Pour finir, l'algorithme permet de détecter 88% des sondes erronées du sondeur Lennermor en dépit de ses caractéristiques.

Pour toutes ces raisons, l'algorithme a été récemment intégré dans le logiciel d'épuration, en temps différé, développé par le SHOM.

6. RÉFÉRENCES

- [DEB 97] DEBESE N., Typologie des erreurs les plus courantes du sondeur EM12-Dual. *Rapport d'étude du SHOM n° 007/97* (1997).
- [DEB 98] DEBESE N., MEVEL CH., FREULON X., Application d'un estimateur robuste à la détection des erreurs ponctuelles dans les données bathymétriques multifaisceaux. *Conférence Hydrographique du Canada, Victoria 10 -12 mars* (1998).
- [DEB 98] DEBESE N., Application d'un estimateur robuste à la détection des erreurs ponctuelles présentes dans les données bathymétriques multifaisceaux : l'estimateur de Tukey. *Rapport d'étude du SHOM n° 002/98* (1998).
- [GAU 96] GAUDIN A., The calibration of Shallow Water Multibeam Echo-sounding Systems. *Conférence Hydrographique du Canada, Halifax 3-5 juin* (1996).
- [ROU 87] ROUSSEEUW PETER J, LEROY ANNICK M., Robust Regression and Outlier Detection. *Wiley series in probability* (1987).
- [PRES 92] PRESS WILLIAM H., TEUKOLSKY SAUL A., VETTERLING WILLIAM T., FLANNERY BRIAN P., Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press (1992).
- [SOM 96] SOMOGLY J., ZAVOTI J., A Comparison of Weight-functions in Robust Regression using Iteratively Reweighted Least-Squares. *Acta. Geod. Geoph.*, Vol 31(1-2), pp. 11-24 (1996).
- [HAM 86] HAMPEL F. R, RONCHETTI E. M, ROUSSEEUW P. J, STAHEL W. A., Robust Statistics : The Approach Based on Influence Functions. *Wiley Series in Probability* (1986).

BILAN DU PROJET MEDATLAS

Didier JOURDAN
Ingénieur Cadre technico-commercial
EPSHOM/CMO - Section Océanographie Appliquée

Résumé

Ce rapport dresse le bilan du projet Medatlas. Medatlas est un projet du programme européen Mast (MARine Science & Technology). Regroupant cinq partenaires⁽¹⁾, dont le SHOM, il avait pour objectifs de :

- collecter le jeu de données hydrologiques (température et salinité) du bassin méditerranéen le plus exhaustif possible ;
- mettre en place les protocoles communs de validation des données ;
- compiler et valider le jeu de données ;
- calculer une climatologie de référence ;
- mettre à disposition les produits élaborés au cours du projet.

Le projet a débuté en 1994, financé pour moitié (2 MF) par la Commission Européenne et pour l'autre moitié par les partenaires. Les tâches attribuées au SHOM étaient d'une part la collecte et la validation des données bathythermographiques sur l'ensemble du bassin et d'autre part, la réalisation de la climatologie à partir de toutes les données rassemblées et validées par l'ensemble des partenaires. Ce dernier aspect a permis d'éprouver, dans un contexte élargi, les techniques habituellement utilisées par le service pour la réalisation de ses atlas climatologiques.

Le projet a pris fin en novembre 1997. Son bilan s'avère très largement positif pour le SHOM avec notamment un gain important d'observations inédites, représentant près de deux fois le volume des données fournies initialement par le SHOM. Ce projet a par ailleurs permis de calculer un atlas de température et de salinité ayant une résolution spatiale du 1/4 de degré et une représentativité temporelle de 10 ans, sur une zone de priorité importante pour la Marine nationale. L'ensemble des produits élaborés a été mis à la disposition de la communauté scientifique européenne par l'intermédiaire d'un cédérom et d'un site Web :

(<http://www.shom.fr/sci/medatlas/medat.html>)

accessible depuis les serveurs de l'IFREMER et du SHOM. Les premiers retours d'expérience montrent un grand intérêt des utilisateurs, en particulier pour l'initialisation et le pilotage de modèles de circulation générale de la Méditerranée.

Abstract

The present document gives the review of the Medatlas project. Medatlas is a project of the European Mast programme (MARine Science & Technology). Handled by five partners including SHOM, the project had the following objectives:

- *to collect the most comprehensive hydrological data set (temperature, salinity) over the Mediterranean basin ;*
- *to set up common protocols for data quality insurance ;*
- *to compile and quality check the data set ;*
- *to compute an up-to-date climatology ;*
- *to distribute the products elaborated during the project.*

The project started in 1994 and was funded for one half by the European Commission and for the other half by the partners. SHOM tasks were on the one hand to collect and quality check bathythermographic data over the whole basin and on the other hand to compute the climatology with the complete data set compiled and checked by all the partners. This latter task allowed SHOM to test, in a broader context, the techniques which it uses normally to elaborate its climatological atlases.

The project was completed in November 1997. Its results are largely positive for SHOM, with an important gain of original data representing about twice the volume contributed to the project by SHOM.

This project also resulted in an atlas of temperature and salinity with a 1/4 of a degree spatial resolution and a ten-year temporal representativity over an area of high priority for the French Navy.

A CD-ROM and a Web site :

(<http://www.shom.fr/sci/medatlas/medat.html>), jointly hosted by the servers of IFREMER and SHOM, make the results of the project available to the European scientific community. Early feedback indicates a great interest of the users for Medatlas products, specially to initialize and drive general circulation models of the Mediterranean Sea.

⁽¹⁾ IFREMER (France), Institut espagnol d'océanographie (Espagne), Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (Danemark), Centre national grec de données océanographiques (Grèce) et SHOM (France).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
■ 1 - INTRODUCTION	8-5
■ 2 - LE PROJET MEDATLAS	8-6
1 - Contexte scientifique	8-6
2 - Objectifs	8-6
3 - Définition des tâches	8-6
3.1 - Mise à jour de la base de données Méditerranée	8-6
3.2 - Contrôle qualité des données	8-6
3.3 - Mise à jour des produits climatologiques	8-7
3.4 - Edition et distribution du produit final	8-7
■ 3 - LE PROJET MEDATLAS POUR LE SHOM	8-7
1 - Objectifs	8-7
2 - Contribution du SHOM	8-7
3 - Calendrier	8-7
4 - Organisation	8-8
■ 4 - PRÉSENTATION TECHNIQUE DU PROJET	8-9
1 - Collecte des données	8-9
2 - Validation des données XBT et MBT	8-9
2.1 - Critères de validation	8-9
2.1 a - Validation de l'en-tête	8-9
2.1 b - Validation des mesures	8-10
2.2 - Développement du logiciel	8-10
3 - Calcul de la climatologie	8-10
3.1 - Préparation des données	8-10
3.1 a - Contrôle des données	8-10
3.1 b - Interpolation verticale	8-10
3.2 - Estimation optimale des champs	8-10
3.2 a - Pré-traitement des données	8-11
3.2 b - Adaptation de la grille d'estimation	8-11
3.2 c - Procédure de recherche de voisinage	8-12
3.2 d - Estimation des variogrammes	8-13
3.3 - Etude de paramétrisation	8-13

5 - RÉSULTATS ET BILAN TECHNIQUE DU PROJET	8-14
1 - Les données	8-14
1.1 - Collecte des données bathythermographiques par le SHOM.....	8-14
1.2 - Bilan en données de la participation du SHOM au projet	8-14
2 - Validation des données	8-16
3 - Calcul de la climatologie	8-17
3.1 - Préparation des données	8-17
3.1 a - Contrôle des données.....	8-17
3.1 b - Interpolation verticale	8-17
3.2 - Etude de la paramétrisation	8-18
3.2 a - Série de tests I	8-19
3.2 b - Série de tests II	8-19
3.2 c - Série de tests III	8-20
3.2 d - Conclusion des tests.....	8-20
3.3 - Estimation optimale des champs	8-20
3.3 a - Pré-traitement des données	8-20
3.3 b - Calcul des champs	8-21
4 - Validation de la climatologie	8-21
6 - RÉALISATIONS DU PROJET	8-26
1 - Les produits	8-26
1.1 - Cédérom.....	8-26
1.1 a - Contenu du Cédérom #1 :.....	8-26
1.1 b - Contenu du Cédérom #2 :.....	8-26
1.1 c - Contenu du Cédérom #3 :.....	8-26
1.2 - Site W3.....	8-26
2 - Valorisation	
2.1 - Ocean Data Symposium.....	8-27
2.2 - Posters.....	8-27
2.3 - Guide METOC	8-27
2.4 - Produits quasi-permanents à l'usages des forces	8-27
7 - CONCLUSION GÉNÉRALE	8-30
8 - RÉFÉRENCES	8-31

ANNEXE A

■ A.I : FICHE DU TEST #I.1 - MAI À 10 M.....	8-32
■ A.II : FICHE DU TEST #I.1 - DÉCEMBRE À 10 M.....	8-33
■ A.III : FICHE DU TEST #I.2 - MAI À 500 M.....	8-34
■ A.IV : FICHE DU TEST #I.2 - DÉCEMBRE À 500 M.....	8-35
■ A.V : FICHE DU TEST #II.1 - MAI À 10 M.....	8-36
■ A.VI : FICHE DU TEST #II.1 - DÉCEMBRE À 10 M.....	8-37
■ A.VII : FICHE DU TEST #II.2 - MAI À 500 M.....	8-39
■ A.VIII : FICHE DU TEST #II.2 DÉCEMBRE À 10 M.....	8-40

ANNEXE B

■ B.I : REPORT DE POSITION DES OBSERVATIONS.....	8-42
■ B.II : CARTE DE RÉPARTITION DES OBSERVATIONS.....	8-43
■ B.III : MAILLAGE ADAPTÉ.....	8-44
■ B.IV : TAILLE DU MAILLAGE ADAPTÉ.....	8-45
■ B.V : CARTE D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE.....	8-46
■ B.VI : ERREUR D'ESTIMATION D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE.....	8-47
■ B.VII : VARIABILITÉ D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE.....	8-48

1 - INTRODUCTION

Ce rapport d'étude dresse le bilan de la participation du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) au projet Medatlas. Il est volontairement orienté sur une évaluation de cette participation par rapport aux objectifs initiaux pour lesquels le service avait décidé de se lancer dans cette entreprise.

Ce document est aussi un complément au rapport final du projet (Medatlas, 1997) dans lequel le lecteur pourra trouver une évaluation plus globale de Medatlas, un rapport sur la contribution de chacun des partenaires et une description approfondie des protocoles d'assurance qualité des données, établis et mis en oeuvre tout au long du projet.

Après cette introduction, le chapitre 2 présente le contexte général du projet, ses objectifs et son organisation. Le chapitre 3 précise ces différents aspects d'un point de vue interne au SHOM en présentant :

- l'articulation du projet par rapport aux activités de gestion et d'exploitation des données hydrologiques ;
- les tâches du projet sous la responsabilité du SHOM ;
- l'organisation mise en place au sein du Centre Militaire d'Océanographie.

Le chapitre 4 détaille le contenu technique des différentes tâches et le chapitre 5 reprend chacun de ces éléments pour en fournir les résultats et le bilan

Finalement, le chapitre 6 résume les réalisations issues du projet avant la conclusion générale du document (chapitre 7).

Des informations pratiques sur le déroulement et les développements informatiques de ce travail (nom, nomenclature, organisation, archivage des fichiers et des applications) ainsi qu'un guide utilisateur du logiciel de calcul de la climatologie sont rassemblés dans le rapport technique du marché Medatlas (Hassani et Jourdan, 1998).

2 - LE PROJET MEDATLAS

1 - Contexte scientifique

La communauté scientifique porte un intérêt croissant à l'étude climatologique de la température et la salinité. Les modélisateurs ont besoin de données de référence pour initialiser les modèles numériques, les scientifiques de terrain pour étudier la variabilité temporelle des masses d'eau et pour préparer les futures campagnes et les ingénieurs pour calculer la vitesse de propagation du son dans des applications civiles ou militaires (bathymétrie multi-faisceaux, tomographie acoustique océanique, étude de propagation...).

Pendant la dernière décennie, l'archivage centralisé des mesures des campagnes océanographiques récentes n'a pas été très actif et une grande quantité de données restait disséminée dans les laboratoires scientifiques à l'origine de ces expériences. Un gros effort devait donc être fait pour compiler, archiver et distribuer un jeu de données le plus exhaustif possible sur la Méditerranée.

De plus, la création d'une base de données ne pouvait se concevoir sans une analyse qui permette d'actualiser les produits climatologiques de la région. En effet, la climatologie Levitus (Levitus, 1982) n'a pas la résolution adaptée pour résoudre toutes les échelles des structures permanentes de la Méditerranée ; par ailleurs, les atlas spécifiques à ce bassin ne sont disponibles que sous forme papier (Guibout, 1987; Picco, 1990) et non utilisables pour des calculs scientifiques.

Cette tâche de collecte, validation, analyse des données puis dissémination des résultats est d'une ampleur qui dépasse les attributions d'un seul organisme. Par ailleurs, les centres de données européens détiennent des jeux de données inédits et possèdent une expérience accrue dans la gestion et l'exploitation de données dans leur région d'intérêt.

Dans ce contexte, le projet Medatlas a été soumis pour financement auprès de la Commission européenne dans le cadre du programme Mast. Il s'est appuyé sur un consortium de cinq partenaires :

- le centre Systèmes d'Informations Scientifiques pour la MER (SISMER) dépendant de l'IFREMER ;
- l'Instituto Español de Oceanografía (IEO) ;
- le centre national grec de données océano-graphiques (HNODC) ;
- le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) ;
- le Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (CIEM), en tant que conseiller scientifique.

2 - Objectifs

L'objectif à court terme du projet était d'élaborer un produit qui intègre :

- une mise à jour de l'archivage des profils hydrologiques (température et salinité) collectés depuis le début du siècle par les divers laboratoires scientifiques et les marines de la région ;

- un contrôle qualité des informations en conformité avec les recommandations de la Commission Océanographique Intergouvernementale et du programme Mast, et qui permette un usage scientifique des données ;
- une mise à jour des statistiques climatologiques ;
- la diffusion des résultats sur un support numérique.

A plus long terme, le gain escompté concerne :

- l'amélioration des relations entre les institutions impliquées dans la gestion des données hydrologiques en Méditerranée ;
- l'expérience dans la gestion distribuée de base de données ;
- l'homogénéisation des procédures d'archivage et de contrôle qualité des données ;
- la participation à des projets internationaux tels Global Ocean Data Archeology Rescue (GODAR) ou Global Ocean Observing System (GOOS).

3 - Définition des tâches

3.1 - Mise à jour de la base de données Méditerranée

Les données récentes restent longtemps dans les organismes scientifiques qui sont à l'origine de leur acquisition avant d'être, dans le meilleur des cas, transmises à un centre d'archivage de données. Pour le reste, et c'est le cas d'un nombre significatif de données historiques, elles ne parviennent à aucun centre et sont perdues (archivage type "boîte à chaussures").

La proposition de travail du groupe Medatlas consistait donc à contacter systématiquement les laboratoires de recherches et à leur demander de fournir une copie de ces données. Les types de mesures principalement recherchés étaient la température et la salinité. Si toutefois d'autres paramètres biogéochimiques étaient fournis, ceux-ci seraient conservés dans le jeu de données. Le plus souvent possible les informations générales (méta-informations) entourant l'acquisition de ces mesures (campagne, nom du scientifique responsable, date, etc.) devaient aussi être récupérées pour faciliter le contrôle de qualité.

Les partenaires Medatlas organisant par ailleurs l'acquisition de mesures en mer, il était attendu qu'une partie importante des données viendraient des partenaires du projet.

3.2 - Contrôle qualité des données

Le contrôle qualité est un pré-requis dans le processus d'exploitation et d'archivage des données. Il fournit une information sur la qualité de l'information contenue dans la base, le plus souvent sous la forme de codes qualité qui sont ajoutés aux mesures.

Les procédures de contrôle ont été standardisées par la COI et le programme Mast. En réalité la standardisation n'est que partielle. Certains critères, comme la gamme des valeurs "autorisées" pour une grandeur dans une région, ne sont pas affinés localement. Ceci pose problème, tout particulièrement dans le bassin Méditerranéen, où la structure des champs de température et de salinité est très contrastée d'une région à l'autre -on observe des écarts de

température de 5°C entre la mer Noire et le bassin Levantin et où les variations saisonnières ont une forte amplitude - zones de formation d'eau profonde par convection hivernale.

Une des tâches du projet était donc de profiter de l'expertise régionale des différents partenaires et de la connaissance des processus qui s'y développent pour ajuster les valeurs caractéristiques des grandeurs physiques. Dans une deuxième phase, un contrôle systématique des données devait être mis en place par chacun des partenaires dans sa zone d'expertise sur la base des critères choisis. Enfin un contrôle global devait être effectué après compilation, pour assurer l'homogénéité du jeu de données définitif.

3.3 - Mise à jour des produits climatologiques

Les atlas climatologiques constituent un produit de référence qui doit se baser sur le jeu de données le plus exhaustif possible, disponible au moment de leur réalisation.

Cette partie du projet consistait donc à utiliser les données rassemblées pour réaliser un atlas numérique en température et salinité selon une méthode d'analyse objective. Le gain attendu concernait l'amélioration de la résolution spatiale pour permettre de décrire les structures permanentes du bassin méditerranéen (échelle typique 80 km) en profitant notamment de l'analyse de certaines données non diffusables que possède la Marine nationale.

3.4 - Edition et distribution du produit final

Cette dernière partie du projet recouvrait la réalisation et la mise à disposition pour la communauté scientifique d'un produit final intégré qui rassemble la base de données et les résultats de l'analyse climatologique.

3 - LE PROJET MEDATLAS POUR LE SHOM

1 - Objectifs

Sur un plan purement interne, l'intérêt pour le SHOM de participer à ce projet était multiple.

En premier lieu, il s'agissait de profiter d'un effort commun, à l'échelle de l'Europe, afin d'acquérir de nouvelles données. De plus, de par la nature des autres partenaires du projet, les sources envisagées pour obtenir de nouvelles données n'appartenaient pas au cercle des organismes avec lequel le SHOM entretient habituellement des échanges. Il s'agissait de laboratoires de recherche et de centres de données nationaux que le SHOM aurait donc eu du mal à contacter par ailleurs.

Les données attendues devaient donc être inédites, tant sur l'origine que sur le type de données (CTD et stations hydrologiques) qui n'est pas dominant dans les données archivées et traitées par le SHOM.

Dans un deuxième temps, ce projet constituait une opportunité pour mettre en place des procédures de validation en accord avec les normes des centres de données et organismes internationaux.

Enfin, le calcul d'une climatologie sur la mer Méditerranée

était une tâche identifiée dans le cadre du programme de réalisation des produits quasi-permanents en océanographie militaire. Avec la participation au projet Medatlas, ce produit devait profiter de l'accroissement du volume des données et des développements mis en place pour le contrôle qualité.

2 - Contribution du SHOM

Parmi les tâches identifiées (cf. § 2-3, page 6), la contribution spécifique du SHOM au projet était :

- d'assurer la mise à jour de l'archivage des profils bathythermiques (MBT et XBT) par la collecte et l'intégration en base de nouveaux profils collectés ;
- d'effectuer le contrôle de qualité de ces données ;
- de mettre à jour les statistiques climatologiques ;
- de participer à la diffusion des produits.

Pour leur part, chacun des autres partenaires avait en charge la collecte et la validation des mesures bathysondes acquises en continu ou à niveaux standards (stations hydrologiques) dans sa zone d'expertise privilégiée, la compilation du jeu de données complet (tous types de profils confondus) et la diffusion des produits.

3 - Calendrier

Le programme a été initié à l'été 1993 et s'est concrétisé par le dépôt de candidature du consortium Medatlas auprès de la Commission européenne en septembre 1993. Suite à l'acceptation du projet par la CE en avril 1994, une convention avec l'IFREMER définissant les termes de la participation du SHOM au projet a été élaborée et signée en novembre 1994.

En parallèle, la première réunion de projet s'est tenue en juin 1994, suivie en août par les premières demandes de données émises par le SHOM auprès des organismes extérieurs.

Les années 95 et 96 ont été utilisées à l'élaboration des spécifications techniques du format commun Medatlas. En parallèle, les développements ont été lancés pour réaliser les logiciels nécessaires à la gestion et au traitement des fichiers dans ce nouveau format standard.

Le premier lot de données validé a été obtenu en novembre 1996 et a permis de commencer les tests pour le calcul de la climatologie au début de l'année 1997. Le jeu de données final a été fourni en février 1997 et une première version des produits (jeu de données et climatologie) était disponible pour les partenaires, sur cédérom, au mois de mai. La version finale de la climatologie a été fournie en septembre et le produit définitif a été édité en décembre 1997.

Le calendrier de la dernière année du projet, en ce qui concerne le calcul de la climatologie, est détaillé dans le synoptique ci-contre.

Le jeu de données final a été rassemblé au début du mois de février, soit avec 9 mois de retard sur le calendrier prévu.

Ce retard de phase provient de différents postes :

- du travail de définition des tests et protocoles de validation qui a duré plus longtemps que prévu ;
- de l'intégration a posteriori du jeu de données Mediterranean Ocean Data Base (MODB) qui a retardé la disponibilité des données CTD et stations hydrologiques ;

- des problèmes d'intégration de la base de données du fait de la non prise en compte de certaines évolutions du format Medatlas dans le logiciel de chargement des données du CMO.

Une fois le jeu de données disponible, la phase de paramétrisation du logiciel de calcul de la climatologie (cf. § 4-3.3, page 13 ; cf. § 5-3.2, page 18) a duré un peu plus d'un mois.

La phase de production de la première version des atlas (version 1) a débuté mi-février et a duré 3 mois. Elle s'est achevée par l'édition du cédérom version β, diffusé de manière restreinte aux partenaires du projet et à la COI pour évaluation.

La deuxième version des atlas, corrigée des erreurs de la version 1 et comprenant l'ensemble des immersions de calcul, était prête début septembre 1997, soit 7 mois après la disponibilité des données. Les dernières corrections ont

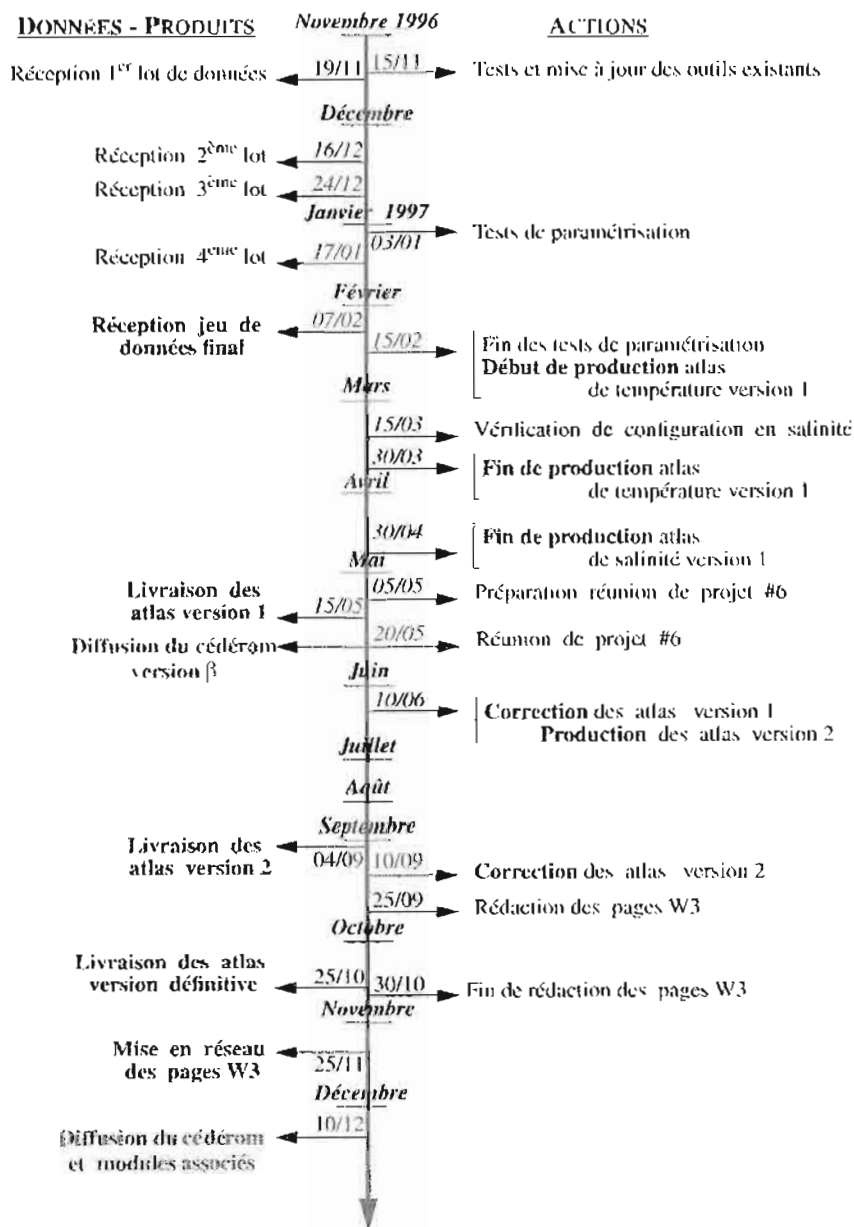
été effectuées dans le courant du mois suivant, en même temps que le développement du site W3.

La version finale de la climatologie a été fournie à l'IFREMER la dernière semaine d'octobre pour édition du cédérom définitif. Ce dernier a été distribué en décembre.

4 - Organisation

La réalisation des travaux a été assurée par la section Océanographie Appliquée du CMO selon une organisation qui prévoyait une prise en charge de l'aspect "archivage et validation" par le Centre de Données Méto (CDM) et une exploitation statistique dans le cadre d'une sous-traitance pilotée par un ingénieur de la section.

Le temps consacré à ce projet par les personnels de la section a été de 722 jours-hommes entre le 1^{er} janvier 1994 et le 31 décembre 1997 (source : comptabilité analytique de gestion).



La répartition mensuelle et par catégorie de personnels est présentée figure 1, sachant qu'un total de 10 personnes a travaillé à différents degrés au projet pendant cette période. On peut ainsi chiffrer le coût interne du projet à 2,23 MF auxquels il convient de rajouter la part des travaux sous-traités. Cette dernière représente une charge de travail de 170 jours d'un ingénieur d'étude pour un coût de 424 kF.

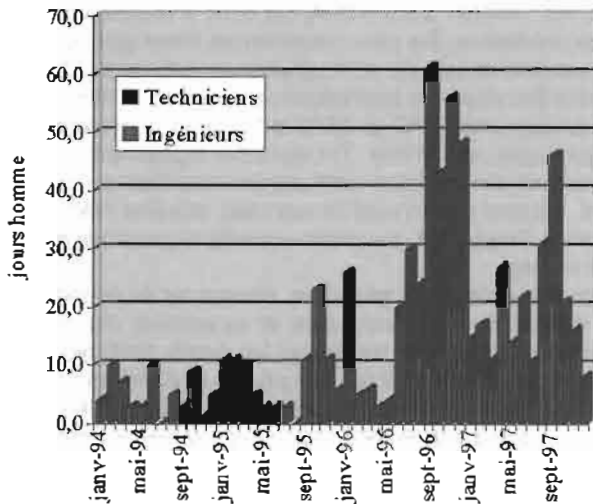


Figure 1 : Répartition de la charge de travail pendant la durée du projet

Au total le projet a donc représenté une charge de travail de 1009 jours-homme pour un coût global de 2,66 MF.

4 - PRÉSENTATION TECHNIQUE DU PROJET

Cette partie est limitée à la présentation du contenu technique des différentes parties du projet. Les résultats et le bilan de ces actions sont présentés dans le chapitre suivant (cf. § 5, page 14)

1- Collecte des données

La phase de collecte des données a consisté en une démarche systématique de demande de données auprès des services hydrographiques de 8 pays du bassin méditerranéen. Plus précisément les pays contactés étaient :

- le Maroc ;
- la Tunisie ;
- l'Egypte ;
- Israël ;
- la Turquie ;
- la Grèce ;
- l'Italie ;
- l'Espagne.

Une demande particulière a aussi été adressée au service hydrographique britannique (UK Hydrographic Office) et au centre de recherche sous-marine de SACLANT (SACLANT-CEN).

2 - Validation des données XBT et MBT

La validation des données bathythermiques a été assurée par le Centre de Données Météo. Cette phase du projet a consisté à :

- définir les critères d'une procédure de validation semi-automatique ;
- développer le logiciel de validation ;
- effectuer la validation du jeu de données et attribuer un indice qualité à chaque profil.

2.1- Critères de validation

Les critères de validation ont été discutés lors des premières réunions de projet. Ils sont communs à la validation des deux types de lots de données que constituent les CTD et stations hydrologiques d'une part, et les données des bathythermographes d'autre part.

Les tests retenus sont en accord avec les recommandations de la COI et les procédures mises en place dans les centres de données internationaux. A ce titre aucune valeur n'est modifiée. La validation vérifie que le profil satisfait à un certain nombre de critères. Si tel est le cas, le profil est déclaré <bon>. Dans le cas contraire, il peut être qualifié de <mauvais> ou <douteux>. Cette classification distingue un profil rejeté à cause d'un champ (principalement dans l'en-tête) contenant une valeur non physique et pour lequel l'information est irrécupérable (profil <mauvais>), d'un profil invalidé à cause d'une anomalie qui demande à être confirmée ou infirmée (profil <douteux>).

Les tests s'organisent en deux grandes familles. La première concerne une vérification de la cohérence des informations entourant l'acquisition de la donnée (validation de l'en-tête). La seconde concerne la vérification des mesures.

2.1a - Validation de l'en-tête

Les tests réalisés portent sur :

- la cohérence de l'en-tête ;

La cohérence de l'heure, de la date, de la longitude et de la latitude est vérifiée. Les stations classées « mauvaises » suite à une anomalie dans un des champs date, latitude, ou longitude sont rejetées,

- la détection des doublons ;

Les profils en double sont recherchés en vérifiant l'heure, la date et la position. La marge autorisée en temps et en position est définie par l'utilisateur. Pour les besoins de Medatlas cette marge est nulle,

- le contrôle de la vitesse du bateau ;

La vitesse du bateau est calculée entre deux stations consécutives. Si elle dépasse un certain seuil, la station est codée « douteuse ». Ce test n'est utilisable que lorsque le code du bateau est renseigné,

- le contrôle de la profondeur ;

Le contrôle de cohérence sur la profondeur est effectué en comparant la valeur portée dans l'en-tête du profil à la valeur correspondante de la bathymétrie fournie par ETOPO5. Si la valeur contenue dans l'en-tête est inférieure à (0,5 x ETOPO5) ou supérieure à (2 x ETOPO5), la station est codée « douteuse »,

- le contrôle de la profondeur maximale ;

De la même manière, la cohérence entre la profondeur maximale de la station et la valeur dans ETOPO5 est également contrôlée. Si la profondeur maximale dépasse celle fournie par ETOPO5 de plus de 30%, la station est également codée « douteuse ».

2.1b - Validation des mesures

Les tests réalisés s'enchaînent dans l'ordre chronologique suivant :

- détection des profondeurs doubles ;

Les immersions en double dans un même profil sont recherchées et éliminées,

- vérification de cohérence par rapport à des seuils maximum et minimum ;

La station est considérée comme « douteuse » si une des valeurs du profil est en dehors des seuils minimum et maximum définis par l'utilisateur,

- vérification de cohérence statistique ;

Pour chaque jeu de données, la valeur moyenne ainsi que la déviation standard sont estimées. La station est considérée comme « douteuse » si une des valeurs est hors des limites définies comme ± 3 fois la valeur de l'écart type autour de la moyenne,

- détection des pics ;

Enfin, un profil est codé « douteux » si un pic supérieur au seuil pré-défini est détecté. Ce test n'est effectué que si le profil en cours de validation a passé les deux tests précédents avec succès. Un algorithme de filtre médian est utilisé lors de ce test (fenêtre de 3 points, seuil de 0,5°C).

2.2 - Développement du logiciel

Compte tenu du nombre élevé de données à traiter (plus de 245 000 stations à contrôler), il n'était pas possible de vérifier visuellement chaque profil. Les critères ont donc été implémentés dans un logiciel de validation semi-automatique.

Dans cette configuration, l'intervention d'un opérateur est limitée aux choix des valeurs des seuils minimum et maximum des tests de cohérence. Le logiciel est ensuite utilisé pour traiter une zone dans laquelle tous les profils sont confrontés individuellement et successivement à chacun des tests. Au final, chacun des profils se trouve affecté d'un code validation qui permet ensuite de le classer dans une des trois catégories.

A l'inverse de ce qui est mis en oeuvre pour la validation des stations hydrologiques et CTD (Fichaut et al., 1997), le code qualité est global et non pas affecté à chaque mesure du profil. En conséquence un profil complet peut-être déclaré douteux à la détection d'une seule anomalie sur une mesure du profil.

3 - Calcul de la climatologie

Le calcul de la climatologie comporte une étape de préparation des données et une étape d'estimation des champs de température et salinité. Par ailleurs, avant toute production systématique des atlas, il est nécessaire de faire une étude de sensibilité de l'estimation des champs aux paramètres de l'analyse objective. Cette section détaille le contenu technique de ces trois étapes.

3.1 - Préparation des données

3.1a - Contrôle des données

La préparation du jeu de données, intégrée au calcul de la climatologie, est composée des contrôles classiques appliqués aux gros volumes de données. Dans le cas présent, ces tests sont redondants avec la procédure de

validation déjà appliquée aux profils (cf. § 4, page 9). Cette duplication s'explique par le fait que les jeux de données utilisés jusqu'alors par le SHOM pour le calcul de ses atlas numériques ne subissaient pas de validation globale et systématique préalable. Une phase de contrôle de qualité des données était donc nécessaire avant tout traitement et calcul statistique.

Chaque profil des lots CTD et stations hydrologiques d'une part, XBT et MBT d'autre part, est donc à nouveau contrôlé sur la cohérence des méta-informations telles que la validité des valeurs de latitude et longitude, du mois et du jour. Les valeurs des mesures sont ensuite examinées et doivent être comprises entre 0°C et 35°C pour la température, 1 et 50 psu pour la salinité. On contrôle également que les valeurs de l'immersion sont croissantes tout au long du profil. L'échec sur un seul de ces tests entraîne l'élimination du profil. Finalement, les profils contenant une seule mesure sont rejetés.

Après cette validation grossière, chaque lot de données est trié d'après sa date, son heure et sa position d'acquisition de manière à repérer facilement les profils multiples. Dans ce cas, la sélection d'un des profils dépend du type de mesure (la priorité est donnée aux CTD et XBT dans chaque lot respectivement), puis de la profondeur maximale atteinte et finalement du nombre de mesures du profil. En dernier lieu, le premier profil est sélectionné de manière arbitraire en fonction de son numéro d'identification (ce dernier correspond à son ordre d'archivage dans la base).

3.1b - Interpolation verticale

Chaque lot de données est ensuite interpolé aux niveaux standards de calcul de la climatologie. Les valeurs des données de CTD et de bouteilles ont été calculées par l'IFREMER en utilisant la méthode de Reiniger et Ross (Reiniger and Ross, 1968).

Pour les profils bathythermiques (XBT et MBT), il lui a été préféré une interpolation par régression linéaire, cohérente avec la manière dont les profils sont réduits avant d'être intégrés dans la base archive du CMO. A une profondeur standard donnée, la valeur interpolée est calculée par régression sur toutes les mesures des couches supérieure et inférieure. Lorsqu'une seule observation est présente, l'interpolation linéaire est utilisée. Si aucune observation n'est disponible dans l'une des deux couches, l'interpolation n'est pas effectuée.

3.2 - Estimation optimale des champs

Les champs statistiques de température et de salinité ont été réalisés par analyse objective selon le schéma de krigeage. Le krigeage est un type d'interpolation optimale linéaire qui trouve son origine dans les applications géostatistiques comme l'exploitation minière, l'hydrologie et la météorologie (Journel et Huijbregts, 1978). Le krigeage peut être également présenté comme une variante de l'analyse objective utilisée classiquement en océanographie (Bretherton et al., 1976). Cette variante s'appuie sur l'hypothèse de stationnarité intrinsèque (stationnarité de la moyenne et de la variance des incrémentes) de la variable aléatoire que l'on estime (le champ de température), hypothèse plus faible que celle de stationnarité d'ordre 2 (stationnarité de la moyenne et variance des valeurs) utilisée dans Bretherton et al. (1976).

Dans tous les cas, l'objectif est d'estimer la valeur d'un champ (ici la température ou la salinité) en des endroits où elle n'est pas connue à partir d'observations de ce champ inégalement réparties dans l'espace et dans le temps.

L'utilisation du krigeage pour l'estimation climatologique soulève cependant quelques problèmes spécifiques :

- en premier lieu, le calcul d'une climatologie implique une estimation des composantes à long terme du champ statistique. Des études récentes montrent que ce problème peut être résolu en sélectionnant de manière adéquate les observations entrant dans l'estimation (Gohin et Langlois, 1991) ;
- ensuite, un atlas climatologique se conçoit à l'échelle d'un bassin. L'analyse doit donc être locale, ce qui se traduit par le besoin de calculer une fonction de structure en chaque point où l'on veut faire l'estimation.

Parallèlement, le krigeage souffre des limitations inhérentes à toute technique d'interpolation optimale ;

- la dimension du système à résoudre est égale au nombre d'observations. Pour résoudre le problème dans le cas de l'analyse d'un gros volume de données, on se place classiquement dans la configuration d'une analyse sous-optimale, en sélectionnant un nombre limité d'observations entrant dans le système de krigeage ;
- l'estimation locale de la fonction structure augmente considérablement le temps d'estimation.

L'implémentation de la méthode de krigeage pour le calcul d'une climatologie doit donc trouver un compromis d'une part, entre l'analyse locale du champ et la résolution du calcul et, d'autre part, entre objectivité et sub-optimalité de l'analyse.

Le logiciel de krigeage Makac, développé par le CMO antérieurement au projet (Coat, 1994), prend en compte cette problématique. Les choix techniques mis en place concernent :

- le pré-traitement des données ;
- l'optimisation de la localisation des points d'estimation ;
- la procédure de recherche du voisinage ;
- le calcul des fonctions de structures.

3.2a - Pré-traitement des données

Les données à analyser sont les profils mesurés, ré-interpolés aux niveaux standards. La première étape consiste en un tri à haute résolution des données : les observations d'un même mois et d'une même année sont sélectionnées par pavé de 1 km x 1 km et triées par ordre croissant. Dans le cas où plusieurs valeurs sont disponibles, seule la valeur médiane est alors conservée pour l'étape suivante du traitement. Ce tri évite que des concentrations de données synoptiques induisent un mauvais conditionnement de la procédure de recherche du voisinage (cf. § 4, page 12) et de la matrice de krigeage.

La seconde étape est la validation croisée. Elle s'effectue en calculant les valeurs à la position de chaque observation. La valeur estimée est comparée avec la valeur observée et cette dernière est rejetée si l'écart entre les deux valeurs est supérieur à 2,5 fois l'erreur d'estimation a posteriori.

3.2b - Adaptation de la grille d'estimation

Cette phase du traitement vise à optimiser le nombre et la localisation des nœuds de la grille sur laquelle sont estimées les valeurs du champ de manière à ce que l'analyse locale ne nécessite pas un temps de calcul exagérément long. Un autre objectif est également d'assurer un nombre quasi-constant d'observations dans chaque cellule de façon à obtenir une estimation la plus homogène possible du champ de température.

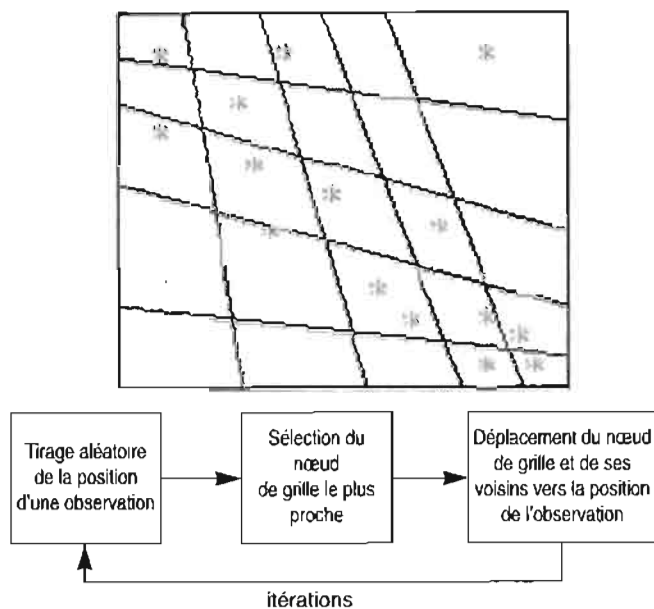


Figure 2 : Schéma de principe d'adaptation d'une grille régulière en fonction de la densité des observations disponibles

L'algorithme d'adaptation de la grille est basé sur les réseaux de neurones de Kohonen et contraint par la distribution des données valides disponibles (Sarzaud et al., 1994). Dans cette application, les neurones du réseau sont les nœuds de la grille. Le poids de chaque neurone dépend des coordonnées géographiques du nœud de la grille et est modifié, de manière itérative, en fonction de la position d'une observation choisie de manière aléatoire dans le jeu d'observations disponibles. Le neurone (point de grille) le plus proche et sa couronne sont alors déplacés vers la position de cette observation (figure 2).

Etant donné que le tirage de la position des observations est aléatoire, la probabilité de sélectionner une observation dans une zone mal échantillonnée est faible. A l'inverse une observation aura une chance plus grande de "provenir" d'une région fréquemment observée. Par itération du processus, les nœuds de la grille vont donc avoir tendance à s'éloigner des zones pauvres en observations et se resserrer dans les zones où les observations sont nombreuses.

Une contrainte supplémentaire a été ajoutée à ce schéma. Elle consiste à imposer aux nœuds de se déplacer pas à pas sur la grille d'initialisation sous-jacente. Cette grille est régulière et est utilisée pour la représentation des résultats. Les nœuds de la grille adaptée sont donc communs avec la grille finale. Ceci assure que les valeurs calculées aux

points de la grille adaptée sont conservés lors de la cartographie des champs estimés. Seules les valeurs manquantes aux nœuds de la grille régulière sont calculées par interpolation à partir des valeurs optimales de la grille adaptée.

Il était également intéressant d'avoir non seulement la grille adaptée à la distribution des données mais aussi au voisinage que l'on utilise par la suite lors de la phase d'estimation. Pour ce faire, les poids des nœuds du réseau tiennent aussi compte des critères de sélection de la procédure de recherche de voisinage (cf. § 4, page 12) : l'objectif est d'éviter que la grille ne se resserre "trop fortement" dans les zones échantillonnées de manière synoptique (effet de campagne). En effet dans ces conditions, les observations autour d'un point de grille, bien que suffisamment nombreuses pour satisfaire les critères de sélection dans l'espace ne satisferaient pas les critères temporels. La procédure de voisinage ne pouvant pas trouver le nombre requis d'observations, le calcul ne serait finalement pas effectué en ces points.

Finalement, on s'attend à ce que la répartition des nœuds de la grille adaptée corresponde à la distribution des données et, dans une moindre mesure, aux critères de sélection du voisinage.

Cette procédure a été testée et utilisée lors de la réalisation

de l'atlas en température de l'Atlantique Nord-est. La figure III donne un exemple de maillage adapté sur une partie de la Méditerranée. On peut voir que la déformation de la grille entraîne la "disparition" d'un certain nombre de points d'estimation dans les zones sans observations (Canal de Sicile, mer Adriatique) par rapport au maillage défini par la grille régulière que l'on peut voir dans les zones fortement échantillonnées (golfe du Lion, mer Ionienne). Le gain en temps de traitement permet de calculer la climatologie à l'échelle de tout le bassin à une résolution compatible avec les échelles typiques des phénomènes rencontrés.

3.2c - Procédure de recherche de voisinage

L'objectif principal de la procédure de recherche de voisinage est d'assurer une certaine robustesse du schéma sous-optimal de l'analyse : à défaut de pouvoir utiliser toutes les observations disponibles (trop nombreuses), la sélection d'un nombre limité d'observations doit assurer une bonne représentativité spatiale et temporelle de l'estimation. Pour cela, la procédure de voisinage recherche, autour de chaque point d'estimation, un nombre limité d'observations qui satisfont les critères suivants :

- les observations et le point d'estimation ne doivent pas être éloignés de plus d'une distance R_{max} ;

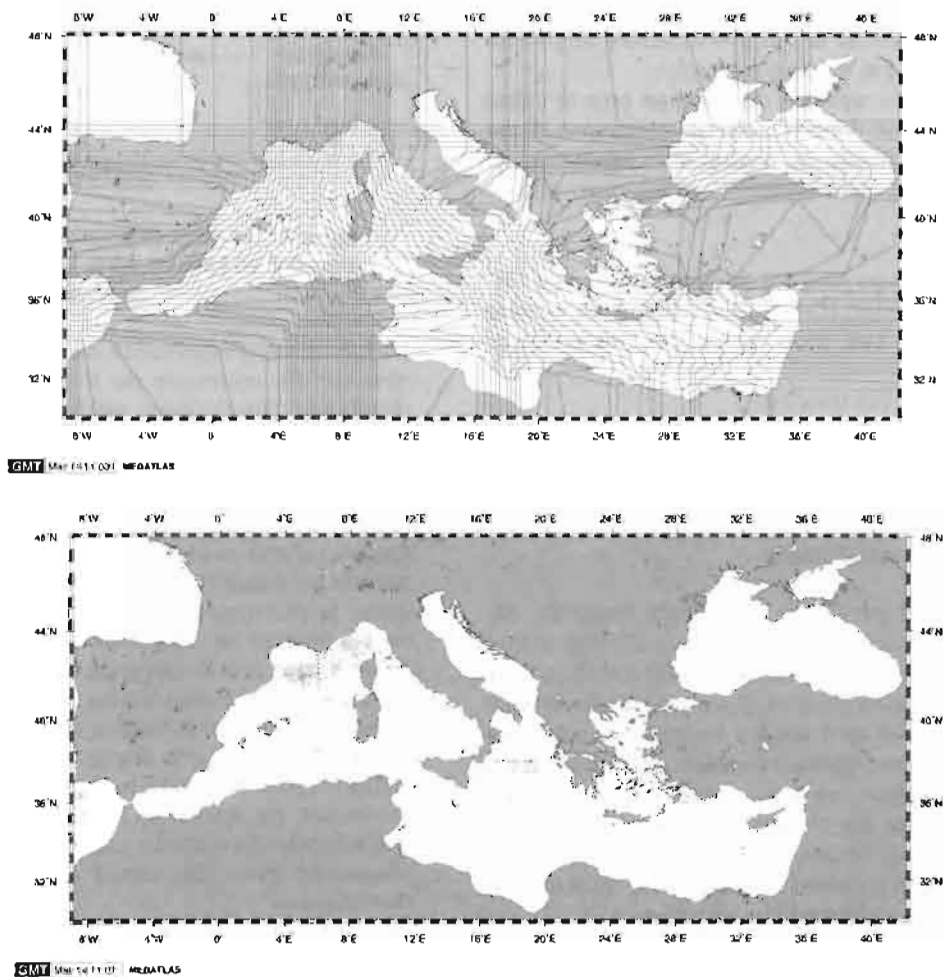


Figure 3 : Exemple d'un maillage adapté (en haut) en fonction de la distribution des données disponibles à 1200 mètres (en bas).

- une observation au moins doit se trouver en deçà de la distance R_{min} ;
- les observations sélectionnées ne doivent pas laisser plus de M octants vides autour du point d'estimation ;
- l'année de toute observation sélectionnée doit être différente de celle du point d'estimation (dans le cas de la validation croisée), et des années de toutes les autres observations appartenant déjà au voisinage. Au maximum N_{opt} et au minimum N_{min} observations sont nécessaires.

Le dernier critère est utilisé pour tenir compte des variabilités inter-annuelle et mensuelle de la fonction de structure (Gohin & Langlois, 1991).

3.2 d - Estimation des variogrammes

Le variogramme fournit à l'analyse objective l'information statistique sur le champ à estimer. Il est calculé à partir du jeu de données que l'on est en train d'analyser en chacun des points où l'on fait l'estimation (analyse locale). Dans le cas présent, le calcul est donc effectué en chaque point de grille du réseau adapté.

Un variogramme classique vaut zéro à l'origine puis croît régulièrement avec la distance jusqu'à atteindre une certaine valeur (appelée portée) au delà de laquelle il reste constant. Dans cette description, le variogramme est extrêmement régulier et sa relation avec la fonction de covariance est évidente : la croissance plus ou moins rapide de la courbe fournit le taux avec lequel l'information disponible à l'origine n'est plus significative. La valeur de la portée indique la distance au delà de laquelle deux valeurs voisines ne sont plus corrélées.

De manière à calculer des valeurs stables du variogramme, les couples d'observations dans chaque classe de distance doivent être suffisamment nombreux pour être statistiquement représentatifs (figure 4). Mais ces couples

doivent également être suffisamment proches du point d'estimation pour caractériser les propriétés locales du champ. Les couples sont donc sélectionnés de façon à ce qu'au moins une des deux observations appartienne à un disque centré sur le point d'estimation (point rouge) et d'un diamètre égal à la distance moyenne des 4 nœuds de grille les plus proches (étoiles). Le second point du couple peut alors être choisi à l'intérieur (points bleus) ou à l'extérieur (points noirs) de ce disque.

De plus, de façon à rester cohérent avec la procédure de recherche du voisinage, les couples doivent également être construits avec des observations d'années différentes.

Toutefois, le variogramme expérimental ne peut pas être utilisé directement. Il est donc modélisé par une fonction analytique (figure 5). Il doit par ailleurs satisfaire à des propriétés mathématiques et seules quelques fonctions peuvent servir de modèle. Les modèles les plus courants sont les fonctions puissance, sphérique, exponentielle cubique et loi normale.

3.3 - Etude de paramétrisation

Le logiciel Makac a déjà été utilisé lors du calcul de l'atlas thermique en Atlantique Nord-est. Comparé à cette précédente application, le bassin méditerranéen est de taille plus réduite et de morphologie plus accidentée. On distingue différents bassins séparés par des seuils (Gibraltar, Otrante, Sicile Tunisie, Dardanelles et Cyclades, Baléares) qui rendent la topographie de ses fonds très irrégulière. De nombreuses petites mers enclavées (Adriatique, Noire, Egée...) génèrent une distribution des masses d'eau complexe aux échelles moyennes (moins de 80 km).

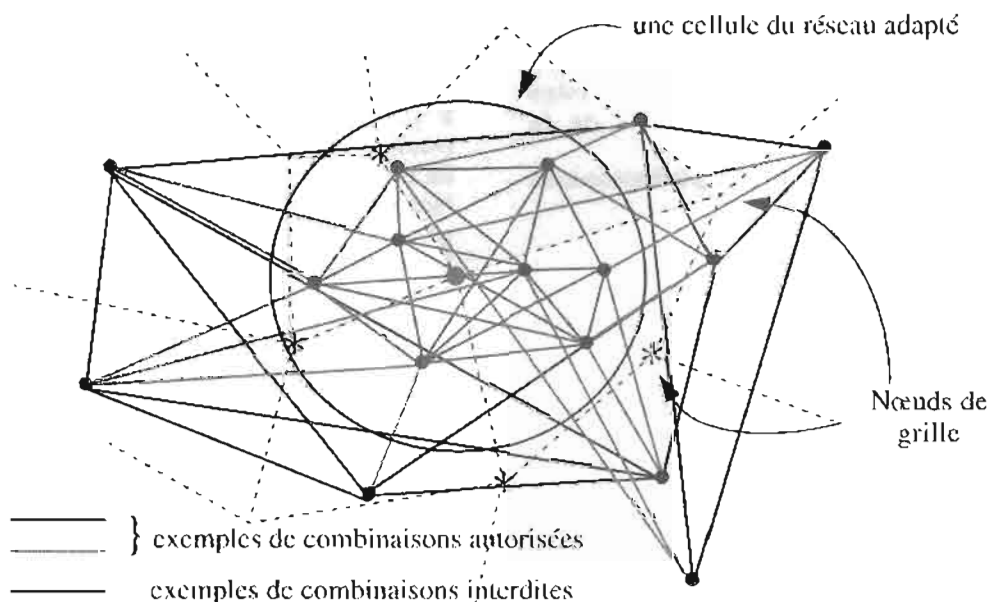


Figure 4 : Schéma de construction des couples d'observations utilisés dans le calcul du variogramme en un point d'estimation.

5-RÉSULTATS ET BILAN TECHNIQUE DU PROJET

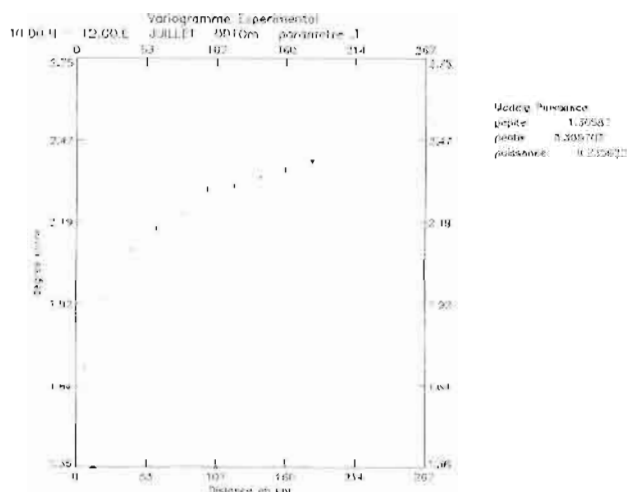


Figure 5 : Exemple d'un variogramme expérimental (croix) et de sa modélisation.

Toutes ces caractéristiques ont nécessité une adaptation des paramètres de krigeage, en particulier sur les distances maximales de recherche de voisinage, les pas du calcul des variogrammes de validation et de krigeage, etc.

Les paramètres nécessaires à l'algorithme de krigeage sont nombreux. Cependant, la mise en place de règles d'expert permet de les obtenir à partir d'un petit nombre de paramètres influents : les paramètres-clés. Ces règles sont l'aboutissement du travail de mise au point et de tests du logiciel. Elles sont indépendantes de la zone étudiée et ont été conservées pour traiter la Méditerranée. En ce qui concerne le choix de la paramétrisation, cela permet de réduire l'étude de sensibilité à des tests de configuration du logiciel en fonction des paramètres-clés.

Ces paramètres sont :

- D_{min} : taille de la maille requise pour le réseau maillé ;
- N_{opt} : nombre optimal d'observations d'années différentes nécessaires à l'estimation de la température ;
- N_{min} : nombre minimum d'observations indispensables à l'estimation.

D'un point de vue physique, ces deux derniers paramètres peuvent s'interpréter respectivement comme la stationnarité du phénomène que l'on veut estimer, et la représentativité temporelle de l'estimation que l'on souhaite obtenir.

Dans le cas de la Méditerranée, un soin particulier a également été apporté à la détermination de :

- R_{min} : rayon minimum en deçà duquel au moins une observation doit être présente ;
- R_{max} : rayon maximum au-delà duquel les observations ne doivent pas être sélectionnées.

Cette partie présente les résultats et le bilan de la participation du SHOM à Medatlas. Pour certains aspects (collecte de données par exemple), cette évaluation peut être quantitative et relativement objective. Pour les autres, il convient de prendre en compte que cette évaluation est plus subjective.

Dans tous les cas, le bilan a été dressé en mettant en balance la contribution du SHOM au projet avec ce qui a été obtenu du fait de la participation au projet. Il ne représente pas le bilan du projet dans son ensemble. Pour cette évaluation globale on pourra se reporter au rapport final du projet Medatlas 1997).

1 - Les données

Sur le plan des données, le bilan se situe à deux niveaux :

- bilan du travail de collecte des données XBT et MBT confié au SHOM ;
- bilan en données, tous types confondus, de la participation du SHOM au projet.

1.1 - Collecte des données bathythermographiques par le SHOM

Pour ce premier aspect, il s'agit du bilan des demandes adressées par le SHOM aux organismes extérieurs afin d'obtenir de nouvelles données (cf. § 4-1, page 9). Celui-ci s'avère très pauvre puisqu'aucun des 10 organismes contactés, à l'exception du service hydrographique britannique (UKHO), n'a fourni de réponse positive aux demandes. Ce dernier a effectué un envoi spécifique d'XBT qui pouvait être utilisé pour le calcul de la climatologie mais ne devait pas être distribué en tant que jeu de données.

Après confrontation de cet envoi spécifique avec le contenu de la Base de Données Océanographiques du SHOM (BDOS), une centaine de profils inédits ont pu être identifiés. Cette faible proportion s'explique par le fait que le SHOM entretient des échanges réguliers avec le HO britannique et possédait donc déjà la plupart des données fournies spécifiquement pour les besoins du projet.

Il faut ajouter à ce nombre, les données bathythermographiques dont disposaient les autres partenaires du projet, soit : une centaine de données espagnoles fournies par l'IEO et une autre centaine de données grecques fournies par HNODC.

La raison la plus souvent invoquée par les organismes pour expliquer l'impossibilité de fournir des données est le manque de structures en gestion des données, qui ne leur permet pas de traiter facilement ce type de demande spontanée. Un des objectifs affichés (cf. § 3-1, page 7) n'a donc pas été atteint puisque l'effort spécifique consenti pour collecter des données bathythermographiques n'a finalement permis d'obtenir que très peu de profils inédits.

1.2 - Bilan en données de la participation du SHOM au projet

Ce deuxième aspect dresse une évaluation du nombre de données fournies et récupérées par le SHOM dans le cadre du projet.

Pour ce faire le tableau 1 fait apparaître pour chaque type de données :

Type de données	Contribution		Gain	Total Medatlas	
	utilisable	diffusable		utilisées	diffusées
<i>st. hydrolog.</i>	99		4 292	33 826	
<i>CTD</i>	31		15 433	16 735	
<i>MBT</i>	21 530	8 927	331	91 194	81 464
<i>XBT</i>	52 303	3 020	224	119 647	75 009

Tableau 1: Bilan de la collecte de données du projet Medatlas

- d'une part, dans la rubrique "contribution", le nombre des données fournies par le SHOM au projet Medatlas et que ce dernier n'aurait pu obtenir par ailleurs. Parmi ces données il convient de différencier les données qui ont été librement diffusées de celles qui n'ont pu être utilisées que pour le calcul de la climatologie.
- d'autre part, dans la rubrique "gain", le nombre des données récupérées par le SHOM et que celui-ci n'aurait pu obtenir par ailleurs.

Ces deux rubriques sont comparées au nombre total de données rassemblées dans le cadre du projet.

Remarque : Ces statistiques ont été réalisées après validation des données (cf. § 5-2, page 16), ce qui permet d'éliminer les profils en double entre les jeux de données recueillis et dans les jeux de données eux-mêmes pour le calcul des statistiques.

Au vu de cette évaluation, il ressort que la contribution du SHOM en données inédites est constituée presque exclusivement de profils bathythermographiques. A l'inverse, le SHOM a récupéré en très grande majorité des profils hydrologiques discrets ou continus.

Le volume des données bathythermographiques mis à disposition représente 34 % du nombre total de données utilisées dans le projet et environ 8% du nombre de données diffusées. Ces données n'ont que pour une très faible proportion (moins de 1% et 4% respectivement) été obtenues lors de la phase de collecte des données XBT et MBT par le SHOM (cf. § 5-1.1, page 14). Elles résidaient déjà dans la BDOS à la suite de mises à jour antérieures au projet.

L'autre majeure partie des données bathythermographiques du projet (60% des données) provient du NODC américain. Ces données avaient été acquises par le CMO préalablement au projet dans le cadre de la veille technologique mise en oeuvre pour enrichir la BDOS. Bien

que récupérées et fournies par le SHOM, ces données pouvaient de toute façon être obtenues par les autres partenaires sans la participation du SHOM au projet.

De la même manière il est intéressant de quantifier quelle est, parmi les stations hydrologiques et bathysondes récupérées dans le cadre du projet, la proportion que le SHOM aurait pu se procurer par ses propres moyens. Pour cela un inventaire de la BDOS a été pratiqué sur la zone (cf. tableau 2).

Cet inventaire montre que la base s'est enrichie de 12% de données de station hydrologiques et d'un facteur 7,4 en données bathysondes. Sur la base des deux centres d'archivages de données (NODC américain et IFREMER) auprès desquels le SHOM se fournit régulièrement en données, seulement 26% des stations hydrologiques et 9% des stations bathysondes auraient été obtenues par le SHOM s'il n'avait pas participé au projet Medatlas.

En conclusion, d'après le bilan de la démarche spécifique de collecte de données entreprise par le SHOM, il ressort que les possibilités du service pour récupérer des données inédites dans cette région auprès de ses partenaires classiques (services hydrographiques et marines étrangères) sont très limitées.

La veille technologique auprès des centres d'archivage de données océanographiques reste donc une source importante pour l'enrichissement de la BDOS, tout en sachant que le délai de récupération des données par ces centres est au mieux de 5 ans et qu'ils ne reçoivent pas systématiquement toutes les données. Sur ce dernier point, le nombre de données collectées par les autres membres du projet montre le succès d'une action volontariste et systématique auprès des organismes de recherche et laboratoires universitaires. Le SHOM en participant à ce projet a pu profiter plus rapidement et dans une plus large proportion de ces données inédites.

Type de données	Avant	Après	Gain	
			Total	source US NODC
<i>st. hydrolog.</i>	35 697	39 989 (+ 12%)	4 292	1 109 (25,8%)
<i>CTD</i>	2 411	17 844 (+740%)	15 433	1 352 (8,7%)

Tableau 2 : Analyse du gain des données obtenues

A l'issue du projet, l'état de la base archive sur la région du bassin méditerranéen est telle que représentée figure 6.

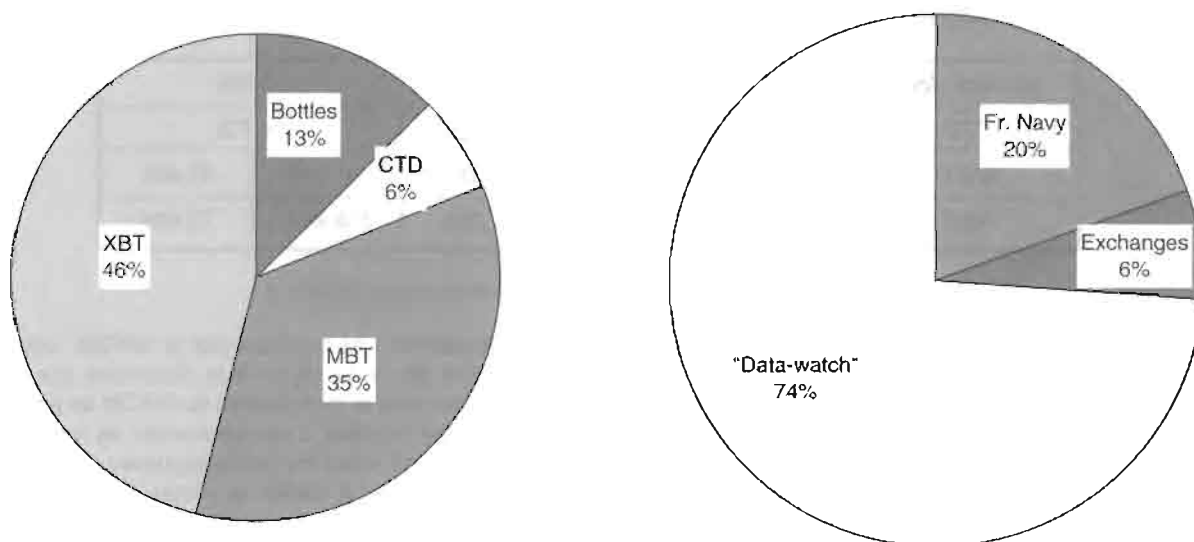


Figure 6 : répartition des données hydrologiques de BDOS dans le bassin méditerranéen ; a) par types de données ; b) par origine des données.

- un peu plus de 80% des données disponibles est constitué de mesures de bathythermographes ;
- ces données, tous types confondus, proviennent pour près de 75% de la veille technologique assurée auprès des centres d'archivage (américains, anglais et français), pour 20 % des bâtiments de la marine française et pour le reste des échanges bilatéraux que le SHOM entretient avec ses homologues étrangers.

La répartition des sources de données est sensiblement modifiée si l'on s'intéresse aux profils bathythermographiques : 68% des profils sont obtenus auprès des centres d'archivage, 24% proviennent des bâtiments de la Marine et 8% résultent des échanges. En revanche dans le cas des stations hydrologiques et bathysondes, la quasi-totalité (~ 99%) des données sont issues des centres d'archivage. Les données "marine" et les échanges ne contribuent qu'à un peu plus de 1% de ce type de profils.

2 - Validation des données

La validation des données des bathythermographes a été effectuée par pavés appartenant aux zones de validation définies pour le contrôle des données bathysondes (Fichaut et al., 1997). Chacun des ces pavés a été traité individuellement. En particulier les critères entrant dans les tests de cohérence statistiques sont calculés à partir des profils appartenant au pavé en cours de validation.

Le bilan est résumé dans le tableau 3.

Sur un total de 245 980 profils contrôlés, 46 profils ont été rejetés, 228 446 profils ont satisfait aux critères de validation et 35 093 (environ 14%) ont été codés douteux.

En détaillant les critères de rejet qui ont présidé à la classification des profils, on peut voir que les tests de cohérence sont les plus contraignants.

Type de données	Avant		Après validation	
	Total	Total	Taux de rejet	Commentaires
MBT	107 814	91 194	15.4 %	- pbs localisation : 27% - tests de cohérence : 69% - détection de pics : 13%
XBT	138 166	119 647	13.4 %	- pbs localisation : 38% - tests de cohérence : 55% - détection de pics : 15%

Tableau 3 : Bilan de la validation des données bathythermiques du projet Medatlas

3 - Calcul de la climatologie

3.1 - Préparation des données

3.1a - Contrôle des données

Un contrôle du nombre de profils après chaque étape de la préparation des données permet d'avoir un suivi des profils éliminés. Les valeurs sont rassemblées dans le tableau 4.

Il n'est pas possible, à ce niveau du traitement, de fournir un bilan par types de mesures car l'information sur l'instrument d'acquisition est abandonnée lors du traitement dans le logiciel Makac.

Cependant, on peut voir que globalement la préparation rejette moins de 1% des données. Un examen plus détaillé montre que les profils rejetés sont majoritairement des "profils" ne contenant qu'une seule mesure. Des doublons sont aussi détectés malgré le contrôle qualité antérieur, mais il s'agit de profils sans information complète sur le temps. Cette information est nécessaire dans l'analyse climatologique afin d'accéder à la répartition temporelle des données.

Ce taux de rejet est très faible et confirme la qualité du jeu de données issu de la phase de validation. A titre de comparaison, cette étape de préparation appliquée à une extraction brute de la base hydrologique écarte environ 10% des données.

3.1b - Interpolation verticale

L'interpolation à niveaux standards a ensuite été effectuée par l'IFREMER et le SHOM selon les méthodes adaptées à chacun des lots de données (cf. § 4-3.1b, page 10). Les niveaux sont au nombre de 28, entre la surface et 4000 mètres de profondeur. Cet échantillonnage résulte d'une combinaison des niveaux adoptés pour les climatologies Levitus (Levitus et al., 1994a ; 1994b), et MODB (Brasseur et al., 1997). Il privilégie la meilleure des deux résolutions jusqu'à 200 m de profondeur. Aux profondeurs intermédiaires, les niveaux adoptés sont identiques aux niveaux Levitus. Plus profond (en dessous de 600 m), où la résolution adoptée dans la climatologie Levitus ne se justifie plus en Méditerranée, les niveaux ont été espacés mais restent avec une résolution plus fine que celle de la climatologie MODB.

La distribution verticale par type de données est présentée sur la figure 7. Le nombre le plus élevé de données disponibles est atteint pour les niveaux de subsurface (5 et 10 m). En dessous de 300 m (profondeur maximale des bathythermographes mécaniques), les données de types MBT disparaissent.

Dans le jeu de données XBT, on observe de brusques diminutions du volume de données entre certains niveaux successifs (200-250 m ; 400-500 m). Ces transitions correspondent aux immersions maximales que peuvent atteindre les différents types de sondes perdables (T10 à 200 et T4 à 450 m). En dessous de 800 mètres, les observations sont très largement constituées de profils bathysonde continus ou à niveaux standards.

Type de données	Avant préparation					Après
	Hydro	CTD	MBT	XBT	Total	Total
Nbre de profils	33 826	16 735	91 194	119 647	261 402	259 703
						0,65 %

Tableau 4 : Bilan de la préparation des données du projet Medatlas

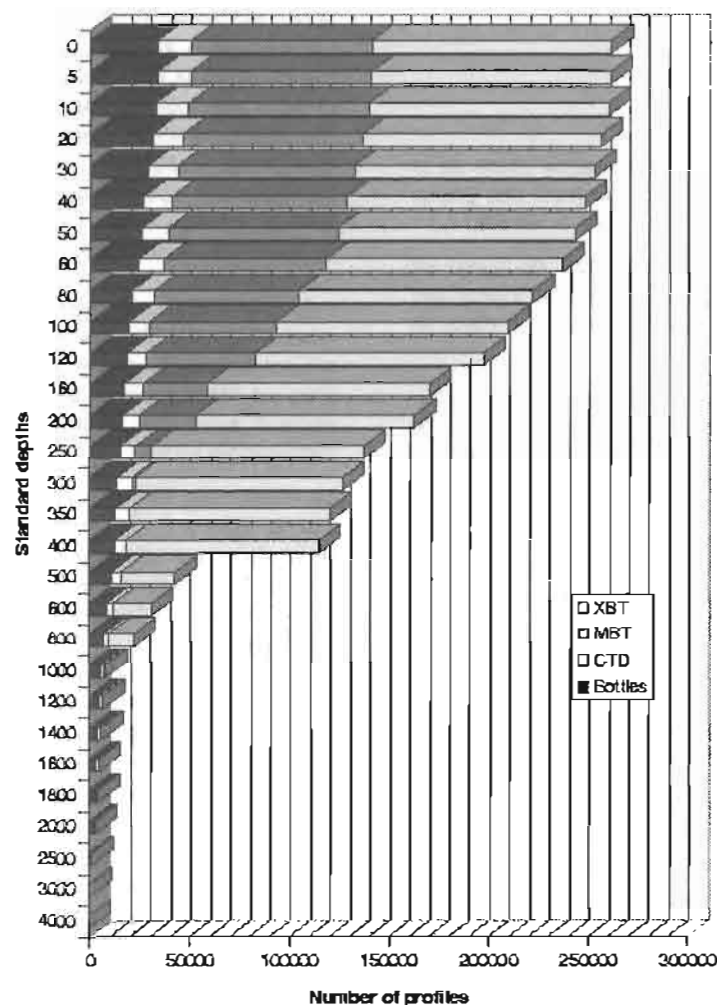


Figure 7 : Distribution verticale des données.

3.2 - Étude de la paramétrisation

Le protocole de test mis en place a consisté à changer la paramétrisation du logiciel en modifiant les valeurs des paramètres-clés (cf. § 4-3.3, page 13). Par l'intermédiaire des règles d'expert la modification est propagée à l'ensemble des paramètres de l'analyse.

Les tests de paramétrisation ne pouvaient pas être effectués de manière exhaustive. Il a donc été décidé de travailler sur un nombre limité de situations représentatives de l'ensemble des calculs à effectuer pour la réalisation de l'atlas. Ces situations ont été sélectionnées au regard de la distribution temporelle mensuelle et de la distribution verticale par niveaux des données en température.

D'après la distribution temporelle des données, les tests ont été effectués sur les mois de mai et décembre qui correspondent respectivement aux mois le plus riche et le plus pauvre en données.

La distribution verticale (figure 7) présente clairement trois comportements différents associés aux gammes d'immersion maximales des instruments les plus souvent utilisés. Dans l'optique d'une climatologie mensuelle, les

profondeurs 10 et 500 mètres ont été choisies. Elles correspondent respectivement au niveau le mieux échantillonné et au premier niveau suivant une forte décroissance du volume de données disponibles. De plus, la sélection du niveau 500 m permettait de tester si un calcul à l'échelle du mois était encore possible pour les niveaux intermédiaires de 500 à 800 mètres.

D'après ce raisonnement, une étude de paramétrisation sur les cas obtenus par combinaisons de ces différentes situations permet de couvrir la gamme des configurations que l'on peut trouver lors du calcul de l'atlas : à savoir des situations du meilleur (mai à 10 mètres) au plus mauvais (décembre à 500 m) échantillonnage spatio-temporel à l'échelle du mois.

Plusieurs jeux de paramètres ont donc été testés pour chaque situation. Le tableau 5 résume les configurations les plus déterminantes.

Les fiches détaillant les résultats de ces tests sont fournies en annexe A. Ces résultats ont été comparés entre eux de manière qualitative, au vu des cartes et des diagnostics des différents runs.

		<i>Dmin</i>	<i>Rmin</i>	<i>Rmax</i>	<i>Nmin</i>	<i>N</i>	<i>temps CPU</i>
Test #I.1	<i>mai</i> 10 mètres	100	100	250	16	24 487	
	<i>décembre</i> 10 mètres	100	100	250	13	11 290	
Test #I.2	<i>mai</i> 500 mètres	100	100	250	10	3 623	
	<i>décembre</i> 500 mètres	100	100	250	10	2 018	~1,5h
Test #II.1	<i>mai</i> 10 mètres	80	80	160	16	24 487	~ 22h
	<i>décembre</i> 10 mètres	80	80	160	10	11 290	~ 8 h
Test #II.2	<i>mai</i> 500 mètres	80	80	160	10	3 623	
Test #III	<i>décembre</i> 10 mètres	40	80	160	10	11 290	~ 17h

Tableau 5 : Valeurs de quelques jeux de paramètres utilisés pour de l'étude de sensibilité

3.2a - Série de tests I

La première série de tests (série I.1) était basée sur la paramétrisation utilisée pour l'Atlantique nord-est. Son objectif était de vérifier qu'un calcul pouvait être mené à son terme en ajoutant les critères de distance minimum et maximum de recherche pour l'estimation (critères non utilisés pour l'Atlantique nord-est).

Les résultats obtenus se sont avérés très encourageants. Les calculs se sont déroulés avec succès tant au mois de mai qu'au mois de décembre. Les variations de l'erreur ont été diminuées par rapport à la paramétrisation sans valeurs de rayon d'influence, testée antérieurement. Ceci s'explique par l'absence d'estimations dans les zones très pauvres en données (fond de la Mer Noire, golfe de la Grande Syrte et large des côtes tunisiennes) où les erreurs a posteriori étaient très élevées.

Le deuxième jeu de tests de cette série (série I.2) a permis de confirmer la robustesse du paramétrage pour des configurations plus difficiles (en particulier décembre à 500 m).

Cependant les valeurs utilisées étaient trop élevées par rapport à l'échelle typique des structures des masses d'eau en Méditerranée. Les structures de moyennes échelles récurrentes (front d'Alboran) ne pouvaient pas être restituées convenablement. De plus, le risque existait d'effectuer des estimations en utilisant des données de mer adjacentes, en sélectionnant les points au travers des continents (mer Adriatique et Mer Tyrhénienne, ou mer Ionienne et mer Egée).

3.2b - Série de tests II

A la lumière de ces premiers tests, les valeurs des paramètres spatiaux de l'analyse ont été réduits (série II). La taille minimum requise pour la grille a été fixée à $D_{min} = 80$ km, soit égale à l'échelle typique des phénomènes rencontrés en Méditerranée. De même $R_{min} = 80$ km assurerait la présence d'au moins une observation à une distance plus proche que la décorrélation moyenne. Enfin $R_{max} = 160$ km permettrait de ne pas sélectionner d'observation d'un bassin à l'autre en franchissant des zones terrestres (ce n'est pas systématiquement vrai aux abords des détroits).

Les résultats sont apparus meilleurs, en particulier dans la mer d'Alboran, où les gradients étaient mieux résolus. En contrepartie, les zones non calculées étaient plus grandes (la côte tunisienne, l'est de Rhodes) mais se limitaient toutefois à des zones où la distribution des données ne justifiait pas d'avoir une estimation. Une exception concerne le nord de l'Adriatique, où le report de positions montrait que la zone est plutôt bien échantillonnée. On ne s'attendait donc pas à avoir des problèmes d'estimation dans cette zone. Après vérification sur les données de la base, on trouve que les mesures sont réparties sur 13 années différentes, mais que 4 années sont très faiblement représentées. Lors de la recherche du voisinage, la sélection d'au moins dix points d'années différentes peut donc s'avérer impossible.

Les valeurs de R_{max} (160 km) et D_{min} (80 km) correspondent donc mieux à l'échelle des structures en Méditerranée, sont supportées en mai et décembre et ne nuisent pas à l'estimation, si ce n'est dans les zones peu échantillonnées dans le temps ou dans l'espace.

3.2c - Série de tests III

Dans la dernière série de tests, la taille de la grille d'estimation a été portée à $D_{min} = 40$ km avec pour objectif de vérifier s'il était possible d'améliorer la résolution spatiale des champs. La comparaison avec les résultats précédents montre peu de différence sur le plan des structures grandes échelles (fronts des Baléares par exemple). Comme attendu les phénomènes d'échelle plus petite sont mieux résolus et plus structurés comme le montre le courant algérien. Les zones non estimées ont une étendue comparable. C'est cette dernière valeur qui a finalement été retenue.

3.2d - Conclusion des tests

En général les résultats de l'étude de paramétrisation ont montré :

- peu de sensibilité des résultats aux autres paramètres dès lors que $R_{min} = 80$ km et $R_{max} = 160$ km ;
- que la diminution de la valeur des paramètres, en conservant le même nombre d'observations minimum pour l'estimation, augmente sensiblement l'étendue des régions indéfinies, mais surtout augmente considérablement le temps calcul d'un champ (double de temps pour les tests II.1 et III).

Les valeurs attribuées aux paramètres-clés ont donc été celles du tableau 6.

Le choix d'un nombre N_{min} de 10 observations est motivé par les caractéristiques de la variabilité interannuelle de la Méditerranée qui sont dominées par des échelles décennales (La Violette, 1995). En imposant 10 observations, on assure que la climatologie a une représentativité temporelle proche de la variabilité interannuelle. Ce paramètre est à rapprocher de N_{opt} qui s'interprète comme la stationnarité du phénomène étudié.

En d'autres termes, on considère qu'un calcul de température effectué avec 16 observations d'années différentes fournit une valeur climatologique absolue (l'apport d'observations supplémentaires ne sera pas significatif) et qu'une bonne représentativité de ce comportement climatologique est obtenu dès lors que l'on dispose de 10 observations pour faire l'estimation (les principales échelles de la variabilité inter-annuelle et mensuelle sont filtrées). Cette dernière valeur a été réduite à 5 observations dans les niveaux profonds où la variabilité temporelle est plus faible.

3.3 - Estimation optimale des champs

Les champs de température et de salinité ont été calculés à chacun des 28 niveaux standards. Pour chaque niveau le logiciel a été configuré avec les paramètres adéquats.

3.3a - Pré-traitement des données

Le bilan du pré-traitement des données est présenté sur la figure 8. On rappelle que ce pré-traitement est constitué de deux opérations : une décimation à haute résolution et la validation croisée (cf. § 4-3.2a, page 11).

Pour chaque niveau standard, la partie en bleu roi représente le nombre d'observations rejetées par le tri haute résolution et la partie en rouge le nombre d'observations rejetées par la validation croisée.

Il ressort qu'environ 90% des données de température passent les deux étapes de pré-traitement avec succès et sont finalement utilisées pour calculer les champs climatologiques. En salinité le pourcentage est plutôt de 75%. La différence provient de la phase de décimation qui rejette plus de mesures en salinité qu'en température. Une explication possible réside dans le fait que l'acquisition de mesures de salinité demande une instrumentation plus lourde (CTD ou prélèvements par bouteilles) à l'inverse de la température qui peut être mesurée par des sondes perdables. Le déploiement de tels moyens se fait dans le cadre de campagnes océanographiques sur des zones limitées et rend les mesures de salinité plus synoptiques et plus sensibles à la décimation.

	Immersion (m)	Résolution temporelle	D_{min} (km)	N_{min}	N_{opt}	R_{min} (km)	R_{max} (km)
Température	0 à 300	mensuel	40	10	16	80	160
	400 à 800	saisonnier	40	10	16	80	160
	1000 à 4000	annuel	40	5	16	80	160
Salinité	0 à 800	saisonnier	40	10	16	80	160
	1000 à 4000	annuel	40	5	16	80	160

Tableau 6 : Paramétrisation adoptée pour le calcul de la climatologie Medatlas

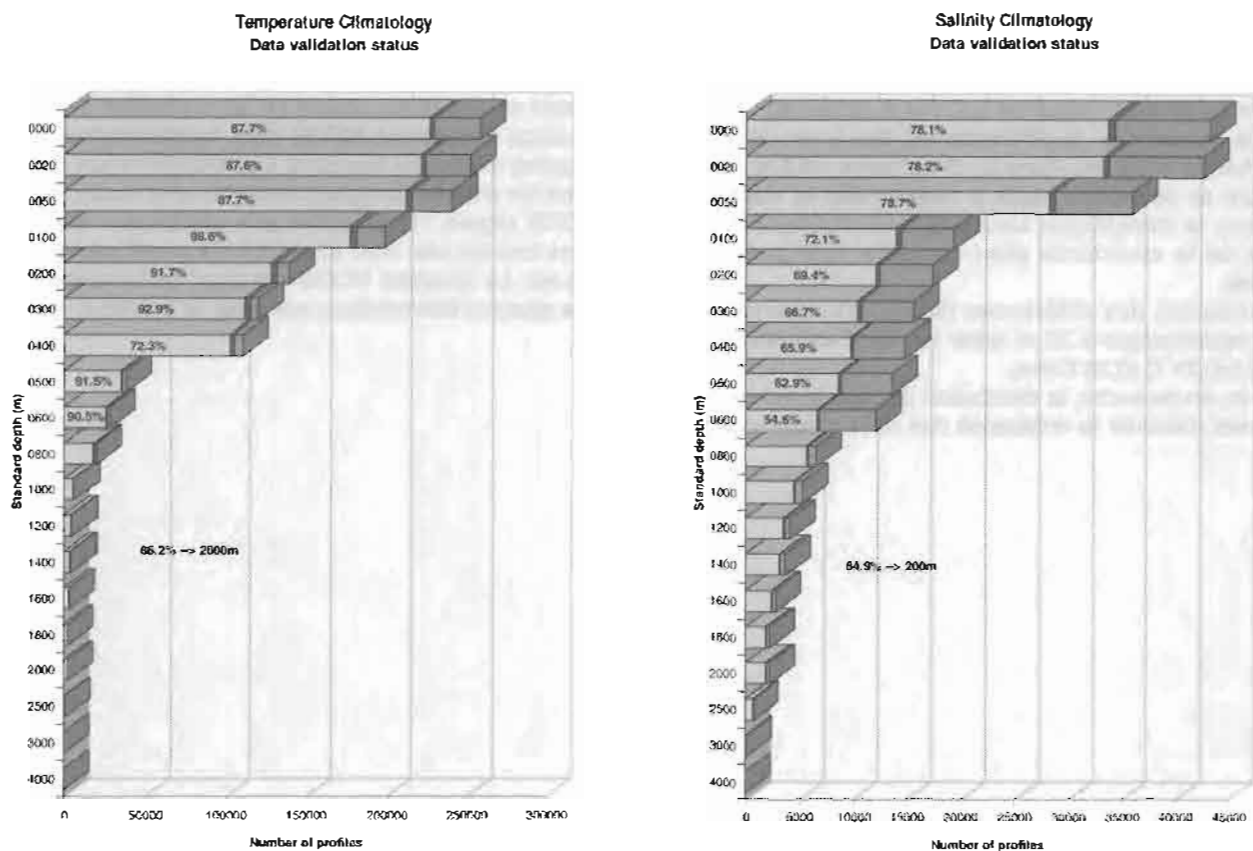


Figure 8 : Bilan du pré-traitement des données.

3.3b - Calcul des champs

Une fois le jeu de données pré-traité disponible, celui-ci est utilisé pour calculer la grille adaptée en fonction des paramètres choisis. La grandeur diagnostique "distance du maillage" est alors calculée comme la moyenne des 4 nœuds les plus proches.

Les procédures de recherche de voisinage (cf. § 4-3.2c, page 12) et calcul du variogramme (cf. § 4-3.2d, page 13) sont ensuite appliquées à chaque nœud de la grille adaptée (cf. § 4-3.2b, page 11). Après sélection des observations le système de krigeage est résolu en utilisant le variogramme au point considéré et la valeur du champ est estimée avec son erreur associée.

Un exemple de résultat est présenté sur les figures en annexe B. Ces figures montrent la carte du champ de température à 300 mètres en décembre et l'erreur associée. Après plusieurs tests, la réinterpolation au nœud de la grille régulière est effectuée par combinaison linéaire des valeurs aux 4 nœuds les plus proches du maillage adapté, pondérées par leur distance. Les coefficients sont calculés avec le variogramme le plus proche.

L'ensemble des cartes pour les 28 niveaux de la climatologie est disponible en température et salinité, disponible sous forme papier et numérique.

4 - Validation de la climatologie

Pour valider les résultats, les champs de température Medatlas ont été comparés avec ceux de la climatologie MODB (Brasseur et al., 1997) à deux niveaux

correspondants à une profondeur de subsurface (30 m) et une profondeur intermédiaire (500 m).

Les champs de températures Medatlas à 30 m et 500 m sont respectivement mensuels et trimestriels. Les champs MODB sont trimestriels dans les deux cas.

A 30 m, deux types de comparaison ont donc été effectuées. Dans un premier temps, la différence entre chaque champ mensuel de température et le champ trimestriel MODB correspondant a été calculée. Dans un deuxième temps, le champ trimestriel Medatlas calculé comme la moyenne arithmétique des 3 champs mensuels, a aussi été comparé au champ MODB.

Sur le plan spatial les valeurs en points de grille des champs Medatlas ont été extraites sur la zone d'étude de MODB. Aucune interpolation supplémentaire n'était requise, puisque la grille régulière Medatlas a été choisie avec une résolution proche du 1/4 de degré.

Les deux figures suivantes montrent les résultats obtenus pour la comparaison en hiver aux deux immersion choisies. Dans les deux cas, la carte du haut présente le champ de température Medatlas, la carte du milieu le champ de température MODB et la carte du bas la différence entre les deux.

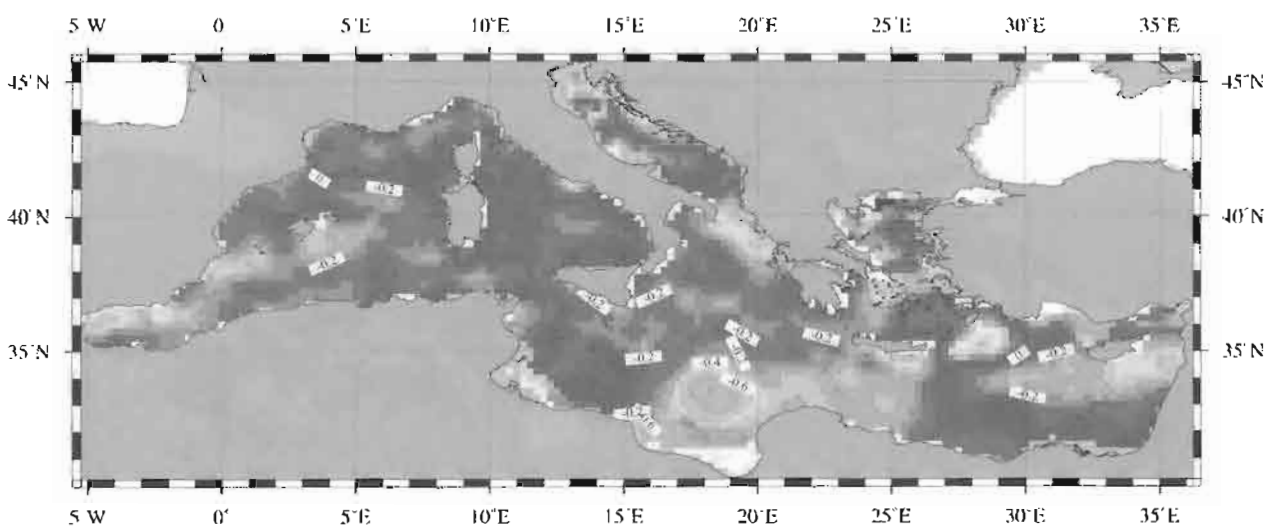
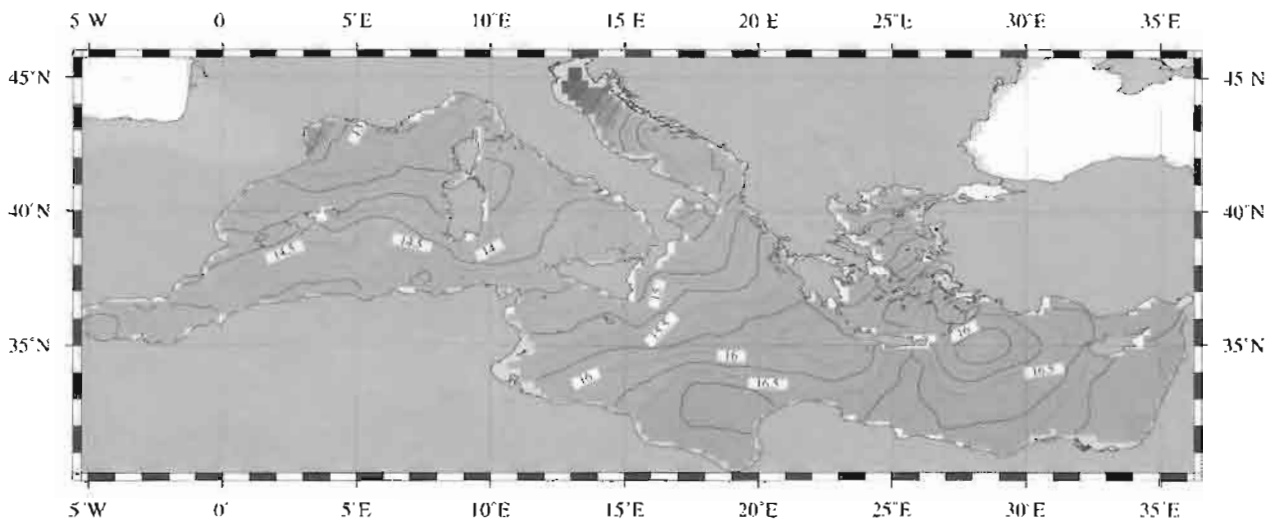
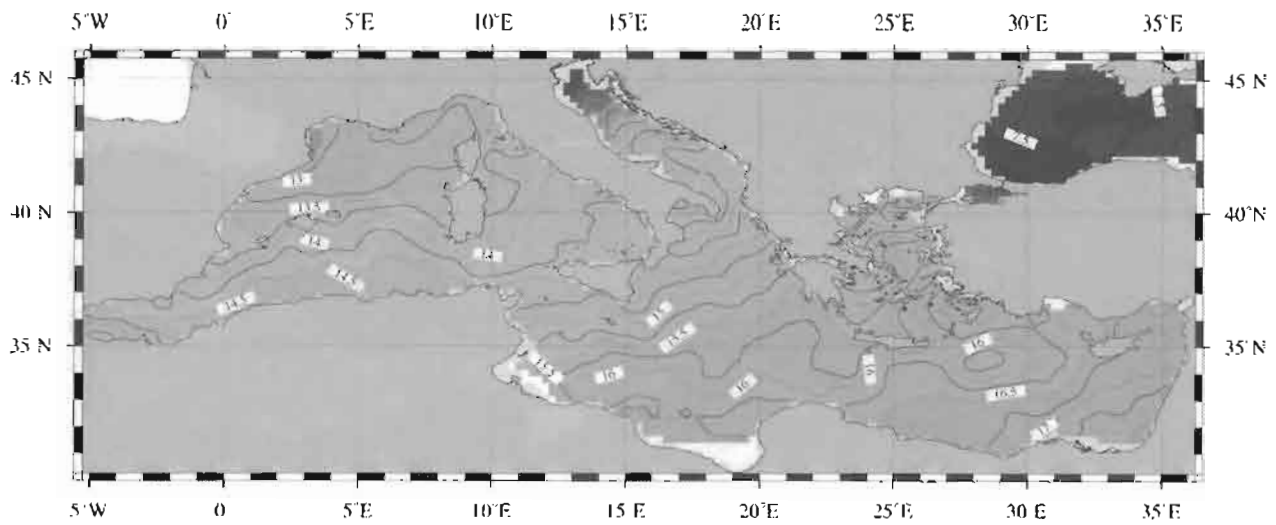
A 30 m (figure 9), la carte des différences montre qualitativement un écart systématique d'environ $-0,2^{\circ}\text{C}$ entre les deux champs (dominante bleue de la carte) et des valeurs extrêmes qui atteignent localement $-0,9$ et $0,6^{\circ}\text{C}$. Les plus fortes différences sont observées entre la Crête et Chypre.

A 500 m (figure 10), les cartes montrent des différences de l'ordre de $0,1^{\circ}\text{C}$, avec des écarts maximum de $0,5^{\circ}\text{C}$. Les différences les plus importantes sont observées à la sortie du détroit d'Otrante, autour de la Crète et au sud de Chypre. Dans le dernier cas, la différence est due à une structure plus chaude observée dans la climatologie MODB. Cette structure se développe plutôt à mésoéchelle et n'apparaît pas dans la climatologie Medatlas, vraisemblablement à cause de la contrainte pluri-annuelle appliquée aux données.

La distribution des différences (figure 11) confirme que l'écart systématique à 30 m entre les deux estimations est de $-0,15 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$ ($0,26^{\circ}\text{C rms}$).

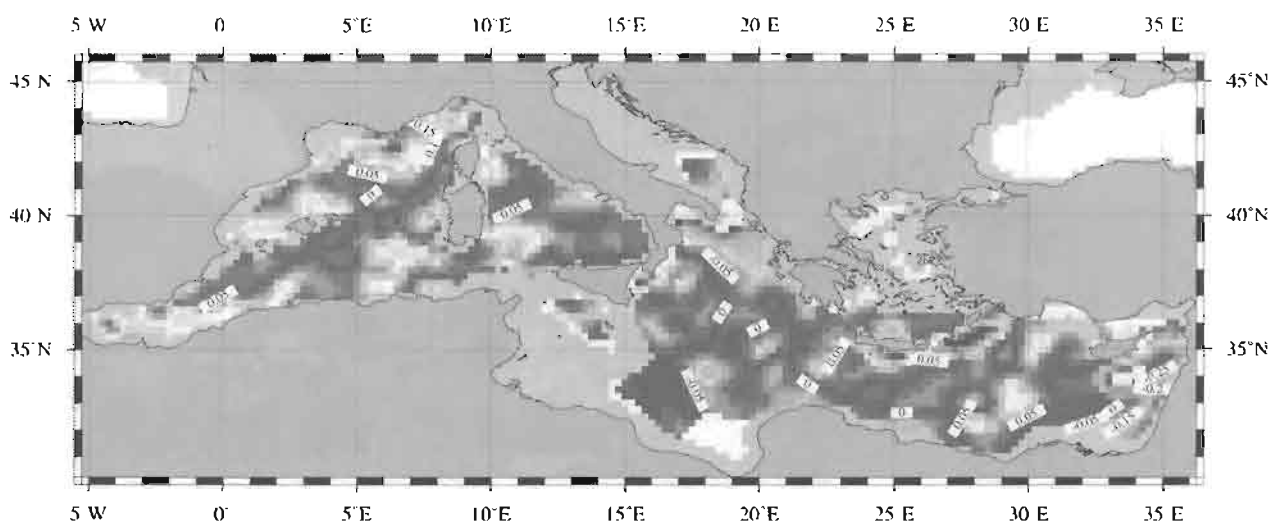
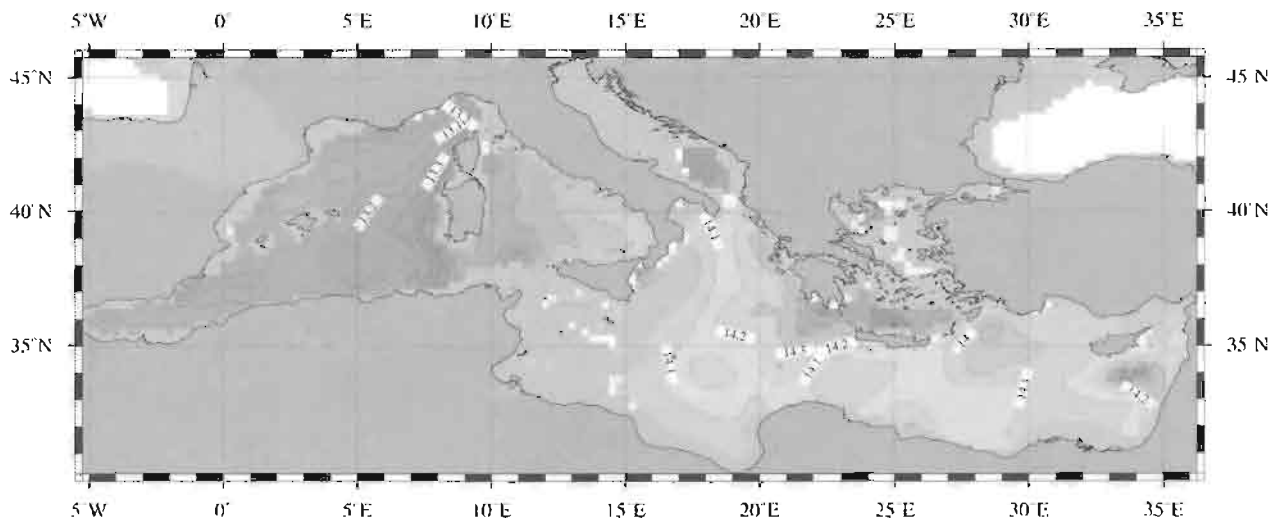
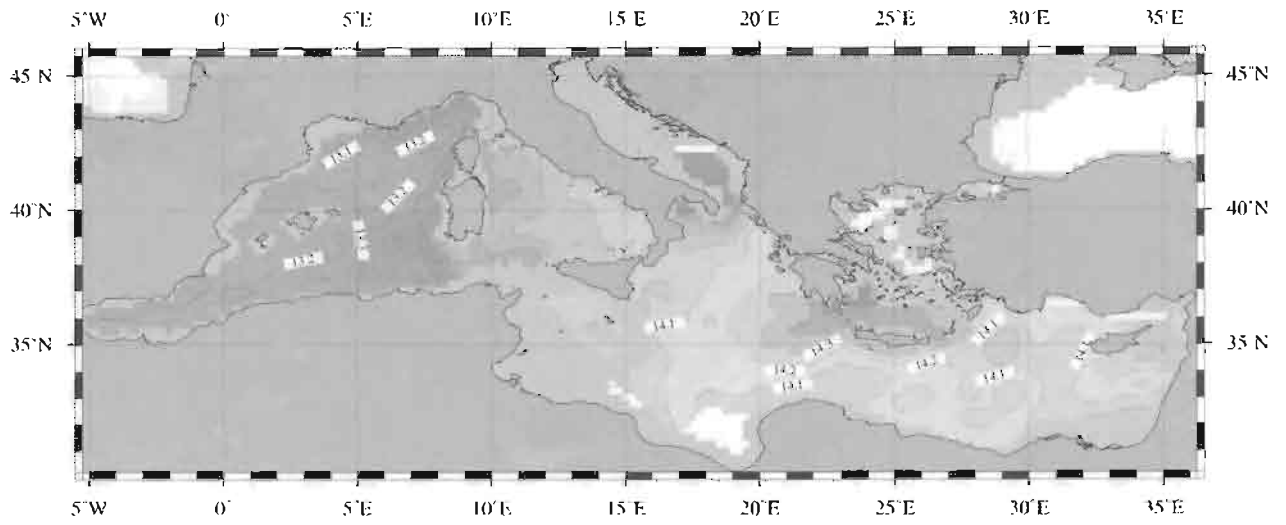
A 500 m, en revanche, la distribution des écarts est centrée et permet d'évaluer la cohérence des deux climatologies à

$0,1^{\circ}\text{C rms}$. De plus, elle semble montrer qu'il n'existe pas de biais systématique entre les deux estimations lorsque celles-ci sont calculées sur la même période (trimestre). L'écart systématique observé à 30 m provient de ce que la situation trimestrielle MODB n'est représentative d'aucune situation mensuelle Medatlas. Les histogrammes des écarts entre les champs mensuels Medatlas et le champ trimestriel MODB (figure 11) montrent une distribution non centrée dans tous les cas, mais avec un biais positif pour le mois de janvier. La situation MODB est donc plutôt comparable à une situation intermédiaire aux mois de janvier et février.



GMT Feb 4 15:38 | CMO / MEDATLAS

Figure 9 : Comparaison des champs de température à 30 m en hiver



GMT Oct 2 12:51 CMO / MEDATLAS

Figure 10 : Comparaison des champs de température à 500 m en hiver

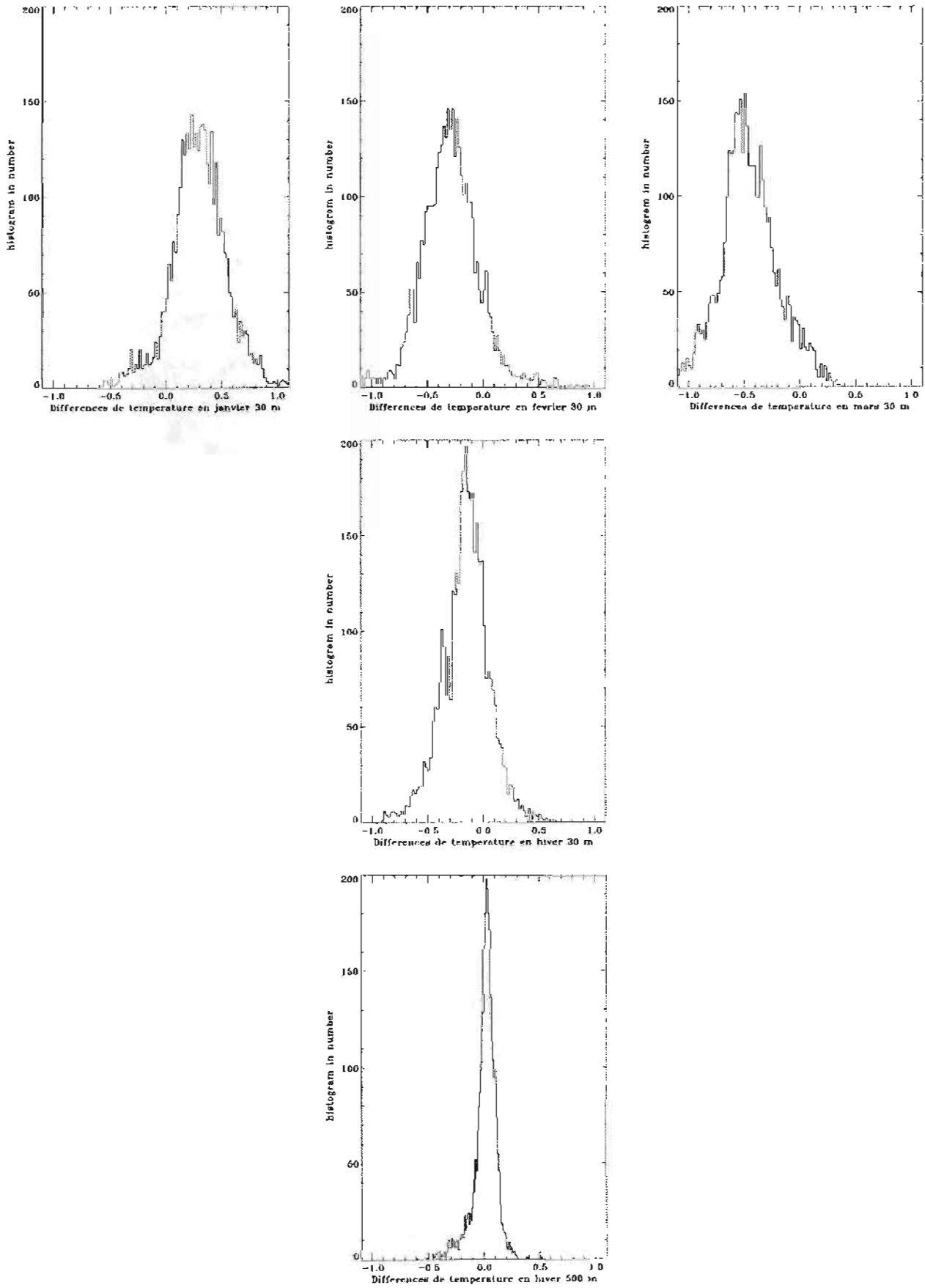


Figure 11 : Comparaison des températures à 500 m en hiver

6 - RÉALISATIONS DU PROJET

1- Les produits

Deux types de media ont été privilégiés pour la diffusion des résultats.

1.1- Cédérom

Trois cédérom mettent à disposition les résultats du projet sous forme numérique. Ils contiennent :

- le jeux de données ;
- les résultats du calcul de la climatologie.

1.1a - Contenu du cédérom #1 :

- l'ensemble du jeu de données in situ au format Medatlas ;
- un logiciel de sélection et d'extraction des profils données ;
- la documentation.

1.1b - Contenu du cédérom # 2 :

- les champs climatologiques maillés ;
- l'ensemble des cartes de l'atlas au format Gif.

1.1c - Contenu du cédérom # 3 :

- un sélection des cartes de l'atlas au format Postscript.



1.2 - Site W3

Pour permettre une meilleure diffusion de l'information et des résultats obtenus durant le projet, un site W3 a été créé. Il s'agit d'un site distribué, abrité conjointement par les serveurs du SHOM et de l'IFREMER (figure XII).

Ce site est accessible via l'un ou l'autre des deux serveurs selon .

- que l'on recherche un compte-rendu détaillé de l'ensemble du projet (http://www.ifremer.fr/sismer/program/medatlas/fr/fr_medat.htm) ;
- que l'on s'intéresse plus spécialement à la contribution du Shom. (<http://www.shom.fr/sci/medatlas/medat.html>).

MEDATLAS - SHOM

- Page d'accueil
- Organigramme
- Contrôle qualité
- Préparation des données
- Analyse des données :
 - pré-traitement
 - maillage adapté
 - procédure de recherche du voisinage
 - estimation du variogramme
 - paramétrisation de l'interpolation optimale
- Résultat
- Animations
- Retour à Ifremer

Figure 12 : Page d'accueil du site Medatlas du SHOM (<http://www.shom.fr/sci/medatlas/medat.html>)

2 - Valorisation

2.1- Ocean Data Symposium

La conférence "Ocean Data Symposium" s'est tenue du 15 au 18 octobre 1997 à Dublin. Elle traitait de tous les aspects entourant l'acquisition et l'exploitation des données marines (collecte, méthodes, instrumentations, techniques d'analyse) mais aussi de leur gestion (récupération, diffusion, échanges).

Quatre sessions de travail ont été organisées pour aborder les thèmes suivants :

- les besoins des scientifiques impliqués dans des programmes de recherche océanographiques en données et méta-informations ;
- l'apport des méthodes de traitements statistiques et de modélisations numériques dans l'analyse des données et la prédiction ;
- le développement de techniques appliquées à la collecte, l'analyse et l'échange des données ;
- les progrès des outils d'information et de gestion de données pour l'aide à la décision.

Les résultats du projet Medatlas concernant la collecte des données et la réalisation de la climatologie ont été présentés lors de deux exposés en session de travail. Ils sont par ailleurs publiés dans les proceedings de la conférence.

2.2 - Posters

Deux posters ont été réalisés pour des présentations lors de différents colloques ou réunions.

Le premier (figure 13) est une présentation de la climatologie Medatlas dans le contexte du projet qui décrit les objectifs, les caractéristiques et les utilisations potentielle du produit.

Le second poster (figure 14) est dédié a une présentation des méthodes de contrôle qualité et d'analyse des données qui ont été utilisées.

2.3 - Guide METOC

La climatologie est en cours d'intégration dans le *Guide Metoc*. Par ce biais, une partie des résultats du projet est directement transférée aux utilisateurs spécifiques du SHOM. La mise à disposition de la climatologie d'une région sous forme numérique permet aux bâtiments en mission de disposer d'une référence pour qualifier les mesures acquises lors des opérations navales.

2.4 - Produits quasi-permanents à l'usages des forces

Le jeu de données est maintenant une base homogène et validée qui peut-être utilisée pour la réalisations d'autres produits à l'usage des forces. A la date de rédaction du présent document, le jeu de données a déjà servi au calcul de l'atlas des points hydrologiques caractéristiques de la Méditerranée. Une autre étude est en cours pour la réalisation de la base de données de profils type sur la région.

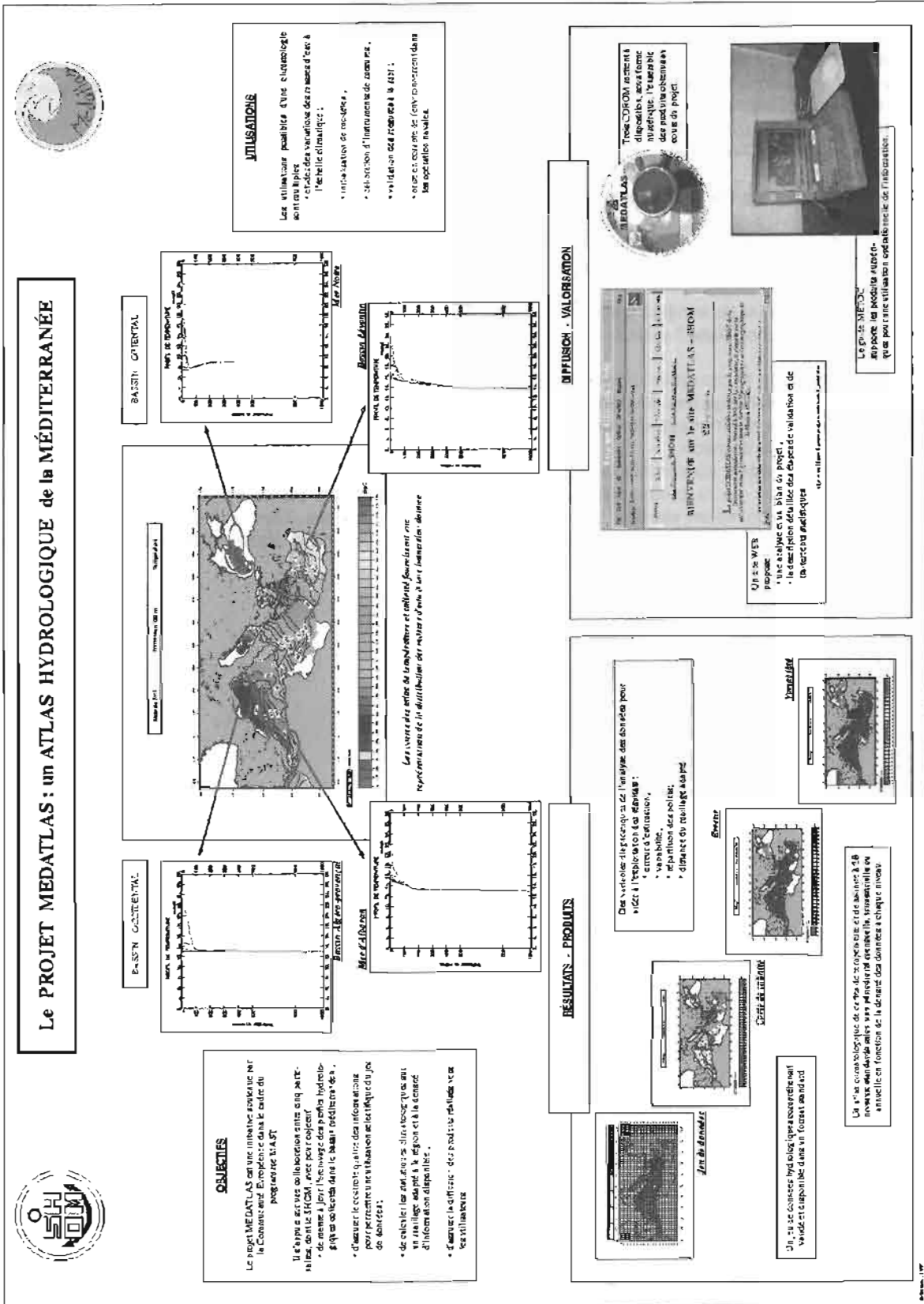


Figure 13 : Poster "Climatologie Medatlas"

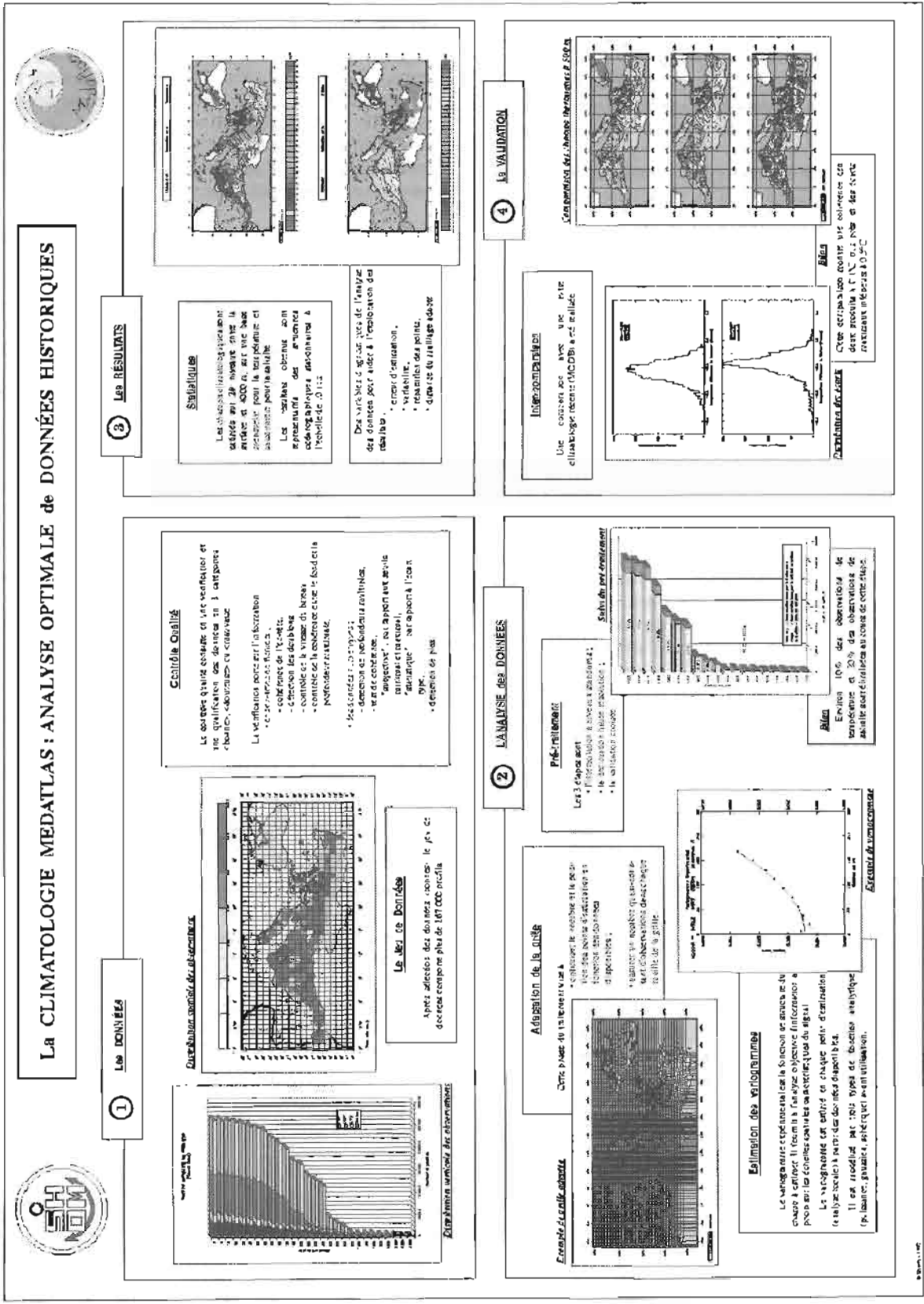


Figure 14 : Poster "Contrôle qualité et analyse du jeu de données Medatlas"

7 - CONCLUSION GÉNÉRALE

Le projet Medatlas a été initié en 1993 en réponse à un appel d'offres lancé par la Commission Européenne dans le cadre du programme Mast. Organisé autour de 5 partenaires, dont le SHOM, il poursuit l'objectif multiple :

- de collecter le jeu de données hydrologiques du bassin méditerranéen le plus compréhensif et exhaustif possible ;
- de mettre en place les protocoles de validation ;
- de réaliser la validation et la compilation du jeu de données ;
- de calculer une climatologie de référence ;
- de mettre à disposition les produits obtenus.

Financé par la Commission Européenne à hauteur de 2 MF sur une durée de 3 ans, il a débuté en avril 1994 et s'est achevé en novembre 1997.

Sur le plan technique, la répartition des tâches prévoyait que le CMO, d'une part collecte et valide les données de bathythermographes (XBT et MBT) sur l'ensemble du bassin et d'autre part, réalise la climatologie à l'aide du jeu de données complet, rassemblé et validé par l'ensemble des partenaires.

Le premier aspect a conduit le CMO à développer une démarche systématique de demande de données auprès de huit pays du bassin méditerranéen par l'intermédiaire de leur service hydrographique, de centres nationaux d'archivage et de certains centres de recherche. Une demande particulière a également été adressée à l'Hydrographic Office britannique. Le second aspect a permis de mettre en oeuvre et d'éprouver les techniques habituellement utilisées par le service pour la réalisation de ses produits climatologiques.

En ce qui concerne la tâche de collecte de données qui incombait au SHOM (collecte d'XBT). Le bilan s'avère pauvre puisqu'à l'exception de quelques centaines de profils inédits fournis par les britanniques, la Grèce et l'Espagne, aucune autre demande n'a été honorée positivement.

En revanche le bilan global de la participation au projet est très largement positif pour le SHOM. Il permet d'afficher un gain important d'observations inédites, qui sont maintenant disponibles dans la Base de Données Océanographiques du SHOM. Ces observations sont constituées de profils hydrologiques à niveaux standards (stations hydrologiques) et de profils continus (bathysondes), dont les populations ont été augmentées respectivement de 12 % et d'un

facteur 7,4. Il est aussi important de noter que seulement 12,5 % de ces observations ont été obtenues auprès des centres de données. Pour le reste, elles ont été récupérées par les autres membres du projet, directement auprès des organismes de recherche ou universitaires qui les ont mesurées. A ce titre, elles constituent un apport d'information auquel le SHOM n'aurait pu accéder par le biais des échanges qu'il entretient avec ses partenaires internationaux privilégiés ou le travail de veille technologique qu'il assure auprès des centres d'archivage nationaux et internationaux.

Le deuxième volet de la contribution du SHOM concernait le calcul d'une climatologie à l'échelle du bassin. Pour cet objectif, une méthode d'analyse objective des données par krigeage a été utilisée. A ce titre, le projet a permis de construire des champs de température et de salinité à une résolution optimisée de 40 km et une représentativité temporelle de 10 ans sur une zone de priorité importante pour la Marine. La comparaison avec une autre climatologie récente a permis de confirmer que les deux produits étaient cohérents à 0,25°C rms pour les niveaux de surface et 0,1°C rms en profondeur, validant par-delà les résultats propres au projet, d'autres réalisations déjà diffusées auprès des forces. Ce produit a été intégré au *Guide Metoc* et sera donc diffusé à court terme auprès des forces.

Au delà du bilan purement comptable, la participation à ce projet a accéléré la mise en place au Centre de données METOC de procédures et d'outils de validation rigoureux sur la base de critères recommandés par la COI.

Enfin, cette entreprise a contribué à valoriser le travail du SHOM sur les produits océanographiques auprès de la communauté scientifique européenne. On citera en particulier la diffusion des résultats sous la forme d'un cédérom, la création d'un site Web accessible depuis les serveurs du SHOM et de l'IFREMER et la participation à plusieurs colloques scientifiques et techniques.

Remerciements : Ce rapport d'étude a pu être rédigé grâce au concours de plusieurs personnes de la section Océanographie Appliquée. Un remerciement tout particulier à L. Baudet et D. Dérian pour leur patience dans le comptage et l'analyse du contenu des différents jeux de données. Merci aussi à A. Hassani (CISI) pour son aide dans l'exploitation des données ainsi que L. Buléon (CMO/CM) et A. Coat (SYSECA) pour leur assistance technique sur le logiciel Makac.

8 - RÉFÉRENCES

- BRASSEUR, P., J. M. BECKERS, J. M. BRANKART and R. SCHOENAUEN, 1997 : Seasonal Temperature and Salinity Fields in the Mediterranean Sea : Climatological Analyses of an Historical Data Set, To be published in Deep-Sea Res.
- BRETHERTON, F. P., R. E. DAVIS and C. B. FANDRY, 1976 : A Technique for Objective Analysis and Design of Oceanographic experiments applied to MODE-73, *Deep Sea Res.*, 23, 599- 582.
- COAT, A., 1994 : M.A.K.A.C, Documentation technique, *Rapport technique CISI N°DAN/BRT/ CAO-IBF/CP/94118*.
- FICHAUT, M., E. BALOPOULOS, H. DOOLEY, M. J. GARCIA-FERNANDEZ, A. IONA, D. JOURDAN, L. BAUDET and C. MAILLARD, 1997 : A common protocol to assemble a coherent database from distributed heterogeneous data sets : the Medatlas database experience, *Proceedings of Mast workshop on project data management*, June 1997, Ispra. Italy.
- GOHIN, F., and G., LANGLOIS, 1991 : Atlas mensuel de temperature dans le Golfe de Gascogne, *Oceanol. Acta*, 14, 181-187.
- GUIBOUT, P., 1987 : Atlas hydrologique de la Méditerranée Medatlas , IFREMER - SHOM (Eds.), IFREMER, Brest, 167 pp.
- JOURNEL, A., and C. Huijbregts, 1978 : *Mining Geostatistics*, Academic Press, London.
- HASSANI A. and D. JOURDAN, 1998 : Rapport final du marché N° 96.87.051 - Volume I : Compte rendu technique du projet Medatlas, *Fiche technique N° 170 EPSHOM/CMO/OA/NP du 20 août 1998*.
- HASSANI A. and D. JOURDAN, 1998 : Rapport final du marché N° 96.87.051 - Volume II : Manuel utilisateur Medatlas *Fiche technique N° 170 EPSHOM/CMO/OA/NP du 20 août 1998*.
- LA VIOLETTE, P. E., 1995 : *Coastal and estuarine studies: Seasonal and interannual variability of the western Mediterranean sea*, Paul E. La Violette Ed., 373 pp.
- LEVITUS, S., 1982 : Climatological Atlas of the World Ocean, NOAA professional paper N°13, U.S. Gov. Printing Office, 173 pp.
- LEVITUS, S., R. BURGETT, and T. P. BOYER, 1994a : World Ocean Atlas 1994 - Volume 3 : Salinity, NOAA atlas NESDIS N° 3, National Oceanographic Data Center, Washington DC, 99 pp.
- LEVITUS, S. and T. P. BOYER, 1994b : World Ocean Atlas 1994 - Volume 4 : Temperature, NOAA atlas NESDIS N° 4, National Oceanographic Data Center, Washington DC, 117 pp.
- MEDATLAS , 1997 : Medatlas final report 1994-1997, réf. DITI/IDT/SISMER/97-006 version 1.1, IFREMER, Brest, 159 pp.
- PICCO, P., 1990 : Climatological atlas of the western Mediterranean, ENEA (Ed.), 224 pp.
- REINIGER, R. F., and C. K. ROSS, 1968 : A method of interpolation with application to oceanographic data, *Deep-Sea Res.*, 15, 185-193.
- SARZEAUD, O., Y. STÉPHAN, F. LE CORRE and L. KERLÉGUER, 1994 : Neural Meshing of a geographical Space in regard to oceanographic data location, *Proceedings of OCEANS-94*, Brest, September 1994, 335-339.

ANNEXE A

A.I : FICHE DU TEST #I.1 - MAI À 10 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

.../MEDATLAS/TESTS/mai/z0010/mai0010.2

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test mai0010.1 sont en gras)

Le traitement a été repris à partir du krigeage, d'après les fichiers mai0010.1

```
nckrige -nvois16. -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc -rmax250 -rmin100
ncremkrige bts0002.05.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncextvois -nvois16 -s -cd bts0002.05.nc bts0002.05.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax250 -rmin100
nc2grd -xmesha.nc bts0002.05.nc bts0010.05.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Valeur de rmin = 100.(parametres.cnf)

Dmin = 100., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 250 km et rmin à 100 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : les champs de température sont bien localisés aux zones ayant des points de mesures avec un rmax de 250 km. Seule une partie de la mer Noire est moins renseignée que dans le test mai0010.1. Mais les incohérences du golfe de Gascogne ont été éliminées ;

Erreur : varie de 1,4° à 2,8°C sauf en mer Noire et au nord de Chypre proportionnellement peu échantillonnées par rapport au reste de la zone ;

Variabilité : entre 1,0° et 2,6°C² sur la Méditerranée, jusqu'à 3,4° en mer Noire ;

Répartition : entre 80 et 260 km ;

Maillage : le maillage est assez régulier du fait d'une densité de points importante ;

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

24487 - bts0002.05.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation

4122 - bts0001.05.nc_dec

Nombre de données validées

24827 - bts0001.05.nc

Nombre de données origine

28949 - bts0000.05.nc

6 - Conclusions du test

Les paramètres définis lors des tests sur décembre donnent également de bons résultats en mai. L'emploi du rmax lors du krigeage est indiscutablement indispensable, non seulement sur le principe mais aussi pour obtenir des représentations graphiques convenables.

A.II : FICHE DU TEST #1.1 - DÉCEMBRE À 10 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

.../MEDATLAS/TESTS/dec/z0010/dec0010.7

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test dec0010.3 sont en gras)

Seuls les modules suivants ont été relancés, la modification par rapport au test dec0010.3 ne se fait qu'au krigeage.

```
nckrige -nvois13. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc -rmax250 -rmin100
ncremkrige bts0002.12.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncextvois -nvois13 -s -cd bts0002.12.nc bts0002.12.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.12.nc bts0010.12.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Valeur de rmin = 100.(parametres.cnf)

Dmin = 100., Kopt = 16 (expert.cnf)ncdump -h

rmax à 250 km et rmin à 100 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : les zones indéfinies sont plus importantes que pour le test dec0010.3 mais dans le cas présent on est sûr de ne pas aller chercher des points au delà de 250 km. Les champs de température des zones bien échantillonnées sont quasi identiques ;

Erreur : la variation de l'erreur de 0,6 à 1,4°C sauf sur la mer Noire où elle monte jusqu'à 3,8°C. Elle est plus faible que le test dec0010.3 ;

Variabilité : identique au test dec0010.3 puisque le rmax n'intervient pas dans le calcul de la variabilité ;

Répartition : Les valeurs vont de 80 à 360 km dans les régions bien échantillonnées, par contre dans les régions moins fournies elles semblent plus faibles de 40 km environ. Ceci peut s'expliquer sans doute par une valeur inférieure de 50 km pour le rayon minimum (rmin = 100 km au lieu de 150 km) ;

Maillage : le maillage adapté est assez moins déformé. Ce qui est un point positif quand au choix des paramètres.

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

11290 - bts0002.12.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation 8,93%

1008 - bts0001.12.nc_dec

Nombre de données validées

11414 - bts0001.12.nc

Nombre de données origine

12422 - bts0000.12.nc

6 - Conclusions du test

Les sorties graphiques sont identiques à celles du test dec0010.3 en ce qui concerne le maillage, la variabilité, la répartition et la distance du maillage qui ont été calculés de la même manière.

Par contre, les paramètres du krigeage (module nckrige) doivent être complétés avec les rayons min et max comme dans le cas du remaillage. En effet, le krigeage se fait sur les données, on en déduit des valeurs aux nœuds du maillage. Le remaillage ne fait qu'utiliser ces valeurs calculées. Si le rmax est effectivement fixé lors du krigeage, les nœuds du maillage dans le golfe de Gascogne seront toujours à Nan lors du remaillage (> 250 km). Ce qui est bien plus logique au vu de la répartition des points. Un bug a de ce fait été corrigé (les valeurs n'étaient pas à Nan si le rmax était dépassé dans nckrige)

Les zones indéfinies sont légèrement plus étendues. mais les valeurs des champs représentés sont moins entachées d'erreur bien qu'à première vue, il n'y ait pas de modification significative de la carte. La carte d'erreur d'estimation permet de vérifier cette affirmation.

Le nouveau paramétrage du krigeage est à prendre en compte dans les tests suivants.

A.III : FICHE DU TEST #I.2 - MAI À 500 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

.../MEDATLAS/TESTS/mai/z0500/mai0500.1

2 - Paramètres ou arguments utilisés

bts2cdf -v bts0011.05 bts0000.05.nc
info2cdf -Ze-13/46/26/52 -Zu-9/42/30/48 -G21.7/28.1/1. -D500 bts0000.05.nc
ncproj bts0000.05.nc
ncdecim -N10/10/10 bts0000.05.nc bts0001.05.nc
ncexpert -v (et mise à jour des paramètres recalculés)
ncinitmaillage bts0001.05.nc meshv.nc -r -x 24 -y 14
ncvariog -VT -npas10 -vpas20 -loc226.634 -cod bts0001.05.nc meshv.nc
ncmodvar -n3 meshv.nc
ncvalid -VT -nvois10 -rmin1s1 -o7 -s -cd bts0001.05.nc meshv.nc bts0002.05.nc
ncinitmaillage -n3 -i 0 bts0002.05.nc meshi.nc
ncmakacbatch -n3 -a0.9 -b0.8 -i30000 -p-5 bts0002.05.nc meshi.nc mesha.nc
ncextvois -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncvariog bts0002.05.nc mesha.nc -VT -npas10 -vpas20 -loc -extv -fri2.3094 -cod
ncmodvar -n11 mesha.nc
nckrige -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc -rmax250 -rmin100
ncremkrige bts0002.05.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncextvois -nvois10 -s -cd bts0002.05.nc bts0002.05.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremaif bts0002.05.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.05.nc bts0010.05.

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.
Valeur de rmin = 100.(parametres.cnf)
Dmin = 100., Kopt = 16 (expert.cnf)
rmax à 250 km et rmin à 100 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : 13°C à 14,5°C sur toute la région.Très semblables aux températures du mois de décembre. Le golfe de Gascogne, la portion atlantique et la mer Noire sont indéfinis, ils ont peu de points de mesures ;

Erreur : elle est de l'ordre de 0,2°C² sur toute la zone ;

Variabilité : elle est de l'ordre de 0,2°C² sur toute la zone, sauf dans les zones précitées, mais dont il n'est pas tenu compte lors du krigeage et du remaillage des données ;

Répartition : entre 80 et 260 km, sauf dans le golfe de Gascogne et la mer Noire où elle est plus élevée ;

Distance du Maillage : varie comme la répartition mais avec des valeurs deux fois moins importantes.

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées
3623 - bts0002.12.nc
Nombre de données éliminées lors de la décimation
170 - bts0001.12.nc_dec
Nombre de données validées
3725 - bts0001.12.nc
Nombre de données origine
3895 - bts0000.12.nc

6 - Conclusions du test

Les paramètres définis par les tests sur décembre permettent non seulement de traiter mai à 10 m mais aussi mai à 500 m avec des sorties graphiques satisfaisantes.

A.IV : FICHE DU TEST #I.2 - DÉCEMBRE À 500 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

.../MEDATLAS/TESTS/dec/z0500/dec0500.2

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test dec0500.1 sont en gras)

```
nckrige -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc -rmax250 -rmin100
ncremkrige bts0002.12.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax250 -rmin100
ncextvois -nvois10 -s -cd bts0002.12.nc bts0002.12.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.12.nc bts0010.12.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Valeur de rmin = 100.(parametres.cnf)

Dmin = 100., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 250 km et rmin à 100 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : les zones indéfinies sont plus importantes que pour le test dec0500.1. Ce qui est normal puisque le rmax est pris en compte lors du krigeage. La mer Noire et la mer Egée ne sont pas renseignées, ce qui correspond bien au report de points de mesures. Les zones bien échantillonnées sont équivalentes à celles du test dec0500.1 ce qui confirme le choix des paramètres de traitement ;

Erreur : l'erreur est très faible, proche de 0,2°C², le gradient de température est minime à cette profondeur ;

Variabilité : elle est très faible, proche de 0,2°C², le gradient de température est minime à cette profondeur ;

Répartition : le calcul de la répartition ne prend pas en compte le rmax, c'est pourquoi elle peut être supérieure à 250 km. Elle est identique à celle du test dec0500.1 ;

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

2018 - bts0002.12.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation

36 - bts0001.12.nc_dec

Nombre de données validées

2092 - bts0001.12.nc

Nombre de données origine

2128 - bts0000.05.nc

6 - Conclusions du test

Le test de c0010.7 souligne l'intérêt de fixer également le rmax et le rmin pour le krigeage pour des petits fonds. Celui-ci le confirme pour les fonds plus importants. Le lot de paramètres mis au point grâce aux différents tests du mois de décembre paraît stabilisé. Il demande confirmation. Les tests sur le mois de mai permettront, ou non, de le confirmer. A priori, les mois ayant un volume de mesures moins important sont plus difficiles à traiter, le particularisme de certaines régions étant plus difficile à cerner avec peu de points. Le mois de mai ne devrait pas soulever autant de problèmes d'ajustage des paramètres, tout au moins aux profondeurs étudiées lors des tests sur décembre.

A.V : FICHE DU TEST #II.1 - MAI À 10 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

.../MEDATLAS/TESTS/mai/z0010/mai0010.3

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test #I.1 (cf. Annexe A.1) sont en gras)

```
bts2cdf -v bts0011.05 bts0000.05.nc
info2cdf -Ze-13/46/26/52 -Zu-9/42/30/48 -G21.7/28.1/1. -D010 bts0000.05.nc
ncproj bts0000.05.nc
ncdecim -N10/10/10 bts0000.05.nc bts0001.05.nc
ncexpert -v (et mise à jour des paramètres recalculés)
ncinitmaillage bts0001.05.nc meshv.nc -r -x 34 -y 20
ncvariog -VT -npas10 -vpas20 -loc155.065 -cod bts0001.05.nc meshv.nc
ncmodvar -n11 meshv.nc
ncvalid -VT -nvois16 -rmin1s1 -o7 -s -cd bts0001.05.nc meshv.nc bts0002.05.nc
ncinitmaillage -n 11 -i 0 bts0002.05.nc meshi.nc
ncmakacbatch -n11 -a0.9 -b0.8 -i30000 -p-5 bts0002.05.nc meshi.nc mesha.nc
ncextvois -nvois16 -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncvariog bts0002.05.nc mesha.nc -VT -npas10 -vpas20 -loc -extv -frf1.20605 -cod
ncmodvar -n11 mesha.nc
nckrige -nvois16 -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc -rmax160 -rmin80
ncremkrige bts0002.05.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvT -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncextvois -nvois16 -s -cd bts0002.05.nc bts0002.05.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VDISTMESH nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.05.nc bts0010.05.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Dmin = 80., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 160 km et rmin à 80 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : les résultats sont très proches de ceux du test #II.1, sauf en ce qui concerne la taille des zones indéfinies (mer Noire, mer de Marmara, fond de la mer Egée, Adriatique, nord de Chypre, golfe Tunis-libyen), ce qui est normal puisque le rayon maximal est inférieur (250 km -> 160 km) ;

Erreur : très proche des résultats du test #II.1 ;

Variabilité : inchangée par rapport au test #II.1 ;

Répartition : inchangée par rapport au test #II.1 ;

Distance du Maillage : inchangée par rapport au test #II.1.

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

24487 - bts0002.05.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation

4122 - bts0001.05.nc_dec

Nombre de données validées

24827 - bts0001.05.nc

Nombre de données origine

28949 - bts0000.05.nc

6 - Conclusions du test

Une taille plus petite de la maille (80 au lieu de 100 km) n'entraîne pas de modifications aussi claires que pour les tests de décembre. Le nombre d'observations étant plus important qu'en décembre, le calcul a de fortes chances de trouver ses voisins dans un rayon plus petit autour du point d'estimation et de ne pas avoir besoin de chercher le voisinage jusqu'à 80 km.

La diminution de la taille de la maille de 100 à 80 ne révèle pas de structures plus fines. Il faudrait passer à 40 km pour vérifier les conclusions du test #III.

A.VI : FICHE DU TEST #II.1 - DÉCEMBRE À 10 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

...../MEDATLAS/TESTS/dec/z0010/dec0010.8

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test #I.1 (cf. Annexe A.2) sont en gras)

bts2cdf -v bts0011.12 bts0000.12.nc
info2cdf -Ze-13/46/26/52 -Zu-9/42/30/48 -G21.7/28.1/1. -D010 bts0000.12.nc
ncproj bts0000.12.nc
ncdecim -N10/10/10 bts0000.12.nc bts0001.12.nc
ncexpert -v (et mise à jour des paramètres recalculés)
ncinitmaillage bts0001.12.nc meshv.nc -r -x 30 -y 18
ncvariog -VT -npas10 -vpas20 -loc176.24 -cod bts0001.12.nc meshv.nc
ncmodvar -n6 meshv.nc
ncvalid -VT -nvois10 -rmin1s1 -o7 -s -cd bts0001.12.nc meshv.nc bts0002.12.nc
ncinitmaillage -n6 -i 0 bts0002.12.nc meshi.nc
ncmakacbatch -n6. -a0.9 -b0.8 -i30000 -p-5 bts0002.12.nc meshi.nc mesha.nc
ncextvois -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncvariog bts0002.12.nc mesha.nc -VT -npas10 -vpas20 -loc -extv -firf1.63299 -cod
ncmodvar -n6 mesha.nc
nckrige -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc -rmax160 -rmin80
ncremkrige bts0002.12.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncextvois -nvois10 -s -cd bts0002.12.nc bts0002.12.nc
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremail bts0002.12.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.12.nc bts0010.12.

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Valeur de rmin = 80.(parametres.cnf)

Dmin = 80., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 160 km et rmin à 80 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : les cartes obtenues sont sensiblement différentes de celles du test #II.1. En particulier au sud ouest d'Oran où les structures océaniques sont mieux définies. Par contre, les zones indéfinies sont plus étendues dans le golfe de Libye, le golfe d'Antalya en Turquie, le fond des mers Egée et Adriatique, une bonne partie de la mer Noire ;

Erreur : les valeurs semblent plus faibles de 0,2°C entre Malte et la Libye ainsi qu'en mer Adriatique. Ailleurs, elles sont équivalentes aux résultats du test #II.1 ;

Variabilité : inchangée par rapport au test #II.1 sauf à l'est de la mer Egée et près de Chypre où elle est moins élevée ;

Répartition : plus faible en mer du Noire et dans le golfe de Gascogne, ailleurs elle est inchangée par rapport au test #II.1 ;

Distance du Maillage : plus faible en mer Noire et dans le golfe de Gascogne, plus élevée dans le reste de la Méditerranée par rapport au test #II.1.

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

11290 - bts0002.12.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation 8,93%

1006 - bts0001.12.nc_dec

Nombre de données validées

11416 - bts0001.12.nc

Nombre de données origine

12422 - bts0000.12.nc

6 - Conclusions du test

L'augmentation des zones indéfinies n'est pas choquante, au contraire, puisqu'elles correspondent à des zones où la donnée n'existe pas ou peu. Seul le fond de l'Adriatique pose question. En effet, si on regarde le report de positions de cette région, on remarque qu'il est relativement bien échantillonné. On se serait attendu, au premier abord, à ne pas voir de zone indéfinie à cet endroit. Après une petite recherche directe sur la base de données, on s'aperçoit que les mesures de cette région appartiennent à 13 années différentes, mais 4 années sont très peu représentées. Lors de la recherche du voisinage, la probabilité pour que l'on ait dix points d'années différentes est faible. Les calculs rendent donc souvent la valeur Nan dans la zone.

Les résultats sont aussi satisfaisants que ceux du test #1.1. Il semble même que les structures locales soient mieux représentées (courant d'Algérie). Les valeurs de r_{max} et r_{min} correspondent mieux à l'échelle de structures en Méditerranée. Le test équivalent en décembre à 500 m sur des données trimestrielles (oct+nov+dec) devrait permettre de déceler les mêmes structures fines présentes dans les résultats MODB.

Les valeurs de r_{max} (160 km) et d_{min} (80 km) semblent mieux correspondre à l'échelle des structures en Méditerranée et ne nuisent en rien au calcul, si ce n'est dans les zones peu échantillonnées dans le temps ou dans l'espace.

A.VII : FICHE DU TEST #1.2 - MAI À 500 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

...../MEDATLAS/TESTS/mai/z0500/mai0500.2

2 - Paramètres ou arguments utilisés

traitement sur ordinateur

```
bts2cdf -v bts0011.05 bts0000.05.nc
info2cdf -Ze-13/46/26/52 -Zu-9/42/30/48 -G21.7/28.1/1. -D500 bts0000.05.nc
ncproj bts0000.05.nc
ncdecim -N10/10/10 bts0000.05.nc bts0001.05.nc
ncexpert -v (et mise à jour des paramètres recalculés)
ncinitmaillage bts0001.05.nc meshv.nc -r -x 30 -y 17
ncvariog -VT -npas10 -vpas20 -loc184.14 -cod bts0001.05.nc meshv.nc
ncmodvar -n2 meshv.nc
ncvalid -VT -nvois10 -rmin1s1 -o7 -s -cd bts0001.05.nc meshv.nc bts0002.05.nc
ncinitmaillage -n2 -i 0 bts0002.05.nc meshi.nc
ncmakacbatch -n2. -a0.9 -b0.8 -i30000 -p-5 bts0002.05.nc meshi.nc mesha.nc
ncextvois -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncvariog bts0002.05.nc mesha.nc -VT -npas10 -vpas20 -loc -extv -frf184.14 -cod
ncmodvar -n2 mesha.nc
nckrige -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.05.nc mesha.nc -rmax160 -rmin80
ncremkrige bts0002.05.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.05.nc mesha.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncextvois -nvois10 -s -cd bts0002.05.nc bts0002.05.nc
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncremail bts0002.05.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.05.nc bts0010.05.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Dmin = 80., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 160 km et rmin à 80 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : très semblable au test #1.2, sauf en ce qui concerne les zones peu échantillonnées Varie de 13 à 14,5°C ;

Erreur : elle est de l'ordre de 0° à 0,2°C² sur toute la zone ;

Variabilité : elle est de l'ordre de 0,2°C² sur toute la zone ;

Répartition : entre 80 et 280 km ;

Maillage : le maillage est peu déformé dans les zones fournies en données (golfe du Lion, sud de la Corse), bien réparti par ailleurs ;

Distance du Maillage : varie comme la répartition mais avec des valeurs deux fois plus faibles.

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

3621 - bts0002.12.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation

170 - bts0001.12.nc_dec

Nombre de données validées

3725 - bts0001.12.nc

Nombre de données origine

3895 - bts0000.12.nc

6 - Conclusions du test

Ce paramétrage donne de bons résultats, il est cohérent avec les résultats les meilleurs obtenus en décembre. Le peu de différences par rapport aux cartes du test #1.2 (cf. Annexe A.III) est dû au fort volume de données qui rend les calculs plus faciles.

A.VIII : FICHE DU TEST #II.2 - DÉCEMBRE À 10 M

1 - Nom du répertoire de stockage :

...../MEDATLAS/TESTS/dec/z0010/dec0010.9

2 - Paramètres ou arguments utilisés

(les modifications par rapport au test dec0010.8 sont en gras)

Temps de calcul 18 h sur un calculateur (ultra sparcs Sun)

```
bts2cdf -v bts0011.12 bts0000.12.nc
info2cdf -Ze-13/46/26/52 -Zu-9/42/30/48 -G21.7/28.1/1. -D010 bts0000.12.nc
ncproj bts0000.12.nc
ncdecim -N10/10/10 bts0000.12.nc bts0001.12.nc
ncexpert -v (et mise à jour des paramètres recalculés)
ncinitmaillage bts0001.12.nc meshv.nc -r -x 52 -y 30
ncvariog -VT -npas10 -vpas20 -loc101.595 -cod bts0001.12.nc meshv.nc
ncmodvar -n2 meshv.nc
ncvalid -VT -nvois10 -rmin1s1 -o7 -s -cd bts0001.12.nc meshv.nc bts0002.12.nc
ncinitmaillage -n2 -i 0 bts0002.12.nc meshi.nc
ncmakacbatch -n2. -a0.9 -b0.8 -i30000 -p-5 bts0002.12.nc meshi.nc mesha.nc
ncextvois -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncvariog bts0002.12.nc mesha.nc -VT -npas10 -vpas20 -loc -extv -frf2.82843 -cod
ncmodvar -n2 mesha.nc
nckrige -nvois10. -s -o7 -cd bts0002.12.nc mesha.nc -rmax160 -rmin80
ncremkrige bts0002.12.nc mesha.nc -k -nvois4 -rmax160 -rmin80
ncvariab -VT -l -e -cd bts0002.12.nc mesha.nc
ncemail bts0002.12.nc mesha.nc -VvT -b -f -nvois4 rmax160 -rmin80
ncextvois -nvois10 -s -cd bts0002.12.nc bts0002.12.nc
ncemail bts0002.12.nc mesha.nc -VvH -nvois4
ncemail bts0002.12.nc mesha.nc -VDISTMESH -nvois4
nc2grd -xmesha.nc bts0002.12.nc bts0010.12.
```

3 - Valeur ou calcul testé

Projection Mercator au 1/4 de degré.

Valeur de rmin = 80.(parametres.cnf)

Dmin = 40., Kopt = 16 (expert.cnf)

rmax à 160 km et rmin à 80 km, paramètre supplémentaire du krigeage

4 - Sorties graphiques

Température : le courant algérien est moins bien structuré par rapport au test #II.1 où il était bien identifié. Pour le reste de la zone, on retrouve les mêmes structures dans les régions bien échantillonnées, des structures voisines dans les régions plus pauvres en données (entre Chypre et Malte par exemple) ;

Erreur : inchangée par rapport au test #II.1 ;

Variabilité : légèrement plus faible dans les zones bien échantillonnées et nettement plus faible en mer Egée, près de Chypre, dans le fond de l'Adriatique et le golfe de Gabès en Tunisie ;

Répartition : moitié moins forte sur toute la zone (Dmin = 40 km test #III, Dmin = 80 km test #II.1 (cf. Annexe A.VI)) ;

Maillage : très régulier. La taille des mailles et le nombre de point par maille étant faibles, le mailleur n'a pas besoin de beaucoup déformer ses mailles pour trouver le nombre de points par maille demandé (n = 2) ;

Distance du Maillage : moitié moins forte sur toute la zone (Dmin = 40 km test #III, Dmin = 80 43 km test #II.1 (cf. Annexe A.VI)).

5 - Résultats obtenus

Nombre de données krigées

11293 - bts0002.12.nc

Nombre de données éliminées lors de la décimation 8,93 %

1006 - bts0001.12.nc_dec

Nombre de données validées

11416 - bts0001.12.nc

Nombre de données origine

12422 - bts0000.12.nc

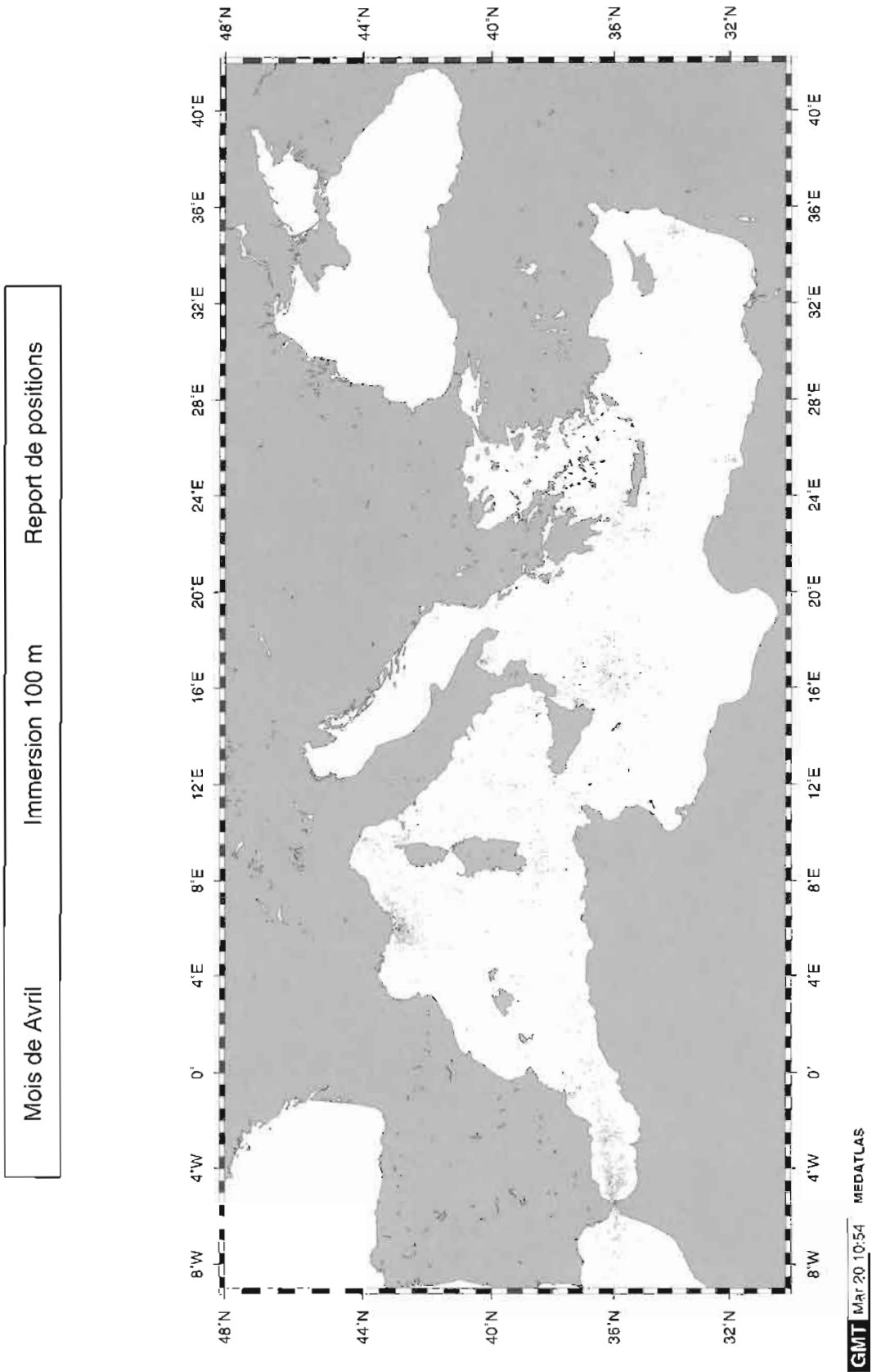
6 - Conclusions du test

Les structures océaniques grandes échelles sont assez semblables à celles du test #11.1. Le temps de calcul est beaucoup plus élevé mais pour un résultat localement meilleur : le courant algérien est mieux rendu (17 h contre moins de 8 h). Au regard de la variabilité, il semble que les résultats avec cette paramétrisation soient plus stables.

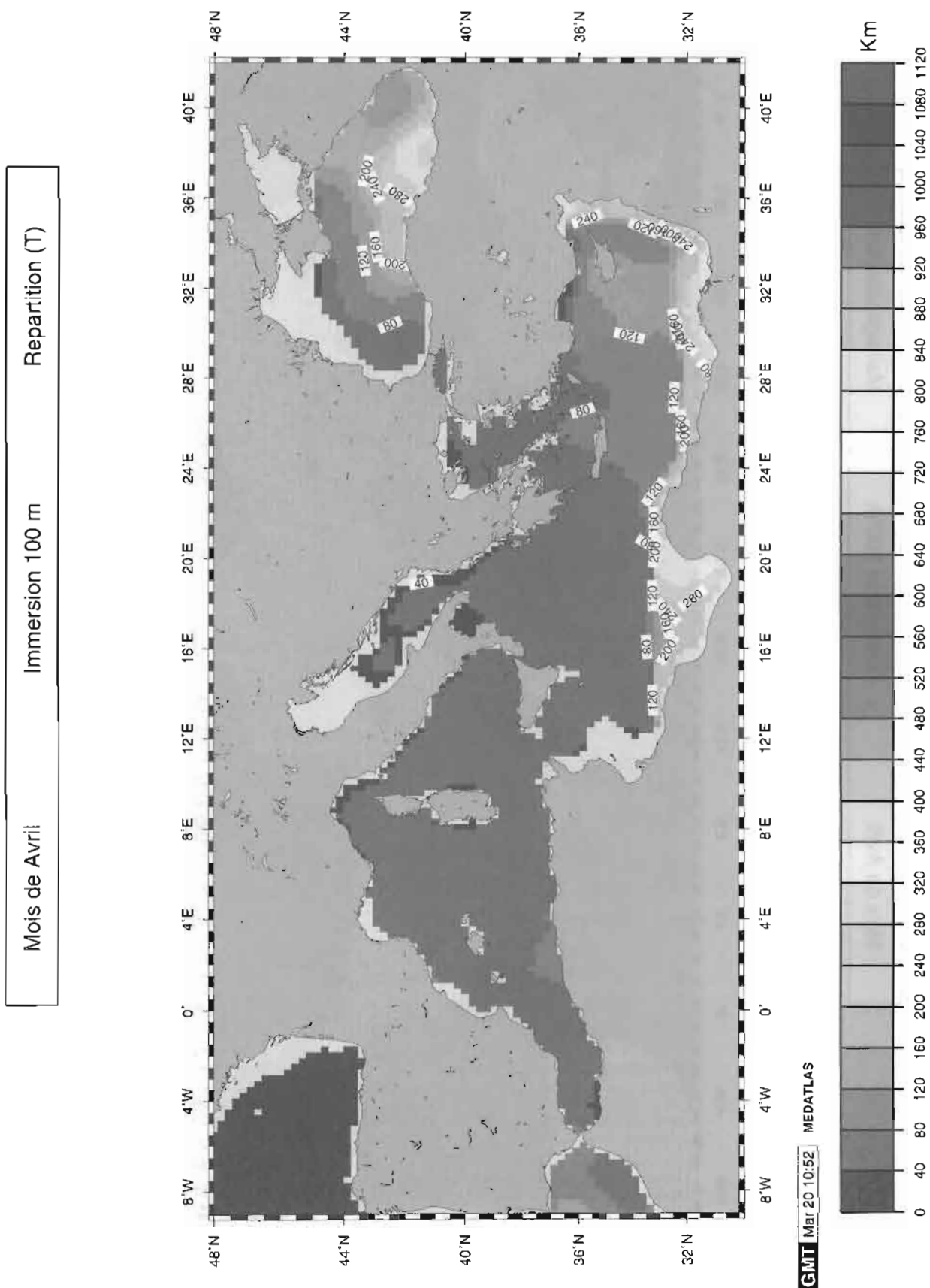
Le paramétrage semble optimal dans ce test-ci. Il reste à confirmer avec les tests en mai, à plus grandes profondeurs et trimestriels.

ANNEXE B

B.I : REPORT DE POSITION DES OBSERVATIONS

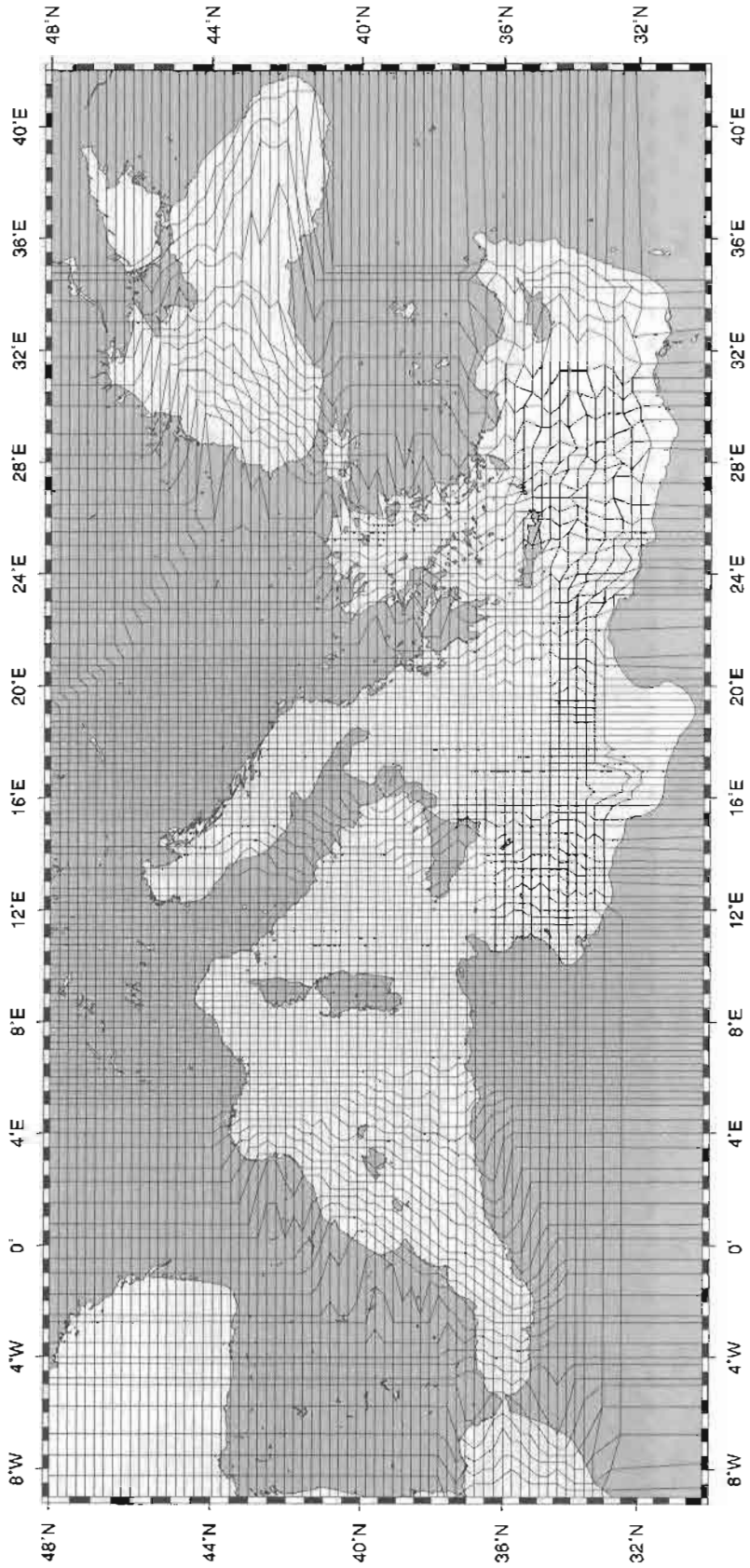


B.II : CARTE DE RÉPARTITION DES OBSERVATIONS



B.III : MAILLAGE ADAPTÉ

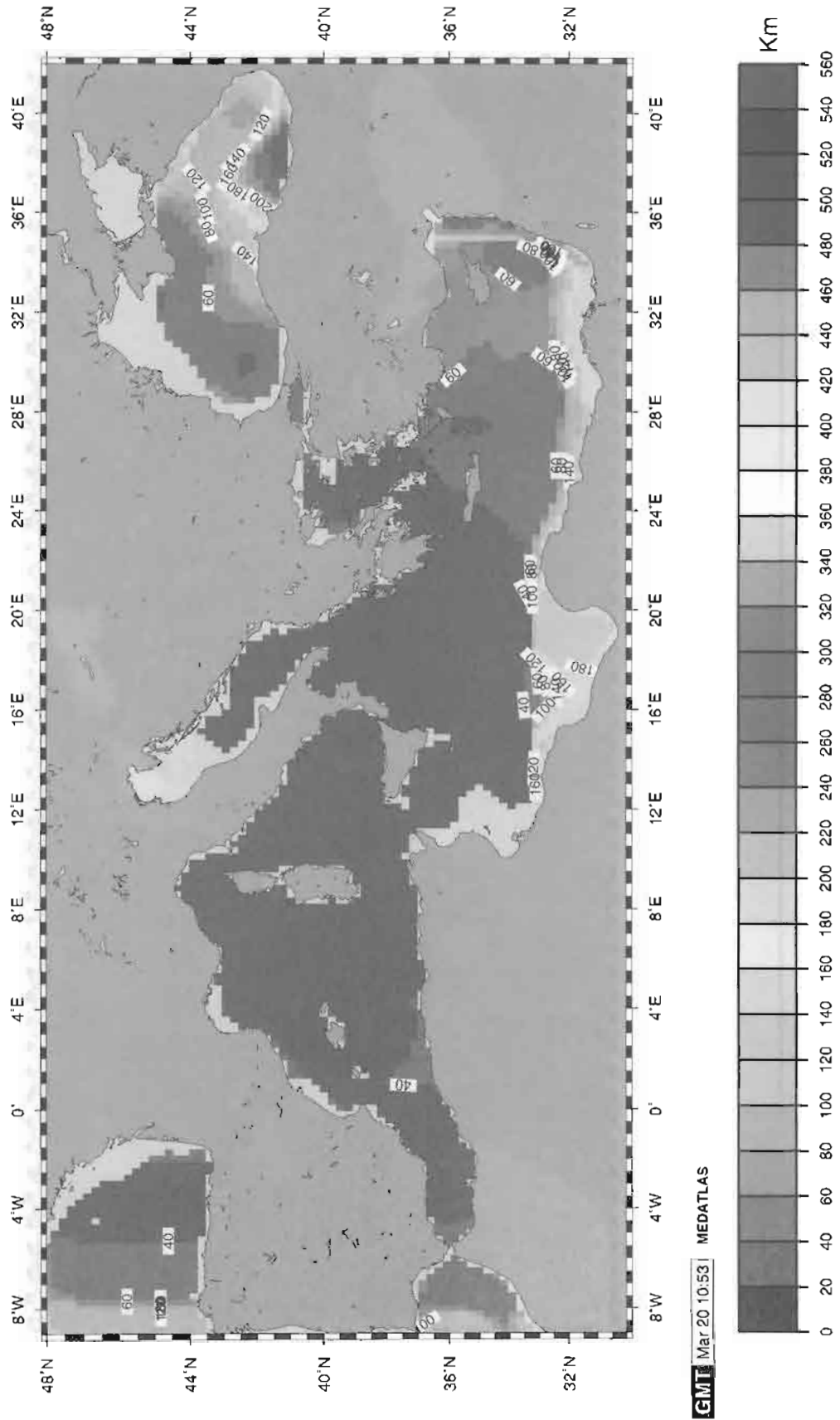
Mois de Avril Immersion 100 m Maillage adaptatif



GMT Mbr 20 10.55 MEDATLAS

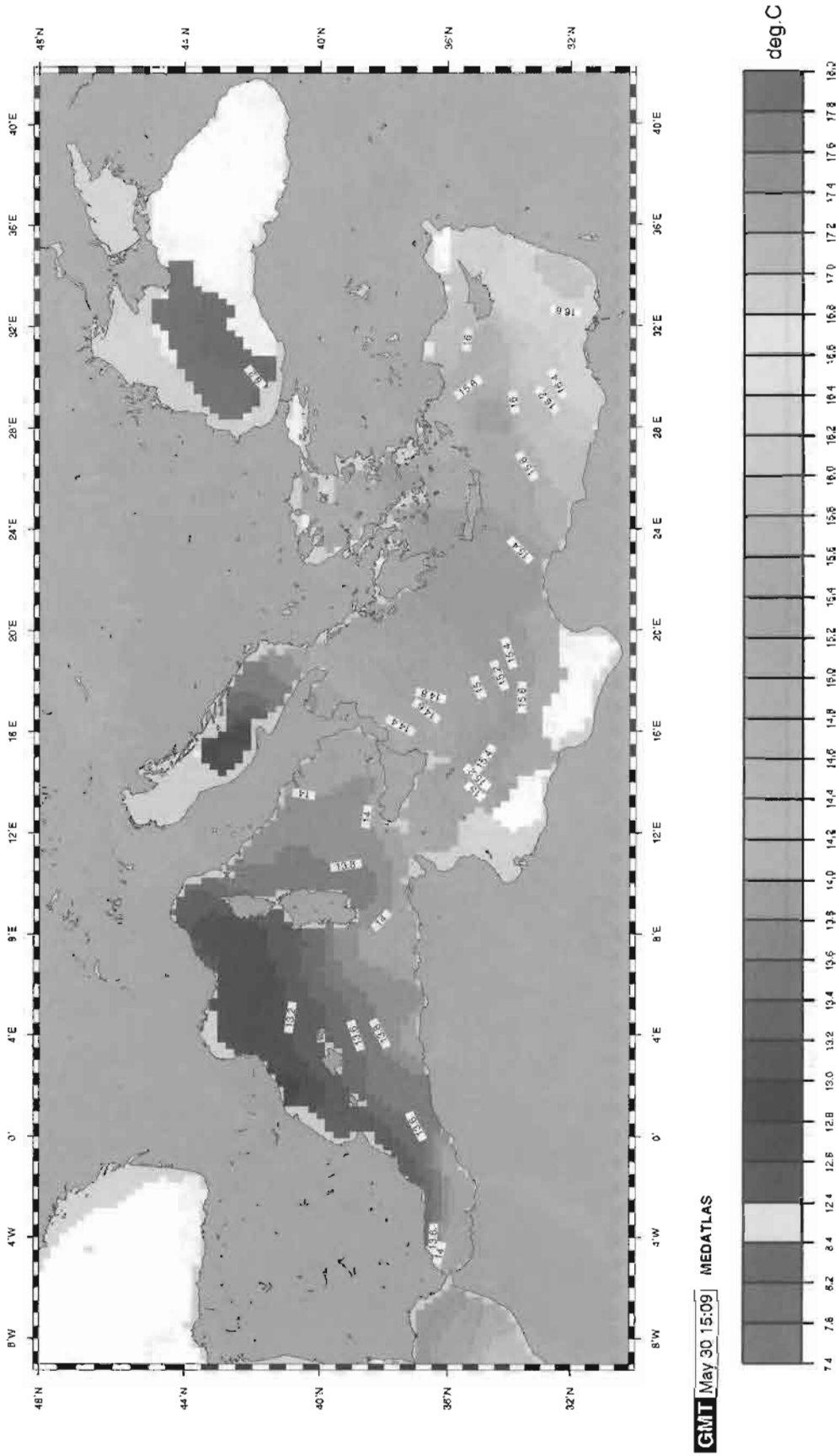
B.IV : TAILLE DU MAILLAGE ADAPTÉ

Mois de Avril Immersion 100 m Distance Maillage (T)



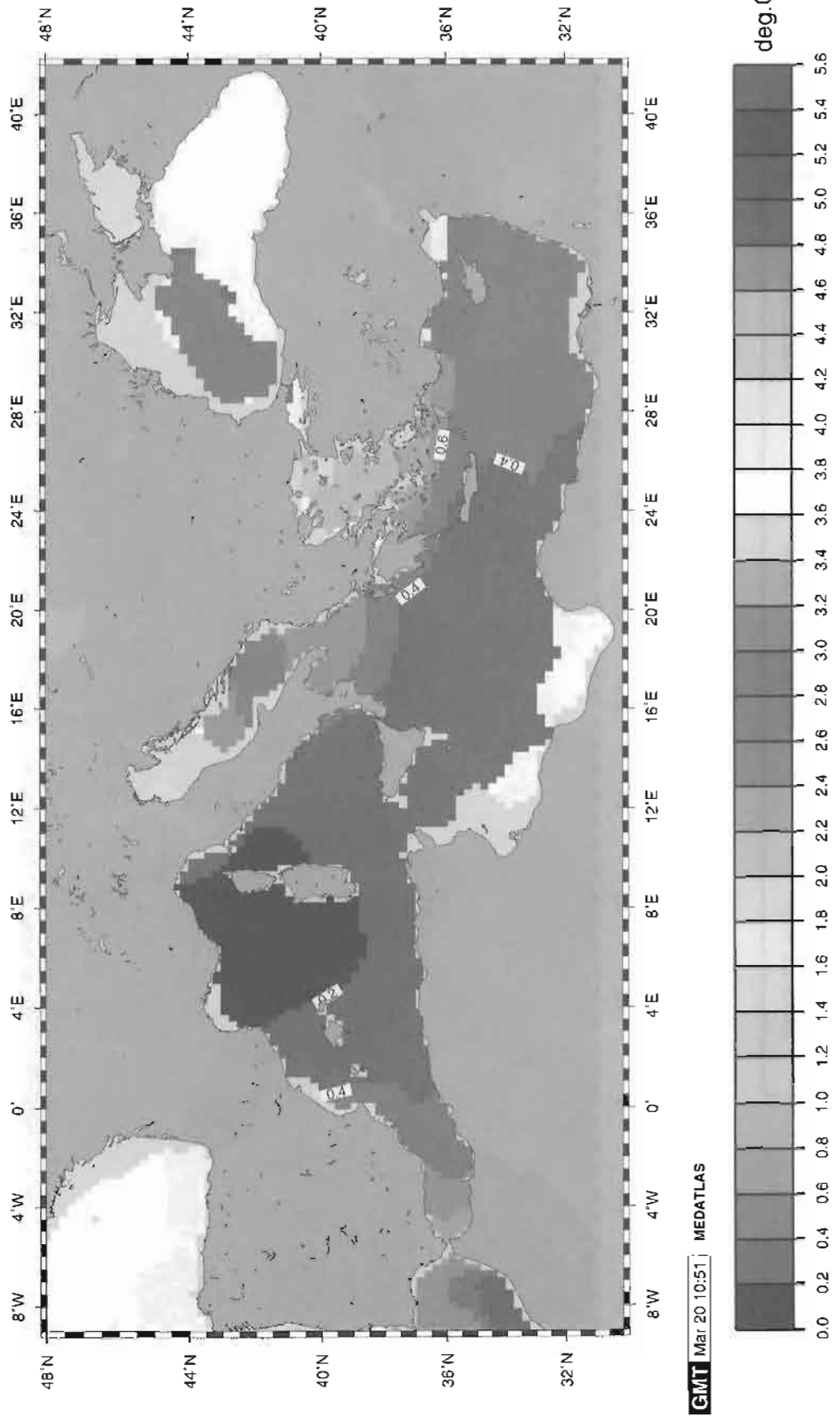
B.V : CARTE D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE

Mois de Avril
Immersion 100 m
Temperature



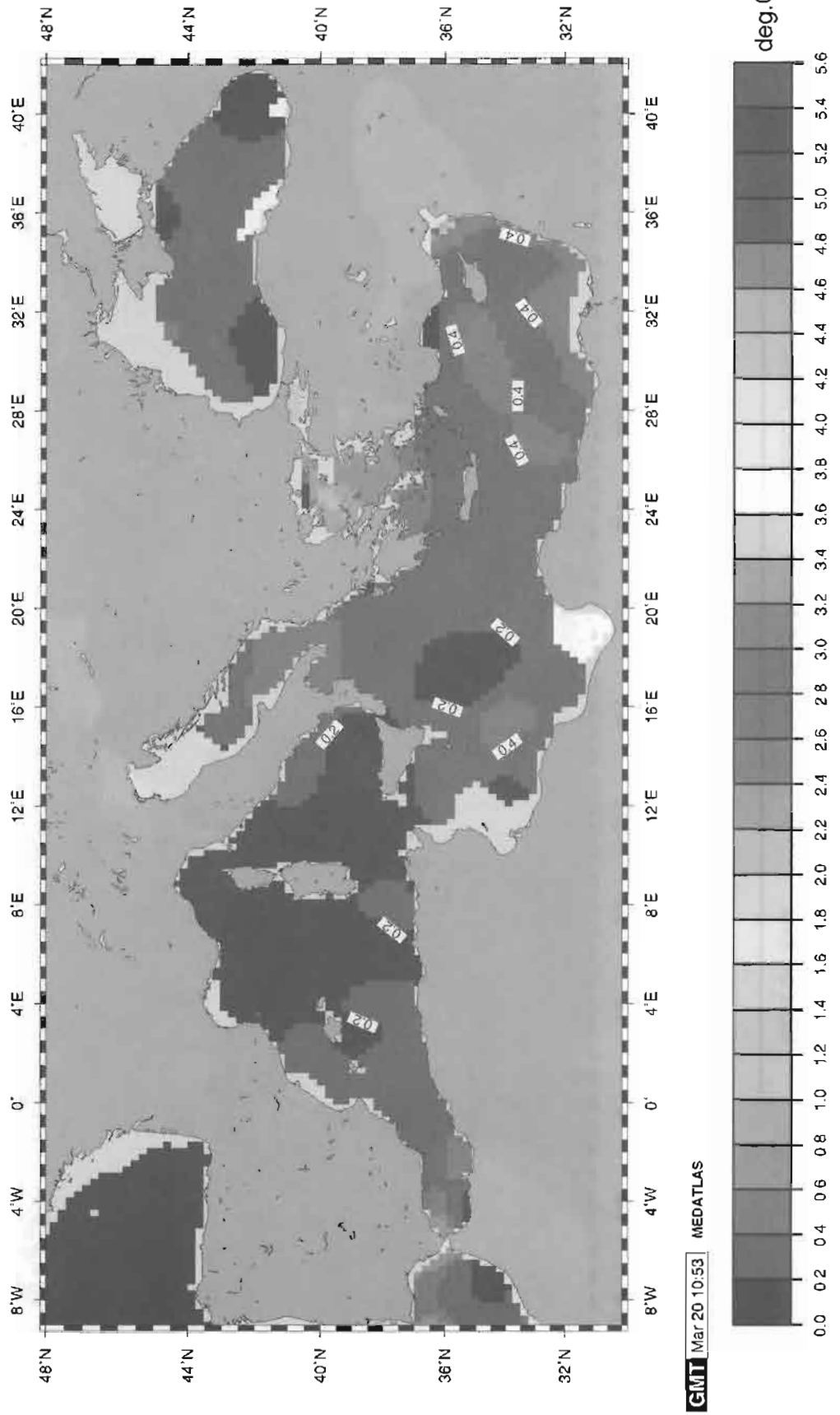
B.VI : ERREUR D'ESTIMATION D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE

Mois de Avril Immersion 100 m Erreur d'estimation (T)



B.VII : VARIABILITÉ D'UN CHAMP DE TEMPÉRATURE

Mois de Avril
Immersion 100 m
Variabilité (T)



DEUXIÈME PARTIE

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(6 juillet 1984 – 1^{er} janvier 1987)

par

Jean-François BONNOT, Ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)

Page

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9-3
CHAPITRE 1 Description sommaire de la mission océanographique de l'Atlantique	
1.1 Généralités : constitution de la mission	9-4
1.2 Organisation	9-4
1.2.1 Organisation générale	9-4
1.2.2 Organisation interne de l'unité hydrographique	9-4
1.3 Personnel	9-5
1.3.1 Ingénieurs et officiers	9-5
1.3.2 Officiers mariniers hydrographes	9-5
1.3.3 Personnel de spécialité non hydrographe	9-5
1.4 Les moyens flottants	9-5
1.4.1 Le BO <i>D'Entrecasteaux</i>	9-5
1.4.2 Les vedettes hydrographiques	9-7
1.5 L'hélicoptère de type Alouette III	9-7
1.6 Véhicules	9-8
1.7 Conclusion	9-8
CHAPITRE 2 Méthodes et techniques de travail	
2.1 Généralités	9-8
2.2 Géodésie (points géodésiques, amers)	9-9
2.3 Marée-nivellement	9-9
2.3.1 Observatoires à la côte	9-9
2.3.2 Observations de la marée au large	9-10
2.4 Courantométrie	9-10
2.5 Bathymétrie côtière	9-11
2.5.1 Localisation	9-11
2.5.2 Sondages	9-11
2.5.2.1 Effectués par les vedettes hydrographiques	9-11
2.5.2.2 Effectués par le <i>D'Entrecasteaux</i>	9-11
CHAPITRE 3 Travaux hydrographiques	
3.1 Campagne en océan Indien	9-11
3.1.1 Généralités	9-11
3.1.2 Levé autour de l'île de La Réunion	9-12
3.1.2.1 Déroulement des opérations	9-12
3.1.2.2 Aspects techniques du levé	9-13
3.1.2.2.1 Travaux géodésiques	9-13
3.1.2.2.2 Marée – nivellement	9-13
3.1.2.2.3 Bathymétrie	9-16
3.1.2.2.4 Rédaction de la bathymétrie	9-20
3.1.2.2.5 Courantométrie	9-20
3.1.2.2.6 Topographie	9-20
3.1.2.2.7 Amers – vues de côtes	9-20
3.1.2.2.8 Documents établis	9-21

	Page
3.1.2.3 Aspects fonctionnels	9-21
3.1.2.3.1 Environnement et relations locales	9-21
3.1.2.3.2 Emploi des moyens	9-21
3.1.2.3.3 Instrumentation	9-21
3.1.2.4 Exploitation cartographique des travaux	9-22
3.1.2.5 Perspectives et conclusion	9-22
3.1.3 Levé à Mayotte	9-22
3.1.3.1 Déroulement des opérations	9-25
3.1.3.2 Aspects techniques du levé	9-25
3.1.3.2.1 Géodésie	9-25
3.1.3.2.2 Marée – nivellement	9-28
3.1.3.2.3 Bathymétrie	9-28
3.1.3.2.4 Rédaction de la bathymétrie	9-32
3.1.3.2.5 Courantométrie	9-34
3.1.3.2.6 Topographie – amers	9-34
3.1.3.2.7 Documents établis	9-34
3.1.3.3 Aspects fonctionnels	9-34
3.1.3.4 Exploitation des travaux et conclusions	9-35
3.1.3.4.1 Exploitation des travaux	9-35
3.1.3.4.2 Perspectives	9-35
3.1.3.4.3 Conclusion	9-35
3.1.4 Travaux hydro-océanographiques au cours des transits	9-35
3.1.4.1 Généralités	9-35
3.1.4.2 Investigation du détroit situé entre les îles Harish et les îles Mohabbakah (sud de la mer Rouge)	9-35
3.1.4.3 Travaux à Djibouti	9-37
3.1.4.4 Travaux hydrographiques en république fédérale Islamique des Comores	9-38
3.1.4.4.1 Généralités	9-38
3.1.4.4.2 Travaux à Moroni	9-38
3.1.4.4.3 Travaux à Anjouan	9-41
3.1.4.5 Perspectives et conclusion	9-45
3.1.4.6 Mesures hydrologiques en transit	9-46
3.2 Levé côtier en région sud-Bretagne : de Noirmoutier à Belle-Ile	9-47
3.2.1 Généralités	9-47
3.2.2 Déroulement des opérations	9-47
3.2.3 Aspects techniques du levé	9-48
3.2.3.1 Géodésie	9-48
3.2.3.2 Marée – nivellement	9-48
3.2.3.2.1 Observatoire de marée – description	9-48
3.2.3.2.2 Découpage des zones élémentaires de marée	9-57
3.2.3.3 Courantométrie	9-59
3.2.3.4 Bathymétrie	9-59
3.2.3.4.1 Localisation	9-59
3.2.3.4.2 Exécution des sondages	9-60
3.2.3.4.2.1 Sondages par les vedettes hydrographiques	9-61
3.2.3.4.2.2 Sondages par le <i>D'Entrecasteaux</i>	9-61
3.2.3.4.3 Recherches de roches et d'épaves – levé sonal	9-61
3.2.3.4.3.1 Recherche de roches	9-61
3.2.3.4.3.2 Recherches d'épaves	9-61
3.2.3.4.3.3 Levé sonal	9-63
3.2.3.4.4 Levés de plageage	9-63
3.2.4 Magnétisme	9-63
3.2.5 Aspects fonctionnels	9-64
3.2.5.1 Environnement et relations locales	9-64
CONCLUSION GÉNÉRALE	9-64

INTRODUCTION

Le présent rapport décrit l'ensemble des travaux hydrographiques qui ont été réalisés par la mission océanographique de l'Atlantique (MOA) complètement embarquée sur le BO *D'Entrecasteaux* sous la direction de l'ICA Bonnot, du 6 juillet 1984 au 1^{er} janvier 1987. Cet ingénieur succédait l'ICA Le Guen. Il fut remplacé par le CF Vignat assisté d'un directeur technique, l'IPA Bessero.

Au cours de la période considérée, l'activité fut partagée, en alternance, entre des travaux d'hydrographie classique d'intérêt général et des campagnes d'océanographie ou d'acoustique sous-marine au large. Ces dernières, dont certaines d'ailleurs sont frappées d'un degré de protection, sortent du cadre de cette publication et ne feront l'objet que de développements très succincts. En effet, l'exploitation des données recueillies au cours de ces campagnes échappe à la compétence des hydrographes embarqués et est réservée aux scientifiques. Elle réclame en outre des délais très importants (4 à 5 ans) et fait généralement l'objet de rapports spécifiques volumineux publiés à part.

L'automne 1984 (29 août – 15 novembre) fut consacré à des campagnes du type océanographique, l'une dans la région des îles Canaries, l'autre en Méditerranée occidentale.

Le premier semestre 1985 (24 janvier – 18 juillet) vit la mission océanographique de l'Atlantique opérer en océan Indien sur des levés hydrographiques côtiers le long de la côte nord de l'île de La Réunion, dans le lagon de Mayotte et en république fédérale Islamique des Comores.

Au cours de l'automne 1985 (6 septembre – 18 novembre), le BO *D'Entrecasteaux*, à nouveau équipé pour l'océanographie, participa avec le BH1 *L'Espérance* à une vaste campagne d'océanographie physique organisée par l'EPSHOM : Ondine 85. L'année 1986 fut consacrée à un levé hydrographique d'envergure de la pointe nord de l'île de Noirmoutier au nord de Belle-Ile.

Une courte campagne d'acoustique sous-marine dans la région de Madère interrompit pour un temps (22 septembre – 14 octobre) le levé en région sud-Bretagne.

Avant d'aborder le détail des travaux effectués, il paraît opportun de développer en première et deuxième partie une description

- de la MOA actuelle et de ses moyens ;
- des méthodes de travaux pratiquées accompagnées d'un exposé sur les progrès réalisés.

La conclusion générale présente différents bilans chiffrés qui permettent d'approcher des normes de productivité de la MOA en hydrographie et propose quelques réflexions quant à leur prise en compte dans la préparation et la conduite d'un levé.

CHAPITRE 1

DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA MOA ET DE SES MOYENS

1.1 GÉNÉRALITÉS : constitution de la mission

Créée le 1^{er} avril 1971, la MOA est constituée :

- du bâtiment océanographique *D'Entrecasteaux* ;
- d'une unité hydrographique composée de personnel complémentaire dont plus de la moitié est spécialisée en hydrographie.

La MOA fonctionne à plein temps à bord du *D'Entrecasteaux* depuis la mise en service actif du bâtiment le 8 octobre 1971.

Elle peut disposer à terre, de locaux à la base de la mission hydrographique de l'Atlantique (BMHA), constitués de bureaux pour ingénieurs, ainsi que de deux salles de dessin et de magasins de stockage pour le matériel. A part ces derniers qui sont nécessaires à cause de la diversité des équipements et des missions de la MOA et utilisés en permanence, les locaux à terre ne sont occupés que de façon épisodique et en pratique, seulement lorsque le *D'Entrecasteaux* est en indisponibilité pour entretien et réparations (IPER).

La MOA est également équipée de véhicules.

1.2 ORGANISATION

1.2.1 Organisation générale

Le fait que l'unité hydrographique de la MOA soit totalement et en permanence embarquée sur le *D'Entrecasteaux* est un élément favorable à la cohésion du groupe.

Patiemment et en plein accord avec les commandants successifs, nous nous sommes attachés à renforcer encore cette cohésion, en gommant, chaque fois que cela était possible ou souhaitable les séparations, disparités ou doubles emplois existant entre le bord et l'unité hydrographique. Il s'agit ici de détails pratiques souvent mineurs ou subalternes, mais source potentielle de toute une série de petits conflits que nous avons pu résorber progressivement pour obtenir un esprit d'unité complète.

Un texte d'organisation cosigné du directeur et du commandant formalisa dans ce contexte les rôles de chacun. Il fut établi en juin 1986 après près de 18 mois d'expérimentation. Il fut accueilli très favorablement par nos successeurs. Ce texte institutionnalise notamment, lorsque le bâtiment est à la mer, une réunion " opérations " journalière groupant les principaux responsables de l'ensemble (une douzaine de personnes environ) au cours de laquelle le directeur, qui préside, indique ses objectifs et son programme du lendemain. Celles-ci sont traduites, en

séance, en termes opérationnels tenant compte des contraintes du bâtiment et de la météorologie. La feuille de service en découle directement, à charge ensuite au commandant de commander l'exécution des actions prévues. Tout cela peut paraître banal, mais nous avons pu noter que cela augmentait l'efficacité et de plus la bonne humeur.

1.2.2 Organisation interne de l'unité hydrographique

La diversité et la multiplicité des tâches à accomplir simultanément, la part croissante d'une informatique en perpétuelle évolution dans l'exécution et la rédaction des levés ont imposé de fractionner les fonctions au sein de l'unité hydrographique.

Le directeur et son adjoint direct sont restés et restent polyvalents, mais :

- l'ingénieur d'études et techniques d'armement (électronicien) assisté du maître adjoint fut chargé d'assurer complètement la logistique spécifique de la mission et non plus seulement comme auparavant le simple dépannage de l'électronique. Cela se conçoit d'autant mieux que cet ingénieur possède un grade d'officier supérieur ;
- le rôle traditionnel de chef de la salle de dessin, trop lourd maintenant pour un seul officier marinier, compte tenu de la masse de données recueillies, fut réparti entre trois officiers marins hydrographes supérieurs. Ainsi le chef de salle de dessin traditionnel, en principe le plus ancien des officiers marins hydrographes, fut maintenu en place mais fut libéré totalement :
 - d'une part du suivi et de l'organisation des travaux des vedettes. Un officier marinier supérieur fut chargé d'organiser la préparation, l'exécution et la rédaction des sondages par vedettes. Il commande notamment le groupe des trois vedettes pendant les périodes où celles-ci se trouvent détachées du bâtiment porteur pour travailler de façon isolée ;
 - d'autre part de la rédaction informatisée des levés et de la gestion des disquettes. Un officier marinier hydrographe fut chargé d'assurer et d'organiser l'ensemble des opérations informatiques conduisant à la rédaction définitive. Il gère l'emploi des calculateurs, les supports d'enregistrements numériques (disquettes, bandes magnétiques, cassettes, disques durs...) les logiciels et rend au chef de la salle de dessin les produits intermédiaires et définitifs pour leur vérification. Ces trois officiers marins n'assurent pas normalement de quart mais doivent être en permanence disponibles.

Les personnels, non-hydrographes, de spécialités diverses (mécanicien, manoeuvrier...) affectés à l'unité MOA ont été détachés pour emploi dans les services du bord tout en étant chargés d'assurer sous la direction des chefs de service la conduite et l'entretien des engins et des matériels nécessaires aux travaux hydro-océanographiques (véhicules, vedettes hydrographiques, embarcations légères, lignes de mouillage, etc.).

Ces personnels, pour leur avenir de carrière et le suivi de leur formation, doivent en effet être encadrés par des officiers de leur spécialité et rester en contact avec les règlements en vigueur dans la marine nationale.

1.3 PERSONNEL

1.3.1 Ingénieurs et officiers

Le plan d'armement en vigueur prévoit en plus du directeur de mission :

- un ingénieur de l'armement (hydrographe) ;
- un ingénieur d'études et techniques d'armement (IETA hydrographe) ;
- un ingénieur d'études et techniques d'armement (IETA électronicien) ;
- deux aspirants RS (recherche scientifique).

Nota : le plan d'armement "équipage" prévoit un matelot scientifique du contingent, ce qui porte à trois le nombre de recrutés ayant qualification d'ingénieur. Ces trois recrutés furent toujours présents.

Ce plan d'armement est bien équilibré, mais n'est pas luxueux. Il est, à notre avis, dommage qu'il n'ait pu être honoré.

Ainsi, le dernier semestre 1984, fut la seule période durant laquelle on disposa de trois ingénieurs, l'IA (hydrographe) Frachon, l'IETA (hydrographe) Mouscardès et l'IETA (électronicien) Pelle, remplaçant de l'IETA Bernard. L'IETA Mouscardès, débarqué le 19 juillet 1985 ne fut remplacé que le 25 octobre 1985 par l'IPA (hydrographe) Bessero.

L'IETA Pelle, promu IPETA en janvier 1986, fut débarqué au début du mois d'avril 1986 pour raisons de santé et ne fut remplacé par l'IPETA Mondot que début décembre 1986. Dans la période intermédiaire, le bâtiment étant à la mer, il fallut pour la maintenance de l'électronique vivre d'expédients et compter à la fois sur le laboratoire d'électronique de l'EPSHOM et sur les deux aspirants (RS électroniciens de formation). Ces derniers se débrouillèrent fort bien, mais bien évidemment ne pouvaient parer qu'au plus pressé sans pouvoir prétendre à un suivi correct des matériels. Quand ils débarquèrent début août 1986, leurs successeurs n'étant en rien des électroniciens, la MOA se trouva pendant quatre mois démunie de toute capacité de dépannage de ses matériels.

Travailler ainsi à effectif réduit ne fut pas bon pour la continuité des travaux et de leur rédaction et faisait craindre une dégradation des matériels difficilement récupérables.

1.3.2 Officiers mariniers hydrographes

Le plan d'armement prévoit un effectif de dix officiers mariniers, brevetés supérieurs hydrographes, dont quelques-uns sont en plus soit programmeurs, soit classés HYDROSUP, c'est-à-dire titulaires du certificat de formation de 4^e niveau.

En fait, et globalement, il y eut toujours treize à quatorze officiers mariniers hydrographes affectés à la MOA. Au regard des grades ou des niveaux d'emploi, le plan d'armement fut plus ou moins respecté mais, à notre avis, cela ne fut pas crucial. Nous avons toujours préféré disposer d'une population jeune et dynamique, attirée par le

progrès technique, encore fallait-il pouvoir lui assurer un encadrement technique de haut niveau. On voit à quel point le déficit d'ingénieurs signalé au paragraphe précédent a pu être gênant de ce point de vue.

A part quelques " bretons " inconditionnels du *D'Entrecasteaux*, il n'y a plus vraiment d'officiers mariniers hydrographes volontaires pour la MOA. Cet état d'esprit est intimement lié au taux d'activité à la mer du bâtiment, jugé trop important. Les affectations d'une durée de trois ans sont également jugées trop longues. On ressent d'ailleurs assez nettement une baisse de régime ou de tonus chez les sujets qui ont dépassé deux ans de bord.

Les campagnes lointaines, assorties d'accessoires de solde, continuent à attirer des volontaires.

1.3.3 Personnel de spécialité non-hydrographe

Le plan d'armement prévoit cinq officiers mariniers de spécialités diverses (un mécanicien, un DEASM, trois manœuvriers et huit matelots du contingent). La spécialité (ou spécialisation) définie au niveau du recrutement de ces matelots est illusoire. Elle doit dans un laps de temps très court leur être inculquée à bord. Malgré cela, ces jeunes recrutés généralement de bonne volonté sont tous prêts à rendre service et rendent effectivement service.

La plus grosse faiblesse de ce plan d'armement se situe au niveau du matelot secrétaire du contingent qui est toujours parfaitement inexpérimenté en dactylographie et n'a aucune connaissance sur le fonctionnement d'un secrétariat. Il faut former chaque nouvelle recrue pour huit mois seulement. L'affectation d'un quartier-maître secrétaire engagé pour une durée de deux ou trois ans serait une bien meilleure solution. En attendant, et pour assurer au secrétariat de la MOA un minimum de standing, c'est un aspirant (RS) qui fut chargé d'assurer son bon fonctionnement.

1.4 LES MOYENS FLOTTANTS

1.4.1 Le BO D'Entrecasteaux

Une description du bâtiment et de ses équipements est donnée, dans le rapport de mission du premier directeur de la MOA, l'IGA Comolet-Tirman⁽¹⁾.

1.4.1.1 Du point de vue des caractéristiques, le *D'Entrecasteaux* a peu évolué ; il a cependant vieilli et commence à subir des avaries qui, pour les plus fréquentes, sont liées au vieillissement des armoires de commandes électriques de la propulsion et des auxiliaires.

Les critiques formulées dans le rapport cité ci-dessus qui sont restées d'actualité sont les suivantes :

a/ Le système passif de stabilisation est resté inefficace malgré une lueur d'espoir en automne 1985 (campagne Ondine).

On a tenté, en effet, au cours de cette campagne, de faire fonctionner la stabilisation. A la suite d'une fausse

(1) Cf. *Annales hydrographiques*, 5^e série - Vol 4 - fascicule 1 - 1976 - n° 743 - 2^e partie.

manœuvre, les cuves furent remplies avec 17 tonnes d'eau de mer de plus que prévu, à la suite de quoi le bâtiment s'est trouvé indubitablement stabilisé alors que l'état de la mer atteignait force 5. Cela dura le temps qu'on s'aperçoive de l'erreur et qu'on la corrige. L'autorisation de modifier le règlement de manœuvre pour se replacer dans la configuration où le bâtiment se trouvait stabilisé n'a pas été donnée par les services compétents.

b/ Le dispositif de mouillage par grands fonds est resté un problème épineux, et fait l'objet d'un mémoire volumineux existant à bord, chaque commandant s'étant attaqué au problème. La thèse du mouillage lourd développée dans les années 1970⁽²⁾ fut abandonnée après quelques essais infructueux, au profit du mouillage "léger" qui consiste à mouiller sur une ancre lestée de chaîne par un câble d'acier antigiratoire de 12 mm de diamètre. Le succès d'une telle manœuvre reste très aléatoire, elle endommage, lorsque le mouillage a pu être remonté, une longueur importante du bas de ligne.

Pour ce qui nous concerne, nous considérons que mouiller par grands fonds ne sert plus à rien à partir du moment où la position du bâtiment peut être connue avec une très grande précision. On notera que le dispositif actuellement en place interdit pour des raisons de sécurité tout travail sur le pont milieu lorsque le câble de mouillage est sous tension.

L'expérience de mouillages de bouées importantes par 4 000 mètres de fond acquise avec succès lors de la campagne Ondine 85 donne un regain d'intérêt pour le système dit "mouillage lourd". Pour assurer sa sécurité, il suffirait de disposer de largeurs acoustiques en bas de ligne fiables pouvant supporter de fortes tensions.

c/ Les plus graves défauts du *D'Entrecasteaux* tiennent à son type de propulsion complexe qui ne permet pas de tenir des vitesses lentes entre 5 et 6 nœuds pendant de longues périodes. Or ces vitesses sont précisément celles qui conviennent pour traîner en sondage un sondeur latéral. Avec la seule propulsion auxiliaire, il n'y a aucune stabilité de route, les sondeurs verticaux sont brouillés et inutilisables.

d/ Les garnitures d'étanchéité (garnitures Simplex) des lignes d'arbre sont enfin, un point faible certain. Pour des raisons inconnues, elles s'usent ou se détériorent anormalement vite. En deux ans et demi, il a fallu les changer deux fois. Cette réparation exige un passage au bassin d'une durée d'une semaine.

Ces critiques n'empêchent pas cependant d'affirmer que le *D'Entrecasteaux* est un bâtiment hydro-océanographique remarquable capable d'effectuer n'importe quel type de campagne de mesures à la mer, grâce notamment à la diversité de ses équipements et à la facilité avec laquelle il peut accueillir temporairement les équipements adaptés à la mission.

⁽²⁾ Le mouillage lourd consistait à mouiller une sorte de ligne de bouées, crapaud en dernier. Ce mouillage réalisé, le *D'Entrecasteaux* venait ensuite s'amarrer pour une manœuvre de prise de coffre à la dernière bouée. Si le temps forçait et menaçait de rompre la ligne, le bâtiment larguait purement et simplement l'aussière pour revenir la prendre à nouveau lorsque le temps le permettait.

1.4.1.2 Ces équipements évoluent d'ailleurs en permanence pour suivre le progrès technique. On distinguera :

a/ Les équipements de base qui sont les systèmes de positionnement, les sondeurs, le gravimètre, un bathythermographe Sippican, les treuils et appareils de manœuvre. La gamme des systèmes de localisation est très étendue et comprend un récepteur JMR 4 (système Transit), un récepteur GPS, un récepteur Oméga différentiel, un récepteur Loran C, un récepteur Syledis, une chaîne Trident 3 composée de 5 interrogateurs et 10 balises. La chaîne Toran qui commence à vieillir et n'a pas été utilisée depuis plusieurs années est sur le point d'être déclassée.

Trois sondeurs équipent en outre le "poste central" (PC) scientifique, deux sondeurs grands fonds Raytheon, l'un à faisceau large, l'autre à faisceau étroit utilisant une base Edo stabilisée par gyroscope ; le troisième sondeur est un sondeur Atlas Deso 20 équipé d'un compensateur de houle Anschütz.

Le sonar de coque Duba 1E, installé à la construction du bâtiment a été démonté il y a plusieurs années.

Les treuils et appareils de manœuvre n'ont pas été modifiés depuis la mise en service du bâtiment. La disposition des trouils Mécabolor n'est pas très heureuse et fait courir des risques au personnel qui les met en œuvre. Pour réduire ces risques on a pris l'habitude de ne plus utiliser les amortisseurs de houle et de simplifier le chemin des câbles.

Les deux grues hydrauliques associées au portique latéral sont très fonctionnelles et bien agencées. La mise à l'eau ou le relevage de bouées lourdes et volumineuses et de lignes de mouillage instrumentées ne posent pas de problèmes particuliers. L'aptitude du bâtiment à ce genre d'opérations est excellente, elle a été testée en vraie grandeur au cours de la campagne Ondine 85.

Au cours de l'indisponibilité pour entretien et réparations de l'hiver 1985, par modification du portique arrière, on a pu redonner au bâtiment sa capacité à travailler par l'arrière.

b/ Les équipements mis en place à bord pour une campagne hydrographique sont les trois vedettes hydrographiques de 9 mètres, un hélicoptère du type Alouette 3, trois véhicules tous chemins, pour ce qui concerne les matériels lourds.

L'instrumentation spécifique embarquée est tout à fait classique et analogue à celle des autres missions. Citons pour mémoire, deux sondeurs latéraux Edgerton, deux magnétomètres remorqués dont l'un pour embarcation, deux marégraphes plongeurs Suber, quatre courantographes Suber, un bathycélérimètre Suber, plus tout le matériel qui équipe normalement les missions à terre et qu'il serait fastidieux d'énumérer ici.

Tous ces matériels complétés de leurs accessoires, de leurs rechanges d'outillage et des matières consommables voulues, confèrent à la MOA une large autonomie qui lui permet de réaliser n'importe quelle campagne lointaine de longue durée sans concours extérieurs.

c/ Les équipements mis en place pour une campagne d'océanographie sont essentiellement fonction de la nature et du programme de la campagne. En effet dans ce cas de figure, la MOA agit rarement seule et accueille le plus souvent les équipes de scientifiques extérieurs et leur instrumentation. La MOA n'est plus, en quelque sorte, qu'une structure d'accueil prestataire de services. Elle assure et garantit le suivi de la position, la mesure de profondeur et les mesures d'environnement marin à l'aide d'une bathysonde Gulldlne munie d'un multiéchantillonneur, du bathythermographe Sippican ou de bouteilles à renversement N.I.O.. Elle prête son concours et sa main-d'œuvre qualifiée pour les autres opérations programmées. Le *D'Entrecasteaux* ne transporte plus ni vedettes hydrographiques ni véhicules, ni hélicoptère. La place dégagée permet d'accueillir des laboratoires en shelter, des bouées océanographiques et lignes de mouillage associées de tout gabarit, une instrumentation très diversifiée. Le hangar hélicoptère abrite souvent l'infrastructure nécessaire pour le lâcher de ballons de radiosondages.

L'expérience a montré la très grande souplesse du bâtiment et ses remarquables facultés d'adaptation aux exigences des responsables scientifiques de ces campagnes.

d/ Les équipements informatiques font maintenant partie des équipements de base, mais ils évoluent si rapidement qu'ils méritent d'être traités à part. Ils sont actuellement composés de quatre calculateurs portatifs HP 9816 (Helwert-Packard), de deux calculateurs HP 9885, d'une centrale Hydroboucle, de deux machines à dessiner à rouleaux de marque Benson et de deux tables à numériser. Les calculateurs sont associés à différents lecteurs de disquettes, disques durs ou petits traceurs. Ils suffisent pour l'instant aux besoins et sont d'une fiabilité remarquable puisqu'en deux ans et demi aucune panne ne fut à déplorer ; seuls les traceurs Benson subirent quelques avaries d'ordre mécanique. La seule critique à faire sur cet ensemble concerne le manque de grandes capacités mémoire pour stocker les données. Éviter la manipulation d'un nombre croissant de disquettes et surtout d'assurer des sauvegardes.

En travaux, un ordinateur HP 9816 est affecté à plein temps à la saisie par l'intermédiaire de la centrale Hydroboucle des données recueillies par les différents capteurs (localisation, sondes, estime, etc.), à leur archivage, au calcul du point en temps réel et au guidage sur profil ou route à suivre.

Les autres calculateurs sont affectés au traitement des données en temps différé.

1.4.2 Les vedettes hydrographiques

Les vedettes hydrographiques de 9 mètres (VH9) ont, depuis quelques années, remplacé les vedettes traditionnelles en bois de 8,3 mètres. Leur description est parfaitement faite par l'IPA Souquière dans son rapport sur la mission hydrographique de l'Atlantique⁽³⁾.

Bien que présentant un certain nombre de défauts (niveau de bruit trop élevé, vibrations importantes, fragilité des commandes du gouvernail Kitchen, alimentation électrique de l'instrumentation défectueuse...), ces vedettes permettent les sondages des petits fonds dans de relativement bonnes conditions qui furent d'ailleurs nettement améliorées à l'issue d'un carénage sérieux au cours de l'hiver 1985-1986.

Leur tonnage ne permet plus de risquer l'échouage sur les roches ou plattiers coralliens. De même l'augmentation de poids et de longueur a rendu acrobatiques et dangereuses les manœuvres de mise à l'eau et de relevage par mer houleuse, les faux bras manipulés à bras d'homme étant inopérants pour stopper le mouvement pendulaire inévitablement pris en cas de roulis par la vedette suspendue à la grue.

L'installation de cinq winches, choisis dans l'accastillage de grande plaisance, sur le pavois du pont milieu a permis de résoudre au mieux le problème et surtout d'assurer la sécurité des hommes d'équipage.

Les VH9 sont normalement équipées d'un sondeur Atlas Deso 20, d'un interrogateur Trident 3 et d'une liaison VHF⁽⁴⁾. Elles peuvent remorquer un magnétomètre ou un sondeur latéral Edgerton.

Leur armement est composé de quatre personnes dont un hydrographe, chef d'équipe en sondage normal, de cinq en sondage latéral.

Un ensemble Hydrac destiné à assurer la saisie automatique sur cassettes des données de localisation et après calcul du point en temps réel le guidage sur profil précalculé complète l'équipement. Peu fiable à nos yeux et trop sensible aux défauts d'alimentation électrique ou de masse, il ne fut utilisé, avec plus ou moins de réussite que dans la fonction de saisie automatique de la localisation.

1.5 L'HÉLICOPTÈRE DE TYPE ALOUETTE III

En opérations hydrographiques, le *D'Entrecasteaux* se voit affecter normalement un hélicoptère de type Alouette III servi par un détachement de neuf personnes dont deux pilotes. Le potentiel d'heures de vol disponible pour la campagne est fixé par le département. Il est habituellement de l'ordre de 150 heures pour une campagne de six mois, ce qui fut toujours suffisant au prix cependant d'une gestion rigoureuse.

Les normes pour sa mise en œuvre à partir du bâtiment sont sévères puisque l'appareil ne peut décoller ou atterrir

(3) Cf. *Annales hydrographiques* - 5^e série - Vol 10 - 1982 - n° 757 - 2^e partie.

(4) Les postes radio classiques TRPP 13 ont été récemment remplacés par des émetteurs-récepteurs VHF du commerce du type Sailor.

que lorsque le roulis est inférieur à 6 degrés et le tangage inférieur à 2 degrés. Il est par suite nécessaire de prévoir et d'organiser un point de repli éventuel à terre.

Les services rendus par l'hélicoptère sont immenses et décuplent l'efficacité. Il est même devenu, avec l'habitude prise, indispensable. Tout d'abord, et cela nous a paru particulièrement intéressant, le directeur technique, qui est généralement confiné à bord, peut faire lui-même les reconnaissances de terrain, sa relation avec les équipes de géodésie opérant à terre s'en trouve améliorée. Il est ensuite largement employé pour l'implantation des balises de radiolocalisation, leur entretien et leur dépannage ainsi que pour le déploiement sur le terrain de petites équipes de géodésie.

Il peut, cela a souvent été fait, transporter en sling et les mettre en place aux points voulus des signaux géodésiques de grandes dimensions (pyramides figaret à quatre pieds de 6 à 8 mètres de haut) entièrement construits à bord, ce qui représente des gains de temps et de main-d'œuvre importants, en particulier lorsque les points géodésiques sont d'accès difficile.

Dans le même ordre d'idées, il peut mouiller au point voulu des marégraphes plongeurs avec une facilité déconcertante (cf. § 2.3.1). Il est indispensable au recueil de la documentation photographique de toute nature (prises de vues verticales ou obliques, vues rapprochées des amers et du balisage, etc.). Toute une série d'applications est enfin ouverte dans la mesure où il peut être équipé d'un interrogateur Trident 3.

Autrement dit et pour conclure ce paragraphe, les limites d'emploi de l'hélicoptère en hydrographie côtière correspondent aux limites de l'imagination. Il serait, à notre avis, extrêmement fructueux de réfléchir à ses possibilités d'emploi en campagne océanographique.

1.6 VÉHICULES

Trois véhicules tous chemins, 504 Peugeot 4x4⁽⁵⁾ et un camion Saviem 4x4 équipent la MOA. Le *D'Entrecasteaux* dispose d'un véhicule léger 4L Renault. Les camionnettes 504 Peugeot ont été livrées neuves en juillet 1984. Elles sont, contrairement à ce que l'on pourrait croire, relativement fragiles et présentent notamment des faiblesses au niveau de la boîte de transfert.

Cette dotation n'est pas très bien équilibrée. Le *D'Entrecasteaux* ne peut charger dans sa cale avant que les trois camionnettes et la voiture légère. Le camion de ce fait reste le plus souvent stationné au centre auto de Brest.

L'hélicoptère étant, par excellence, le véhicule tous terrains de la mission, il n'est pas besoin de disposer de trois véhicules tous chemins. Une berline ordinaire, routière, remplacerait avantageusement l'un d'eux.

(5) Deux d'entre eux sont du modèle Dangel, le troisième est carrossé Durizotti.

1.7 CONCLUSION

Fonctionnant sur un bâtiment polyvalent et bien conçu, disposant de moyens importants tant en personnel qu'en matériel et profitant justement de la concentration de ces moyens sur une plate-forme unique, la MOA est une mission particulièrement performante.

Les programmes d'activité qui lui sont proposés ont de ce fait tendance à être très chargés. Depuis sa mise en service, le *D'Entrecasteaux* compte, selon un rythme triennal, en moyenne 200 jours d'absence hors de son port de base, avec des maximums qui peuvent atteindre 250 jours.

Ce taux d'activité intense sur le terrain qui se répercute directement, compte tenu de la puissance des moyens, sur le plan de charge des salles de rédaction fait de la MOA une mission où l'endurance de son personnel est mise à rude épreuve.

Ce fait, qui n'est pas nouveau, mérite cependant attention.

CHAPITRE 2

MÉTHODES ET TECHNIQUES DE TRAVAIL

2.1 GÉNÉRALITÉS

La spécificité de la MOA par rapport aux autres missions qui transparaît à travers l'exposé de la première partie est accentuée par le fait que les levés qui lui sont proposés, généralement de grande étendue, sont à réaliser en temps souvent imposé. La MOA n'est pas à proprement parler "stationnaire", elle serait plutôt "itinérante".

Si les méthodes et techniques de travail restent fidèles aux principes en vigueur, la façon de travailler évolue constamment à la recherche de gains de temps et de main-d'œuvre par une automatisation toujours plus forte. Cela mérite de s'y arrêter pour comprendre comment l'informatique pèse maintenant sur l'exécution des sondages et peut, à la longue, modifier les conceptions traditionnelles de l'hydrographie.

Au cours de la période considérée (juillet 1984-janvier 1987), la MOA effectua deux grandes campagnes d'une durée de six mois environ, l'une en région tropicale, l'autre en métropole ; cela nous a permis d'être confronté à un large éventail de problèmes hydrographiques en disposant pour les résoudre des moyens les plus modernes.

Dans le même temps, différentes instructions permanentes furent modifiées (suppression du mètre acoustique et apparition de la notion de sonde réelle notamment), mais ce

sont surtout les logiciels de traitement des données qui furent en perpétuelle évolution, chaque apparition de nouveau logiciel ruinant les efforts de mise au point du précédent et obligeant chaque fois à des adaptations nouvelles.

2.2 GÉODÉSIE (points géodésiques, amers)

Les opérations géodésiques à terre, destinées à déterminer les coordonnées de bornes géodésiques, amers et balises de radiolocalisation sont désormais banalisées, et pour ce qui nous concerne, ni les méthodes ni les instruments n'ont évolué de façon sensible. Les seules difficultés rencontrées furent exclusivement reliées à la configuration du terrain et aux conditions météorologiques.

Les signaux géodésiques mis en place furent systématiquement des mires du type "figaret" employées depuis très longtemps par l'Institut Géographique National (IGN).

Les opérations géodésiques en océan Indien furent conséquentes à cause de la disparition d'un certain nombre de bornes anciennes. En métropole, elles furent réduites dans de grandes proportions grâce à la densité du réseau de points IGN.

La rédaction des fiches de points géodésiques et des fiches d'amers prend énormément de temps. La recherche de la perfection en est en grande partie responsable. Le travail est entièrement manuel et inaccessible à l'informatisation. Nous avons enregistré des gains de temps appréciables par l'utilisation d'une machine à écrire à traitement de texte.

2.3 MARÉE-NIVELLEMENT

L'évolution la plus profonde dans le domaine de l'observation de la marée pour la réduction des sondages fut l'emploi de plus en plus fréquent et, à la limite maintenant systématique des marégraphes plongeurs Suber au détriment des marégraphes à flotteurs classiques, OTTR 16.

Ainsi pour le levé en région sud-Bretagne de 1986, huit observatoires de marée durent être installés, six d'entre eux furent équipés par des marégraphes Suber (quatre le long de la côte, deux au large).

2.3.1 Observatoires à la côte

L'installation d'un marégraphe OTTR 16 est longue, pénible et demande plusieurs journées de travail, même en utilisant des échafaudages en tubes d'entrepose. Le choix des sites praticables est souvent très restreint et n'est la plupart du temps qu'un pis-aller compte tenu des besoins du levé. Un tel observatoire, en période de sondages doit être contrôlé très fréquemment. Enfin, le dépouillement des marégrammes est manuel ou semi-manuel.

Le marégraphe Suber présente par contre de tous ces points de vue tous les avantages, à partir du moment, cependant, où après plusieurs années d'expérience sa fiabilité put être reconnue sans faille.

Pour matérialiser le zéro instrumental ou le zéro de réduction des sondes qui sera déterminé à l'issue des observations, il suffit d'installer à proximité de l'appareil immergé, dans un rayon de 300 à 400 mètres, une échelle de marée nivelée par rapport aux repères fixes réglementaires et d'effectuer des séries de lecture de hauteurs d'eau à l'échelle, comme pour le contrôle d'un marégraphe OTTR 16.

On notera qu'il n'est pas nécessaire que le pied de l'échelle ne découvre pas et que l'on peut parfaitement se contenter d'une échelle de pleine mer installée beaucoup plus facilement. Une extension de cette méthode (elle n'a pas été expérimentée) consisterait à installer à moindres frais un marégraphe OTTR 16 dont le pied du tube assécherait une heure après la pleine mer de morte-eau. Les contrôles et les lectures à l'échelle pourraient alors être espacés dans le temps. Pour se protéger d'une défaillance éventuelle d'un marégraphe Suber, il suffit de mettre en place un nombre redondant d'observatoires.

Certaines précautions restent cependant à prendre, car il faut avoir la certitude de retrouver le marégraphe. Ce dernier doit être placé à l'abri de tout chalutage et soigneusement repéré par les plongeurs par rapport à un amer sous-marin, la meilleure méthode consistant à élonger sur le fond un dormant en nylon reliant le marégraphe à l'amer sous-marin en question. Les sites les plus favorables restent les failles rocheuses.

Pour les observations de longue durée qui dépassent la capacité mémoire de l'instrument, ou, si l'on désire disposer rapidement de quelques jours d'observation, l'emploi coordonné de plongeurs et de l'hélicoptère permet en moins de deux heures de récupérer les observations et de remettre en fonction le marégraphe dans sa cage, celle-ci n'ayant pas été bougée lors de la dépose de l'appareil.

Le mouillage proprement dit est constitué d'une petite cage tronconique fortement lestée qui contient l'instrument. Trois tronçons de chaîne de deux à trois mètres de long, équipés d'un grappin, sont maillés sur la couronne supérieure de la cage. Le poids total de cet attelage est de l'ordre de 150 kilogrammes. Ici, encore, une action coordonnée de l'hélicoptère et d'un zodiac armé par des plongeurs permet de le mettre en place de façon rapide et élégante. Pour ce faire, l'attelage complet est équipé de boules de Nokalon en nombre suffisant pour que l'ensemble ne pèse plus que quelques kilogrammes dans l'eau. Pris en sling par hélicoptère par l'intermédiaire d'un bout de nylon d'une vingtaine de mètres, cet ensemble est transporté jusqu'au point de mouillage marqué par le zodiac.

Mis en place à proximité de ce dernier, il est largué et descend lentement jusqu'au fond. Les grappins, jouant le rôle de guiderope en touchant en premier le fond freinent la chute de l'attelage qui se trouve ainsi stabilisé en équilibre à 1 ou 2 mètres du fond sans y avoir pris contact. Les plongeurs interviennent alors pour disposer correctement la cage et les grappins et récupèrent ensuite les boules, redonnant à l'ensemble tout son poids.

Cette opération qui dure une vingtaine de minutes fut répétée cinq fois avec succès.



Mise en place d'un marégraphe à l'aide de l'atouette III

2.3.2 Observations de la marée au large

Nous avons dans un premier temps utilisé le dispositif de mouillage mis au point par l'EPSHOM pour la campagne Ondine 85 et qui est formé d'un lest perdu adapté à une cage spéciale qui contient le marégraphe et un largueur acoustique, le tout étant surmonté d'une bouée sphérique reliée à la cage par un mètre de chaîne.

Une autre méthode, tout aussi efficace et ne nécessitant pas l'emploi d'un lest spécifique relativement coûteux, fut expérimentée avec succès. Elle est présentée à titre documentaire sur la figure n°1 ci-dessous. Ces mouillages au large doivent être placés à l'abri du chalutage. Nous préconisons de mouiller sur fonds rocheux et dans la mesure du possible à une profondeur inférieure à la profondeur limite accessible aux plongeurs démineurs (60 mètres).

Observatoire du Sud Ouest de Belle Ile

Opérations de mouillage

- 1/ Mouiller par largage électrique l'ensemble bouée-largueur-gueuse, en conservant à bord le bout de nylon reliée à la bouée.
- 2/ Lorsque cet ensemble a touché le fond, se laisser dériver doucement en gardant le nylon tendu.
- 3/ Mailler sur le nylon le marégraphe et l'immerger progressivement en filant doucement le deuxième bout de nylon.
- 4/ Lorsque le marégraphe a touché le fond, amarrer une petite gueuse au bout de nylon et larguer tout.

Dispositif de mouillage d'un marégraphe Suber par petit fonds

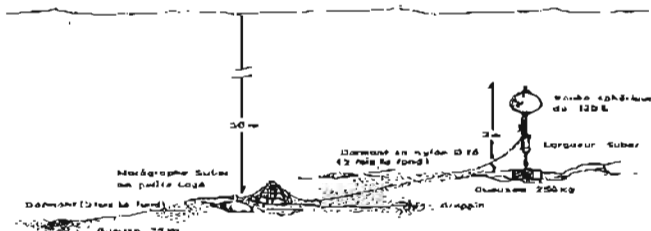


Figure 1

2.4 COURANTOMÉTRIE

Les mesures de courant accompagnant les différents levés ont toutes été réalisées à l'aide de courantomètres Suber. Ces appareils, compte tenu de la nature des capteurs, exigent d'être verticaux pendant la mesure et par suite doivent être suspendus à un flotteur de surface. Jusqu'en 1986, nous avons utilisé le dispositif de mouillage mis au point à l'EPSHOM, qui consiste à suspendre le courantomètre à l'extrémité d'un cabrion dont la flottabilité est assurée par une dizaine de boules de Nokalon de 10 litres. L'autre extrémité du cabrion est amarrée à une bouée de balisage. La fonction du cabrion est de séparer le pendeur de la ligne de mouillage de la bouée. Ce dispositif, facile à mettre en œuvre, donne de bons résultats par mer calme.

Au début de l'année 1986, dans la région sud-Bretagne, deux stations de courantométrie furent interrompues par la rupture des cabrions à la suite d'un coup de vent. L'emploi du cabrion fut abandonné au profit d'une ligne souple de flotteurs constituée de pare-battages enfilés sur un câble d'acier. La figure n° 2 donne le schéma du dispositif. Ce dernier donna entière satisfaction et peut être recommandé.

Pour les lignes de mouillage des bouées par petits fonds (jusqu'à 30 mètres) nous préconisons l'emploi de la chaîne à l'exclusion de tout autre type de câble ou d'orin.

Dispositif de mouillage pour courantomètre Suber par petits fonds

Vue de dessus



Vue en coupe

Ligne de pare-battages de 50 mètres repliée en 4.

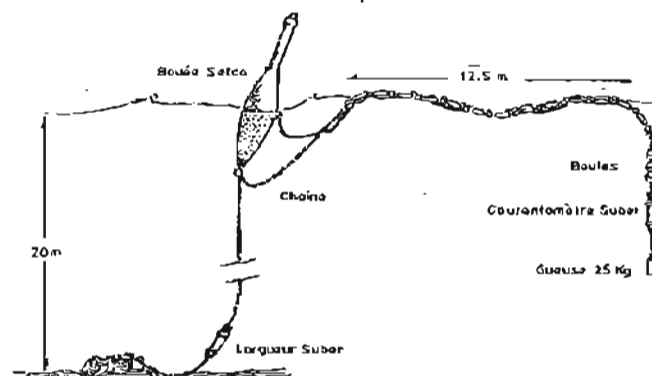


Figure 2

Nota : 1/ Le courantomètre Suber est relié à la bouée Selco par une chaîne qui court au milieu de la ligne de pare-battages à travers une série d'erses qui maintiennent les flotteurs en ligne.

2/ Le courantomètre est maillé lorsque la ligne est mise en place à l'aide d'un zodiac armé de 2 plongeurs.

2.5 BATHYMÉTRIE CÔTIÈRE

2.5.1 Localisation

La localisation des vedettes hydrographiques et du *D'Entrecasteaux* en sondage côtier fut assurée généralement par la chaîne Trident 3, contrôlée et étalonnée par des visées optiques au théodolite. Le recours aux méthodes de radioguidage optique fut exceptionnel.

Le traitement des données par calculateurs permet d'introduire dans le calcul de la position de la sonde :

- les corrections d'étalonnage des balises et des interrogateurs ;
- l'altitude des aériens qui permet de ramener les distances observées au plan horizontal ;
- l'excentrement de l'antenne Trident par rapport à la base du sondeur en fonction, cette dernière correction ne concernant que le *D'Entrecasteaux*. La précision obtenue fut toujours excellente et de l'ordre de 1 à 3 mètres. L'emploi des systèmes de saisie automatique des données Hydroboucle et Hydrac permet en sondages l'acquisition de la position à la cadence de 20 secondes, ce qui affine encore la position de la sonde.

En 1985, comme les corrections d'étalonnage de la chaîne Trident 3 et les positions définitives des balises ne furent déterminées qu'en cours de levé, les fichiers de localisation des tops de sonde furent rejoués en temps différé sur écran pour contrôle et adoption du point.

En 1986, un étalonnage de la chaîne Trident 3 sur base fixe avait permis d'établir avant le début des travaux la matrice des corrections. Elle ne fut pas modifiée par les contrôles effectués au théodolite en cours de levé. Le *D'Entrecasteaux* mettant en œuvre un nouveau programme d'acquisition automatique de la sonde, les positions furent adoptées en temps réel. Le traitement des données de position acquises par les vedettes hydrographiques resta identique à celui de 1985.

2.5.2 Sondages

2.5.2.1 Effectués par les vedettes hydrographiques

Les sondeurs Atlas Deso 20 des vedettes hydrographiques furent, sauf cas de force majeure, systématiquement étalonnés en début et fin de séance par le procédé classique de la barre. Le terme "étalonnage" est en réalité mal choisi, car il s'agit plutôt d'un réglage du sondeur pour annuler à la fois correction de tirant d'eau et correction de vitesse du son, la vitesse du son de réglage s'affichant sur le sondeur.

Les trois vedettes travaillant simultanément, les vitesses du son affichées sur les trois sondeurs devaient être cohérentes entre elles et cohérentes avec la vitesse du son observée sur le *D'Entrecasteaux* à l'aide d'un bathycélérimètre Suber au moment de la mise à l'eau des vedettes. Cette procédure ne fut employée qu'à partir de 1986 pour le levé en région sud-Bretagne. Avant, on dut se contenter de l'étalonnage à la barre par suite de difficultés rencontrées dans la mise en œuvre du bathycélérimètre.

Le réglage des sondeurs ne doit pas être modifié en cours de séance de sonde même si les profondeurs dépassent 50 mètres. Nous avons admis que ce réglage était correct jusqu'aux profondeurs de 200 mètres.

Les vedettes hydrographiques n'ont sondé des fonds supérieurs à 70 mètres qu'à La Réunion et aux Comores, mais dans ces derniers cas l'erreur liée à une variation de la vitesse moyenne du son en fonction de la profondeur est occultée par celle qui provient de la pente très importante du fond.

Les bandes de sonde furent dépouillées à la main en utilisant une table à numériser. Les sondes inférieures à 200 mètres furent corrigées de la marée. Au-delà de 200 mètres, elles ne furent pas corrigées de la marée et, par une règle de trois, ramenées à la valeur de la sonde mesurée par un sondeur réglé pour une vitesse du son de 1 500 m/s.

2.5.2.2 Effectués par le *D'Entrecasteaux*

Les sondeurs grands fonds (Raytheon) sont réglés pour une vitesse du son standard de 1 500 m/s.

Le sondeur petits fonds Atlas Deso, installé au poste central scientifique qui ne fut utilisé en moyenne sonde qu'à partir de 1986 fut réglé en tenant compte des vitesses du son observées au bathycélérimètre et du tirant d'eau observé deux fois par jour sur les marques de franc-bord du bâtiment. Le compensateur de houle Anchütz qui équipe ce sondeur fut constamment maintenu en fonction.

A partir de 1986, nous avons mis en œuvre un nouveau programme (ACQLS 86) d'acquisition automatique de la sonde qui nous fut proposé par l'EPSHOM. Après une période de mise au point à bord, il donna satisfaction. Ce programme acquiert les éléments de position toutes les 20 secondes et une profondeur toutes les secondes, en principe la "meilleure".

CHAPITRE 3

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES

3.1 CAMPAGNE EN OCÉAN INDIEN

3.1.1 Généralités

Du 22 janvier au 18 juillet 1985, le BO *D'Entrecasteaux* effectua une campagne lointaine de longue durée, pour la première fois en océan Indien. Deux levés hydrographiques classiques d'intérêt général étaient programmés, l'un le long de la côte nord de La Réunion, l'autre à l'intérieur du lagon de Mayotte.

Ils devaient être effectués dans cet ordre. Le partage du temps disponible sur zone (1^{er} mars - 15 juin) était libre et laissé à l'initiative du directeur de mission. Le choix le plus simple était de prévoir un temps égal pour chacun d'eux.

Une période d'entretien intermédiaire (PEI) était prévue du 1^{er} au 16 avril à La Réunion. Cette dernière date fixait ainsi l'appareillage du *D'Entrecasteaux* vers Mayotte.

Deux éléments imprévus modifièrent ce programme initial :

- l'organisation par ALNDIEN d'une escale officielle à Port-Louis (île Maurice) pour le *D'Entrecasteaux* désigné bâtiment accompagnateur du pétrolier ravitailleur *Var*, bâtiment amiral ;
- la décision par le département d'exécuter quelques travaux expéditifs en république fédérale Islamique des Comores demandés par l'ambassadeur de France en Grande Comore. Cela écourta le séjour à Mayotte de quelques jours.

En bref, le *D'Entrecasteaux* opéra :

- à La Réunion du 1^{er} mars au 29 avril. L'escale à Port-Louis eut lieu du 17 au 22 avril, sans interruption pour autant des travaux en vedettes à La Réunion ;
- à Mayotte du 4 mai au 9 juin ;
- en Grande Comore (principalement à Moroni) du 10 au 12 juin ;
- à Anjouan (principalement à Mutsamudu) du 13 au 15 juin.

Les transits furent mis à profit pour effectuer différents travaux hydro-océanographiques qui sont détaillés plus loin (cf. § 3.1.4).

L'ensemble des travaux réalisés, bien que relativement variés, restèrent tout à fait classiques. La particularité de cette campagne qui se déroula dans de bonnes conditions est probablement le rythme soutenu dans l'exécution des travaux.

Aucun matériel ou instrument ne fut perdu ou mis hors d'usage.

Au retour à Brest, le 18 juillet, même si la fatigue se faisait sentir, le potentiel de la MOA était intact.

3.1.2 Levé autour de l'île de La Réunion

3.1.2.1 Déroulement des opérations (figure n° 3)

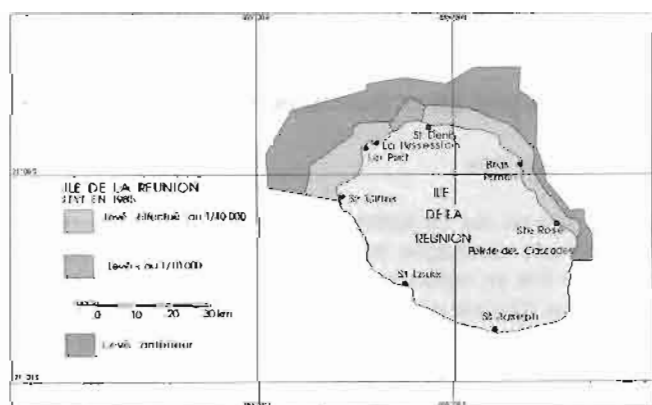


Figure 3

Durant son séjour à La Réunion, la MOA réalisa le levé continu des fonds de 0 à 1 000 mètres depuis la Pointe des

Cascades (au sud de Sainte-Rose) au port de Saint-Gilles sur la côte ouest, ce qui représente la moitié nord des côtes de l'île. Un levé de détail à l'échelle du 1/5 000 des abords immédiats de Port des Galets et du nouveau port de la Possession (en fin de construction) fut effectué à la demande de la DDE locale en supplément au programme initial.

Il ne nous paraît pas inutile de rapporter ici les faits marquants du déroulement des opérations :

- le *D'Entrecasteaux* accosta le 1^{er} mars au Port (souvent appelé Port des Galets) après 37 jours de traversée. Les sondages en vedettes débutèrent le 6 mars par le sud-est de la zone Pointe des Cascades-Bras Panon (priorité 1) après le déploiement sur le terrain de 5 balises Trident. Très vite, il fallut ralentir la progression rapide du sondage des vedettes qui atteignaient les fonds de 1 000 mètres à 3 000 mètres de la côte en ramenant l'espacement des profils à 100 mètres au lieu de 200 comme prescrit. En effet, les travaux géodésiques à terre aux prises à de nombreuses difficultés n'arrivaient pas à suivre malgré l'emploi intensif de l'hélicoptère ;

Les vents portant à la côte battue par des déferlantes impressionnantes imposèrent aux vedettes de travailler étroitement groupées afin de pouvoir se porter très rapidement assistance en cas d'avarie qui en ce début de campagne ne furent pas rares. Le *D'Entrecasteaux*, croisait également à proximité immédiate paré à intervenir.

- le levé Sainte-Rose - Bras Panon fut achevé en 6 jours. Nous primes alors le risque de poursuivre le levé en continu de Bras Panon vers Saint-Denis (de priorité 3 seulement) pour minimiser les efforts de l'équipe à terre, en remettant à plus tard le levé de la baie de Saint-Paul (classé en priorité 2). Le 28 mars, la soudure avec le levé MHC1 81 au nord de Saint-Denis était opérée.

Le long de la côte nord, la pente du fond est nettement plus faible que le long de la côte est. Le *D'Entrecasteaux* libéré de la surveillance rapprochée des vedettes par des conditions de mer nettement plus clémentes, prit à son compte le sondage au large en ne laissant à sonder aux vedettes qu'une bande côtière d'environ 3 000 mètres :

- au mois d'avril, alors que le *D'Entrecasteaux* se trouvait immobilisé à quai pour une période d'entretien (1^{er} - 16 avril), les trois vedettes effectuèrent à l'abri de l'alizé par mer parfaitement calme, le levé côtier des abords des ports ainsi que celui de la baie de Saint-Paul. Le levé de détail au 1/5 000 demandé par la DDE fut englobé dans le plan de sondage général ;

Les trajets entre le Port et les lieux de travail étaient minimes et acceptables ;

Le levé au large fut effectué par le *D'Entrecasteaux* à son retour de Port-Louis du 22 au 26 avril. Deux nuits furent consacrées à la recherche d'un haut-fond hypothétique (environ 100 mètres par fonds de 3 500 mètres) signalé à 25 milles environ du sud-ouest de Saint-Gilles par des pêcheurs au gros. Sans succès. Le renseignement paraissait pourtant fondé ;

- l'hélicoptère et le détachement qui le met en œuvre furent basés pendant toute la durée du levé à la base aérienne de Saint-Denis, à cause de la houle permanente existante et des mouvements de plateforme du *D'Entrecasteaux* qui auraient largement restreint les possibilités d'emploi de l'appareil. Son activité fut déterminante pour le succès du levé.

3.1.2.2 Aspects techniques du levé

3.1.2.2.1 Travaux géodésiques (figure n° 4)

Ils n'avaient d'autre but que de déterminer les coordonnées X, Y, Z des balises Trident nécessaires au levé bathymétrique à partir du réseau fondamental des points de la triangulation IGN 1947-1949 (rénovée en 1978). On s'interdit, en effet, d'utiliser les points secondaires ou les points de stéréopréparation. Ces derniers ne furent pas englobés dans le canevas géodésique, mais furent parfois utilisés, à titre de vérification pour lever un doute ou pour déterminer rapidement les coordonnées approchées des balises Trident.

Les points d'appui IGN d'une altitude supérieure à 700 m environ furent également éliminés a priori à cause de la faible hauteur quasi permanente du plafond nuageux et des difficultés d'accès à ces points le plus souvent très boisés⁽⁶⁾.

Par ailleurs, dans la bande côtière et sur les premiers contreforts praticables de la montagne, l'habitat est très dense et bon nombre de bornes IGN n'ont pu être retrouvées. Elles étaient parfois remplacées par des bornes implantées à proximité immédiate par des cabinets de géomètres.

Le nombre de bornes IGN utilisables se trouve ainsi très réduit, ce qui imposa le recours à une véritable triangulation.

Le canevas géodésique adopté est figuré sur la figure n°4. La bande côtière accessible n'ayant pas suffisamment de largeur, il fallait compléter les mesures angulaires par des mesures de distance⁽⁷⁾. Les points figurés sur la figure n°4 furent équipés à 90 % de signaux à voyant figaret (pyramides ou simples cabrions haubanés)⁽⁸⁾.

Les mesures angulaires de cette triangulation ont été effectuées à l'aide de théodolites Wild T3 en général en 8 tours, les mesures de distances au telluromètre MRA5 en général en deux séances, les conditions météorologiques (température, vent, hygrométrie) étant peu variables.

Les grains nombreux, la forte pluie et les brumes matinales gênèrent fortement ces mesures en interrompant fréquemment les séances d'observation. Le relief escarpé n'a pas permis de raccorder la triangulation de la côte est à celle de la plaine des Galets.

Les calculs en projection de Gauss Laborde furent effectués dans un premier temps point par point à l'aide de calechettes de poche. Les coordonnées des balises Trident en étaient déduites dès que possible ensuite.

En fin de campagne, lors des vérifications et de l'établissement des fiches de points géodésiques, les

calculs ont été repris de façon globale sur calculateur HP 9816 en utilisant les logiciels mis au point en 1984 à l'EPSHOM (IPA Bessero).

Les points ont été répartis en trois blocs :

- bloc 1 : côte est (de la pointe des Cascades à Saint-Denis) ;
- bloc 2 : côte ouest (de Piton Orange à Saint-Gilles) ;
- bloc 3 : points complémentaires⁽⁹⁾.

L'ajustement des blocs 1 et 2 a été réalisé en trois étapes :

- ajustement des seules mesures angulaires pour chaque bloc ;
- détermination du coefficient d'échelle moyen pour réduire les distances tellurométriques à l'échelle du réseau IGN 1947 - 1949 (valeur adoptée : 1,000 0264) ;
- ajustement complet de chaque bloc.

Les points du bloc 1 ont été calculés isolément en trois groupes à partir des points des blocs 1 et 2. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de chaque bloc.

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
Nombre de points connus	13	5	-
Nombre de points inconnus	11	6	27
Nombre de visées angulaires	104	43	-
Nombre de mesures de distance	4	6	-
Degrés de liberté	46	22	-
Précision horizontale	10 à 25 cm	10 à 35 cm	0,1 à 3 m
Précision verticale	1 à 3 m	1 à 3 m	-

Ce deuxième calcul n'a pas modifié les coordonnées des points issues du premier calcul en cours de levé de façon significative (quelques décimètres au plus). Les coordonnées des balises Trident utilisées pour la rédaction du levé n'ont pas été retouchées.

Tous les points placés ont été fichés.

3.1.2.2.2 Marée - nivellement

La marée est observée de façon permanente au port. L'observatoire est entretenu de façon très suivie par la direction du port. Il est constitué d'un marégraphe OTTR 16 dont le puits communique avec la mer par un serpentif en cuivre d'une dizaine de mètres de long. Ce dispositif destiné à amortir la houle dans le puits a été adopté après de longs tâtonnements et a fait l'objet de contrôles sérieux.

(6) La reconnaissance et l'équipement de la borne Piton Orange dominant à 850 m d'altitude la plaine des Galets et les ports nous ont confirmé, à titre d'exemple, dans notre choix : deux journées à six hommes recrutés et surveillés par le service national des forêts furent nécessaires pour dégager le site et pouvoir faire intervenir l'hélicoptère pour ériger le signal. Le boisement était constitué de futaies très serrées de 4 à 5 m de hauteur.

(7) On notera à ce sujet, pour les mesures de distances, la gêne apportée par les fortes dénivelees entre les points. Les altitudes durent être déterminées avec beaucoup de soin.

(8) On remarquera que les points sélectionnés sont la plupart du temps des réservoirs d'eau douce constitués de cuves cylindriques partiellement enterrées à flanc de coteau. Ces réservoirs se sont avérés particulièrement adaptés aux observations géodésiques et à l'implantation des balises Trident.

(9) Les points complémentaires sont les amers ou les stations optiques utilisées, soit pour étalonner la chaîne Trident, soit comme stations de radioguidage, notamment au nord de Saint-Gilles pour contourner le cap La Houssaye.

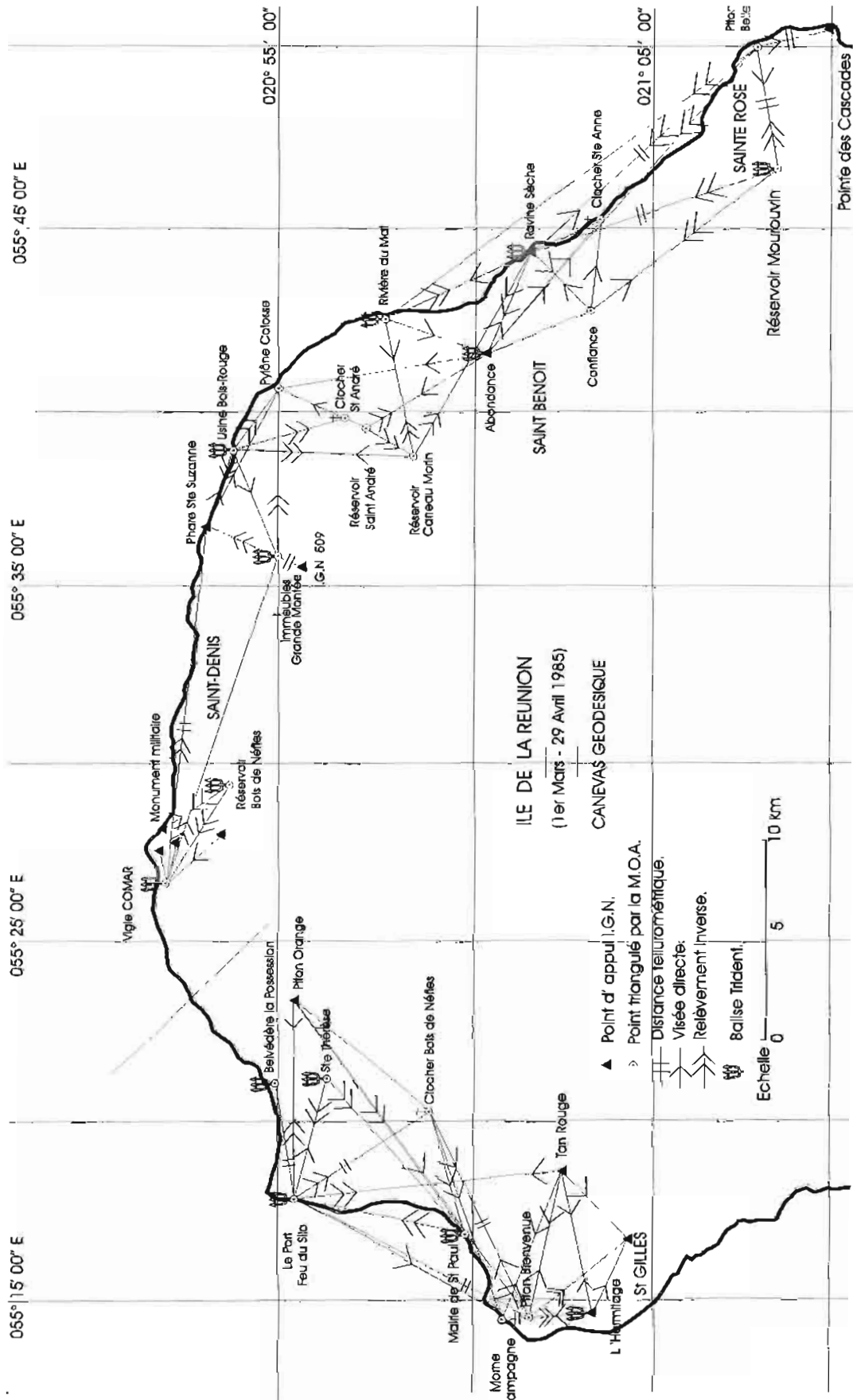


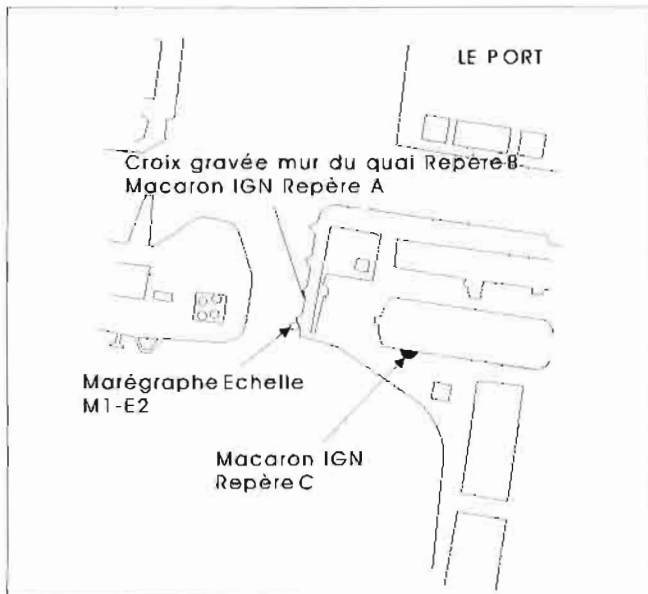
Figure 4

Trois observatoires de marée, installés pour les besoins du levé ont fonctionné :

- du 6 au 10 avril à Sainte-Rose, à l'emplacement utilisé par la mission hydrographique de circonstance de 1981 (cf figure n° 6) :
- du 11 au 27 mars devant Sainte-Suzanne sur la côte nord. Il s'agissait d'un marégraphe Suber immergé près de la roche Le Cousin ;
- du 22 mars au 25 avril à Saint-Gilles (cf figure n° 6).

Les zéros de réduction des sondes furent déterminés par concordance avec celui de Port des Galets (figure n° 5) et rattachés par nivellement géométrique au nivellement général de La Réunion.

- Observatoire de marée de Port des Galets



- Observatoire de Sainte-Rose

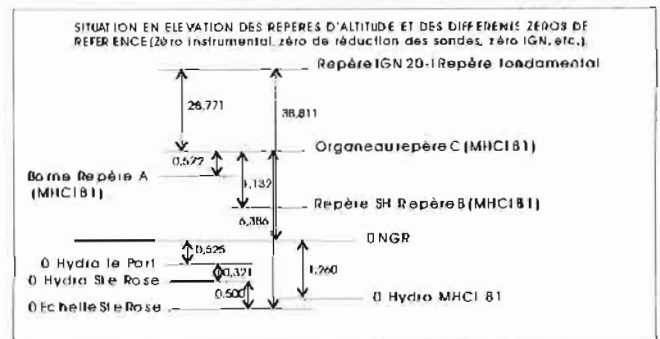
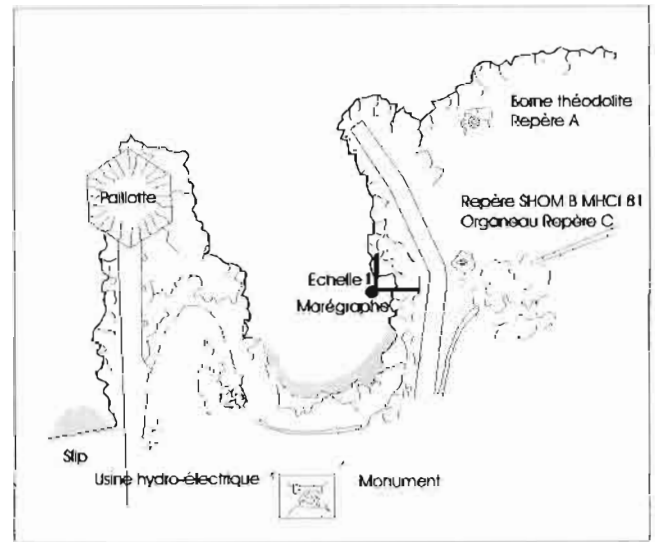


Figure 6

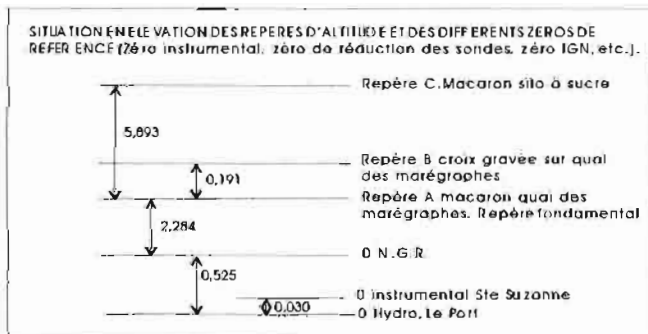
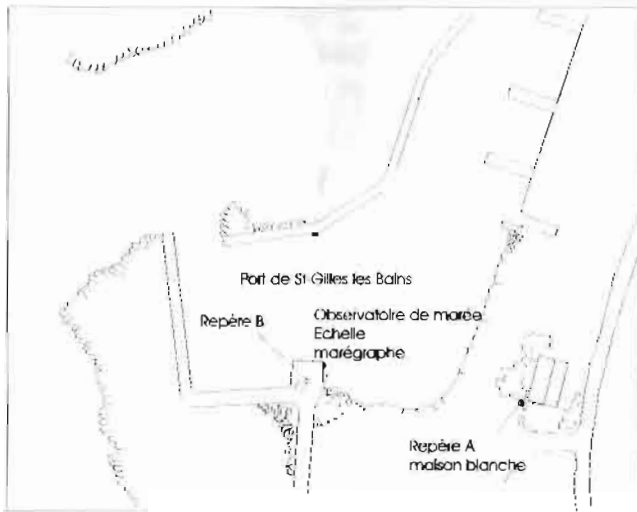


Figure 5

- Observatoire de Saint-Gilles



SITUATION EN ELEVATION DES REPERES D'ALTIITUDE ET DES DIFFERENTS ZEROS DE REFERENCE (Zero instrumental, zero de réduction des sondes, zero IGN, etc.).

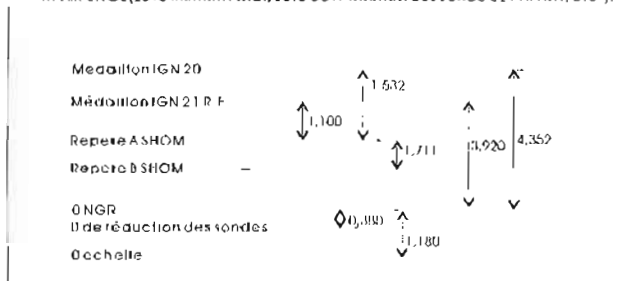


Figure 7

Les résultats obtenus, présentés de façon synthétique sur la figure n° 8 font apparaître un taux d'amortissement de la marée entre Sainte-Rose et Saint-Gilles assez surprenant compte tenu des faibles dimensions de l'île et de l'absence de tout plateau continental.

Cela nous a par la suite amené à définir pour la zone levée, cinq zones élémentaires de marée dont les limites sont données sur la figure n° 9. Les limites sud des zones A et E n'ont pas été définies en attente des levés ultérieurs. On notera enfin que le zéro de réduction des sondes adopté en 1981 à Sainte-Rose par concordance avec le port à partir de cinq jours seulement d'observations n'est pas correct⁽¹⁰⁾. La concordance 1985 situe le zéro de réduction des sondes à 0,415 mètres au-dessus du zéro 1981. Ce dernier n'a pas

été conservé. Le levé 1985 a recouvert le levé de détail 1981 de faible superficie.

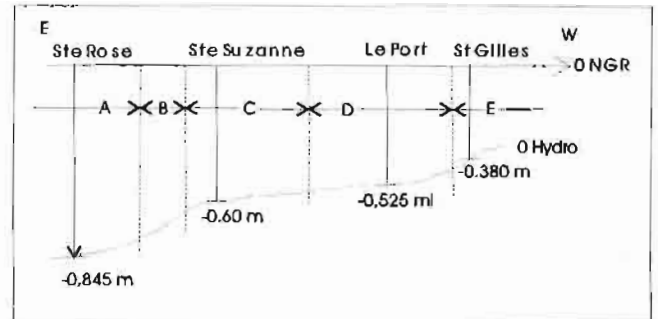


Figure 8



Figure 9

3.1.2.2.3 Bathymétrie

La localisation des vedettes hydrographiques et du D'Entrecasteaux fut assurée par la chaîne Trident 3 dont est dotée la MOA.

En certains points de la côte particulièrement escarpée comme le cap de La Houssaye, elle dût être complétée par des lieux optiques au théodolite, mais cela restera exceptionnel. La qualité de la réception Trident fut en général excellente.

L'étalonnage de la chaîne n'ayant pu être réalisé avant le départ de Brest⁽¹¹⁾, la localisation Trident fut contrôlée par visées optiques au théodolite, chaque fois qu'une balise ou un interrogateur était permuté et chaque fois que l'on avait réussi à adopter les coordonnées définitives d'un groupe de balises. Les corrections d'étalonnage se trouvèrent ainsi déterminées petit à petit. Cela a constitué une lourde contrainte que l'on s'est efforcé de réduire en employant le minimum de balises maintenues autant que possible sur les mêmes voies.

Le tableau n° 2 fournit la liste des coordonnées des balises Trident mises en place et des stations de visées optiques utilisées.

(10) Cf. Annales hydrographiques - 5^e série - Vol 10 - 1982 - n° 757 - p 130.

(11) Cet étalonnage n'aurait d'ailleurs pas été valable compte tenu de la différence des conditions climatiques entre Brest et La Réunion

Sur les vedettes, le dialogue Trident-Hydrac étant aléatoire, l'acquisition de la localisation se fit comme autrefois par recopie manuelle des distances lues au top sur l'interrogateur. Les profils suivis étaient des cercles de distances Trident.

Les profondeurs étaient mesurées à l'aide de sondeurs Deso 20 étalonnés à la barre en début et fin de séance. Les performances de ces sondeurs s'avèrent remarquables ; malgré la houle et la pente extrêmement raide du fond, les enregistrements restèrent corrects sans difficulté jusqu'aux fonds de 1 200 mètres.

A bord du *D'Entrecasteaux*, les sondages furent effectués à l'aide des deux sondeurs Raytheon, fonctionnant simultanément, l'un à faisceau large, l'autre utilisant la base Edo stabilisée à faisceau étroit. Ces sondeurs étaient réglés pour une vitesse de propagation du son dans l'eau égale à 1 500 m/s. Le dialogue interrogateur Trident - station Hydroboucle - calculateur HP 9816 fonctionnant correctement, les profils suivis pouvaient être précalculés et rectilignes, l'acquisition des quatre distances Trident ainsi que le calcul du point réalisés en temps réel à la cadence d'un point toutes les minutes. Le cap et la vitesse du bâtiment étaient également acquis pour calculer en temps réel la position des bases des sondeurs.

Les figures n° 10 et 10 bis donnent le détail de la zone sondée ainsi que zone par zone l'espacement des profils.

Les quelques recherches de roches effectuées ont été également figurées.

Ont été notamment recherchés :

- les hauts-fonds isolés 7 et 10 m devant Saint-Benoît (cf. carte 5987, cartouche mouillage de Saint-Benoît) ;
- la roche Le Cousin entre Sainte-Suzanne et Sainte-Marie qui fut cotée 1,7 m (cf. carte 5987, cartouches mouillages de Sainte-Marie et Sainte-Suzanne) ;
- la roche isolée non cotée au sud-sud-est de Sainte-Rose (cf. carte 1223 remplacée par la 7035⁽¹²⁾). Elle n'a pas été retrouvée. Le report de sa position présumée piquée sur la carte en service (échelle 1 : 123 000) sur la minute au 1 : 10 000 la situe parmi des fonds réguliers de grande pente de 40 à 60 mètres. L'obstruction, si obstruction il y a, ne peut se situer qu'à terre de la zone sondée par les vedettes dans la bande côtière inaccessible en raison de l'état de la mer ;

Il semblerait par ailleurs que la recopie de la position de cette obstruction de la carte 1223 sur la carte 7035 ne soit pas tout à fait correcte.

- l'épave située en baie de Saint-Paul est marquée d'une bouée. Elle fut cotée 34,6 au lieu de 32 anciennement. Une fiche d'épave a été établie. La nécessité de maintenir une bouée de marquage ne se fait pas sentir à mon sens.

**Coordonnées des stations optiques pour l'étalonnage de la chaîne Trident
Projection Gauss Laborde, système géodésique IGN 47-49**

Nom du point	X (est) m	Y (nord) m	Z (m)
Benoît	181 076.41	58 907.03	12.0
Confiance	177 893.02	56 008.37	22.0
Abondance	175 846.38	60 667.32	193.0
Réservoirs	184 572.45	46 699.20	835.0
Rivière du Mat	177 853.30	66 007.20	5.0
Vigie Comar	150 188.05	77 454.05	334.0
Bagatelle	166 111.39	72 267.53	10.0
Bois des Nêfles	155 119.79	74 053.02	227.0
Moucherons	141 119.09	73 100.02	100.0
Silo Port	134 754.19	71 429.60	38.0
Vierge	140 972.23	72 315.98	100.0
Clocher Sainte-Anne	182 382.78	55 404.42	30.0
Figaret Benoît	181 076.64	58 906.56	10.8
Figaret Confiance	177 892.76	56 010.31	220.0
Figaret Abondance	175 846.49	60 668.30	193.0
Figaret Rivière du Mat	177 853.30	66 007.20	5.0
Sainte-Thérèse	140 871.78	69 521.04	270.0
Champagne	129 309.18	61 613.67	30.0
Aigrettes Station 1	127 765.14	60 255.12	10.0
Saint-Gilles Station 1	128 262.34	58 224.19	10.0
Signal Hermitage	129 570.77	57 167.38	159.0
La Houssaye	129 497.49	62 141.14	
Figaret Piton Orange	144 842.85	71 363.98	864.5
Signal Vaucluse *	512 946.70	8 601 124.60	0.0
Station Bandaboa *	513 810.53	8 596 013.93	0.0

* projection UTM, fuseau 40

(12) En cours de levé, la mission ne disposait que de la carte 1223, la carte 7035 n'ayant été mise en service qu'en juillet 1985.

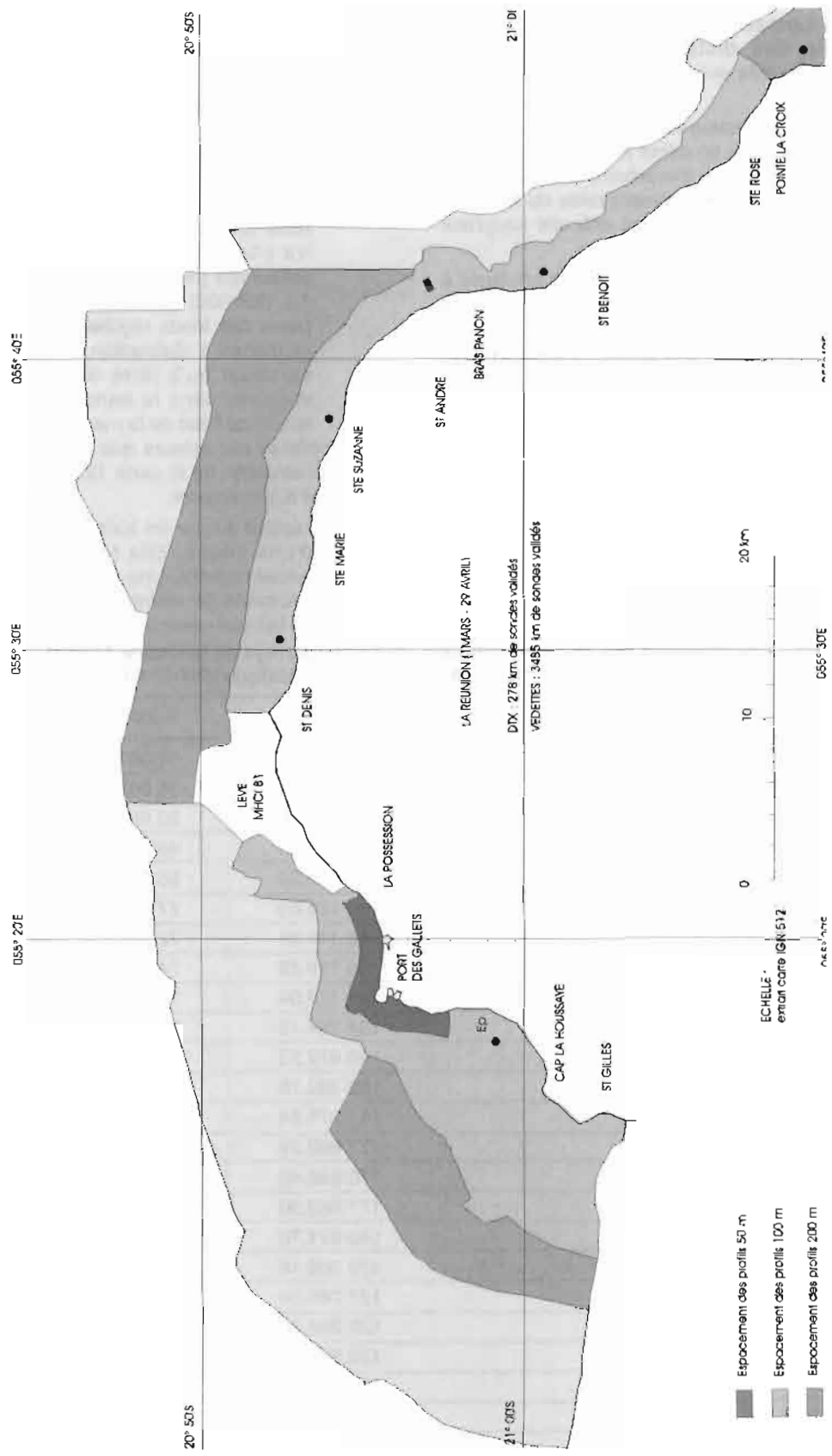


Figure 10

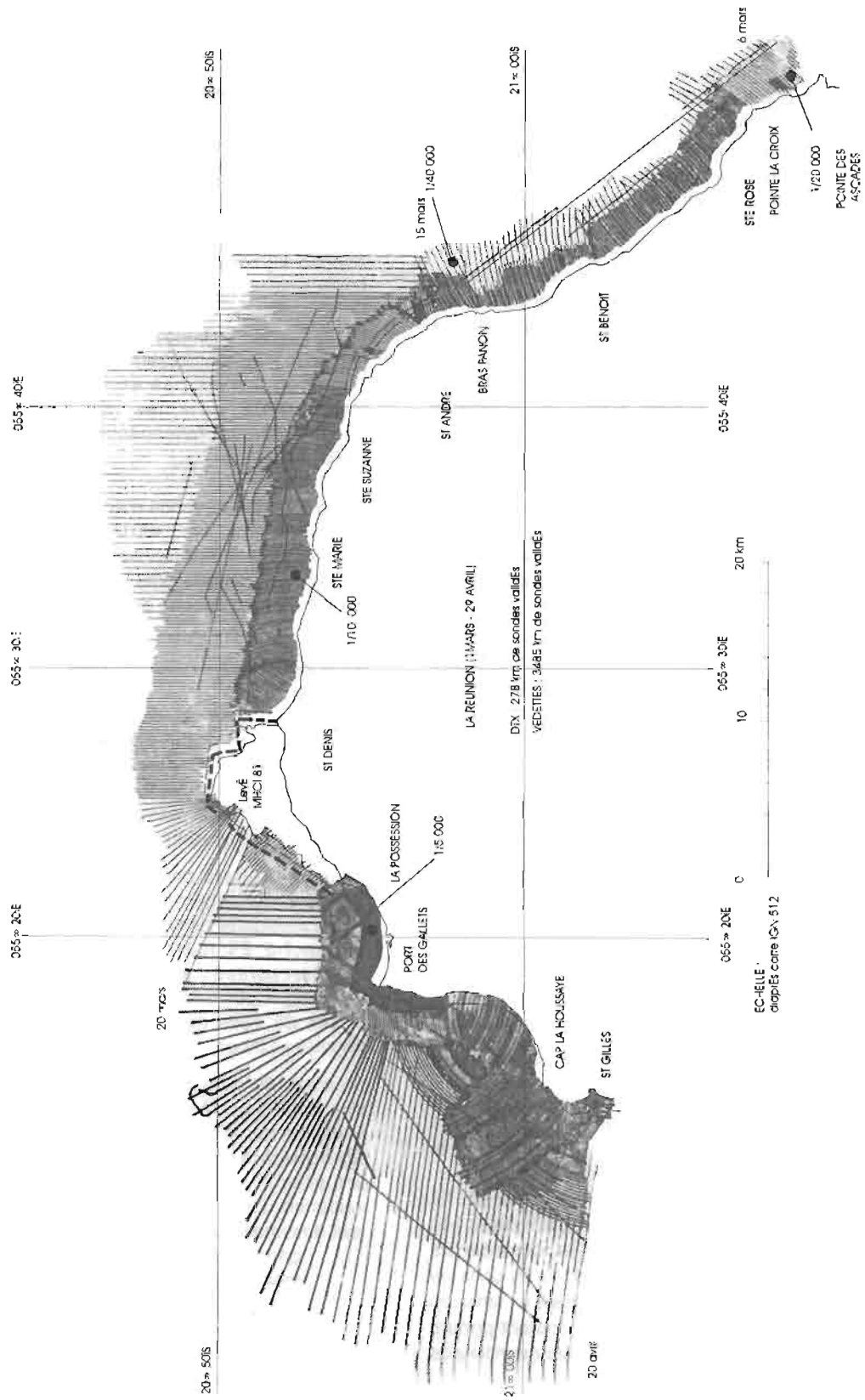


Figure 10 bis

3.1.2.2.4 Rédaction de la bathymétrie

Sondages effectués par les vedettes : la localisation fut saisie sur HP 9816 au clavier à partir des cahiers de sonde, les bandes de sonde numérisées à l'aide des tables à numériser après un choix de sondes manuel. La fusion des fichiers obtenus, englobant les recherches, les corrections de marée et de vitesse du son apportées⁽¹³⁾, le choix de sonde surfacique destiné à éviter que deux sondes ne se chevauchent à l'écriture fut effectué sur écran en mode interactif.

Sondages effectués par le *D'Entrecasteaux* : les bandes de sonde Raytheon furent dépouillées à la main et saisies au clavier avant fusion avec les fichiers de localisation.

Deux familles de minutes d'écriture des sondes ont été rédigées, l'une donnant les sondes issues du sondeur à faisceau large, l'autre donnant les sondes du sondeur à faisceau étroit. Il n'y a pas eu, faute de temps, d'analyse comparative des résultats.

Les profondeurs comprises entre 0 et 200 mètres, inscrites sur les minutes d'écriture sont réelles et rapportées au zéro hydrographique de la zone de marée dans laquelle elles se situent.

Au-delà de 200 mètres, les profondeurs sont acoustiques (vitesse du son = 1 500 m/s) et ne sont pas corrigées de la marée.

3.1.2.2.5 Courantométrie

Deux mesures de courant de surface ont été effectuées :

- à l'emplacement de la bouée du houlographe implantée à l'entrée du port de la Possession (13 - 26 avril) ;
- à l'emplacement du coffre de la marine dans la baie de Saint-Paul (9 - 24 avril).

Le dispositif de mouillage est décrit au paragraphe n° 2.4.

En baie de Saint-Paul, le courant est faible (20 cm/s) en moyenne, et modulé par la marée.

Devant le port de la Possession, le courant est également modulé par la marée, mais est nettement plus fort et de l'ordre de 40 cm/s.

Il est alternatif et parallèle à la côte bien évidemment. Par contre, on a pu observer des phénomènes particuliers liés aux conditions météorologiques. En effet, il se forme parfois sur plusieurs jours un courant permanent dans un sens ou dans l'autre qui n'est plus modulé par la marée. Ainsi du 17 avril à 12 heures au 18 à 20 heures, un courant portant au 270 et passant par un maximum de 50 cm/s au milieu de la période considérée a été observé.

Ce phénomène, de nature à handicaper fortement l'exploitation du port de la Possession, mériterait une étude approfondie à partir d'une campagne de mesures de longue durée.

3.1.2.2.6 Topographie

L'île de La Réunion est couverte par une collection de 9 cartes IGN au 1 : 25 000 homogènes et récentes (1980) qui nous a paru largement suffisante pour les besoins de la cartographie marine.

Aucune topographie du trait de côte, ni de l'estran de très faible largeur et encore moins des roches n'a été effectuée. Cela d'ailleurs, n'était pas demandé. Ces travaux sont la plupart du temps impossibles à réaliser à pied et justiciables de restitutions photogrammétriques. Sauf cas particulier et ponctuel, il n'y a pas en fait de besoin réel pour une topographie détaillée de l'estran de ces côtes particulièrement inhospitalières et en définitive très peu fréquentées.

Aucune nature de fonds n'avait été prescrite. Celles qui sont inscrites sur les cartes 5987 et 1224 peuvent éventuellement être reprises, la nature des fonds composés de lave volcanique plus ou moins concassée ayant peu évolué depuis l'époque des levés précédents.

3.1.2.2.7 Amers - vues de côtes

Comme il a déjà été dit, la frange côtière et les premiers contreforts en pente douce qui mènent à la montagne escarpée sont fortement urbanisés. Par suite les détails topographiques pouvant constituer des amers (habitations, usines, clochers, réservoirs, etc.) y sont extrêmement nombreux et impossibles à répertorier dans leur totalité.

La revue d'amers prescrite s'est donc transformée en une sélection des amers les plus remarquables ne présentant pas d'ambiguïté dans leur identification. Elle fut réalisée le dimanche 24 mars au cours d'un tour de l'île du *D'Entrecasteaux* à très faible distance de la côte (1 à 2 milles). Cette séance fut mise à profit pour réaliser des prises de vues de côtes à l'aide de la chambre grand angulaire Linhoff.

Au cours de cette sélection, plutôt que de vérifier la validité des amers portés sur les cartes en service de facture ancienne sur lesquelles les modes de représentation de la topographie ne sont plus conformes aux normes actuelles⁽¹⁴⁾, nous nous sommes attachés à réaliser une sélection d'amers entièrement nouvelle, indépendante de tout document existant.

- dans la zone couverte par le levé, c'est-à-dire la moitié nord de l'île, la sélection a été adaptée aux cartes à grande échelle qui pourront être prochainement publiées à partir du levé 85. Les amers sélectionnés ont été rattachés au réseau géodésique mis en place ;

(13) Au-delà de 200 mètres, les sondes numérisées ont été corrigées de façon à les rendre acoustiques pour une vitesse du son de 1 500 m/s.

(14) On sait par exemple que sur ce type de carte, le clocher de chaque ville ou village était systématiquement représenté, qu'il soit un amer ou non, sans distinction de symbole.

- dans la moitié sud de l'île dont le levé reste à faire, on s'est contenté de sélectionner en nombre suffisant les amers indiscutables (catégories remarquables ou importantes). Ces amers ont été identifiés sur la carte IGN au 1 : 25 000 ce qui a permis d'en déterminer des coordonnées suffisamment approchées pour autoriser leur report sur des cartes marines au 1 : 40 000 et a fortiori au 1 : 175 000. Pour plus de précision, plutôt que de se livrer à une restitution photogrammétrique au Traster coûteuse et difficile, compte tenu du relief, il serait suffisant de recourir aux documents originaux de restitution de l'IGN. Tous ces amers ont fait l'objet de photos rapprochées par hélicoptère.

En conclusion, les amers portés sur les cartes 5987 et 1224 ne sont pas à conserver et doivent être remplacés par les amers portés par nos soins sur les cartes index renseignées.

Le pylône de télévision au sud de l'île porté sur la carte 7035 a échappé, semble-t-il, à notre sélection. Il n'y a, dans le doute, aucun risque à le conserver.

3.1.2.2.8 Documents établis

Bathymétrie :	3 minutes d'écriture au 1 : 5 000 ; 13 minutes d'écriture au 1 : 10 000 ; 2 jeux de 6 minutes d'écriture au 1 : 20 000 ; 3 cartes marines renseignées ; 1 fiche d'épave ;
Géodésie :	26 fiches de points géodésiques ; 87 fiches d'amers ;
Marée Courants :	3 fiches d'observatoire de marée ; 2 dossiers de mesures de courant ;
Divers :	1 carnet de vues de côtes panoramiques (format A4).

3.1.2.3 Aspects fonctionnels

3.1.2.3.1 Environnement et relations locales

La venue à La Réunion de la MOA avait été préparée de la métropole et précédée de correspondances diverses adressées aux autorités civiles et militaires. Le besoin de mettre en place une mission avancée avant l'arrivée du *D'Entrecasteaux* ne s'est pas fait sentir. L'accueil au port du bâtiment fut particulièrement cordial, aucune difficulté ni problème ne subsistaient :

- l'arrêté préfectoral classique couvrant légalement l'activité hydrographique avait été pris et nous a été remis directement par monsieur le commissaire de la république, préfet du département de La Réunion ;
- les accords avec le service des douanes d'importation temporaire de matériel sans droits étaient acquis ;
- enfin le capitaine de vaisseau, commandant la marine à La Réunion était à notre disposition pour nous apporter dans la mesure de ses moyens les concours dont nous pouvions avoir besoin.

La MOA étant très largement autonome, les concours apportés localement furent minimes, ce qui d'ailleurs fut très apprécié.

On peut citer, outre évidemment le ravitaillement et le soutien logistique du bâtiment prévus par ailleurs :

- la mise à disposition d'un poids lourd avec chauffeur pendant quatre jours environ pour la mise en place de l'infrastructure à terre ;
- le prêt d'un local pour stockage du matériel ;
- l'entretien courant et la réparation des véhicules au centre auto de la marine avec délivrance de carburant ;
- l'accueil du détachement hélicoptère à la base aérienne de Saint-Denis et la délivrance à la demande de carburant ;
- l'autorisation de la gendarmerie d'utiliser les aires d'atterrissage des brigades qui assurait le gardiennage de l'appareil.

La presse locale et la télévision éditérent quelques reportages de bonne qualité.

A terre, les relations de l'équipe à terre avec la population furent excellentes. Aucun vol ou acte de vandalisme sur les installations (bornes, signaux, stations Trident) pourtant non gardiennées ne fut à déplorer. Enfin cette équipe trouva facilement à se loger dans les hôtels ou village-vacance de standing tout à fait honorable à un prix de pension n'excédant pas l'indemnité journalière réglementaire.

3.1.2.3.2 Emploi des moyens

Étalé sur une période de 59 jours tout compris, le levé décrit au § 3.1.2.2 fut réalisé en 25 jours de travail effectif à la mer du *D'Entrecasteaux* et 79 séances de la journée de vedettes hydrographiques.

Les trois véhicules Peugeot 504 Dangel parcoururent au total près de 22 000 km, 70 heures de vol furent consommées par l'hélicoptère.

Le *D'Entrecasteaux*, l'hélicoptère et les véhicules fonctionnèrent sans accroc. Par contre les vedettes subirent plusieurs avaries, notamment la vedette n° 1 qui fut immobilisée à deux reprises pendant une semaine⁽¹⁵⁾.

3.1.2.3.3 Instrumentation

Les pannes sur les balises Trident placées à terre furent fréquentes, mais le plus souvent sans gravité et facilement réparées. Elles étaient liées à l'humidité ambiante et aux orages. Trois balises subirent des avaries plus graves, l'une d'entre elles ne put être réparée avant le retour à Brest, la cavité d'émission ayant été mise hors d'usage. Les interrogateurs fonctionnèrent de façon parfaite.

Les sondeurs Atlas Deso 20 équipant les vedettes subirent également plusieurs avaries. Ils purent être réparés grâce au lot de cartes de rechange mis en place à bord avant le

(15) A titre anecdotique, on notera que la première avarie grave de cette vedette fut le grippage du moteur à la suite d'une rentrée d'eau de mer dans les cylindres à partir du tuyau d'échappement. Cela donne une indication sur le caractère extrêmement capricieux des conditions de mer.

départ de Brest. La DCAN Brest compléta à chaque fois ce lot de rechanges, les délais d'acheminement des cartes furent toujours très courts. Le sondeur approvisionné en supplément temporaire à l'armement pour la durée de la campagne fut d'un grand secours, car il permit de ne pas interrompre les sondages quand il y avait avarie.

Compte tenu des conditions de travail, le taux d'avaries subies resta en définitif tout à fait normal et ne perturba pas, outre mesure, l'avancement des travaux.

3.1.2.4 Exploitation cartographique des travaux

Les travaux réalisés (sondages, sélection d'amers) permettent sans recours à un quelconque document ancien (plans de port et levé MHC 81 exceptés) la publication de cartes neuves pour la moitié nord de l'île de La Réunion, de la pointe des Cascades à Saint-Gilles. Le trait de côte et la toponymie sont à emprunter aux documents IGN.

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de plan de cartographie pour l'île de La Réunion.

La navigation autour de l'île est inexistante. Les bâtiments de commerce se contentent de toucher les ports en arrivant par le nord. La baie de Saint-Paul est un mouillage d'attente relativement fréquenté en raison du petit nombre de places à quai dans le port. Cette situation se trouvera améliorée avec l'ouverture du port de la Possession.

La carte 1224 (échelle 1 : 40 000) est donc de ce point de vue la carte de détail fondamentale. Ramenée à l'échelle du 1 : 50 000 et au format A0, cette carte permettrait de couvrir l'ensemble de la côte nord de Saint-Gilles à Sainte-Suzanne. Une telle carte devrait comporter les cartouches des trois ports : le Port, la Possession et Saint-Gilles.

Autour de l'île de La Réunion, l'activité maritime est peu développée, qu'il s'agisse de pêche artisanale, de pêche sportive ou de la plaisance, malgré les efforts récents des offices de tourisme. Le port de Saint-Pierre semble toutefois connaître un certain essor.

Ainsi, en dehors des limites de la carte 1224 rénovée, le besoin d'une cartographie de détail reste faible. Cela ne veut pas dire qu'elle ne doit pas exister.

La présentation de la carte 5987 en six cartouches privilégiant, outre le port de Saint-Pierre, six mouillages apparemment praticables et conseillés, mais correspondant d'abord à des levés ponctuels au large des principales agglomérations côtières, n'est pas bonne.

Sans pouvoir nous prononcer sur la qualité des mouillages de Saint-Leu et de l'Etang Salé non explorés en 1985, nous pouvons par contre affirmer qu'il est dangereux de mouiller devant Sainte-Rose et Saint-Benoît, et que l'on peut mouiller n'importe où à distance raisonnable de la côte entre Saint-Denis et Bois Rouge, pourvu que le vent ne soit pas de secteur nord.

Pour les mouillages de Sainte-Marie, Sainte-Suzanne, Saint-Benoît et Sainte-Rose, les symboles sont à supprimer.

Aucune sonde ancienne n'étant à conserver sur les cartouches correspondants, il nous semble plus cohérent de prévoir une carte neuve allant de Sainte-Suzanne à la pointe des Cascades ou au-delà selon l'échelle choisie.

3.1.2.5 Perspectives et conclusion

Compte tenu des travaux 85, le besoin hydrographique résiduel pour l'île de La Réunion se limite maintenant au levé côtier de Saint-Gilles à Saint-Pierre, côte en plein développement touristique.

Le levé du coin sud-est, de Saint-Jacques à la pointe des Cascades, dont la bathymétrie est modifiée à chaque éruption du volcan de la Fournaise ne présenterait qu'un intérêt scientifique pour les vulcanologues.

Enfin, pour être complet, la DDE de La Réunion nous avait demandé le levé des fonds de 0 à 100 mètres, aux abords immédiats de la route Saint-Denis - la Possession, selon des profils espacés de 5 à 10 mètres pour permettre l'étude des éboulements des enrochements par tétrapodes soutenant la route et la définition sur plans de vagues précis des points sensibles de cette route aux vagues d'origine cyclonique. Les moyens de la MOA (notamment les vedettes hydrographiques de 9 mètres trop lourdes pour ce travail) ne nous sont pas apparus adaptés à un tel levé. Le besoin cependant subsiste.

L'épuisement des travaux hydrographiques autour de l'île de La Réunion conçu dans l'optique exposée ci-dessus pourrait occuper une mission du type MOA pendant une campagne de l'ordre de 30 à 45 jours sur zone.

Le levé de la côte sud-ouest sera probablement plus délicat que celui de la côte nord et devra certainement débiter plutôt dans la saison si possible fin janvier, début février.

3.1.3 Levé à Mayotte

Les figures n° 11, 11 bis et 11 ter ci-dessous indique les contours du levé effectué en mai et juin 1985.

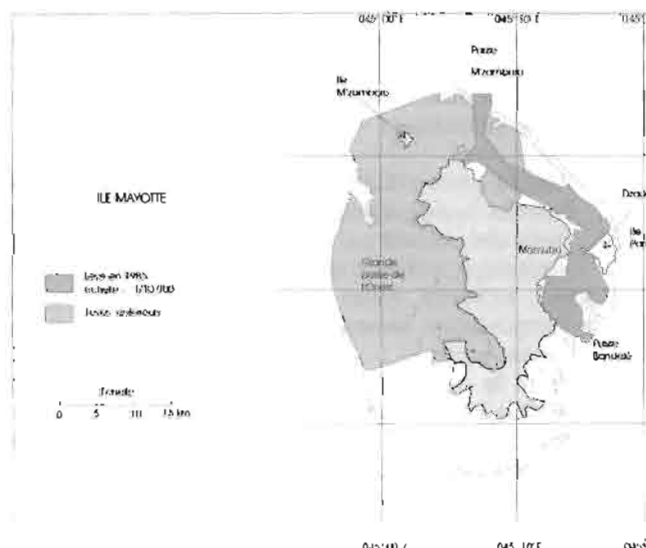


Figure 11

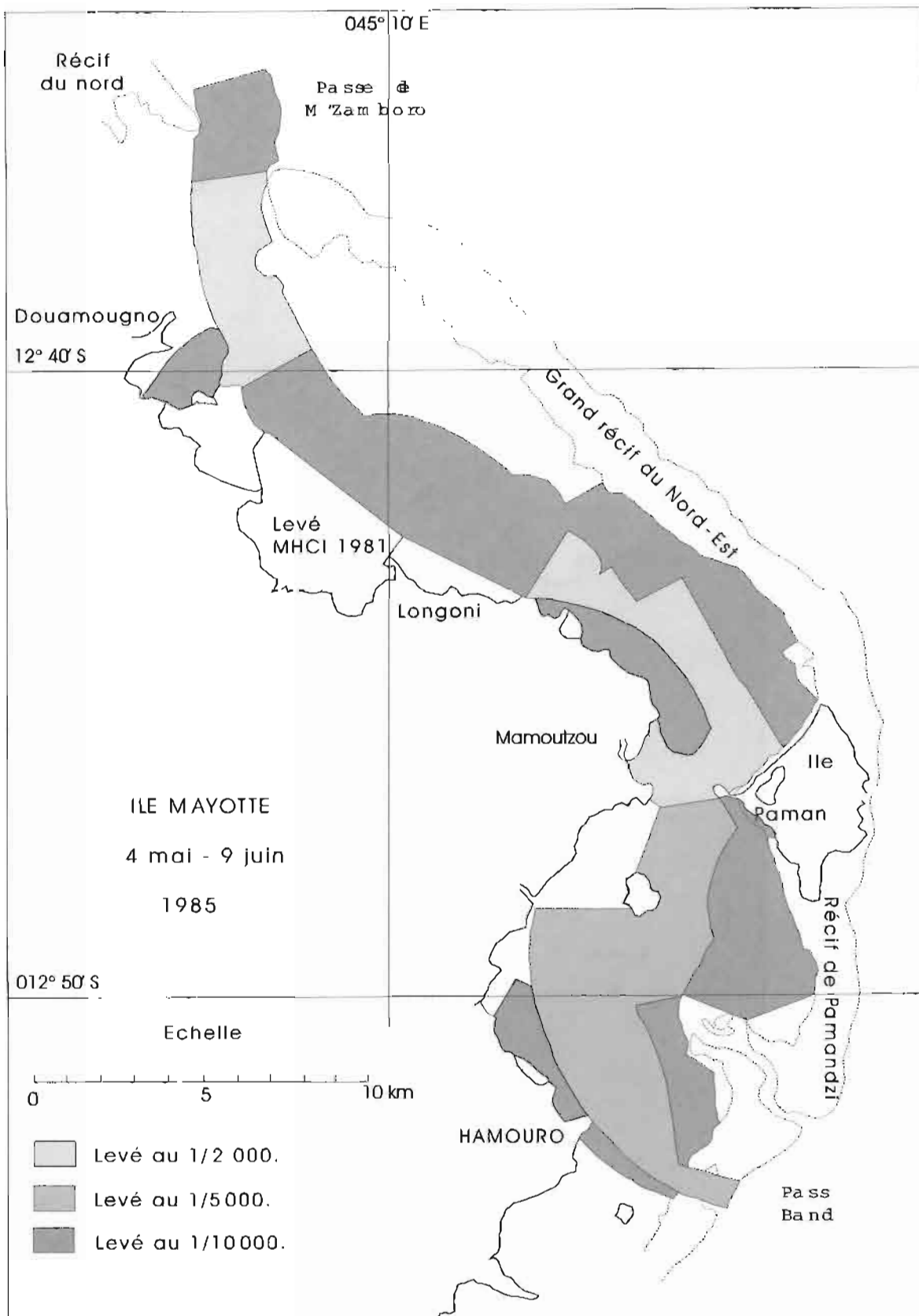


Figure 11 bis

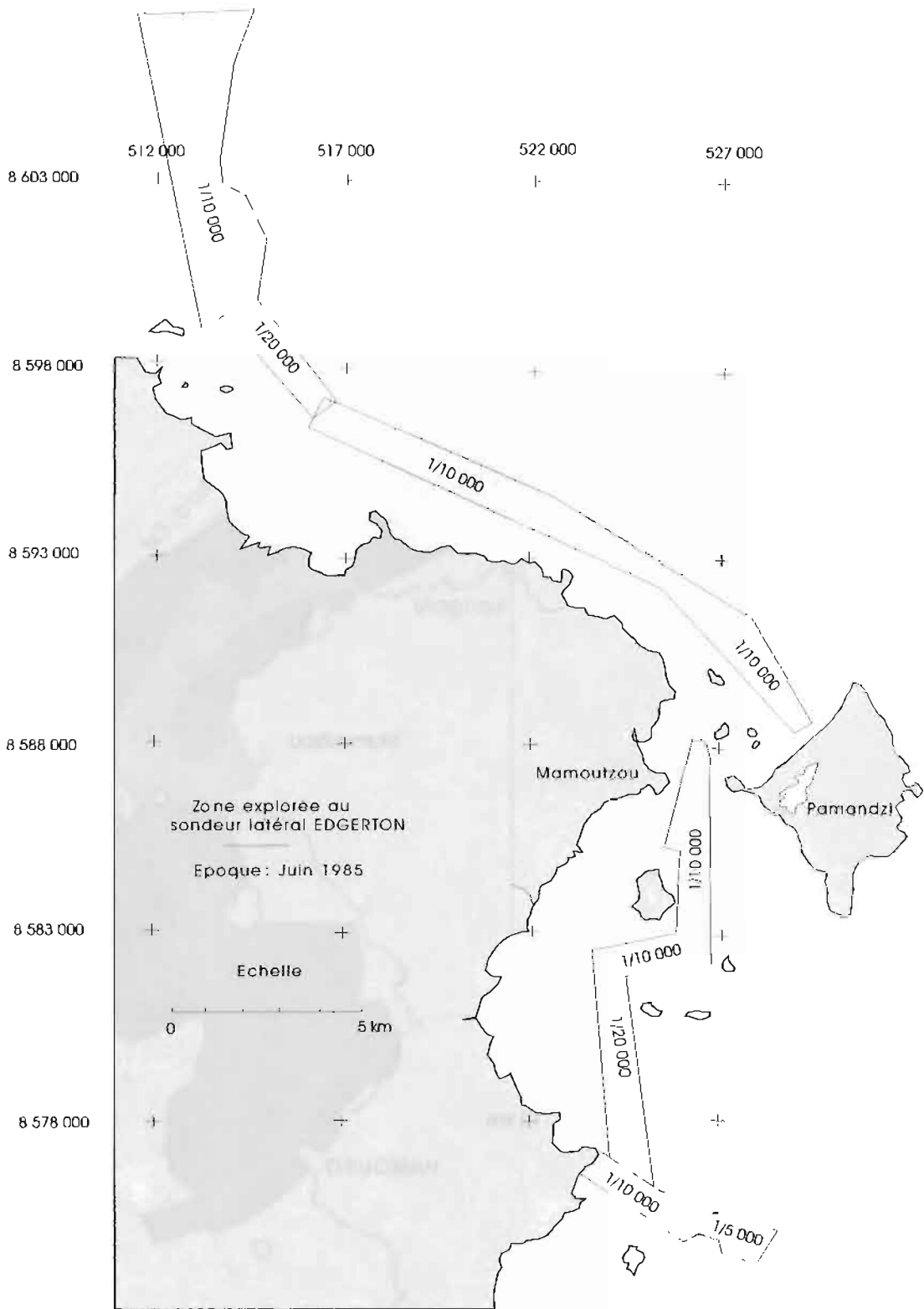


Figure 11 ter

Le levé prescrit consistait à lever successivement et dans l'ordre :

- une voie recommandée d'accès (largeur 800 m) à Dzaoudzi par le nord à partir de la passe M'Zamboro ;
- les abords du mouillage de Dzaoudzi entre les parallèles 12° 45' S et 12° 50' S ;
- une voie recommandée d'accès à Dzaoudzi par le sud à partir de la passe Bandélé.

L'extension du levé du lagon vers le sud à partir de la passe Bandélé était prévue, mais le temps disponible sur zone, beaucoup trop court n'a absolument pas permis de l'envisager.

La difficulté majeure rencontrée dans le cas présent fut d'organiser et de réaliser dans un temps très limité (33 jours) un levé formant d'abord un tout⁽¹⁶⁾ sans lacune et aussi exhaustif que possible, sans, en outre, disposer du recul dans le temps suffisant pour juger objectivement des recherches de roches à effectuer et de les effectuer.

3.1.3.1 Déroulement des opérations

Le *D'Entrecasteaux* mouilla en rade de Dzaoudzi le 4 mai en fin de matinée. Quarante heures plus tard, soit le 6 au matin les vedettes partaient en sondage. Marégraphe, signaux géodésiques et radiolocalisation avaient été mis en place en un peu plus d'une journée grâce à l'utilisation intensive de l'hélicoptère. Ce détail est significatif de la puissance des moyens de la MOA.

Le levé du chenal nord fut entamé par son extrémité sud-est en remontant progressivement vers la passe M'Zamboro.

- le 10 mai, l'hélicoptère, en avarie, fut cloué au sol⁽¹⁷⁾. Pour le réparer, il fallait attendre la pièce de rechange demandée en métropole, c'est-à-dire environ 4 à 5 jours en principe, la réparation en elle-même ne demandant que quelques heures. On attendit en fait 16 jours. La progression vers le nord-ouest des sondages du chenal nord fut, jour après jour, différée au profit des levés de priorité 2 puis de priorité 3 pouvant plus facilement se passer du concours de l'hélicoptère.

Les travaux géodésiques furent, au cours de cette période, fortement ralentis, et mobilisèrent plus de monde. Il en fut de même pour l'entretien et le dépannage des balises Trident, avec pour conséquence des retards importants dans la saisie et le traitement des données bathymétriques.

A nouveau disponible le 26 mai, l'hélicoptère fut alors frappé de restrictions d'heures de vol avant changement de l'embrayage imposé de Paris par le service central aéronautique. Il fallut négocier à l'économie son emploi pour équiper le terrain dans le nord.

Ces difficultés mettent en évidence la dimension des services irremplaçables que rend l'hélicoptère dans ce genre de campagne.

(16) Il ne servait à rien en effet de ne lever qu'une portion de chenal.

(17) Voyant d'indicateur de pression d'huile sur le tableau de bord hors d'usage.

Les sondages bénéficièrent de conditions météorologiques particulièrement favorables. Les avaries des vedettes furent peu nombreuses et les talonnages sur le corail très rares malgré la turbidité des eaux le long de la côte. Par contre de nombreuses interruptions dans les travaux furent à déplorer en raison des vols ou actes de vandalisme dans les stations Trident au point que le gardiennage devint obligatoire. Cinq batteries furent dérobées, des câbles d'antenne cisailés. Une balise Trident fut même volée ; elle ne fut retrouvée que 8 jours après au pied d'un arbre à la suite probablement de l'application de la loi coutumière par les maires de village ou élus locaux avec lesquels nous étions en bons termes.

On notera, pour les campagnes éventuelles à venir, que les vols cessèrent du jour où le gardiennage des stations fut confié moyennant finances à des mahorais.

3.1.3.2 Aspects techniques du levé

3.1.3.2.1 Géodésie

a/ La figure n° 12 fournit, entre autres renseignements, le canevas géodésique mis en place pour le levé du lagon de Mayotte.

Là aussi, il fallut procéder à une véritable triangulation, car bon nombre de bornes IGN n'ont pu être retrouvées. Certaines ont été remplacées par des bornes implantées par le cabinet de géomètres privé CHANLIAU. On n'a pas tenté d'utiliser les bornes IGN situées sur les sommets, le prix à payer pour le déboisement et la construction du signal sans le concours de l'hélicoptère étant trop important. On a préféré pour améliorer la configuration du canevas géodésique, implanter sur le récif-barrière découvrant deux signaux, bornés, formés de tubes d'entrepose enfoncés à la masse dans le corail.

Tous les points du canevas ont été équipés de signaux à voyant figaret. Les points MOA 85 ont été soigneusement bornés et fichés. Nous nous sommes contentés ici de mesures angulaires effectuées au théodolite Wild T3 en 4 ou 8 tours pour les plus importants ou au théodolite Wild T2 en 8 tours. Aucune mesure de distance au telluromètre n'a été effectuée.

Les calculs ont été menés en projection UTM fuseau 38 dans le système IGN 50. Les coordonnées MHCI 81 ont été contrôlées par échantillonnage en profitant du déploiement de signaux sur les points IGN.

Ces travaux géodésiques n'ont en définitive pas posé de problèmes particuliers ; privés du concours de l'hélicoptère, ils ont demandé plus d'efforts physiques et plus de personnel.

b/ Conformément aux instructions, une station Doppler au point fixe fut effectuée du 15 mai au 5 juin sur les bâtiments de la DDE de Dzaoudzi à l'aide d'un récepteur JMR 4. 184 passages satellites, à peu près équitablement réparés dans les 4 directions cardinales ont été acceptés. Les mesures météorologiques étaient acquises à bord du *D'Entrecasteaux*.

Le décalage obtenu entre le système IGN 50 et le système WGS 72 est faible comme l'indique le tableau n°5 :

Tableau n° 3

Coordonnées des balises Trident 3
Projection UTM - fuseau 38 - système IGN 50

Nom du point	X (est) m	Y (nord) m	Z (m)
Cratère	560 685,18	8 588 727,65	55
Zine	526 851,69	8 589 852,55	18
Kongo	523 005,94	8 592 707,35	16
Mamutzu	525 036,32	8 587 654,67	13
Longoni	517 716,20	8 594 110,33	57
Aérodrome	530 220,81	8 583 840,61	9
Pingoi	526 186,42	8 580 938,35	11
Mosquée	523 624,00	8 586 189,50	30
Hamouro	523 113,35	8 576 899,79	51
M'Songoma	513 756,10	8 597 474,50	8
M'Zamboro	502 870,97	8 602 856,85	279

Tableau n° 4

Coordonnées des stations optiques
Projection UTM - fuseau 38 - système IGN 50

Nom du point	X (est) m	Y (nord) m	Z (m)
Vigie Pamanzi (borne MOA 85)	531 087,51	8 586 173,06	-
Cratère Pamanzi	530 681,09	8 588 726,97	-
Zine	526 851,21	8 589 854,77	10
Gombe Doume	529 004,88	8 590 798,07	10
Mosquée	523 626,90	8 586 190,17	10
Pingoi	526 183,30	8 580 939,23	11
Aérodrome	530 221,72	8 583 839,34	10
Longoni	517 714,62	8 594 116,11	48,9
M'Songoma	513 768,50	8 597 475,37	20
M'Zamboro	502 870,97	8 602 856,85	273,1
Kongo	523 005,94	8 592 707,35	16

Tableau n° 5

Position de l'antenne JMR	Latitude (sud)	Longitude (est)
- dans le système IGN 50	12° 47' 01", 60	45° 15' 32", 87
- dans le système WGS 72	12° 47' 10", 67	45° 15' 39", 91
	$\Delta = 9", 07$	$\Delta = 7", 04$

Une fiche a été établie.

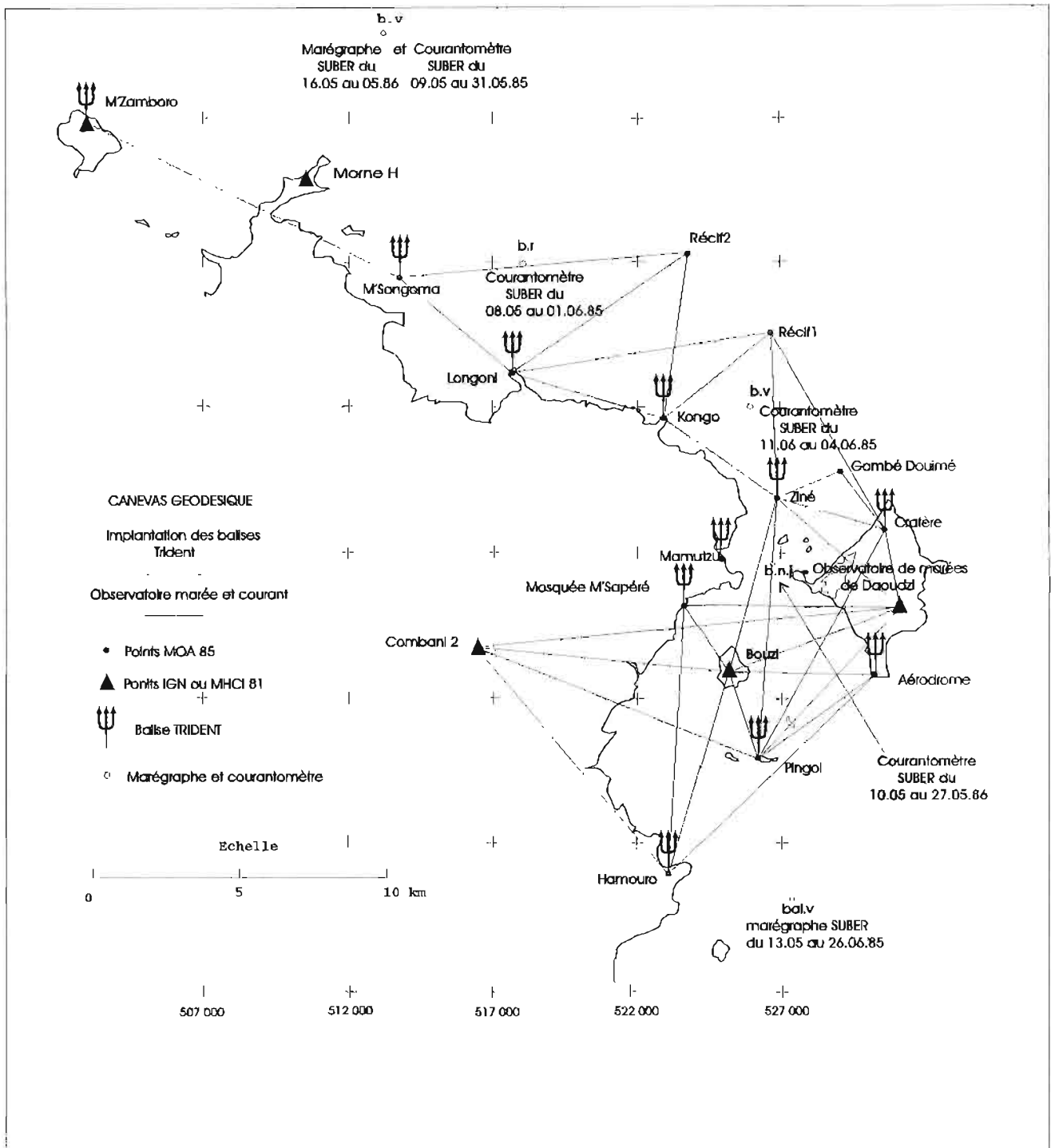


Figure 12

3.1.3.2 Marée - nivellement

Les sondes furent réduites de la marée observée à Dzaoudzi et rapportées au zéro de réduction des sondes adopté en 1953 (cf. Annales hydrographiques, 4^e série, tome V2, 1956). Le marégraphe à flotteur OTTR 16 installé à Dzaoudzi fut laissé en place au départ de la mission et confié au service technique de la DDE locale pour poursuivre des observations de longue durée.

L'analyse harmonique effectuée sur 9 mois d'observations par la section océanographie de l'EPSHOM situe le zéro hydrographique à 0,43 m au-dessus du zéro de 1953 ; cette valeur devrait être précisée par une analyse effectuée sur une plus longue période et ne représente qu'un résultat provisoire.

Deux marégraphes plongeurs Suber furent immergés l'un dans la passe M'Zamboro, l'autre dans la passe Bandélé. Ils fonctionnèrent respectivement du 16 au 31 mai et du 13 au 26 mai.

Les observations recueillies permirent de vérifier que la marée était partout la même dans la zone du levé et de confirmer ainsi l'hypothèse émise en 1953 qui se fondait elle-même sur des rapports de 1913.

Les figures n° 14 et 15 donnent l'implantation des observatoires de marée et la description de l'observatoire de Dzaoudzi.

Nota : Le repère B (boulon scellé dans une bome en béton à l'enracinement de la jetée ouest (cf. Annales hydrographiques 1967-1968 - pages 217 et 218) n'a pas été retrouvé.

3.1.3.2.3 Bathymétrie

Les sondages furent entièrement effectués par les vedettes hydrographiques localisées à l'aide du système Trident 3 (cf tableau n° 3 pour les coordonnées balises). Comme pour le levé précédent, quelques séances d'étalonnage permirent de contrôler par visées optiques (cf tableau 4 pour les coordonnées des stations optiques) la radiolocalisation. Les profils suivis furent soit des cercles de distance, soit des profils rectilignes radioguidés. Dans ce dernier cas, la localisation restait assurée par le système Trident 3. Les sondeurs Atlas Deso 20 étaient étalonnés en début et fin de séance à la barre.

Contrairement à ce que l'on pouvait attendre des documents existants, le relief dans le lagon au nord de Dzaoudzi est très mouvementé et présente de très nombreuses aiguilles de corail de plusieurs mètres de haut, voire d'une dizaine de mètres comme l'illustre l'échantillon de bande de sonde reproduit ci-dessous (figure n° 13)⁽¹⁸⁾.

La finesse de toute ces aiguilles et leur nombre rendaient vaine et illusoire toute volonté de les répertorier en totalité pour les coter ensuite par une recherche spécifique.

La seule méthode en pareil cas est de réduire l'espacement des profils de sonde pour aboutir à l'insonification complète du fond par le sondeur vertical, ce qui n'exclut pas ensuite le contrôle par recherche de roche des têtes de corail les plus marquantes.

Ainsi pour bien faire il aurait fallu réaliser dans les baies de Dzaoudzi et de Mamutzu et sur près des 2/3 du chenal Nord un levé au 1/1 000. Cela était à l'évidence hors de notre portée dans le temps imparti.

La solution adoptée fut dans les zones accidentées et peu profondes de resserrer les profils jusqu'à 25 mètres puis de compléter ce levé régulier par un balayage sonal de la zone de chenal (largeur 800 mètres environ) selon un réseau de profils perpendiculaires espacés de 100 mètres (double insonification du fond – échelle sonal 0 – 125 m).

Les planches n° 11 bis et n° 11 ter donnent le détail des zones ainsi sondées. Il n'a pas été possible compte tenu des délais d'exploitation des bandes sonal qui ne se prêtent pas encore à l'information, d'investiguer les multiples échos latéraux.

Le poisson du sondeur latéral ayant percuté le corail à trois reprises la première journée, et la mission ne possédant que deux poissons, nous avons préféré jouer la sécurité en fixant de façon rigide le poisson sous la quille de la vedette⁽¹⁹⁾. Le calme plat régnant dans le lagon justifiait par ailleurs cette décision.

Un tel montage apporte outre l'avantage de connaître exactement la position et l'immersion du poisson donc d'évaluer avec une meilleure précision la cote des obstructions détectées.

Cependant le lacet de la vedette autour du profil survi engendre des erreurs sur la position des obstructions.

⁽¹⁸⁾ Leur nombre dépasse 150, bien que nous nous soyons limité à ne retenir que les plus marquants ou les plus importants

⁽¹⁹⁾ Ce dispositif avait déjà été expérimenté par l'auteur en 1974 en Méditerranée (cf Annales Hydrographiques)

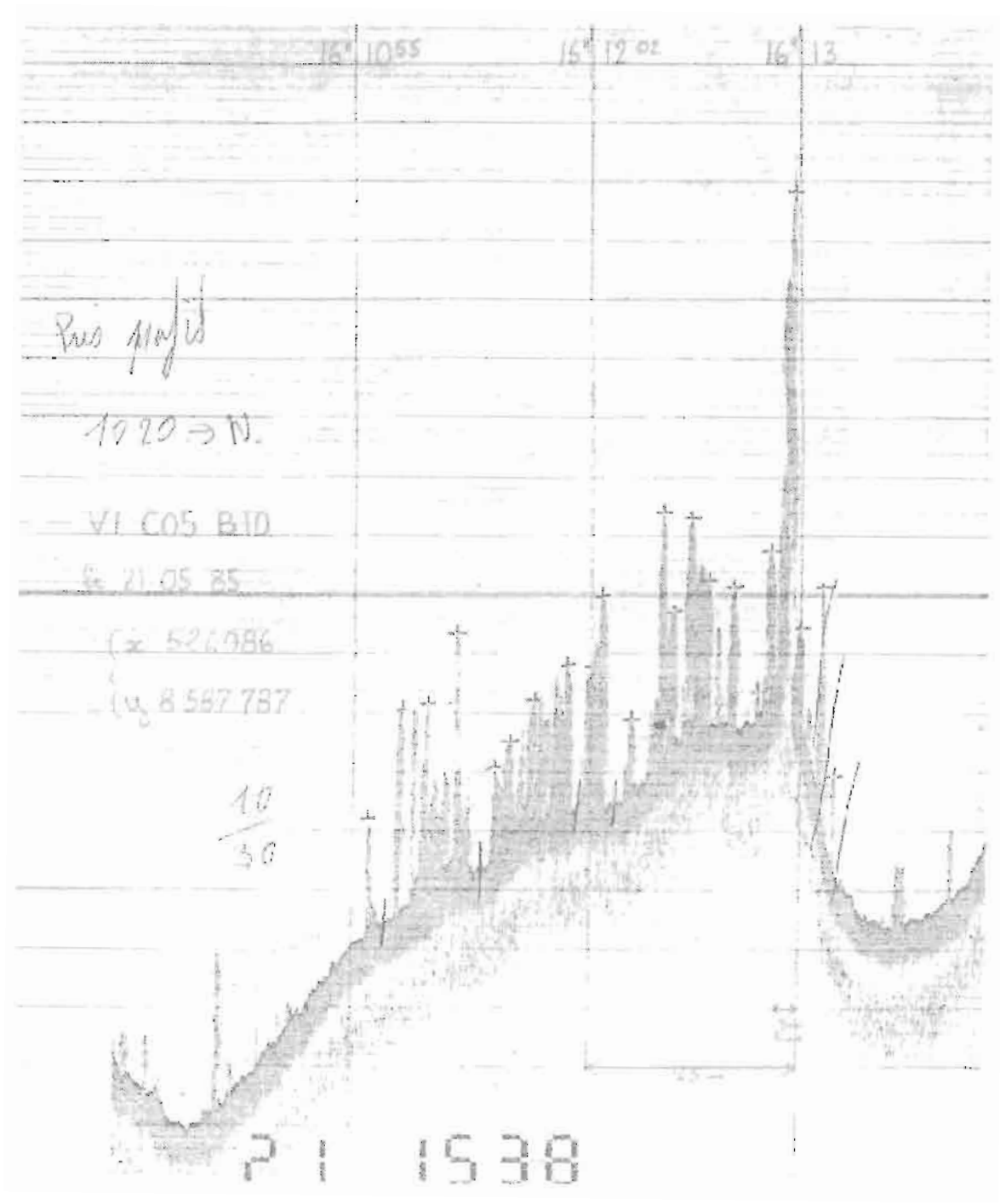


Figure 13

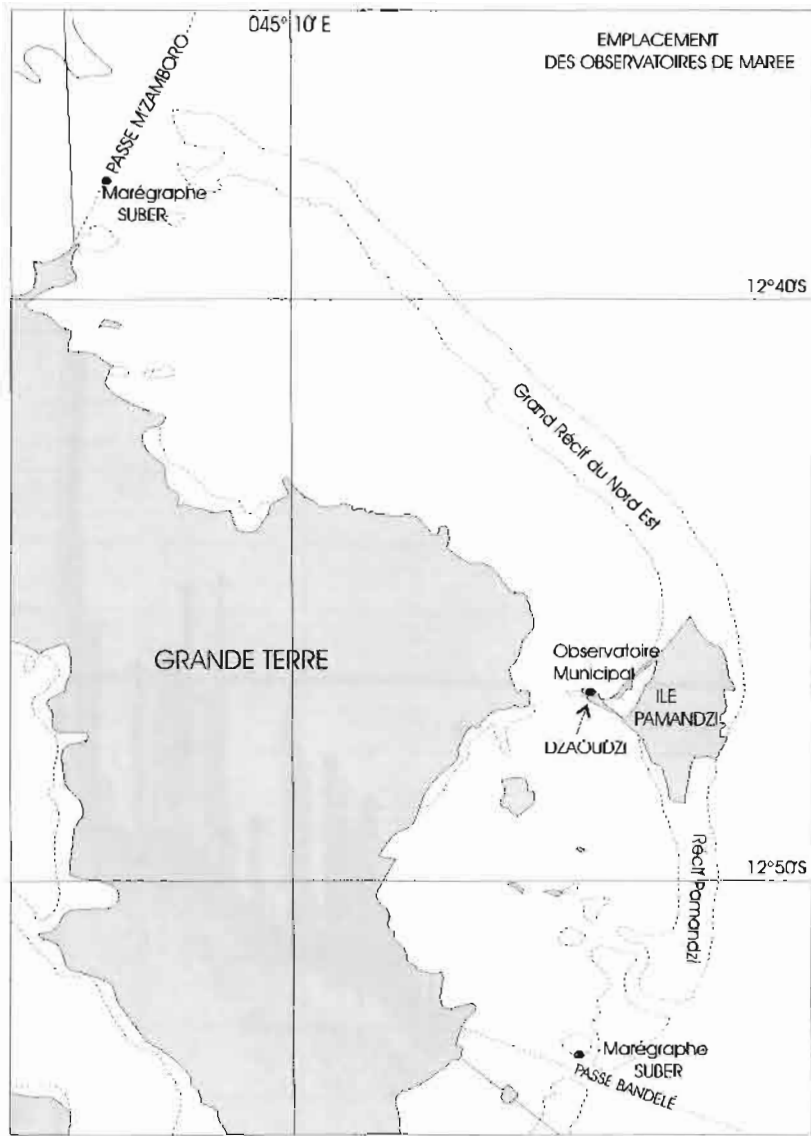
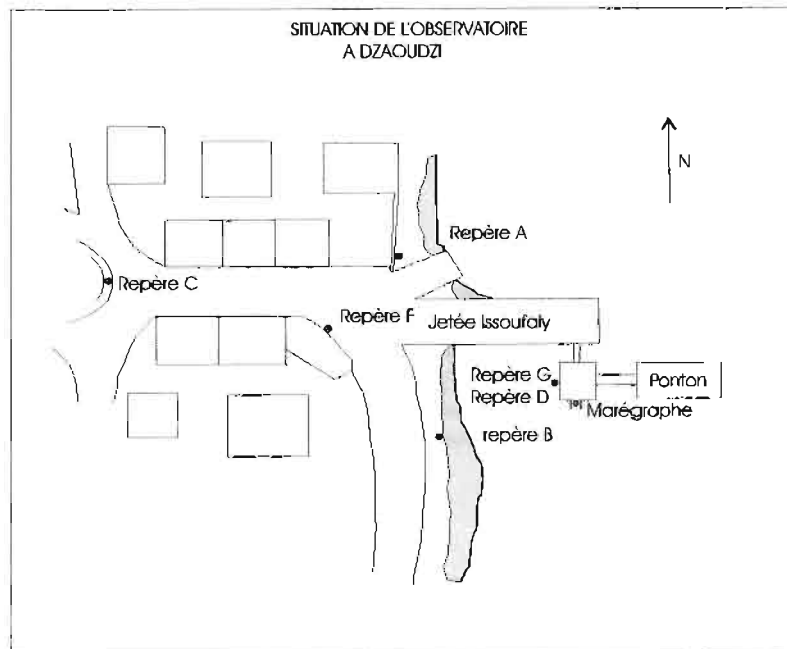


Figure 14

- Observatoire de Dzaoudzi



REPERES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local ou zéro NGF ou zéro IGN 69	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental S.H scellé dans le mur est de la citerne de l'hôtel du Rocher. A été posé en 1953 par la M.H.M.		6,920 m
B	Sommet du canon enfoncé dans le sol en bordure de la route, côté mer, près du panneau indicateur de l'entrée de Dzaoudzi.		6,567 m
C	Socle en béton du mât de pavillon devant la caserne de la légion.		11,310 m
D	Bord supérieur du duc d'Albe supportant le marégraphe.		5,029 m
F	Repère SHOM scellé dans la façade de la première maison à gauche en partant de la jetée et remontant vers le centre de Dzaoudzi.		7,732 m
G	Repère SHOM scellé dans le côté ouest du duc d'Albe supportant le marégraphe.		4,679 m

Figure 15

3.1.3.2.4 Rédaction de la bathymétrie

a/ Elle ne posa, en elle-même, pas de problèmes particuliers. Le recollement avec les levés précédents et la fusion de la bathymétrie avec les minutes d'échos sonal furent longs et délicats. De nombreuses erreurs patentées (erreur d'échelle de sondeur, erreur d'écriture, etc.) furent mises en évidence sur le levé 1953, ce qui nous amena à produire sur des contre-calques des minutes 1953 des minutes renseignées (à l'instar des cartes renseignées), sur lesquelles ces erreurs ont été identifiées.

Compte tenu des incertitudes de position et de valeur des sondes estimées à partir des enregistrements sonal, nous avons décidé de ne reporter sur les minutes de bathymétrie (minutes B) que les sondes sonal (sondes marquées SD) susceptibles de traduire la présence d'une remontée de fond non couverte par une sonde obtenue au sondeur vertical dans le voisinage immédiat.

La règle adoptée fut la suivante :

En appelant I, la sonde estimée sonal et v la meilleure sonde obtenue au sondeur vertical à moins de 25 à 30 mètres de la position de I (erreur due à un lacet de 15° à 100 mètres), on a admis que si $v - I > e$, la sonde I était reportée sur la minute B

avec $e = 5$ mètres pour les fonds supérieurs à 10 mètres
 $e = 2,5$ mètres pour les fonds inférieurs à 10 mètres.

A la suite d'un examen ultérieur approfondi, cette règle fut modifiée dans un sens plus restrictif en nous appuyant sur la statistique suivante.

Dans les zones complètement explorées par le sonal (délimitées par un trait continu bleu sur les minutes B), nous avons calculé toutes les différences I - v et établi l'histogramme de la figure n° 16.

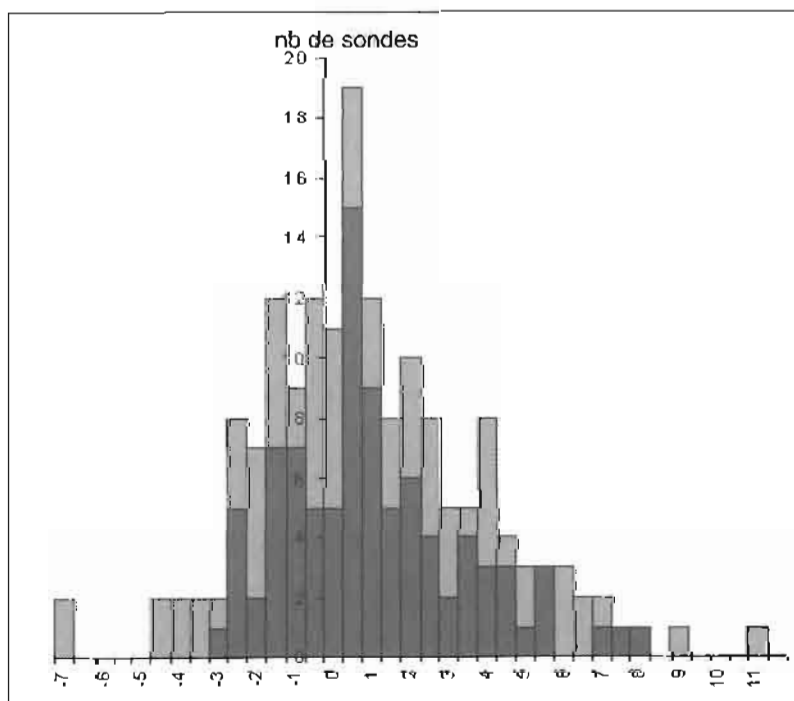
Bien qu'il faille être prudent dans son interprétation, cet histogramme montre que :

- les sondes I sont en moyenne pessimistes de 1 mètre. Cela peut s'expliquer par une exagération systématique de la longueur de la ligne d'ombre lors du dépouillement de la bande sonal ;
- une sonde I ne peut être estimée à mieux que 3 mètres environ.

Il n'y a pas, par ailleurs, de corrélation entre $v - I$ et v.

Partant de ces constatations, nous avons reporté sur les minutes B toutes les sondes I inférieures à 11 mètres lorsqu'elles sont également inférieures à la sonde v correspondante. Le tirant d'eau admissible pour rentrer dans le lagon de Mayotte par la passe M'Zamboro étant de l'ordre de 10 mètres. Les sondes I comprises entre 11 et 13 mètres ont été reportées sur les minutes B lorsque $v - I$ est supérieur à 1 mètre.

Les sondes I supérieures à 13 mètres n'ont été reportées que lorsque $v - I$ est supérieur à 2,5 mètres.



En abscisses : $\Delta z = I - v$
 Population totale = 164 sondes
 Ecart-type = 2,95 arrondi à 3 mètres
 Valeur moyenne : +1,07 mètres arrondi à 1 m
 Nota : les zones grisées correspondent aux zones levées au 1 : 2500.

Figure 16

Les sondes I reportées n'ont pas été corrigées de l'erreur systématique moyenne du dépouillement égale à 1 mètre.

b/ Zones incomplètement hydrographiées, zones de hauts-fonds dangereux

Sur les minutes de bathymétrie sont portées différentes limites :

- le trait continu bleu délimite les zones qui ont été complètement explorées au sondeur latéral (double insonification du fond) ;
- le trait tireté bleu délimite dans les zones précédentes des sous-zones dans lesquelles il n'a pas été possible de dépouiller, vu leur nombre, les échos sonal ;
- le trait tireté noir délimite les zones dans lesquelles une proportion importante de têtes de corail n'ont pas été répertoriées. Ces zones étant couvertes par un levé au 1 : 5 000 voire 1 : 2 500, il n'est pas juste de les dénommer "incomplètement hydrographiées", car à ce moment-là, à part quelques rares voies recommandées, cette mention devrait être portée sur l'ensemble des minutes de levé existantes touchant au milieu corallien. Le terme "hauts-fonds dangereux" très dissuasif, ne convient pas non plus. Nous avons préféré le terme "nombreux hauts-fonds" sur quelques minutes, une ligne de picots délimite des zones incomplètement hydrographiées, là où manifestement l'espacement des profils de sonde n'est pas adapté à la morphologie des fonds. Le tracé des isobathes dans ces zones n'a aucune signification.

c/ Voies recommandées

La notion de "voie recommandée" est étroitement associée à celle de "profondeur de sécurité", analogue à un plafond de dragage. En lagon corallien, cette profondeur est généralement fixée par celle du seuil de la passe, abondée éventuellement de la marée.

- chenal nord : la passe M'Zamboro n'est pas véritablement une passe à seuil. Une vallée sous-marine profonde prend sa source très à l'intérieur du lagon à proximité du deuxième point tournant du chenal où se trouve précisément le seuil à prendre en considération. Ce seuil a été travaillé à l'explosif mais sans résultats. Il est coté 10,5 mètres. Il apparaît donc raisonnable de fixer à 10 mètres le plafond de sécurité. Dans cette hypothèse la largeur de la voie recommandée se distribue comme suit :
- le premier tronçon du chenal en entrant dans le lagon, orienté au 202° (franchissement de la passe) est parfaitement sain sur une largeur de 400 mètres de part et d'autre de l'alignement ;
- le deuxième tronçon orienté au 174 est beaucoup plus étroit. L'alignement fait passer en ne signalant que les dangers les plus proches à 100 mètres à droite des fonds de 10 mètres à hauteur du banc de la Surprise et à 60 mètres à gauche d'un 9,2 mètres en franchissant le seuil du banc des Jumeaux⁽²⁰⁾.

Cela fixe la largeur de la voie recommandée sur ce tronçon pour lequel il faut recommander avec insistance de se tenir strictement sur l'alignement. Le seuil du banc des Jumeaux franchi, il n'y a plus de dangers jusqu'au méridien 45° 13' E. La voie recommandée peut être élargie à 400 mètres de part et d'autre des alignements.

Par contre, à l'intersection du 4^e alignement avec le méridien 45° 13', il faut à nouveau être strictement sur l'alignement pour se préparer à franchir la deuxième porte délicate du chenal marquée par des bouées cardinales. La largeur de la voie recommandée est alors de 50 mètres au sud de l'alignement et de 200 mètres au nord. Il ne faut en aucun cas se trouver à droite de l'alignement. Les dangers proches se trouvent de ce côté-là.

La largeur de la voie recommandée sur le dernier tronçon est de 150 mètres au nord de l'alignement et de 100 mètres au sud. Les amers formant les alignements sont bien visibles et repeints périodiquement.

Par contre, le balisage flottant est sujet à caution. L'ancrage des bouées qui sont relativement importantes est constitué non pas de crapauds, mais d'ancres parachutes de faibles dimensions associées à une ligne de mouillage relativement longue. Le rayon d'évitage est important et il leur arrive de chasser. Ce problème est préoccupant dans la mesure où un commandant de bateau hésitera toujours à passer du mauvais côté d'une bouée surtout lorsque le chenal est aussi étroit.

On notera enfin que le pétrolier-ravitailleur Var, d'un tirant d'eau à pleine charge de 10,8 mètres emprunte régulièrement ce chenal sans problèmes apparents. Il se tient cependant strictement sur les alignements. Un gros bâtiment préférera également chenaliser aux environs de la pleine mer.

- chenal sud par la bande Bandélé : le seuil de la passe Bandélé est coté 5,5 mètres. La passe est étroite, mais marquée par un alignement au 293° formé de deux petits phares et deux balises construites sur le rebord du récif affleurant de part et d'autre. L'éclairage de l'alignement est aléatoire et manque de puissance. La balise antérieure est notamment fréquemment éteinte.

Le seuil franchi, il n'y a plus de dangers et le chenal d'accès à Dzaoudzi est très large, bien qu'il soit en baïonnette. La voie recommandée peut être assimilée à la zone complètement explorée au sonal (délimitée par un trait bleu sur les minutes de bathymétrie).

En conclusion de ce paragraphe, les limites des voies recommandées d'accès au mouillage de Dzaoudzi que ce soit par le nord ou par le sud ont été portées sur les cartes renseignées jointes au dossier de rédaction (en rouge en utilisant le symbole "route en eau profonde").

d/ Travaux complémentaires à envisager

Les sondages 1985 serrés et denses superposés aux sondages de 1953 fournissent une bonne approximation de la géomorphologie du lagon est de Mayotte. Il est apparent que le levé effectué n'est pas exhaustif.

(20) On notera que ce 9,2 mètres provient d'une investigation par plongeur effectuée par la MHC1 81 (cf. *Annales hydrographiques*, 5^e série - Vol 10 - 1982 - n° 757 - p 120).

Pour parvenir à cette qualité, il est nécessaire d'envisager des travaux complémentaires.

Ainsi, au réexamen des minutes de bathymétrie, nous avons pu dresser la liste d'un certain nombre de recherches de roches isolées à envisager.

La publication de cette liste sort du cadre du présent rapport. Elle accompagne le dossier des documents définitifs de rédaction. Dans les zones critiques des deux points délicats à franchir du chenal nord, il vaut mieux prévoir un levé au 1 : 2 500 intercalaire du levé 85 de façon à aboutir à un levé au 1 : 1 250. Quatre minutes au 1 : 2 500 sont à produire ce qui correspond, en utilisant les moyens de la MOA, à 5 à 6 journées de sonde à trois vedettes.

Une autre méthode, si le suivi de profils précalculés par le système Hydrac-vedette fonctionne, consisterait à prévoir un levé au 1 : 1 000 des zones litigieuses sur profils parallèles à l'axe du chenal en s'écartant progressivement de cet axe. Les opérations seraient arrêtées lorsqu'une tête de corail cotée moins de 9 mètres aura été trouvée. Cette méthode est plus économique que la première.

On remarquera pour conclure, que ces travaux complémentaires qui préciseront certains relèvements de fonds et assureront la sécurité du chenalage par les gros bâtiments, n'augmenteront pas pour autant la largeur de la voie actuellement recommandée dans le chenal nord.

3.1.3.2.5 Courantométrie

Des observations de courant à l'aide de courantomètres Suber furent effectuées en quatre points du lagon. Les courantomètres étaient attelés par le dispositif décrit au § 2.4 à différentes bouées de balisage du chenal. La figure n° 12 indique l'emplacement de ces stations ainsi que leur durée qui a été en moyenne de 22 jours.

3.1.3.2.6 Topographie – amers

Aucune topographie de récifs découvrants n'a pu être effectuée. Elle n'était pas d'ailleurs prescrite. Des minutes de restitution photogrammétrique au Traster des environs de Dzaoudzi et Mamutzu avaient été établies par l'EPSHOM.

Elles n'ont pu être contrôlées, faute de moyens et de temps. Elles sont en général en accord avec les quelques rares sondes découvrantes obtenues au levé régulier. Les patrons de vedettes avaient en effet pour consigne de ne pas s'aventurer en sondage sur le platier découvrant en raison de la turbidité des eaux.

Les amers de la partie nord-est de Mayotte de M'Zamboro à Bandélé ont été répertoriés et classés. Vingt-et-une fiches furent établies.

Comme pour La Réunion, les vues de côtes panoramiques ont été rassemblées dans un carnet.

3.1.3.2.7 Documents établis

Bathymétrie :	20 minutes d'écriture des sondes au 1 : 5 000 ; 4 minutes d'écriture des sondes au 1 : 2 500 ; 12 minutes sonal au 1 : 5 000 ; 2 cartes marines renseignées ;
Géodésie :	19 fiches de points géodésiques ; 21 fiches d'amers ;
Marée Courants :	1 fiche d'observatoire de marée ; 4 dossiers de mesures de courant ;
Divers :	1 fiche de station Doppler ; 2 minutes d'écriture des sondes renseignées (levé George 1953) ; 1 fiche d'épave ; 1 carnet de vues de côtes panoramiques .

3.1.3.3 Aspects fonctionnels

Le séjour de la MOA à Mayotte fut préparé de la même façon que celui de l'île de La Réunion. Le *D'Entrecasteaux* était attendu et là aussi l'accueil fut cordial et chaleureux. Son arrivée constituait un événement important dans la vie de l'île et plus particulièrement de la petite bourgade de Dzaoudzi.

Les relations diverses furent toujours excellentes que ce soit avec les autorités françaises civiles et militaires, les directions techniques, les élus locaux ou la population. Les vols et actes de vandalisme correspondent à un penchant naturel.

A notre arrivée, l'arrêté préfectoral couvrant légalement nos travaux était pris.

Les concours apportés localement furent minimes :

- un LCM de la légion étrangère nous permit de débarquer deux de nos véhicules ;
- le carburant des véhicules fut fourni par le détachement marine à Dzaoudzi, celui de l'hélicoptère occasionnellement par le détachement de l'armée de l'Air stationné à l'aéroport ;
- l'hébergement de petites équipes mises à terre fut assuré par la légion étrangère ;
- un radiotéléphone fut installé à bord du *D'Entrecasteaux*.

Nous ne fûmes pas sollicités en retour pour un service ou un concours quelconque.

Étalé sur une période de 33 jours tout compris, le levé à Mayotte fut réalisé en 26 jours de sonde effective. 78 séances de sondes d'une durée de onze heures y furent consacrées, ce qui montre la remarquable continuité du fonctionnement des vedettes et l'absence quasiment totale des avaries.

Les deux véhicules mis à terre, l'un à Dzaoudzi, l'autre à Mamutzu sous la garde des gendarmes furent très peu utilisés.

L'immobilisation de l'hélicoptère pendant 16 jours fut un handicap très sérieux.

3.1.3.4 Exploitation des travaux et conclusions

3.1.3.4.1 Exploitation des travaux

Les travaux réalisés améliorent sans aucun doute notre connaissance de la bathymétrie dans le lagon de Mayotte sans pour autant prétendre à l'exhaustivité.

Des travaux de complément ont été proposés au § 3.1.3.2.4 d/. Leur durée peut être estimée à 15 jours de campagne avec les moyens de la MOA.

En attendant, il ne faut pas manquer d'insister dans les instructions nautiques qui sont correctes par ailleurs, sur la nécessité de suivre de façon très précise les alignements lorsqu'on emprunte le chenal nord et la passe Bandélé. Il faut se méfier du balisage flottant et se fier plutôt au balisage fixe qu'aux bouées.

Sur le plan cartographique, les sondes sonal (sondes notées SD) doivent être traitées comme des sondes ordinaires lorsqu'elles sont inférieures à 13 mètres.

3.1.3.4.2 Perspectives

Les perspectives de développement de l'île nous paraissent relativement modestes. Différents projets existent, il s'agit de ports en eau profonde, d'aéroports, entre la pointe Kongo et les îlots Ziné. Les échéances de réalisation de ces projets ne sont pas connues, ce qui rend difficile d'évaluer le besoin hydrographique réel.

Il semble raisonnable de prévoir l'extension du levé du lagon vers le sud jusqu'à la passe Saziley qui semble plus profonde que la passe Bandélé. Cela pourrait être fait à la suite des travaux de complément cités au § 3.1.3.2.4 d/ en profitant de la mise en place d'une mission en océan Indien.

3.1.3.4.3 Conclusion

24 minutes d'écritures des sondes et 13 minutes sonal ont été établies à l'issue de 26 journées de sonde. Malgré cela, le but recherché n'a pas été atteint, puisque des travaux de complément sont nécessaires. Pouvaient-ils en être autrement ? Nous ne le pensons pas, la durée du séjour, imposée de surcroît, était beaucoup trop courte par rapport aux délais d'exploitation manuelle des bandes sonal comportant en outre de multiples échos. Pour bien faire, il aurait fallu décider d'entrée de jeu, c'est-à-dire le premier jour de réaliser un levé au 1 : 1 000, mais il n'est pas certain alors que la totalité du chenal nord aurait pu être levée.

3.1.4 Travaux hydro-océanographiques au cours des transits

3.1.4.1 Généralités

Les transits aller et retour entre la métropole et l'océan Indien furent mis à profit pour effectuer différents travaux hydro-océanographiques ponctuels dont la liste s'établit comme suit :

- investigation en mer Rouge de routes suivies par les superpétroliers entre les îles Hanish ;
- vérification et contrôle de certaines ambiguïtés subsistant sur les cartes de Djibouti en refonte à l'EPSHOM ;
- mesures d'hydrologie particulière sur le parcours triangulaire Djibouti, La Réunion, Mayotte, Djibouti ;
- hydrographie expéditive en Grande Comore et à Anjouan.

Signalons enfin, pour mémoire, que, sur tous les parcours, la sonde fut entretenue en permanence et rédigée sur des minutes du type Gebco.

La sonde était obtenue sur sondeur Raytheon faisceau large réglé pour une vitesse de 1 500 m/s, la position estimée était recalée sur les positions observées par le récepteur JMR 4.

3.1.4.2 Investigation du détroit situé entre les îles Hanish et les îles Mohabbakah (sud de la mer Rouge)

A 50 milles environ au nord-ouest des détroits de Bal el Mandeb, les gros pétroliers remontant la mer Rouge en direction du Suez doivent emprunter un passage relativement étroit entre plusieurs petites îles ou rochers découvrants faisant partie de l'archipel des îles Hanish et des îles Mohabbakah.

Notre intervention fut décidée à la suite d'un rapport du commandant du pétrolier Esso – Normandie (tirant d'eau : 20 mètres) qui avait eu quelques frayeurs ou inquiétudes en empruntant la route n°1 figurée sur la figure n° 17.

Le *D'Entrecasteaux* ayant pris un peu d'avance sur sa traversée Héraklion – Djibouti, notamment au canal de Suez, put consacrer environ 24 heures à explorer le détroit en question.

La localisation du bâtiment fut déterminée à partir de 3 à 4 distances radar aux îlots minuscules qui se trouvent de part et d'autre du détroit. Ceux-ci se sont révélés en effet d'excellents réflecteurs radar et fournissaient des échos pratiquement ponctuels.

Les calculs de position effectués sur calculateurs HP 9816 donnant des chapeaux cohérents de l'ordre de 200 mètres, on put songer à suivre des profils espacés de 1 000 mètres environ par l'utilisation de la méthode du radar-scanning.

La sonde fut acquise à l'aide du sondeur Atlas Deso 20 réglé pour une vitesse du son égale à 1 500 m/s.

L'adoption d'un niveau de référence étant impossible, on s'est contenté d'essayer de rendre les sondes homogènes entre elles et aussi indépendantes que possible de la marée.

Le calcul des hauteurs de marée pour la durée du levé à Massawa et Assab à partir de la Table des marées des grands ports du monde a montré que les pleines et basses mers avaient lieu dans ces deux ports à peu près au même instant, mais les types de marée étant par trop différents, il n'a pas été possible de déterminer de corrections de marée par interpolation.

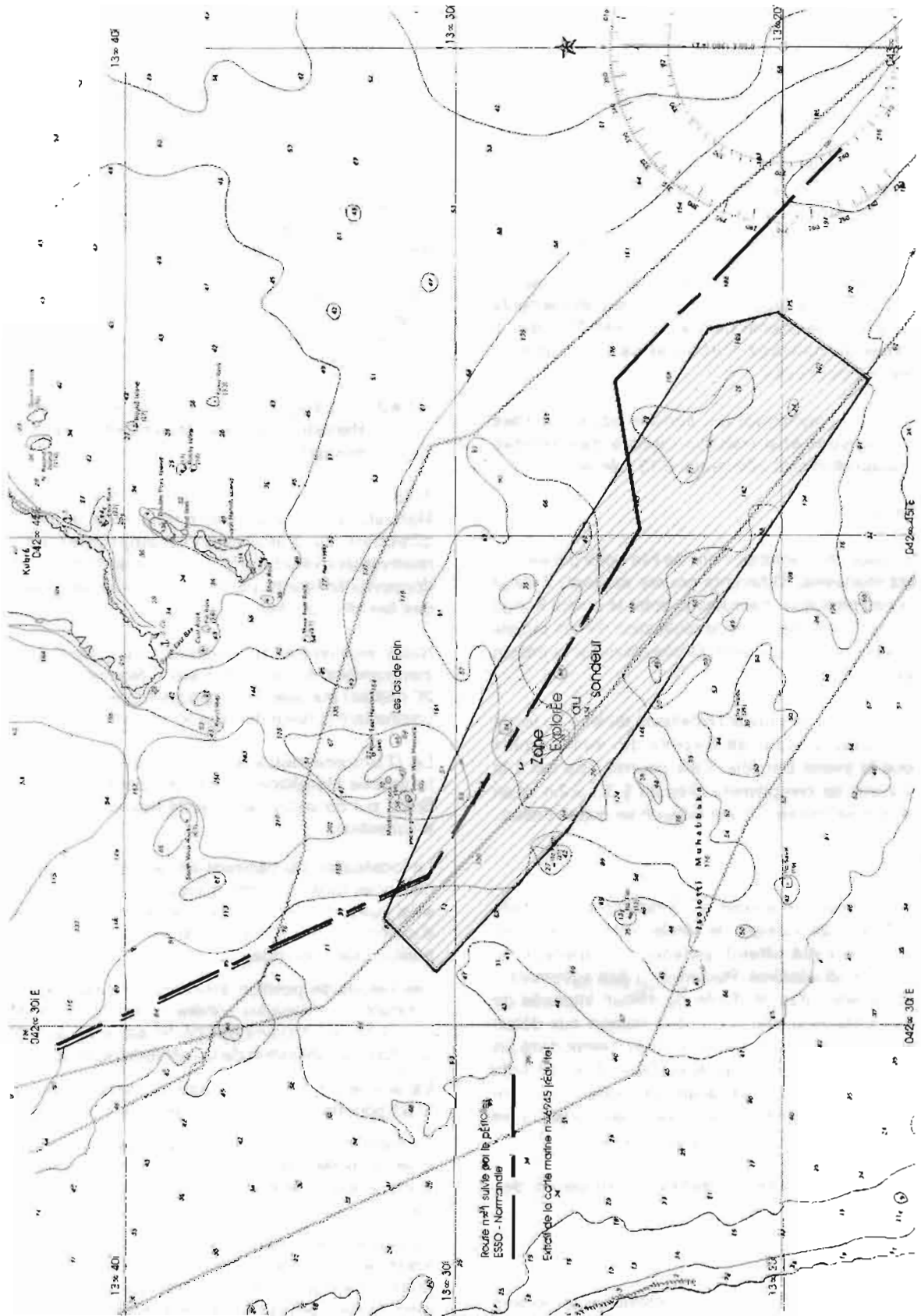


Figure 17

Les sondes ont été alors corrigées de la marée prédite à Massawa, la plus forte.

Le relief sous-marin observé dans cette région est peu accidenté et formé de plateaux horizontaux en marches d'escalier comme si chacun de ces plateaux constituait un niveau de subsidence.

L'examen de la minute d'écriture des sondes n'a pas permis de déceler la présence de hauts-fonds pouvant inquiéter la navigation des superpétroliers.

Document établi : une minute d'écriture des sondes au 1 : 100 000.

3.1.4.3 Travaux à Djibouti

a/ Il s'agissait en l'occurrence de lever un certain nombre d'ambiguïtés qui étaient apparues à l'EPSHOM lors de la refonte des cartes 5701, 5702 et 6298.

De façon plus détaillée, ces travaux comportaient :

- des vérifications géodésiques et notamment la vérification de la position du phare de Maskali, ainsi que les valeurs d'orientation des deux alignements d'entrée de port ;

- le positionnement d'un amer nouveau (pylône Gaam-Maan) ;
- un levé succinct des abords de la plage du Héron ;
- la reconnaissance et le positionnement des épaves gisant aux abords du port ;
- la collecte d'une documentation photographique.

Les travaux furent achevés en 3 jours, en usant largement de l'hélicoptère. Ils ne se heurtèrent à aucune difficulté particulière, toutes les facilités voulues nous avaient été par ailleurs fournies tant par les autorités militaires françaises que par les autorités de la république de Djibouti.

b/ Géodésie : le meilleur moyen pour détecter des erreurs éventuelles de géodésie était, partant d'un certain nombre de points de base IGN (1947-1951) sûrs, de bâtir un canevas géodésique englobant les points suspects. Les points de base choisis furent : le phare Ayabele, la tour Télémètre et le phare de Musha. Le canevas géodésique observé est donné par la figure n° 18. Le pylône Gaam-Maan, amer nouveau, fut englobé dans le canevas.

Le calcul des coordonnées des différents points montra l'excellente cohérence des coordonnées anciennes avec les nouvelles. Huit fiches de points géodésiques ou d'amers furent rédigées.

Le balisage flottant n'a pas été positionné. Il devait dans les mois qui suivaient notre passage être modifié pour être mis aux normes IALA.

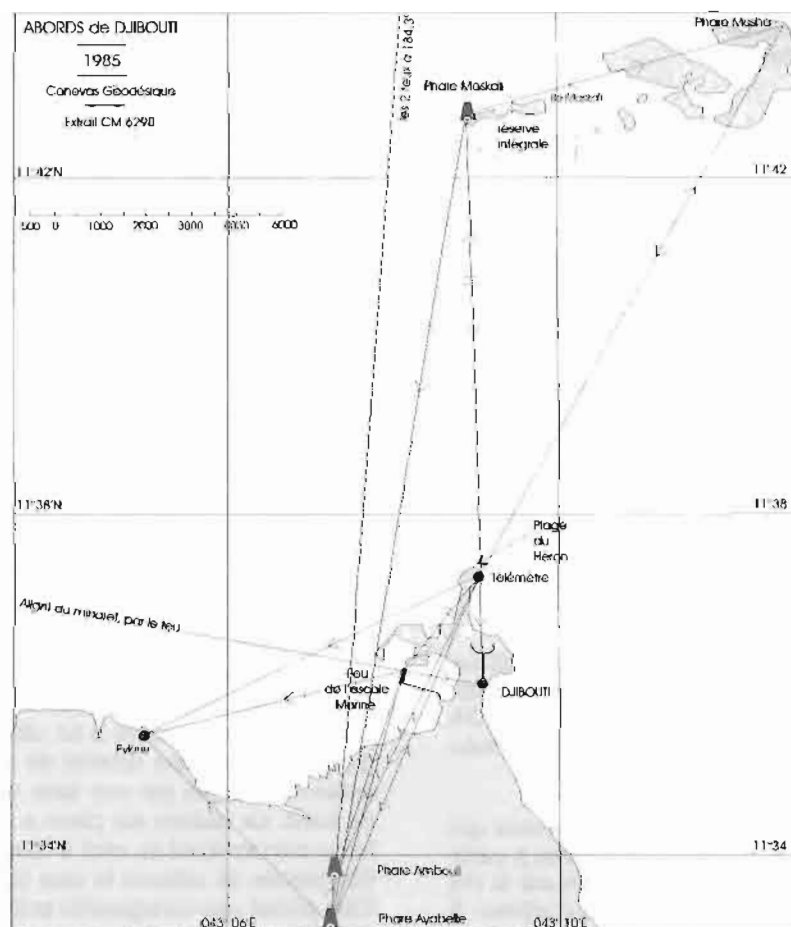


Figure 18

c/ Épaves : une équipe de plongeurs assura, en zodiac, l'exploration systématique des épaves gisant aux abords de Djibouti, le positionnement étant obtenu par visées optiques, soit sur le sommet découvrant, soit sur le zodiac placé à la verticale de l'épave si elle n'était pas découvrante.

d/ Levé de vérification au nord de la plage du Héron

Il fut effectué par une vedette radioguidée depuis la tour Télémètre et accompagné d'une série de perches topographiques sur le rebord du récif. Une échelle de marée avait été installée au préalable à l'emplacement de l'observatoire de marée de 1983. Les repères A70 et B70 ont été retrouvés.

Les sondes furent rapportées au zéro ancien situé à 3,421 mètres en dessous du repère A70.

Il n'a pas été jugé utile d'établir une fiche d'observatoire de marée, ni de rédiger, compte tenu de la nature et de la surface du levé, une minute d'écriture particulière. Le résultat des sondages a été directement reporté sur les documents (stabiphane) proposant les corrections à la carte 5702.

e/ Divers

Quelques prises de vues obliques du port de Djibouti ont été réalisées par l'hélicoptère. Les fiches d'amer existantes ont été complétées par des feuillets de prises de vues photographiques. Une documentation concernant différentes réglementations et les projets des futures réglementations a été rassemblée à l'intention de la section information nautique de l'EPSHOM.

f/ Documents établis

- 8 fiches géodésiques ;
- 7 fiches d'épaves ;
- 2 minutes sur stabiphane de corrections à apporter au projet d'édition des cartes 5702 et 6298 ;
- 1 carte marine renseignée 6298.

g/ Conclusion

Tous ces documents ont été complètement exploités par l'EPSHOM dans le courant de l'année 1985 à partir du rapport particulier rédigé en mai 1985.

3.1.4.4 Travaux hydrographiques en république fédérale Islamique des Comores

3.1.4.4.1 Généralités

Sur demande de l'ambassadeur de France en république fédérale Islamique des Comores et action du vice-amiral, commandant les forces maritimes en océan Indien, la MOA fut commise pour effectuer en Grande Comore et à Anjouan des travaux hydrographiques considérés urgents.

Aucune instruction ne fixait le détail de ces travaux qui furent décidés sur le vif par le directeur de mission à partir des conversations avec les représentants français et les élus comoriens au cours des visites officielles d'arrivée. Il s'agissait avant tout, par l'intervention du *D'Entrecasteaux*, de montrer que la France pouvait soutenir efficacement la

république fédérale Islamique des Comores par des actes pratiques, utiles à son développement. Ce geste fut apprécié.

Les interventions inopinées du *D'Entrecasteaux* aux Comores furent par ailleurs l'occasion d'observer les capacités et l'efficacité de la MOA en opérations hydrographiques expéditives destinées à une mise à jour en profondeur de nos anciennes publications originales. Elles ont pu ouvrir de ce fait une forme intéressante d'emploi de cette mission.

3.1.4.4.2 Travaux à Moroni

a/ Programme d'action

En l'absence des besoins précis et correctement exprimés par les coopérants français, et compte tenu de la qualité du levé 1953 (levé George) qu'il n'y avait pas lieu de reprendre, nous avons décidé :

- d'élargir la zone levée en 1953 pour combler les blancs existant sur la carte 3698 et faciliter l'approche au sondeur du point de mouillage particulièrement délicate ;
- de vérifier la position et l'immersion du récif Vailheu (voir cartes 6239 et 5983) situé à 10-12 milles dans l'ouest-sud-ouest de l'île ;
- de mettre à jour la carte 3698 (cartouche Moroni) en ce qui concerne notamment les amers ;
- de rassembler la plus grande documentation photographique possible (vues obliques et verticales) ;
- enfin par une exploration par hélicoptère de cerner le besoin hydrographique réel de cette île.

b/ Déroutement des opérations

Elles devaient être achevées en moins de trois jours. Rien n'aurait pu être fait dans ce délai sans l'hélicoptère qui fut fortement mis à contribution. Le premier jour fut consacré à la reconnaissance des bornes, l'installation d'un marégraphe Suber à l'îlot Souazou (figure n° 18 bis), la détermination des coordonnées de la tour de contrôle de l'aéroport de Moroni désaffecté.

Trois balises Trident furent installées le lendemain matin par des équipes hélicoptérées qui furent récupérées le soir avec leur matériel. Deux vedettes effectuèrent les sondages, l'une devant Moroni, l'autre du récif Vailheu.

Devant Moroni, la localisation de la vedette était assurée par deux distances Trident et une visée optique fournie par l'équipe mise en place sur l'îlot Souazou pour observer la marée.

Par contre, malheureusement, la vedette en sonde sur le banc Vailheu n'a pu disposer que d'un lieu Trident, l'aérien placé sur la tour de contrôle de l'aéroport ne se trouvant pas à une altitude suffisante. Il s'en est fallu de quelques mètres. Un interrogateur Trident 3 fut alors monté sur l'hélicoptère, qui, recevant à une dizaine de mètres d'altitude les trois balises a délimité par une série de points fixes, le contenu du banc. La vedette sur place a alors effectué à travers le banc, d'un tombant du récif à l'autre, des profils espacés de 500 mètres en utilisant le seul lien de distance disponible. Cela permit une cartographie sommaire à petite échelle (1 : 100 000) du récif. L'originalité de cette méthode méritait d'être rapportée en détail.



Figure 18 bis

c/ Géodésie

Seule la tour de contrôle de l'ancien aéroport fut triangulée. Sa position fut calculée en projection UTM fuseau 38 dans le système IGN 1950. L'infrastructure géodésique fut vérifiée.

Les points MHM 1953 (cf. *Annales hydrographiques*, 4^e série – tome 7, 1956, pages 262-263) ont été reconnus et pour la plupart retrouvés. Pour les points 601, 602, 606, aucune modification, le point 604 existe mais a été modifié, la mosquée est maintenant flanquée d'un minaret qui masque la coupole. Les points 603, 605 et 607 ainsi que les points auxiliaires n'existent plus. Le phare Biladi (cf. *Annales hydrographiques*) est détruit.

Les points IGN 1950 ont également été recherchés : sur 10 repères recherchés, trois seulement ont pu être retrouvés, les autres sont détruits.

Les résultats de ces recherches sont résumés dans le tableau n° 6 :

Tableau n° 6

Système géodésique IGN 50

Origine du point	N° du point	Désignation des repères	Coordonnées UTM fuseau 38			Observations
			X	Y	Z	
IGN	1	Mandzaza rep. a/ rep. b/ rep. c/	307 242,3 307 245,0	détruit 8 699 024,5 8 699 021,5	203,0 202,2	fiche d'amer retrouvée, état moyen
IGN	2	Moroni rep. a/ rep. b/		détruit détruit		
IGN	5	Salimani		détruit		
IGN	13	M'Djoihezi rep. a/ rep. b/ rep. c/ rep. d/	315 207,79 pas d'arbre significativement isolé	détruit 8 691 472,55 pas reconnu	338,24	retrouvé bon état
IGN	11	Bahani		détruit		
IGN	101	Moroni minaret	308 388,1	8 705 982,9	27,2	fiche d'amer, bon état, n'a pas subi de modification
MHM	601	Balise Chezani	308 014,48	8 705 522,80	/	fiche d'amer, bon état
	602	Balise Itsambouni	307 972,07	8 705 825,09	14,8	
	603	Petite mosquée		détruite	/	fiche d'amer, bon état
	604	Coupole mosquée	308 443,12	8 706 114,00	/	
	605	Balise Gérézani		détruite		
	606	Balise Souazou + borne	308 235,43 308 249,92	8 706 204,48 8 706 188,09	/ 2,62	fiche d'amer, bon état
	607	Borne SH pointe Mangoudjou		détruite		fiche d'amer, bon état
MOA 1985		Tour de contrôle aéroport	307 854,0	8 705 435,6	/	fiche d'amer

d/ Marée

Un marégraphe plongeur Suber fut immergé devant l'îlot Souazou pendant la durée des travaux, soit 25 heures environ. La rondelle de bronze scellée en 1953 dans la face sud-est de la balise qui surmonte l'îlot a été retrouvée en bon état. Le zéro instrumental du marégraphe fut déterminé à partir d'observations discrètes successives de la hauteur d'eau par rapport à ce repère, ce qui permet de rapporter les sondes au zéro hydrographique en vigueur en 1953, situé à 5,58 mètres au-dessous du repère 1953 décrit ci-dessus.

e/ Sondages

La figure n° 19 donne le tracé des profils sondés, l'espacement des profils est de 100 ou 200 mètres. Aucun relèvement de fond susceptible de constituer un point de mouillage n'a été trouvé.

La figure n° 20 reproduit à titre anecdotique, une copie de la minute d'écriture du banc Vailheu. Il était mal placé sur les cartes en service et doit être déplacé d'environ 1 mille dans le 143°.

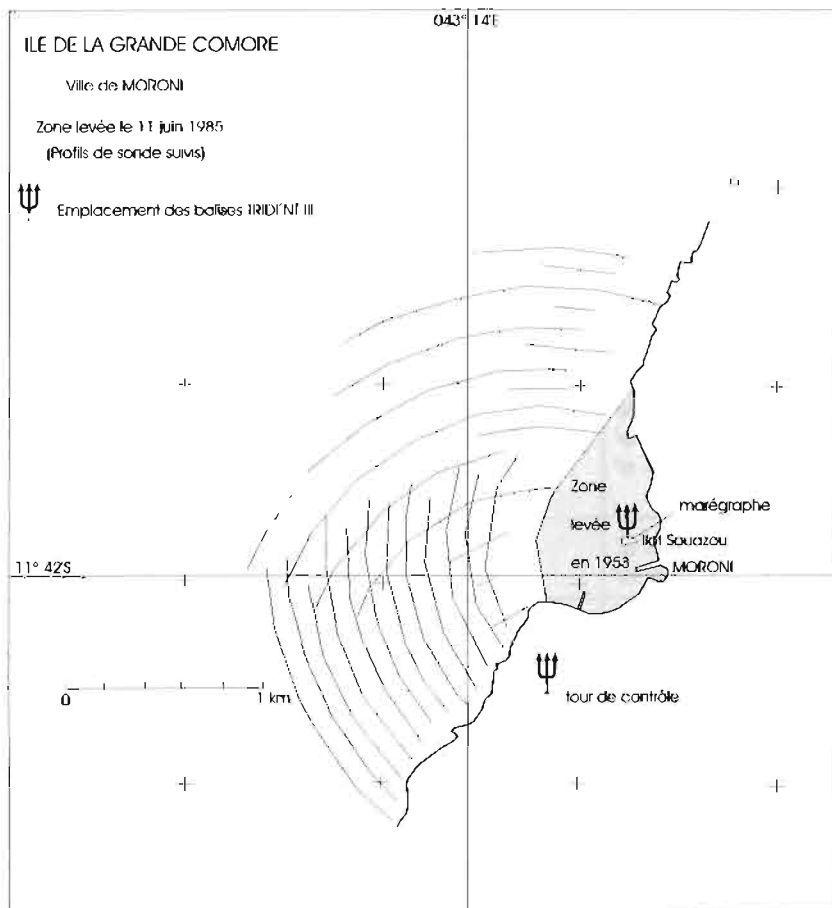


Figure 19

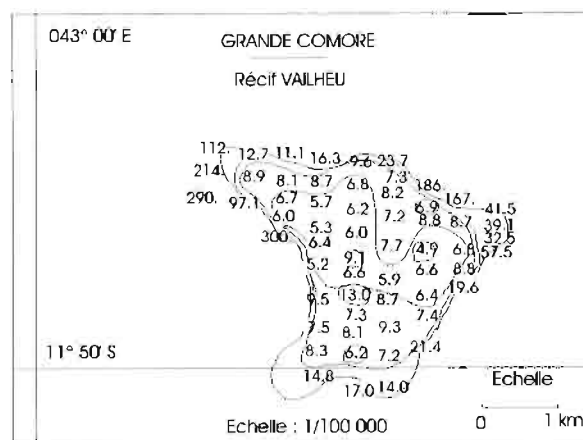


Figure 20

f/ Documentation photographique – Révisions d'amers

Quelques vues panoramiques de la ville de Moroni ont été prises du *D'Entrecasteaux* à l'aide d'une caméra Linhoff. Elles ont été renseignées. Trois passes de photographies verticales à 5 000 pieds d'altitude environ au-dessus du port et de la ville de Moroni ont été réalisées à tout hasard à l'aide d'un appareil Hasselblad.

Une révision des amers a été effectuée et concrétisée sur une carte renseignée.

g/ Documents établis

- 7 fiches d'amers ;
- 2 cartes renseignées ;
- 1 fiche d'observatoire de marée ;
- 2 minutes d'écriture (B10 et B100) ;
- 1 planche photographique renseignée ;
- 1 lot de photographies verticales.

3.1.4.4.3 Travaux à Anjouan

a/ Programme d'action :

l'intervention de la MOA se trouvait mieux préparée, des besoins précis ayant été énoncés par écrit par la mission d'assistance militaire. Il s'agissait :

- d'établir une topographie du nouveau port de Mutsamudu et de positionner le feu et la balise d'entrée du port ;
- de lever les abords de la nouvelle jetée, la morphologie du fond ayant en principe été modifiée par dragage.

Le levé du port intérieur lui-même ne pouvait être tenté, en raison des travaux de dragage importants qui étaient en cours⁽²¹⁾.

Nous décidâmes de notre propre chef de réaliser en outre un travail analogue à celui de la Grande Comore, c'est-à-dire :

- mettre à jour la carte marine 4806 (cartouche de Mutsamudu) ;
- rassembler une documentation photographique ;
- enfin, explorer le besoin hydrographique de l'île.

b/ Déroulement des opérations.

Le scénario fut quasiment identique à celui qui avait été suivi en Grande Comore. Le travail fut réalisé en trois jours de la même façon. Il fut même plus simple parce que limité strictement aux abords du port. Une fois de plus, l'emploi intensif de l'hélicoptère fut décisif.

c/ Géodésie

Sur huit points IGN 1950 reconnus autour de Mutsamudu un seul (IGN 4B), le minaret de Mutsamudu pouvait être utilisé sans ambiguïté, cinq d'entre eux étaient détruits, les bornes du pic Tingui n'ont pu être retrouvées en raison de la végétation.

Cinq sur sept points MHM 53 ont été retrouvés à peu près en état. Force a donc été de les utiliser après toutefois quelques visées de vérification. Quatre points ont été placés par nos soins.

Le tableau n° 7 donne la liste des points recherchés et leur description ou leur état, ainsi que la liste des nouveaux points placés en 1985. La figure n° 21 suivante fournit le canevas géodésique.

(21) Le port de Mutsamudu, nouvellement construit, par une erreur de conception, semble-t-il, a tendance à l'envasement permanent, car le cours de la rivière qui se jette dedans n'a pas été détourné.

Tableau n° 7
Système géodésique IGN 50

Origine du point	N° du point	Désignation des repères	Coordonnées UTM fuseau 38			Observations
			X	Y	Z	
IGN 1950	1	Sima		détruit		
IGN 1950	2	Boungoueni		détruit		
IGN 1950	3	Maouini		détruit		
IGN 1950	4	Mutsamudu rep. a/ rep. b/ rep. c/	434 302,37	détruit 8 655 367,74 détruit	27,4	fiche d'amer
IGN 1950	6	Tingui (pic) a/ et b/	Non retrouvées – trace de clairière			Située au sommet du pic Tingui, nécessiterait de gros déboisement; sommet découvert quelques heures par jour
MHM 1953		Alignement de la Fontaine				
	601	Balise antérieure, alignement au 134°	433 172,1	8 654 299,8		Altitude MOA 85 repeinte en en blanc
	602	Balise postérieure, alignement au 134°	133 584,4	8 653 900,7		Altitude MOA 85 repeinte en en blanc
	603	Goujon du ST		détruit		
	604	Croix du cimetière	434 052,3	8 654 957,5		Bon état
	605	Feu de la douane		détruit		
	606	Eglise Mutsamudu	434 551,9	8 655 292,7		Les 4 petites croix entourant la croix principale ont été détruites
	607	Résidence à Hombo	détruit et reconstruit, voir fiche MOA 85 n° 4 feu de la Vigie			
MOA 1985	1	Balise postérieure, alignement au 184°	433 112,3	8 653 697,1	néant	
	2	Balise rouge jetée	433 742,1	8 655 299,1	9,8	
	3	Feu rouge	433 754,2	8 655 331,9	13,4	
	4	Feu de la Vigie	434 556,4	8 655 236,5	84,5	

Observatoire de Mutsamudu (Anjouan)



REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local ou zéro NGF ou zéro IGN 69	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental RN 6268. Spit planté dans l'extrémité du mur de la jetée côté Est.		6,266 m
B	Repère SH scellé dans la première marche d'escalier d'accès au feu de la jetée de Mutsamudu.		5,969 m
C	Spit MOA planté dans la margelle se trouvant au pied du premier escalier, extrémité ouest de la jetée.		5,490 m
D	Point de mesure de la sonde Lumineuse.		5,490 m

Figure 22

Nota : Il n'est pas certain que la jetée de construction récente soit parfaitement stabilisée. La cote des repères B, C, D peut être sujette à variation.

e/ Bathymétrie – topographie

La figure n° 21 donne par le tracé des profils suivis la zone levée selon des profils espacés de 20 mètres. La localisation était assurée par un lieu Trident et un traversier optique. Les sondes acquises par un sondeur Atlas Deso 20 étalonné à la barre ont été réduites de la marée observée à Mutsamudu et rapportées au zéro adopté par la MHM en 1953.

Une topographie du port fut réalisée selon les méthodes classiques de la topographie à pied. Elle fut complétée par l'exploitation à la chambre claire des photos verticales prises par hélicoptère au cours du levé. Une restitution plus précise au Traster de ces photos a été réalisée par la section Géodésie-Géophysique de l'EPSHOM.

Une minute B-T (bathymétrie-topographie) à l'échelle du 1 : 2 000 donnant une vue d'ensemble des travaux a été établie.

f/ Documentation photographique

La documentation photographique rassemblée comporte :

- des prises de vues rapprochées des différents amers (généralement d'hélicoptère) ;
- des prises de vues obliques panoramiques à environ 1 000 pieds d'altitude du port (chambre Linhoff) ;
- des prises de vues verticales avec recouvrement de la ville et du port à 3 000 pieds d'altitude environ.

g/ Documents établis

- 8 fiches d'amers ;
- 1 fiche d'observatoire de marée ;
- 1 lot de photos verticales ;
- 1 minute d'écriture au 1 : 2 000 BT ;
- 1 carte renseignée ;
- 1 planche photographique.

3.1.4.5 Perspectives et conclusion

Une exploration par hélicoptère des littoraux d'Anjouan et de la Grande Comore a été effectuée par le directeur de mission pour évaluer le besoin hydrographique potentiel de ces îles. Ces littoraux sont accores, le récif frangeant étant très étroit et parfois même inexistant. Ils ne semblent pas, a priori, se prêter à un aménagement quelconque hormis Moroni et Mutsamudu qui sont en définitive les meilleurs sites (ou les moins mauvais) pour y installer un port.

A Anjouan, la petite baie de Domoni sur la côte est pourrait abriter un port pour petits bâtiments. Les rares mouillages autour de ces îles sont particulièrement inconfortables. Il semblerait, d'après les pratiques locales, que les seuls mouillages sûrs en cas de mauvais temps ou cyclone se situeraient dans l'archipel des petites îles se trouvant au sud de Mohéli. Cette zone qui, seule, se prêterait également au développement du grand tourisme serait donc à hydrographier (figure n° 23).

Les travaux réalisés aux Comores ont permis de rénover les documents nautiques de la région pour une bonne dizaine d'années. Ils démontrent à n'en pas douter la puissance des moyens de la MOA, mais surtout, ils peuvent, à notre avis, servir d'exemple pour orienter une nouvelle forme d'hydrographie, à large couverture, rapide et concrète pour mettre à jour en profondeur et à relativement peu de frais, en coopération avec les Etats souverains, notre portefeuille de cartes originales des côtes d'Afrique.

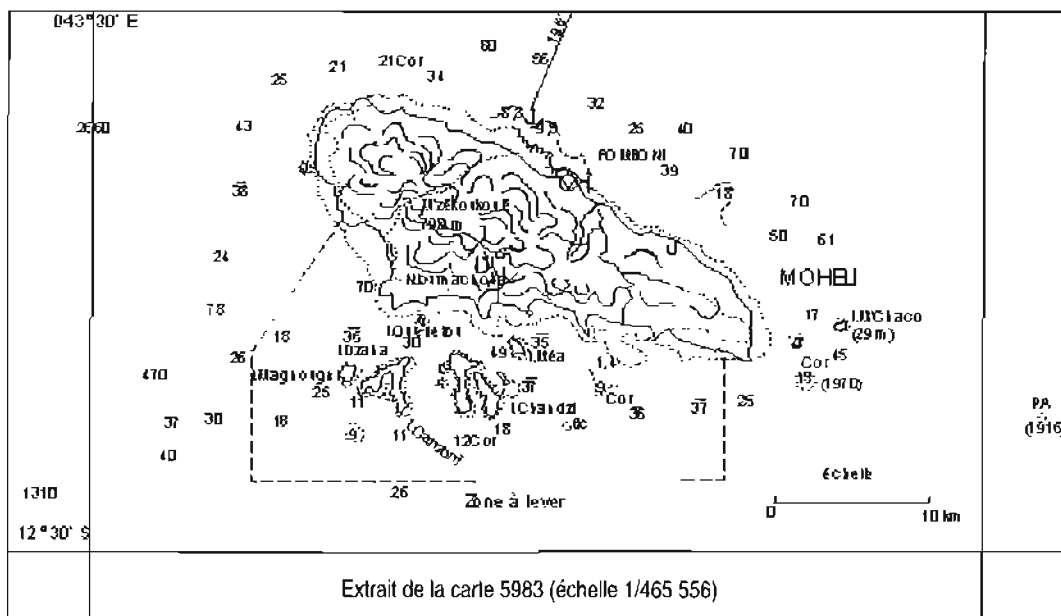


Figure 23

3.1.4.6 Mesures hydrologiques en transit

Un programme de mesures hydrologiques composées de tirs Sippican et de stations d'hydrologie discrète avait été prescrit sur les transits. Ces mesures étaient destinées à compléter les mesures effectuées par le *Marion Dufresne* dans le cadre d'une campagne océanographique SINODE, menée par le laboratoire d'océanographie physique du muséum d'histoire naturelle.

Les mesures effectuées sont récapitulées sur la figure n° 24.

Onze stations d'hydrologie discrète devaient être faites sur le trajet La Réunion-Farquhar – le cap d'Ambre. Six seulement purent être effectuées :

- la station prévue à la latitude 14° 30' S ne put avoir lieu en raison d'une avarie du treuil Mecabolier qui demanda une dizaine d'heures de réparation
- la station prévue à la latitude 10° 30' S sur le trajet La Réunion-Farquhar et les trois stations prévues sur le trajet Farquhar-cap d'Ambre ne purent être effectuées en raison d'un fort coup de vent de sud-est.

Ces observations furent traitées selon les règles en vigueur et reportées sur les imprimés réglementaires qui furent adressés à l'EPSHOM. Aucune exploitation n'en a été faite.

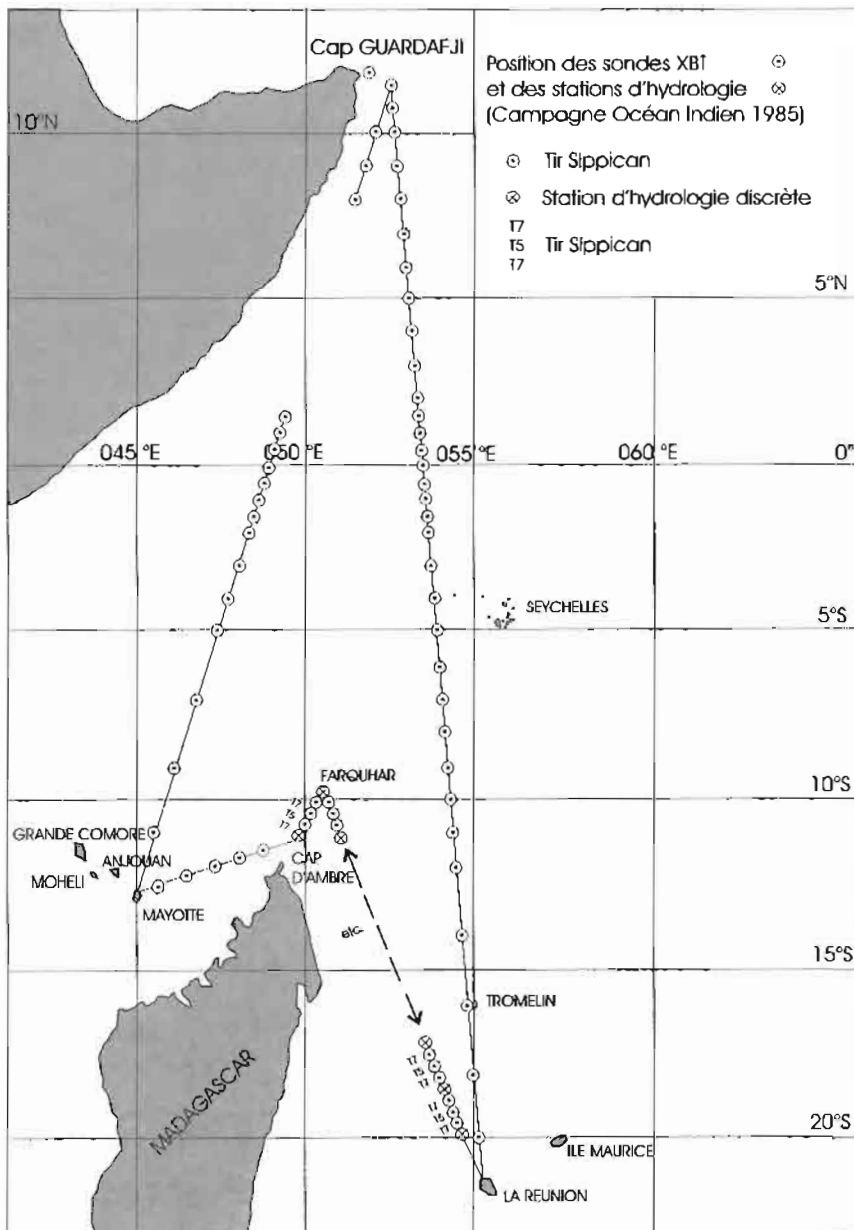


Figure 24

3.2 LEVÉ COTIER EN RÉGION SUD-BRETAGNE : DE NOIRMOUTIER A BELLE-ILE

3.2.1 Généralités

Du 28 février au 10 juillet 1986, puis du 22 octobre au 10 novembre de la même année, la MOA réalisa un levé de grande étendue depuis la pointe nord de Noirmoutier (île du Pilier) jusqu'au nord de Belle-Ile.

La figure n° 25 fournit le contour de la zone sondée.

A la date de cessation de nos fonctions, la rédaction et notamment celle de la bathymétrie n'était pas achevée et fut laissée à la charge de notre successeur, l'IPA Bessero. Ce dernier a une parfaite connaissance du dossier puisqu'il participa intégralement en tant qu'adjoint au directeur de mission aux opérations de levé.

Le rapport qui suit est de ce fait incomplet et ne comporte pas notamment les paragraphes concernant les résultats obtenus en bathymétrie ainsi que la critique des documents nautiques en service.

3.2.2 Déroulement des opérations

Sur le plan technique, les travaux prescrits ne présentaient pas de difficultés particulières. La caractéristique principale du levé résidait dans l'étendue des surfaces à lever.

Les opérations de sondage débutèrent le 1^{er} mars par la partie sud-est de la zone, à l'embouchure de la Loire (inscrite au programme en priorité 2) en réservant le levé des abords de Belle-Ile (priorité 1) exposés aux vents de suroît pour la belle saison.

Le levé fut ainsi mené en progressant de façon continue du sud-est vers le nord-ouest.

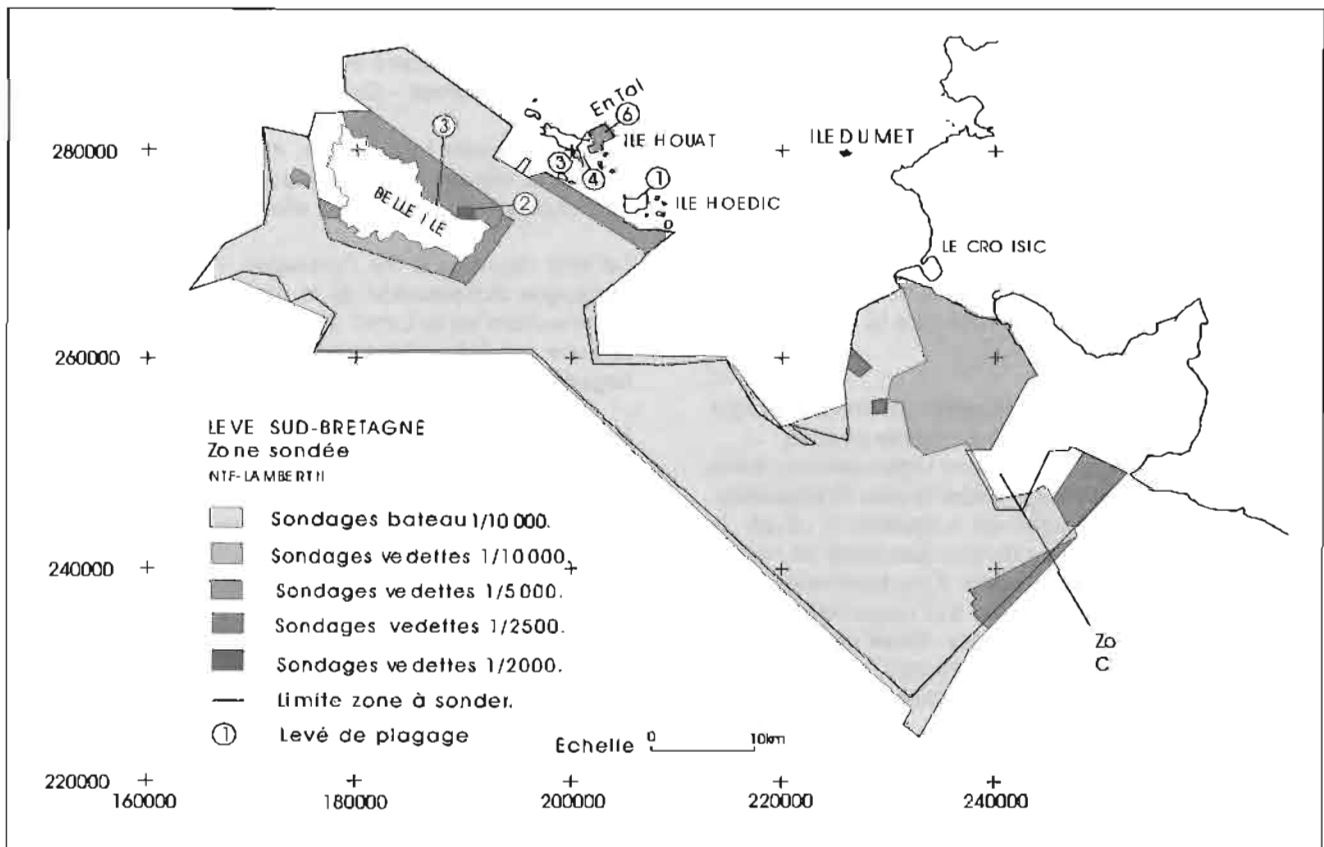


Figure 25

Les conditions météorologiques durant les trois premiers mois (mars – avril – mai) furent peu favorables dans l'ensemble (brumes et brouillards ou vents forts) et gênèrent la mise en œuvre des vedettes hydrographiques au point que le *D'Entrecasteaux*, pour assurer la progression des travaux en continu dut prendre à sa charge le levé de zones côtières qui leur avaient été initialement réservées.

Cette mesure qui n'entrava en rien l'avancement des travaux eut pour effet bénéfique d'assurer une couverture totale des zones où la navigation peut être envisagée normalement par un magnétomètre remorqué et donc de garantir la meilleure détection possible des épaves existantes. L'emploi simultané des trois vedettes n'aurait pas abouti au même résultat, un seul magnétomètre pour embarcation étant disponible à la mission.

Pour des raisons de sécurité évidentes, le *D'Entrecasteaux* ne travaillait près des côtes ou dans les zones fréquentées (voie d'accès à Saint-Nazaire) que de jour, la nuit il sondait plus au large. Les transits entre les différentes zones de travail, correctement distribués, étaient autant de profils traversiers.

Au début du mois de juin, le temps s'étant mis au beau, permit comme prévu, d'effectuer dans d'excellentes conditions le levé de la côte sud-ouest de Belle-Ile. Le levé côtier de la côte ouest, dite "côte sauvage" ne put être réalisé par les vedettes. En effet, alors que la mer était parfaitement calme sans houle perceptible au large, on pouvait observer à la côte un ressac très important et une levée de plusieurs mètres le long des falaises. Il n'aurait pas été prudent d'y engager les vedettes.

Durant les mois d'octobre et novembre, les sondages furent étendus au canal Houat – Belle-Ile et à la côte nord-est de Belle-Ile.

Toute une série de travaux complémentaires accompagnèrent le levé proprement dit. Outre les recherches de roches et l'observation de la marée, il faut citer :

- le levé de deux plages : la plage de Grands Sablons à Belle-Ile et la pointe nord-est de l'île d'Houat ;
- le levé sonal de la voie d'accès réglementée à Saint-Nazaire et du mouillage d'attente des Charpentiers. Ce dernier fut effectué en coopération avec le service hydrographique du port autonome de Nantes – Saint-Nazaire dans le cadre d'une convention ;
- la recherche des épaves et l'investigation des signatures magnétométriques. Deux chasseurs de mines y apportèrent leurs concours ;
- la revue des amers et le positionnement du balisage fixe et flottant ;
- des observations de courant et de magnétisme (déclinaison) et la détermination des natures de fonds dans les zones non couvertes par les cartes du bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ;
- enfin, des prises de vues de côtes obliques entre Lorient et l'île d'Yeu.

3.2.3 Aspects techniques du levé

3.2.3.1 Géodésie

Les travaux géodésiques ont été limités au rattachement des balises Trident 3, de quelques stations de radioguidage, des amers et des marques de balisage au réseau géodésique de la nouvelle triangulation française (NTF) de l'IGN.

Les calculs ont été effectués en projection Lambert 2. Aucune difficulté ne fut rencontrée. Le positionnement du balisage flottant fut assuré par l'hélicoptère équipé d'un interrogateur Trident 3. Cette opération nécessita quelques mises au point, car la réception à bord de l'hélicoptère n'était pas bonne.

La précision obtenue finalement contrôlée sur des marques fixes de balisage de coordonnées connues est de l'ordre de 10 à 20 mètres.

3.2.3.2. Marée – nivellement

3.2.3.2.1 Observatoires de marée – description (cf figures 27 à 32)

La zone levée se trouve incluse dans la zone marée "Embouchure de la Loire" dont le port de référence est la pointe Saint-Gildas (cf. Annales hydrographiques – 5^e série - vol 7 - fascicule 1/1979 – n° 751). Il est équipé d'un observatoire permanent entretenu par les services du port autonome de Nantes – Saint-Nazaire.

Cet observatoire fut contrôlé, mais aucune fiche n'a été établie, la mission hydrographique de l'Atlantique en ayant établi une à l'issue de travaux effectués en 1985.

Le levé décrit ici a été l'occasion d'effectuer une vaste campagne d'observation de la marée dans la zone marée "Embouchure de la Loire". Huit observatoires répartis dans la zone ont été activés pendant des périodes excédant largement un mois.

Le tableau n° 8 et la figure n° 26 fournissent l'ensemble des observations recueillies et leur situation.

Les figures qui suivent donnent les caractéristiques de ces observatoires.

Tableau n° 8

Observatoire	Type de marégraphe	Période de fonctionnement	Remarques
Saint-Gildas	Saint-Chamond Suber SLS 13	permanent du 24.06.86 au 09.07.86	pour mémoire (marégraphe du port autonome) en doublure
Pornichet	OTTR 16 + échelle	du 05.03.86 au 02.07.86	interruption du 12 au 17.03
Le Croisic	OTTR 16 + échelle	du 05.03.86 au 02.07.86	interruption du 12 au 17.03 démonté le 02.07
Le Pilier	Suber SL S13 + échelle	du 01.03.86 au 23.04 du 29.04 au 28.5	changement de marégraphe le 21.03.86
La Banche	Suber SL S13 + échelle	du 03.03.86 au 09.04.86 du 21.04.86 au 02.06.86	
Le Grand Trou	Suber SL S13	du 02.03.86 au 13.04.86	dispositif de mouillage du type Ondine
Hoëdic	Suber SL S13 + échelle	du 01.05.86 au 13.04.86 13.04.86	changement de marégraphe le 11.06.86
Ouest – Belle-Ile lat. 47° 17' 40" N long 003° 15' 25" W	Suber SL S13	du 30.05.86 au 29.06.86	dispositif de mouillage décrit figure 1
Le Palais	Suber SL S13 + échelle	du 03.06.86 au 02.07.86 et du 26.10.86 au 11.11.86	

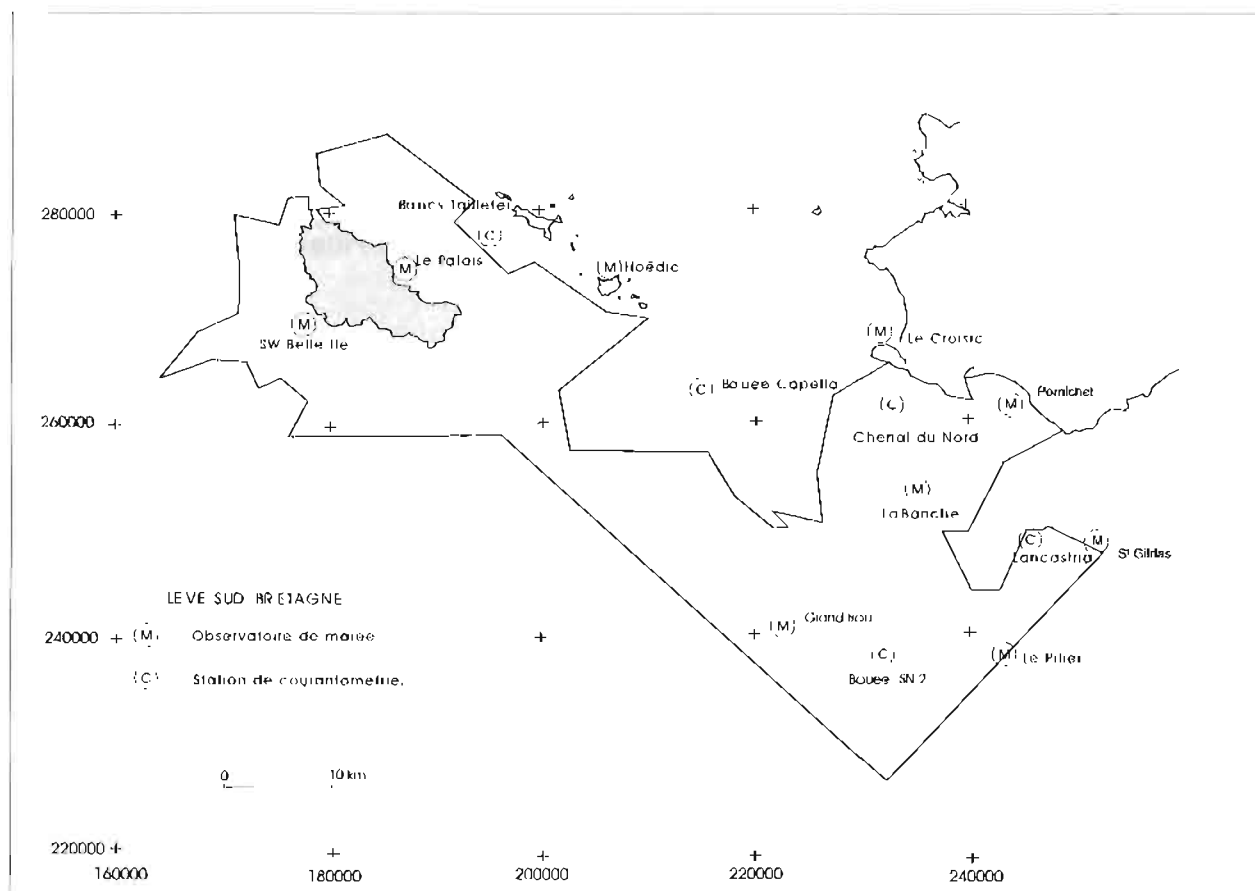


Figure 26

Observatoire de marée de l'île du Pilier (cf figure 27) :
 Il était constitué d'un marégraphe Suber immergé dans l'est de l'île du Pilier et d'une échelle de marée placée le long de l'estacade de l'île.

Le marégraphe Suber a été immergé à trois reprises au cours du levé, il en résulte trois zéros instrumentaux. L'observation à l'échelle fut effectuée par les gardiens du phare.

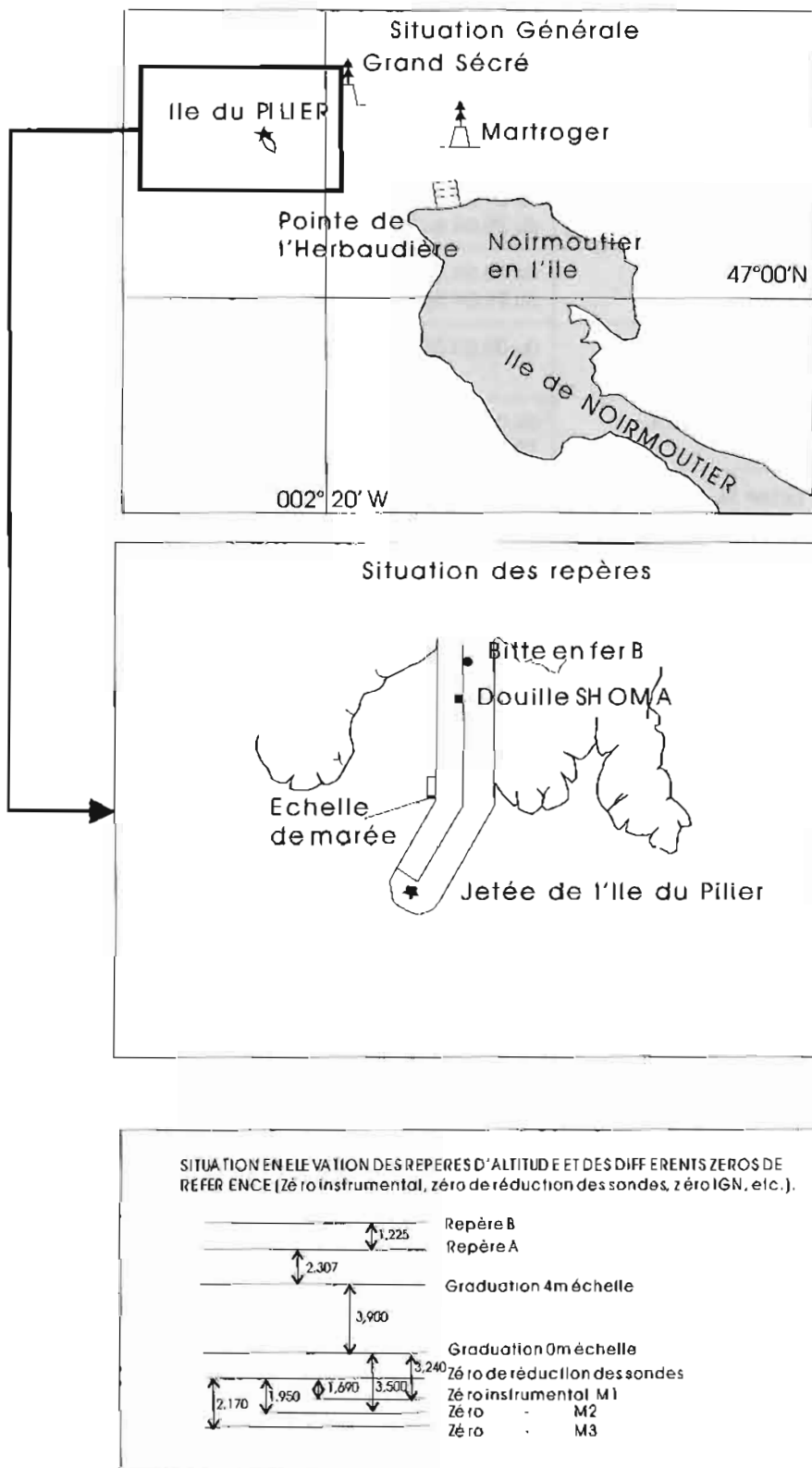


Figure 27

Observatoire du phare de la Banche (cf figure n° 28) :
 Observatoire du même type que l'observatoire précédent.
 Le marégraphe Suber fut immergé au bout de la jetée
 submersible du phare. Il était relié par une chaîne à l'échelle

du bout de jetée. Les observations à l'échelle furent effectuées par les gardiens du phare.

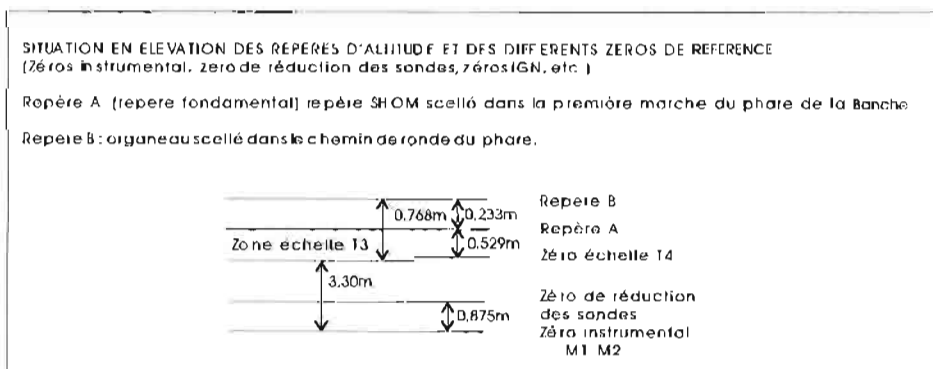
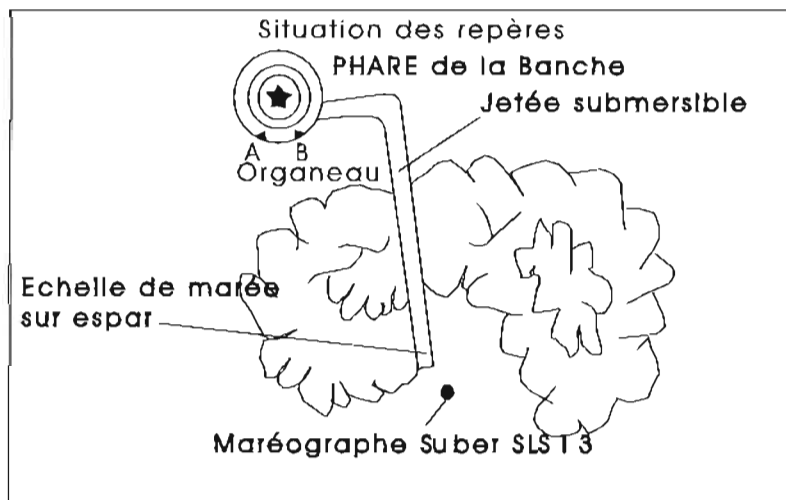
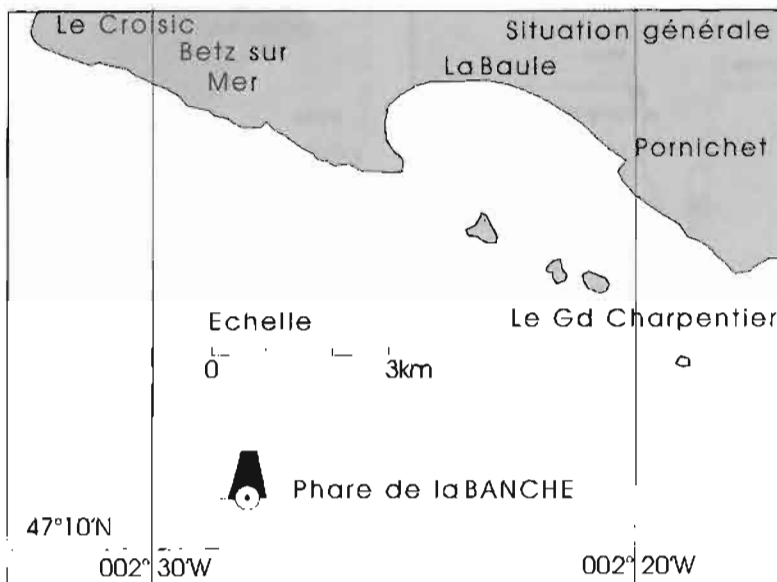
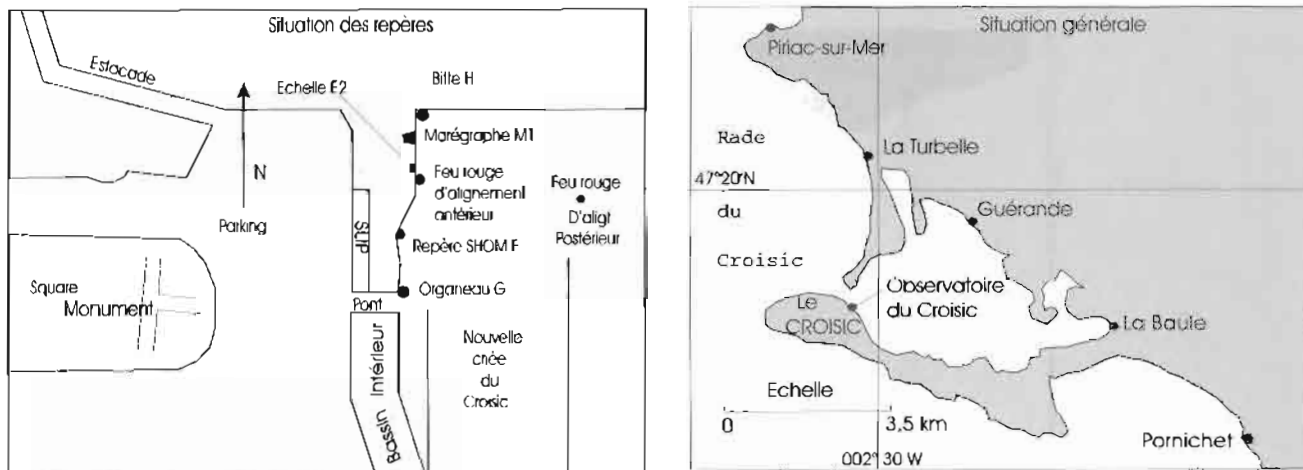


Figure 28

Observatoire de marée du Croisic (cf figure 29) :
 Du même type que celui de Pornichet décrit ci-dessus.



Designation	Description	Cote rapportée au zéro NGF	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental repère NGF (Oks1) scelle dans l'enracinement de la jetée au Croisic	4,652 m	7,522 m
B	Repère NGF (Oks3) scelle dans le mur de l'église du Croisic.	4,525 m	7,395 m
C	Repère NGF (Oks4) scellé dans le mur de l'ancienne poissonnerie du Croisic	4,184 m	7,854 m
D	Repère NGF (Oks5) scelle dans le mur de la gendarmerie	4,274 m	7,144 m
F	Repère SHOM scellé dans le quai de la nouvelle crée à proximité du feu rouge d'alignement antérieur du port du Croisic	3,233 m	6,103 m
G	Organeau scelle dans le quai de la nouvelle crée du port du Croisic près du pont	3,378 m	6,248 m
H	Sommet de la bille scelle dans le quai de la nouvelle crée du Croisic	3,901 m	6,771 m

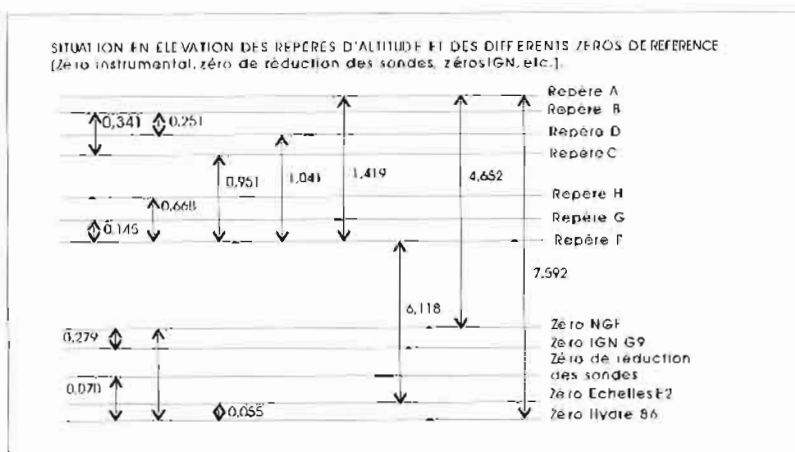
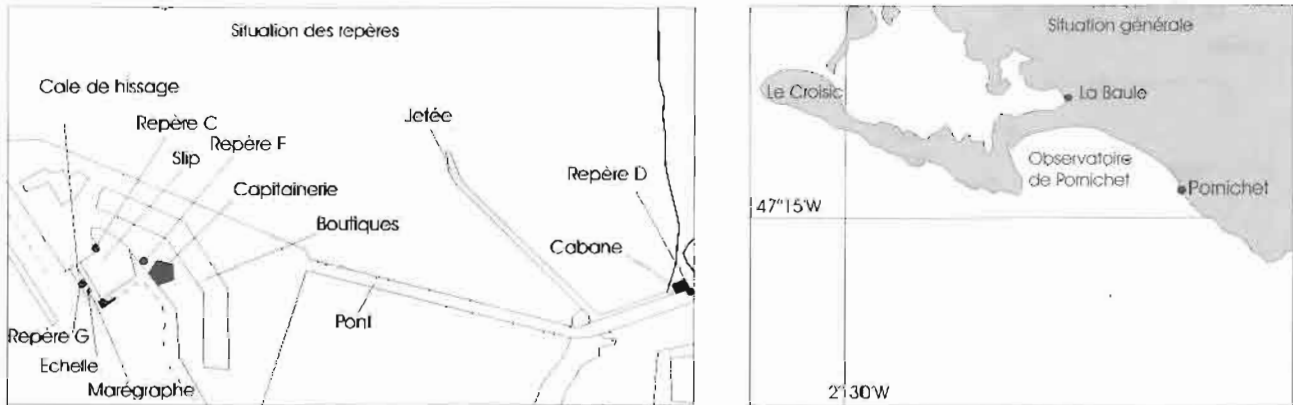


Figure 29

Observatoire de marée à Pornichet (cf figure n° 30) :
Cet observatoire était formé d'un marégraphe OTTR 16 et

d'une échelle de marée nivelée par rapport aux repères de nivellement de l'IGN.



Désignation	Description	Cote rapportée au zéro NGF	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental : Repère NGF (Oks35) scellé dans le mur de la gare SNCF de Pornichet.	18,834 m	13,738 m
B	Repère NGI (Oks36) scellé dans la façade du PN392-D382 de Pornichet.	10,669 m	13,573 m
C	Repère SHOM scellé dans le slipway du port de Pornichet.	4,140 m	7,044 m
D	Repère SHOM scellé dans le mur du contre nautique du port de Pornichet.	3,842 m	6,746 m
F	Sommet du bollard scellé près de la capitainerie du port de Pornichet.	4,448 m	7,352 m
G	Marque peinte à proximité du marégraphe	4,146 m	7,050 m

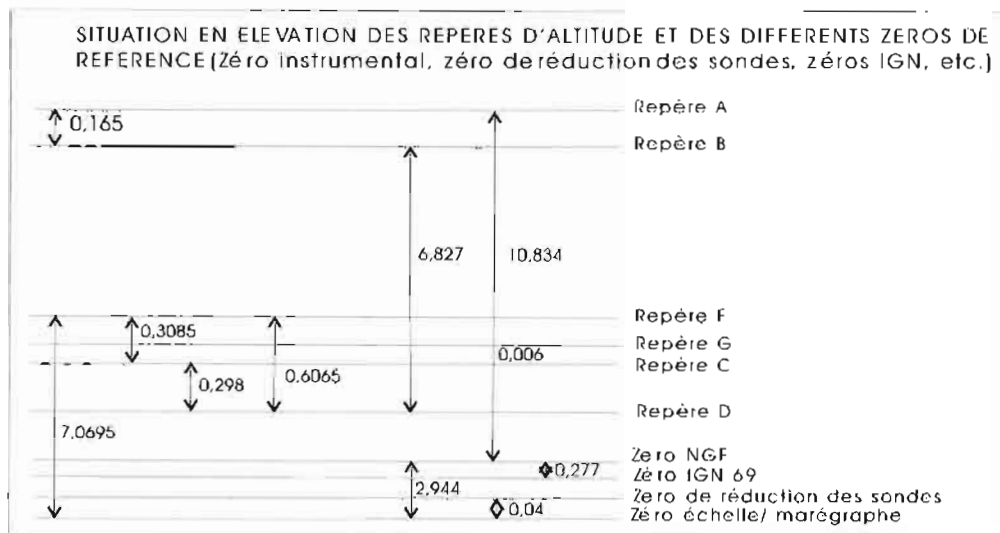
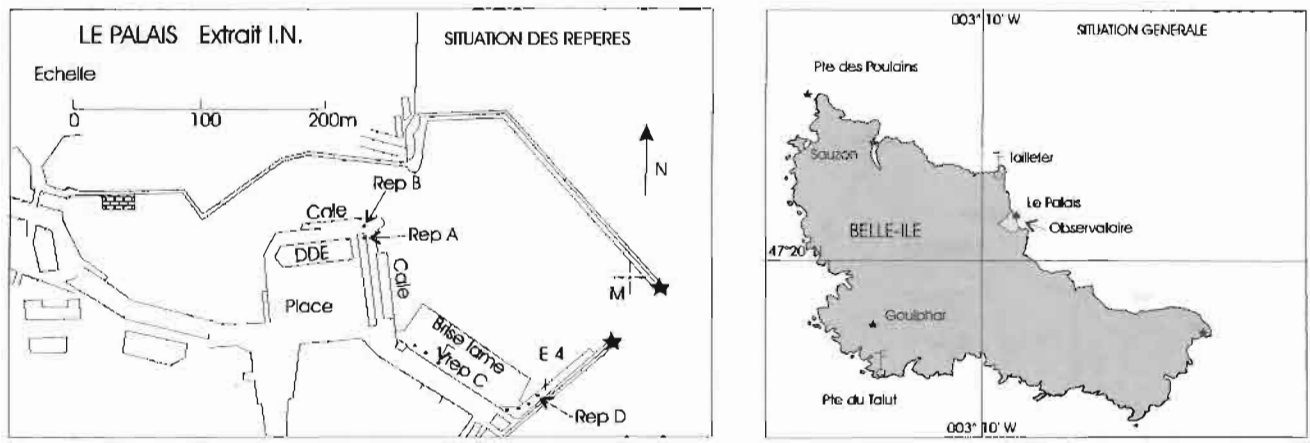


Figure 30

Observatoire de marée du Port du Palais (Belle-Ile) (cf figure n° 31) :
 L'installation de cet observatoire est identique à celui de de l'île de Hoëdic.
 Il fut entretenu par l'équipe de la mission.



Designation	Description	Cote rapportée au zéro NGF	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental : repère NGF scellé dans le bâtiment de la DDE au port du Palais.	4,760	7,440
B	Repère métallique scellé verticalement au bord du quai devant le bâtiment de la DDE.	3,584	6,264
C	Organeau scellé au bord du quai du brise-mer (4ème organeau en partant du syndicat d'initiative).	3,855	6,535
D	Organeau scellé au bord du quai du môle Bonneille. (4ème organeau en partant de l'angle du quai)	4,140	6,820

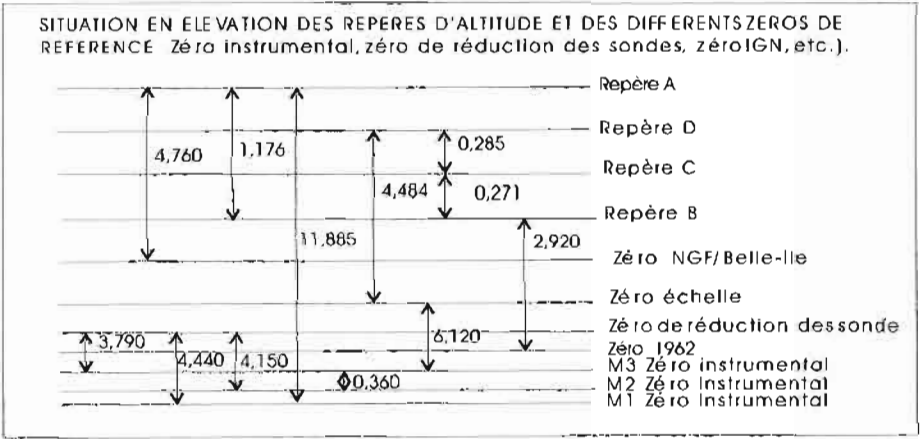
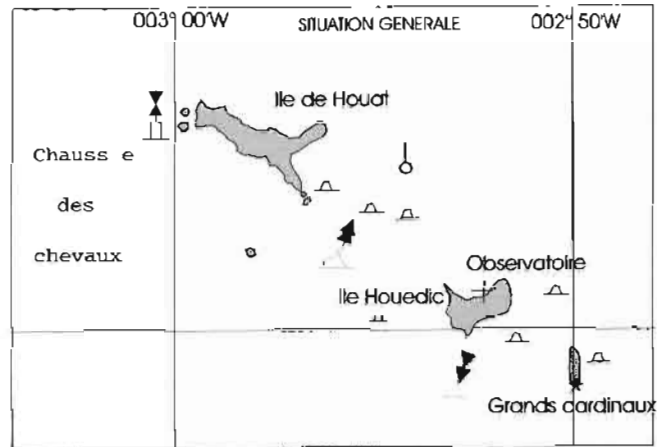
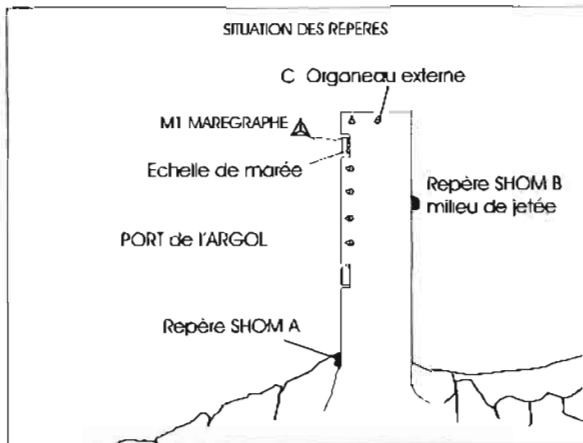


Figure 31

Observatoire de marée de l'île de Hoëdic (cf figure n° 32) :
 Il était constitué d'un marégraphe plongeur Suber immergé
 au bout de la jetée du port nord de Hoëdic (l'Argol) et d'une

échelle de marée accolée à la jetée est du port.
 L'observation des hauteurs de marée sur l'échelle fut
 effectuée par un patron pêcheur de l'île.



Cote rapportée

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental : repère de nivellement SHOM scellé dans le début de la jetée Est.	2,097	6,162
B	Repère de nivellement SHOM scellé au milieu de la jetée Est.	1,763	5,828
C	Organeau situé à l'extrémité de la jetée Est. Cote NGF approximative par nivellement géodésique. précision estimée +/- 1m.	2,000*	6,065

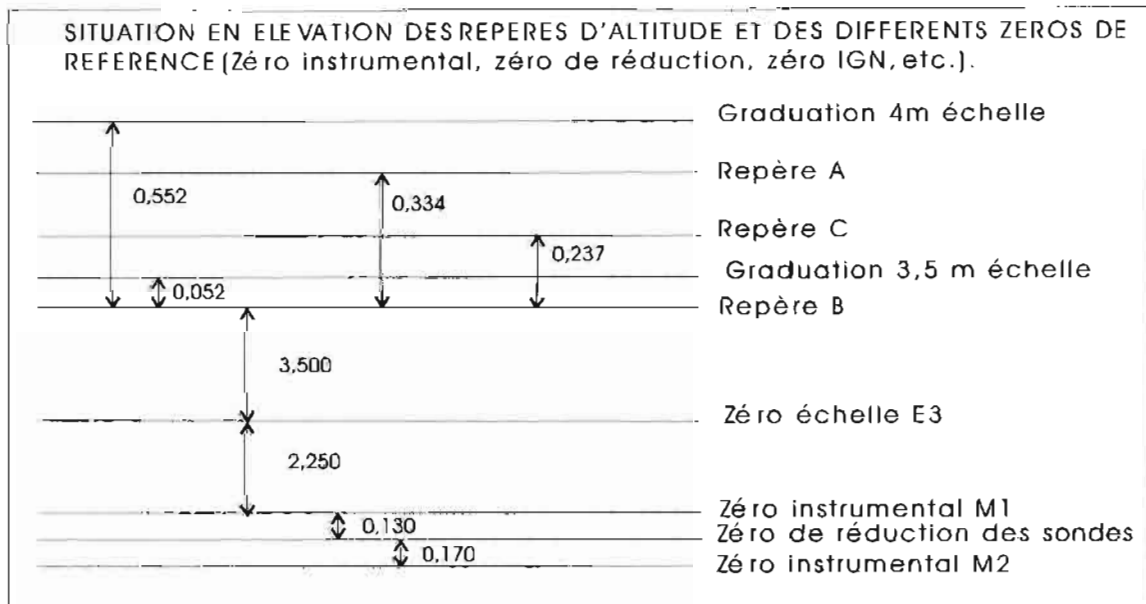


Figure 32

Observatoires au large (cf figure n° 33) :

Deux marégraphes plongeurs Suber furent immergés au large sans possibilité de rattacher les zéros instrumentaux à des repères fixes implantés à la côte :

- le premier au sud-ouest de l'embouchure de la Loire dans la zone appelée le Grand Trou ;
- le deuxième dans le sud-ouest de Belle-Ile à proximité du coffre B₁ servant de but de tir air – mer aux aéronefs des bases de Lann Bihoué et de Landivisiau.

Le calcul des hauteurs d'eau a été effectué en utilisant la pression atmosphérique observée au sémaphore de Chemoulin et réduite au niveau de la mer.

Pour l'observatoire à proximité de Belle-Ile, on a comparé les pressions atmosphériques observées au sémaphore de Chemoulin à celles observées au sémaphore du Talut sans déceler d'écarts significatifs.

La cote des zéros de réduction des sondes pour les zones élémentaires de marée entourant ces deux observatoires a été déterminée par concordance entre les hauteurs des pleines et basses mers observées respectivement à ces observatoires et à l'observatoire permanent de la pointe Saint-Gildas. Ces niveaux ainsi déterminés n'ont pas été matérialisés.

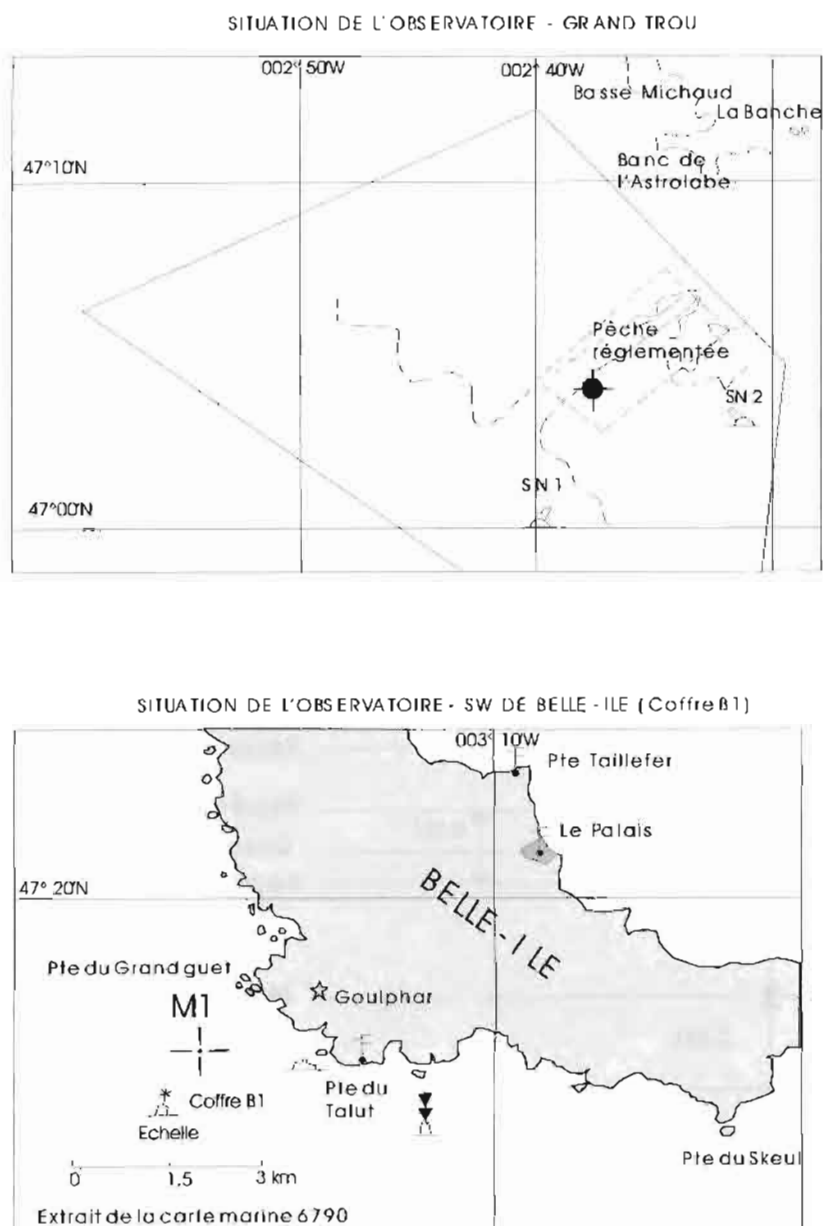


Figure 33

3.2.3.2.2 Découpage des zones élémentaires de marée

a/ Normes de précision : les instructions permanentes récentes stipulent que l'erreur commise sur la sonde après avoir effectué les corrections de célérité et de marée ne doit pas dépasser :

- 0,3 m entre 0 et 30 mètres de profondeur ;
- 1 % de la profondeur au-delà.

b/ Port de référence : le levé effectué est situé à l'intérieur de la zone de marée "Embouchure de la Loire (port de référence de Saint-Gildas)" à l'exception de la partie située à l'ouest de la ligne joignant le feu de Port-Maria (presqu'île de Quiberon) au feu de la pointe des Poulains (pointe nord de Belle-Ile) qui appartient à la zone "abords de Lorient (port de référence : port Tudy, île de Groix)".

Pour éviter d'introduire une discontinuité artificielle entre les sondes d'un même profil, nous avons utilisé Saint-Gildas comme seul port de référence pour l'ensemble du levé. Ce choix a été conforté par la qualité de la concordance entre la marée observée au port du Palais et la marée observée à Saint-Gildas.

c/ Découpage en zones élémentaires de marée : il était prévu initialement d'utiliser le modèle de marée de l'EPSHOM calé sur la marée observée pour calculer les corrections de marée. Le plan de charge du bureau marées de l'EPSHOM et les délais demandés pour calculer ces corrections de cette façon, nous ont obligés à recourir aux méthodes classiques de découpage en zones élémentaires de marée à l'intérieur desquelles le niveau de réduction des sondes est le même partout. Cette méthode, acceptable en raison du grand nombre d'observatoires mis en place, permettait à la mission d'assurer complètement par ses propres moyens, le traitement des données.

En schématisant la correction de marée en un point par l'expression :

$$M(t) = Z_0 + CA \sin K(t - t_0)$$

avec $k = 2\pi / 12,7$

- A : amplitude de la marée au port de référence
- C : rapport d'amplitude entre le lieu considéré et le port de référence
- t_0 : retard en temps entre le lieu considéré et le port de référence

on montre que l'erreur commise sur la correction de marée ne dépasse pas 20 cm tant que les variations de C sont inférieures à 5 % et que les variations de t_0 sont inférieures à 8 minutes.

Le tableau qui suit donne les résultats des concordances effectuées entre Saint-Gildas et les différents observatoires installés au cours du levé.

Résultats des concordances avec Saint-Gildas

Tableau n° 9

Observatoire	Rapport d'amplitude	Décalage moyen (minutes)
Pornichet	0,976	0
Le Croisic	0,953	+ 10
La Banche	0,953	0
Le Pilier	0,972	- 3
Le Grand Trou	0,925	- 1
Hoëdic	0,935	+ 4
Coffre B1	0,874	+ 1
Le Palais	0,923	+ 7

Il apparaît en outre, que les chiffres obtenus pour chaque paire d'observatoires voisins vérifient les conditions indiquées ci-dessus.

Il en résulte que le découpage en zones élémentaires peut être obtenu en traçant les médiatrices des segments joignant deux observatoires voisins. Quelques aménagements d'ordre pratique ont été ensuite apportés aux limites théoriques ainsi obtenues :

- la zone élémentaire entourant Saint-Gildas a été étendue vers l'ouest pour couvrir la zone levée par le port autonome de Nantes – Saint-Nazaire, dont les sondages sont réduits de la marée observée à Saint-Gildas ;
- la limite entre les zones Hoëdic et Grand Trou et entre les zones Hoëdic et Le Croisic a été simplifiée ;
- la limite entre les zones Hoëdic et Le Palais correspond approximativement à la limite entre les sondages effectués entre mars et juillet d'une part, entre octobre et novembre d'autre part.

La limite au large des zones a été fixée à titre provisoire pour couvrir l'ensemble du levé. Elle devra être réajustée lorsque le levé 1986 sera étendu vers le large.

La figure n° 34 donne les limites des zones élémentaires de marée adoptées, le tableau n° 10 qui l'accompagne donnant les coordonnées Lambert 2 des sommets des polygones formant ces zones.

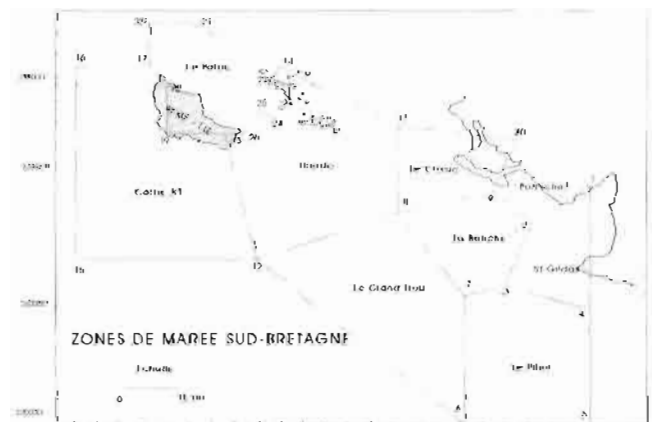


Figure 34

Tableau 10

Coordonnées des sommets des zones de marée
Système géodésique NTF – projection Lambert II

N°	Abscisse	Ordonnée	Zone	N° des sommets
1	255 000	262 000	Saint-Gildas	1, 2, 3, 4
2	245 000	255 500	Le Pilier	3, 4, 5, 6
3	240 000	244 000		7
4	255 000	240 000		
5	255 000	220 000		
6	229 000	220 000	Le Grand Trou	6, 7, 8, 12
7	233 000	242 000	La Banche	2, 3, 7, 8, 9
8	221 000	257 000		
9	238 000	260 500		
10	242 000	270 000		
11	221 000	272 000	Pomichet	1, 2, 9, 10
12	196 000	248 000	Le Croisic	8, 9, 10, 11
13	190 000	270 000		
14	200 000	283 000	Hoëdic	8, 11, 14, 22, 23 24, 25, 26 13
15	162 000	248 000		
16	162 000	282 000		
17	177 000	282 000		
18	180 000	279 000		
19	180 000	270 000	Coffre B1	12, 13, 19, 18
20	177 000	289 000		17, 16, 15
21	184 000	289 000	Le Palais	13, 26, 25, 24 23, 22, 14, 21 20, 17, 18, 19
22	197 500	279 500		
23	199 500	275 500		
24	199 000	273 000		
25	196 500	275 000		
26	193 000	270 500		

d/ Zéros de réduction des sondes : le zéro de réduction des sondes de chaque zone élémentaire de marée a été déterminé par concordance avec l'observatoire permanent de Saint-Gildas.

La marée avait été observée dans le passé aux observatoires du Croisic et du Palais pour lesquels il existait un zéro de réduction des sondes historique.

Par souci d'homogénéité avec les observatoires voisins et aussi parce que la zone élémentaire de marée correspondant au zéro historique était inconnue mais certainement différente de celle que nous avons adoptée, le zéro de réduction des sondes au Croisic fut adopté sans tenir compte du zéro historique. Le zéro 1986 se trouve à 7 cm au-dessus du zéro de 1968 (cf. , 4^e série, n° 738, 1971, p 186), soit à 2,87 m au-dessous du zéro NGF au lieu de 2,94 m.

Pour le Palais, nous avons adopté un nouveau zéro situé à 2.68 m au-dessous du zéro du nivellement de Belle-Ile (rattaché au nivellement général de la France par nivellement géodésique). Le zéro concordant avec celui de Port Tudy serait à la cote - 3,08 m. Le zéro antérieur (Annales hydrographiques, 4^e série, n° 736, 1969, p45) avait été fixé à la cote -2,92 m adoptée par les Ponts et Chaussées en concordance avec le zéro de La Pallice.

3.2.3.3 Courantométrie

Cinq stations de courantométrie de longue durée ont été effectuées. La figure n° 26 indique leur emplacement, le tableau ci-après indique les périodes d'observation ainsi que le dispositif de mouillage utilisé (cf. § 2.4).

3.2.3.4 Bathymétrie

3.2.3.4.1 Localisation

La localisation des vedettes hydrographiques et du *D'Entrecasteaux* fut assurée, comme à l'habitude par la chaîne Trident 3. Celle-ci avait été étalonnée avant le début de la campagne sur une base fixe en rade de Brest.

Au total, 16 sites furent équipés.

La liste des coordonnées des balises est fournie par le tableau n° 12. La présence de l'hélicoptère a permis de choisir des sites situés sur les îles ou îlots parsemant la zone à sonder (île du Pilier, phare de la Banche, île de Houat, île de Hoëdic...). L'entretien et le dépannage éventuel étaient assurés par hélicoptère des électroniciens stationnés à bord. Les gardiens de phare et les sémaphoristes, pleins de bonne volonté, assumèrent les dépannages les plus simples (changement de fusible, recharge des batteries, remise en route après disjonction...) sur contact radio, ce qui évita un nombre significatif de mouvements d'hélicoptère.

La chaîne Trident 3 donna une fois de plus entière satisfaction, avec le taux d'avaries habituel.

Après quelques mises au point, les essais de localisation mixte Trident-Syledis furent satisfaisants, la centrale Hydroboucle pouvait introduire dans le calculateur HP 9816 à la fois les données Trident et les données Syledis et le calcul du point put être fait avec l'ensemble des lieux de position disponibles. On peut démontrer ainsi l'excellente cohérence entre le point Syledis et le point Trident, ce qui autorisa :

- d'une part, l'intervention des chasseurs de mines, ne disposant que du Syledis, pour la localisation des épaves ;
- d'autre part, l'exécution du levé sonal de la zone d'attente des Charpentiers avec les moyens flottants du port autonome de Nantes - Saint-Nazaire qui n'étaient également équipés que d'un récepteur Syledis.

Le *D'Entrecasteaux*, quant à lui, utilisa couramment, après modification du programme d'acquisition automatique de la sonde, à partir du mois de mai environ, la localisation mixte selon les besoins du levé et la disposition des balises Trident.

En ce qui concerne les sondages par les vedettes, compte tenu des progrès réalisés sur l'installation à bord des coffrets Hydrac, la position fut acquise avec un pourcentage intéressant de succès, de façon automatique. Il nous a paru insuffisant pour autoriser le suivi de profils rectilignes précalculés.

Tableau 11

Accès à Saint-Nazaire bouée SN2	30.04 au 14.05.86	cabrion sur bouée phares et balises
Accès à Saint-Nazaire bouée Lancastrina	30.04 au 05.05.86 02.06 au 24.06.86	cabrion sur bouée ligne de pare-battages
Abords banc de Guérande bouée W Basse Capella	01.05 au 06.05.86 18.06 au 02.07.86	cabrion sur bouée phares et balises ligne de pare-battages
Abords du Croisic chenal du nord Lat. : 47° 14'45" N Long : 002° 30'45" W	28.05 au 18.06.86	bouée Selco + ligne de pare-battages
Abords banc de Taillefer Lat : 47° 22' 50" N Long : 033° 02' 26" W	10.06 au 26.06.86	bouée Selco + ligne de pare-battages

Tableau 12

Coordonnées des stations Trident
Système géodésique NTF – projection Lambert II

Nom	Abscisse	Ordonnée	Altitude
Le Pilier	243 341,4	237 633,2	38,2
Kermoisan	237 538,2	264 125,0	52,0
Saint-Gildas	252 587,0	247 229,9	30,4
La Banche	236 070,7	253 055,6	23,0
Ile d'Yeu	239 504	201 660,5	67,3
Le Croisic	230 982,2	266 419,9	27,1
Hoëdic	206 080,5	273 239,0	32,3
Arzic	190 881,6	268 190,0	49,8
Houat	200 256,5	278 864,6	49,6
Goulphar	179 698,4	271 672,6	91,0
Pouldon	186 041,4	268 611,5	51,0
Hastellic	177 481,2	276 604,5	45,4
Les Poulains	178 449,1	280 425,2	39,7
Port Maria	188 762,2	289 851,3	34,5
Kerdonis	192 327,9	270 710,3	53,8
Taillefer	185 345,3	277 053,3	41,6

Les techniques du radioguidage furent utilisées pour lever avec les vedettes hydrographiques le sud-ouest de Belle-Ile (cf tableau n°13 pour les coordonnées des stations de radioguidage)

Tableau 13

Coordonnées des stations optiques
Système géodésique NTF – projection Lambert II

Nom	Abscisse	Ordonnée	Remarque
Bugull 1	188 454,9	272 554,6	
Bugull 2	188 457,7	272 554,4	
Goulphar 1	179 694,6	271 669,7	
Goulphar 2	179 694,3	271 674,8	
Pouldon 1	186 155,6	268 582,8	
Pouldon 2	186 036,6	268 616,9	
Clocher de Bangor	182 613,4	271 906,9	utilisé pour le Vo
Sémaphore du Talut	180 224,9	269 806,8	utilisé pour le Vo
Clocher de Quiberon	189 210,5	290 270,8	utilisé pour le Vo

3.2.3.4.2 Exécution des sondages

Les sondages furent menés à la fois par le BO *D'Entrecasteaux* et les vedettes hydrographiques en s'arrangeant pour que le levé progresse de façon continue du sud vers le nord. Comme il a été dit au début de ce chapitre,

le mauvais temps entrava passablement le travail des vedettes. ce qui obligea à réduire au minimum les zones à lever obligatoirement par les vedettes et à élargir celles qui pouvaient être raisonnablement levées par le *D'Entrecasteaux* lui-même.

3.2.3.4.2.1 Sondages par les vedettes hydrographiques

Mises à l'eau le matin, temps permettant, les trois vedettes hydrographiques étaient récupérées le soir après une séance de sonde d'une durée de 10 heures environ.

Le sondeur Atlas Deso 20 était réglé en début de séance à l'aide de la barre d'étalonnage (cf. § 2.5.2.1) pour que les corrections de vitesse du son et d'immersion de la base soient nulles. Ce réglage aboutissant à l'affichage sur le sondeur d'une vitesse du son, cette dernière était communiquée par radio VHF au PC scientifique du *D'Entrecasteaux* qui analysait en temps réel la cohérence des différents étalonnages avec la vitesse du son observée au bathycélérimètre Suber lors de la mise à l'eau des vedettes. Les variations de la vitesse du son se trouvaient ainsi suivies au jour le jour.

En raison du manque de fiabilité du système Hydrac embarqué sur les vedettes, les profils suivis par les vedettes furent encore des cercles de distance à une balise Trident 3. La saisie de la localisation était réalisée, soit de façon automatique à intervalles d'une minute lorsque le système Hydrac fonctionnait correctement, soit de façon manuelle par recopie sur un cahier des distances Trident 3, toutes les deux minutes lorsque le système Hydrac était hors de fonction. Le lendemain de la séance de sonde, la localisation était entièrement rejouée sur calculateurs HP 9885 avec saisie manuelle au clavier le cas échéant.

Dans les zones de petits fonds rocheux, notamment aux abords de Belle-Ile sur la bordure est de la chaussée Houat – Belle-Ile et aux abords de l'île du Pilier, l'espacement des profils fut resserré a priori à 50 mètres. Les têtes de roches figurant sur la carte en service et les basses firent l'objet d'un levé au 1 : 2 500 (espacement des profils réduits à 25 mètres) qui précéda bien souvent le levé régulier⁽²²⁾.

On notera à titre anecdotique que le levé du plateau rocheux entourant le phare de la Banche fut effectué en suivant des cercles complets concentriques, ce qui améliora le rendement de façon sensible en réduisant le nombre de retournements et de prises de profils.

3.2.3.4.2.2 Sondages par le *D'Entrecasteaux*

Les sondages effectués par le *D'Entrecasteaux* furent réalisés à l'aide du sondeur Atlas Deso 20 couplé au compensateur de houle Anschütz.

La vitesse du son de réglage affichée correspondait à la vitesse du son moyenne observée à l'aide d'un bathycélérimètre Suber chaque matin, contrôlée et harmonisée avec les vitesses du son affichées sur les sondeurs des vedettes après réglage à la barre. On notera que les profondeurs étant faibles et comprises entre 0 et 50 mètres, on pouvait se contenter d'une précision de quelques mètres/seconde sur la vitesse du son. Les marques de franc-bord à l'avant et à l'arrière du *D'Entrecasteaux* étaient relevées par les vedettes le matin

et le soir afin de suivre les variations du tirant d'eau du bâtiment et déterminer des corrections fines d'immersion de la base du sondeur.

Le *D'Entrecasteaux* suivant des profils rectilignes, espacés généralement de 100 mètres et perpendiculaires à la houle dominante, la position était acquise et calculée en temps réel à intervalles de 20 secondes. La sonde était acquise également de façon automatique à raison d'une sonde par seconde, celle-ci étant choisie la meilleure dans l'intervalle considéré.

Un magnétomètre était remorqué en permanence à 280 mètres environ de l'arrière du bâtiment. Les signatures magnétométriques étaient reportées manuellement en temps réel sur la préparation.

Le levé régulier ainsi réalisé fut complété par des profils intercalaires lorsque le relief l'exigeait et par des profils traversiers (dans la proportion voulue de 10 % environ) qui furent souvent constitués par les transits divers du bâtiment à travers la zone levée.

3.2.3.4.3 Recherches de roches et d'épaves – levé sonal

3.2.3.4.3.1 Recherche de roches

Tous les hauts-fonds ou têtes de roches inscrits sur la carte en service firent l'objet de recherches particulières.

Les roches détectées au cours du levé régulier furent également recherchées mais elles furent peu nombreuses. Une seule d'entre elles (à l'ouest de Belle-Ile) justifia l'émission d'un avis aux navigateurs.

3.2.3.4.3.2 Recherches d'épaves

Les épaves déjà fichées, les signatures magnétométriques caractéristiques et les anomalies de profondeur détectées au sondeur latéral (échos fugitifs) firent l'objet de recherches particulières.

Quelques épaves portées sur la carte en position approximative (PA) furent également recherchées, la plupart du temps sans succès.

Le *D'Entrecasteaux* fut très largement assisté dans cette tâche par les chasseurs de mines Andromède et Cassiopée, équipés d'un sonar DUBM 21 et localisés par la chaîne Syledis. Le concours de ces chasseurs de mines s'est révélé particulièrement efficace, car en moins de six jours, ils ont effectué avec réussite un travail qui aurait mobilisé le *D'Entrecasteaux* pendant près d'un mois.

Le classificateur du sonar DUBM 21 permet en outre une investigation très fine des épaves (nature, forme, orientation, emplacement des points hauts, etc.) et chaque épave investiguée donna lieu à l'archivage d'un cliché polaroïd de l'écran du sonar.

(22) Ces levés systématiques accompagnés de recherches de roches avaient entre autres pour but d'assurer la sécurité du *D'Entrecasteaux* qui effectuait le levé régulier

Le contrôle au sondeur vertical du brassage des épaves reconnues par les chasseurs de mines dut cependant être repris par le *D'Entrecasteaux* en raison des faibles performances des sondeurs équipant ce type de bâtiment.

La recherche des épaves fut complétée par une recherche de renseignements auprès des pratiques locaux. Un patron pêcheur de Belle-Ile, à la retraite, a bien voulu nous fournir ses marques Toran d'un certain nombre d'épaves et de points de croche. Cette enquête, intéressante sur le plan de la relation avec les pratiques locaux, a permis de confirmer qu'aucune épave relativement importante n'avait échappé et que les nombreux échos magnétométriques dispersés obtenus dans le canal de Houat – Belle-Ile ne donnant lieu à aucune découverte d'obstructions étaient liés, soit à des tronçons d'anciens câbles sous-marins, soit à des masses métalliques enfouies.

Trois épaves données par les pêcheurs n'ont pu être retrouvées ni par le *D'Entrecasteaux* ni par la *Cassiopée*. Les traces d'échos obtenues sur l'enregistrement sonal semblent

indiquer qu'il s'agit d'épaves enfouies qui devront être signalées sur la carte par le symbole "fond malsain".

L'ensemble des recherches d'épaves effectuées est résumé par la figure n° 35.

Sur 37 recherches effectuées :

- 14 épaves connues et fichées ont été confirmées ;
- 8 épaves nouvelles ont été découvertes et cotées ;
- 10 épaves fichées n'ont pu être retrouvées. Nous avons conclu qu'elles n'existaient pas et pouvaient être supprimées de la carte.

Trois recherches sont restées incomplètes et devront être reprises.

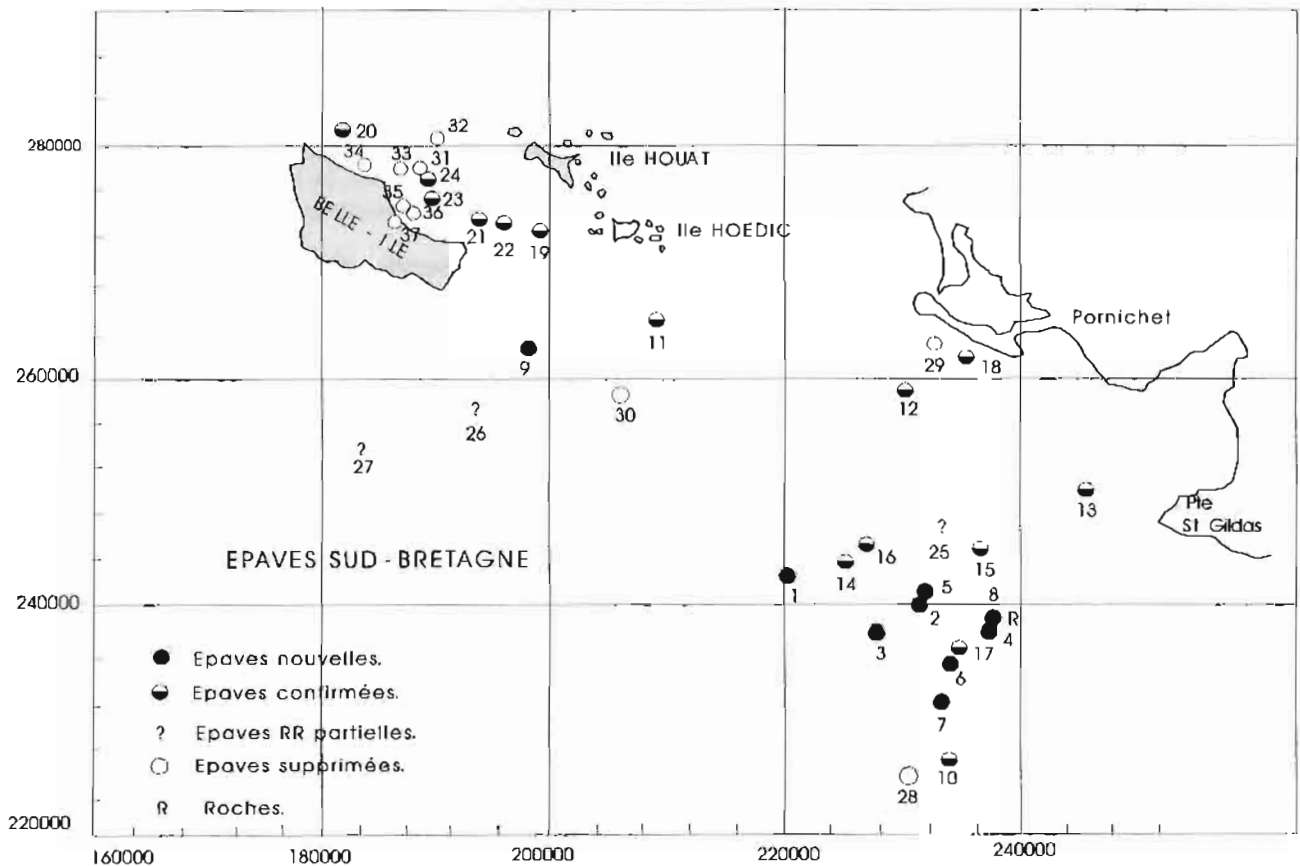


Figure 35

3.2.3.4.3.2 Levé sonal

Le *D'Entrecasteaux* effectua le levé sonal de la partie nord-est de la voie réglementée d'accès au mouillage d'attente des Charpentiers.

Le levé de la partie sud-ouest de cette voie, plus profonde, ne s'imposait pas compte tenu de la régularité des fonds et du fait qu'elle se trouvait déjà couverte par le levé régulier au 1 : 10 000 au magnétomètre.

Le mouillage d'attente des Charpentiers fut également levé au sondeur latéral en coopération avec le service hydrographique du port autonome de Nantes - Saint-Nazaire.

En effet, ce service avait déjà effectué un levé de la zone d'attente au 1 : 5 000 environ suivant des profils rectilignes guidés par le Syledis.

Utilisant les moyens flottants du port autonome de Nantes – Saint-Nazaire, une équipe d'officiers marins hydrographes de la MOA effectua un levé intercalaire du précédent en traînant un sondeur latéral. La zone d'attente des Charpentiers fait ainsi l'objet d'un levé au 1 : 7 500 environ entièrement contrôlé au sondeur latéral.

3.2.3.4.4 Levés de plageage

Les instructions prévoyaient l'exécution du levé de cinq plageages sur les îles de Houat, Hoëdic et Belle-Ile (voir figure n° 25).

Le levé de plageage à l'île de Hoëdic ① était celui de la plage située dans le port. De grands travaux d'enrochement et de dragage ayant débuté dans ce port, il ne fut pas jugé opportun de réaliser le levé prescrit.

La plage des Grands Sables (côte est de Belle-Ile) ② fut levée à l'échelle du 1 : 1 000. Une mesure du gradient de l'estran a été réalisée par nivellement géométrique.

Le levé de la plage de port Salió (côte est de Belle-Ile) ③ n'a pas été entrepris, d'abord parce que port Salió n'est une plage qu'à pleine mer et ensuite parce qu'il n'existe aucun débouché routier à cette plage qui est bordée, soit de falaises, soit de fortifications.

A Houat, les instructions prescrivaient le levé de deux plages de part et d'autre de la pointe Beg Tost ④ & ⑤. Une reconnaissance par hélicoptère à grande basse mer a montré que la plage à l'ouest ne constituait pas un site de plageage, le fond étant encombré à la limite ouest de l'estran de roches recouvertes de goémons. La plage à l'est est plus saine, mais son gradient à basse mer est extrêmement faible.

Par contre, la pointe sablonneuse (En Tal) tout à fait à l'est de Houat ⑥ est une plage parfaitement dégagée de toute obstruction ayant en outre un gradient très important. Le plageage est possible aussi bien par vent de noroît que de suroît et bénéficie même d'un balisage d'approche. Son levé en a donc été réalisé au 1 : 2 500. Aucune roche n'a été détectée par hélicoptère.

3.2.4 Magnétisme

Deux stations de mesure de la déclinaison ont été effectuées au cours du levé. Leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau 10. L'appareil utilisé était un théodolite T0, étalonné par l'EPSHOM avant la campagne. L'intervalle entre les mesures était de 15 minutes.

Tableau 14
Stations de mesure de la déclinaison
Système géodésique NTF – coordonnées Lambert II

Station	Coordonnées		Période	Amer d'orientation
	X (m)	Y (m)		
Hoëdic 1 2 3	206 133	273 410	01-02.05.8 14h30 à 04h30 UT 04h45 à 10h00 UT 10h15 à 15h00 UT	Grands Cardinaux Feu vert jetée Hoëdic Grands Cardinaux
Le Pilier 1 2 3	243 703	237 178	02-04.06.86 17h00 à 07h15 UT 08h15 à 12h15 UT 12h30 à 10h00 UT	Telle Martroger Phare du Pilier Telle Martroger

Les changements d'amer d'orientation en cours de station sont dus à la brume qui masquait l'amer principal. Une discontinuité de quelques minutes (cf tableau n° 14) a été constatée à chaque changement d'amer. Aucune explication satisfaisante n'a été trouvée, mais il est possible que le pivot du théodolite ait été en mauvais état.

Le tableau n°15 donne les valeurs des déclinaisons moyennes obtenues pour chaque série. Elles sont compatibles avec les valeurs issues du modèle WC 85. La comparaison avec les enregistrements simultanés de l'observatoire de Chambon-la-Forêt n'est pas achevée. En première analyse, les variations diurnes observées sont cohérentes entre elles.

Tableau n° 15
Déclinaisons moyennes observées

Station	Date – heure UT	Déclinaison	
		observée	calculée
Hoëdic			5° 18, 9' W
	1 01.05/86 – 21h30	5° 47, 6' W	
	2 02.05.86 – 07h20	5° 38, 9' W	
	3 02.05.86 – 07h20	5° 51, 2' W	
Le Pilier			5° 02, 3' W
	1 03.06.86 – 00h00	5° 27, 5' W	
	2 03.06.86 – 10h15	5° 32, 7' W	
	3 03.06.86 – 23h15	5° 27, 1' W	

3.2.5 Aspects fonctionnels

3.2.5.1 Environnement et relations locales

L'activité maritime importante dans la zone de travail, l'extension des responsabilités des maires des communes littorales sur le domaine maritime et les plans d'eau proches de la côte (300 mètres) ainsi que les réglementations existantes obligeront à prendre de sérieuses précautions quant à la couverture légale des activités de la mission.

Un arrêté interpréfectoral précis et à jour fut émis à la suite d'une étude réalisée par le bureau des affaires civiles du préfet maritime de 2^e région. Il peut servir de modèle pour les campagnes à venir le long des côtes métropolitaines. Il fut largement diffusé dans les communes littorales et dans les quartiers des affaires maritimes, accompagné d'une affiche d'information imprimée par l'EPSHOM.

Par ailleurs, chaque fois que l'occasion s'en présentait, le directeur de mission rendit visite aux maires des communes, notamment des communes insulaires afin de présenter le programme en cours de réalisation et provoquer la communication de renseignements hydrographiques par les pratiques locales.

Cela ne modifia pas pour autant le comportement des bateaux de pêche (chalutiers, caseyeurs, coquilliers) ni des plaisanciers qui furent une gêne certaine pour l'exécution du levé en imposant des manœuvres fréquentes d'anticollision

détournant le *D'Entrecasteaux* de son profil. Il en fut de même pour les engins de pêche extrêmement nombreux, et si, de jour, les bouées de marquage purent généralement être évitées, la nuit par contre, par absence d'éclairage, cela n'était plus possible. Ce faisant, aucune plainte ne fut déposée pour destruction d'engins de pêche, car les zones de travail étaient régulièrement annoncées à l'avance à l'administration des affaires maritimes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

1. L'exposé qui précède montre bien comment, à cause de la puissance de ses moyens, de son autonomie à tous les niveaux et du progrès technologique et informatique, la MOA se trouve irrésistiblement poussée à améliorer constamment ses performances et ses rendements.

Il n'est plus possible pour son directeur de freiner le mouvement que ce soit au nom de la qualité ou lorsque les travaux de rédaction s'accumulent. Le directeur de mission se trouve par suite obligé de gérer avec précision cette dynamique et cela d'autant plus que les chantiers proposés sont généralement imposants alors que le temps d'exécution est imposé.

Ainsi pour assurer la cohérence des travaux effectués, il faut pouvoir gérer le temps disponible et par suite faire des prévisions d'avancement des travaux de plus en plus serrées. Pour ce faire, il était nécessaire d'observer la productivité réelle de la MOA en opérations hydrographiques.

L'unité de mesure choisie est le kilomètre de sonde validé. Par là nous entendons une unité de longueur de profil sondé qui figurera intégralement sur la minute d'écriture des sondes.

Cette unité est relativement objective pour les levés de longue durée et de grande étendue. Elle l'est, à l'évidence, beaucoup moins pour les levés ponctuels, dispersés ou de détail où les recherches d'obstructions sont nombreuses.

La rédaction automatique des levés permet par simple sommation de mesurer en kilomètres, la longueur totale des profils de sonde réellement écrits sur les minutes en incluant profils intercalaires et traversiers ainsi que les recherches de roches.

2. Analyse d'une campagne de longue durée

Nous prendrons comme exemple le levé le plus récent en région sud-Bretagne, décrit au § 3.2, en nous contentant de la période allant du 28 février au 10 juillet 1986.

Cela représente une durée totale de 132 jours tout compris et 97 jours d'activités à la mer du *D'Entrecasteaux* au sens de l'unité d'œuvre utilisée pour le compte de gestion du SHOM.

L'analyse du calendrier de travail par rapport au nombre de kilomètres de sonde validés se traduit par le tableau n° 16 qui fournit notamment des moyennes journalières. Ce sont celles-ci qui sont intéressantes à prendre en considération pour la conduite d'un levé en temps limité.

Tableau n° 16

LEVÉ SUD-BRETAGNE 86 (1 ^{re} partie)			N° LIGNE	
Durée totale	132 jours	Observations	1	
Nombre de jours de 24 heures effectifs à la mer	94 jours		2	
Nombre d'unités d'œuvre (UO) 1 UO = 1 journée de bâtiment	97 jours		3	
Sondages effectués par le <i>D'Entrecasteaux</i>	Longueur totale des profils à effectuer, mesurée sur la préparation	10 850 km	4	
	Longueur totale des profils réellement suivis et validés	14 300 km	Intercalaires, profils traversiers, recherches de roches compris	5
	Distance totale parcourue	28 500 km	Transits compris	6
Sondages effectués par les vedettes hydrographiques	Nombre de séances d'une journée (environ 10 heures)	105	7	
	Longueur totale des profils suivis et validés	4 950 km	8	
Kilométrage total des profils de sondes validés (<i>D'Entrecasteaux</i> + vedettes)		19 250 km	9	
Moyennes	Moyenne journalière globale : 9/ : 1/	145,83 km	10	
	Moyenne journalière par jour de mer : 9/ : 2/	204,8 km	11	
	Moyenne journalière d'une vedette en sonde 8/ : 7/	47,1 km	12	

3. Comparaison avec des campagnes hydrographiques de même importance

Il est évidemment nécessaire de ne pas s'en tenir à une seule campagne, mais au contraire d'accumuler l'observation des rendements sur différentes campagnes d'envergure similaire.

C'est pourquoi nous avons dressé le tableau n° 17 qui fournit les résultats synthétiques obtenus au cours des campagnes.

Tableau n° 17

N°	Campagne	Guadeloupe 84	Océan Indien 85	Sud-Bretagne 86
1	Durée du séjour sur zone (hors tout)	133 jours	96 jours	132 jours
2	Kilométrage total des profils de sondes validés (D'Entrecasteaux + vedettes)	13 668 km	9 747 km	19 250 km
3	Kilométrage de profils de sondes validés effectués par D'Entrecasteaux	7 240 km	2 784 km	14 300 km
4	Kilométrage de profils de sondes validés effectués par les vedettes	6 428 km	6 963 km	4 950 km
5	Kilométrage moyen de sonde efficace par jour de campagne	102,77 km	101,53 km	145,83 km
6	Kilométrage moyen de sonde efficace par journée de vedettes (environ 10-11 heures)	43,01 km	46,42 km	47,11 km

La conclusion la plus frappante qui sort de ce dernier tableau est l'extrême régularité du rendement moyen obtenu par les vedettes au cours d'une journée de sondage.

Par séance d'une durée de 10 heures environ, ces dernières sondent environ 46 km de profils. Ce chiffre obtenu sur une moyenne de plus de 400 séances de sonde peut être pris comme une norme pour calculer avec précision le nombre de séances à consacrer à l'exécution d'un levé donné. Cette norme indépendante des moyens de la MOA doit pouvoir être extrapolée aux autres missions disposant de vedettes identiques. Elle n'englobe pas (ou du moins très peu) les aléas météorologiques qui sont à prévoir par d'autres moyens.

Assez curieusement, le rendement moyen journalier d'une vedette, calculé ci-dessus, ne correspond pas à une moyenne physique et est seulement une moyenne arithmétique, le kilométrage de profils de sonde validés par séance variant de façon aléatoire entre 10 et 110 km, sans que l'on puisse en déterminer les raisons. Il n'en reste pas moins que ce rendement reste faible.

Il en résulte que, compte tenu du rendement du D'Entrecasteaux en sondage, il y a intérêt :

- d'une part à réduire le plus possible l'étendue des zones à sonder en vedettes,
- d'autre part à ne plus faire assurer par le D'Entrecasteaux une assistance technique étroite pour les vedettes tombant en avarie en cours de journée.

Il y a également intérêt, lorsque la configuration du terrain et les possibilités d'accueil des petits ports locaux s'y prêtent, à faire travailler les vedettes de façon autonome et de les baser à terre pour la nuit.

Ces mesures simples adoptées en 1986 expliquent le bond du rendement moyen journalier global obtenu pour le levé sud-Bretagne 1986.

4. La poursuite dans l'avenir de l'élaboration de tels bilans et l'analyse de plus en plus fine des progrès réalisés dans la productivité modifieront certainement les comportements dans la conduite des levés et permettront de mieux apprécier, au niveau des programmes et des budgets, les délais de réalisation et les coûts d'un levé hydrographique donné.

L'accumulation de ce type d'observations associées aux moyens d'une mission hydrographique et au compte de gestion annuel du SHOM, pourra également servir de justificatif à l'élaboration de devis pour des interventions hydrographiques au profit de clients éventuels extérieurs au ministère de la Défense.

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

(avril 1986 – avril 1988)

par

Jean LAPORTE
ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)

Page

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : description, organisation, moyens et méthodes de la MOP

1.1	Survol de la Mission Océanographique du Pacifique (MOP) de 1986 à 1988	10-3
1.2	Principaux travaux	10-3
1.3	Organisation	10-4
1.3.1	Lancement de l'Échelon Polynésie	10-4
1.3.2	Indépendance organique et autonomie technique	10-4
1.3.3	Gestion de la contrainte de rendement	10-4
1.3.4	Relations extérieures	10-5
1.3.4.1	Nouvelle-Calédonie	10-5
1.3.4.2	Polynésie française	10-5
1.3.4.3	Reste du monde	10-5
1.4	Les hommes	10-6
1.4.1	Nouvelle-Calédonie	10-6
1.4.2	Polynésie française	10-6
1.5	Moyens flottants	10-7
1.5.1	Emploi des moyens	10-7
1.5.2	Bâtiment hydrographique de 1 ^{re} classe (BH1) <i>L'Estafette</i>	10-7
1.5.3	Bâtiment hydrographique de 2 ^e classe (BH2) <i>Boussole</i>	10-7
1.5.4	Vedette hydrographique (VH) <i>Corail</i>	10-7
1.6	Bases de la mission	10-8
1.6.1	Nouméa	10-8
1.6.2	Papeete	10-8
1.7	Moyens de la mission et questions logistiques	10-8
1.7.1	Véhicules	10-8
1.7.2	Drome	10-9
1.7.3	Équipements	10-9
1.7.3.1	Généralités sur la logistique	10-9
1.7.3.2	Sondeurs	10-9
1.7.3.3	Trident III	10-9
1.7.3.4	Courantomètres et marégraphes	10-10
1.7.3.5	Matériels de recherche d'obstructions	10-10
1.7.3.6	Matériels d'acquisition et de traitement de données	10-10
1.7.3.7	Matériels de transmission	10-11
1.7.3.8	Récepteurs de satellites Transit	10-11
1.7.4	Concours extérieurs	10-11
1.7.5	Frais de déplacements	10-11
1.8	Méthodes	10-11
1.8.1	Acquisition et traitement des données géoscientifiques	10-11
1.8.2	Précision des mesures	10-12
1.8.3	Télé-détection	10-12
1.8.3.1	Topographie par levés aériens	10-12
1.8.3.2	Exploitation de l'imagerie satellitaire	10-13
1.8.4	Toponymie	10-13

	Page
■ CHAPITRE 2 : travaux en Nouvelle-Calédonie et à Futuna	10-14
■ CHAPITRE 3 : travaux en Polynésie française	10-16
Appendice 1 : la base de l'Échelon Polynésie de la MOP	10-17
Appendice 2 : notes sur les déviations de la verticale observées à Rapa.....	10-21
Planche 1 : les zones économiques exclusives de la France dans le Pacifique	10-29
Planche 2 : cage et marégraphe petits fonds	10-30
 <u>Nouvelle-Calédonie et dépendances</u>	
Planche 3 : de la Passe de la Gazelle à la Baie de Néhoué.....	10-31
Planche 4 : voies recommandées au sud de Nouméa	10-32
Planche 5 : Ouvéa, sud du lagon	10-33
Planche 6 : lagon nord (Yandé)	10-34
Planche 7 : côte ouest, du cap Goulvain à la passe de Koné.....	10-35
 <u>Polynésie française</u>	
Planche 8 : Tahiti, levés dans le port de Papeete	10-36
Planche 9 : Australes, île de Rapa.....	10-37
Planche 10 : Australes, mont sous-marin Mac Donald	10-38
Planche 11 : Tuamotu, atoll d'Apataki.....	10-39
Planche 12 : Marquises, île de Fatu Iva, baie d'Ormoa	10-40
Planche 13 : Marquises, île de Ua Pou, baie d'Hakahau.....	10-41
Planche 14 : Marquises, île de Tahuata, baie de Vaitahu	10-42
 ■ Enquêtes de toponymie	
Annexe 1 : Futuna	10-43
Annexe 2 : Hao.....	10-49
Annexe 3 : Rapa.....	10-61
Annexe 4 : Marquises	10-80
Appendice A : Histoires et langages	10-83
Appendice B : Toponymie des îles et de leur littoral	10-90
Appendice C : Bibliographie sommaire	10-126

Chapitre 1

DESCRIPTION, ORGANISATION, MOYENS ET MÉTHODES DE LA MOP

1.1 SURVOL DE LA MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE (MOP) DE 1986 A 1988

C'est au cours de la période comprise entre avril 1986 et avril 1988 qu'a été concrétisé, sous la direction de l'ingénieur en chef de l'armement (ICA) Laporte, un changement d'organisation de la MOP presque aussi important que sa création, à savoir la "mitose" de la mission, sans augmentation de ses moyens, entre deux pôles situés à Nouméa et à Papeete.

Cette opération, dont le besoin se faisait sentir depuis 1979, avec les interventions de plus en plus fréquentes des navires hydrographiques basés à Nouméa en Polynésie, à l'occasion de leurs carénages à l'établissement des constructions navales de Papeete (DCN Papeete), devenait en fait nécessaire pour améliorer l'état encore embryonnaire de la cartographie en Polynésie française, alors que l'on commençait à voir la fin des principaux levés systématiques entrepris en Nouvelle-Calédonie.

Le mérite de sa préparation en revient à l'ICA Habert, qui avait dirigé la mission de 1984 à 1986, mais celui de son inscription dans les faits, avec tout ce que cela comporte de démarches pratiques et terre-à-terre auprès des multiples structures militaires, logistiques et administratives des forces armées en Polynésie, est à porter au crédit du détachement d'hydrographes qui, d'abord sur des caisses retournées, puis dans des dortoirs d'équipage, puis dans des locaux à peine achevés et démunis de tout, mais sans cesse améliorés, entreprirent leurs premiers travaux et surent construire une unité suffisamment autonome et bien intégrée dans la marine à Papeete.



Façade de l'immeuble Bir Hakeim, sur le front de mer à Papeete

C'est ainsi que, douze ans après la constitution de la MOP à partir du fusionnement de l'ex-"mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie" (MHNC) et de l'ex-"mission hydrographique de Polynésie française" (MHPF), le SHOM renouait avec une organisation mieux adaptée aux besoins hydrographiques du "grand océan" et aux considérations de rendement sous-jacentes aux structures autonomes, sans renoncer pour autant aux principes d'économie et d'homogénéité contenus dans la notion de souple dépendance entre deux échelons réunis au sein d'une même entité.

En prenant la direction de la mission en 1988, l'IPA Champagne héritait donc, progrès techniques mis à part, de moyens pratiquement inchangés depuis l'époque de la MHNC et de la MHPF, et notamment de trois navires passablement fatigués, *L'Estafette*, la *Boussole* et le *Corail*.

De 1986 à 1988, l'autorité supérieure de la marine dans le Pacifique était exercée par le vice-amiral Thireaut. Cet officier général, traditionnellement connu sous l'acronyme d'ALPACI, avait la responsabilité d'un domaine constitué par les trois sous-zones 71 (Polynésie), 72 (Nouvelle-Calédonie) et 73 (sites d'expérimentations nucléaires). Il était secondé en Nouvelle-Calédonie par "Comar Nouméa", dont les fonctions furent occupées successivement par les capitaines de vaisseau Houette (jusqu'à 1986) puis Desgrées du Lou (1987 et 1988), en Polynésie par "Comar Papeete" (le CV Pichevin remplacé en 1987 par le CV Albert) et sur les sites par "Comar Mururoa" (le CV Habert).

1.2 PRINCIPAUX TRAVAUX

On ne peut évoquer les travaux de la MOP sans insister d'abord sur les dimensions exceptionnellement étendues du domaine placé sous sa responsabilité hydrographique.

Aussi n'a-t-il pas semblé inutile, pour illustrer ce propos, de s'inspirer de l'idée d'un grand ancien, le lieutenant de vaisseau Vallaux, directeur de la mission géodésique des Tuamotu au début des années 50, et de porter sur une carte de l'Atlantique nord (planche 1) les zones de souveraineté entourant les îles concernées par les activités de la mission.

Pendant ces deux années, la *Boussole* fut conduite à travailler sur toutes les côtes de Nouvelle-Calédonie et aux Loyauté ainsi qu'à Wallis et Futuna. Elle subit, de plus, un carénage à Papeete et se rendit deux fois en escale à Sydney.

Le domaine d'action du *Corail* s'étendit à l'ensemble du lagon calédonien, avec une prédilection pour les travaux de bathy-topographie.

L'Estafette, quant à elle, exécuta des travaux dans tous les archipels de Polynésie française : Tuamotu, Australes, Îles de la Société et surtout, Marquises où elle commença un levé systématique qui devrait encore s'étendre sur plusieurs années.

L'ensemble des opérations est récapitulé dans les chapitres 2 et 3, avec les instructions techniques et les rapports particuliers correspondants. Y sont portés tous les travaux dont l'exploitation définitive a été achevée sous la direction de l'ICA Laporte et comprend notamment des levés exécutés partiellement ou dans leur totalité par l'ICA Habert.

1.3 ORGANISATION

1.3.1 Lancement de l'Échelon Polynésie

La création de l'Échelon Polynésie, qui avait été préparée par des missions préalables d'ingénieurs de Nouméa, est à rapprocher du départ définitif de *L'Estafette* de Nouvelle-Calédonie, le 2 janvier 1986.

Jusqu'au mois de juin, ce qui n'était encore qu'un détachement placé sous les ordres du commandant de *L'Estafette* et qui devait progressivement représenter 40 % des moyens de la MOP, occupait un bureau et des dortoirs aménagés provisoirement dans la base marine de Fare Ute, tandis que les bâtiments définitifs, situés dans des locaux de l'arsenal et de la caserne Bir-Hakeim occupés jadis par la MHPF, bénéficiaient d'une remise à niveau assez complète.

Grâce à l'esprit de coopération des services de Marine Papeete, l'emménagement définitif de l'Échelon put avoir lieu le 12 juillet 1986, mais des améliorations de détail continuèrent à être apportées jusqu'au début de l'année 1987.

L'ingénieur de l'armement Martin-Lauzer, premier directeur technique de l'Échelon Polynésie, avait mis un point d'honneur à privilégier les travaux hydrographiques et à relancer l'activité à la mer dès la fin de l'indisponibilité (IPER) de *L'Estafette*. Il ne lui fallut pas moins d'un semestre d'efforts soutenus, conjugués au soutien solidaire de l'autre composante de la MOP, pour donner à l'unité hydro-graphique une physionomie et des habitudes de travail conformes à ce qu'il est normal d'attendre d'une mission du SHOM.

Au terme de cette période transitoire, l'identité de l'Unité Hydrographique de Polynésie (UHP) était solidement établie et les règles d'emploi, de coopération et de subordination de ce nouvel organisme avec le "siège" de la MOP à Nouméa, *L'Estafette* ou les autorités locales, étaient arrêtées par une instruction visée conjointement en décembre 1987 par Comar Papeete et par le directeur de mission.

1.3.2 Indépendance organique et autonomie technique

L'expérience de la création de l'échelon fit particulièrement ressortir la nécessité de définir de manière précise les relations existant entre les différents éléments de la MOP, d'une part, et les règles de subordination de ces éléments vis-à-vis de leurs autorités respectives, d'autre part.

Qu'il s'agisse du domaine technique, opérationnel ou organique, ces règles reposent sur le principe de bon sens selon lequel une autorité ne peut exister que là où elle a les moyens de s'exercer directement. Dans tous les autres cas, il faut la déléguer.

La MOP, rappelons-le, est constituée des cinq éléments suivants, répartis entre les deux échelons :

- à Nouméa : l'Unité Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (UHNC), le BH2 *Boussole* et la VH *Corail*.
- à Papeete : l'Unité Hydrographique de Polynésie (UHP) et le BH1 *L'Estafette*.

Pour éviter les divergences susceptibles de voir le jour entre les éléments d'un même échelon, il fallut d'abord assurer à ces derniers une indépendance organique mutuelle, qui les situât à un même niveau de subordination vis-à-vis de l'autorité maritime locale. Ceci revient à confier à un ingénieur, appelé **chef de l'unité hydrographique**, les fonctions de commandant d'unité, et à faire reconnaître que, dans ses locaux de Nouméa ou de Papeete, cet ingénieur était seul responsable, au même titre qu'un commandant à bord de son navire, et n'avait à rendre de comptes qu'au seul Comar.

En ce qui concerne la gestion des travaux à la mer, il apparut très souhaitable que l'officier de marine ou l'ingénieur, **chef de l'Échelon Polynésie**, disposât d'une large autonomie opérationnelle. Mais cette autonomie devait procéder d'une délégation modulée par le **directeur de mission** ; dans l'ambiance " campagne " régnant dans les forces maritimes du Pacifique, ce dernier devait en effet rester en mesure d'imposer de manière très ferme les normes d'activité en vigueur au SHOM, et de défendre s'il le fallait ces normes auprès des autorités opérationnelles, comme ce fut le cas à la fin de l'année 1986.

Bien que le manque de temps n'ait pas permis de mieux définir dans la lettre - sinon dans l'esprit - les délégations de responsabilités techniques, il était enfin très souhaitable que l'ingénieur, **directeur technique de l'échelon**, disposât d'une autonomie technique étendue. Mais cette autonomie - homogénéité technique oblige - n'était pas une indépendance et devait, elle aussi, procéder d'une délégation.

S'il est normal, en effet, que le directeur technique de l'échelon ambitionne de conduire lui-même ses travaux, de rédiger ses comptes rendus et de viser ses propres documents de rédaction, le directeur de mission doit rester juge de la répartition des moyens humains et matériels de la MOP entre Nouméa et Papeete, en fonction des considérations de rendement évoquées plus haut.

Ces principes une fois admis, l'efficacité globale de la MOP ne pouvait que bénéficier d'une organisation qui encourageait la responsabilité personnelle au sein d'éléments plus autonomes. De fait, le niveau d'activité de l'Échelon Polynésie devint vite satisfaisant et justifia, dès le début de 1987, les grandes orientations prises par le SHOM dans le Pacifique.

1.3.3 Gestion de la contrainte de rendement

Suppression des servitudes inutiles, allègement des plans d'armement, telles étaient de 1986 à 1988 les préoccupations du ministère de la défense.

Le tableau ci-après permet de retracer l'activité, en jours d'emploi, des bâtiments de la MOP au cours des années 1982-1987 :

	1982	1983	1984	1985	1986	1987
BH2 <i>Boussole</i>	162	88	105	118	125	141
VH <i>Corail</i>	137	142	128	122	145	140
BH1 <i>L'Estafette</i>	144	136	133	117	111	147

Si la *Boussole* et le *Corail* montrèrent une productivité satisfaisante de 1986 à 1988, il fallut en revanche plus d'efforts pour hisser celle de *L'Estafette* à un niveau convenable.

Cette expérience devait confirmer l'importance du rôle du directeur de mission dans la gestion de la contrainte de rendement, et la nécessité de disposer de textes réglementaires adaptés. Il apparaît également souhaitable que la notion de rendement soit introduite au niveau des stages de commandement.

1.3.4 Relations extérieures

1.3.4.1 Nouvelle-Calédonie

Les relations avec le commandant de la marine en Nouvelle-Calédonie, qui assure le commandement organique de la MOP à Nouméa, furent aussi étroites que par le passé. Le soutien matériel apporté par cette autorité s'étendit même, pendant la première année, à l'Échelon Polynésie dont l'existence était encore précaire.

En dehors de la gendarmerie nationale, dont les brigades de brousse furent souvent sollicitées, et des hélicoptères Puma de l'armée de l'air ou de l'aviation légère de l'armée de terre (ALAT), dont les services furent toujours appréciés lors des grands mouvements de matériels sur le terrain, les contacts avec les forces armées de Nouvelle-Calédonie (FANC) restèrent relativement rares, malgré la politique de "nomadisation" en vigueur à l'époque.

En dépit de ce que pouvait laisser craindre la lecture de la presse métropolitaine, les relations avec le monde mélanésien, surtout dans les îles excentrées et à l'exception notable d'Ouvéa, furent généralement cordiales.

Le seul incident à déplorer fut la destruction malveillante d'une station de radiolocalisation à proximité des Îles Belep. Mais les explications amicales données par Jean-Marie Tjibaou, président de la région nord et chef du front de libération Kanak socialiste (FLNKS), ainsi que par le grand chef "irréductible" des Belep, auxquels le directeur de la mission avait rendu visite en grande tenue, montrèrent qu'il s'agissait plus d'un malentendu, sur un fond politique délicat, que d'une volonté délibérée de nuire aux activités de la MOP. Ces activités se poursuivirent sans autre difficulté, par exemple sur la côte est, dans la région de Thio réputée pourtant difficile, jusqu'à la veille du référendum d'autodétermination.

La MOP continua, par ailleurs, à entretenir des relations aisées avec les principaux services du Territoire : Haute Administration, Service Topographique, Affaires Maritimes, Phares et des Balises, bureau de Wallis et Futuna, Port Autonome de Nouméa, ORSTOM, etc.

La collaboration avec le Service Topographique s'étendit même à l'exécution d'une campagne conjointe de mesures géodésiques dans les Îles Loyauté.

1.3.4.2 Polynésie française

La MOP ne débarquait pas en terrain inconnu à Tahiti, car il existait déjà des relations anciennes avec les différents services du Territoire, nouées à l'occasion des travaux occasionnels des navires de la mission en Polynésie.

Ces relations furent renforcées, notamment avec les services du Cadastre, des ports et de l'aménagement du Territoire et de l'urbanisme, ainsi qu'avec l'ORSTOM, le laboratoire de géophysique du CEA et le Port Autonome de Papeete.

Les correspondants militaires de l'échelon étaient respectivement Comar Papeete pour les questions organiques, et le centre des opérations d'ALPACI, au Taone, pour l'activité, mais de nombreux contacts directs furent également établis avec les autres services de la marine, tels que la direction du commissariat, les travaux maritimes et surtout, la DCAN de Papeete.

Il convient enfin de souligner l'extrême cordialité des relations dans les îles avec les administrations civiles et territoriales, les gendarmeries et les particuliers, car c'est des concours accordés localement que dépendit souvent le bon déroulement des travaux.

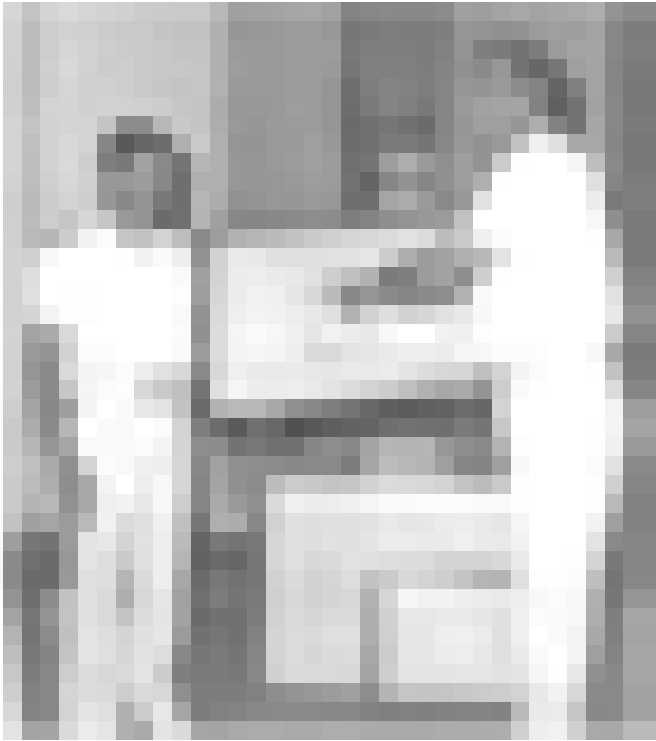
1.3.4.3 Reste du monde

Les autres relations que la MOP put avoir en dehors des Territoires furent liées à la participation régulière à l'accueil de personnalités politiques et militaires métropolitaines. Parmi celles-ci, une place particulière doit être faite au Premier ministre, M. Jacques Chirac, qui se rendit en visite à Futuna avec plusieurs autres ministres, alors que la *Boussole* s'y trouvait en travaux.

La *Boussole*, toujours elle, se rendit deux fois en escale à Sydney, dont une pour célébrer les fêtes du bicentenaire du Commonwealth d'Australie et de la dernière escale connue des navires de la mission *Lapérouse*, en 1788.

A cette occasion, une collection de gravures en taille douce fut offerte de la part du directeur du SHOM à diverses personnalités de la marine et du service hydrographique australiens ainsi qu'au directeur du musée *Lapérouse* à Botany Bay.

Des contacts amicaux furent établis de part et d'autre, et le directeur de mission en profita pour visiter le service hydrographique australien.



L'ICA Laporte, enfin, fut convié à participer à une réunion de concertation des organismes de recherche organisée sous les auspices du secrétaire d'État pour le Pacifique sud, M. Gaston Flosse.

1.4 LES HOMMES

1.4.1 Nouvelle-Calédonie

D'avril 1986 à avril 1988, **l'Unité Hydrographique de Nouvelle-Calédonie (UHNC)** disposait d'un plan d'armement de 26 personnes, dont 3 ingénieurs et 13 officiers-mariniers, répartis entre un service hydrographie, des services techniques et un modeste service général, placé sous l'autorité du major hydrographe Rota, affecté en complément.

Les ingénieurs adjoints au directeur furent successivement l'ingénieur des études et techniques de l'armement (IETA) Deniel jusqu'en novembre 1987, puis l'ingénieur des ETA Dolou pour le service hydrographie. Le chef des services techniques fut l'ingénieur principal des ETA Huet jusqu'en juin 1986 puis l'ingénieur des ETA Porée.

Pendant les fréquentes absences du directeur de mission, le plus ancien des ingénieurs des corps de l'armement présents assurait le commandement de l'unité hydrographique, par symétrie avec l'organisation mise en place en Polynésie, et sans que cela ne soulève jamais de difficulté, ni avec le commandement organique, ni avec les navires affectés à la MOP.

Il faut ajouter que les responsabilités du chef des services techniques s'étendaient à l'Échelon Polynésie. Aussi l'ingénieur des ETA Porée fut-il appelé à se rendre en moyenne deux mois par an à Papeete.

Le BH2 *Boussole* fut commandé par le capitaine de corvette Fustier jusqu'au 4 août 1986, par le lieutenant de vaisseau Jammes à compter du 2 février 1987 et surtout, par le capitaine de corvette Delom pendant la période comprise entre ces deux dates.

Les MP hydrographe Camus, puis Renevot à compter du 7 août 1987, continuèrent, au commandement de la VH *Corail*, à additionner les hectares hydrographiés et à faire honneur à leur spécialité.

1.4.2 Polynésie française

En sa qualité de premier chef de l'unité hydrographique de Polynésie, l'IA Martin-Lauzer eut à résoudre, nous l'avons vu, les multiples difficultés liées au démarrage de l'échelon. En plus de la valeur formatrice et motivante de cette expérience pour un jeune polytechnicien, la réussite de cet exercice difficile montra que le fonctionnement du tandem hydrographique Nouméa/Papeete s'accommodait aisément de l'affectation d'un ingénieur encore peu expérimenté à la direction technique de l'Échelon Polynésie.

L'ingénieur principal Mouscardès, fort de son expérience acquise au sein de nombreuses missions hydro-océanographiques, assura la relève à compter du 26 avril 1987 et acheva ce qui avait été commencé, à savoir l'intégration en douceur de la MOP dans les structures de la marine à Papeete et le renforcement des habitudes de travail propres aux missions du SHOM.

Le chef de l'unité hydrographique était secondé par l'enseigne de vaisseau de première classe (S) Penven.

L'Unité Hydrographique de Polynésie (UHP) était structurée comme son homologue de Nouvelle-Calédonie. Elle disposait d'un plan d'armement de 18 personnes, dont 2 officiers et 9 officiers-mariniers, et fut encore renforcée par l'affectation occasionnelle d'aspirants issus de l'ENSTA, M. Millet puis M. Blanchard⁽¹⁾.



(1) L'aspirant Blanchard devait malheureusement décéder au cours d'une excursion privée en montagne, le 26 avril 1987.

Le BH1 *L'Estafette* fut commandé par le lieutenant de vaisseau Menvielle puis par le capitaine de corvette Ribaga à partir du 9 février 1987. Ces deux officiers reçurent en outre par délégation du directeur de mission la responsabilité opérationnelle de l'échelon.

1.5 MOYENS FLOTTANTS

1.5.1 Emploi des moyens

L'efficacité globale de la MOP est tributaire de la disponibilité des bâtiments et l'on imagine ce qu'a pu représenter pour les services techniques des unités marines la charge de maintenir en état des navires âgés respectivement en 1987 de 25, 25 et 20 ans.

Le rapprochement de *L'Estafette* de Papeete, et du seul arsenal en mesure de l'entretenir, aurait justifié à lui seul la création de l'Échelon Polynésie. Il permettait notamment d'économiser 28 jours sur les transits improductifs et de réduire de trois mois et demi la séparation du port d'attache qui résultait de chaque période d'entretien/réparations à Tahiti.

En dépit des soucis qu'ils causèrent aux autorités organiques, les navires hydro-océanographiques bénéficièrent de toutes les attentions dues à leur âge et les services des opérations se prêtèrent de bon gré aux changements de programme imposés par leurs indisponibilités accidentelles.

Ils ne furent, d'autre part, jamais employés en dehors de leur vocation hydrographique, hormis de très rares urgences décidées en pleine coopération entre les autorités opérationnelles et la mission.

Les tableaux d'emploi des moyens ne figurent pas dans le présent document car ils se trouvent déjà dans les rapports annuels du SHOM



La flottille hydrographique de la MOP au mouillage dans le lagon d'Ouvéa, avant le départ de *L'Estafette* pour Papeete

1.5.2 BH1 *L'Estafette*

Les bâtiments anciens, tels que *L'Estafette*, entrent mal dans les cycles d'entretien programmés. Leur conception robuste est néanmoins une garantie de longévité, marquée, comme pour les rhumatisants, par les petites misères de l'âge et par un nombre croissant d'avaries accidentelles.

Ces dernières entraînent une perte de disponibilité de 44 jours.

Les avaries les plus graves, et qui donnèrent lieu en 1986 à la réunion de commissions d'enquête, concernèrent le circuit d'huile du réducteur et la perte du propulseur d'étrave, consécutive à un talonnage. Les plus irritantes touchèrent à la ventilation, à l'alimentation électrique insuffisante des conditionneurs d'air, aux collecteurs ainsi qu'au gyrocompas. La plus mystérieuse se produisit dans la turbosoufflante ; il fallut 33 jours pour en trouver la cause et la réparer.

En 1987 et 1988, l'équipage de ce BH1, Marine Papeete et la DCAN déployèrent des efforts d'autant plus méritoires pour remettre *L'Estafette* à niveau que cette dernière maintenait parallèlement un taux d'activité élevé.

Il est permis d'espérer aujourd'hui que ces efforts auront porté leur fruit. S'ils ne se relâchent plus, *L'Estafette* devrait posséder encore de belles années devant elle.

1.5.3 BH2 *Boussole*

La *Boussole* cache sa profonde lassitude sous des apparences ripolinées. L'état de propreté irréprochable que lui assurent ses trente trois hommes d'équipage entassés dans des locaux exigus, conjugué au luxe de sa climatisation et de son pont en bois, lui ont toujours permis de conserver une longueur sentimentale d'avance sur *L'Estafette* et de franchir haut la main le cap des inspections générales.

Mais son entretien, poursuivi avec un grand sérieux, est une source constante de préoccupations pour les services techniques qui la tiennent en haute surveillance ; prudence utile quand on se remémore qu'une voie d'eau survint dans ses oeuvres vives corrodées, heureusement sous le nez du commandant, lors du transit retour de Tahiti, en décembre 1986.

De petites avaries de ligne d'arbre, de frigo, de roulements du réducteur et de transducteurs lui coûtèrent dix sept jours de travaux hydrographiques, mais les soucis véritables, jusqu'à son retrait du service, concerneront toujours l'état de sa coque et de ses tuyauteries.

1.5.4 VH *Corail*

Vingt ans après son lancement en 1967, il ne doit plus rester grand chose du *Corail* d'origine. Sa coque par plaques entières et l'un de ses groupes électrogènes ont été changés ; son moteur principal et sa ligne d'arbre ont été maintes fois débarqués pour être réparés en atelier ; ses locaux, enfin, ont été réaménagés pour recevoir des équipements spécifiques dignes de navires beaucoup plus importants.

Aussi la question de son âge n'est-elle pas aussi significative qu'il le paraît et la décision de le retirer du service semble procéder, pour un non initié, davantage d'un principe que d'une nécessité. C'est du moins ce qui ressortait de la dernière inspection générale, passée en mars 1988.

L'attente de pièces de rechange de son moteur principal prolongea sans doute de plusieurs semaines l'IPER du *Corail* en 1987, mais, cet incident de parcours mis à part, ses indisponibilités accidentelles ne dépassèrent pas trois jours au total.

1.6. BASES DE LA MISSION

1.6.1 Nouméa

L'unité hydrographique de Nouvelle-Calédonie disposait à Nouméa des mêmes locaux que ceux décrits dans le rapport de l'ICA Thouin⁽²⁾. Ces locaux étaient bien adaptés aux besoins des services techniques qui, rappelons-le, assuraient aussi le soutien de l'Échelon Polynésie, mais les salles de rédaction étaient devenues largement surdimensionnées pour des effectifs réduits de 40 %.

A la demande des travaux maritimes, une nouvelle pré-étude de définition, largement inspirée du projet établi en 1979 par l'ICA Cailliau fut rédigée, et la décision, maintes fois reportée, d'entreprendre la construction d'un nouveau bâtiment fut enfin prise par le département. Cette construction était sur le point de commencer en 1988.

1.6.2 Papeete

L'Échelon Polynésie est installé, depuis juillet 1986, dans un

ensemble de locaux bien adaptés, situés à Papeete dans la caserne Bir-Hakeim et dans l'arsenal. Ces locaux, dont la superficie atteint 369 m², sont décrits dans l'appendice 1.

1.7. MOYENS DE LA MISSION ET QUESTIONS LOGISTIQUES

1.7.1 Véhicules

La dotation réglementaire de la mission en véhicules comprenait 5 camionnettes 504 Dangel récentes. Mais ce plan d'armement déjà bien adapté était généreusement complété par les autorités organiques selon les besoins ; il s'y ajoutait notamment une Peugeot 304 réservée en principe aux déplacements du directeur de mission à Nouméa. De plus, marine Papeete mettait systématiquement un véhicule à la disposition du directeur de mission quand celui-ci se rendait en Polynésie.

La valeur moyenne, sur deux ans, du ratio⁽³⁾ inventé pour suivre l'état de disponibilité de ce parc a été de 1,07.

A compter de décembre 1986, 40 % du parc réglementaire était affecté à l'Échelon Polynésie. Quelques véhicules furent mis en place sur des îles lointaines quand les possibilités de transport le permirent.

Les 504 Dangel sont des véhicules bien adaptés aux terrains difficiles, mais assez fragiles. Des propositions visant à remplacer certains d'entre eux par des berlines routières moins coûteuses, et suffisantes pour la circulation sur routes goudronnées, furent présentées à l'occasion des inspections générales.



504 Dangel pick-up sur la "route" de Atuona à Hanaiapa, à Hiva Oa

(2) Voir *Annales Hydrographiques* - n° 761 - 19860

(3) Ce ratio est défini comme le quotient de la somme des journées de véhicules effectivement disponibles par celle des journées potentielles, déduites de la dotation réglementaire.

1.7.2 Drome

Les caractéristiques de la drome de la MOP sont commentées dans le rapport de l'ICA Cailliau⁽⁴⁾ auquel on se reportera.

La dotation, inchangée en 1986-1988, était la suivante :

	UH Nouméa	UH Papeete	L'Estafette	Boussole	Corail
VH9			2		
VH8				2	
Plaque métallique	2	2	1	1	1
Zodiac (6 et 10 pl)	2	1	2	2	2
Motopropulseurs	10	5	2	2	2

Toutes les vedettes de sonde avaient été équipées de récepteurs VHF Sailor et de sondeurs Deso 20. La comptabilité électromagnétique de leurs équipements avait été améliorée. Les VH8 de la *Boussole* avaient en plus bénéficié d'un entretien de coque approfondi dans un chantier civil de Nouméa.

1.7.3 Équipements

1.7.3.1 Généralités sur la logistique

En dépit des 4700 kilomètres qui les séparent, Nouméa et Papeete sont unis par la simplification des liens administratifs et commerciaux qui rapprochent les territoires français du Pacifique sud. Tandis que les communications avec la métropole sont toujours des événements exceptionnels, les échanges entre la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française font partie de la banalité quotidienne. Il est donc naturel que dans le domaine logistique, la MOP constitue une seule entité pour le SHOM.

Lors du redéploiement de la MOP, l'EPSHOM avait pris soin de doter la mission d'un complément appréciable de matériels scientifiques afin d'accroître l'autonomie de l'Échelon Polynésie. Ces dispositions furent complétées, sur le plan interne, par la création d'une structure neutre qui coiffait les services techniques des Échelons de Nouméa et de Papeete. Cette structure, qui donna toute satisfaction, était placée sous la responsabilité de l'ingénieur des ETA électronicien ; elle répartissait les matériels, organisait la formation des techniciens dépanneurs, supervisait la comptabilité, procédait aux étalonnages, etc.

De fait, il est apparu que les échanges de personnels ou de matériels en tout genre se faisaient de manière aisée et que le soutien de Nouméa à Papeete, ou l'inverse, pouvait s'exercer dans des délais et à des coûts beaucoup plus intéressants que si l'établissement principal avait eu affaire à deux missions distinctes. Comme on peut l'imaginer, les transits de routine des bâtiments de guerre entre les territoires français du Pacifique furent mis à profit systématiquement pour les transports de matériels lourds.

161 fiches d'avarie furent rédigées, soit une moyenne

mensuelle de 4 pour l'atelier principal de Nouméa et 2,7 pour l'atelier de Papeete. Ces fiches concernaient les matériels suivants :

- matériel Trident	: 47
- sondeurs latéraux	: 25
- récepteurs JMR	: 12
- matériel VHF portatif	: 14
- matériel HYDRAC	: 25
- matériel divers	: 38

1.7.3.2 Sondeurs

En plus de ses sondeurs Deso 10 portatifs, la MOP possédait un parc homogène constitué de sondeurs Deso 20 et Raytheon modernes. Ces équipements ne lui causèrent jamais d'ennuis sérieux.

1.7.3.3 Trident III

Un soin particulier fut apporté à l'entretien et à la mise en œuvre des matériels Trident III. Ces derniers donnèrent entière satisfaction en Nouvelle-Calédonie où les travaux de longue haleine se prêtaient aux opérations d'envergure, avec mise en place et récupération des stations par hélicoptère, puis remise en condition et étalonnage systématique à Nouméa avant toute nouvelle implantation.



Démontage d'une station Trident avec panneaux Genewatt par hélicoptère Puma à Yandé (mars 1988)

(4) Voir *Annales Hydrographiques* - n° 761 - 1986

Leur efficacité fut encore accrue par la fourniture des alimentations solaires Photowatt.

Les choses furent moins simples en Polynésie, car il fallait changer d'implantation au gré des levés et le climat des Marquises devait se révéler particulièrement éprouvant pour l'électronique. Les dépannages du premier degré et les étalonnages étaient exécutés à Papeete. Les pannes graves donnaient lieu au renvoi du matériel à Nouméa. On profita enfin de l'une des fréquentes rotations de Batral pour procéder en janvier 1988 à l'échange des chaînes Trident de Nouméa et de Papeete.

La répartition du matériel était la suivante :

	Nouméa	Papeete	Total
Interogateurs	4	4	8
Balises	7	7	14
Panneaux solaires	7	6	13
Groupes électrogènes	2	2	4

1.7.3.4 Courantomètres et marégraphes

La mission détenait un parc de 6 courantomètres Suber SLS 11 et de 13 marégraphes, dont 2 Suber SLS 13 à Papeete, 2 Suber SLS 23 à Nouméa et 9 OTT R 16.

Les **mesures de courant** se faisaient à 5 mètres sous la surface, pendant des périodes de deux semaines environ et selon une période d'échantillonnage de dix minutes. Le traitement primaire des mesures était réalisé à la mission au moyen du logiciel Subcou décrit dans la fiche technique n° 16 EPSHOM/E/OC/NP du 9 janvier 1985.

Les deux types de mouillages utilisés sont représentés sur la planche 2.

Pour la **réduction des sondes**, l'Échelon de Nouméa s'en est tenu au marégraphe à flotteur dont les enregistrements étaient numérisés sur table Altec. Sans y renoncer complètement, Papeete lui préférait les marégraphes SLS 13, associés au logiciel Submar décrit dans la fiche n° 390 EPSHOM/E/OC/NP du 3 octobre 1985. Le traitement des mesures SLS 23 était réalisé au moyen du logiciel décrit dans la fiche n° 367 EPSHOM/E/OC/NP du 22 septembre 1987.

Les marégraphes à pression étaient mis en place par plongeur, dans des cages du modèle représenté sur la planche 2.

1.7.3.5 Matériels de recherche d'obstructions

Les **sondeurs latéraux EG & G**, qui étaient à bout de souffle, furent une source de problèmes continuels. Pour le seul levé des voies recommandées de la côte est de Nouvelle-Calédonie, on ne dénombra pas moins de 12 pannes majeures, sans compter les multiples journées perdues à permuter les appareils, tenter de parfaire les réglages ou refaire les profils douteux.

La dotation de la MOP était répartie de la manière suivante :

	Nouméa	Papeete	Total
Enregistreur	2	3	5
Poisson	2	3	5
Câble 50 m	2	3	5
Câble 150 m	2	1	3
Câble 600 m		1	1
Treuil Klein	1	1	2
	(manuel)	(électrique)	

Pour garantir la sécurité de la navigation dans la Passe de Yandé, et ce malgré les contre-recommandations du rapport de l'ICA Cailliau déjà mentionné, la seule **drague hydrographique** restant à la MOP fut remise en état sur une longueur de 270 mètres. Cette opération, qui constituait déjà une performance en soi, fut suivie d'un dragage grandeur nature par le *Corail* et les deux vedettes de la *Boussole*. En dépit du très beau temps, et au terme d'une journée de travail, le fil de drague se rompit en trois tronçons sous l'effet de la houle du large. L'imprécision des procédures de test et la lourdeur du procédé confirme l'opinion des précédents directeurs : la drague américaine est devenue un anachronisme ; le sondeur latéral doit lui être préféré dans tous les cas.

1.7.3.6 Matériels d'acquisition et de traitement des données

En 1986, la mission était dotée d'une collection disparate de matériels informatiques. Le traitement des données était réalisé en principe sur calculateurs Tektronix et HP 9816. L'acquisition se faisait sur Hydrac "vedette" ou sur Hydroboucle et Hydest, associés aux calculateurs HP 9816 à Papeete, HP 83 à Nouméa.

Lors de la création de l'Échelon Polynésie, et pour ne pas ajouter une difficulté supplémentaire à celles auxquelles il était déjà confronté, il fut décidé de l'équiper en matériel Hewlett-Packard exclusivement, dont deux calculateurs HP 9816.

	Nouméa	Papeete
Ensemble HP 9816 (avec lecteur double disquettes, disque dur et imprimante)	2	2
Cartouche Bering	1	
Ensemble HP 83 (avec lecteur double disquettes, imprimante et traceur HP)	3	
Traceur HP		1
Table à numériser Altec	2	1
Table Benson	1	2
Hydroboucle + Hydest	2	2
Platine Hydrolec	1	3
Hydrac "vedette"	4	4

C'est ainsi que pendant deux ans, le gros de la rédaction de Nouméa ne reposa que sur son unique calculateur HP 9816. La difficulté de travailler sur deux systèmes incompatibles, notamment au niveau des fichiers d'archivage, était en effet telle que l'on renonça dans la pratique à utiliser le matériel Tektronix. Celui-ci fut d'ailleurs renvoyé en métropole.

1.7.3.7 Matériels de transmission

Pour les transmissions VHF en travaux, la mission avait été pourvue de 32 émetteurs-récepteurs Motorola TRPP 32.

Ces matériels commodes et performants devaient se révéler d'abord beaucoup trop fragiles pour les missions en ambiance tropicale sévère. Au premier trimestre 1987, la dotation de l'Échelon Polynésie se trouvait réduite à 3 postes par suite des pannes. La situation redevint normale dès que les circuits de réparation eurent trouvé leur régime de croisière et le taux de pannes se stabilisa autour d'une moyenne annuelle de 4,3 appareils à compter d'avril 1987.

Au bout de 18 mois, les accus qui supportaient particulièrement mal le climat des Marquises ne tenaient plus la charge que pendant une demi-heure. On improvisa des solutions de remplacement à partir de batteries au plomb achetées à Tahiti.

L'Échelon Polynésie disposait de 14 appareils ; celui de Nouvelle-Calédonie en possédait 18.

1.7.3.8 Récepteurs de satellites Transit

Pour ses travaux de géodésie fondamentale, la mission mit en œuvre jusqu'à 4 récepteurs JMR IV, mais ce matériel n'était plus très fiable et connut un taux de pannes élevé.

1.7.4 Concours extérieurs

Bien qu'ils aient été ou non prévus dans les demandes annuelles, les concours nécessaires au fonctionnement de la mission furent toujours accordés par les autorités locales avec beaucoup de facilité.

Ces concours, exprimés en heures de vol pour les aéronefs et en journées utiles pour les autres moyens, représentèrent le volume suivant :

	Nouvelle-Calédonie	Polynésie
Embarcations	4	4
Navires (P 400, Batrals, Patrouilleurs, etc.)	7	44,1
Camions avec ou sans chauffeur	11,4	10,2
Véhicules légers (304 du directeur non comprise)	7,4	39
Hélicoptères (Alouette III ou Puma)	61	11,3
Chevaux		2



Des chiens, des chevaux et des hommes, sur les hauteurs du cap Teahoa, entre Vaiu et Pua, à Hiva Oa

Il conviendrait de leur ajouter les convois occasionnels vers les îles des moyens de la mission et les multiples tentatives de prise de vues de l'atoll d'Apataki, par Gardian de la marine ou Navajo du territoire.

1.7.5 Frais de déplacements

Le taux de frais de déplacements dans les territoires français du Pacifique, où le coût de la vie est deux fois plus élevé qu'en métropole, est fixé depuis 1962 à des valeurs dérisoires comprises entre 684 et 1145 francs Pacifique par jour (38 à 63 francs français). Il ne pouvait être question, dans ces conditions, d'envisager la moindre mission de personnel à terre sans faire appel à d'autres modalités.

La plupart du temps, et quelle que soit la nature des travaux, le soutien du personnel à terre fut assuré par les bâtiments, souvent au prix de transits inutilement coûteux. Une autre solution, quand on ne pouvait pas faire autrement, consistait à placer le personnel au régime des vivres isolés (2000 FCP).

1.8. MÉTHODES

1.8.1 Acquisition et traitement des données géoscientifiques

La MOP s'efforça dans toute la mesure du possible d'utiliser les programmes de traitement de données mis au point par l'établissement principal.

L'application de ce principe souleva un certain nombre de difficultés pratiques liées d'une part à l'existence de deux chaînes d'acquisition distinctes en Mélanésie et en Polynésie, d'autre part à la nécessité d'adapter certains programmes ou fichiers d'archivage aux contraintes locales. Pour citer un exemple, et montrer que ces adaptations résultaient bien d'une obligation et non d'une volonté délibérée de modifier les programmes de l'EPSHOM, le fichier d'archivage ACQLCS ne permettait pas, dans la version d'origine, d'intégrer les lieux optiques, alors que ces derniers sont couramment utilisés dans les petits levés outre-mer. Il n'était pas non plus prévu pour l'hémisphère sud.

Quoi qu'il en soit, l'affectation à la MOP d'officiers-mariniers programmeurs familiarisés avec les méthodes en usage dans les missions métropolitaines, et souvent en possession des dernières versions des programmes homologués, permit à la mission de rentrer progressivement dans le rang.

De 1986 à 1988, la situation peut être résumée ainsi :

Mélanésie :

- Mise en œuvre systématique des matériels Hydrac, généralement sans la version Procal, et avec simple archivage de la localisation.
- Emploi de la chaîne d'acquisition développée par l'EPSHOM sur HP 83 jusqu'à constitution du fichier Traval, puis transfert de ce fichier et traitement sur HP 9816 jusqu'au tracé définitif.

La chaîne de traitement spécifique à la MOP, non homologuée, avait été éliminée au début de 1987.

Polynésie :

- Mise en œuvre systématique des matériels Hydrac, généralement dans la version Procal, et avec archivage de la localisation comme de la sonde.
- Emploi de la chaîne d'acquisition développée par l'EPSHOM sur HP 9816, avec passage sur fichier "Z\$" pour intégration des relevements optiques, puis traitement comme à Nouméa.

Le fichier "Z\$" fut remplacé fin 1987 par le fichier ACQLCS modifié.

Dans le cadre des études entreprises à la MOP pour améliorer le traitement des données, il convient enfin de mentionner la méthode de détermination sans triangulation des coordonnées d'un réseau de radiolocalisation. Cette méthode, basée sur une estimation optimale des positions d'un champ de balises, obtenue en appliquant le principe de l'inversion non linéaire à une collection surabondante d'équations d'observation, fit l'objet d'une étude distincte⁽⁵⁾, malheureusement le décès accidentel de l'aspirant chargé d'en rédiger le logiciel ne permit pas de donner une suite pratique à ce développement très prometteur, puisqu'il permettait, sur des applications réelles, de converger sur des coordonnées ayant une précision de l'ordre de 0,5 mètre.

1.8.2 Précision des mesures

Les méthodes de mesure, d'étalonnage des appareils et d'analyse des résultats permettent de garantir à l'ensemble des levés hydrographiques exécutés de 1986 à 1988 la norme de précision minimale⁽⁶⁾ définie par l'OHI dans la publication spéciale n° 44 (2^e édition, 1982).

En particulier, la position du porte-sondeurs fut toujours assurée par un minimum de trois lieux géométriques se coupant sous un angle favorable. Les chaînes Trident III furent étalonnées, après chaque révision, sur une base géodésique. Cet étalonnage fut systématiquement contrôlé

⁽⁵⁾ Voir rapport d'étude n° 002/89 - "Détermination of a geodetic network at sea from a set of distance estimator", par F.R. Martin-Lauzer et J.L. Blanchard.

⁽⁶⁾ L'erreur dans la mesure des profondeurs ne devrait pas être supérieure à : a/ 0,3 mètre, de 0 à 30 mètres ; b/ 1,0 mètre de 30 à 100 mètres ; c/ 1 % des profondeurs supérieures à 100 mètres. L'erreur probable sur la position des sondes n'excede pas deux fois l'erreur graphique minimum à l'échelle du levé (normalement 1,0 mm sur le papier).

⁽⁷⁾ Voir rapport de la mission océanographique de Méditerranée, par l'IPA Laporte (cf. *Annales Hydrographiques* - n° 761 - 1986)

dans les zones levées par des visées optiques au théodolite. Quand aux sondeurs eux-mêmes, ceux des vedettes et du *Corail* furent étalonnés quotidiennement à la barre ; ceux des bâtiments le furent par comparaison avec les sondeurs des vedettes précédemment étalonnés.

La célérité du son, au large, fut calculée à partir des sondages bathythermiques.

Il est à noter que le procédé de contrôle des sondeurs à la barre d'étalonnage est tout à fait inadapté aux sondeurs modernes tels que le Deso 20, et constitue une régression par rapport aux pratiques d'autres missions du SHOM⁽⁷⁾, mais la MOP ne disposait pas de transducteur d'étalonnage et ne reçut que tardivement des bathycélérimètres.

Quoiqu'il en soit, la précision moyenne des mesures peut être résumée dans le tableau suivant :

	Localisation	Sonde
Levés de précision dans les ports et les plans d'eau abrités, profondeurs faibles	meilleure que 1 m	10 cm
Baies et lagons abrités, profondeurs inférieures à 60 mètres	2 m	30 cm
Sondages côtiers et sondages large avec Trident III	meilleure que 5 m	meilleure que 1 % de la profondeur
Sondages large (estime recalée sur points Transit)	meilleure que 1000 m	meilleure que 1% de la profondeur

1.8.3 Télédétection

1.8.3.1 Topographie par levés aériens

Les grands territoires français du Pacifique possèdent en général des couvertures photographiques aériennes homogènes, mais les archipels isolés de Polynésie ne peuvent être restitués, par suite du caractère aléatoire et du coût des interventions complètes ainsi que de l'absence de stéréo-préparation.

Dans ces conditions, seuls les levés systématiques de Nouvelle-Calédonie purent bénéficier de préparations topographiques Traster, réalisées par l'établissement à partir des couvertures IGN récentes aux échelles 1 : 20 000 et 1 : 40 000. Ces préparations, qui faisaient l'objet d'une validation sur le terrain, étaient ensuite corrigées et transformées en minutes de topographie (minutes T) définitives.

L'échelonnement des travaux se faisait dans l'ordre suivant :

1/ Piquage des photographies par hélicoptère ou par le *Corail* doté de moyens légers. Ces opérations, parfois laborieuses quand il fallait se passer de moyens aériens, pouvaient s'étendre sur plusieurs mois,
 2/ Restitution à l'EPSHOM,
 3/ Six mois environ après la fin des piquages, réception des minutes de topographie et début du levé proprement dit.

Pour les petits levés, on procéda, comme dans le passé, à la restitution des photos au moyen du stéréoflex SOM conservé à Nouméa. Cette mesure s'appliqua notamment au levé de Rapa.

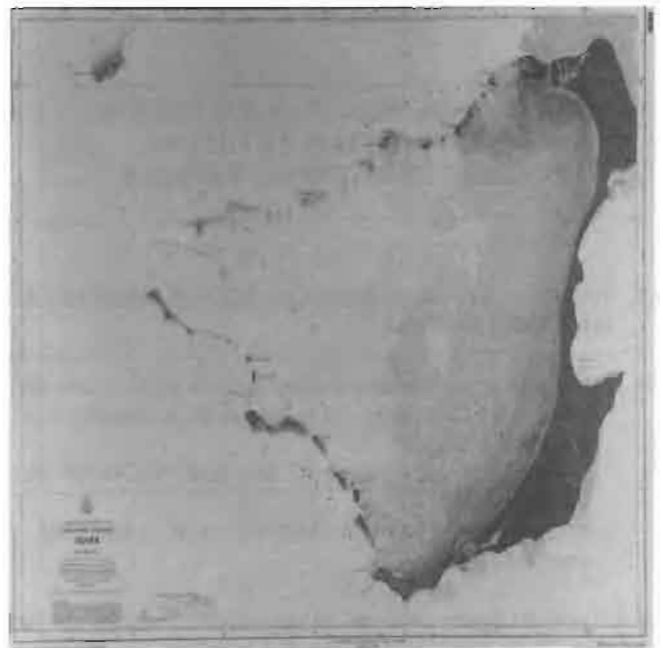
Le service de l'aménagement du Territoire de Polynésie française, enfin, possède des couvertures photographiques incomplètes, à grande échelle (1 : 5 000 et 1 : 10 000) de quelques baies, et à petite échelle (1 : 25 000 et 1 : 30 000) de la plupart des îles. Certaines de ces couvertures, restituées par la société SAT à Papeete, furent exploitées par la mission (Hakahau, Atuona, Tai O Hae et Vaitahu).

1.8.3.2 Exploitation de l'imagerie satellitaire

Les premières scènes Spot, tirées en noir et blanc sur papier photo, furent reçues à la MOP au début de 1987. Elles concernaient les atolls d'Ouvéa et d'Apataki à 1 : 100 000, sur les quatre canaux, ainsi que les Marquises à 1 : 500 000.

Une série de mesures topographiques fut d'abord programmée à Apataki pour tenter de définir une méthode de piquage applicable aux scènes Spot, et susceptible de remplacer dans les atolls de Polynésie les laborieux travaux de stéréopréparation évoqués plus haut.

Cette opération, la première du genre, devait être suivie par le recueil des données nécessaires à l'interprétation de la scène Spot d'Ouvéa et à l'élaboration, par l'EPSHOM, d'une spatiocarte expérimentale.



Spatiocarte expérimentale d'Ouvéa

1.8.4 Toponymie

Alors qu'en Nouvelle-Calédonie, le service topographique du Territoire procède, en liaison avec l'IGN, au recueil systématique des toponymes, la situation ne semble guère avoir évolué en Polynésie depuis les années 50. L'action de la MOP s'est donc inscrite dans la tradition d'hydrographie exhaustive qui conduisit les chefs de mission de l'époque à entreprendre des enquêtes toponymiques originales afin de renseigner les cartes marines qui constituaient alors les seuls documents officiels.

Les efforts consacrés à cette activité allèrent en croissant, en fonction de la pauvreté de la documentation officielle et de l'expérience de la mission. Ils culminèrent avec l'enquête toponymique des Marquises qui mit en œuvre les moyens les plus importants, ainsi qu'il ressort du tableau ci-après :

Levé	Type d'enquête	Potentiel employé
Futuna	Complément, pour la partie côtière, à une enquête de l'IGN	Un aspirant assisté par un ingénieur pendant quelques jours
Hao	Enquête approfondie	Consultation de multiples informateurs locaux et des archives de la mairie. Enquête documentaire. Un ingénieur pendant plusieurs jours
Rapa	Enquête approfondie	Idem. Réunion d'un comité local de toponymie
Marquises	Enquête complète	30 jours de travail pour un officier enquêteur, assisté d'un OM locuteur. 18 jours de P 400. Recueil systématique de l'information auprès des communes et des associations

Chapitre 2

TRAVAUX EN NOUVELLE-CALÉDONIE AINSI QU'À WALLIS ET FUTUNA, PLAGEAGES ET TRAVAUX DIVERS

2.1. TRAVAUX EN NOUVELLE-CALÉDONIE AINSI QU'À WALLIS ET FUTUNA

2.1.1. Levé d'une voie recommandée dans le lagon ouest de la Nouvelle-Calédonie, de la Passe de la Gazelle à la Baie de la Néhoué

- Instructions techniques n° 697 SHOM/EM/NP du 27 août 1985
- rapport particulier n° 345 MOP/NP du 31 juillet 1986
- voir planche n° 3

2.1.2. Levé du lagon nord de la Nouvelle-Calédonie, de la Passe de Yandé à la Passe de Leleizour

- Instructions techniques n° 1000 SHOM/EM/NP du 27 novembre 1985
- 1^{re} partie : de la Baie de Banaré à l'île Baaba
- rapport particulier n° 48 MOP/NP du 11 février 1988
- voir planche n° 6

2.1.3. Levé de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie du Cap Goulvain à la Passe Duroc

- Instructions techniques n° 107 SHOM/EM/NP du 3 février 1986
- 1^{re} partie : du Cap Goulvain à la Baie de la Poya
- rapport particulier n° 60 MOP/NP du 25 février 1988
- voir planche n° 7
- photographies obliques de Bourail à Pouembout
- rapport particulier n° 61 MOP/NP du 25 février 1988

2.1.4. Levé du lagon ouest de la Nouvelle-Calédonie, de la Baie de Saint-Vincent à la Passe d'Ouarai

- Instructions techniques n° 1062 SHOM/EM/NP du 7 décembre 1984
- rapport particulier n° 122 MOP/NP du 24 mars 1987
- compléments de la Baie de Saint-Vincent à la Coupée Mara

2.1.5. Levé complémentaire sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie

- Instructions techniques n° 921 SHOM/EM/NP du 29 octobre 1984
- rapport particulier n° 95 MOP/NP du 8 avril 1988

2.1.6. Levé au sondeur latéral de voies recommandées au sud de Nouméa

- Instructions techniques n° 512 SHOM/EM/NP du 7 août 1987
- rapport particulier n° 96 MOP/NP du 8 avril 1988
- voir planche n° 4

2.1.7. Levé à Futuna

- Instructions techniques n° 939 SHOM/EM/NP du 8 novembre 1985
- rapport particulier n° 32 MOP/NP du 28 janvier 1987
- voir annexe 1 pour l'enquête de la partie toponymie

2.2. PLAGEAGES

2.2.1. Maré : Baie de Niri

- Instructions techniques n° 99 COMAR/NOUMÉA/OPS/NP du 24 octobre 1988
- rapport particulier n° 453 MOP/NP du 21 novembre 1986

2.2.2. Maré : Baie de Tadine

- DM 910 SHOM/EM/NP du 22 octobre 1986
- rapport particulier n° 37 MOP/NP du 31 janvier 1988

2.2.3. Lifou : Xépénéhé

- DM 910 SHOM/EM/NP du 22 octobre 1986
- rapport particulier n° 433 MOP/NP du 29 octobre 1987

2.2.4. Baie de Prony

- DM 666 SHOM/EM/NP du 20 octobre 1987
- rapport particulier n° 90 MOP/NP du 7 avril 1988

2.3. TRAVAUX DIVERS

2.3.1. Port autonome de Nouméa

- Convention 2/80
- rapport particulier n° 450 MOP/NP du 17 novembre 1986

2.3.2. Îlot Amédée

- Convention 2/80
- rapport particulier n° 75 MOP/NP du 27 février 1987

2.3.3. Îlot Signal

- Convention 2/80
- rapport particulier n° 413 MOP/NP du 6 octobre 1987

2.3.4. Koumac

- DM 900 SHOM/EM/NP du 24 octobre 1985
- rapport particulier n° 216 MOP/NP du 23 mai 1986

2.3.5. Pam : Wharf

- Instructions techniques n° 99 COMAR/NOUMÉA/OPS/NP du 15 mai 1986
- rapport particulier n° 453 MOP/NP du 21 novembre 1986

2.3.6. Wallis : Wharf de Mata Utu

- rapport particulier n° 15 MOP/NP du 29 janvier 1987

2.3.7. Prélèvement de feuilles de filao

- Instructions techniques transmises par NE 90 SHOM/EM/NP du 28 janvier 1986
- rapport particulier n° 247 MOP/NP du 10 juin 1986

2.3.8. Ouvéa

- Instructions techniques n° 748 SHOM/EM/NP du 13 septembre 1985
- rapport particulier n° 505 MOP/NP du 29 décembre 1986
- voir planche n° 5

2.3.9. Enquête sur les effets du cyclone "Raja" à Futuna

- rapport particulier n° 32 COMAR NOUMEA/OPS/NP du 2 mars 1987

Chapitre 3

TRAVAUX EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

- 3.1. Levé de contrôle à Bora-Bora
- Instructions techniques n°837 SHOM/EM/NP du 10 octobre 1985
- rapport particulier n°126 MOP/PPT/NP du 1^{er} décembre 1986
- 3.2. Levé de complément à Maupili
- Instructions techniques n° 825 SHOM/EM/NP du 7 octobre 1985
- rapports particuliers n° 118 MOP/PPT/NP du 28 novembre 1986 et 8 MOP/PPT/NP du 12 janvier 1987
- 3.3. Levé à Rapa
- Instructions techniques n° 102 SHOM/EM/NP du 23 janvier 1986
- levé proprement dit et topographie expédiée des îles Morotiri
- rapport particulier n° 117 MOP/PPT/NP du 2 novembre 1987
- voir planche n° 9
- toponymie
- rapport particulier n°119 MOP/PPT/NP du 2 novembre 1987
- voir annexe 3
- 3.4. Levé de reconnaissance sur le guyot Mac Donald
- DM 900 SHOM/EM/NP du 20 octobre 1985
- rapport particulier n° 41 MOP/PPT/NP du 24 février 1987
- voir planche n° 10
- 3.5. Levé à Apataki
- Instructions techniques n° 479 SHOM/EM/NP du 20 mai 1986
- rapport particulier n° 32 MOP/PPT/NP du 12 mars 1988
- voir planche n° 11
- 3.6. Levé de contrôle à Hao
- Instructions techniques n°971 SHOM/EM/NP du 19 novembre 1985
- bathymétrie
- rapport particulier n° 58 MOP/PPT/NP du 26 mars 1987
- toponymie
- rapport particulier n° 59 MOP/PPT/NP du 29 mars 1987
- voir annexe 2
- 3.7. Levé aux Marquises (Fenua Enata)
- Instructions techniques n°1032 SHOM/EM/NP du 28 novembre 1986
- généralités
- rapport particulier n° 22 MOP/PPT/NP du 8 avril 1988
- toponymie
- rapport particulier n° 35 MOP/PPT/NP du 14 mars 1988
- voir annexe 4
- Fatu Iva
- rapport particulier n° 23 MOP/PPT/NP du 8 avril 1988
- voir planche n° 12
- Ua Pou
- rapport particulier n° 24 MOP/PPT/NP du 8 avril 1988
- voir planche n° 13
- Tahuata
- rapport particulier n° 25 MOP/PPT/NP du 8 avril 1988
- voir planche n° 14
- 3.8. Travaux géodésiques de base et reconnaissance bathymétrique aux Tuamotu
- Instructions techniques n° 1133 SHOM/EM/NP du 19 décembre 1986
- 3.9. Travaux divers à Papeete
- Convention 15/85 et DM 910 SHOM/EM/NP du 22 octobre 1986
- Revue d'amers
- rapport particulier n° 115 MOP/PPT/NP du 5 janvier 1988
- Port Autonome
- rapport particulier n° 26 MOP/PPT/NP du 8 avril 1988
- voir planche n° 8
- 3.10. Contrôles hydrographiques sur les sites d'expérimentations nucléaires
- Instructions techniques n° 178 SHOM/EM/-du 3 mars 1987
- rapports particuliers n° 27 MOP/PPT/- du 8 avril 1988 et 147 MOP/PPT/- du 18 décembre 1986

Appendice 1

L'échelon Polynésie de la MOP

1. PRÉSENTATION DE L'ÉCHELON POLYNÉSIE

Depuis 1986, la Mission Océanographique du Pacifique (MOP), basée jusqu'alors en Nouvelle-Calédonie, dispose d'un échelon permanent à Tahiti, constitué du Bâtiment Hydrographique de 1^{re} classe *L'Estafette* et d'un ensemble de personnels, de moyens et de locaux regroupés sous l'appellation d'Unité Hydrographique de Polynésie.

Les règles de fonctionnement des divers éléments de cette structure nouvelle ont été fixées par une instruction conjointe de Comar Papeete, commandant organique, et du directeur de la MOP, de telle sorte que chacun dispose de la plus grande autonomie possible.

En dehors du domaine technique où les liens avec la MOP, à Nouméa, demeurent étroits, *L'Estafette* et l'Unité Hydrographique de Polynésie occupent une position voisine de celle des autres forces de souveraineté ou organismes résidents de la Marine en Polynésie.

Le présent rapport évoque les particularités de l'Unité Hydrographique de Polynésie et décrit ses locaux à Papeete, dont l'emprise constitue désormais la base secondaire de la MOP.

2. L'UNITÉ HYDROGRAPHIQUE DE POLYNÉSIE

2.1 Personnel

Gestion

Les effectifs de l'Unité Hydrographique de Polynésie se montent à 20 personnes, dont 2 officiers et 1 aspirant, issu de l'École Nationale Supérieure des Techniques Avancées (ENSTA) et désigné par l'intermédiaire de la direction du SHOM.

Ces effectifs sont définis dans un plan d'armement spécifique. Leur gestion est assurée par le bureau personnel "Marine" d'Alpaci.

L'ingénieur de l'un des Corps de l'Armement le plus ancien commande l'Unité Hydrographique par délégation du directeur de la MOP. Cet ingénieur est désigné par le Département.

Discipline

Les pouvoirs disciplinaires sont exercés par les chefs de corps des unités d'accueil : Unité Marine quand le personnel est à Papeete, *L'Estafette* quand il est en mission.

Notation

La notation, préparée à Papeete, est harmonisée avec celle de la MOP à Nouméa.

L'entretien de notation se déroule en présence du directeur de la MOP.

Échanges de personnel entre Nouméa et Papeete

Les échanges entre ingénieurs et personnels à vocation technique (électroniciens, informaticiens) sont fréquents et informels entre les deux composantes de la MOP, à l'image de ce qui se pratique couramment dans les sociétés privées opérant dans le Pacifique Sud, et qui possèdent à la fois un siège à Nouméa et à Papeete.

Ces échanges permettent d'uniformiser les méthodes de levés, de garantir la norme hydrographique et d'assurer soutien et suivi matériel sans recourir systématiquement à l'aide de la Métropole.

2.2 Moyens

Matériels Marine et crédits accordés localement

Dans les domaines matériels courants, l'Unité Hydrographique de Polynésie est un organisme local à part entière, soutenu et administré par la Marine à Papeete, sans interférence de la MOP à Nouméa.

Les plans d'armement en matériels lourds (véhicules, drome) sont définis par le Département.

Instruments scientifiques et crédits spéciaux

En revanche, l'instrumentation et les crédits spéciaux sont gérés par la MOP à Nouméa. La répartition entre Nouméa et Papeete fait l'objet de décisions et de révisions fréquentes, après délibérations internes entre les ingénieurs de la MOP, et en fonction du déroulement des travaux.

3. LA BASE SECONDAIRE DE LA MOP

L'Unité Hydrographique de Polynésie dispose sur le front de mer, du rez-de-chaussée de l'immeuble Bir-Hakeim.



L'immeuble Bir-Hakeim

Cette caserne, éditée dans le style de la III^e République sur le quai de l'Uranie – rebaptisé Boulevard Pomaré – abritait jusqu'en 1965 les locaux de l'Unité Marine.

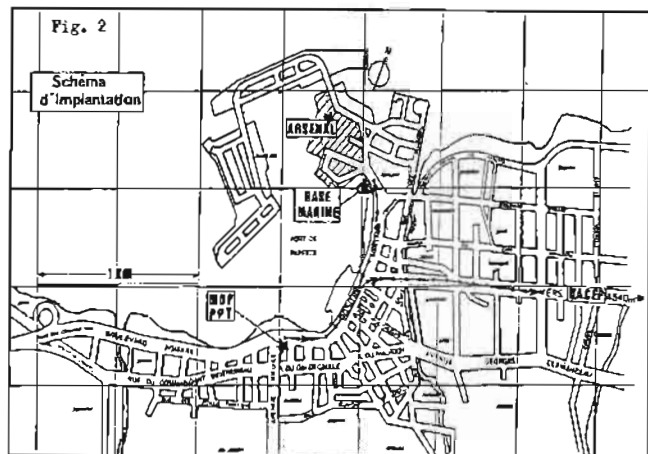


Schéma d'implantation

Le revers de cette agréable situation géographique – en pleine ville, non loin des principales administrations – est un relatif éloignement de la Base Marine et de l'arsenal, aggravé par les difficultés de circulation dans un centre toujours engorgé.

Les bureaux de Bir-Hakeim sont complétés par des ateliers et magasins dans l'arsenal, ainsi que par un poste équipage pour dix hommes dans la Base Marine.

La surface de cet ensemble est indiquée au tableau ci-dessous :

Bureau Bir-Hakeim :	locaux techniques	185 m ²
	dégagements	72 m ²
Ateliers et magasins dans l'arsenal		112 m ²
TOTAL (non compris le poste équipage)		369 m ²

3.1 Les bureaux de Bir-Hakeim

Un schéma des bureaux de Bir-Hakeim se trouve à la planche 1.

Les locaux comprennent :

- Planche 2, fig. 3 : le bureau du directeur technique (21 m²) ;
- Planche 2, fig. 4 : le secrétariat (10 m²) ;
- Planche 2, fig. 5 : le bureau de l'adjoint du directeur technique (7 m²) ;
- Planche 3, fig. 6 et 7 : une vaste salle de dessin (89 m²), comprenant notamment une grande table (3,5 x 2,6 m), un module informatique, un point d'eau, un éclairage très satisfaisant et une multitude de prises de courant murales, ainsi qu'un mobilier classique et une photocopieuse ;

- Planche 4, fig. 8 : un laboratoire d'électronique (58 m²) ;
- des sanitaires et des surfaces de dégagement.

Tous les locaux sont efficacement climatisés.

3.2 Les locaux de l'arsenal

Les magasins et ateliers de l'arsenal se trouvent dans un hangar partagé avec d'autres services.

L'Échelon dispose d'une surface fermée de 112 m², représentée sur le schéma de la planche 5.

Les locaux comprennent :

- un local batterie, conçu selon les normes d'hygiène et sécurité du travail (planche 6, fig. 9) ;
 - un atelier pour les travaux de manœuvre et de mécanique (planche 6, fig. 10) ;
 - des aires de stockage pour drome et matériel lourd.
- L'ensemble, encore sommairement équipé, convient aux gros travaux mais ne dispose malheureusement pas d'installations sanitaires.

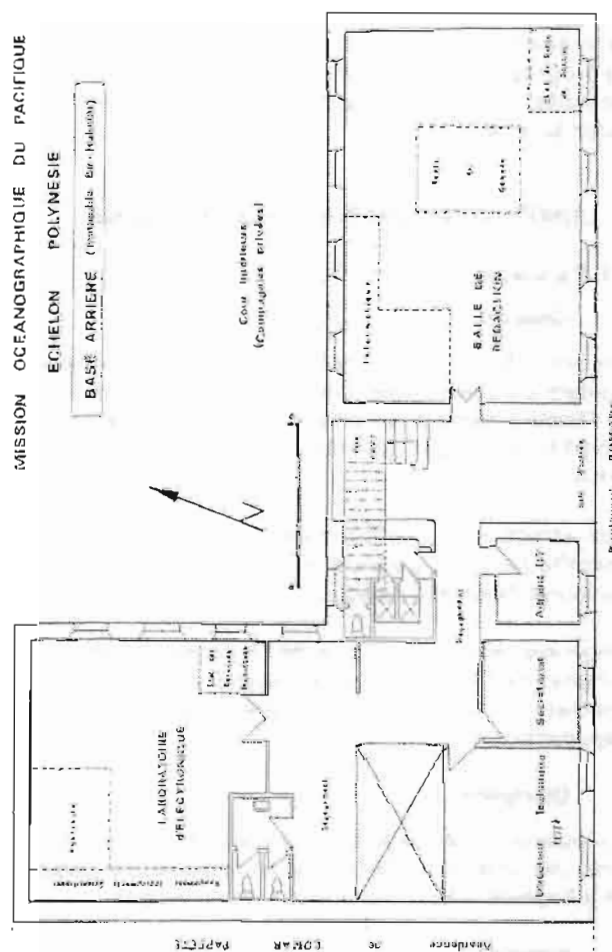


Planche 1

1. 1942 (left)



2. 1942 (right)



3. 1946 (left)



4. 1946 (right)



5. 1946 (left)



Planche 4

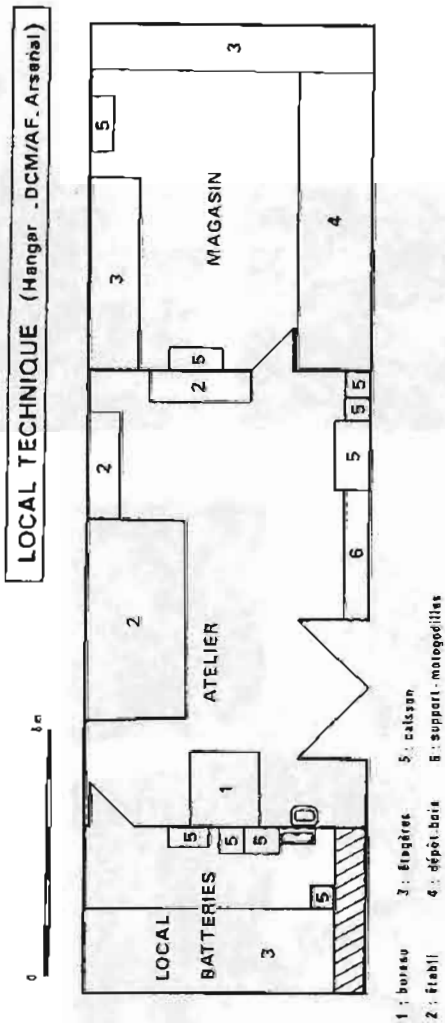


Le laboratoire d'électronique.
A droite, la partie réservée au dépannage de premier degré,
à gauche, l'aire de rangement des matériels scientifiques.

Planche 5

Planche 6

MISSION OCEANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE
ECHELON POLYNESIE



Le local batteries



L'atelier de l'arsenal

Les ateliers et magasins de l'arsenal

Appendice 2

Notes sur les déviations de la verticale observées à Rapa

Ainsi que cela a été relaté dans le corps du rapport de mission, l'isolement géographique de Rapa conduisit à programmer des interventions d'une durée de plusieurs semaines, afin de réduire le poids relatif des temps morts causés par les transits du navire hydrographe. En dehors des sondages, il fallait tromper l'ennui de week-ends passés à arpenter les austères vallées basaltiques de cette île aux formes majestueuses. Tout en conduisant une enquête de toponymie et en participant aux côtés du « Tomana » (le commandant de l'Estafette) aux maigres activités sociales de la communauté rapanaise, les ingénieurs de la mission se lancèrent dans une campagne de mesure optique de dépression de l'horizon en installant leurs théodolites T3 sur les anciens *oppida* polynésiens entourant la baie de Haurei.

L'interprétation des mesures s'avéra plus malaisée que prévu et pas toujours en cohérence avec les observations des grands anciens, notamment de Vallaux qui opérait dans la plupart des cas par la méthode astrogéodétique, sur la base de deux mesures astronomiques au moins géodésiquement liées et non sur l'observation directe de la dépression de l'horizon.

Après avoir procédé à une réduction graphique des visées selon une méthode inspirée des mesures à l'astrolabe à prisme, on coucha sur le papier les équations d'observation et entreprit d'examiner les facteurs entrant dans la composition de la dépression « optique » de l'horizon et surtout, d'analyser les erreurs commises quand on réduit imprudemment les observations.

Les calculs de déviation de la verticale à partir d'observations directes reposent en effet sur des approximations telles que l'assimilation de la surface de la terre à la surface géodésique de référence ou de l'horizon à un cercle, mais de plus, les observations sont bruitées par l'environnement physique (température, état de la mer, marée, etc.) et généralement associées à un traitement graphique qui privilégie trop le critère visuel dans le choix de la solution.

Les notes qui suivent apportent un éclairage sur la complexité de la perception optique de la dépression de l'horizon et montrent que, s'il est possible de corriger les observations astronomiques de la déviation de la verticale obtenue par observation directe, le calcul de ce paramètre doit se faire avec la plus grande prudence.

1. Résolution graphique des observations réalisées à Rapa

La dépression apparente de l'horizon fut observée au moyen d'un théodolite T3 nivelé sur les deux stations d'altitude de Nukutere et Tevaitau, et ce, tous les dix degrés, dans les secteurs de la couronne d'azimut où la mer était visible.

La méthode de réduction graphique utilisée, inspirée de celle des droites de hauteur, consistait à porter sur un diagramme polaire les sites négatifs perpendiculairement à l'azimut observé, puis de tracer le cercle inscrit aux lieux ainsi définis. Les

Station	Module de la déviation de la verticale	Azimut
Nukutere	3"	355°
Te Vaitau	11"	283°

coordonnées du centre du cercle étaient censées fournir le module et l'azimut de la déviation de la verticale.

On obtint ainsi les résultats suivants, dont le manque de cohérence laissa perplexe :

2. Critique de la résolution graphique par la méthode analytique

En posant : δ , la dépression apparente, ou « optique », de l'horizon

d_0 , le biais instrumental = $(\delta - \delta_0)$

$d_i = \Delta H_i$, le site de l'horizon de rang i , mesuré positivement vers le nadir

Z_i , l'azimut de l'observation de rang i ,

les équations des lieux pour un couple d'observations de rang j et k s'écrivent :

$$(I) \quad \begin{aligned} d_j &= \cos Z_j dx + \sin Z_j dy + d_0 \\ d_k &= \cos Z_k dx + \sin Z_k dy + d_0 \end{aligned}$$

La suppression de l'inconnue d_0 (altitude déterminée de manière imprécise, vagues à l'horizon, etc.) par soustraction permet d'obtenir l'équation $(d_j - d_k)$ qui est celle de la bissectrice des lieux :

$$(II) \quad d_j - d_k = -2 \sin \frac{Z_j + Z_k}{2} \sin \frac{Z_j - Z_k}{2} dx + 2 \cos \frac{Z_j + Z_k}{2} \cos \frac{Z_j - Z_k}{2} dy$$

Pour construire le cercle enveloppé par les droites (d_j) , il suffira donc de construire graphiquement le réseau de bissectrices, de rechercher leurs point d'intersection, puis de choisir un point d'intersection moyen qui est le centre du cercle.

On retrouve dans (II) la notion de mesures réciproques, faites dans des azimuts opposés pour améliorer la qualité des observations.

Mais cette méthode, surtout quant on n'a pas d'observations sur tout l'horizon, ne s'applique que dans des cas d'hypothèses très strictes :

- géoïde parfaitement sphérique - du moins en première approximation - au niveau de l'horizon ;
- mesures bruitées aléatoirement (erreur moyenne nulle) afin de pouvoir leur appliquer la méthode des moindres carrés. En particulier, d_0 , moyen du bruit des observations, doit bien être une constante.

Pour la résolution des observations astronomiques avec l'astrolabe à prisme, on utilisait cette méthode graphique car d_0 était un biais instrumental et les mesures astronomiques étaient toujours réduites dans le cadre de la trigonométrie sphérique. Les hypothèses se trouvaient ainsi toujours vérifiées (cf. Gougenheim 1959).

Or, d_0 n'est pas seulement un biais instrumental, c'est une grandeur physique, la dépression apparente, ou « optique », de l'horizon, qui dépend des coefficients de réfraction atmosphérique, de la hauteur de l'observateur, etc. mais qui intègre aussi des facteurs physiques plus difficilement accessibles, tels que les déformations locales du géoïde. Le paramètre d_0 peut donc avoir des variations, soit du même ordre que la déviation locale de la verticale, soit bien inférieures, ou au contraire qui peuvent masquer les variations de la verticale du lieu.

L'approximation sphérique est-elle justifiée ? Un décalage de la hauteur des vagues ou du géoïde de 30 cm à 30 km modifie la dépression de l'horizon de 2" environ. Si ce décalage n'est pas réparti sur toute la couronne d'azimut, de 0° à 360°, alors l'horizon n'est plus disposé sur un plan, ce n'est pas non plus un cercle.

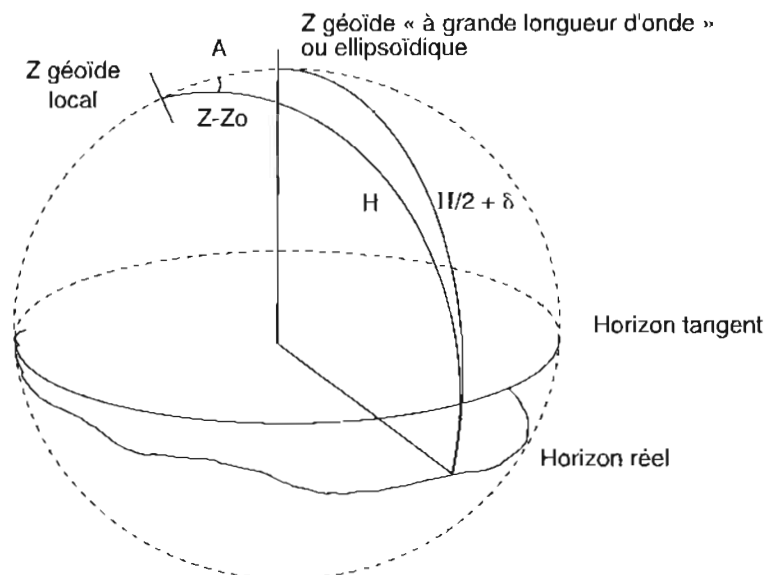
Une expression formelle de la dépression de l'horizon pourrait s'écrire :

$$d_i = A(Z) \cos(Z - Z_0) + d_0(Z) + \varepsilon$$

où Z est l'azimut, ε l'erreur et dans laquelle d_0 est fonction :

- de l'état de la mer,
- de l'ensoleillement privilégié de l'horizon, de la nébulosité, etc.,
- du nivellement du théodolite.

$A(z)$ peut varier parce que l'horizon n'est pas un cercle et qu'il n'est pas dessiné sur un plan. On peut donner un aperçu de la manière dont les variations de ce paramètre interviennent dans l'expression de d_0 par la figure suivante :



$$\Delta H = \delta - \delta_0 + A \cos(Z - Z_0)$$

- où d_0 est la dépression optique de l'horizon calculable dans les tables, δ la profondeur de l'horizon réel et A le terme constant correspondant à la déviation de la verticale.

δ et d_0 sont assimilables à des signaux susceptibles d'être décomposés en séries de Fourier :

$$\sum_i \delta_i(\omega_i) \sin \omega_i (Z - Z_0)$$

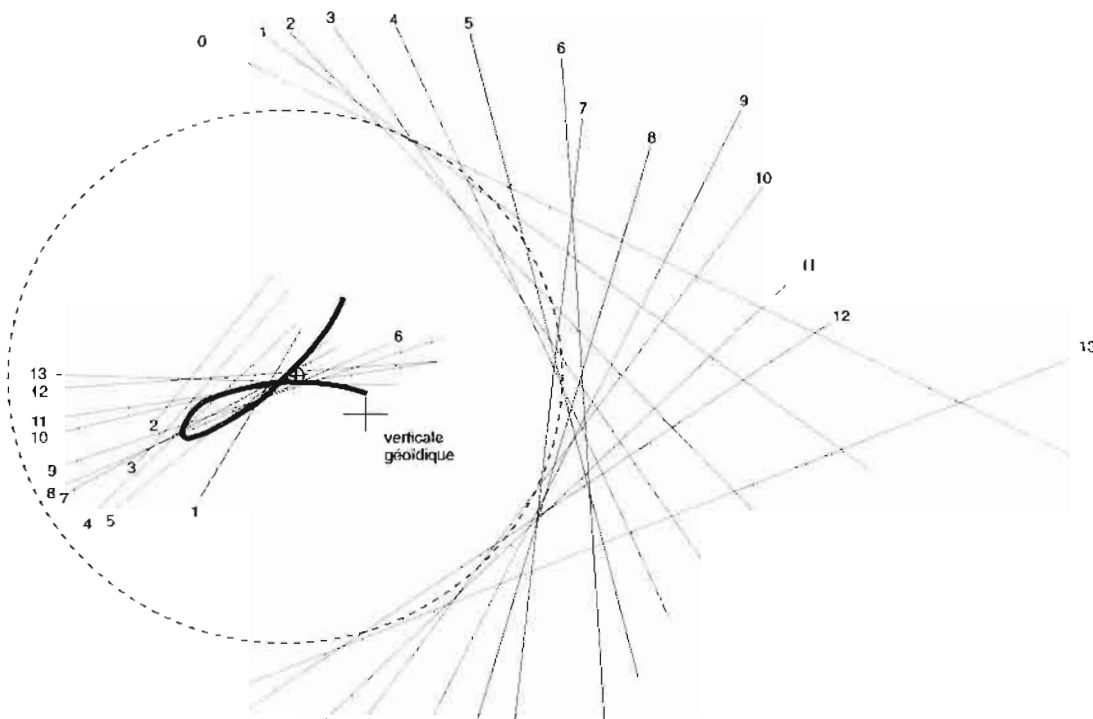
Intuitivement $\delta_i(\omega_i)/A \ll 1$. En calant une sinusoïde $A \cos (Z - Z_0)$ sur les observations, on filtre « à vue » les variations dues aux $\delta_i(\omega_i)$, ce que n'est pas capable de faire la construction graphique.

Pour résumer cette première réflexion, le problème auquel on s'est trouvé confronté, et qui justifie la critique analytique de la résolution graphique, c'est que le « Z géoïdique à grande longueur d'onde » ou le « Z ellipsoïdique », c'est à dire les verticales recherchées, sont définies comme des normales à une surface de référence. Or, la seule référence que l'on possède, c'est l'horizon, mais celui-ci n'étant pas plan, il est impropre à posséder une normale unique ! En fait, on adopte le plan « le plus proche » possible de l'horizon.

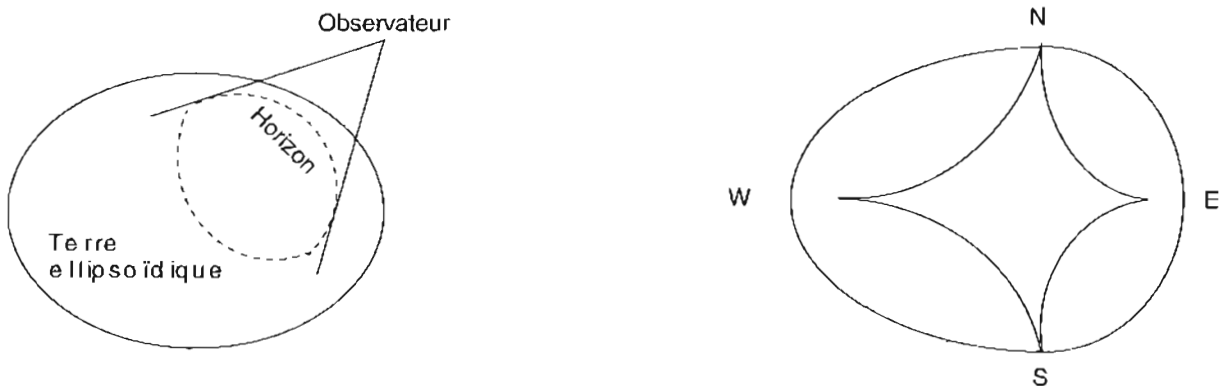
3. Détermination de la verticale ellipsoïdique

Énoncé du problème

Toujours à l'aide de l'intuition, et en s'appuyant sur la construction graphique de la déviation de la verticale à Nukutere représentée ci-après, on s'est efforcé de trouver les variations des paramètres δ ou δ_0 , c'est à dire de la dépression apparente d_0 de l'horizon.



Sur la figure, les bissectrices 1, 2, ... 13, réputées normales à l'horizon, devraient l'être aussi au cercle enveloppé. Néanmoins, si on trace l'enveloppe de ces lieux on s'aperçoit que ce n'est pas un point, comme pour l'enveloppe des normales à un cercle, mais une sorte de gamma dont on verra plus loin qu'il est la représentation altérée d'un point de rebroussement.



Cela s'explique par le fait que l'intersection d'un plan proche de l'horizon par le cône issu de l'œil de l'observateur et tangent au géoïde n'est pas un cercle mais une ellipse déformée, dont on peut s'attendre à ce que l'enveloppe des normales soit du genre astroïde (épicycloïde à quatre rebroussements).

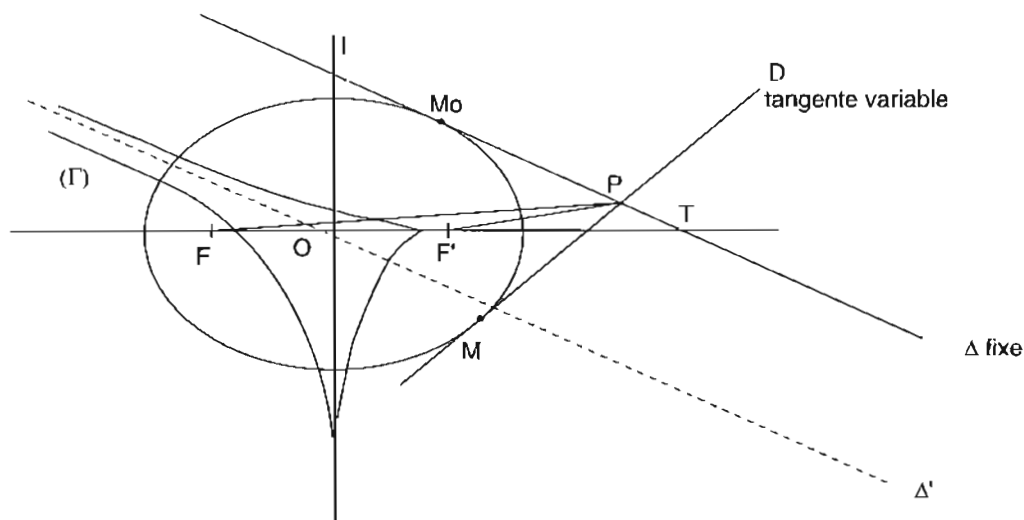
Il résulte de ces considérations que la solution graphique simpliste consistant à rapporter la déviation de la verticale au centre d'un cercle, supposé être le centre de gravité d'un faisceau de bissectrices aux visées, doit être rejetée. Ce n'est pas le centre d'un cercle qu'il faut rechercher, mais le centre O d'une quasi ellipse dont nous allons examiner maintenant s'il peut être déterminé de manière plus précise.

Cette remarque préliminaire nous conduit à reformuler le problème, qui est de **rechercher l'allure de l'enveloppe (Γ) des bissectrices intérieures aux angles formés par les tangentes Δ et D à un horizon schématisé en première approximation par une ellipse.**

Appelons Δ la tangente fixe à l'ellipse (ϵ) et D une tangente variable. construite à partir du point courant P (voir figure) générant le faisceau de bissectrices.

D'après une propriété classique des ellipses, la bissectrice des tangentes issues du point P est la même que celle des droites PF et PF', joignant P aux foyers de (ϵ). Le faisceau de bissectrices, donc, la courbe (Γ) recherchée, sont entièrement déterminés par Δ , F et F'.

Un raisonnement géométrique simple, s'appuyant sur la construction par points de (Γ), permet de constater que (Γ) a l'allure d'une courbe à trois points de rebroussement, dont un, porté par la parallèle Δ' à Δ passant par O, est rejeté à l'infini, les deux autres étant situés respectivement sur le petit axe OI et le grand axe OT de l'ellipse, lesquels sont tangents à (Γ) :



Calcul des coordonnées des points de rebroussement de (Γ)

Le seul intérêt du raisonnement analytique est de déterminer les coordonnées des trois points de rebroussement ξ , ψ , ζ de la courbe (Γ).

- En posant :
- a, demi grand axe de l'ellipse
 - b, demi petit axe de l'ellipse
 - c, demi distance focale de l'ellipse
 - x_0 et y_0 , les coordonnées d'un point courant M_0 d'argument φ_0

on obtient d'abord l'équation paramétrique classique de (ϵ) :

$$\begin{aligned} x_0 &= a \cos \varphi_0 \\ y_0 &= b \sin \varphi_0 \end{aligned} \quad \Delta'$$

puis, au terme d'un calcul fastidieux, les coordonnées recherchées :

Point ξ (pour mémoire) : rejeté à l'infini sur l'asymptote Δ'	
Point ψ : $x_\psi = 0$	$y_\psi = -(c^2/b) \sin \varphi_0$
Point ζ : $x_\zeta = \frac{a}{\cos \varphi_0} \cdot \frac{a^2 + (c^2 - a^2) \cos^2 \varphi_0}{a^2 + c^2 - \cos^2 \varphi_0}$	$y_\zeta = 0$

Conclusion

Si l'horizon n'est pas circulaire et qu'on le représente en première approximation par une ellipse (première déformation que l'on peut faire subir à un cercle), la verticale ellipsoïdique n'est pas le centre de gravité des bissectrices des visées, mais le point d'intersection des tangentes aux points de rebroussement de la courbe (Γ).

4. Application aux déviations de la verticale observées à Rapa

Partant de plusieurs valeurs de φ_0 , on calcule d'abord une direction moyenne de l'axe des foyers FF' de l'horizon, assimilé à une ellipse, puis on détermine par construction graphique les points de rebroussement de (Γ), analogues au « γ » de la figure du § 3, ainsi que leurs tangentes. L'intersection de ces dernières est la verticale ellipsoïdique recherchée.

Les résultats sont concluants pour Te Vaitau ; ils le sont moins sur Nukutere en raison du nombre insuffisant d'observations. Quoi qu'il en soit, l'application de la méthode des tangentes aux points de rebroussement permet d'aboutir à des valeurs plus homogènes et sensiblement différentes de celles obtenues par la construction décrite au § 1.

Station	Déviation de la verticale par la méthode du type " droites de hauteur "		Déviation de la verticale par la méthode des tangentes à (Γ)	
	Module	Azimut	Module	Azimut
Nukutere	3"	355	6"	23
Te Vaitau	11"	283	6"	314

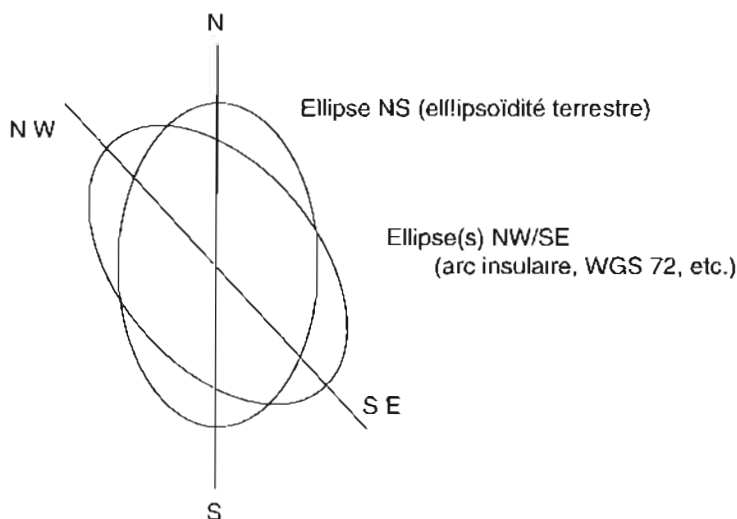
Connaissant la complexité des facteurs météo-océanographiques entrant dans l'observation de la dépression de l'horizon (température de l'atmosphère, température de surface, marée, état de la mer, ensoleillement, etc.), et qui devraient *grosso modo* être isotropes, on a été tenté de filtrer dans les séries de mesures tous les signaux d'une fréquence différente de 1.

A la réflexion, il est apparu qu'en procédant ainsi, on introduisait un nouveau biais dans les résultats en faisant varier la focale FF' de l'ellipse et les points singuliers du tracé décrit au § 3. Cette remarque souligne aussi les limites d'une méthode qui confère une grande importance aux pondérations visuelles propres aux constructions graphiques.

Pour exploiter toute l'information sur la développée des bissectrices des tangentes à l'horizon assimilé à une ellipse, il aurait fallu disposer d'un beaucoup plus grand nombre d'observations, mais malgré cela, les résultats obtenus sont suffisamment probants. De retour à Tahiti, les recherches bibliographiques complémentaires ont d'ailleurs montré que le service hydrographique japonais avait perçu très tôt l'intérêt de ce genre de mesures et entrepris dès 1965 des travaux de cette nature aux Mariannes.

5. Considérations sur la forme de l'horizon à Rapa

L'horizon que l'on a observé à Rapa est une surface complexe, combinant plusieurs ellipses représentant chacune un type de déformation. Ces dernières sont causées, les unes par les bosses du géoïde, les autres par celles de la mer (marée, facteurs hydro-météorologiques, etc.), le tout superposé à la déformation nord/sud résultant de l'ellipsoïdité de la terre :

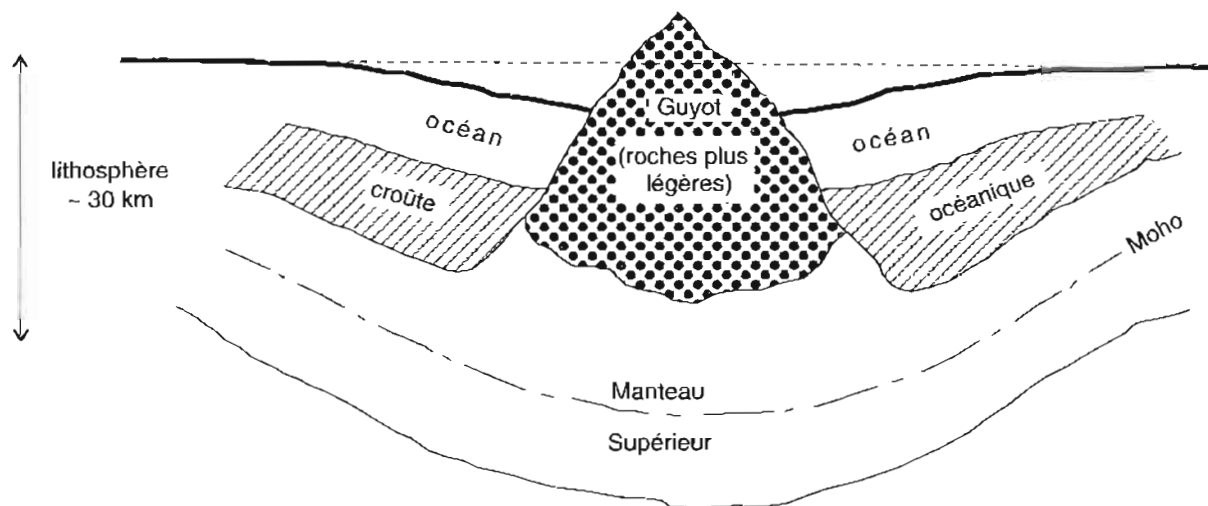


Vu les distances focales de l'ellipse calculée pour la station de Te Vaitau, qui sont de l'ordre de 10", on peut considérer que les ondulations du géoïde sont vraisemblablement le facteur prépondérant. En effet, Rapa est un guyot reposant sur une plaque océanique qu'il enfonce sous son poids. Comme à Hawaï où on observe une augmentation de la dépression de la lithosphère d'une dizaine de kilomètres, l'épaississement du manteau est le plus élevé à l'endroit où l'enfoncement est maximal (Suyenage, JGR 84, B 10 - 1979). Les anomalies de la pesanteur sur une telle structure peuvent être de deux types :

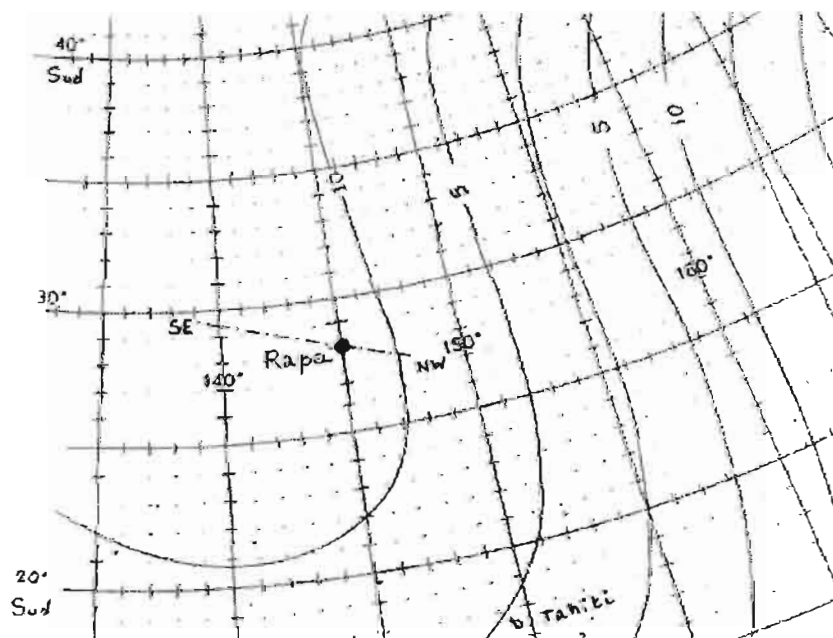
- l'anomalie à l'air libre, dont les ondulations du géoïde sont l'expression lissée.
- les anomalies dues à la topographie, invoquées systématiquement par Gougenheim et Vallaux pour la Polynésie (cf bibliographie *in fine*). Or, il y a toujours une différence entre la gravité observée et la gravité calculée à partir des données topographiques : l'anomalie de Bouguer.

En bref, quelles que soient les déformations à courte longueur d'onde du relief sous-marin autour de Rapa, la surface équipotentielle est courbée sous le guyot, entraînant une déformation de la surface de la mer.

Rapa faisant partie d'un arc insulaire orienté nord ouest/sud-est, l'enfoncement devrait se faire selon cet axe ; c'est effectivement ce que l'on observe, notamment à Te Vaitau (310°) où a été réalisée la meilleure série de mesures.



Mais l'enfoncement de la lithosphère n'est pas le seul facteur à prendre en considération : la figure suivante est un extrait de la carte américaine n° 7500 représentant l'ellipsoïde WGS 72 en projection stéréographique polaire. Si la surface de l'océan épouse bien cette surface de référence, qui filtre les déformations à courtes longueurs d'ondes, on devrait trouver des écarts de l'ordre de 2 mètres pour 60 km et une déformation du géoïde selon une ellipse orientée NNW/SSE. Ici encore, ces valeurs sont compatibles avec les observations.

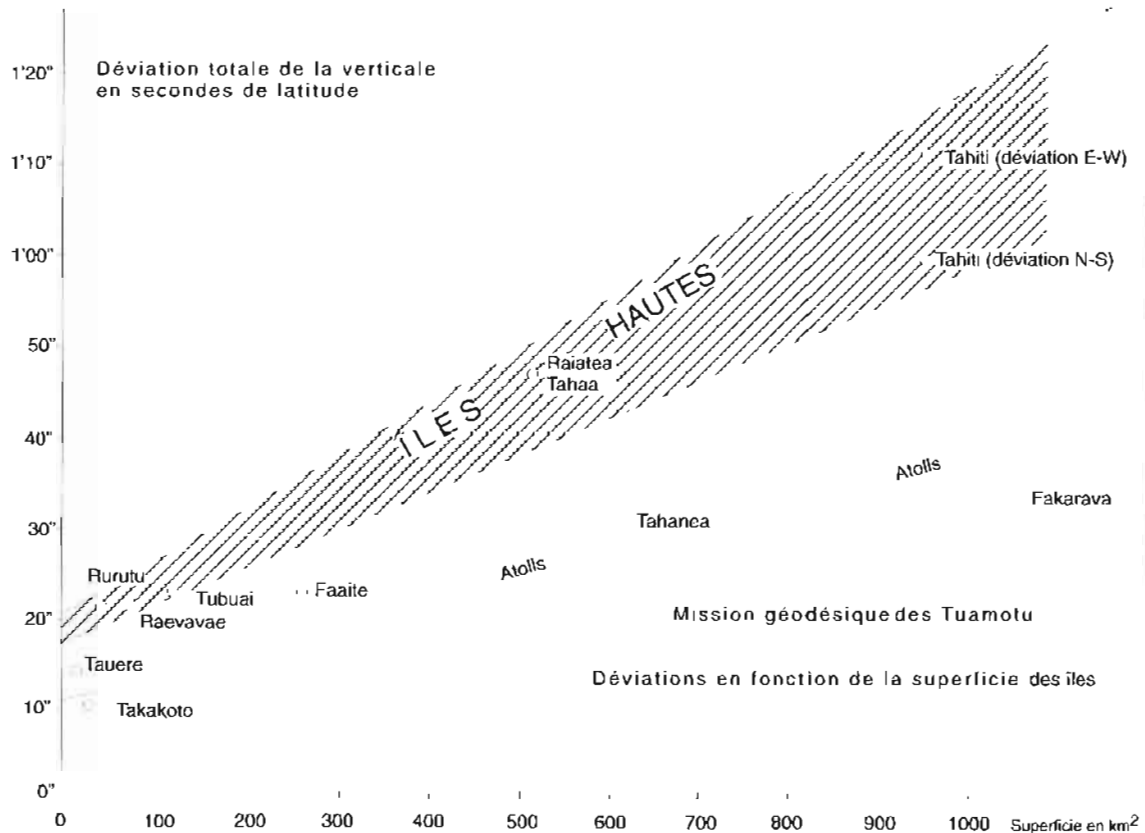


Pour résumer ce paragraphe consacré aux facteurs géophysiques exerçant une influence sur la forme de l'horizon à Rapa, on peut dire qu'il y a certainement un effet dû à la dépression de la lithosphère, puisque le même phénomène a été observé en deux stations situées à des altitudes sensiblement différentes, mais on ne peut pas isoler ce terme car tout se superpose : géoïde, anomalie de Bouguer, etc.

6. Conclusion en forme d'interrogation

6.1 Quand ils procédaient à leurs déterminations, les grands anciens observaient la dépression de l'horizon dans la direction opposée au centre de l'île, puis dans une direction perpendiculaire. La différence entre ces deux valeurs était la déviation de la verticale à la station, portée dans l'azimut du centre de l'île.

Dans de nombreuses îles, Vallaux procéda en plus à des calculs sur la base d'un couple d'observations astronomiques géodésiquement liées. Son évaluation des ordres de grandeur des déviations de la verticale lui permit d'établir le graphique ci-après (1955) :



C'est ainsi qu'il trouva 22" à Rapa. Cette valeur nous semble élevée, ainsi d'ailleurs que toutes les valeurs de Vallaux, mais nous avons dû renoncer à expliquer cet écart.

6.2 En baie de Haurei, on observe un décalage entre systèmes géodésiques MOP 86 et MHNC 55 de l'ordre de :

$$\begin{aligned} \Delta x &= -100 \text{ m} && \equiv (\varphi - L) R \\ \Delta y &= +80 \text{ m} && \equiv (\lambda - G) \cos L \cdot R \end{aligned}$$

où le couple (φ, λ) représente les coordonnées astronomiques, le couple (L, G) les coordonnées géoïdiques et R le rayon de la terre.

Les valeurs prises par ces composantes sont $\Delta x = -3,3''$ et $\Delta y = +2,6''$, soit une déviation de la verticale de 4,2" dans le 125. On retrouve bien l'ordre de grandeur auquel on est parvenu par observations directes.

Bien qu'il soit très proche de la surface de la mer considérée comme référence géodésique, l'introduction de l'ellipsoïde associé au système géodésique WGS 72 se traduit par des différences d'altitude de quelques mètres qui restent sans doute significatives en regard de la distance de l'horizon.

Quoi qu'il en soit, et parce qu'il faut bien conclure, l'interprétation des observations réalisées à Rapa confirme que la correction du point astronomique par la déviation de la verticale mesurée directement est non seulement possible, mais qu'elle permet d'obtenir une précision d'environ 20 mètres sur un point géodésique déterminé dans un système basé sur une formule de géoïde donnée.

7. Bibliographie

- [1] GOUGENHEIM A.
• Annales Hydrographiques 1945 - 3^e série - Tome 17 - page 205 : « sur la déviation de la verticale à Tahiti »
• Revue OHI 1959 - 36 - n° 1 - page 167 : « la dépression de l'horizon comme moyen d'étude du géoïde dans le Pacifique sud »
- [2] SINZI A.M, OWAKI N, SUZUKI H.
• Revue OHI 1965 - page 133 : « déviation de la verticale par observation de la dépression de l'horizon »
- [3] BHATTACHARGI J.C.
• Revue OHI 1961 - 38 - n° 1 - page 167 : « sur la nature des déviations de la verticale obtenues par observation de la dépression de l'horizon dans les îles océaniques »
- [4] VALLAUX F.
• Annales Hydrographiques 1954 - 4^e série - tome 5 - page 117 : « les déviations de la verticale en Océanie Française »
- (dans ces articles, la terre est toujours approximée par une sphère)

Planche 1

Les zones économiques exclusives de la France dans le Pacifique



Planche 2

Marégraphe Suber dans sa cage côtière

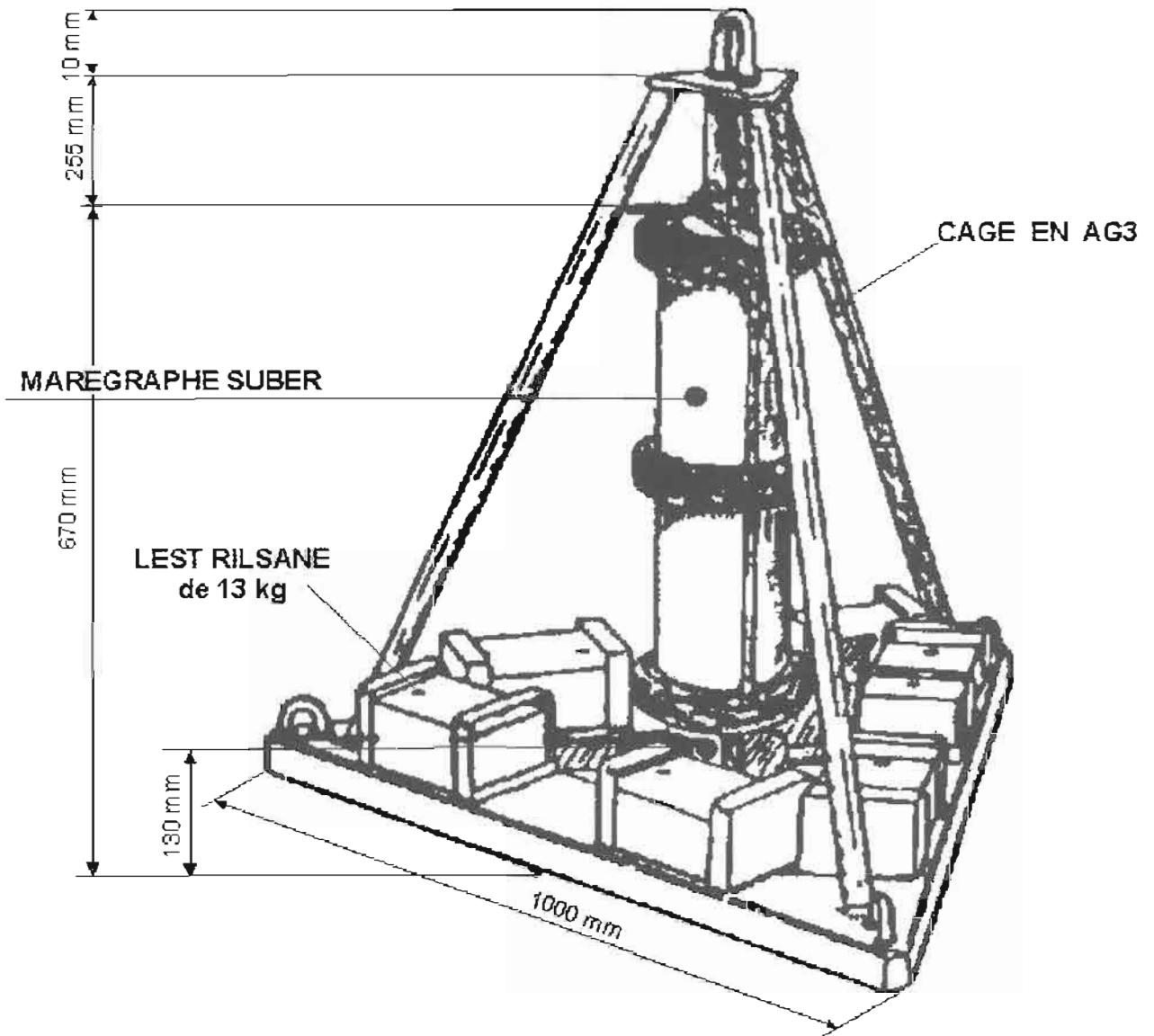


Planche 3

Nouvelle-Calédonie de la Passe de la Gazelle à la Baie de Néhoué

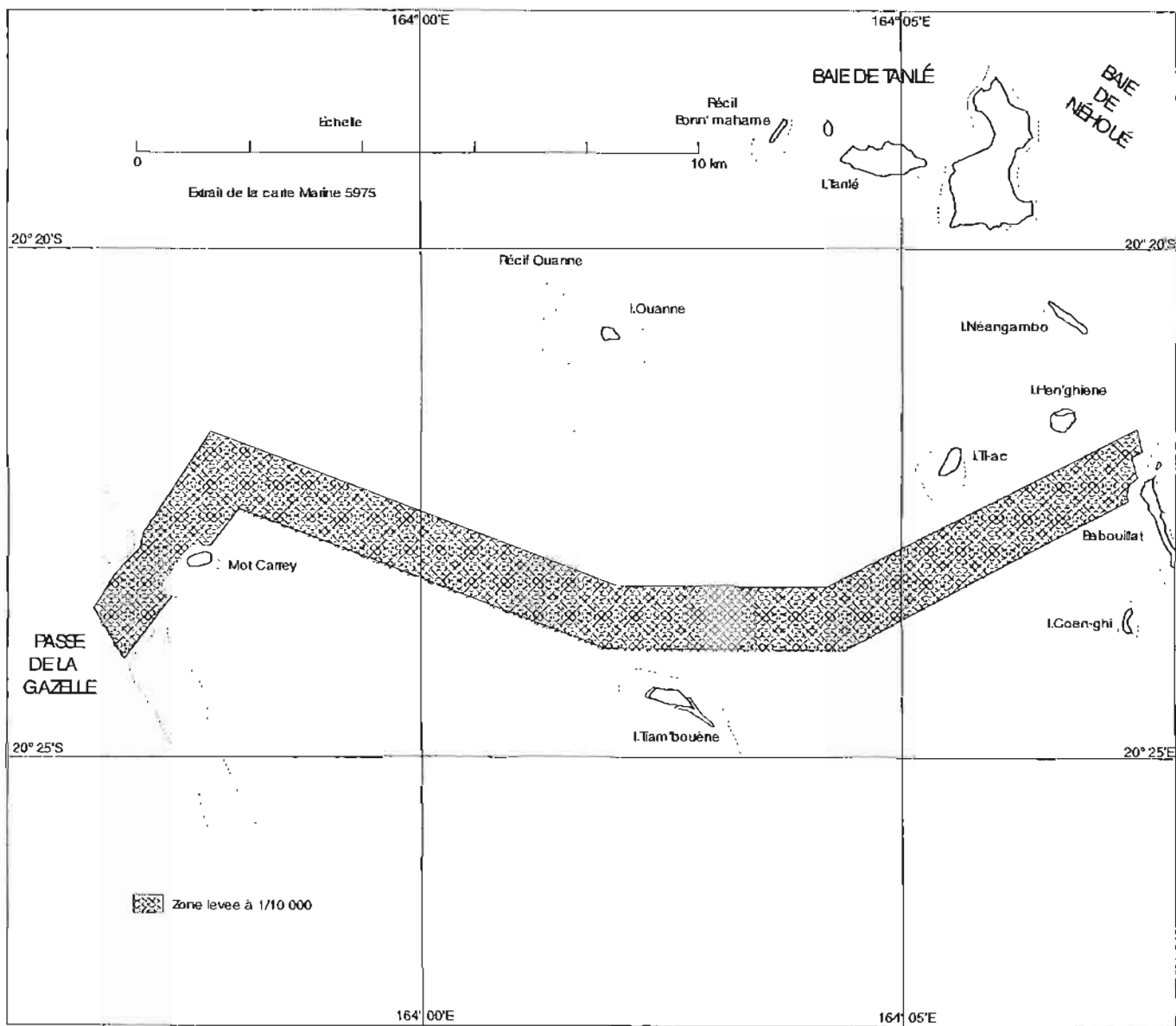


Planche 4

Nouvelle-Calédonie Voies recommandées au sud de Nouméa

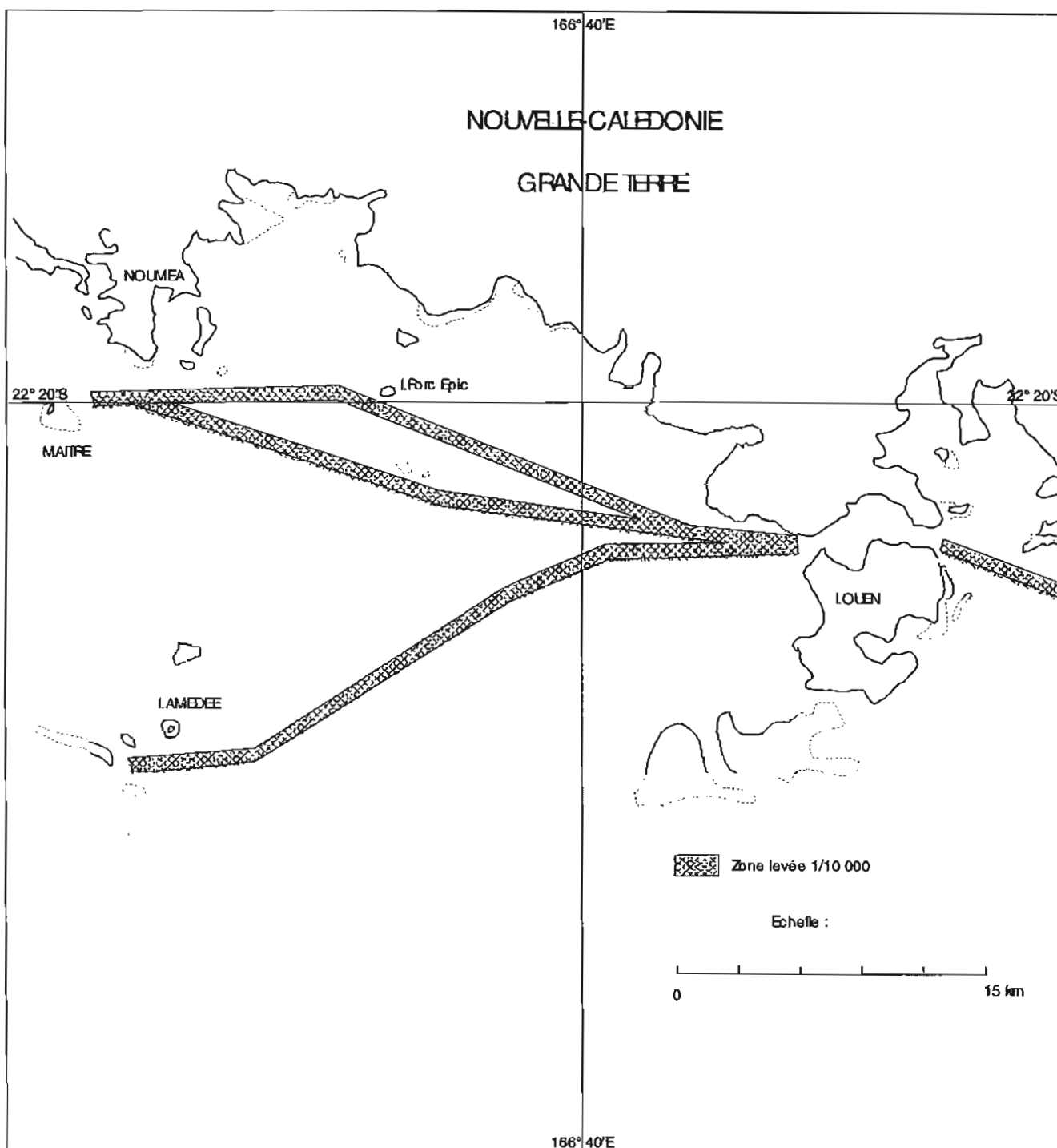


Planche 5

Îles Loyauté Ouvéa, sud du lagon

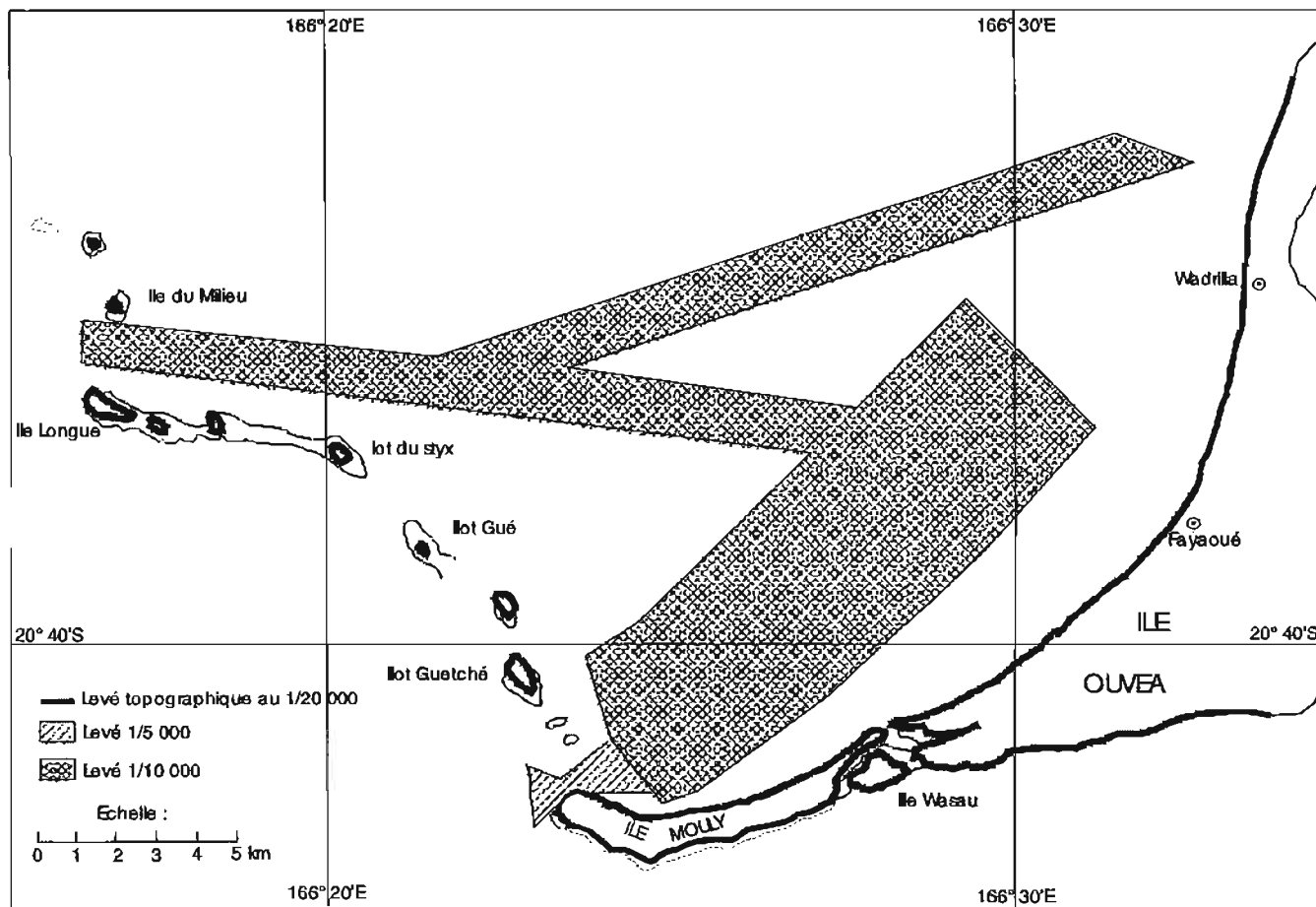


Planche 6

Nouvelle-Calédonie Lagon nord (Yandé)

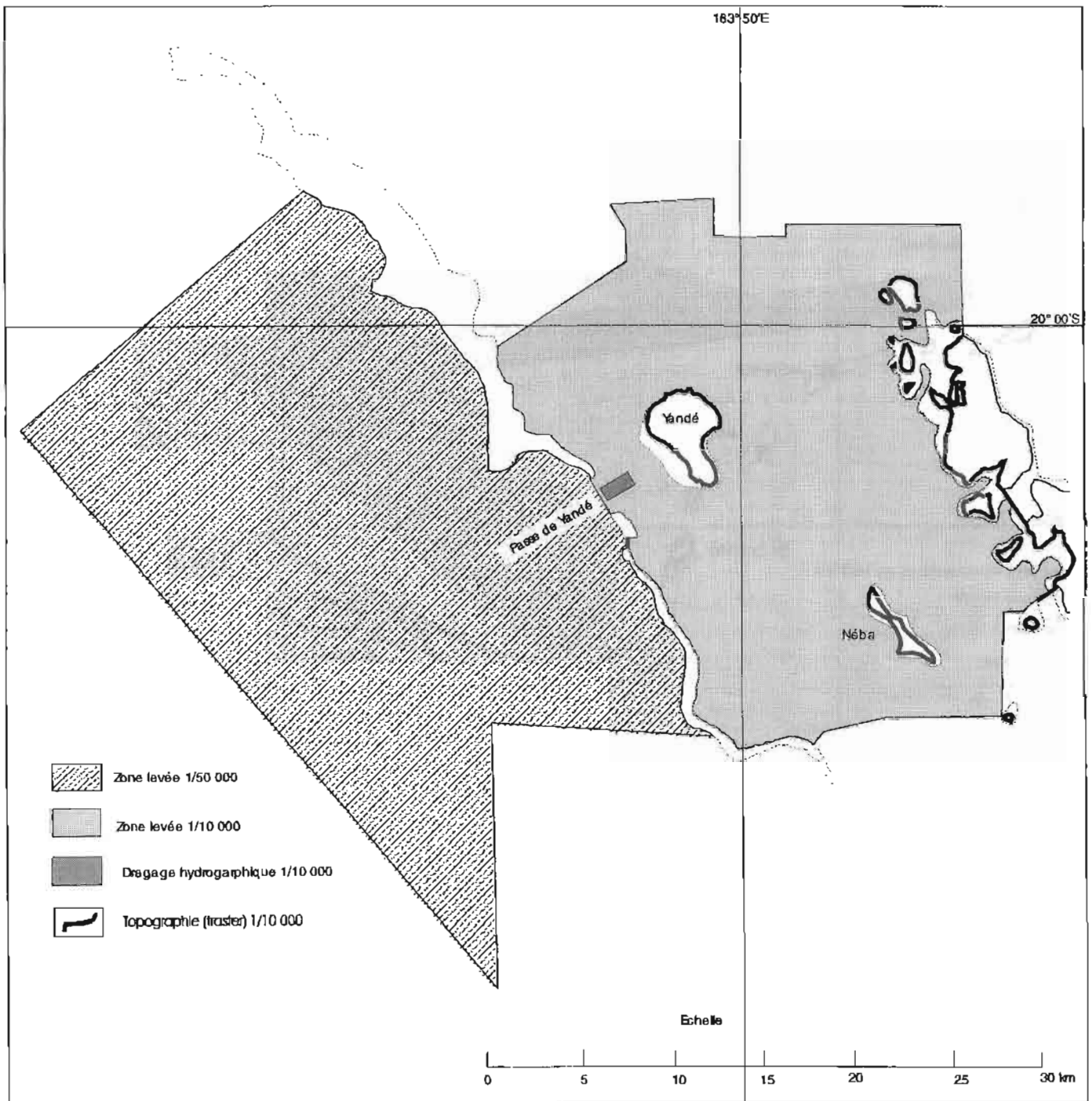


Planche 7

**Nouvelle-Calédonie
de la Passe de Koné au Cap Goulvain**

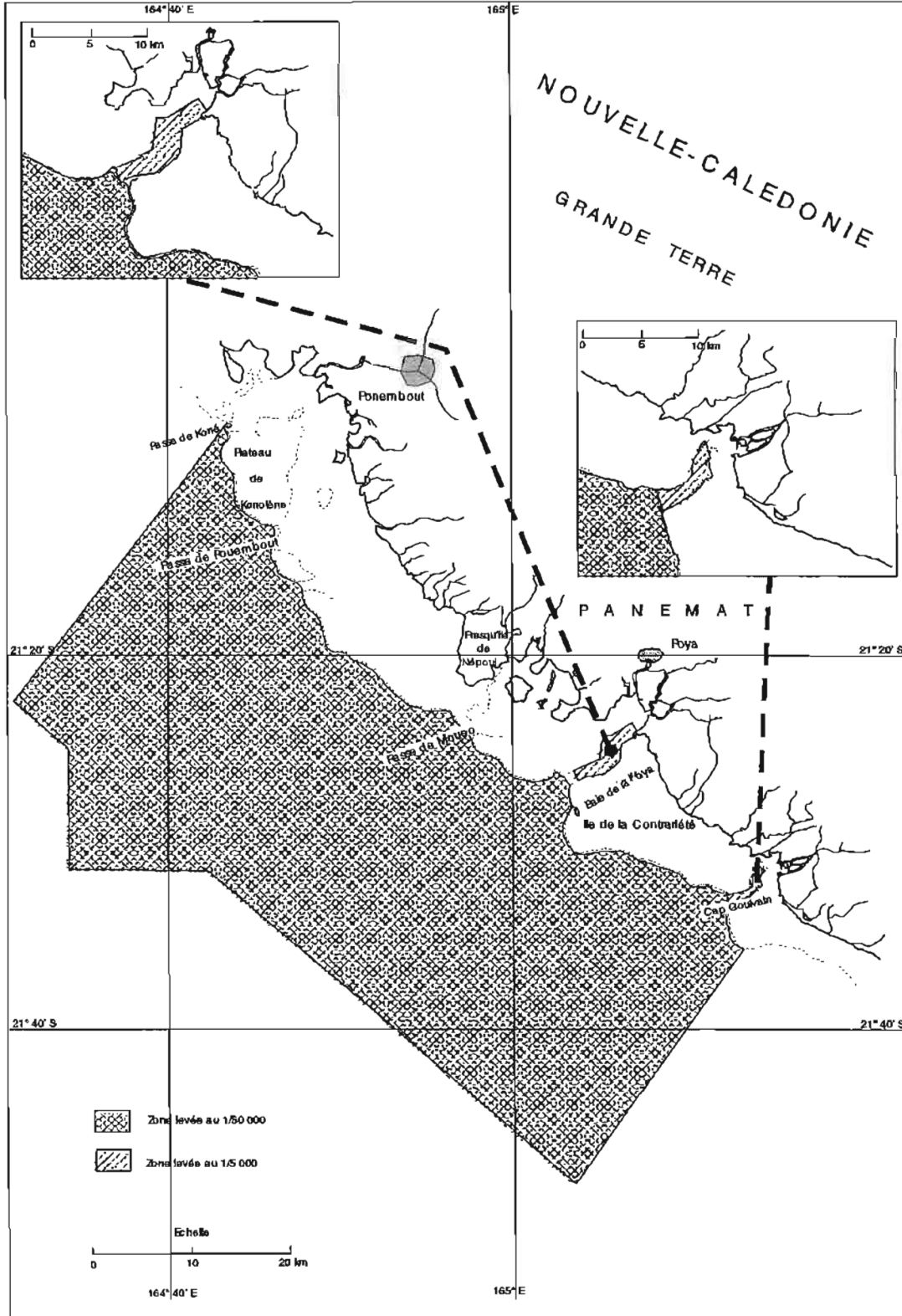


Planche 8

Tahiti Levés dans le port de Papeete

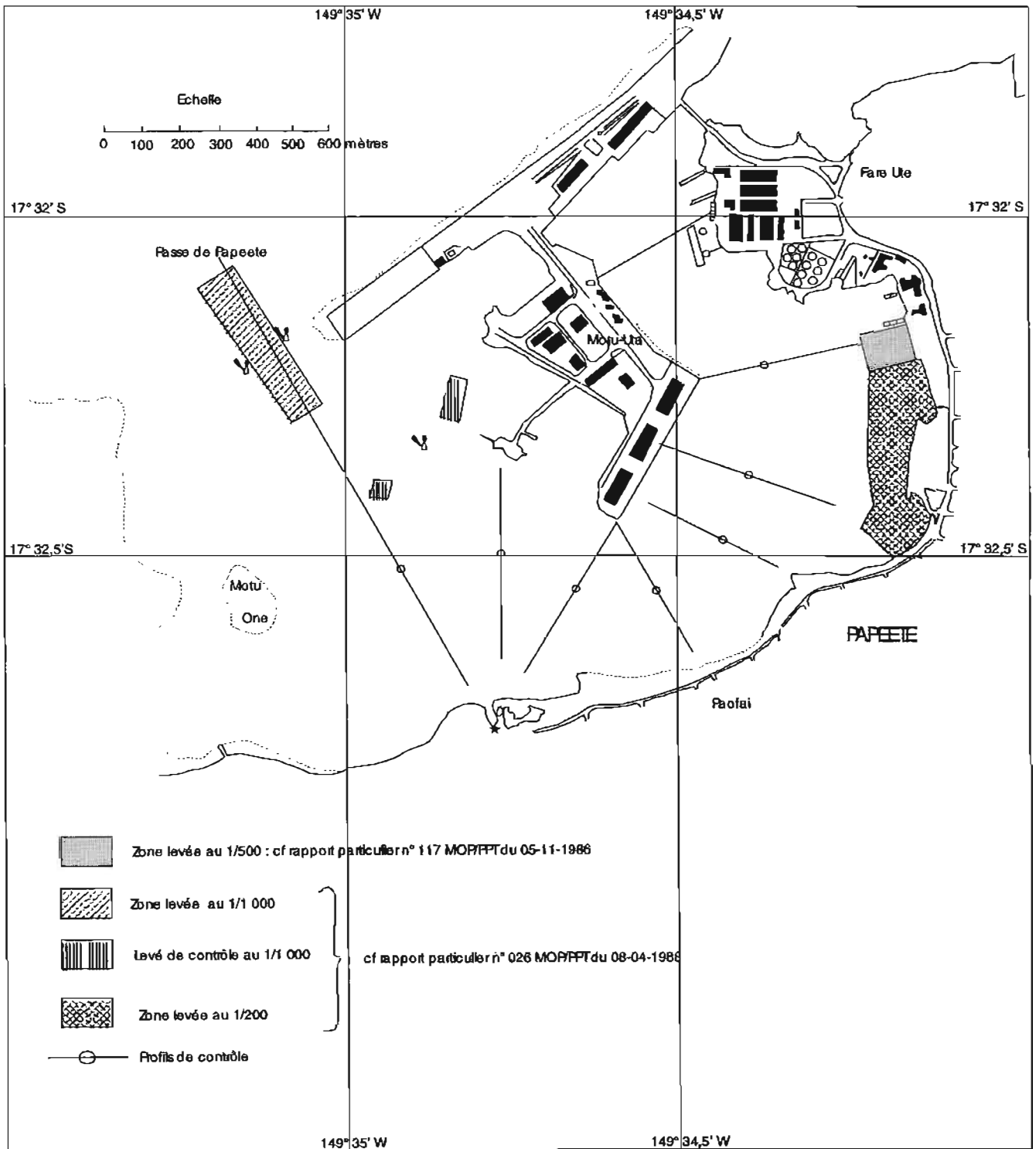


Planche 9

Australes Île de Rapa

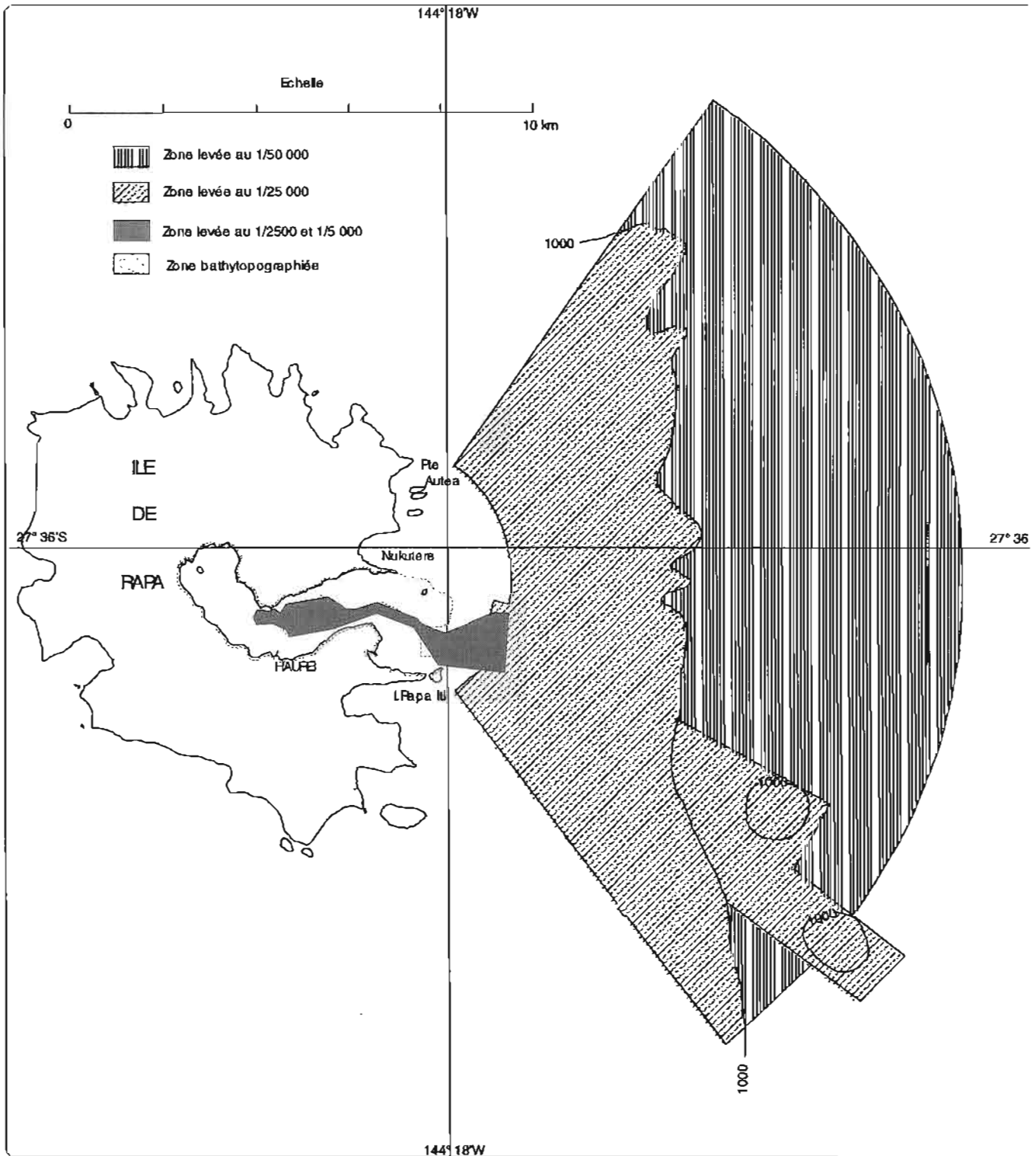


Planche 10

Archipel des Australes Mont sous-marin Mac Donald

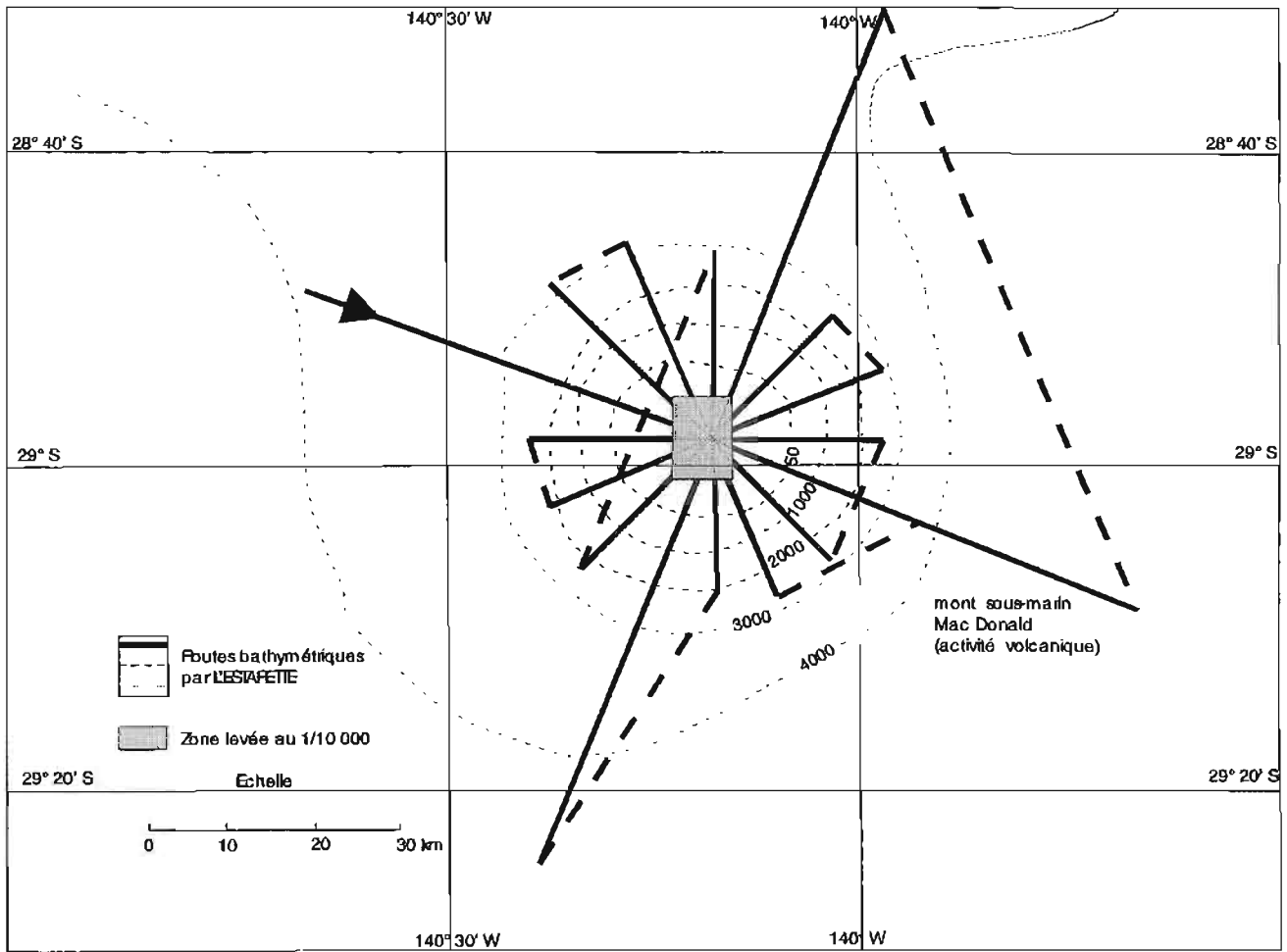


Planche 11
Tuamotu
Atoll d'Apataki

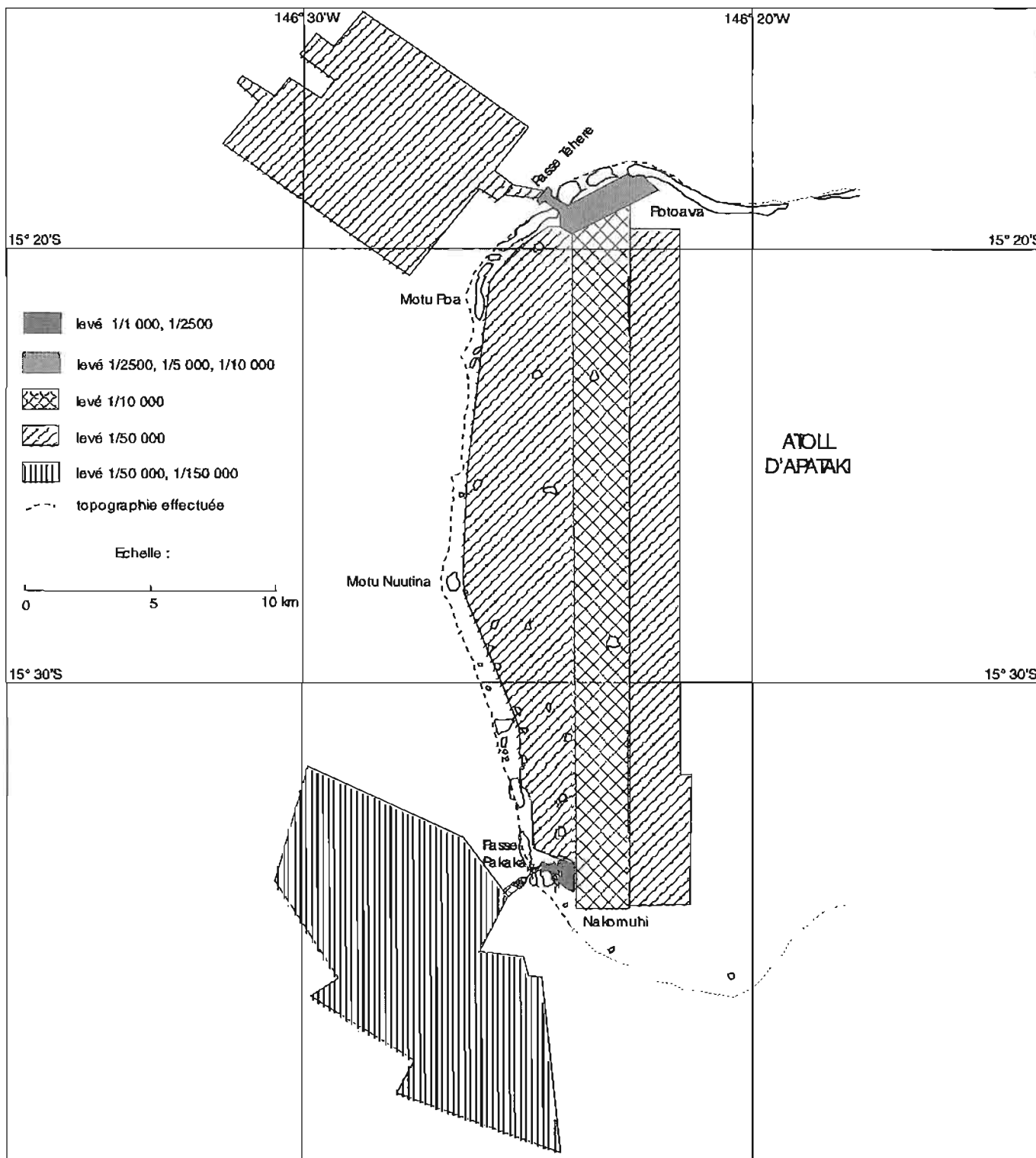


Planche 12

**Archipel des Marquises
Île de Fatu Iva, Baie d'Omoa**

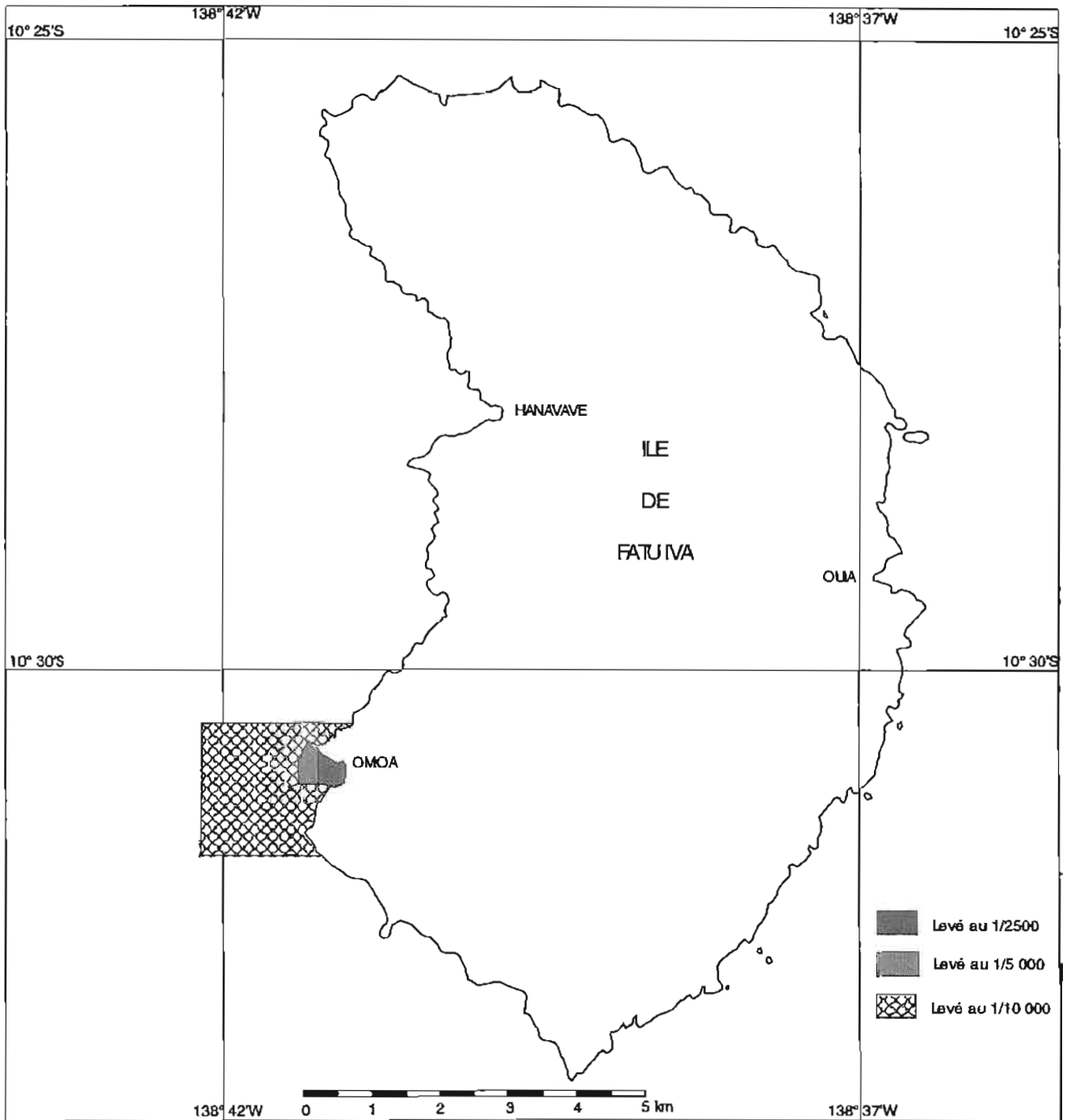


Planche 13

**Archipel des Marquises
Île de Ua Pou, Baie d'Hakahu**

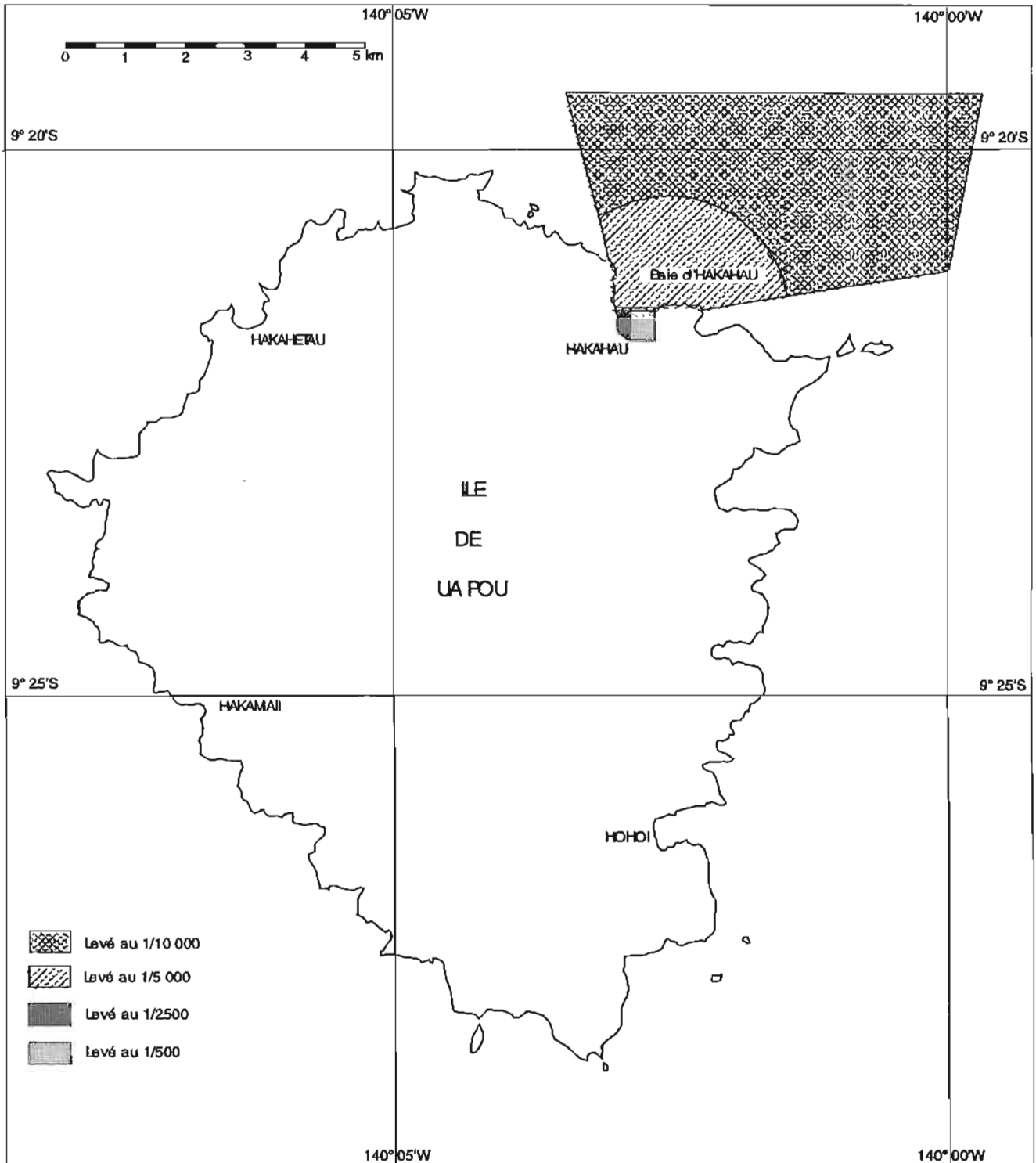
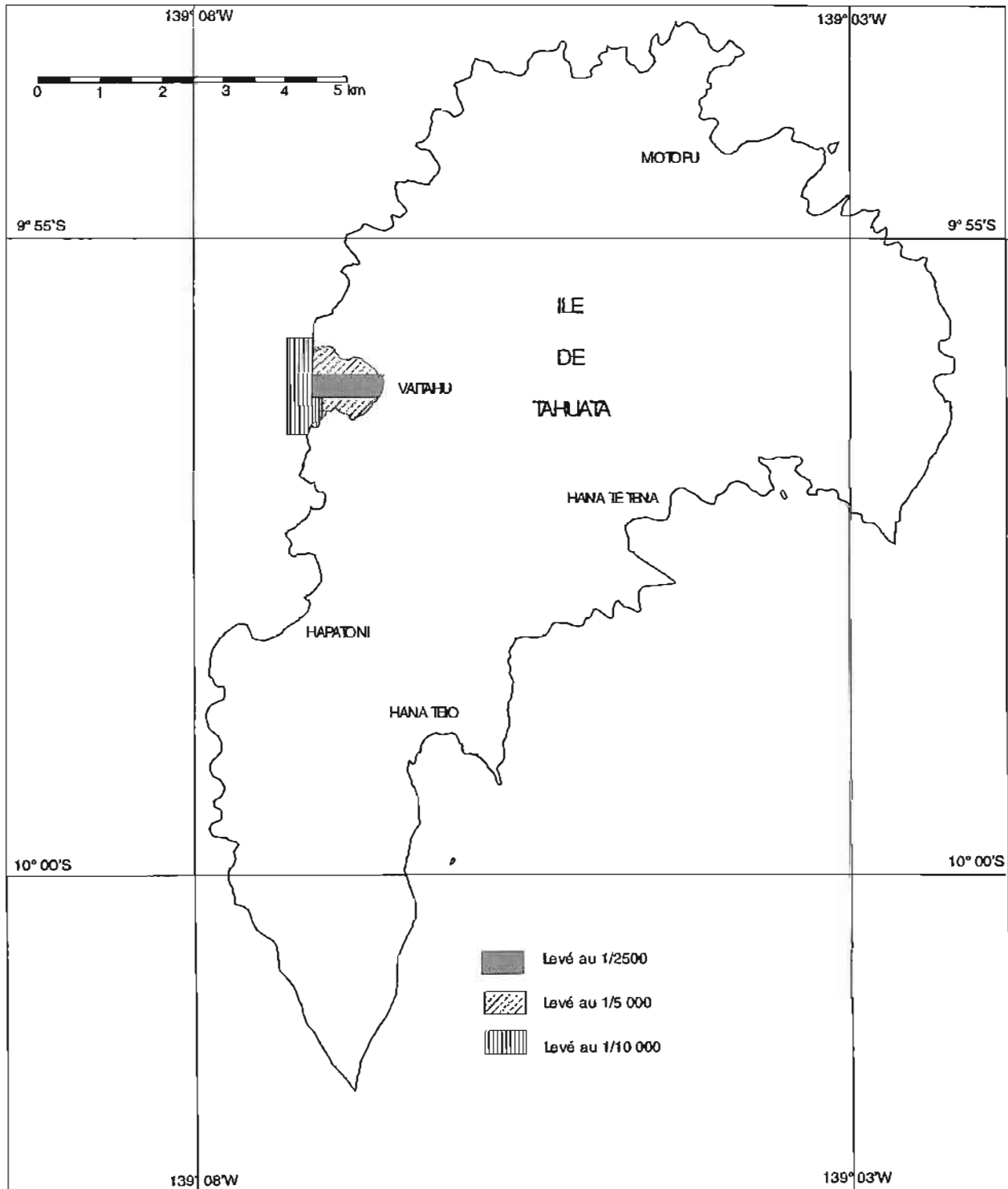


Planche 14

Archipel des Marquises Île de Tahuata, Baie de Vaitahu



ENQUÊTE DE TOPONYMIE

ANNEXE 1

TOPONYMIE DES ÎLES DE HORNE (FUTUNA ET ALOFI)

RÉFÉRENCE : instructions techniques n° 139
SHOW/EM/NP du 08 novembre 1985

1. GÉNÉRALITÉS

Les éléments qui suivent proviennent d'une enquête conduite le 4 septembre 1986 par le médecin Aspirant Michel Ferry, du BH2 *Boussole*.

Les renseignements obtenus au cours de cette enquête furent recueillis principalement auprès de Monsieur Selestino Takasi, Sergent-Chef en retraite, et des Religieuses de POI.

Ils ont été portés sur une carte index des toponymes et amers, joints à la collection des documents définitifs du levé.

Cette carte est établie à partir du document technique provisoire de l'Institut Géographique National qui sert de référence pour la toponymie conjointement avec la carte marine n° 6259, et dont la plupart des noms se trouvent confirmés.

Les toponymes sont également récapitulés dans le tableau synoptique au § 5.

La carte index a été soumise, pour conclure, à l'approbation de Monsieur Savelio Felomaki, Chef du Bureau des Wallis et Futuna au Haut Commissariat de Nouvelle-Calédonie. Elle a également été recoupée avec les toponymes mentionnés dans l'ouvrage intitulé "Futuna - Ethnologie et Actualité de S. Manuavu" (Publication n° 33 de la Société d'Etudes Historiques de la Nouvelle-Calédonie-Nouméa 1983).

2. ORTHOGRAPHE ET PRONONCIATION

Le Futunien est une langue originaire des Îles Samoa et apparentée comme telle à la langue mère polynésienne. On peut lui appliquer avec une bonne approximation les règles générales d'orthographe et de prononciation décrites dans l'ouvrage n° 1382, Toponymie et Topographie Polynésienne, par M. François Vallaux (1955).

En particulier, le **E** est toujours accentué
le **U** se prononce OU
le **G** se prononce NG
le coup de glotte est utilisé assez généreusement.

Pour un non initié, les terminologies Futuniennes et Tahitiennes semblent très voisines, comme le montrent les quelques exemples ci-dessous :

3. TOPONYMIE CÔTIÈRE DES ÎLES FUTUNA ET ALOFI

3.1 Liminaire

Les îles Futuna et Alofi sont divisées en deux royaumes. Le royaume d'Alo comprenant l'île d'Alofi et la partie est de l'île de Futuna, est le plus important par la superficie et par la présence de son roi (le Tuia'gaifo) sur celui de Sigave (le Keletaona).

Les cartes marines et les instructions nautiques utilisent l'appellation Îles de Horne pour désigner les deux îles. Ce toponyme est inconnu aussi bien des Futuniens que des métropolitains résidents (y compris du Délégué). Il semblerait que les futuniens n'aient pas ressenti le besoin d'une dénomination synthétique, peut-être parce qu'Alofi est inhabitée.

Faute de mieux, le cartographe sera donc forcé de reprendre cette appellation. Dans la suite de ce rapport, les îles Futuna et Alofi sont parcourues dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du détroit les séparant.

FUTUNIEN	TAHITIEN	FRANÇAIS
Vai	Vai	eau, cours d'eau
Mauga	Mauga	sommet
Fatu	Fatu	rocher, caillou
Ava	Ava	ouverture, passe
Utu	Outu	cap
One	One	sable
Etc	Etc.	etc.

3.2 FUTUNA

3.2.1 Pays d'Alo, de la pointe Vele à la rivière de Vainifao (Royaume d'Alo)

L'ensemble de la région comprise entre la pointe Vele et la rivière de Vainifao s'appelle le pays d'Alo (Alo = face avant, devant). Elle a donné son nom au royaume d'Alo.

Vele (prononcer Vélé) est le nom donné à toute la pointe est de l'île, c'est aussi le nom du village et de l'aérodrome situés dans cette zone. Ce nom est celui d'un ministre d'Alo. Une grande partie de la population utilise l'ancien nom de Avau pour désigner l'aérodrome.

Le calvaire⁽¹⁾, situé à proximité du wharf en ruines au sud de l'aérodrome se nomme Koluse Saapea (Koluse = calvaire). Il se situe à l'endroit où eut lieu le premier baptême sur Futuna.

Le bras de mer entre les deux îles Futuna et Alofi se nomme Vasia.

A la sortie ouest du village de Vele on trouve de gros rochers appelés Vaotea Tilogalea (tilo = vision, galea = poisson perroquet). C'est donc l'endroit d'où l'on peut voir dans la mer des poissons perroquets. D'après une légende, ce serait la limite entre la partie est de l'île où il existe des serpents et la partie ouest où il n'y en a pas.

En continuant vers l'ouest on traverse les villages de Kolia et Ono (le plus grand village de Futuna).

Entre ces deux villages on trouve le Liua Vaipalapu (Liua = rivière, Vai = eau).

La mission de Kolopelu, ou couvent d'Alo, installée sur 1a Kauga (= montagne) domine le village de Kolopelu.

Cette mission est séparée de la station de la météorologie nationale de Maopopo par le Liua Mala'e.

La route traverse ensuite les villages de Mala'e et de Taoo.

Le roi d'Alo réside dans ce village, face à l'Ekelesia Omalia (Eglise de Marie).

On traverse ensuite le Liua Fatuka avant d'atteindre un grand rocher entre la route et la mer, le Fatuka (Fatu = rocher).

Vers l'ouest, à partir de ce rocher on trouve les plages de Gaogao.

La rivière suivante est le Liua Vainifao qui se jette dans la baie portant également le nom de Vainifao.

Cette rivière marque la frontière entre le royaume d'Alo et le royaume de Sigave.

3.2.2 Royaume de Sigave (de la rivière Vainifao à l'anse de Ava Vai)

Le royaume de Sigave (prononcer Singavé) occupe la partie ouest de Futuna.

(1) détruit lors du cyclone «Raja» - Noël 86

Il est séparé du royaume d'Alo par les thalwegs des deux vallées nord-sud issues du point culminant de l'île, le mont Puka.

Après avoir franchi la vallée de Vainifao on traverse le Liua Temonio avant d'arriver à la pointe Vaiketele. Sur le promontoire suivant se trouve la mission de Vilamalia (encore appelée chapelle des pêcheurs).

Ce promontoire marque l'entrée de Leava, principal village du royaume de Sigave où se trouvent la plupart des administrations (délégation, gendarmerie, poste, hôpital) ainsi que les commerces. C'est à Ava Leava (ou Anse de Sigave) que se trouve le seul quai de l'île.

Près de ce quai se trouvent deux rochers appelés Lion extérieur et Lion intérieur sur la carte Marine. Ces deux noms ne trouvent pas d'origine en futunien mais aucune autre appellation n'est proposée.

En poursuivant vers le nord on traverse les villages de Nuku (résidence du roi de Sigave) et on atteint la mission de Sausau où se trouve le Koluse Sausau ; le collège se trouve dans le village de Sausau.

Plus loin on traverse les petits villages de Vaisei et Fiua pour arriver à Toloke. Un rocher, situé en mer, se nomme le Fatu Pakafu.

L'extrémité nord de l'île est la pointe de Tavai au large de laquelle se trouve le Fatu Somali'ma.

On atteint ensuite la pointe Matapu qui marque la limite ouest d'Ava Vai et la frontière nord des royaumes de Sigave et d'Alo.

3.2.3 Pays de Tua ; de l'Anse de Ava Vai à la pointe Vele (Royaume d'Alo)

On traverse trois villages, Tuatafa, Kapau et Afaga pour atteindre Utu Magalua (ou Pointe des Pyramides) marquée par deux grands rochers noirs et pointus. Après cette pointe se trouvent les villages de Fikavi, Olu, Amana, Tufuone, Fakaki (séparé du village précédent par le rocher appelé Fatu Fakaki), Poi (où vient d'être construite la basilique dédiée au Père Chanel), Ava et Laloua.

L'ensemble de la région située entre la pointe Natapu et la pointe Vele se nomme le pays de Tua (tua= 1- couchant, 2- dos, face arrière).

Les pays, ou versants, de Tua et d'Alo constituent avec l'île d'Alofi le royaume d'Alo.

3.3 Alofi (royaume d'Alo)

En face de Vele, se trouve le village d'Alofitai avec un calvaire remarquable situé sur un rocher dans le platier le Koluse Alofitai.

En se dirigeant vers l'est on traverse le petit village de Vateta avant d'atteindre la pointe Matalesina devant le promontoire de Sologa et la pointe Ava'Afi (ou pointe Loka). La baie située entre ces deux pointes se nomme Ganiu.

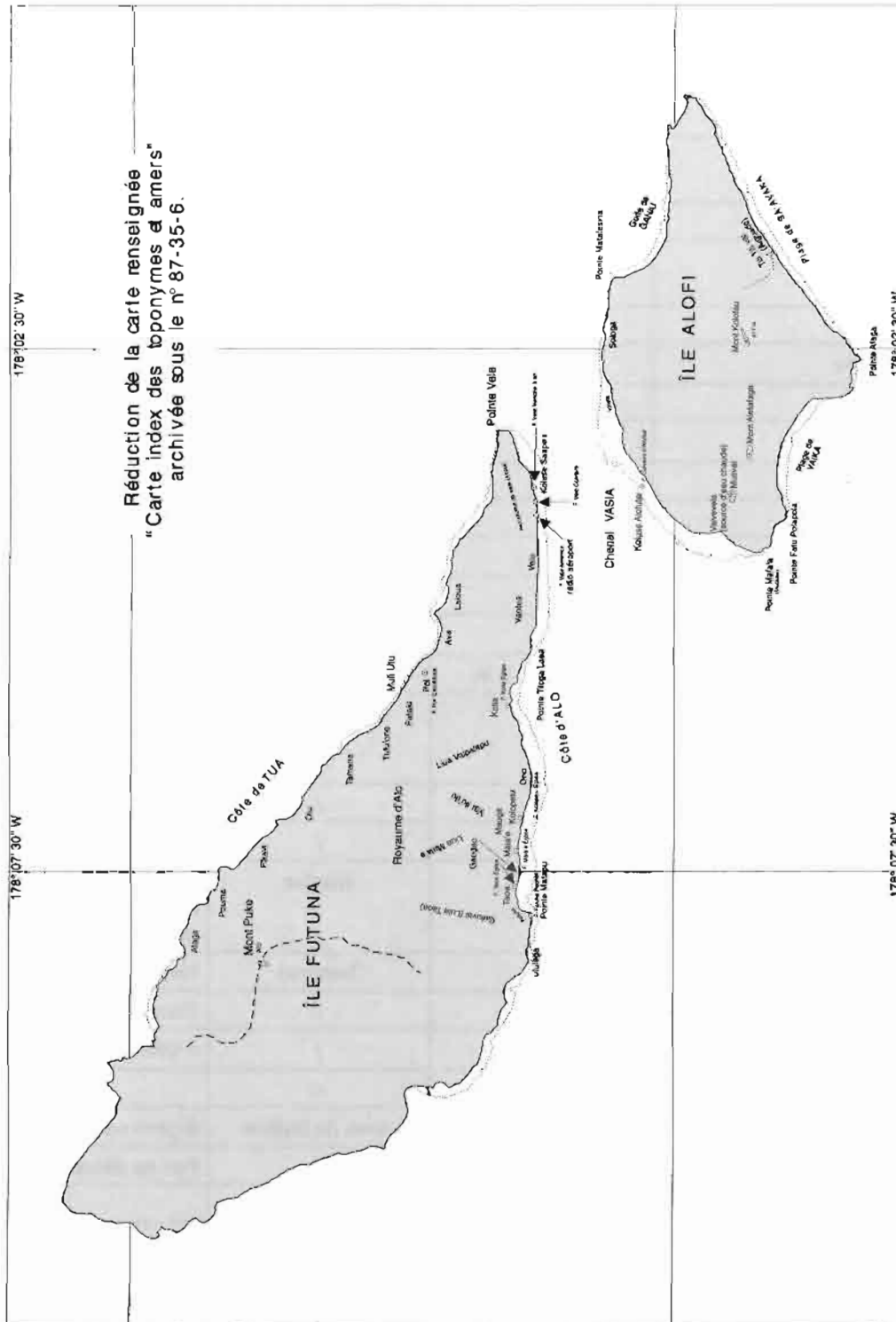
L'extrémité est de l'île est la pointe Sauma.
 La plage Sa'avaka s'étend de cette pointe à celle d'Afaga.
 Entre la pointe d'Afaga et le Fatu Polapola on trouve la place Vaika.

La pointe située à l'extrémité ouest d'Alofi, appelée pointe Mafa'a sur le document de l'IGN, est connue par les gens que nous avons interrogés sous le nom de Mulikeu.

L'île est dominée par trois sommets, le Kolofau étant le point culminant.

Aucun nom ne nous a été indiqué pour le sommet le plus à l'est mais celui situé à l'ouest (coordonnées UTM, X = 386 000, Y = 8 413 850) se nomme le Mulivai.

4. CARTE INDEX DES TOPONYMES ET AMERS



5. TABLEAU SYNOPTIQUE

Le signe = signifie que le toponyme de référence (carte marine ou carte IGN) est identique à celui qui est proposé à la suite de l'enquête.

N°	NOM PROPOSÉ	Toponyme de référence		OBSERVATIONS
		CM 6259	Document IGN provisoire	
1	Chenal Vasia	Chenal sain	/	Connotation de " passage large et profond "
2	Côte d'Alo	/	/	Côte sud du royaume d'Alo (Alo = face avant)
3	Pointe Vele	Pte Velé	=	Jamais d'accent sur les " e "
4	Aérodrome de Vele (Avavi)	Pointe de sable	/	S'écrit aussi : Ava'ui (passe bleue)
5	Koluse Saafea	/	/	Calvaire de Saafea
6	Vaotea Tilogalea	/	/	Endroit où l'on voit des poissons perroquets
7	Kolia	=	=	
8	Liua Vaipalapu	/	Vai Palapu	
9	Ono	Village d'Alo	=	
10	Kolopelu	/	=	
11	Mauga	/	/	= Montagne
12	Mala'e	/	=	= Place du village
13	Maopopo (station météo.)	/	/	
14	Liua Malae	/	Vai Iki-Iki	= Rivière de Mala'e
15	Taoa	/	=	
16	Fatuka (rivière)	Rocher du S.W.	/	
17	Liua Fatuka (Gutu Vai)	/	Gutu Vai	= Rivière Fatuka ou (N) Gutu Vai = embouchure d'un cours d'eau
18	Gaogao	/	/	Plage
19	Tufulega	/	/	Plage
20	Liua Vainifao	/	Vainifao	Rivière de Vai Nifao Frontière entre les royaumes d'Alo et Sigave
21	Liua Temonio	/	Temonio	Rivière de Temonio
22	Vaikelekele	/	/	S'écrit encore Vai Kele Kele
23	Vilamalia	/	/	= Villa de Marie
24	Leava	/	=	
25	Ava Leava	Anse de Sigave	Anse de Sigave	Sigave se prononce Si(N)gavé
26	Lions Intérieur et Extérieur	=	/	Pas de dénomination connue
27	Nuku	/	=	
28	Sausau	Morne du pavillon	=	= Domaine de la mission
29	Vaisei	/	=	
30	Fiua	/	=	

N°	NOM PROPOSÉ	Toponyme de référence		OBSERVATIONS
		CM 6259	Document IGN provisoire	
31	/	Petit piton	/	
32	Fatu Pakafu	îlot	/	= Rocher Pakafu
33	/	Sommet Matsi	/	
34	Toloke	/	=	
35	Pointe de Tavai	Pte Nord	/	
36	Tavai	Village de Tavai	=	
37	Fatu Somaloma	Rocher Somaloma	/	
38	Pointe Matapu	Pte rocheuse	Pte Matapu ou Pte Rocheuse	
39	Ava Vai	/	/	Cette anse marque la frontière nord entre les royaumes d'Alo et de Sigave
40	Tuatafa	/	=	
41	Kapau	/	=	
42	Afaga	/	=	
43	/	Sommet des Pyramides	/	
44	Mont Puke	Mont Puke (Singavi)	=	
45	Pouma	/	/	
46	Utu Magalua	Pte pyramides	Utu Magalua ou pointe des Pyramides	
47	Côte de Tua	/	/	Côte nord du royaume d'Alo (Tua = face arrière), chaude et peu abritée, car abritée de l'Alizé
48	Fikavi	/	=	
49	Olu	/	=	
50	Tamana	/	=	
51	Tufu'one	/	=	
52	Fatu Fakaki	/	/	= Rocher de Fakaki
53	Fakaki	/	=	
54	Poi	Village Foi	=	Se prononce Poi, basilique de Pierre Chanel, martyr. Jamais de tréma sur les " i ".
55	Ava	/	=	= Passe, ouverture
56	/	Pointe falaise	=	
57	Laloua	/	=	S'écrit aussi Lelua
58	Île Alofi	=	=	

N°	NOM PROPOSÉ	Toponyme de référence		OBSERVATIONS
		CM 6259	Document IGN provisoire	
59	Alofitai	Village d'Alofitai	=	Se prononce Alofitai (voir n° 54)
60	Koluse Alofitai	Rocher	/	Calvaire remarquable
61	Vateta	/	/	
62	Sologa	/	/	
63	Pointe Matalesina	/	=	
64	Golfe de Ganiu	/	/	Se prononce (N) Ganiu
65	Pointe Ava'afi (pointe Loka)	/	Pointe Ava'afi	
66	Pointe Sauma	Pte Sauma (de Volta)	=	
67	/	Banc de la Meurthe	/	Non investigué
68	Plage de Sa'avaka	/	Sa'avaka	Ancienne résidence des premiers détenteurs du titre « Tui Saavaka » on y trouve une aiguade abondante (Tilitili Vai)
69	Pointe Afaga	/	-	
70	Plage de Vaika	/	/	
71	Fatu Polapola	/	Pointe Fatu	= Rocher de Polapola
72	Pointe Mafa'a	/	Pointe Mafa'a	
73	Mont Mulivai	Piton	/	
74	Mont Kolofau	Mont Kolofau (Bougainville)	=	
75	/	Mamelon vert	/	

ANNEXE 2

RECUEIL DES TOPONYMES DE L'ATOLL D'HAO (TUAMOTU)

1. PRÉAMBULE

Le levé exécuté par le BH1 *L'Estafette* à Hao en juillet 1986, selon les instructions techniques n° 971 SHOM/EM/NP du 19 novembre 1985, ne concernait que des zones restreintes (la Passe Kaki et les abords du quai Louam).

Pourtant la mission a saisi cette opportunité pour réviser l'ensemble de la toponymie portée sur les cartes marines 6579 et 6580. L'enquête menée sur place a permis d'obtenir de nombreux toponymes complémentaires. Beaucoup d'entre eux présentent peu d'intérêt sur une carte à l'échelle de 1 : 100 000, ils ont néanmoins été tous répertoriés, sur une minute au 1 : 60 000 afin de ne pas perdre l'information.

Il faut noter par ailleurs que le comité de toponymie des EFO (ou Polynésie française) ne siège plus depuis les années 60. Il ne semble pas que son action de collecte des informations ait été reprise par un service territorial, ni qu'il existe une commission toponymique compétente pour les valider.

Citons pour mémoire l'intérêt de l'ORSTOM⁽¹⁾ à ce sujet pour la confection de son atlas de Polynésie française. En l'absence de tout document cartographique officiel des Tuamotu autres que ceux du SHOM⁽²⁾, les cartes marines et les minutes de la mission font référence.

2. GÉNÉRALITÉS

2.1 Notions topographiques indigènes

a/ Le dialecte de Hao, guère différent de celui des autres atolls de l'archipel Tuamotu, est riche de termes qui décrivent, précisent et détaillent l'environnement maritime et lagunaire. Mais il est progressivement, sinon totalement supplanté par la langue tahitienne dans le parler des jeunes.

S'il y a plus d'une dizaine de mots pour distinguer les patates de corail selon leur taille, leur profondeur (de karéna à kapuku) ou leur proximité de l'estran, et s'il en est de même pour les anfractuosités du récif-barrière (mapuna, pātuarēa, tauta, repa...), "cap", "baie" ou "île", ..., concepts européens inappropriés à la représentation "Paumotu" de l'atoll sont intraduisibles.

Le vocabulaire reflète simplement la vision pratique et l'adaptation du Paumotu à son milieu naturel. Mais l'inconvénient majeur est le manque de termes topographiques coralliens équivalents en français (ex. hōā = chenal séparant deux motu, motu = plate-forme corallienne couverte de végétation).

Une compilation des termes topographiques en usage à Raroia (groupe centre Nord Tuamotu) a été publiée en 1955[5bis] et reprise dans le rapport de la Mission Géodésique des Tuamotu[16]. Après avoir analysé les recherches linguistiques plus anciennes de F. J. Stimson (1927-1935) dévoilées récemment[14], ajoutons que cette liste, sans être exhaustive, s'applique généralement à tous les atolls bas des Tuamotu. Les quelques termes recueillis durant l'enquête à Hao y ont déjà été cités. Un glossaire pourrait être incorporé aux Instructions Nautiques, comprenant mots Paumotu et homologues tahitiens s'ils existent (le tahitien étant devenu la "lingua franca" de Polynésie depuis plus d'un siècle).

b/ Dans le choix des noms de lieux, l'attitude du Paumotu est tout aussi pragmatique que dans la désignation topographique. Elle ne tend jamais à l'abstraction, vu le confinement de son monde (= ao).

Si une entité géographique est unique sur l'atoll, un nom commun à l'archipel suffira pour la désigner. Encore faut-il retrouver le même mot avec la même signification sur un autre atoll pour faire la distinction entre toponyme et terme générique. Par exemple (cf. figure 1), *ŋake* indique la position relative d'un bout de l'atoll par rapport au centre principal de peuplement (le plus à gauche en faisant face au récif), mais *opotiki* est un terme inusité ailleurs qu'à Hao (l'inverse de *ŋake* est *kereteki*), il s'agit sans doute d'un nom propre. Les deux pourront néanmoins être portés sur une carte.

Si les îles principales de la côte est n'ont pas de noms désignant les ensembles de terre émergée, par contre une petite plate-forme corallienne (ex : *mekopapa* = riche en baliste) ou un trou d'eau (*vainono* = où poussent des arbustes) seront dotés d'un nom. La nécessité de se plier à des normes de pensée européenne, la généralisation de noms particuliers : par exemple *Tatiare* n'était qu'un lieu-dit de la grande île du sud mais le toponyme semble désormais représenter toute l'île. L'enquête n'a pas toujours permis de savoir si une telle généralisation est appliquée par toute la population. Ce phénomène a d'autant plus d'acuité qu'un motu de quelques centaines de mètres possédera plusieurs lieux-dits. Notons aussi que selon les familles et leurs intérêts économiques, pêcheurs, éleveurs de nacres, ramasseurs de coprah, les baptêmes diffèrent !

En résumé, le vocabulaire toponymique d'Hao est constitué principalement de lieux-dits.

Ils sont souvent inconnus des jeunes, qui sortent rarement du village d'Otepa sauf pour monter à la grande ville de Papeete. Le choix du toponyme désignant l'ensemble topographique cohérent est alors laissé à l'appréciation de l'enquêteur, dont le choix est orienté par la confiance dans les témoins (et leurs mémoires, vu l'âge).

(1) Office de la Recherche Scientifique et Technique outre-mer.

(2) Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

c/ Termes génériques inclus dans les toponymes.

Sur les cartes françaises concernant des pays de langue étrangère, les expressions toponymiques sont formées :

- d'un mot français désignant une particularité géographique (île, fleuve, ...) ou un établissement humain (ville, port, ...)
- suivi d'un toponyme, qui est soit un nom du cru, réminiscence historique ou mythique, soit un nom commun du dialecte local qui a été plus ou moins déformé à l'usage.

Dans le cas de l'archipel Tuamotu, certains termes sont passés dans le vocabulaire scientifique[9] (ex. motu, hoa). Il vaut mieux utiliser ces termes que leur pâle équivalent en français (îlot, chenal). D'autres termes, tels ava (passe), roto (lagon), akau (récif) sont souvent inclus dans les toponymes.

Exemples : toponyme Vaha Ruhi → motu vaharui
 Roto ava → passe rotoava

Pourquoi les faire précéder de leur traduction française pour en faire des expressions toponymiques ? Le toponyme nu continue à attirer l'attention de l'utilisateur sur la signification des termes qui le composent. Et si on tente la troncature pour remplacer le terme topographique local par sa traduction, on risque de faire perdre tout sens au nom.

2.2 Noms de terre

Dès que l'intérêt économique des récoltes du coprah a été perçu par les indigènes, l'administration française a tenté de donner un caractère légal à la propriété. Dans les années 1880, des comités locaux furent chargés d'établir les plans cadastraux.

Dans les cas où l'enquête toponymique n'aboutissait pas, il a fallu se contenter des noms de terre inscrits au cadastre :

a. quand les témoignages sont trop contradictoires, il vaut mieux se référer à ce document officiel, bien qu'il ne répertorie pas les termes désirés.

b. dans un lieu qui fut autrefois très fréquenté, tous les accidents de terrain, qu'ils soient visibles ou imperceptibles à l'œil nu (ex : bande de corail immergé invisible : kapuki, arbres, ..., pierres) sont nommés. Si les lieux-dits sont trop nombreux sur une parcelle de terre, il est préférable de se référer au cadastre.

c. le nom a pu être perdu définitivement, aucun des informateurs n'en ayant souvenir.

Notons que certains noms de terre inscrits au cadastre sont utilisés couramment par la population (ex : orare à l'ouest et au sud-est). A Tahiti, "certains noms de terre qui désignent un ensemble géographique viennent d'ailleurs d'un toponyme ancien"[1].

2.3 Noms de districts (figure 2)

Si les noms des grands ensembles géographiques sont généralement absents et remplacés par des termes topographiques (cf. figure 1), il existe néanmoins des noms associés aux anciennes divisions socio-politiques de Hao.

a. A l'origine, les populations de Hao et Amanu formaient une seule nation, mais ils étaient divisés en districts (matakeinanja) dont les limites étaient définies.

Si la terre était propriété commune du groupe, les arbres et les cultures étaient sans doute partagés entre les différentes Maisons (utuafare). La population était alors uniformément dispersée tout autour du lagon, les villages se réduisant aux maisons des grands chefs (aniki).

b. le nom des districts a pour origine le nom d'ancêtres mythiques ou de héros fondateurs et la maison de leur descendant prend le nom de gâti (ex : gâti – tekopu). Je n'ai pas pu retrouver d'ancien capable de (ou voulant bien) délimiter les anciens districts. Pourtant des noms associés à la tradition ou à des légendes sont projetés sur différentes parties de l'atoll :

- Moeava, nom d'un gerrier, dont la narration des exploits a été recueillie par le père Audran[2] et cité à Takaroa[14] . Vivace dans la mémoire des enfants de Hao.
- Temauri, Munanui.
- Tuhoea (l'ariki du grand sud), cité par Caillot en 1923[17] et appelé Teriki Tuhoea et non Te ariki Tu hoea (Teriki et un prénom, Te ariki = le chef).

Il est possible de compter les anciennes maisons, car elles possédaient chacune un lieu de culte ou marae, mais je n'ai entendu parler que de trois marae : Opakara, Okero au sud, plus un marae au nord-ouest. Des recherches sur le terrain permettraient d'en découvrir plus, car c'est insuffisant : Te lho a Te Page, l'un des derniers sages (tahuna) de l'archipel Tuamotu se souvenait de plus de 19 noms de districts à Rarōia[6, 8].

2.4 Noms consacrés par l'usage ou des recherches antérieures

L'atoll de Hao est fréquenté par des navires de commerce ou de la Marine depuis un siècle et demi, et les noms utilisés dans les échanges entre les marins et la population locale ont subsisté (ex : passe kaki, village Oepa). Les toponymes portés sur la carte marine 6579, recueillis par le comité de toponymie des EFO (19^e séance du lundi 18 août 1952), ont tous été conservés.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Peu de temps a pu être consacré sur le terrain à l'enquête toponymique. Conjugué à l'inexpérience de la mission en la matière, la collecte et l'analyse des toponymes se sont déroulées en trois temps :

a. Le CC (S) Vital, directeur du port de Hao avait recueilli le nom des motu auprès du mutoi (garde-champêtre) le plus

âgé d'Opepa. Cet informateur a complété à maintes reprises ses données auprès du Tavana (maire) et des anciens du village. Par chance, il parlait le français malgré son âge (53 ans). Les toponymes ont été portés sur un plan vierge au 1 : 30 000 dressé par l'atelier militaire de Hao (AMH).

b. A l'aide du prêtre catholique qui s'occupait des enfants de la colonie de vacances, des informations contradictoires ont été recherchées auprès de la population. Des rencontres ont eu lieu avec le diacre, un ancien natif de Hao et un ancien natif d'Amanu. La conversation s'est déroulée avec un interprète, le prêtre, ou une jeune fille qui avait fait ses études à Papeete. Les témoins écrivaient les noms sur un croquis vierge. Quelques éléments ont été acquis durant des conversations avec les élèves de l'école d'Otepa.

c. Les documents de l'AMH, les plans cadastraux de la mairie de Hao (bien maigres) et les comptes rendus du comité de toponymie ont été consultés. Des recherches bibliographiques ont été faites à la bibliothèque de l'ORSTOM.

Il faut néanmoins être prudent sur la vérité des retrouvés, car les recoupements ont été difficiles, en particulier pour les zones nord et nord-ouest de l'atoll, peu peuplées aux temps anciens.

3.2 Liste des témoins entendus

- Ganahoa – Pou (mutoi)
- André dit "Pai" (Katekita)
- Tari – Manuera
- Paea d'Amanu

4. TRANSCRIPTION

4.1 Rappel

Si les formes et l'orthographe de la langue tahitienne sont désormais plus ou moins fixées (grâce à l'académie tahitienne et aux chercheurs de l'ORSTOM), le dialecte de l'archipel Tuamotu ne l'est pas. En effet, aucune œuvre littéraire ou religieuse (la Bible) n'a été traduite en langue Paumotu, à ma connaissance.

Le seul ouvrage de référence est le dictionnaire de J. F. Stimson et D. S. Marshall[14], fruit de recherches entreprises avant la guerre de 1939-1945 qui a marqué un basculement de la Polynésie dans le monde moderne. Il a été publié en 1964 en tenant compte des éléments

linguistiques figés dans les autres langues polynésiennes. La transcription des toponymes et termes topographiques se réfère à cet ouvrage.

Le tableau synoptique (§ 6) récapitule les toponymes avec leur orthographe exacte.

4.2 Alphabet

Consonnes classiques : f h k m n p r t v
Voyelles : a e i o u

a. La graphie du "n velaire" (son nasal dur : ŋ) n'est toujours pas fixée dans l'archipel Tuamotu. Ce son est généralement traduit par "g" ou "ng" dans les autres dialectes polynésiens ou dans les dictionnaires.

Aux Tuamotu, la lettre "n" a aussi été adoptée. Comment s'y retrouver ? L'orthographe officielle des noms d'atoll⁽³⁾ contient généralement le "ng" (ex : Fangataufa, Tematangi, Rangiroa, Taenga, ...), comme tous les mots où l'introduction de la double consonne est étayé par une prononciation type "singing" en anglais. Mais si le signe est placé en tête de mot "ng" est trop déroutant car imprononçable, "n" ou "g" sont alors choisis indifféremment, par exemple : gakc ou nakc. Il est en effet difficile de faire la différence entre la velaire bien formée "G" et la labiodentale "N".

Tenons-nous à l'autorité de l'unique dictionnaire de Paumotu, en adoptant le signe internationalement adopté en phonétique "ŋ".

b. Le coma " ' " a été parfois introduit pour indiquer l'occlusive glottale, bien que ce ne soit pas la marque d'un phonème distinctif en langue Paumotu classique. Mais un certain nombre de toponymes sont empruntés au tahitien, " ' " y exprime le coup de glotte.

c. Les dictionnaires modernes des langues polynésiennes s'attachent à noter la phonétique des voyelles. Une distinction pouvant altérer le sens des mots doit être faite entre voyelle courte et voyelle longue. Seule cette dernière est transcrite par un sigle, le macron.

La Bible protestante et le dictionnaire tahitien de la London Missionary Society[18] font état de trois signes différents, les carnets de Stimson, de sept signes pour le Paumotu. La simplification est évidente.

ŋ	Tonga	Fidji	Samoa	Nouvelle-Zélande	Gambier	Honolulu	Hawai
graphie	ng	g [4]	g	ng	g [11]	g	n

(3) écrit à la tahitienne "Rairon" sur la CM 6420 (mauvaise orthographe car la suppression du ng produit un nom de remplacement "Ra'iroa")

Si l'enquêteur parvient à "entendre" ces signes, leur transcription est indispensable pour faire par exemple la différence entre :

'oe	(vous, au singulier)
o'e	(famine)
'o'e	(épée)
oe	(cloche)

4.3 Maintien de l'article

Les articles initiaux "O" ou "Te" sont fréquents dans les toponymes des Tuamotu et n'ont plus de valeur démonstrative.

Quand les informateurs écrivaient un mot comprenant ces préfixes euphoniques accolés, ceux-ci étaient considérés comme partie intégrante du toponyme.

4.4 Remarques et topographie cartographique

La plupart des toponymes ont été portés par écrit par les témoins. Or, prenant comme référence phonétique et orthographique le français, ils ne se soucient guère des accents ou des césures entre les mots (réflexion déjà faite par M. Vallaux[16] en 1955). Si l'enquêteur n'est pas attentif à la prononciation des mots, le toponyme risque d'être inexact.

Nous n'avions pas de magnétophone pour enregistrer les témoins, soit les accents inscrits dans les toponymes recueillis étaient évidents à l'oreille, soit ils ont été retrouvés dans des transcriptions documentaires.

Jusqu'ici les cartes marines de la Polynésie française se limitaient à transcrire les toponymes avec l'alphabet et les signes français, à l'imitation des indigènes. Malgré de grossiers "à peu-près", cette simplification est judicieuse au vu de l'intérêt de la toponymie pour le navigateur : repérage sur les cartes marines.

Il me semble utile néanmoins que l'usager des cartes soit à même de prononcer les noms de lieux d'une façon correcte. La procédure proposée est l'inscription entre parenthèse du nom avec son orthographe exacte sous le toponyme.

Documents rédigés :

- une minute au 1 : 60 000
- une carte renseignée (CM 6579).

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] D'ANGLEJEAN CHATILLON P.
• Recueil des toponymes de Tahiti – Annales hydrographiques – 1961 – 4^e série – tome 10 – pp 405/416.
- [2] AUDRAN H.
• Etude linguistique du dialecte particulier de Napuka. Bull Soc. et Océa. – vol 5 – pp 42 – 1919.
• Noms d'illustres marins Paumotu des temps passés. Bull Soc. et Océa. – vol 7 – pp 19/20 – 1923.
• Moeava ou le grand Kaito Paumotu. Bull Soc. et Océa. – vol 2 – pp 53/62 – 1917.
- [3] HERVE P.
• Note sur le dialecte Paumotu. Bull Soc et Océa. – vol 5 – pp 36/40 – 1919.
- [4] CAPELL A.
• Fidjian Dictionnary – Ed. Govt of Fidji - 1973
- [5] Comité de toponymie des EFO
• Compte-rendus de séance - 1952
- [6] DANIELSSON B.
• L'île du KON-TIKI – Ed Grasset – Paris 1955.
- [7] DORDILLON R.I. (Mgr)
• Dictionnaire marquisien. Ed Institut d'ethnologie – Paris 1931.
- [8] EMORY K. P.
• Tuamotuan material culture – 1974
• The Tuamotu Survey – report of the director for 1931 – Benice P. Bishop – Museum Bull. 94 – pp 40/50.
- [9] Hand book for atoll research (Atoll Res. Bull)
- [10] JAY N.
• Note sur la toponymie des archipels (comité des toponymie des EFO) - 1955
- [11] LAVAL (Père)
• Dictionnaire des Gambiers – ED
- [12] LEMAITRE Y.
• Ed. ORSTOM - 1973
- [13] MOERENHOUT J.A.
• Voyages aux îles du grand océan – vol I et II – Paris – 1837
- [14] STIMSON J.F. et MARSHALL D.S.
• Dictionary of some Tuamotuan dialects fo the Polynesian Language. Published by teh Peabody Museum of Salem (Massachusset) and The Royal Institute of Linguistics and Anthropology – The Hague – 1964
• Tuamotuan religion. Benlce P. Bishop Museum Bull – 103 – 1933
- [15] TRYON D.T.
• An introduction to the Tahitian language of Polynesia – Australin National University Press – Camberra - 1970
- [16] VALLAUX F.
• Toponymie et topographie polynésienne –Annales hydrographiques – 1954
- [17] CAILLOT E.
• Mythes, légendes et traditions des polynésiens – 1923.
- [18] A Tahitian and English dictionary – Tahiti – printed at the London missionary society's Press - 1951

6. TABLEAU SYNOPTIQUE

Terme géographique descriptif en français	Toponymes			Observations et sémantique
	Versions recueillies	Source	Toponyme adopté	
atoll	Hao Foherani Haorurji	CM, US ohs dic	Hao	nom récent – date de l'arrivée des européens (popaa)
village	Otcpa Otepahao	CM, US, ter, terr US. loc	Otepa	les habitants de Hao ou d'Amanu parlent d'Otepahao
pointe	Tehakoro	CM, CEP, US. loc	Tehakoro	= barbillon d'oiseau
motu	Tehakoro iti	US. loc	Tehakoro iti	"petit" Tehakoro
motu	Opāhoa Opāhua Pāhoa Opāhoa iti	US. loc	Opāhōā Opahoa iti	terme désignant un marae (Anaa) – pahoa est le nom d'un illustre marin Faumotu "petit" Opahoa
motu	Haari hoe Puhirau	US. loc	Ha'ari hoe	Ha'ari = coco
motu	Paraoa nainai Parahoa Mokotea	US. loc US. loc nom de terre	Parāoa nainai	1. Paraoa ou Parakoa est un cétacé (baleine, cachalot) 2. Paraoa est un atoll des Tuamotu, mais aussi un nom propre 3. Nai Nai = hai hai en tahitien ou l'ouest ?
motu	Teehora Tehora	US. loc	Teehora	= banyan, signe de marae effectivement sur le motu adjacent il y en aurait n
motu	Paraoa rahi Kanake	US. loc nom de terre	Parāoa rahi	rahi = nombreux ou large
motu	Kakina	US. loc	Kakina	attribut sexuel féminin
motu	Mekopapa	US. loc	Mēkopapa	patate de corail – vivier à balistes mēko = utura (baliste)
motu	Marie	US. loc, CEP	Mārie	= paix, tranquillité possède un marae
motu	Mitikia	nom de terre	Mitikia	(miti = l'océan)
motu	Orare Orare nainai	US. loc nom de terre US. loc	Orarē Orarē nainai	= la victoire plus à l'Ouest qu'Orare
motu	Teturai	US. loc	Teturai	nom de poisson
motu	Hunupaku	ecr.	Hunupaku	= tortue à carapace noire "Hunu", non rencontré dans les dictionnaires. Honu = tortue (tahitien)
motu	Papakotaka	US. loc	Papakotaka	variété de bêche de mer (Holothurie)

Terme géographique descriptif en français	Toponymes			Observations et sémantique
	Versions recueillies	Source	Toponyme adopté	
motu	Otichau	ecr.	Otiohau	= huître + qualificatif (type denacre)
motu	Matua Matua-Korereka Teure	US. loc nom de terre CEP	Mātua	= sacré
motu	Ākau		Ākau	ou Rakau, plateforme récifale côté océan
motu	Tahuka Oarera	US. loc cad terr.	Tahuka	nom propre
motu	Tahuka iti Oarera	US. loc cad terr.	Tahuka iti	"petit" Tahuka
motu	Okoti	US. loc	Okoti	= frontière, limite (kotina)
motu	Okoti-korereka Matuhaga	cad. US. loc	Mātuahana	substantif de sacrifier temporairement
motu	Ohauiri	ecr.	Ohaviri	
motu	Ohura Ohura	ecr. US. loc	Ōhūrā	variété de corail, ou plutôt tas de pierres empilées (cairn)
motu	Anuriki	US. loc	Anuariki	il est fréquent de voir la suppression du "a" en dialecte Hao (ex : Teriki = Teariki). = arc en ciel aux couleurs légères
motu	Ovete Ohura	US. loc	Ovetē	= une disette (vetena à Amanu) ou un type de poisson
motu	Maketu	US. loc	Maketu	le vent ou une variété de poisson porc-épic
	Okero Tetiare	US. loc	Okero Tetiare	?
	Tetiare	US. loc CEP	Tetiare	lieu-dit désignant désormais toute l'île
marae	Poueva	dic, US. loc	Poueva	marae célèbre (rapport des années 30)
(ancien) village	Vainono	dic, US. loc, CEP, CT	Vainono	trou d'eau où poussent des arbustes les "nono" – terre du plus puissant chef d'Hao dans les temps anciens
	ŋake	CM, CEP, US. loc, CT, dic	ŋake	terme géographique
pointe	Tehiku	CM, CEP, US. loc, CT	Tehiku	= la queue, le bout
table corallienne	Oveve Otahara	US. loc CEP	Oveve	= variété de poisson à Amanu vêtement à Hao
motu	Akena Akenoa	US. ecr CEP	Akeŋa	variété de poisson chirurgical
motu	Topitere Topetere	US. loc, CM, CT, CEP, US. loc	Topitere	= voyage de Topi, l'un des nātirū

Terme géographique descriptif en français	Toponymes			Observations et sémantique
	Versions recueillies	Source	Toponyme adopté	
motu	Opana	US. loc	Opana	sex. ou empoignade dans un assaut de lutte
marae	Opakara	US. loc, dic	Opākara	= coup de poing, donne son nom au motu (si ce n'est pas l'inverse)
motu	Okarea Okaraea Okaraoa	US. ecr US. loc CEP	Okarāea	variété de bois utilisée pour les hameçons à bonite
motu	Tarana	US. loc	Taraŋa	lieu mythique de la tradition
motu	Tetanga	US. loc	tetaŪŋa	= lieu d'accostage ou tête de corail fréquentée par les poissons sur le récif extérieur
motu	Otenape	US. loc	Oteŋapē	= comme une variété de poissons perroquets
motu	Kavena. Mua Kavena. Muri	US. loc US. loc	Kaveŋa Mua Kaveŋa Muri	Mua/Muri (antérieur/postérieur) = le croissant de la lune
motu	Okaikai	US. loc	Okaikai	= la victoire
motu	tematahare	US. ecr	Tematahare	?
motu	Gaupi	US. ecr	ŋaupī	
motu	Ākau Akau	US. loc US. ecr	Ākau	Plateforme récifale côté océan.
motu	Ohoro	CEP, CM, CT, US. loc	Ohōro	Idem "pōro" (les testicules)
motu	Tiketou	US. ecr	Tiketōu	Tōu est un type d'arbre tike (élevé).
motu	Pakimaru Pahimaro	US. loc, ecr CEP	Pakimaru	
motu	Oteuruna 'Oteuruna	US. ecr	Koteuruŋa	Koteu est un toponyme qui avait été recueilli par le CEP !aruna = au dessus (ou le sud ≅ toŋa).
motu	Ofakarea rahi	US. ecr	Ofakarēa rahi	= tortue nouveau-né rahi/nainai.
motu	Ofakarea nainai		Ofakarēa nainai	
motu	Taero	US. loc	Taero	Là où les poissons sont toxiques.
groupe de motu	Otutoŋa	US. loc CEP	Les quatre Otutuŋa	
motu	Maiki	US. loc	Māiki	Le jeu.
motu	Aratao mua	US. ecr	Aratao mua	Mua = devant
motu	Aratao muri	US. ecr	Araotao muri	Muri = derrière
motu	Orare	US. loc CEP	Orare	Nom de poisson

Terme géographique descriptif en français	Toponymes			Observations et sémantique
	Versions recueillies	Source	Toponyme adopté	
motu	Hakape	US. loc	Hahapē	Pē = blessé (typ. Hao) mais Hākape = ramer (mais cette prononciation n'a pas été retenue)
motu	Otope	US. loc	Otope	Mythologie : nom d'un ŋātirū
motu	Otikavao		Otikavao	?
motu	Tamore	US. loc, CEP	Tāmōre	= méthode de pêche ou arbre pelé
motu	Ofafaga	US. ecr	Ofāfaŋa	ou Ohāfaŋa faŋa = nageoire de tortue
motu	Maioi	US. loc	Maioi	= le clitoris
motu	Huenoa	US. loc	Huenoa	Variété de poisson porc-épic l'île posséderait un marae
motu	Onikau mua	US. loc, CEP, dic	Onikāu mua	Nageoire de tortue
motu	Onikau muri		Onikāu muri	
motu	Vavaruhi	US. loc	Vavahuri	Nageoire dorsale du ruhi (variété de carangue)
Motu	Vaipapa	US. loc	Vaipapa	= galet d'eau
Motu	Otehirinaki Otehirināki	US. ecr US. loc	Otehirināki	= le dossier d'un trône (en corail)
Motu	Taugamiki	US. ecr	Tauŋamiki	Arène de lutte
Motu	Kanikite Onaka	US. loc CEP	Kamikite	Héros mythologique qui possédait des ouies pour respirer dans l'eau
Motu	Matie	US. loc	Matie	= couleur verte
Motu	Ofagia Ofagai Teurutou	US. loc US. ecr, dic CEP	Ofagia	Nom de famille de l'atoll de Napuka
Motu	Huritua	US. ecr, loc	Huritua	Huri = jeune cocotier germant
Motu	Onana	US. ecr	Onaŋa	
Motu	Tepotou Teputō Teputo	US. ecr US. loc US. loc	Teputō	
Motu	Ohakere	US. loc, CM	Ohākere	Méthode de cuisson du poisson ou des oiseaux
Motu	Faratahi	US. loc, CEP	Faratahi	= pointe, promontoire
Motu	Okero Kero	US. loc	Akero	= la tortue mâle ou les étoiles du baudrier d'Orion (Takero)
Motu	Tikahakari Okoto	US. ecr CEP	Tikahakāri	Variété de cocotier Haari = coco
Groupe de motu	Ofafaŋa	US. loc	Ofafaŋa	(déjà cité dans les tableaux)
Motu	Omokoki		Omokoki	?

Terme géographique descriptif en français	Toponymes			Observations et sémantique
	Versions recueillies	Source	Toponyme adopté	
Motu	Temeruga		Temeruḡa	?
Motu	Papakotakā	US. loc	Pāpakotakā	Surface couverte de bêche de mer
Motu	Ofara Tuteroha	US. loc CEP	Ofara	= pandanus
Motu	Okoto	US. loc	Okoto	(déjà cité dans les tableaux)
Motu	Akiaki	US. loc, CEP	Akiaki	= variété de plante rampante
Motu	Tuteroa	US. loc	Tuteroa	
Motu	Omanu	US. loc	Omanu	Manu = personnage vénéré (manuia) Manu = oiseau (tahitien)
Motu	Tagiti	US. ecr, dic	Taḡiti	
Motu	Otukati	US. ecr, dic	Otūkati	
Pointe	Opōtiki Opotiki	US. loc CEP	Opōtiki	
Groupe de motu	Otohora Otohorau	US. loc, ecr US. loc, ecr	Les trois otohorā	= la baleine bleue
Motu	Kete		Kete	
Motu	Oketu	US. loc	Oketu	Le vent
Motu	Ogoto		Oḡoto	?
Motu	Otakaro	US. loc	Otakaro	Taka = circulaire, rond
Motu	Ovao	US. loc	Ovao	= la vallée ou les nuages type stratus
Motu	Kurupao	CEP	Kurupao	?
Motu	Kotima	CEP	Kotima	?
Quai		CEP	Louarn	

Obs : obsolète

US. : usage ; loc : parler local ; ecr : écrit ; dic : dictionnaires ou auteurs

CM : carte marine

CEP : carte du CEP

Figure 1 : Partition géographique

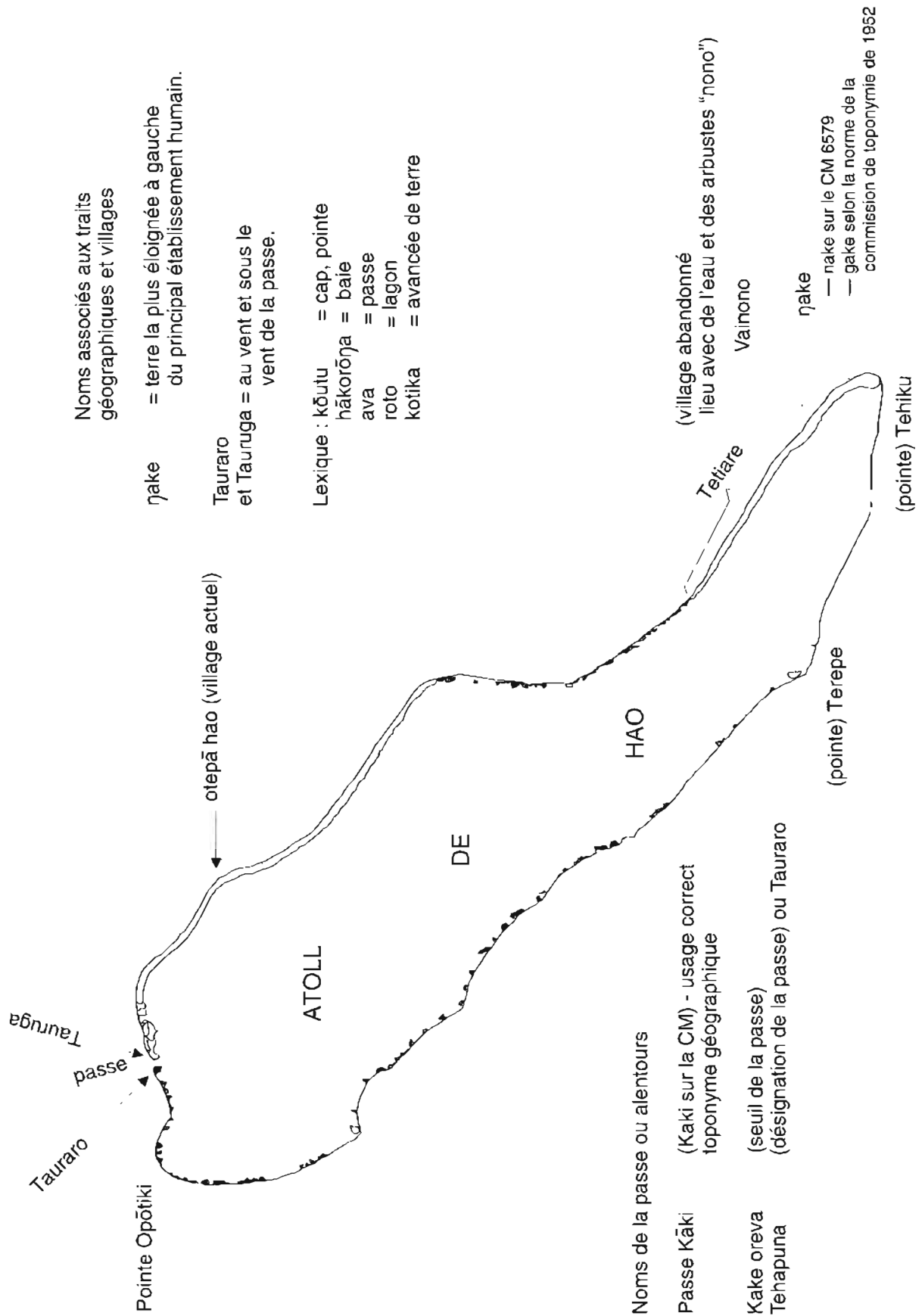


Figure 2 : Divisions mythiques

Noms associés aux structures principales de Hao.

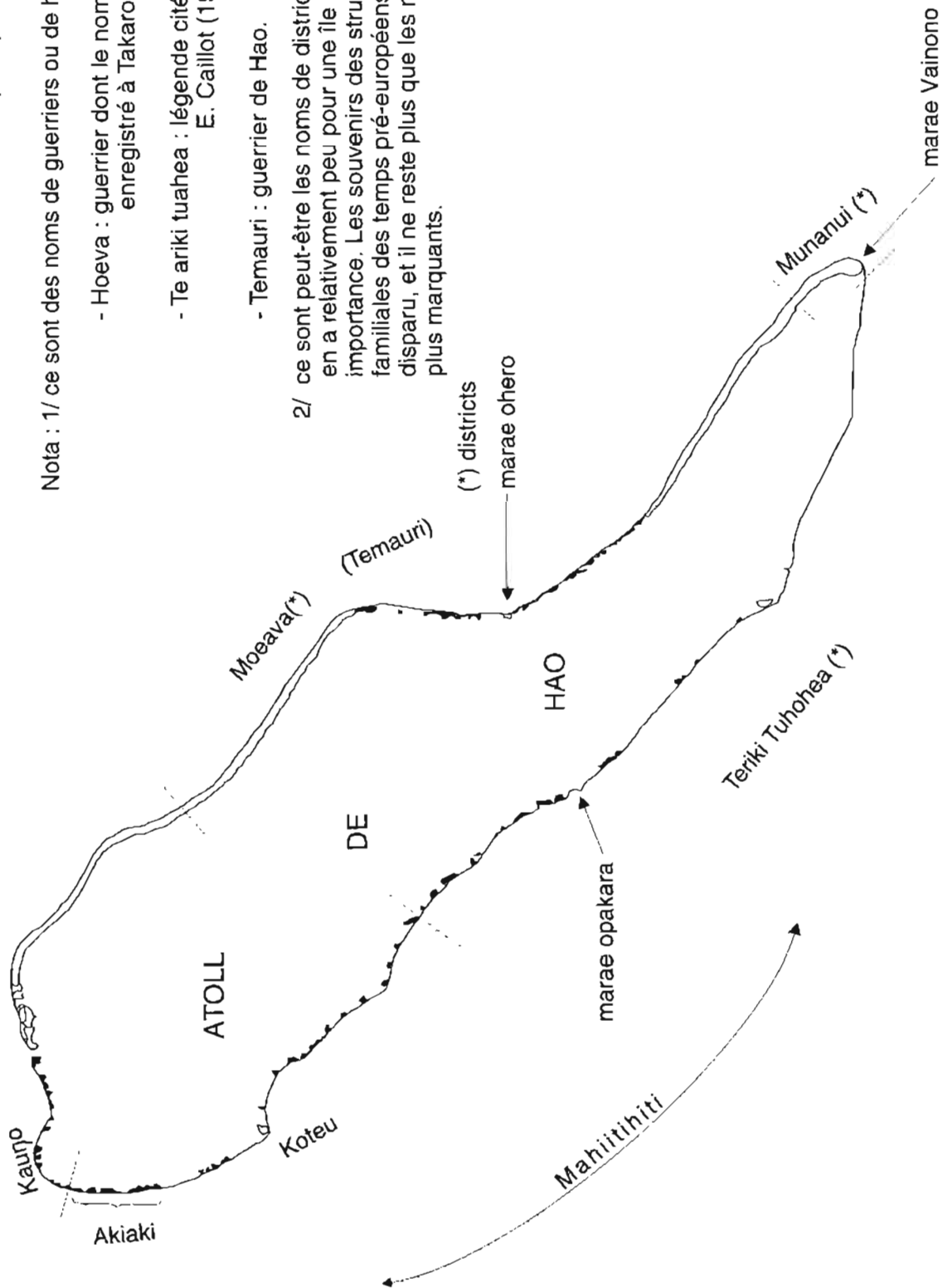
Nota : 1/ ce sont des noms de guerriers ou de héros.

- Hoeva : guerrier dont le nom a été enregistré à Takaro (2).

- Te ariki tuahea : légende citée par E. Caillot (1914).

- Temaui : guerrier de Hao.

2/ ce sont peut-être les noms de districts mais il y en a relativement peu pour une île de cette importance. Les souvenirs des structures familiales des temps pré-européens ont disparu, et il ne reste plus que les noms les plus marquants.



ANNEXE 3
TOPONYMIE DE L'ÎLE DE RAPA (ARCHIPEL DES
AUSTRALES) ;
APPLICATION À UNE RESTITUTION
TOPOGRAPHIQUE SOMMAIRE

RÉFÉRENCE : instructions techniques n° 102
SHOM/EM/NP du 29 janvier 1986

1. NOTES PRÉLIMINAIRES

L'intérêt de cette étude est, outre la conclusion d'une enquête classique de toponymie, son application à une restitution cartographique sommaire du relief, du réseau hydrographique et des détails littoraux de l'île de Rapa.

1.1 Le recueil exhaustif des noms de lieux a été effectué sur place. Ceux-ci ont alors été comparés aux toponymes récents inscrits sur la carte marine (CM 4232), puis triés pour choisir dans le vaste ensemble de détails géographiques dénommés ceux susceptibles de fournir aux navigateurs et utilisateurs de documents nautiques une référence efficace.

Le mode de translittération de la langue rapanaise qui est apparentée aux autres dialectes polynésiens des îles Australes, a été choisi conformément aux règles d'orthographe et de prononciation édictées dans l'article "Language in Rapa" par J.F. Stokes (1955) et décrites dans le dictionnaire de langue paumotu de F. Stimson (1960).

1.2 Ces recherches toponymiques sont à l'origine d'un travail complémentaire sur la représentation topographique de Rapa. En effet, les renseignements portés sur la carte marine à l'échelle du 1 : 30 000 sont peu denses et issus de levés anciens (1867 par le *Latouche Tréville*, 1887 par le *Scorff*). Les données géographiques de l'enquête toponymique ont été contrôlées et précisées par des reconnaissances touristiques des sites. Les détails correspondants du relief ont été approximativement situés sur l'île à l'aide de la carte marine (CM 4232), en utilisant le système formé par les sommets qui y sont répertoriés. La physionomie de la côte et du terrain a pu ainsi être précisée. Ce souci de restituer qualitativement la topographie de Rapa par un moyen très détourné n'est pas sans motif. La programmation d'activité des services territoriaux (Service de L'Équipement ou de l'Aménagement du Territoire) ne mentionne pas de restitution photogrammétrique de l'île. Rapa est en effet loin de tout aéroport -400 miles de Tubuai- ; la dernière mission aérienne réalisée en 1982 avec une caméra Wild RC8 a été un échec en raison de la couverture nuageuse.

Ce travail hors norme pourrait être exploité selon les procédés appliqués pour le dessin des cartes anciennes - ou plus récemment sur les cartes 6424 et 6207 - : les reliefs mis en évidence sont portés en estompe ou lignes brisées.

1.3 S'il est aussi tentant d'analyser les toponymes après compilation du vocabulaire rapanais afin de stimuler les

connaissances historiques de l'ère pré-européenne, une telle étude s'écarte de la vocation purement hydrographique de ce rapport.

Néanmoins la consultation des documents anciens fournit un constat sommaire de l'évolution et de la modification des toponymes, qui n'exclut pas la recherche des identités topographiques avec d'autres îles des Australes ou de l'archipel des Gambier, ou le décryptage signifiant des toponymes à l'aide des notes ethnographiques de I.F.G. Stokes (1921) - manuscrit conservé au Bernice P. Bishop Museum à Honolulu-.

1.4 Quelques notes figurant au § 6 décrivent le milieu écologique rapanais, elles permettent de mieux comprendre les notions topographiques indigènes.

2. SOURCES TOPONYMIQUES

2.1 L'enquête a été réalisée à l'occasion du levé de la baie d'Ha'urei à Rapa, effectué par le BH1 *L'Estafette* aux mois d'octobre et novembre 1986. Le conseiller territorial - maire de Rapa, L. Watanabe, convoquait alors une commission communale pour recueillir les noms de lieux. Elle était constituée de dix-sept personnes, principalement des "anciens" des villages d'Ha'urei et d'Area. La liste des participants figure au tableau suivant.

Les toponymes ont été portés sur un agrandissement au 1 : 15 000 de la carte marine 4232. Cette carte n'étant pas assez riche, de nombreux noms concernant des détails topographiques précis ont été portés à leurs emplacements présumés.

Comme les témoins répugnaient à modifier les toponymes imprimés sur ce plan, une enquête contradictoire fut faite auprès du maire - désormais interprète -, qui interpellait les témoins afin de préciser les prononciations ou vérifier la validité des toponymes.

La plupart des toponymes recueillis concernent des lieux-dits. Les renseignements topographiques dégagés durant cette enquête n'ont pas été exploités directement durant la mission à l'exception de ceux concernant l'environnement de la baie Iri et du sud d'Ha'urei.

2.2 Néanmoins les recherches bibliographiques et l'étude des toponymes recueillis ont permis de vérifier la cohérence de nos renseignements avec les observations antérieures contenues dans les nombreux rapports de géologie, de botanique, de zoologie, ou d'archéologie sur Rapa.

Les ouvrages et les textes de référence sont les suivants :

- rapports de la Commission de Toponymie des EFO (Établissements Français de l'Océanie), séances du 20 octobre et 15 décembre 1952 ; la carte marine CM 4232 exploite cet ensemble de 152 toponymes.
- thèse d'ethnologie de F. Allan Hanson (1964) ; ouvrage d'E. Caillot (1912) sur l'histoire de l'île Oparo ou Rapa et les publications scientifiques qui citent Rapa.

La carte avec les additions manuscrites de toponymes faites par G. Pauley⁽¹⁾ lors d'un séjour à Rapa en 1982 n'a pu être consultée.

(1) Département de Zoologie - University of Washington ; WA 98195 USA

- les articles du "Messager de Tahiti et de l'Océanie Française" (1867-1887), concernant la mise sous

protectorat puis annexion de Rapa à la France ; documents prêtés par l'ORSTOM.

Liste des habitants de Rapa présents à la réunion de recueil des toponymes

Tapura ioa taata tei tae mai ite ruru raa horoa roa ioa fenua i nia ite tapura fenua		
Nom	Prénom	
Watanabe	Lionel	Conseiller-maire
Faraire	Raurau	2 ^e adjoint au maire
Make	Terionii	Chef du conseil des diacres
Pea	Tepehu	
Maihuri	Aitiri	
Pukoki	Taihoriu	3 ^e adjoint au maire
Tinomoe	Atinerua	Conseiller
Norii	Puamaku	
Oitokaia	Rapariki	
Pea	Tutehau	
Teipoarii	Hanamaiteipo	
Bea	Tione	
Faraire	Marea	
Faraire	Urutoa	
<u>Rapporteurs</u>		
Riaria	Rooaio	Secrétaire général du maire
Make	Alfred	Contremaître

3. RESTITUTIONS LINGUISTIQUES ET TRANSCRIPTIONS

3.1 GÉNÉRALITÉS

3.1.1 Le dialecte ou langue de Rapa se rattache à la langue-mère polynésienne. Il a été l'objet d'une seule étude, réalisée en 1921 par J.F.G. Stokes⁽²⁾. Les résultats n'ayant été publiés qu'en septembre 1955, ils n'ont sans doute pas été portés à la connaissance du Comité de Toponymie qui fixa les toponymes rapanais en 1952⁽³⁾.

Il en est de même pour les compléments toponymiques acquis par la Mission Hydrographique des EFO en 1955 : le rapport de fin de mission du LV Bonzon ne mentionne pas qu'il ait tenu compte des recherches antérieures ou fait l'inventaire des phonèmes et particularités linguistiques préalablement à son enquête. Les transcriptions avaient été faites à partir de la langue tahitienne dont l'usage était fixé par les grammairiens à cette époque.

Dès les premiers contacts avec les voyageurs européens, des notes sur le dialecte rapanais ont été rapportées. Si W. Ellis, (1817) indiquait une certaine ressemblance avec le

maori de Nouvelle-Zélande, H. Hale notait dans son étude de philologie du Pacifique (1846) une forte affinité avec la langue polynésienne de Rarotoŋa (Iles Cook). En 1921, Stokes différenciait deux dialectes : un néo-tahitien (langue véhiculaire de toute la Polynésie depuis les débuts du commerce et de l'évangélisation) et un rapa-tahitien hybride (langue vernaculaire) dont le vocabulaire contenait des traces d'affiliation aux dialectes parlés à Manareva et aux Tuamotu (Ile de Reao).

Pendant la mission de 1986 à Rapa, la survivance d'une prononciation particulière et de quelques mots étrangers au tahitien, a été notée. Mais sans l'aide d'un expert en langues polynésiennes et avec les connaissances succinctes des hydrographes, il est impossible de savoir s'ils sont originels et appartiennent à la langue étudiée par Stokes.

Pour les toponymes, la question des origines ou de l'originalité des noms est sans fondement, car dans toute la Polynésie, la tradition orale et la relation des mythes est fondée ou scandée par la localisation des événements. De plus les droits de propriété sont liés indéfectiblement aux noms de terre. Il est donc peu probable que les toponymes aient été modifiés depuis plusieurs siècles.

(2) Neuf mois de séjours durant le Bayard Dominick Expedition.

(3) Les données linguistiques avaient été confiées par leur auteur à J.F. Stimson, résident à Tahiti, sans exploitation ultérieure. Ces notes ont été retrouvées dans les papiers de Stimson (auteur du dictionnaire des dialectes Paumotu) par D.S. Marshall en 1955.

Mentionnons pour mémoire que les transcriptions des toponymes dans les documents administratifs ou touristiques étaient fantaisistes avant la publication de la carte marine 4232, qui depuis fait foi.

3.1.2 Consonnances du dialecte rapanais et alphabet

Consonnes **k, m, n, p, r, t, v, ŋ** (g ou ng), **ʻ** (coup de glotte).
Voyelles : **a, e, i, o, u**.

a - La transcription graphique du "n vélaire" par le symbole phonétique "ŋ" a été choisie préférentiellement au "g" (consonne utilisée sur la carte marine) et "ng" en raison des affinités linguistiques avec les Tuamotu ; c'est la transcription adoptée pour les toponymes de l'atoll d'Hao (MOP 1986). Le manuscrit de Stokes (1955) utilisait d'ailleurs ce symbole, mais la "Polynesian Society" de Wellington -New Zealand-, ne l'a pas agréé pour la publication.

b - Par rapport aux autres dialectes polynésiens, on note l'absence du "f" (labiale aspirée ou labiodentale) et du "h" (linguale aspirée), deux consonnes qui ont tendance à se confondre en tahitien. Autre disparition, celle du "r", mais l'élision se traduit par une glottale **ʻ**; exemple : mont Maŋa'oa ; col Putakio'e. Le "h" est pourtant inclus dans les toponymes recueillis par les premiers Européens.

Exemples : Haurei et Ahurei pour A'urei (transcrit Ha'urei).

L'incertitude sur la place du "h" montre qu'il s'agit d'une lettre muette. Aux Gambier, elle avait été introduite par les missionnaires pour des raisons d'homogénéité et cette pratique a été fixée par le dictionnaire du R.P. Laval. Le "h" des toponymes actuels a été conservé chaque fois que l'orthographe était déjà fixée par les documents administratifs.

c - Le son guttural exprimé par l'occlusive glottale peut remplacer le son "k" à l'intérieur d'un mot ; il est traduit graphiquement par le coma **ʻ**; signe classique en langue tahitienne.

Exemple : baie Tupuaki (carte marine), prononcé "Tupuai" est souvent transcrit "Tupuai" ou "Tubuai"⁽⁴⁾.

Cette suppression est rare en début de mot ; sinon il appartient généralement au tahitien. L'occlusive glottale remplace aussi le "h" aspiré d'un mot tahitien correspondant, par exemple 'onu (la tortue) pour honu en tahitien.

d - En recherchant les toponymes dans des ouvrages anciens, il est apparu des confusions entre le "o" et le "u" ou le "a" et le "u" dans les formes diphtongues telles que "au" ou "ou" (deux voyelles successives ne sont pas des diphtongues, chacune est prononcée).

Exemples :

Pointe Kotorui (carte marine) - Kutunui (joumaux en 1887) ;

Île Tauturou (idem) - Tauturau (Caillot 1912).

Il n'est pas sûr que ce soit dû aux erreurs des narrateurs.

On a noté dans les dialectes polynésiens des instabilités de voyelles : il y a plusieurs consonnances pour un même mot, et la prononciation dépend du témoin.

Exemples : naku et nako (= aller).

A la lecture des généalogies, Stokes l'avait noté pour le "a" vis-à-vis du "e" ou du "o". Pour les toponymes anciens, l'inscription de la carte marine a désormais fixé les habitudes de prononciation.

e - Le dialecte rapanais n'exige généralement pas de distinction phonétique des voyelles (longue ou courte), traduite par un macron "-" sur la voyelle longue. Néanmoins dans quelques cas, il faut le faire :

Pointe Matapū (qui aurait été écrite Matapuu selon les règles de francisation de l'IGN prescrites pendant les années 50).

f - Il avait été noté par le LV Vallaux (1952) que la prononciation du "r" à Rapa était originale⁽⁵⁾: "il tient le milieu entre le "r" et notre "l" et un autochtone écrira volontiers LAPA⁽⁶⁾". Effectivement, au même titre que le dialecte des îles Tokelau et Samoa, le rapanais fait partie des dialectes polynésiens où le "r" n'est pas roulé comme en tahitien. Cette particularité avait été aussi notée à Raivavae, île la plus proche de l'archipel des Australes, au siècle dernier.

g - **Remarque** : La population de Rapa n'est plus que de quelques centaines d'habitants, et avec les contacts interinsulaires, il n'est pas sûr que le dialecte rapanais soit encore bien fixé.

3.2 Terminologie topographique

3.2.1 Les termes de désignation géographique ne foisonnent guère, dans le domaine maritime - tout comme ceux du terrestre. Le vocabulaire botanique ou zoologique est bien plus complet (cf. § 7). Une liste est jointe aux paragraphes suivants.

Dans une économie autarcique de subsistance à l'ère pré-européenne, seules les formes du relief en rapport avec les aménagements agricoles (tarodières et vergers) ou les lieux de pêche, étaient distinguées.

En corollaire, les toponymes associés à des entités topographiques telles que les crêtes, les rivières, ... ne sont pas toujours spécifiques ; un nom de terre ou un lieu-dit sert à la désignation.

Toute parcelle de terrain ("fenua") a un nom⁽⁷⁾. L'île elle-même, "fenua", se subdivise en régions correspondant aux vallées aboutissant dans les baies. La division se poursuit jusqu'aux "territoires" et "terres", dont les limites sont fixées par des repères naturels ou des blocs de rochers disposés à cet effet. "Il est constant que l'ancienne toponymie divisait une vallée en autant de sections répondant à des noms distincts qu'il y avait de cascades ou de rivières secondaires". (M. Panoff, 1970).

La mémoire de l'ancien morcellement politique de l'île (chefferies, villages, forts, ...) est conservée par les toponymes.

(4) Même nom que l'île de Tubuai ou la prononciation s'est francisée en « Tubuè »

(5) Repris dans la note n° 181 SHOM/DIR du 15 avril 1985.

(6) « Lapa » est cité en 1848, et cette orthographe ne se retrouve dans les généalogies que jusqu'au début du siècle. Curieusement l'informateur du Comité de Toponymie en 1952 ne faisait pas la différence entre le "r" et le "l".

(7) Il n'y a toujours pas de cadastre à Rapa, les droits de propriété s'expriment par les généalogies que consignent les habitants dans des registres familiaux.

3.2.2 Domaines terrestres

Termes	Explications et exemples
mauŋa	Terme utilisé aussi aux îles Tuamotu et dans la langue maori de Nouvelle-Zélande ; désigne une montagne ou un pic. La forme équivalente en tahitien est mou'a (= tupua'i) et mouna en marquisien. <u>Exemple</u> : Mauŋaroa Mauŋa'oa
puku	Sommet d'une montagne ; se trouve sous la forme pu'u à Tahiti (= bosse ou protubérance). <u>Exemples</u> : Puku maru Pukutaketake Pukumia
tara	Sommet en forme d'aiguille. <u>Exemple</u> : Tara Komire → Pointe Komire
tikoko	Vallée. Le terme usité partout ailleurs en Polynésie étant fa'a ou fa'à ; l'élision du "f" en rapanais ne permet peut-être pas de le prononcer. <u>Exemple</u> : néologisme de la C.M. : baie Tikoko
pā (ou pare ; pa'eo)	Site archéologique constitué d'une forteresse ou d'un village fortifié sur les sommets les plus inaccessibles (15 décomptés à Rapa).
pari	Falaise tombant à pic dans la mer (idem en tahitien).
taŋa	Sens perdu.

3.2.3 Domaine maritime

Bien que la pêche soit une activité importante à Rapa, on n'atteint pas l'extrême degré de précision de la langue paumotu pour la différenciation des lieux de pêche. Ceci est

sans doute dû à la moins grande diversité géographique (pas de lagon, mais des plates-formes coralliennes ou des fonds tapissés de corail) et aux types restreints de pêche (pêche au thon, ramassage de langoustes).

Termes	Explications et exemples
'ō'tue	Pointe ou cap. Terme jamais rencontré dans les expressions toponymiques.
toka	Banc de corail, mais terme à connotation très économique puisqu'il s'étend à tous les lieux de pêche. dont les trous à thon. En tahitien : to'a
tekara atiatī	Patate de corail.
one	Sable ou plage. Terme commun à la Polynésie. "Aux Tuamotu, il y a abondance de "Motuone" ou d'îlots oneroa"

3.3 Règles de toponymie

"Le toponyme est l'expression la plus courte qui puisse se rencontrer pour désigner une entité géographique donnée". Cette règle classique de distinction entre toponyme et expression toponymique ne peut être appliquée qu'avec circonspection quand la langue originelle ne contient pas nos conceptions géographiques. Voici un cas de décalage de représentation : Motu Vaharuhi, Motuvaharuhi ou îlot Vaharuhi.

Autre exemple : contrairement à la pratique européenne, les vallées de Rapa ne portent généralement pas le même nom que le cours d'eau le plus important qui y coule. Le toponyme que nous associons à la vallée peut tout autant représenter un ensemble des terres arables ou de territoires claniques :

- a- si la vallée débouche sur la large, elle prend le nom de la baie (ex. : baie Iri, vallée Iri et aussi district de Iri) ;
- b- si la vallée est berceau d'un village, le nom de ce centre devient prépondérant (ex. : village et district de Tupuaki, vallée de Tupuaki, baie de Tupuaki), mais il y a des exceptions (ex. : village d'Ha'urei, baie d'Ha'urei, vallée Vaŋa, rivière Tikoko) ;
- c- tous les toponymes d'un même ensemble sont différents (ex. : vallée Ruapai, baie Aŋaira'o, rivière Maara, district de Māna).

3.3.1 Faut-il conserver le nom commun topographique en dialecte qui est inclus dans de nombreux toponymes portés par la carte marine en vigueur en particulier les montagnes Pukumarū, Pukumape ?

Dans le cas de Rapa⁽⁸⁾ et contrairement au dialecte des îles Tuamotu (MOP 1986) aucun terme géographique local n'est passé dans le vocabulaire français. Néanmoins il n'est pas envisageable de tronquer les expressions toponymiques et de traduire le terme générique :

- Sommet Maru, sommet Mape ;
- Mont Mape, ou mont de Mape ;

ni de choisir un pléonasme :

- Mont Pukumape.

Un glossaire imprimé sur la carte charrierait trop d'informations et donnerait une grande importance à un dialecte pratiqué sur quelques kilomètres carrés. Le glossaire peut être joint aux Instructions Nautiques. Sur la carte marine, l'abréviation nationale ou internationale du terme générique peut être placée devant le toponyme (Ex. : Mt. Pukumarū, R. Tiare).

Sur les schémas toponymiques, les termes topographiques ont été mis entre parenthèses sous les toponymes, quand ils étaient nécessaires pour comprendre le contexte (ex. : falaises ou lignes de crête). Pour des montagnes, le toponyme nu inscrit à côté du sommet suffit, qu'il contienne ou non un terme descriptif en dialecte (ex. : Pukutaketake et Moronjouta). S'ils sont reconnaissables par des détails significatifs (aiguille, fort, ...) le terme descriptif le mieux adapté est inscrit sous le toponyme.

Exemples : Pukutaketake (fort)

Le fort prend le nom du sommet (Pukutaketake) ; inversement "Moronjouta" était sans doute le nom du fort qui qualifia le sommet.

La plupart des noms de ruisseaux contiennent l'expression "Vai" (eau ou rivière en tahitien), les toponymes sont alors précédés de la forme abrégée R.. La transcription abrégée a été choisie pour les pointes (Pte.), les îles (I.), ...

3.3.2 Seules les localités, villages ou hameaux ont donné leur nom à des zones géographiques qui les dépassent. C'est le cas d'Area, d'Ha'urei, de Tupa'i et d'Iri, dans tous les autres cas, le nom commun précisant la nature du toponyme ne doit pas être relié à celui-ci par un "de" .

Exemples : - Be de Tupa'i (Baie de Tupa'i pourrait être un toponyme car le village n'existe plus)
- Be Akatanui

Les articles "te" (devant un nom commun) et "o" (devant un nom propre) ont été conservés dans tous les toponymes où ils font partie intégrante du nom de lieu (lieu-dit). Pour s'assurer de cette insécabilité, il est nécessaire d'inciter les informateurs à énoncer le nom dans plusieurs contextes.

Exemples : - Pte. Tekonjoteemu sur la carte marine devient Pte. Korjoteemu car le toponyme est repris dans une expression "Nukutere Korjoteemu" désignant aussi la pointe.
- Pointe Teakateke (carte marine) est conservé tel quel.

3.3.3 Tous les mots constituant un toponyme ont été accolés, sauf les adjectifs qui différencient deux toponymes correspondant à des lieux proches.

4. COMPILATION ET ANALYSE DES TOPONYMES

Tous les noms de lieux pertinents ont été inscrits sur des tirages au 1 : 30 000 de la carte marine qui figurent au § 9. L'ensemble des toponymes fournis par la population locale a été trié et seuls ont été conservés ceux correspondant à des villages, des sommets, des cols, des vallées ou plaines, des rivières, des caps et des baies, des îles, des grottes, des lieux de pêche au thon, des hauts-fonds coralliens et au ballisage.

Les documents de référence, sans exclusive de toponymes, seront versés au dossier de levé envoyé à l'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

4.1 Divisions territoriales

4.1.1 Note

Le premier nom sous lequel Rapa sera connu en Occident est "Oparo", d'après une information de Vancouver (1791). C'est en 1817 que le missionnaire Ellis rétablit le vrai nom indigène de "Rapa". Il lui a été souvent substitué le nom de "Rapa hue" ou de "Rapa itī" (petite Rapa) par opposition à

⁽⁸⁾ Rapa est un nom utilisé dans "Commune de Rapa", "Mairie de Rapa". Alors que la carte marine inscrit en titre "île Rapa" qui n'est pas un toponyme. L'inscription de "île de Rapa" est préconisée. Cette règle est applicable à toutes les îles de Polynésie Française (ex. : île de Huahine, Atoll de Hao).

l'île de Pâques dont l'un des noms est "Rapa nui" (grande Rapa). Palmer, en 1868, établit ou plutôt relate cette tradition qui veut que les habitants de l'île de Pâques viennent de Rapa. Le Lt. Mery avait déjà recueilli en 1867 la tradition inverse : peuplement de Rapa par les émigrants de l'île de Pâques. En 1893, Monseigneur T. Jaussen indiquait que le nom de "Rapa nui" avait été donné par un marin rapanais⁽⁹⁾, confirmation faite par W. Churchill (1912).

Remarquons que malgré la chute de cet argument toponymique, la thèse de ces migrations a continué à plaire : Caillot 1932, Thor Heyerdahl 1949, Eric de Bishop 1955, ...

4.1.2 Il y a deux termes désignant les deux orientations principales de Rapa : le sud-est est appelé Mua, le nord-ouest Raromai. Seul Raromai pourrait avoir un rapport avec la rose des vents ou du compas : raro exprime "sous le vent de ..."; Mua est le nom d'un ancien district.

Des grandes divisions claniques qui formaient l'organisation politique de l'île avant la prise de possession par la France. il ne reste plus trace directe dans la toponymie. Dans les temps anciens, Rapa était divisée en royaumes lilliputiens comprenant chacun une vallée exiguë contrôlée par un fort situé sur la crête dominante. Ces clans, ou groupes à résidence et territoire localisés, regroupèrent finalement leurs membres indistinctement dans des villages côtiers suite aux traumatismes entraînés par les contacts avec

l'Europe (épidémies décimant massivement la population au point de laisser penser au début du XX^e siècle que les rapanais étaient voués à l'extinction).

Actuellement il n'y a plus qu'une commune formée de deux villages Ha'urei et Area ; il y aurait eu 18 districts et centres d'habitats au XVII^e siècle (selon les généalogies, cf. Stokes 1921), 13 au milieu du XX^e, 6 encore cités lors de la prise de protectorat (1867), mais ils n'étaient pas tous habités. La notion de "clan" a laissé place à celle de "ramage" (cf. Hamson 1966), c'est-à-dire sommairement en droit foncier, des groupes de copropriétaires d'ancêtres communs.

Le ramage prend le nom de son fondateur, propriétaire originel de la terre ; mais aucun n'a laissé son nom ou un toponyme global à des ensembles territoriaux. L'origine en est peut-être les fluctuations des frontières dues à des guerres incessantes. Il subsistait néanmoins à la fin du XX^e siècle des "districts"⁽¹⁰⁾ cités par Mery et Quentin, qui ont laissé des toponymes encore utilisés. Malheureusement ces deux observateurs pourtant embarqués sur le même navire, citent des noms qui ne correspondent que dans un cas. Ces toponymes sont récapitulés dans les tableaux suivants.

4.1.3

a/ Districts⁽¹¹⁾ cités par le Lt. Mery (Messenger de Tahiti, 14 et 21 septembre, 19 octobre 1867)

	Toponyme actuel	Observations
Ahurei	Ha'urei	
Area	Area	
Tuou	Tukou	Erreur de transcription sur la carte marine 4232 : Tuko.
Tupai	Tupua'i (?)	Tupuaki sur la carte marine 4232.
Mua	?	Le sud-est, comprenant sans doute la baie Anatakuri Nako et la baie Ma'i'i
Iri	Iri	

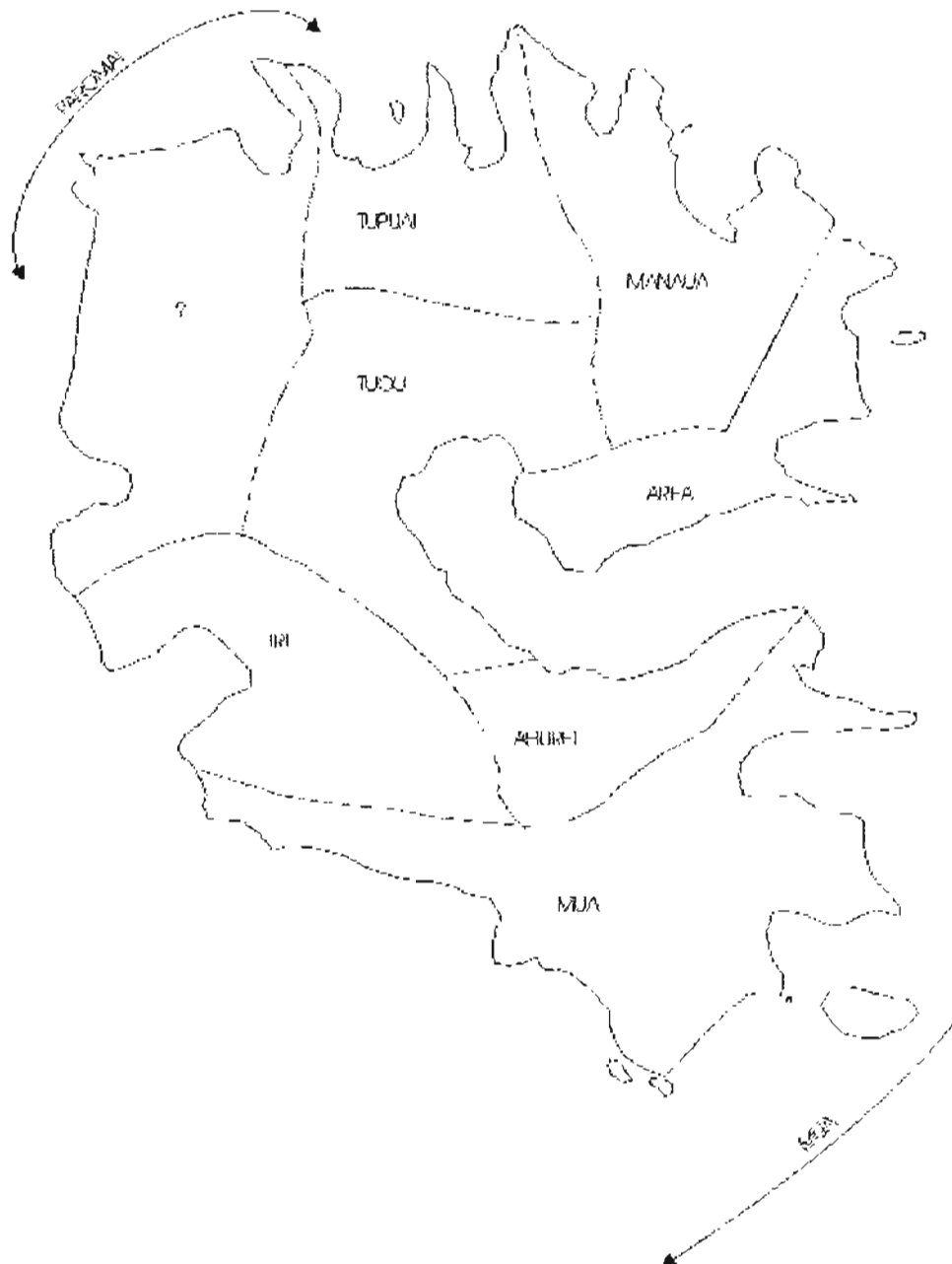
b/ Districts⁽¹²⁾ cités par le CC Quentin (Messenger de Tahiti, 29 juin 1867) énumérés, "En partant de la case du roi (?) et

marchant dans la direction de l'est au sud".

	Toponyme actuel	Observations
Ahurei	Ha'urei	
Manava	Māna	
Tuape	Tupua'i (?)	Appartient à la même chefferie qu'Ha'urei.
Tokoroa	Tukou (?)	
Teraau	?	
Maitira	?	District de l'intérieur selon l'auteur.

(9) Nombreux étaient ceux embarqués sur les goélettes au XIX^e siècle.
 (10) 1867 : avec les sources bibliographiques disponibles, il n'est pas possible de faire la distinction entre « village » et « territoire » dans la notion de « district ».
 (11) villages ou habitants – selon Mery, il n'y a qu'un seul chef sur l'île, ses « districts » n'auraient pas de sens politique.
 (12) A. Quentin cite de « grands vassaux représentant cinq districts » - il s'agit peut-être de territoires et non d'unités d'organisation sociale.

4.1.4 Divisions territoriales aux temps anciens



4.2 Comparaison et modification des toponymes cités dans la bibliographie

Par rapport à la carte marine 4232, huit modifications importantes ont été faites, en tenant compte des notes de F.A. Hanson (1974) qui vécut onze mois à Rapa :

- le village d'Haurei prend l'orthographe Ha'urei pour tenir compte de la prononciation ; le "h" est muet - cf. Hanson 1966 ;
- Tuko au fond de la baie d'Ha'urei s'écrit Tukou ;
- la baie d'Hiri devient Iri, orthographe qui était déjà en vigueur au XIX^e siècle ;
- la baie Maii devient Ma'i'i ;
- la baie Tupuaki devient Tupua'i ;

- le mont Erepau a le nom Pukumape (1986) ;
- sur l'avis du maire de Rapa, la pointe Teruametitoi (metitoi = parties génitales masculines) est remplacée par pointe Teruapake (1986) ;
- les îles Marotiri ont pour orthographe Morotiri. Telle est la version locale. Ce toponyme n'appartient pas particulièrement à Rapa, mais cet archipel dessiné sur la carte marine 4232 est surtout fréquenté par les pêcheurs rapanais. Morotiri était l'orthographe adoptée par Caillot en 1912 et reprise par le Comité de Toponymie des EFO à sa 29^e séance du 22 décembre 1952.

La mutation des toponymes a été suivie avec l'aide seule de la bibliographie car la mission ne dispose pas de la carte marine qui a précédé la C.M. 4232. L'annexe 3 donne une liste de noms qui ont subi des changements parmi les 55 toponymes cités par Caillot (1912, 1932) et les 30 toponymes cités dans la presse tahitienne au XIX^e siècle. Les 152 toponymes recueillis par la Commission de Toponymie des EFO (1952) sont répertoriés et analysés au § 7 puisqu'ils ont servi de référence à notre enquête.

4.3 Origines des toponymes

4.3.1 Dans l'ancienne Polynésie, la terre était inaliénable, seuls les droits d'usage étant transférables, mais révocables à tout moment. Cette observation faite par les premiers missionnaires⁽¹³⁾ vient à l'appui de la thèse de la stabilité toponymique concernant les lieux-dits, car le nom de terre est principe de transmission des droits fonciers d'un ancêtre à ses descendants (le ramage). La terre n'est pas seulement source mais rapport de prestige : le Polynésien qui possède une terre essaye de laisser son nom afin de transmettre son souvenir, et le pauvre se tournera fréquemment vers la mise en culture de terres sauvages ne lui appartenant pas pour transmettre avec le toponyme le souvenir de son initiative (cas cité à Futuna et Tikopia⁽¹⁴⁾).

4.3.2 Dans les sociétés polynésiennes évoluées telle que celle des îles de la Société, les prérogatives du chef s'inscrivent dans l'organisation de l'espace⁽¹⁵⁾. Le chef est identifié par la possession d'un cap, d'une montagne, d'une vallée, d'un marae ou d'un terrain de réunion. Les toponymes sont associés à son nom dans les récitations généalogiques ou protocolaires. Les grandes divisions du fenua sont utilisées comme un blason.

5. TOPOGRAPHIE GÉNÉRALE EXPÉDIÉE

5.1 Sources topographiques et méthodes

De nombreux toponymes ont été fournis au cours de l'enquête sans qu'il soit possible d'identifier les lieux correspondants sur la carte marine, qui est par trop imprécise. Néanmoins les informateurs les ont inscrits à leurs emplacements présumés, qu'il fallait donc contrôler.

Étant donné le foisonnement des toponymes (281 pour le seul littoral, 61 pour l'intérieur, 27 pour le domaine maritime), une physionomie générale de l'île s'était déjà dessinée par ce simple report des sommets, crêtes, et du réseau hydrographique.

Moyens de contrôle :

1 - Déplacements sur le terrain. Malheureusement l'intérêt de ce travail de topographie expédiée est devenu patent après achèvement de la mission sur place. Pour le nord de

Rapa, il a fallu se contenter des souvenirs d'officier-mariniers hydrographes.

2 - Croquis anciens dessinés par des voyageurs étrangers (expéditions scientifiques), des résidents de Rapa ou l'administration française. Toutes ces notes ont été associées et comparées à la première esquisse de carte toponymique afin de vérifier la cohérence de l'ensemble des données.

Cette démarche a été facilitée par l'unicité de la référence cartographique de ces auteurs : soit l'ancienne carte marine de Rapa, soit la carte marine 4232, soit les cartes américaines qui sont issues des précédentes.

3 - Finalement un contrôle de la restitution de la côte est a été fait grâce à des photographies prises sur le BH1 *L'Estafette* en navigation d'approche de la baie d'Ha'urei. Un index graphique des vues de côte est reproduit ci-après, les photographies sont jointes aux documents de rédaction expédiés au SHOM.

5.2 Liste des documents consultés

- Étude géologique de L.J. Chubb (1927)⁽¹⁶⁾ et croquis de F.J. Hannon (1973).
- Croquis de G. Pauley (1982) concernant des zones à espèces zoologiques ou botaniques endémiques.
- Schéma topographique de Rapa (Admiralty chart n°29) joint au "Naval Intelligence Division Pacific Islands, vol. III", 1943.
- Croquis comprenant les chemins, les tarodières et les zones d'habitat, en annexe à une lettre de l'administration concernant les dommages causés par le cyclone de 1933⁽¹⁷⁾.
- Cartes des sites archéologiques jointes aux chapitres rédigés par E.N. Ferdan et W. Mulloy dans le rapport d'expédition de Thor Heyerdahl en 1956.
- Inventaire du patrimoine culturel et historique de Rapa réalisé par la commune et comprenant un schéma.

5.3 Restitution topographique

5.3.1 A partir des sommets principaux inscrits sur la carte marine, les sommets secondaires ont été placés approximativement, puis les crêtes.

La précision du dessin par rapport à la référence, carte marine 4232, est de l'ordre du 3 mm au 1 : 30 000 (cf. § 7, figure n° 1).

Sur un second fond de carte, les ruisseaux et les terres agricoles (cf. § 7, figure 2) ont été placés sans tenir compte des renseignements de la figure 1. Ainsi la cohérence du tracé du réseau hydrographique avec le tracé du relief pouvait être vérifiée. Les îlots, les grottes et les basses (haut-fonds), ont été portés sur une troisième minute (cf. § 7, figure n° 3).

(13) Davies, J. The history of the tahitian Mission, 1799-1830
Note de l'éd. Newbury.

(14) Pirte R. Primitive Polynesian Economy, 1939.

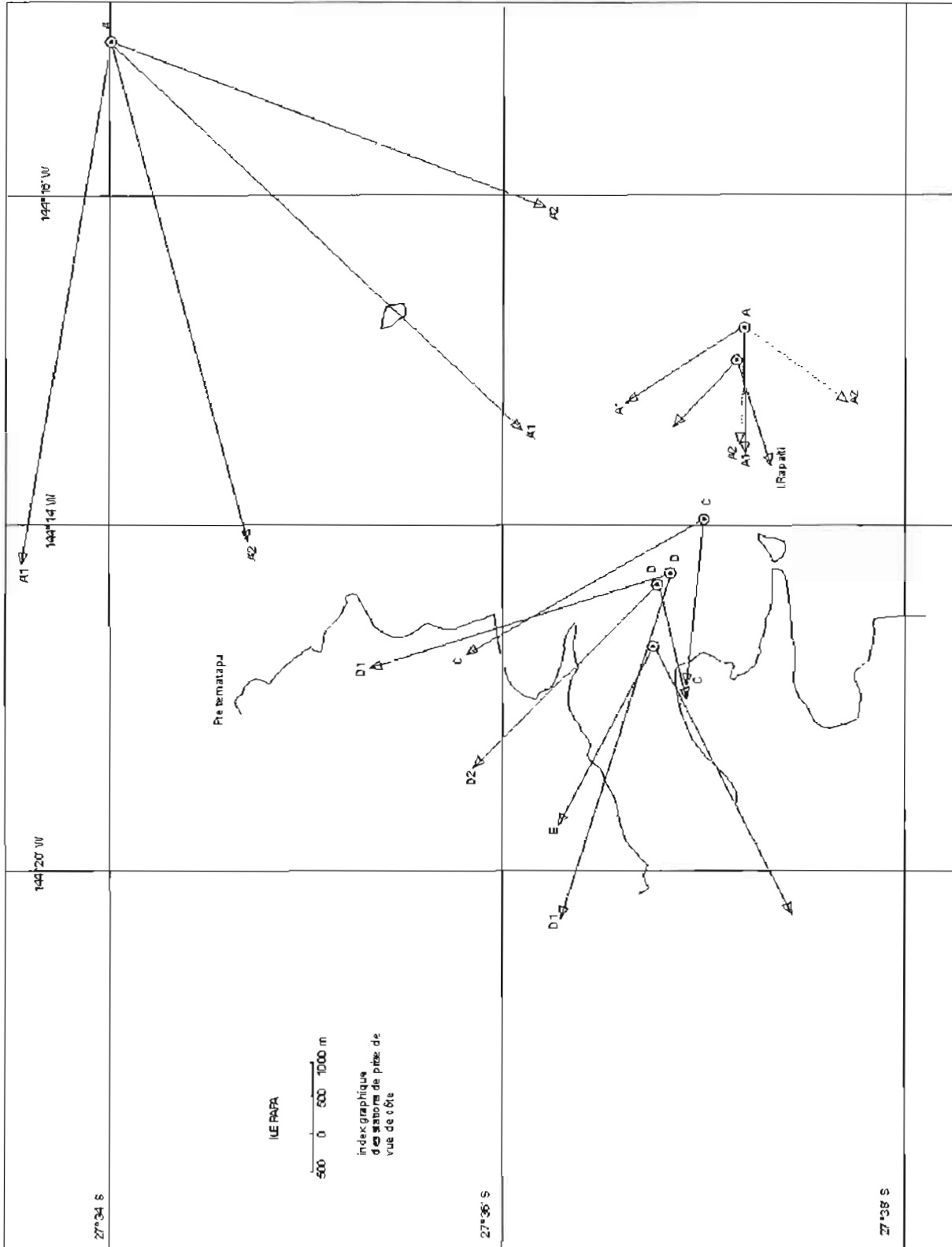
(15) Adams, H.3. H. Mémoires d'Ari Tai mai, Pub. Soc. des Océanistes n°12, 1964

(16) Elle pourrait être complétée par les notes du Professeur Brousse (1978) de l'Université d'Orsay (Paris XI).

(17) Lettre n° 536 /SG/Gouvernement des EFO du 04 décembre 1933.

5.3.2 La qualité de la restitution est évidemment médiocre (précision ~ 200 mètres). Il existe une couverture photographique au 1 : 10 000 exécutée par l'Aéronavale en 1967 - dont l'unique exemplaire de positifs est conservé à l'état-major de l'Amiral, Commandant les forces du Pacifique - qui pourrait servir de support à une restitution photogrammétrique grossière, calée sur les sommets

représentés sur la carte marine 4232. Si les positions portées sur le croquis hydrographique original (Aviso "Latouche-Tréville" 1867) avaient été mesurées avec la seule aide du sextant, elles ont été corrigées et complétées par la Mission Hydrographique des EFO en 1955 (LV Bonzon, minute de bathy-topographie 7 A au 1 : 40 000).



6. ÉCOLOGIE DE L'ÎLE DE RAPA

6.1 Géographie générale

L'île est d'origine volcanique, formée d'un cratère principal (la baie d'Ha'urei) dont la paroi est s'est effondrée. La chaîne montagneuse circulaire est un assemblage de crêtes déchiquetées et de falaises ou parois abruptes, entaillé par quelques cols. Sur les contreforts, les ruisseaux ont taillé des vallées transformées en marécages à leurs embouchures par l'action de la mer (blocage sédimentaire).

Ce relief explique la fragmentation du peuplement (1500 habitants au XVIII^e siècle selon Vancouver) et le rassemblement au XX^e siècle près du port d'Ha'urei, seul havre maritime de Rapa des deux villages : Ha'urei et Area.

Le climat est tempéré et humide. Les pluies y sont très abondantes.

6.2 Ressources de subsistances

6.2.1 En raison de la nature ingrate du relief de l'île, du climat froid et de l'isolement, l'économie agricole n'est pas limitée aux activités de cueillette (arbre à pain, fe'i, cocos), complétées par quelques cultures de survie pendant les inter-saisons, comme c'est le cas dans la plupart des îles polynésiennes (Australes, Tahiti, Marquises). En effet, le cocotier n'y fournit pas de fruit et l'arbre à pain n'y pousse pas. Il n'y a pas non plus de ces fruits tropicaux tels que les mangues et papayes, ni de ces tubercules, telles que l'igname et la patate douce.

L'économie traditionnelle est fondée sur la culture immergée du taro (*Colocasia Esculenta*). Le taro est une tubercule bien adaptée aux sols marécageux ou humides. Planté toute l'année, il est cultivé sur les parcelles alluvionnaires soit dans les delta (parcelle = roki) soit en terrasses artificielles irriguées (parcelle = a'u a). Des crêtes, on voit dans toutes les vallées des "patchworks" de parcelles ou de vestiges d'anciennes exploitations. Chaque tarodièrre est recouverte d'une pellicule d'eau ; à cet effet les ruisseaux sont barrés, des fosses d'irrigation creusées et des murets établis autour de chaque parcelle pour conserver l'eau, que l'on fait dévaler de terrasse en terrasse.

Une fois déterrée, le taro ne se conserve pas plus de 3 à 4 jours à l'exception de la variété rarotoja. On distingue plus de 10 types de taro cultivés (hormis le matoe ou apura = taro sauvage) : kaota, kapue, maïapa, matuku, taitika, poitere, pake, kaupapa (taro des montagnes),...

Bananes, pastèques et oranges poussent bien, et des variétés de fruits européens sont plantés depuis quelques

années dans les vergers.

6.2.2 La pêche fournit un appoint important à l'alimentation quotidienne. Les eaux sont très poissonneuses en thons. Dans une dizaine de trous à thons, on pêche au "plomb perdu" : un caillou est accroché à la ligne pour faire descendre les hameçons ; dès que la profondeur requise est atteinte (environ 150 à 200 m), un coup sec de poignet libère le poids pour laisser flotter la ligne entre deux eaux.

Langoustes et crabes sont aussi abondants.

La pêche est pratiquée en baleinières propulsées par des moteurs hors-bord.

6.2.3 Des troupeaux de bœufs sauvages et quelques moutons errent sur l'île. Il y a abattage pour chaque grande fête qui réunit les villages (mariages,...) , ou lors d'envoi de viande par la goélette vers Papeete.

6.3 Survivances du passé

D'imposantes forteresses sont bâties sur les crêtes et sommets.

Découvrant Rapa, Vancouver écrivait en 1791 :

« Les sommets des six plus hautes collines avaient l'aspect de places fortes ou de redoutes : un bâtiment central carré était entouré de rangées de palissades, plantées régulièrement et descendant jusqu'au pied des collines . Ces palissades en surplomb ressemblaient à des travaux avancés et permettaient à un nombre limité de guerriers de défendre la citadelle contre de nombreux assaillants. Nous aperçûmes partout dans ces édifices des hommes apparemment à l'exercice. Les bâtiments abritaient un nombre important d'individus. Ce furent les seules habitations que nous vîmes.»

Des tranchées et des terrasses étaient prolongées jusqu'aux crêtes secondaires. En 1956, Mulloy W., membre de l'expédition archéologique norvégienne organisée par T. Heyerdahl, remettait en état le fort de Moroŋo'uta. Ce village fortifié pouvait abriter au moins 400 personnes. La dépopulation et la cessation de belligérance due au manque de terre cultivable entraînait au XIX^e siècle une migration des crêtes vers la côte, puis un regroupement dans les villages au XX^e siècle.

7. RÉPERTOIRE ALPHABÉTIQUE DES TOPONYMES

<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>	<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>
Aipara	Mont (367 m)	Kauraja	Grotte
Aitoki	Rivière	Kau'uira	Pointe
Aka'eke	Pointe	Kauvaitako	Grotte
Akananue	Baie	Kerenia	Vallée
Akaranue	Embouchure	Koara	Falaise
Akao	Rivière	Komire	Pointe
Akaomua	Baie	Komire	Rocher (80 m)
Akaono'ono	Trou à thons	Kopaja iki	Pointe
Akatanui	Baie	Kopue	Trou à thons
Akatanui	Rivière	Koropera	Rivière
Akatomiro	Baie	Kotiņa pui	Source
Ana'iri'iri	Grotte	Kotua'ine	Rivière
Anakauiua	Grotte sous-marine	Kotuaine	Pointe
Anapiro	Grotte	Kotunui	Pointe
Ana'rua	Baie	Kouturoa	Pointe
Anarua	Grotte	Konoteemu	Pointe
Anatakuri	Baie	Kurukuru	Ile
Anatakurinako	Baie	Kurukuru kaka'io	Ile
Anatanoa	Grotte	Maara	Rivière
Area	Village	Ma'i'i	Baie
Atariki	Sommet	Makatea	Mont (489 m)
Atu Rapa	Ile	Makaae	Pointe
Aukura	Pointe	Manira	Rivière
Aumariririji	Rivière	Maomao	Pointe (Nukutere Maomao)
Au pari pari	Falaise	Mara'ia	Pointe
Auroa	Pointe	Marvia	Rivière
Autea	Pointe	Mata	Rivière
Anja'anja	Rivière	Matapu	Pointe
Anjaira'o	Baie	Matarepe	Pointe
Anjaiti	Rivière	Maurua	Aiguille
Eke	Rivière	Mauņa'ai'ai	Crête
Erekapiti	Rivière	Mauņa'ao	Aiguille, fort (422 m)
Erepa'u	Falaise	Mauņaroa	Falaise
Ha'urei	Baie	Maņapu	Falaise
Ha'urei	Village	Maņatapu	Sommet
'Iapaka	Balise	Mei	Pointe
Iotito	Col	Merei	Sommet
Iri	Baie	Moeama o	Ruisseau
Itomo	Grotte	Moroņouta	Fort et sommet (258 m)
Ka'ati	Rivière	Moroņouta	Basse
Kaaitira		Motu	Mont (481 m)
Kaimaru	Fort et sommet	Mamuere	Crête
Kaipua	Rivière	Nanavee	Trou à thons
Kaonj	Trou à thons	Nimoreka	Pointe
Kapitaja	Fort (288 m)	Ninoa	Falaise
Karopō Koio	Ile	Nukumau atua	Mont (214 m)
Karopō Rahi	Ile	Nukutere	Sommet (56 m)
Karere	Mont (461 m)	Oakareva	Col

<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>	<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>
Ofairui	Rochers	Rahupaka nui	Rivière
Onoaka	Grotte	Rahupakanui	Veine de lignite
Onoaka	Source	Rapa iti	Ile
Ono'uru	Falaise	Rarapai	Ile
Orae	Balise	Raupaka nui	Vallée
Orora i	(276 m)	Ranjarua	Rivière
Oto oto	Grotte	Ranjatai	Rivière
Pake	Baie	Rekie	
Pakirikiri	Rivière	Ree	Rivière
Pakutoe	Rochers	Reva reva	Grotte
Panoi'i	Rivière	Reurue	Rivière
Paoreore		Ruapai	Vallée
Pari'ati	Baie	Rua tara	Fort et sommet
Pari'ati	Rivière	Ruea	Pointe
Patajaroa	Pointe	Rukuana	Pointe
Pa'ukare	Rivière	Ta'ai'uri	Haut-fond
Paukare	Vallon	Taiti ana	Grotte sous-marine
Panjatae		Takraa'tara a	Pointe
Perau	Massif	Takau	(195 m)
Perau	Pointe	Tamiamia	Rivière
Piriauta	Baie	Tanioe	Balise
Piripuaka	Grotte	Taora	Balise
Pokitarava	Pointe	Tapee	Rivière
Poo'rimupapa	Grotte	Tapiko	Ile
Pootukumi	Pointe	Tapui	Ile
Pootumakuru-kuru	Rochers	Tarakoi	Ile
Pootunui	Pointe	Tarakomire	Trou à thons
Po'otu pana	Ruisseau	Tarua	Pointe
Pootu turua	Pointe	Taro	Pointe
Pokita rava	Pointe	Ta'ua	(280 m)
Puekava	Trou à thons	Tauna	Ile
Puka puka	Source	Taunoa	Rivière
Pukumape	(436 m)	Taurukuruku	Grotte
Pukumarua	Aiguille	Ta'utu	Baie
Pukumarua	Rochers	Ta'utu	Rivière
Pukumia	Fort et sommet	Tauturou	Ile
Pukumaņa		Tauņa tei tei	Grotte
Pukutaketake	Fort (281 m)	Tavere	Rochers
Pukutautau	Rochers	Tavere raupo	Pointe
Pukutiti	Haut fond (6,8 m)	Tanja	(258 m)
Pumarua	Crête	Tanja'	(268 m)
Puoro	Baie	Tanja Hiri	
Pupu	Pointe	Tanapau	Col
Puputa		Tanjatarau	Pointe
Putakarara'u	Pointe	Teakarinarau	balise
Putakio'e	Col (242 m)	Teakateke	Pointe
Putiki		Teakauaree	Pointe
Rahupaka nui	Veine de liquide	Teakaupoko	Rivière

<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>	<i>NOM</i>	<i>DESIGNATION</i>
Teaki	Banc	Tevari	Grotte
Teanamoemoe	Grotte sous-marine	Teŋaere	Falaise
Teanatokota	Grotte	Teŋaere	Rivière
Teanatumu-kaika	Grotte	Teŋaio	Pointe
Teapapa	Marée (immergé)	Teŋatapu	Col
Teaū	Grotte	Tiare	
Tefaaruru	Quai	Tikai'oe	Grotte
Teiva		Tikoko	Rivière
Teiritoorax	Ile	Tiki	Banc
Teka	Ruisseau	Tikikava	Trou à thons
Tekeo	Balise	Tinamoko	Grotte
Temavee	Pointe	Tukara inunu	Source
Temukopuke	Col	Tokoroa	Vallée
Temotuiriri	Quai	Tomoraŋa	Ruisseau
Teoraŋi	Plaine	Toŋorutu	Grotte
Teourua	Pointe	Tuamotu	Ile
Tepae'ae	Trou à thons	Tukaaroki	Rivière
Tepaeroa	Rivière	Tupua'i	Baie
Tepapa	Pointe	Tuputaketake	Fort et sommet
Tepaparoa	Pointe	Turiŋa	Sommet
Tepia'u	Fort (289 m)	Tuta'i	Rivière
Tepookakae	Grotte	Vai'i'tata'i	Cascade
Tepookurakura	Pointe	Vai'iou	Ruisseau
Tepuku'ioi	Pointe	Vaikamiti	Pointe
Teputai	(143 m)	Vaikue	Source
Tepukutautau	Pointe	Vaimao	Pointe
Tepuna	Pointe	Vaina'a	Rivière
Teputeikina	Rochers rem.	Vaio'u	Falaise
Tepuŋatea	Grotte	Vairu	Fort et sommet
Terua	Balise	Vaita	Cascade
Terua arapa	Pointe	Vaitoare	Rivière
Teruapaka	Grotte	Vaitokerau	Falaise
Teruapaka	Pointe	Vavai	Falaise
Teutu		Vaŋa	Vallée
Teuŋarere	Fort et sommet	ŋapiri	Fort
Tevai'aore	Rivière	ŋapui	
Tevai	Pointe	ŋapuna	Rivière
Tevai	Rivière	ŋokire	Pointe
Tevai'irere	Falaise	ŋote naonao	Grotte sous-marine
Tevaikava	Rivière	ŋote naonao	Pointe
Tevainvi	Rivière		
Tevaipatiti	Ruisseau		
Tevaipiri	Rivière		
Tevaiputa	Pointe		
Tevaitau	(262 m)		
Tevaitaura	Rivière		
Tevai'u'a	Ruisseau		
Tevari	Pointe		

8. MODIFICATIONS DES TOPONYMES CITÉS DE 1867 À 1932

Toponyme cité	Auteur	Année	Nature topographique	Toponyme actuel	Observations (origine du toponyme actuel)
Agairao	Caillot CT	1912 1952	Baie	Anaira'o	
Akatunarao	Caillot	1912	Baie	Akatamire	1952
Anatauri	Caillot	1912	Baie	Anatakuri ou Anata'uri	1952
Aukao	Caillot	1912	Baie	Akao	1952
Hiri Iri Hiri Hiri	Caillot Mery CT Hanson	1912 1867 1912 1964	Baie	Iri	1867
Kakiaha	Caillot	1912	Riv.	Ka'ati (?)	
Karapoo koio Karapoo iti	Pauley CT	1982 1952	Îlot	Karapō koio	
Kutunui Kotonui	Caillot Caillet	1912 1883	Pte	Kotunui	1952
Mahihi Maii	Caillot CT	1912 1952	Baie	Ma'i'i	Hanson 1964
Mongaoa Magaoa Maugaoa	Caillot Caillot CT	1883 1912 1952	Pic	Maunā'oa ou Maunāroa	
Mamao	Caillot	1912	Pte	Maomao	1952
Mamaua	Caillot	1912	Mont	Maurua (?)	
Pakuomaru	Caillet	1883	Pic	Pakumarū	1952
Perahu Perau	Caillot CT	1912 1952	Mont	Perau (massif du)	
Piringa	Pauley	1982	Mont	Tiriŋa	
Pukūma	Caillot	1912	Som.	Pukumia	1952
Recatara	Caillot	1912	Flanc du cratère	Ruatara (?)	Le "c" n'existe pas dans l'alphabet polynésien
Tautouti'i	Caillet	1887	Pic	Taŋa Hiri	1952
Tararigeputa	Caillot	1912	Aiguille	?	Peut-être le nom donné au Pukumarū
Tupai	Mery	1867			
Tuape	Quentin	1867	Baie	Tupua'i	
Tupuai	Caillot	1912			
Tupuaki	CT	1952			

CT = Comité de Toponymie (1952)

9. MINUTES DE TOPONYMIE

Figure 1 : Relief (extrait de l'annexe 4, figure 1 au RP n° 199/MOP/PPT/NP du 02 novembre 1987)

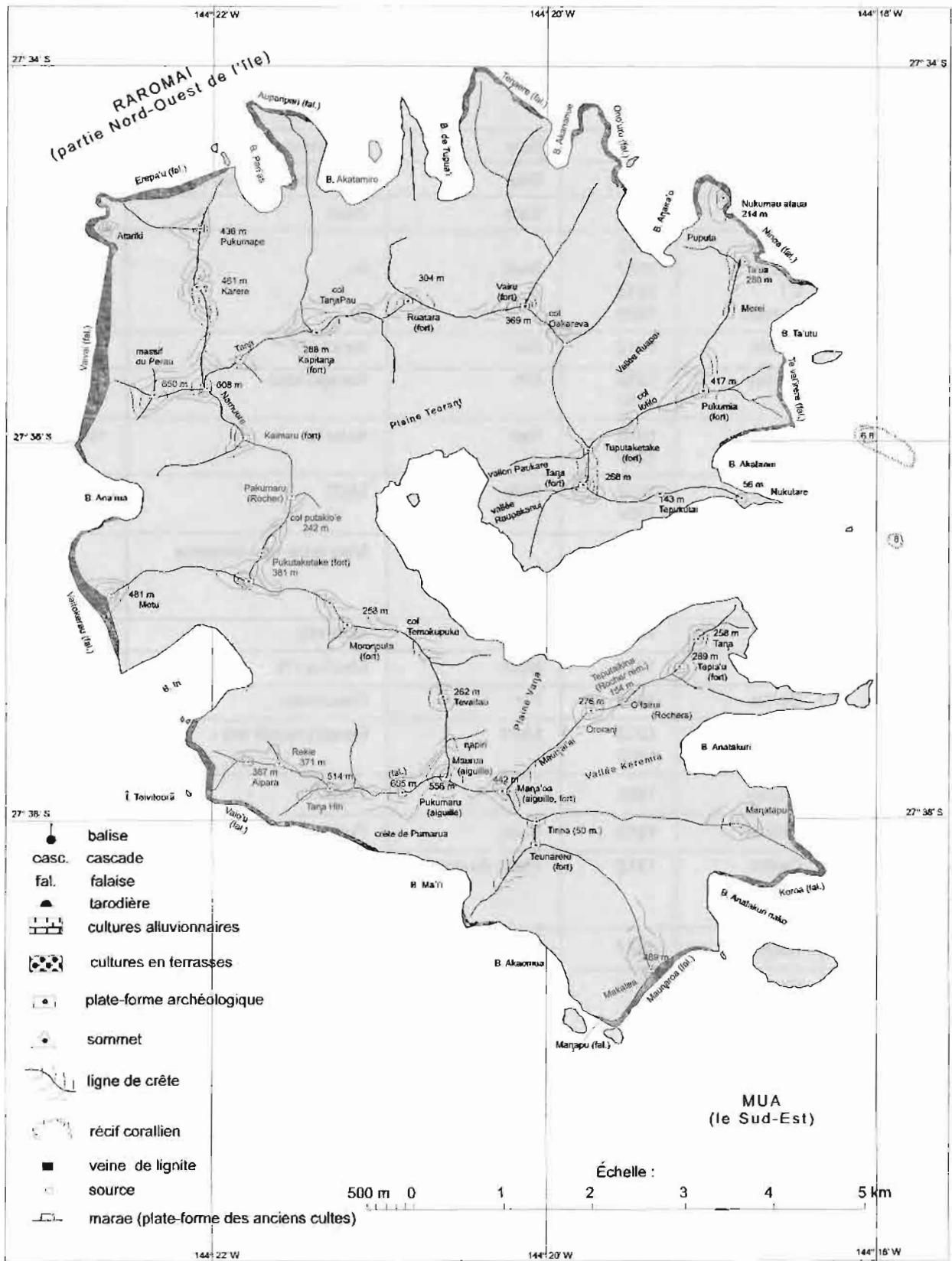
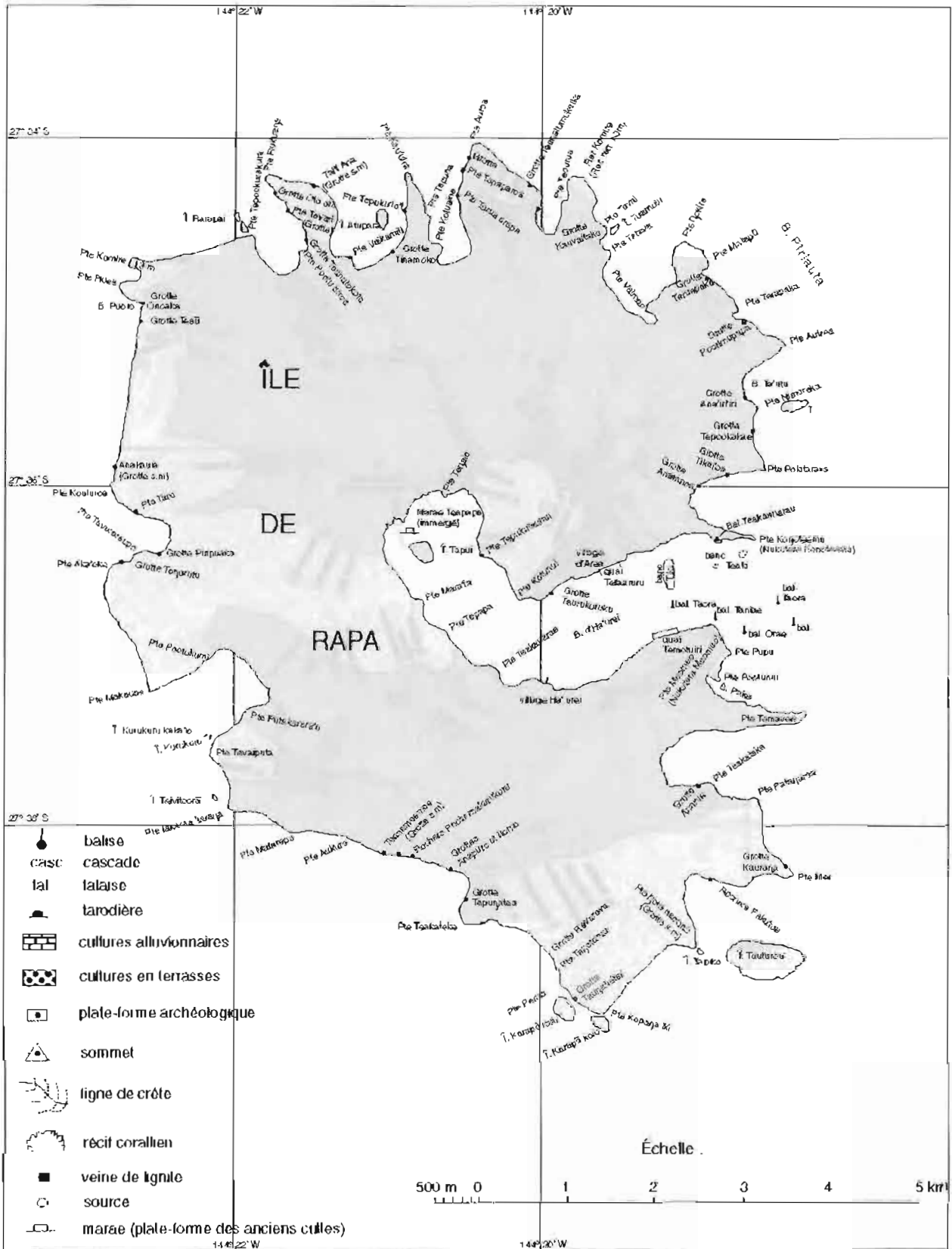


Figure 3 : Littoral (extrait de l'annexe 4, figure 3 au RP n° 199/MOP/PPT/NP du 02 novembre 1987)

Figure 3
toponymie liée au littoral de l'île de Rapa



10. BIBLIOGRAPHIE

- [1] CAILLET Xavier
• L'île de Rapa, Bull. Soc. Géogr. Comm. Paris, 1886, t.9 p.280.
- [2] CAILLOT Eugène
• Histoire de l'île Oparo ou Rapa, Ed. E. Leroux, Paris, 1932.
- [3] Comité de Toponymie des EFO - Compte rendu des réunions du 20 octobre, des 15 et 22 décembre 1952.
Note sur la toponymie des Archipels, Papeete, 1955.
- [4] HANSON F. Allan
• Continuity and change in Rapan Social Organisation, PhD dissertation, University of Chicago, 1966.

• Rapa, une île polynésienne hier et aujourd'hui, Publi. de la Société des Océanistes n° 33, Paris 1933.
- [5] QUENTIN A. (CC)
• Messenger de Tahiti du 29 juin 1867.
- [6] CHUBB L.J.
• The Geology of the Austral or Tubuai Islands, Southern Pacific, Quaterly Journal of the Geological Society, London, vol. 83, 1927 p. 291.
- [7] FERDON Edwin, MULLOY W., SMITH C.S
• Rapa Iti Islands in Easter Island and the East Pacific, Ed. Heyerdahl T. and Ferdan E.
- [8] MERY J.
• Notes sur l'île de Rapa, Messenger de Tahiti des 14 et 21 septembre et 19 octobre 1867.
- [9] PANOFF M.
• La terre et l'organisation sociale en Polynésie, Ed. CNRS et Payot, Paris 1970.
- [10] L'Océanie Française - Carnets d'un touriste (auteur inconnu), 14 août 1883. Idem, 25 juin 1887.
- [11] STOKES John F.G., MARSHALL D.S.
• Language in Rapa (+ lexique), Journal of the Polynesian Society, Wellington 1955, vol. 64 n° 3 p. 315.
- [12] SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) - Instruction sur la toponymie des Établissements Français de l'Océanie, n°179 D.N/M/S.H.O. du 15 avril 1955.
Rapport particulier n° 059 MOP/PPT/NP du 29 mars 1987, recueil des toponymes de l'atoll d'Hao (Tuamotu), publication interne.
- [13] VALLAUX F. (LV)
• Toponymie et Topographie Polynésiennes, Annales hydrographiques, Paris 1955.
- [14] Naval Intelligence Division (Great Britain) - Pacific Islands, vol. II, Eastern Pacific, 1943, p.253 (Geographical Handbook series).
- Nota : Une minute de toponymie de la MHEFO (1955) échelle 1 : 20 000, complétée en 1958 est visible au Bernice P. Bishop Museum à Honolulu (Hawaï), réf. : carte PSIC 3392.

ANNEXE 4

TOPONYMIE DES ÎLES MARQUISES (FENUA ENATA)

RÉFÉRENCE : instructions techniques n° 1032
SHOM/EM/NP du 28 novembre 1986

1. JUSTIFICATION DE L'ENQUÊTE DE TOPONYMIE

Les toponymes portés sur les cartes marines des Marquises ont plus de cent ans.

A cette époque, l'impact européen dans le Pacifique était encore récent et les baptêmes espagnols, attribués en 1595, ne semblaient pas encore anachroniques.

Si l'on excepte les levés de faible envergure entrepris par la MHPF vers 1960, la cartographie a peu évolué depuis 1882. En particulier, les études intéressantes entreprises par certains chefs de mission (Vallaux, D'Anglejan-Chatillon) n'abordent que superficiellement la toponymie marquisienne.

Il a semblé indiqué, par conséquent, de profiter de la reprise des travaux systématiques aux Marquises pour compléter cette lacune, et d'encourager les officiers intéressés naturellement par cette question à lui consacrer un potentiel suffisant pour dresser une toponymie complète des six îles habitées.

Mais ce n'est pas la seule raison. Contrairement à la Nouvelle-Calédonie, dont le surnom mérité de "Grande Terre" souligne la tendance reconnue des Mélanésiens à tourner le dos à la mer, la Polynésie Française est un pays de marins. Des recherches archéologiques ont montré que le peuplement de ses archipels a très bien pu se faire à partir des Marquises, où des traces d'occupation, antérieures à l'ère chrétienne, ont été retrouvées.

Aussi serait-il paradoxal d'abandonner entièrement la toponymie des îles à l'Institut Géographique National, comme c'est maintenant le cas en Nouvelle-Calédonie, et de ne pas compléter le travail commencé, voici trente ans, dans les îles de la Société et aux Tuamotu.

Du reste, la majeure partie des noms concerne la côte, et non l'intérieur des terres dont les habitants ont été décimés au siècle dernier.

Après avoir surmonté l'épreuve d'une dépopulation presque totale, les Marquisiens forment aujourd'hui une communauté saine et soudée dont le dynamisme s'exprime à la fois par une natalité galopante, une foi sans complexe et une défense vigoureuse de leur langue, face à un tahitien suspecté non sans raison de vouloir la supplanter, et un français bien accepté comme instrument indispensable d'ouverture au monde extérieur.

Les navires de la marine nationale sont toujours reçus chaleureusement dans l'archipel, et les hydrographes de

"L'Estafette", habitués à moins d'égards sous d'autres longitudes, ont pu mesurer combien cette tradition d'accueil est restée vive.

L'enquête de toponymie en a bénéficié.

Il ne leur est pas indifférent, en rectifiant les erreurs ou complétant les lacunes qui subsistent sur les cartes du "Fenua Enata", de saluer la vitalité d'un groupe humain particulièrement attachant.

2. MÉTHODES

2.1 Étude documentaire

Les documents consultés pour l'enquête sont les cartes marines de la collection réglementaire, les deux cartes récentes (1985) à 1 : 50 000 établies par l'IGN pour Nuku Hiva et Hiva Oa et surtout, les plans à 1 : 30 000 dressés en 1977 par le Bureau d'Aide aux Communes à partir des données du cadastre.

Ce sont d'ailleurs ces plans très bien renseignés, mais incomplets en ce qui concerne la toponymie littorale, qui ont été utilisés comme support pour la présentation des données recueillies.

Il est courant de dire que Tahiti est la terre pour laquelle la densité de livres écrits par kilomètre carré est la plus élevée du monde.

L'isolement des Marquises leur a valu d'être plus discrètes, mais la langue parlée au siècle dernier était déjà codifiée en 1904, dans le premier dictionnaire de Monseigneur Dordillon, conçu selon le schéma inspiré des grammaires grecques et latines.

Cet ouvrage touffu est toujours une référence, complétée dans la langue d'aujourd'hui (1987) par le manuel du Père F. Zewen, Ph. D. de l'Université de Hambourg et spécialiste des langues austronésiennes.

Les Universités d'Hawaï et de Canberra se sont fait une spécialité des langues du Pacifique, et de nombreux livres, consacrés à des sujets historiques ou autres, ont été écrits sur les Marquises.

Les références commentées de certains ouvrages examinés au cours de l'enquête ont été renvoyées en appendice C.

2.2 Enquête sur le terrain

2.2.1 Procédure

Après avoir été contactées par écrit, les autorités communales ont été interrogées par un officier de la MOP.

Cet officier était assisté pour la transcription des toponymes par un Second-Maître tahitien, secrétaire de la mission, qui remplissait la fonction de locuteur.

L'ensemble des toponymes a été soumis, pour un contrôle approfondi, à Mgr H. M. Le Cleac'h, ancien évêque des Marquises, retiré dans une vallée de Ua Pou, où il entreprend, à l'aide de son ordinateur personnel, la traduction de la Bible en marquisien. Cet ecclésiastique est le grand promoteur, et sans doute le meilleur spécialiste actuel de la langue marquisienne. Il jouit d'une renommée internationale auprès des historiens et linguistes du Grand Océan.

2.2.2 Informateurs

Les informateurs, au nombre de 4 à 6 par île, étaient constitués d'anciens, désignés par la municipalité.

Parmi les informateurs se trouvaient des membres de Motu Haka, association culturelle créée en 1970 sous le parrainage de Mgr Le Cleac'h pour remettre en valeur le patrimoine culturel et linguistique de l'archipel.

2.2.3 Potentiel

Les travaux sur le terrain ont représenté trente jours de travail pour l'officier enquêteur de la MOP.

L'enquêteur et son assistant ont été transportés d'île en île par le patrouilleur "La Railleuse", qui leur a consacré un potentiel de dix huit jours dans le cadre d'une opération de recrutement pour le service national.

2.3 Exploitation des résultats

2.3.1 Principes de transcription

Afin de ne pas compliquer le travail des cartographes, les toponymes recueillis au cours de l'enquête ont été transcrits en alphabet latin, exclusivement.

La transcription des phonèmes fait appel aux principes, énoncés notamment par Vallaux et appliqués partout, y compris dans la correspondance officielle : les noms polynésiens ne sont jamais francisés, mais doivent rester facilement lisibles par un Français à condition de respecter la règle simple qui figurait d'ailleurs sur certaines cartes anciennes (par exemple la carte marine 3825) :

- Les voyelles se prononcent une à une sans former de diphtongue.
- L' U a le son OU et le E celui du é fermé.

Exemple : Pouakei se prononce Po-ou-a-ké-i

En accord avec toutes les personnes consultées, l'occlusion glottale " ' " n'a pas été portée sur les documents graphiques et n'a pas à figurer sur les cartes. Elle est traduite par un espace quand le hiatus est net (ex. : Hiva'Oa s'écrira Hiva Oa), et omise quand il ne l'est pas (ex. : Ha'aotupa s'écrira Haaotupa).

2.3.2 Sémantique

La pérennité de la toponymie de l'archipel est telle que la plupart des noms sont issus du marquisien ancien et que leur sens a été perdu.

Les traductions proposées sont généralement des déductions étymologiques, sauf quand elles se rapportent à des légendes connues.

Un simple déplacement du coup de glotte pouvant suffire à changer le sens d'un toponyme, seules les traductions ne présentant aucune ambiguïté ont été précisées.

2.3.3 Documents rédigés

2.3.3.1 Documents définitifs

Il a été établi les trois types de documents suivants :

- Des listes de toponymes comportant pour chaque expression sélectionnée un numéro à courir. des

coordonnées rectangulaires, une transcription selon les règles définies au § 2.3.1., la désignation générique en utilisant les symboles réglementaires, un code d'importance, des observations complémentaires.

Le code d'importance, défini par analogie avec le classement des amers, se trouve en appendice B.

- Des minutes toponymiques, dressées à partir des plans cadastraux évoqués au § 2.1.
- Des minutes de synthèse toponymiques, moins complètes que les précédentes, mais associant les principaux noms à leurs termes génériques et destinées à orienter les choix cartographiques.

2.3.3.2 Documents intermédiaires

Une collection de feuilles d'enquête destinée au recueil des informations brutes, a été employée sur le terrain.

2.3.4 Bilan

L'enquête de toponymie a permis d'examiner 1 350 toponymes. Parmi ceux-ci, 1 052 noms ont été retenus et portés sur les minutes de toponymie. Six listes de toponymes ont été établies ; six minutes toponymiques et sept minutes de synthèse toponymiques ont été dressées ainsi que 4 cartes marines renseignées. Les listes de toponymes sont jointes au présent rapport.

2.3.5 Exploitation cartographique ; principales modifications

Les sept minutes de synthèse toponymiques et les quatre cartes renseignées forment un ensemble exhaustif, qui confirme, complète ou remplace selon les cas les toponymes portés sur les cartes marines en service.

Les exonymes d'origine espagnole, attribués par Mendaña en 1595 d'après les Saints du calendrier, ne sont jamais utilisés et doivent être supprimés.

En revanche, l'expression synthétique "îles Marquises" doit évidemment être conservée.

Certains exonymes consacrés par l'usage (baie des Traîtres, baie du Contrôleur, baie des Vierges, etc. doivent être maintenus, mais le nom marquisien correspondant est d'un emploi aussi répandu. Ce dernier doit, par conséquent, être indiqué entre parenthèses, comme c'est généralement le cas sur les cartes en service.

La même remarque s'applique enfin au toponyme principal qui mérite, lui aussi, de figurer entre parenthèses. Contrairement à une idée commune selon laquelle il n'existerait pas d'appellation synthétique, il n'est pas un Marquisien qui ignore le nom de son archipel : Fenua Enata, la terre des hommes. Ce baptême ethnocentrique, utilisé depuis les temps immémoriaux désigne à la fois le pays, la langue et les hommes.

La seule consécration, si l'on peut dire, de ce terme courant est à porter au crédit de l'Eglise Romaine, dont le représentant aux Marquises est officiellement intitulé : Episcopus Te Fenua Enata.

Il est donc proposé de rendre justice aux principaux intéressés et de faire en sorte que l'archipel soit connu, sur les cartes marines comme dans la réalité sous le nom d'Îles Marquises. (Fenua Enata).



L'anneau pastoral de l'évêque des Marquises

APPENDICE A

HISTOIRES ET LANGAGES

1. COSMOGONIE MARQUISIENNE

La légende de la création du Fenua Enata (S) ou Henua Enana (N), ancien nom donné à l'archipel, permet de déterminer sans ambiguïté le nom et l'orthographe en usage aux Marquises pour désigner chacune des îles.

Ua Pou	(trou – poteau)	montants de la maison
Hiva Oa	(poutre – longue)	première poutre maîtresse
Nuku Hiva	(assembler – poutre)	assembler la poutre maîtresse avec les autres pièces de charpente ⁽¹⁾
Ua Huka	(trou – poussière)	la poussière qui tombe des fibres de cocotier sert à combler les trous ⁽²⁾
Fatu Iva	(tresser – neuf)	indique la façon de tresser les feuilles qui servent à la couverture
Mohotani	(oiseau – cri d'oiseau)	le cri du moho annonce que l'aube est proche
Tahuata	(l'aube)	la lueur du jour. Le dieu qui ne peut travailler que la nuit doit se hâter
Eiao	(le jour)	fin de la construction. Exclamation de satisfaction de la part d'Atava.

2. HISTORIQUE

Le 16 juin 1595 appareillaient de Paita, au Pérou, quatre vaisseaux commandés par Don Alvaro Mendaña de Neira. Après 35 jours de navigation à l'ouest, les vigies du "Santa Isabel" signalaient une terre, elle fut appelée Magdalena. La flotte de Mendaña se trouvait dans la partie sud d'un groupe d'îles qu'il baptisa "Marquesas de Mendoza", en hommage à l'épouse de son commanditaire, le vice-roi du Pérou.

Sous le nom de "Marquises", le "Fenua Enata" (la terre des hommes) entrait dans l'histoire...

Au cours des siècles, les découvreurs successifs, à leur tour, baptisèrent ces îles suivant leur fantaisie ou leur désir de passer à la postérité (cf. tableau 1).

Aujourd'hui, la Magdalena s'appelle "Fatu Iva". La Dominique a repris son nom polynésien de "Hiva Oa" et rien ne justifie le maintien de ces exonymes sur les documents nautiques.

(1) Nuku qui désigne à la fois la terre et les hommes est un concept complexe très difficile à exprimer. La traduction "assembler" adoptée ici serait tout à fait insuffisante dans un autre contexte.

(2) Un trou rempli de bourre de coco pourrait tout aussi bien être le foyer – partie intégrante de l'habitation.

Tableau 1

ÎLES	MENDANA Juillet 1595	COOK Avril 1774	INGRAHAM Avril 1791	MARCHAND 1791	HERGEST 1792	ROBERTS 1793	DIVERS
Eiao			Knox	Masse	Robert		Freemantle Nyc
Hatutu			Hancock	Chanal		Langdom	Hatutaa Nexsen
Motu One							
Motu Iti							Hatu Iti Rock Blake Hergest 2 Freres
Nuku Hiva		Federal	Franklin	Baux Martin	Sir Henri	Adams	Washington
'Ua Huka			Washington	Solide	Riou	Massachusetts	
'Ua Pou				Marchand	Trevennen	Jefferson	Adams
Fatu'Uku		Hood					
Hiva'Oa	La Dominica						
Tahuata	Santa Christina						
Mohotani	San Pedro						Mohotane Motane
Fatu Iva	Magdalena						
Motu Nao							Thomasset

3. LES LANGUES POLYNÉSIENNES

3.1 Histoire des langues polynésiennes

Les Polynésiens parlent une trentaine de langues, très proches les unes des autres, qui forment une des branches d'une famille très largement répandue, connue sous le terme d'austronésienne.

3.1.1 Répartition géographique

On dénombre de 700 à 800 langues austronésiennes ; elles sont parlées en Indonésie, aux Philippines, en Micronésie, en Polynésie, à Madagascar et dans certaines parties du Sud Vietnam et de la Malaisie⁽³⁾. Elles sont aussi largement en usage dans les îles de Mélanésie, mais les langues de la plus grande partie de la Nouvelle-Guinée, des Salomon et de l'ensemble de l'Australie n'ont absolument aucun rapport avec le groupe austronésien et remontent probablement aux premiers colonisateurs australoïdes (- 30 000 ans).

Il serait cependant faux de croire que les langues austronésiennes correspondent précisément aux populations mongoloïdes et les autres langues non

austronésiennes aux peuples australoïdes (ex : la Mélanésie où la population est à l'origine plus australoïde que mongoloïde).

3.1.2 Propagation

La première période d'expansion austronésienne demeure complexe et, en termes généraux, les Polynésiens en sont une branche secondaire relativement mineure⁽⁴⁾.

Il est cependant certain que les austronésiens commencèrent leur expansion entre 5000 et 7000 ans à partir de la zone générale de Taïwan, des Philippines et d'Indonésie. Il se peut qu'ils aient eu une terre d'origine quelque part en Chine du Sud, mais ceci échappe à l'heure actuelle aux preuves linguistiques et même aux simples hypothèses.

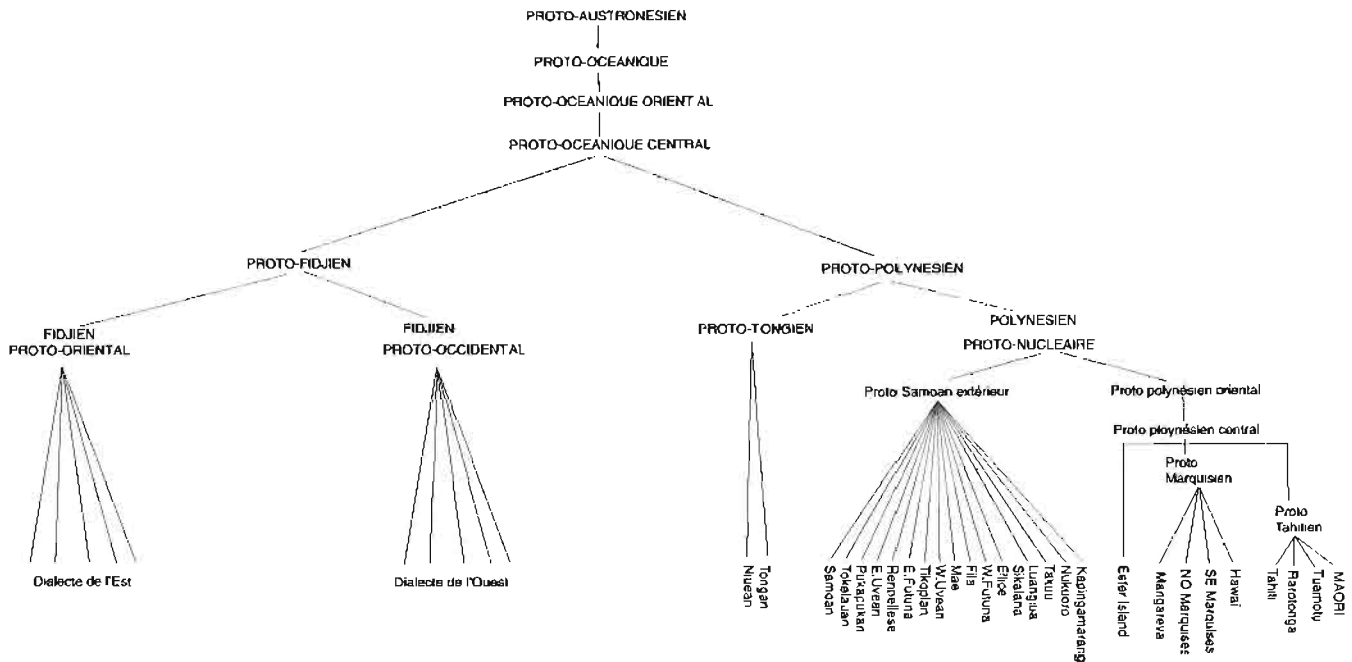
Si les Polynésiens constituent le groupe homogène le plus répandu des austronésiens, leurs langues forment une branche assez mineure de l'ensemble linguistique austronésien. Grâce à une profondeur historique relativement courte (3500 ans peut-être), les langues polynésiennes ont préservé un degré d'intelligibilité mutuelle appréciable jusqu'à l'arrivée des Européens.

⁽³⁾ Pour une étude générale des langues austronésiennes, voir Pawley A.K. (1974) – Austronesian languages – Encyclopaedia Britannica (15th édition) – Manopaedia 2 : 484-94.

⁽⁴⁾ Peter Bellwood – "The Polynesian, Prehistory of an island people"

3.2 Généalogie

3.2.1 L'arbre généalogique des langues polynésiennes est représenté au tableau suivant⁽⁵⁾ :



3.2.2 Ce tableau montre aussi la position des langues polynésiennes par rapport à l'ensemble de la famille austronésienne, elles sont en réalité une branche latérale d'un sous-groupe important appelé "océanique", qui commence probablement à se scinder en Mélanésie occidentale avant 3000 av. J.C.

3.2.3 A l'intérieur du groupe océanique existe une subdivision plus petite, appelée "océanique-orientale"⁽⁶⁾, qui comprend quelques-unes des langues mélanésiennes parlées au sud des Salomon, au centre et au nord des Nouvelles-Hébrides, ainsi que les langues fidjienne et polynésienne. Il est probable que le groupe lui-même commença à se scinder vers 2000 avant J.C. La langue fidjienne, de même que les hommes et la culture, est la plus proche parente des langues polynésiennes en Mélanésie, et les langues fidjienne et polynésienne partagent une langue ancestrale commune appelée "proto-océanique-central" qui se trouvait localisée à Fidji vers 1500 av. J.C.

3.2.4 Selon les linguistes, le premier établissement dans le triangle polynésien se situa probablement aux îles Tonga et l'archéologie détermine la date de cet établissement vers 1300 av. J.C. ou antérieurement. Vers 1000 av. J.C., ces premiers Polynésiens s'étaient répandus à travers les îles du nord de l'archipel des Tonga jusqu'aux Samoa, et les langues ancestrales polynésiennes peu à peu se divisèrent en sous-groupes tongien et nucléaire-polynésien. Les langues de Polynésie orientale ont des relations plus

étroites avec le samoan qu'avec le tongien et sont donc comprises, avec le samoan, dans le groupe "nucléaire-polynésien".

3.2.5 Les premières implantations en Polynésie orientale, peut-être aux îles Marquises ou dans l'archipel de la Société, se situent au début du premier millénaire ap. J.C., très probablement à partir de Samoa d'après les données tant archéologiques que linguistiques. Les Polynésiens des îles extérieures appartiennent aussi, sur le plan linguistique, au groupe "nucléaire-polynésien"⁽⁷⁾ et il se peut qu'une bonne partie de leur élan colonisateur d'origine soit venu des îles Ellice et de l'est de Futuna (îles Hoorn). On a pensé que les Polynésiens de l'extérieur n'étaient que les reliquats des premières migrations polynésiennes, laissés en arrière en Mélanésie. On sait maintenant que c'est très peu probable et que les habitants de ces îles les ont colonisées à partir de l'est et de sources lointaines situées en Polynésie occidentale.

3.2.6 En Polynésie orientale, il apparaît que les Marquises, les îles de la Société et l'île de Pâques ont toutes été colonisées vers 500 de notre ère, ceci étant attesté tant par l'archéologie que par la linguistique. Les autres îles furent principalement colonisées entre 500 et 1000 de notre ère, le courant le plus fort venant peut-être des îles de la Société. Les langues parlées aux îles de la Société, aux îles Cook, aux Australes, aux îles Tuamotu et en Nouvelle-Zélande appartiennent toutes au sous-groupe tahitien, tandis que

(5) D'après compilation des ouvrages de Green (1966) et Pawley (1966).

(6) Le sous-groupe océanique oriental est décrit par Pawley (1972).

(7) Pour les langues de Polynésie extérieure, voir Pawley (1967).

celles des Marquises, d'Hawaï et Mangareva peuvent être considérées comme appartenant à un groupe plus petit appelé marquisien. La taille et l'importance du groupe tahitien correspondent à la tradition selon laquelle les îles de la Société furent à l'origine de nombreux établissements en Polynésie orientale.

3.3 Conclusion

Il faut remarquer que les langues polynésiennes ne présentent pas de traces convaincantes d'un ancien substrat sud-américain⁽⁸⁾ ni de n'importe quelle autre partie du monde.

La Polynésie ne fut probablement colonisée qu'une seule fois, par l'ouest, par des gens possédant une seule langue dérivée de Fidji.

Les langues polynésiennes actuelles descendent toutes de cet ancêtre unique, par des voies différentes qui reflètent les principales directions de l'histoire culturelle polynésienne.

4. LA LANGUE MARQUISIENNE

4.1 Généralités

4.1.1 Importance – Origine

Utilisée par environ 7000 personnes, le marquisien comme le tahitien est une langue qui dérive d'un ancêtre commun à toutes les langues et dialectes de Polynésie : le "proto polynésien central". Cette langue mère n'est elle-même qu'une branche latérale mineure du "proto océanique central" qui se trouvait localisé à Fidji vers 1500 avant J.-C.

4.1.2 Relations Marquisien – Tahitien

Grâce à une profondeur historique relativement courte, un biotope et un mode de vie très semblables des locuteurs, les langues polynésiennes ont préservé, malgré leur isolement géographique, un bon degré d'intelligibilité mutuelle à l'intérieur des sous-groupes tahitien et marquisien. On peut toutefois noter que malgré des racines communes, il y a presque autant de différences entre le tahitien et le marquisien qu'entre, par exemple, le français et l'italien. Cependant, la langue tahitienne, fortement diffusée (radio, T.V.), est comprise dans l'ensemble de l'archipel.

4.1.3 Renouveau marquisien

Les contacts avec Tahiti ont bien sûr influé sur le mode de vie et le comportement des marquistes d'aujourd'hui mais ceux-ci n'en gardent pas moins les signes d'une personnalité plus forte, plus vigoureuse et plus individuelle. Une certaine prise de distance vis-à-vis du modèle tahitien s'affirme peu à peu depuis la fin des années 70.

Créée en décembre 1978, une association culturelle, représentée dans chacune des îles : "Motu Haka", œuvre pour remettre en valeur le patrimoine culturel et linguistique de l'archipel.

(8) Heyerdahl T. (1952).

(9) François Zewen : Docteur en Philosophie de l'Institut des Langues Austronésiennes de l'Université de Hambourg.

Depuis septembre 1984, le marquisien est enseigné à l'école.

4.2 Introduction à la langue marquisienne

4.2.1 Codification

Le marquisien a été codifié tel qu'il était au siècle dernier par Mgr Dordillon (dictionnaires 1904-1931-1932) mais la première grammaire de marquisien courant, œuvre du Père F. Zewen⁽⁹⁾, ne date que de 1987.

4.2.2 Les sons

a) Les voyelles

Les cinq voyelles du marquisien sont :
a [a] , e [e] , i [i] , o [o] , u [u] .

Le son [a] est prononcé plus en arrière dans la bouche que le "a" français.

Le son [e] est toujours accentué, jamais muet.
Exemple : Hanavave hanavavé

Le son [u] est celui que le français représente par "ou" comme dans "vous".

Ces cinq voyelles peuvent avoir, outre la prononciation normale, une prononciation traînante. On les appelle alors des longues et elles sont surmontées d'une barre horizontale (le macron) :
ā [ā] , ē [ē] , ī [ī] , ō [ō] , ū [ū] .

b) Les consonnes

Le marquisien a quatre consonnes occlusives ou explosives :
p, t, k, ' .

Les sons [p], [t] et [k] sont prononcés comme en français.

Le son ['] consiste dans l'occlusion de la glotte. Le son le plus proche est le hiatus qui existe entre l'article et un mot commençant par "h" aspiré. Exemple : le hibou [iā 'ibu]

Deux nasales : m [m] et n [n], elles se prononcent comme en français.

Trois fricatives :

- deux fricatives labio-dentales : f [f] et v [v];
- une fricative glottale h [h].

[f] et [v] se prononcent comme en français. Le [f] est particulier aux îles du sud – dans le nord [f] est souvent remplacé par [h].

c) L'accent tonique

En règle générale, l'accent tonique tombe sur l'avant dernière syllabe du mot. Mais l'accent tonique peut tomber sur la dernière syllabe si celle-ci est une longue.

d) Remarques

1) Dans le langage d'aujourd'hui, on trouve aussi le son [s] dans des mots empruntés au français. Ce [s] remplace généralement les fricatives dentales et palatales qui n'existent pas en marquisien.

Exemple : masini [ma'sini] = machine ([s] remplace [ch]).
simā [si'ma:] = ciment ([s] remplace [s]).

2) Le son [h] dans les emprunts de l'anglais et du français devient chez certains locuteurs une palatale [ç] ou dentale [s].

Exemple : hepe ou ihepe [ʔepe] = bateau, anglais : ship.
hovare [ço'vare] ou [so'vare] = cheval, français : cheval.
aihu [aiçu] ou [aisu] = soulier, anglais : shoe.

3) Le marquisien est une des rares langues austronésiennes où le [l] ou [r] originel est devenu [ʔ].

4) Le g, ng, [ŋ] ou n vélaire originel à une double équivalence aux Marquises. Dans les îles du nord, il est devenu "k". dans les îles du sud, il est devenu "n".

4.2.3 Translittération

Dans le cadre de l'enquête, les toponymes recueillis ont été transcrits en alphabet latin exclusivement.

Le coup de glotte ' est représenté :

a) par un espace :

Hiva'oa Hiva/Oa
Fatu'uku Fatu/Uku

b) il n'est pas représenté quand il l'est moins :

Ha'aotupa – baie Collet (N.H.) = Haaotupa

Le macron des voyelles longues n'est pas utilisé :
Tikapō – Cap Martin à Nuku Hiva = Tikapo

Le n vélaire qui n'existe qu'à Taipivai est écrit "k" :

Hagahaa = Hakahaa
Hagapaa = Hakapaa
Hagapuuvae = Hakapuuvae

5. LEXIQUES DES TERMINOLOGIES TOPOGRAPHIQUES

5.1 Locatifs

Moana	la haute mer
Vaho	le large
I Tai	côté mer
I Uta	intérieur des terres
'Apai, Kō (U.P.), Hiva (H.O.)	côté
Ae Ae, Moui	gauche
Oko	droite
Apae	en face (proche)
Apae Atu	en face (éloigné)
Mama'o	très loin
Atu	idée d'éloignement
Amai	idée de rapprochement

5.2 Détails topographiques

	Nord	Sud
Cap, pointe	Mata, Teoho	a'e
Golfe, baie, crête, anse	Haka, Ana, Ha'a	Hana
Île, îlot, presqu'île	Motu	
Passe, passage, canal, chenal	Ava	
Vallée	Ka'avai	
Rivière	Vaitake	
Courant marin	Au	
Montagne	Mouka	Tuaivi, Mouha
Colline		Iui
Sommet	Pūkei, Muko, Kapua	Pukeo
Pic	Pou	
Ligne de crête	Kapua	
Plateau	Tohua	Mehoa
Falaise	Opata	
Cascade	Topaia vai, kahivai	Topatinavai
Grotte	Ana	
Rocher	Papakea	Koutu (bord de mer)
Gravier	Tuki'i, Tahuna	
Sable	One	
Vase	'epo, Kau	Koa
Algue	'imu	
Bosquet	Ma a	
Broussaille	Ma a eita	Teita
Cocoteraie	Ma a ehi	Eehi
Bananaeraie	Ma a meika	Meia
Pavillon, drapeau	Pavio	
Eglise	Hae pure	Fae pure
Cimetière	Karavario, Papuatupapa'u	
Maison	Hae	Fae

6. DÉROULEMENT DES ENQUÊTES

6.1 Support

La Direction de l'Aide Technique (DAT) dispose de calques au 1 : 30 000 de chacune des îles principales des Marquises. Trait de côte et reliefs sont issus d'une esquisse planimétrique obtenue par réduction de planches cadastrales. Parfois le dessin de la côte est repris à l'aide de photographies aériennes de l'IGN. Ces documents sont actuellement le support le mieux adapté à une enquête de toponymie détaillée.

Sur les tirages de ces calques ont été reportés les toponymes des cartes en usage (C.M. – IGN de Nuku Hiva et d'Hiva Oa). Ceux figurant sur les schémas de toponymie des E.O.F. (1952 à 1957), ainsi que ceux issus des documents détenus par le cadastre.

6.2 Procédure

6.2.1 Une reconnaissance par mer, à bord du P 400 "La Railleuse", de chacun des détails topographiques du domaine côtier a été effectuée pour toutes les îles visitées.

6.2.2 Un locuteur et un translittérateur de la mission recueillaient les toponymes indiqués par les pratiques locaux embarqués pour l'occasion.

6.2.3 Une réunion des personnes jugées les plus aptes par les municipalités : anciens, pêcheurs, représentant de l'association Motu Haka, était ensuite organisée afin de lever les ambiguïtés relevées et entériner le choix et l'orthographe des toponymes à adopter.

6.3 Bilan

Environ 1400 toponymes ont ainsi été recueillis, transcrits sur les fiches d'enquêtes et portés à leur position sur les tirages des cartes de toponymie.

Cette moisson de renseignements est évidemment trop importante pour être conservée intégralement sur les documents définitifs à l'échelle utilisée.

7. TRADUCTION

La pérennité de la toponymie dans l'archipel est telle que la plupart des mots utilisés sont issus du marquisien ancien dont la signification s'est souvent perdue. Pour éviter le risque d'introduire un contre sens, seuls les noms ne présentant aucune ambiguïté ont été traduits.

Il est remarquable de constater la différence du nombre de traductions obtenues d'une île à l'autre. Dans une île de tradition vivace, comme Ua Huka, chacun des toponymes a pu être traduit, commenté et rattaché aux légendes. De même à Fatu Iva où la mémoire des guerriers mythiques (Tafeta – Fieti ??) est conservée dans un grand nombre de détails topographiques.

Peut-être y a-t-il aussi une certaine pudeur à révéler à l'étranger les croyances anciennes ainsi qu'à témoigner d'un mode de vie disparu dans les îles les plus en contact avec le monde extérieur.

8. PRINCIPALES MODIFICATIONS PROPOSÉES

8.1 Îles Marquises (Fenua Enata)

"Fenua Enata" dans les îles du sud. "Henua Enana" dans celles du nord, ainsi les Marquisiens désignent-ils leur archipel. Si Henua présente un caractère plus archaïque et une probable antériorité, Fenua est utilisé dans l'ensemble de la Polynésie Française pour désigner la terre, le pays.

8.2 L'orthographe du nom de chacune des îles est celui indiqué en appendice B.

8.3 Tous les exonymes d'origine étrangère, non consacrés par l'usage, sont à supprimer quand il existe une dénomination locale reconnue.

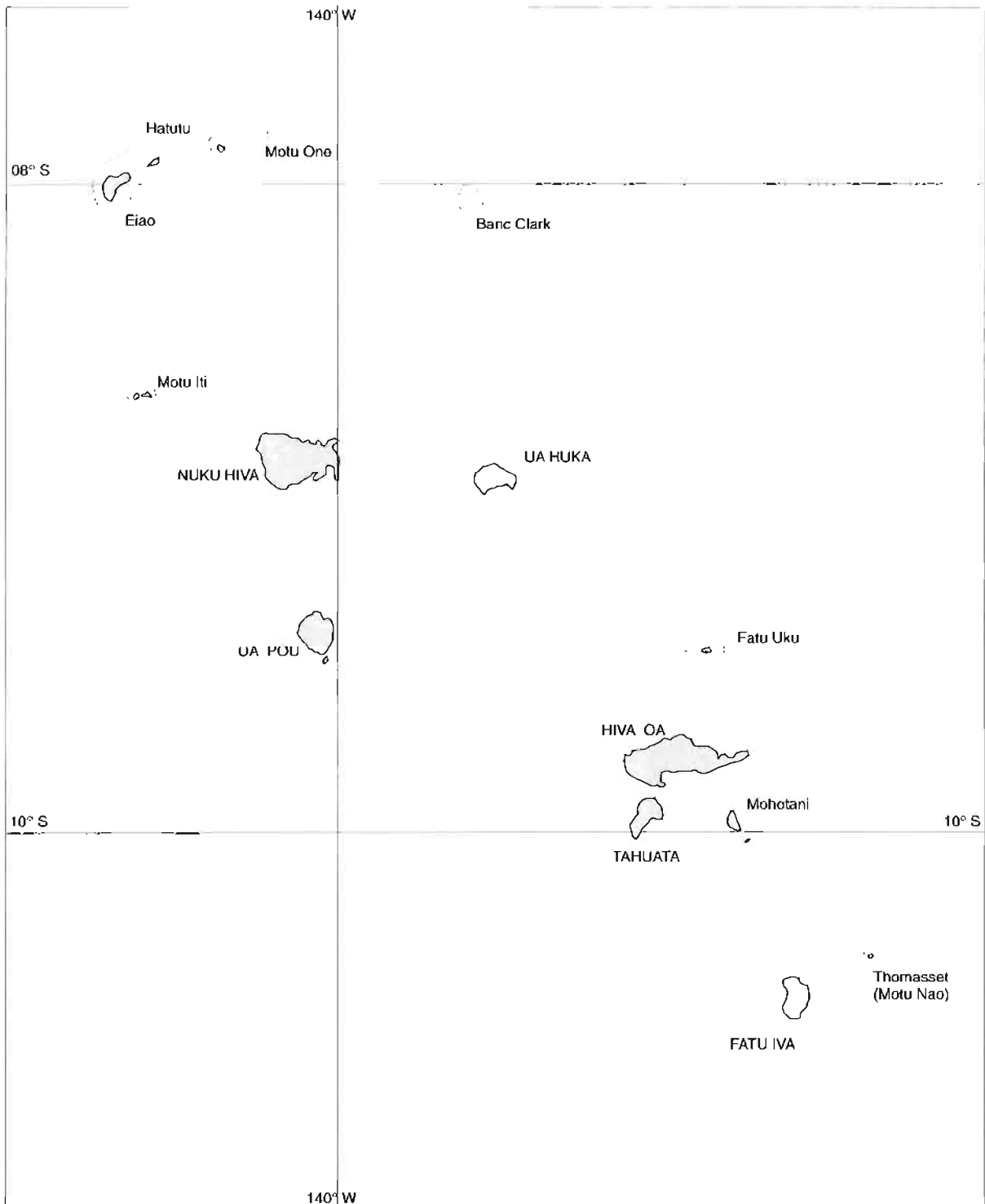
Les exonymes conservés figurent sur les minutes toponymiques de synthèse :

Baie du Contrôleur	Rocher Thomasset
Baie Marquisienne	Banc Clark
Cap Martin	Sentinelles (E – W)
Baie des Traîtres	
Pointe Gaussin	
Baie des Vierges	
Canal du Bordelais	

8.4 Les 6 minutes toponymiques, les 7 minutes de synthèse toponymiques et les 4 cartes marines renseignées remplacent, confirment ou complètent, selon les cas, tous les toponymes portés sur les documents nautiques en vigueur dans les collections du SHOM.

APPENDICE B

TOPONYMIE DES ÎLES ET DE LEUR LITTORAL



1. CLASSEMENT DES TOPONYMES

CODE	DEGRÉ D'IMPORTANCE	DÉSIGNATIONS
4	Fondamental	Ile principale
3	Très important	Villages importants Structures majeures : caps, sommets, baies.
2	Important	Village secondaires Structures remarquables : pointes, îlots, rochers, anses.
1	Peu important	Rivières. Détails topographiques mineurs.
0	Sans importance	Lieux dits.

2. ABRÉVIATIONS EMPLOYÉES

SIGLE	DÉFINITION
A	Anse
B	Baie
C	Cap
Coll	Colline
Ht Fd	Haut Fond
P.A.	Position Approchée
R	Roche
SMT	Sommet

3. TOPONYMIE LITTORALE

3.1 UA POU

Date : 21 janvier 1988
Langue ou dialecte : Marquisien
Transcripteur : EV 1 (S) Penven
Locuteur : SM Huaatua

Lieu : Ua Pou
Carte marine : 5989 C.A.
Informateurs :
- Siméon Kohymoetini (Pêcheur)
- Touao Kohutemau (Ancien)
- Frédéric Tissot (Agent de Police)

Projection : UTM Fuseau 7
Ellipsoïde : International
Système géodésique : Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises.

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	8967800	600960	Motukuee	Îlot	2	Îlot des Anguilles
2	8967570	600930	Teavaitahio	Pt	2	
3	8967380	600840	Motukau	Pt	2	Îlot de boue/Poussière
4	8967350	600420	Motupatihu	R	2	
5	8966840	600670	Aneou	B	2	Ombragé
6	8966660	599900	Hakanahirui	A	2	
7	8967080	599730	Tapahau	Pt	2	
8	8966810	599580	Hananahiti	A	1	
9	8966850	599270	Teohoatitoka	Pt	2	
10	8966480	599270	Uia	B	2	Éclair
11	8966250	598950	Haakaka	A	1	
12	8966250	598810	Tahukani	Pt	1	
13	8966110	598840	Haakaua	A	0	
14	8965850	598780	Hakatutupe	A	1	
15	8965770	598470	Motukoio	R	2	Dent de marsouin
16	8965260	598400	Motukivi	R	2	
17	8965180	598450	Anapuai	R	2	
18	8965320	598370	Hakahetau	Village/B.	3	
19	8965480	598040	Tehena	Pt	2	
20	8965390	597780	Tepapaki	P	1	Battement de mains
21	896890	597660	Peheke	A	1	Descente
22	8964650	597670	Hakaomaka	A	0	
23	8964280	597660	Tahapoto	A	1	Endroit court
24	8963930	597300	Pohi	A	1	
25	8963780	597300	Hakatitao	A	1	
26	8963320	596980	Tepu	Coll.	1	
27	8963120	596440	Haakuti	Village/B.	2	
28	8963170	595860	Motumahaki	Pt	2	
29	8962680	595810	Punauku	B	2	
30	8962890	594970	Punahu	C	3	Source d'éboulis
31	8962460	595510	Motuherruru	Presqu'île	1	
32	8962310	595930	Vaiehu	A	1	Pulvérisée
33	8961420	595700	Puopaahua	Pt	1	
34	8961170	595600	Motukoio	Pt	1	Dent de marsouin
35	8960930	595930	Hakaotu	B	2	
36	8960860	596170	Vaioa	R		Eau longue
37	8960330	597690	Moukataatoko	Pic	2	Pic rugueux qui était
38	8960600	595470	Tehakapaaaoa	A	2	Anse du dauphin
39	8960430	595510	Vaioau	Pt	0	
40	8960450	595640	Hakahaahaa	A	1	Baie de la colère
41	8959880	595760	Motumouku	Îlot	2	
42	8960100	596260	Tahaoa	A	2	Longue marche
43	8959830	596350	Kahemo	A	1	
44	8959580	596350	Matautauputu-Putu	Pt	2	Assemblée où se déclame la généalogie

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
45	8959570	596580	Hakamau	A	1	
46	8959110	596650	Matautauooa	Pt		La longue généalogie
47	8959780	597150	Teahuakea	R	2	La pierre sanctuaire (P.A)
48	8959200	596830	Anatuaau	A	1	
49	8958820	597140	Motupapa	R	1	Île rocheuse
50	8958720	597090	Motukuara	Îlot	2	
51	8958730	597220	Hakamarii	Village/B.	2	Baie
52	8958400	597220	Meituaa	Pt	1	
53	8958110	597360	Matakika	Pt	2	
54	8958000	597840	Hapateki	A	1	
55	8957350	597740	Motukau	R	2	Île marécageuse/ poussiéreuse
56	8957260	598050	Papaopohue	Pt	1	
57	8957120	598170	Tekotake	Pt	1	Oiseau paille en queue
58	8957160	598420	Vaiomoi	A	0	
59	8957080	598730	Teua	A	1	
60	8956890	598700	Hautini	Pt	1	Nombreux hibiscus
61	8956730	599150	Hikeu	B	2	
62	8956260	599060	Anaovii	Pt	2	Grotte glissante
63	8955850	599240	Tehoehoe	Pt	2	Pagaie
64	8955730	599950	Uapo	B	2	Grotte sombre
65	8955350	599790	Matautau	Pt	2	Généalogie
66	8955270	600210	Haoaki	A	1	Insulte au ciel
67	8954960	600310	Hakatao	Village/B.	2	Baie du four
68	8954710	600210	Teaoeva	Pt	2	
69	8954460	601130	Motutekohai	Îlot	2	
70	8954500	601290	Hakapata	A	1	Baie du clapotis
71	8954050	601760	Potohua	R	2	Retour hatif
72	8953790	601430	Tehonu	Pt	1	
73	8953520	601850	Teavaiti	Passage	1	Espace limité
74	8953140	601830	Motukakae	Îlot	3	
75	8953530	602630	Hatua	Pt	1	
76	8953420	603530	Tehao	A	0	L'insulte
77	8953160	603770	Maunutoke	Pt	2	
78	8953160	604180	Motutehuaki	Îlot	2	
79	8953260	604090	Avauka	Passage	0	
80	8952130	604440	Motu Oa	Îlot	3	Île longue
81	8953680	604220	Peko	Pt	1	
82	8954600	604310	Vaitaitai	A	2	Eau saumâtre
83	8954990	604830	Paaueke	A	1	
84	8954300	605600	Motutamuko	Îlot	3	
85	8954870	606230	Motupapali	Îlot	3	
86	8955090	605470	Tuinona	A	0	
87	8955210	605760	Tapukava	Pt	2	
88	8955710	605680	Teahuotetua		0	Sanctuaire divin
89	8956190	605680	Otoue	Pt	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
90	8956370	605570	Tokuka	A	1	
91	8956460	605620	Paaukoheputa	Pt	2	
92	8956660	604880	Hohoi	Village/B.	2	
93	8957120	605950	Tekena	Pt	2	Grande chaleur
94	8957370	605780	Haakii	A	1	Peau
95	8957840	605570	Haakauiti	A	2	Baie rapide
96	8957920	606080	Vaiteehi	Pt	2	Eau de coco
97	8958160	605690	Haakaurui	A	1	
98	8958330	606080	Paheo	Pt	1	Arrêt brusque
99	8958430	606110	Hakahaahaa	A	0	Baie de la colère
100	8958700	606380	Taakatemoko	Pt	0	Ceinturer un requin
101	8959180	606460	Imuhau	Pt	2	Mousse d'hibiscus
102	8959450	605970	Hakamio	A	0	
103	8959640	605780	Paaumea	B	2	
104	8959790	606310	Paaha	Falaise	0	Cercueil
105	8959910	606520	Motumahaka	R	1	Îlots jumeaux
106	8960120	606680	Kaniha	Pt	1	
107	8960270	606650	Anaopue	A	0	
108	8960490	606620	Vaihoa	A	0	Eau amicale
109	8960760	606490	Hakakiuka	A	1	
110	8961260	606440	Hakateivi	A	1	
111	8961580	606820	Kakiki	A	1	Vigoureux
112	8961730	607130	Viikaomamai	Pt	2	
113	8961820	607060	Tekahupaki	A	1	
114	8962020	607020	Poava	Pt	2	
115	8962070	606230	Namahiapapa		0	
116	8962290	605780	Paepae O Koka	A	1	Terrasse de Koka
117	8962500	606650	Hakamoui	B	2	Vallée de la pierre
118	8962710	605980	Hakaoei	A	1	
119	8963020	606380	Hakaotai	A	1	Baie de la mer
120	8963000	606760	Kakeka	Pt	1	Pente raide-rocailleux
121	8963250	607220	Matatihotea	Pt	2	
122	8963550	607180	Punui	Pt	2	
123	8963530	607050	Hakaheuka	A	1	
124	8964150	607390	Papuaka	R	1	Clôture en pierre
125	8964380	608170	Tetumuouapou		0	Passe-Début de Ua Pou
126	8964610	608540	Akua	Îlot	3	
127	8964720	607940	Motu Mokohe	Îlot	3	Îlot aux frégates
128	8964430	606910	Hakatetou	A	2	Baie des Trois
129	8964560	606750	Tenoni	Pt	1	Baie du Noni
130	8963670	606540	Matapua	Crête	1	Cap fleuri
131	8965090	606230	Taukaai	Pt	2	
132	8964890	605690	Anahoa	B	2	Grotte amie
133	8965270	605700	Tehapateo	Pt	2	
134	8965430	605630	Teahumaaikēo	Pt	2	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
135	8965390	604940	Matahiva	Pt	2	Cap – Poutre maîtresse
136	8965130	604620	Hakahau	Village/B.	3	
137	8965410	604340	Motupoha	Pt	1	Îlot fendu
138	8965550	604280	Viika	A	1	
139	8965950	604330	Matateauiki	Pt	2	
140	8966110	604130	Teuaheke	Pt	0	
141	8966290	603920	Papaoai	A	0	
142	8966450	603450	Kaapiti	A	1	
143	8966620	603220	Hakaohoka	A	1	Baie du héros
144	8967090	602920	Motupapai	Îlot	2	Île humide
145	8967210	602210	Ipuoho	A	1	Crâne
146	8967300	602110	Anamoko	A	0	Grotte aux requins
147	896750	602230	Hatukoemo	Pt	2	
148	8967660	601830	Techooteimu	Pt	1	
149	8967490	601510	Anaua	A	0	Double grotte
150	8962680	599580	Poutemoka	Pic	3	683 m
151	8961580	600800	Poumaka	Pic	3	979 m/Pic en fourche
152	8960510	600760	Pouaki	Pic	3	1 034 m
153	8958740	601920	Poutoko	Pic	3	
154	8956230	602650	Pouhekaei	Pic	2	630 m
155	8961570	603300	Poutoake	Pic	2	Pic de l'oiseau – paille en queue – 464 m
156	8961500	601740	Oave	Pic	3	1 203 m
157	8961710	601710	Matahenua	Pic	3	1 028 m/Cap de l'île
158	8962100	601510	Poutetainui	Pic	3	970 m/Pic de la haute mer
159	8965720	603840	Kuatau	SMt	3	390 m

3.2 NUKU HIVA

Date : 23 janvier 1988
 Langue ou dialecte : Marquisien
 Transcripteur : EV 1 (S) Penven
 Locuteur : SM Huaatua

Lieu : Nuku Hiva
 Carte marine : 3931 C.A.
 Informateurs :
 - Emmanuel Botto (agent de Police - Pêcheur)
 - René Haiti (Pêcheur - Président Motu Haka)
 - Guy Uki (Professeur)

Projection : UTM Fuseau 7
 Ellipsoïde : International
 Système géodésique : Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	8029010	591540	Utokofoi	Pt	2	
2	9027880	592120	Vaikia	Falaise	0	
3	9027830	592820	Matau	Pt	2	
4	9026300	592400	Hakahea	B	2	Repos
5	9026630	592820	Tepuhipuhiika	Pt	1	Le souffleur
6	9026880	593360	Motuaviti	Pt	2	
7	9026030	593380	Haapapani	B	2	
8	902410	593820	Hananai	B	2	Baie qui retient
9	9027050	593770	Puhinui	Pt	2	Souffleur
10	9026530	594320	Kapaoa	A	1	
11	9026670	594510	Haahena	Pt	1	
12	9026470	594790	Haakiki	A	1	Baie qui excite
13	9026310	595350	Vaipu	A	2	Filet d'eau
14	9026650	595760	Tahukahi	Pt	2	
15	9026430	595930	Vaetea	Pt	2	
16	9025680	596130	Aakapa	Village/B.	2	
17	9025500	596660	Haaekaeka	A	0	Baie qui réjouit
18	9025630	596860	Hounuku	Pt	0	
19	9025560	597390	Vaonea	B	1	
20	9026070	597600	Anaopuho	A	2	Baie du coffre
21	9025940	598670	Tataaveke	A	1	
22	9025440	599010	Haaume	B	2	
23	9025580	599810	Matatekohau	Pt	2	
24	9024270	600790	Hatiheu	Village/B.	3	
25	9025660	601050	Teuamotuku	Pt	1	
26	9026570	600860	Temeo	Pt	2	Le sommeil
27	9026190	601750	Haamaa	A	2	
28	9026750	601980	Tavakaoa	Pt	2	La longue pirogue
29	9026640	602690	Teohootemako	Pt	2	Le requin énergétique
30	9025950	602580	Vaimea	A	0	Machin
31	9025450	602620	Anahakau	A	1	
32	9025050	602930	Tekea	Pt	1	Le rocher
33	9024960	603070	Mataohotu	Pt	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
34	9024780	602790	Teavauua	Passe	1	Passe d'entrée
35	9024530	603480	Anaho	B	3	
36	9024180	603260	Tepohu	Pt	1	
37	9027500	604670	Motuarahi	R	2	Motu
38	9026740	604750	Mahihaha	Falaise	0	
39	9025640	604960	Haataivea	B	2	Baie mer rouge
40	9026530	605720	Tiena	Pt	1	
41	9027830	606400	Motu Poiku	Îlot	3	Motu
42	9026840	606540	Haateuia	A	2	Baie de l'éclair
43	9026600	607140	Maatea	A	2	Brousse blanche
44	9027120	608090	Pakouaehi	Pt	0	Coin de pêche
45	9027580	608260	Tehaeouti	Pt	3	
46	9027270	608830	Metauaoa	C	3	
47	9026520	608760	Napoitiatupa	R	2	Adam et Eve (exonyme) Les enfants de Tupa
48	9026070	608190	Kikapa	A	0	
49	9025370	607300	Kehonuihipa	R	2	La bouteille
50	9025270	606530	Haatevavai	Falaise	0	
51	9024900	605930	Teotonui	Pt	1	Basalte énorme qui glisse
52	9024040	605780	Motukohai	Îlot	2	Motu
53	9023530	604930	Haatuatua	B	2	
54	9022890	605260	Haateatea	A	0	
55	9022850	605580	Mataokoo	Pt	2	
56	9022330	605760	Anaumia	A	1	
57	9021940	606420	Haauai	A	1	Baie où l'on tire les pirogues
58	9021880	607440	Haatetou	A	1	
59	9021930	608490	Hinutu	Pt	2	Bec
60	9021430	608430	Vaihekua	A	1	Eau rouge
61	9021320	609150	Toea	C	3	Oiseau
62	9020710	608410	Haapou	A	1	Baie du poteau
63	9020520	608530	Puheapaapa	Pt	1	
64	9020190	608300	Vaitepuka	A	1	Eau de corail
65	9020030	608460	Miokau	Pt	1	
66	9019760	608300	Hakaoata	A	1	
67	9019450	608970	Topatuoho	Pt	2	
68	9018900	608310	Manavaioa	A	2	
69	9017820	608780	Tehaunanua-Toni	Pt	1	Hibiscus planté par Toni
70	9017670	608670	Haunanu	A	2	Hibiscus planté
71	9015690	608780	Taaatea	A	2	
72	9013090	608590	Vehinekikino	A	1	Femme de rien
73	9012720	608090	Tikapo	C	3	Cap Martin
74	9012240	607840	Teohootekea	R	2	
75	9013280	607870	Taetui	Pt	1	
76	9013850	608050	Keatea	Pt	0	Pierre blanche
77	9014590	608490	Kahoe	A	2	
78	9016720	607030	Hoouri	Village/B.	2	

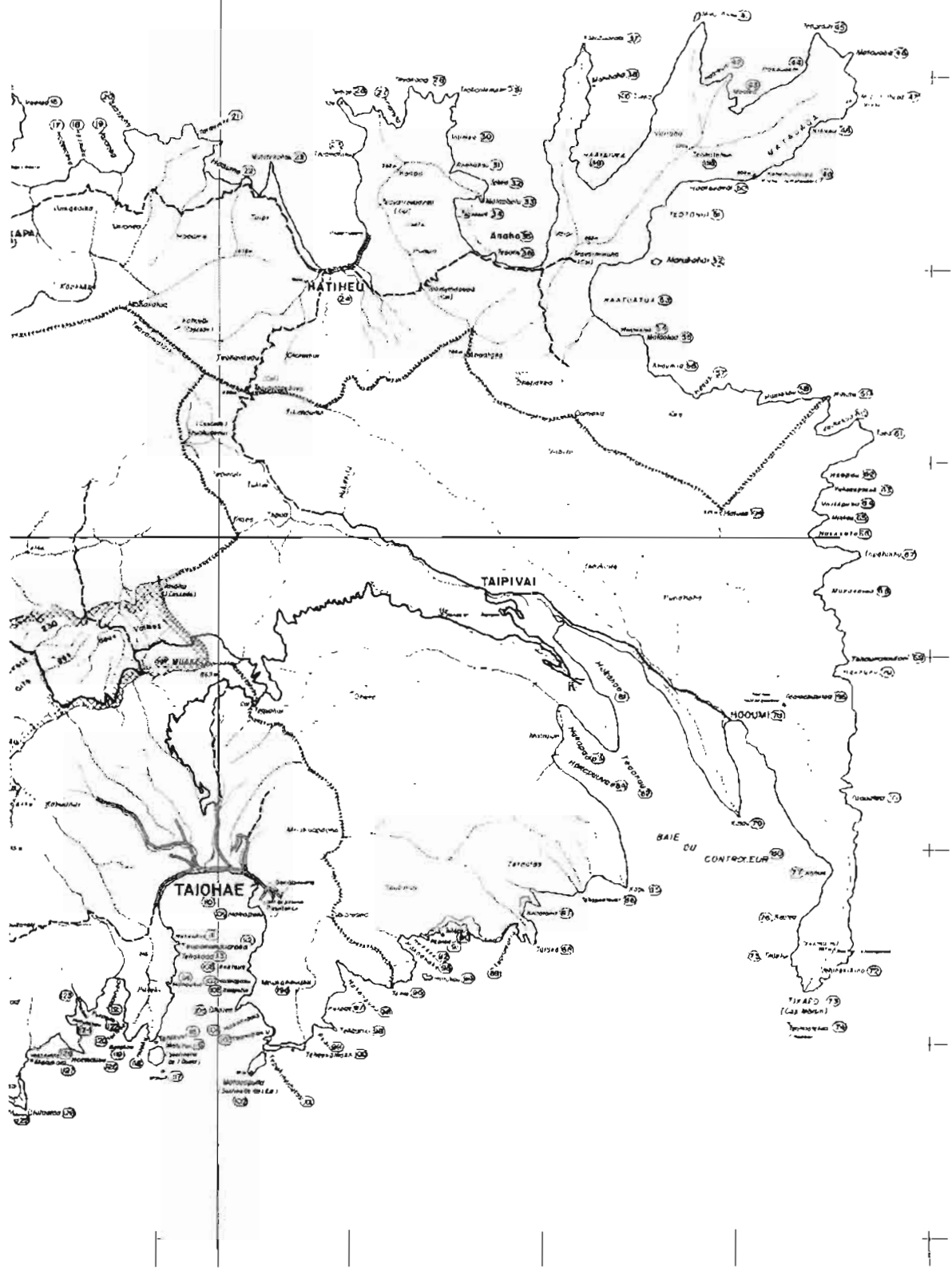
NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
79	9015400	607090	Katau	Pt	2	Ancre
80	9018990	603490	Taipivai	Village	2	
81	9018040	604650	Hakahaa	B	2	Baie de la colère
82	9016430	605150	Tehaahau	PT	2	
83	9016900	604410	Hakapaa	A	2	Baie
84	9016290	604270	Hakapuuvae	A	1	
85	9014330	605330	Kapu	Pt	3	Puiser du liquide
86	9014260	604640	Tehopectevai	Pt	1	Le reste de l'eau
87	9013990	603770	Anaotoha	A	1	Grotte
88	9013480	603890	Tataka	Pt	2	
89	9013680	603560	Teanamaria	A	1	Grotte de Marie
90	9013740	602800	Tehaoei	A	0	
91	9013620	602440	Papaoa	R	1	Rocher long
92	9013570	601990	Hakaau	A	0	
93	9013540	601820	Hakaohoke	A	1	
94	9012960	602190	Hatukau	Îlot	2	Motu
95	9012800	601670	Temio	Pt	1	
96	9012990	600970	Hakaopuho	A	1	Baie du coffre
97	9012550	600730	Kuipae	A	1	
98	9012140	600810	Tehaatiki	Pt	2	Sculpteur
99	9012190	600480	Poai	A	1	
100	9011860	600310	Teheekamako	Pt	2	Grotte du requin
101	9011840	599680	Tepuhiniuaoutou	Passé	1	Les trois courants qui écumant
102	9011670	599580	Matauapuna	Îlot	3	Sentinelles de l'Est (exonyme d'usage courant)
103	9012140	599790	Teanapakiu	A	0	Grotte de Pakiu
104	9012450	599580	Hakahama	A	1	
105	9012450	599230	Ohotea	Pt	2	Pointe arquée (exonyme d'usage courant)
106	9012740	599450	Anaputoi	A	0	
107	9012940	299530	Haalapatu	A	0	Baie du Tapatu
108	9013160	599430	Keatuuu	A	0	
109	9013900	599650	Hakapehi	A	1	Baie du lancer (exonyme)
110	9014320	598860	Taiohae	Village/B.	3	
111	9013610	598270	Hakaohua	A	0	
112	9013500	598360	Teupokomaua-Taka	R	2	Deux ceintures
113	9013340	598360	Tehakaaa	Pt	1	
114	9012870	598200	Hanaukio	A	0	
115	9011990	597940	Tehikuvu	Pt	2	
116	9011780	598010	Motunui	Îlot	3	Île grande (Sentinelle de l'ouest – exonyme d'usage courant)
117	9011540	598100	Motuiti	R	2	Île petite
118	9012140	597750	Haakii	A	1	Baie de la peau
119	9011990	597520	Matahau	Pt	1	
120	9012230	597470	Teotooa	A	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
121	9012820	597330	Haatotupa	B	2	Baie du Tupa
122	9012460	596880	Putitohe	Pt	1	Fesse - Résistance
123	9012580	596760	Hakahau	A	0	Courant
124	9012330	596640	Hakatehoa	A	0	Baie de l'ami
125	9011810	596820	Haemouku	Pt	2	
126	9011800	595940	Teanaputa	A	1	La grotte percée
127	9011700	596010	Motukoio	Îlot	2	Motu/Dent de marsouin
128	9010940	595910	Ututaotao	Pt	2	
129	9011140	595550	Vaimohe	Falaise	0	
130	9011200	594590	Tetekoihaka	Falaise	0	
131	9011060	594030	Tahapoto	A	1	Court de placement
132	9010520	593580	Tehiohio	Pt	2	
133	9011160	592580	Uauka	A	2	
134	9010470	592140	Tehahati	Pt	2	Le bris
135	9010580	592040	Tehakapautu	A	1	
136	9011170	591980	Hakatea	B	2	Baie blanche
137	9011080	591510	Utukoupoë	Pt	2	
138	9011250	591420	Hakau	Village/A.	2	
139	9010110	591710	Tehakapii	A	1	Baie de l'union
140	9009600	591820	Temokomoko	Pt	2	Baie du requin
141	9009710	591230	Papaputoka	A	2	Le rocher conque marin
142	9009350	591270	Tekeho	Pt	2	Basalte
143	9009360	590770	Anahio	R	2	
144	9009300	590780	Tehahati	R	2	Le bris
145	9009290	590210	Motukoio	Îlot	2	Dent de marsouin
146	9009500	590020	Anaohoka	A	1	Grotte de l'héros
147	9008860	589380	Motumano	C	3	
148	9009970	588860	Hakahi	A	1	
149	9010270	588640	Haatite	A	1	
150	9010930	588110	Haahini	A	2	Baie pointue
151	9011910	586870	Putataa	Falaise	0	Rugueuse
152	9012440	586280	Haakuakua	A	2	Baie rouge
153	9012220	585200	Matateteiko	Pt	3	
154	9014310	585520	Uea	A	2	Baie marquisienne (exonyme)
155	9014940	585300	Hakapio	A	1	Baie de l'émoi
156	9016450	584800	Haatepuna	A	2	Baie de la source
157	9016680	584330	Iokue	Pt	2	
158	9017170	584780	Tataia	A	2	
159	9018160	584400	Hakateaho	A	1	
160	9018860	584000	Tutaemanu	A	1	Fiente d'oiseau
161	9019480	583960	Tapueahu	A	2	
162	9019770	583660	Hakaoa	A	1	Baie longue
163	9020650	583300	Haatuatua	A	2	
164	9021730	582350	Matatekouehi	Pt	2	
165	9023310	582540	Haakiki	A	1	L'énergie - Vigueur

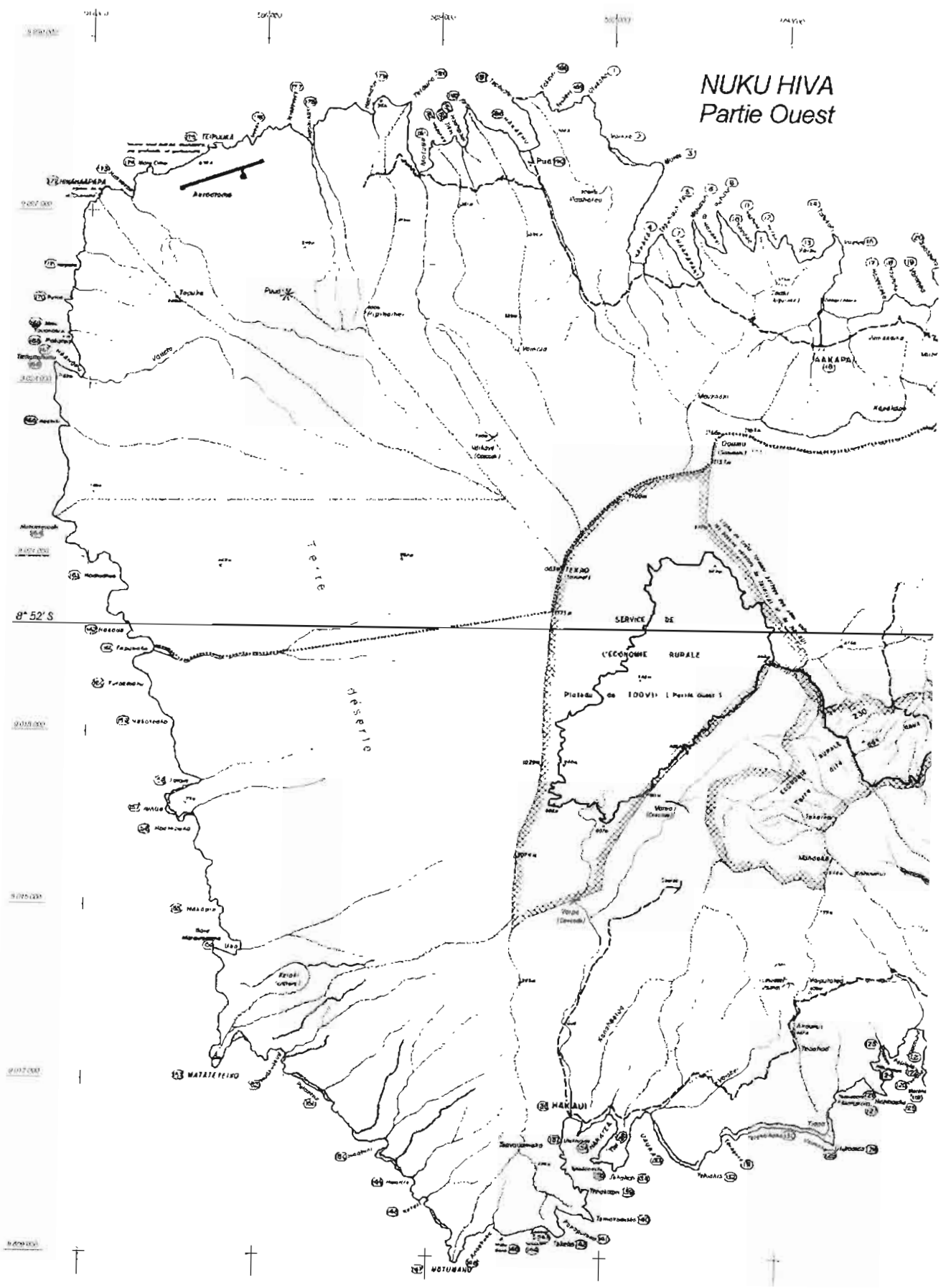
NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
166	9024380	582380	Tehumuhunu	Pt	2	Emprisonnement
167	9024270	582760	Haahopu	B	2	
168	9024800	582590	Pakatea	R	1	
169	9024820	582520	Motu Tauakakivi	Îlot	2	Motu
170	9025450	582530	Putoo	Pt	1	
171	5026030	582750	Vaipahu	A	1	
172	9027370	583120	Hinahaapapa	Pt	2	
173	9027330	583640	Hakaavao	A	2	
174	9027750	583990	Motu Omei	Pt	2	
175	9028170	585100	Teipuuka	Pt	2	Trou du souffleur
176	9028220	585720	Uehau	A	1	
177	9028510	586360	Tevakavaka	Pt	1	
178	9028260	586730	Haahinani	A	2	
179	9028760	587730	Haamatuu	A	1	Anse de rêve
180	9028900	588460	Tetauoa	Pt	2	
181	9027890	588660	Matuee	B	2	Coin de pique-nique
182	9028200	589030	Heaokoo	A	1	
183	9028300	589210	Tikei	Pt	1	
184	9028200	589340	Haahaihai	A	1	
185	9028780	58940	Kea	Pt	2	
186	9028220	590460	Hakaehu	B	2	
187	9028940	590200	Teahuotu	Pt	2	
188	9029070	590710	Takaiti	Pt	2	
189	9028810	590990	Teuaava	A	1	
190	9027840	590630	Pua	Village	2	
191	9020820	591160	Tekao	SMt	3	1 183 m
192	9022700	593700	Ooumu	SMt	2	(2 sommets) 1 166 m, 1 163 m
193	9025790	606320	Teokotehue	SMt	2	320 m
194	9020150	606790	Hatuee	SMt	2	671 m
195	9017160	607780	Taamahueitoa	R	2	Rocher remarquable
196	9012770	600180	Moukahevake	SMt	2	
197	017770	598720	Muake	SMt	2	864 m
198	9010850	592020	Tioi	SMt	2	(P.A.)

140°06' W

NUKU HIVA Partie Est



NUKU HIVA Partie Ouest



3.3 UA HUKA

Date : 26 janvier 1988
 Langue ou dialecte : Marquisien
 Transcripteur : EV 1 (S) Penven
 Locuteur : SM Huaatua

Lieu : Ua Huka
 Carte marine : 5989 C.A.
 Informateurs :

- François Fournier (Agent de Police - Pêcheur)
- Théodore Ohu (Pêcheur)
- Edouard Tekiteepupuni (Agriculteur - Pêcheur)
- Napoléon Teatiu (Secrétaire de Mairie - Pêcheur)
- Tehaunahuna Kehuehita (1^{er} adjoint au Maire - Agriculteur - Pêcheur)
- Marcel Paro - (Pêcheur)
- Léon Lichtie (Maire de Ua Huka)

Projection : UTM Fuseau 7

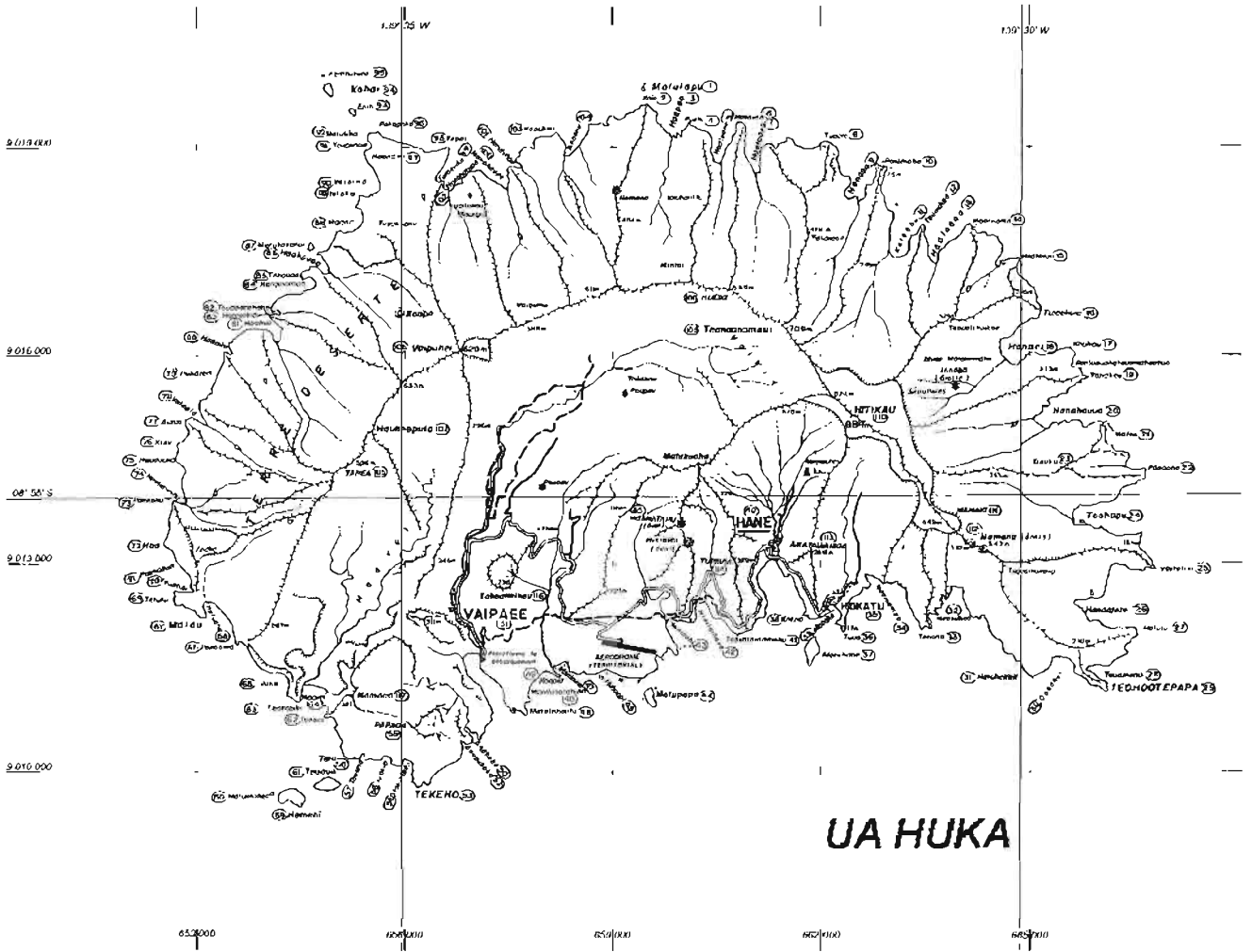
Ellipsoïde : International

Système géodésique : Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	9019000	659430	Motutapu	îlot	2	
2	9018790	659470	Kaie	Pt	1	Fier
3	9018460	659860	Haapao	B	2	Achever
4	9018540	660110	Puehu	Pt	1	Éparpiller
5	9018110	660520	Haateone	B	2	Vallée de sable
6	9018550	660830	Matavea	Pt	2	Yeux brûlés
7	9018040	661050	Haaateava	B	2	Vallée avec une passe
8	9018270	662100	Tupete	Pt	2	
9	9017580	662410	Hanaeo	B	2	Vallée où on entend des voix
10	9017930	662860	Poiomoho	Pt	2	
11	9016780	663080	Katoahu	B	2	Prendre un lieu tabou
12	9017150	663460	Teunuhaa	Pt	2	Four à pandanus
13	9016730	663600	Haateaoa	B	2	Vallée des banians
14	9017100	664190	Haateama	A	0	Vallée des bancouliers
15	9016630	664550	Haatetou	A	1	
16	9015990	665160	Tutaekena	Pt	2	Fiente de Kéna (fou de bassan)
17	9015500	665600	Kouhau	Pt	2	Instrument à circoncire
18	9015420	664540	Hanaei	B	2	Vallée aux dents de cachalots
19	9015090	665840	Tapakau	Pt	2	Tapa qui flotte
20	9014560	665270	Hanahouua	B	2	Remettre à neuf pour la 2 ^e fois
21	9014480	666060	Matau	Pt	2	Hameçon
22	9013850	666680	Papaoho	Pt	2	Rocher solide
23	9013870	665480	Eipaka	SMT	1	Éclat de colliers
24	9013220	665820	Toohapu	B	2	
25	9012510	666810	Vaitetiki	Pt	2	Là où on a laissé un tiki
26	9011950	665870	Hanaatete	B	2	
27	9011690	665540	Motutui	Pt	2	Îlot qui s'est rattaché à la côte
28	9011150	665970	Teuamono	A	1	Refuge des requins
29	9010870	606110	Teohootepapa	C	3	
30	9011230	665500	Oohanui	A	1	
31	9011070	665030	Hatuhakaii	Pt	1	Créer la danse du coquillage
32	9012070	663920	Haavahae	A	1	Règlement d'un litige pour une maison

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
33	9011720	663560	Tenohaa	Pt	2	
34	9012380	662730	Haamamao	A	0	Aller plus loin
35	9011950	662850	Hokatu	Village/A.	2	
36	9011680	662290	Tuoo	Pt	2	
37	9011440	661860	Motuhane	Îlot	2	
38	9011900	661720	Kaepa	Pt	0	
39	9011970	662120	Mataka	Pt	0	Insomnie
40	9012210	661390	Hane	Village/B.	3	
41	9011710	660960	Teavataina-Manu	Pt	1	Lieu où l'on abat les ciseaux au bâton
42	9011980	660270	Hinitaihava	A	1	Lieu en bord de mer où l'on exerçait des sortilèges
43	9011780	659810	Hiniaeni	A	1	
44	9010810	659500	Motupapa	Îlot	2	Îlot de rochers
45	9011080	658800	Huhuapi	R	1	
46	9010590	657710	Matatehoutu	Pt	2	Oeil du rocher
47	9011190	658200	Manihina	A	0	
48	9010980	657840	Manihinata-Huna	R	1	
49	9011060	658230	Koapa	R	1	Plaque fine
50	9010310	656950	Anahene	A	1	
51	9011030	657100	Vaipae	Village/B.	3	Eau qu'on n'arrive pas à contenir
52	9010200	656790	Anapukoka	A	1	
53	9009610	656130	Tekeho	C	3	Masser les muscles
54	9009930	655990	Ototuhiaiki	A	1	Trou qui sent un peu mauvais
55	9010430	656070	Papaoa	SMT	2	Rocher long
56	9010010	655690	Ivaiva	A	1	
57	9010050	655330	Tauana		0	Porter sur le dos
58	9010040	655060	Tatii	Pt	1	
59	9009520	654310	Hemeni	Îlot	2	
60	9009550	654010	Motukeokeo	R	2	Petite pointe de rocher
61	9009680	654840	Teuaua	Îlot	2	Plein de trous
62	9010570	654770	Tenoni	Pt	0	Les NONI
63	9010770	654400	Teaeopiki	Pt	1	Accès au pic
64	9010870	654620	Haavei	A	1	
65	9011060	654200	Viina	A	1	Endroit où on tombe
66	9011540	653510	Papaoma	Pt	1	
67	9011920	653050	Matau	Pt	2	
68	9012060	653150	Hatuana	A	1	
69	9012170	652590	Tetutu	Pt	1	Bâti pour quelqu'un d'autre
70	9012290	652850	Teuahai	A	1	Refuge de lairai
71	9012670	652640	Paekaavai		0	Côté vallée
72	9012910	652450	Hoa	Pt	1	Ami
73	9013490	652600	Paekohu	Pt	1	Chapeau de nuage
74	9013490	652740	Haateninihu	A	1	
75	9014050	652620	Hauavaka	Pt	1	Deux pirogues
76	9014260	652670	Kioe		0	Rat

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
77	9014560	652800	Avaua	Pt	1	Deux passes
78	9014590	653000	Vaipaia	A	1	Eau enfermée
79	9015200	653240	Pukatea	Falaise	0	Arbre spongieux
80	9015510	653420	Haatutu	A	1	Vallée aux arbustes
81	9015800	654080	Haahue	A	1	Vallée en forme de vase
82	9016070	654030	Teupanehoho	Pt	1	
83	9016020	654110	Haateekia	A	1	
84	9016400	654570	Hanainamoa	A	1	
85	9016510	654460	Tehoupo	Pt	1	Le coeur
86	9016620	654800	Haahevea	A	1	
87	9016900	654610	Motutokatai	îlot	2	îlot poissonneux
88	9017230	655260	Moana	A	1	Haute mer
89	9017590	655330	Tetoko	Pt	1	Le support
90	9017720	655520	Vaioino	A	1	
91	9018190	655390	Tevakaoa	Pt	1	La longue pirogue
92	9018430	655350	Motutiha	R	2	îlot en forme de caisse
93	9018730	655220	Epiti	îlot	2	
94	9019030	654870	Kohai	îlot	2	
95	9019210	654800	Komautuee	R	2	
96	9018440	655590	Pokopoko	Pt	2	Rugueux
97	9018210	655690	Haunanu	C	3	Hibiscus planté
98	9018230	656610	Tepai	Pt	2	
99	9017800	656460	Tutaeiiko	A	1	
100	9017740	657410	Hanaheupe	A	1	Emplacement d'un paepae
101	9017990	657600	Hanatehaa	A	1	Vallée aux pandanus
102	9017700	656570	Hanahatupa	A	1	
103	9018430	658170	Kopukiki	Pt	0	
104	9018180	658350	Anaehu	A	1	Grotte effondrée
105	9014030	655210	Tapea	SMt	2	596 m
106	9015500	656770	Vaipuhei	SMt	2	620 m
107	9014420	655480	Hauheeputa	SMt	2	611 m
108	9016290	660680	Hueiki	SMt	2	584 m
109	9015820	661440	Teanaonamaui	SMt	2	709 m
110	9014590	662470	Hitikau	SMt	3	884 m
111	9013130	663810	Mahaki	SMt	2	649 m
112	9012790	664320	Namana	SMt	2	544 m (dents)
113	9012780	661850	Akatauamoa	SMt	2	274 m
114	9012590	660780	Tupavio	SMt	2	279 m
115	9013150	659960	Moanatapu	SMt	2	289 m (dent)
116	9012310	657360	Tahoatikikau	SMt	2	238 m
117	9010860	655170	Namana	SMt	2	321 m



3.4 HIVA OA

Date : 28 janvier 1988
 Langue ou dialecte : Marquisien
 Transcripteur : EV 1 (S) Penven
 Locuteur : SM Huaatua

Lieu : Hiva Oa
 Carte marine : 3997 C.A.
 Informateurs :

- Bernard Heitaa dit Vohi (Maire section Puamau)
- Grégoire Teiefitu (Retraité - Ancien Maire de Tahuata)
- Mathurin Le Bronnec (Surveillant C.S.P. Collège)
- François Tehaamoana (Ouvrier Commune Atuona)
- Kohu Vaatete (Electricien de la commune de Atuona)

Projection : UTM Fuseau 7
 Ellipsoïde : International

Système géodésique: Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	8922770	724110	Hanapaaoa	Village/B.	3	Baie du cétacé
2	8922970	725580	Tofaa	Pt	2	
3	8923070	725640	Matanau	Pt	2	
4	8922630	726010	Anahi	B	2	
5	8922880	726460	Anafanui	B	2	
6	8923270	726860	Teuamano	Pt	2	Repaire de requins
7	8922810	727150	Motuua	Village/B.	2	2 îles
8	8923390	727380	Tautepe	Pt	2	
9	892270	727660	Nahoe	Village/B.	2	
10	8923230	727890	Keona	Pt	2	
11	8922970	728000	Haamaomao	A	2	
12	8923340	728130	Teveo	Pt	2	
13	8923190	728390	Papatea	A	2	Platier blanc
14	8923120	728650	Timoa	R	2	
15	8922770	7288570	Haamanava	B	2	
16	8922840	728930	Hanatekea	A	2	Baie du rocher
17	8922980	729110	Teaiomoa	Pt	2	
18	8922820	729280	Vaitumuama	A	2	Eau du bancoulier
19	8923000	729680	Tevaaotupa	Pt	2	Réveil de Tupa
20	8922400	729740	Eiaone	B	2	Endroit sablonneux
21	8922820	730000	Anavehitaa	Pt	2	
22	8922870	730210	Matapunui	Pt	2	
23	8922590	730320	Hanahepu	A	1	
24	8922750	730700	Matapuava	Pt	2	
25	8922410	730990	Papatoetoe	R	0	Rocher aux crabes
26	8921950	731410	Tekoko	Pt	2	Le coco
27	8921750	731450	Teaeiteka-Kaho		0	
28	8921540	731700	Tounaua		0	
29	8921690	732170	Ahani	Pt	2	
30	8921010	732240	Mataai	Pt	2	
31	8920270	731840	Mataou	Pt	2	Pointe de la feuille
32	8920060	732440	Puamau	Village/B.	3	
33	8920270	732770	Motu Ana Momo	Îlot	2	Petit îlot ; Petite grotte
34	8920360	732810	Motu Ana Kei	Îlot	2	Grand îlot ; Grande grotte
35	8920490	733230	Motupoha	Îlot	2	Île brisée

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
36	8920360	733310	Tetopatia-Tohi		0	
37	8920350	733470	Kakai	Pt	2	
38	8919980	733610	Avaumia	A	1	
39	8919860	733770	Hanatevai	A	2	Baie de l'eau
40	8920540	734090	Aitekohe	Pt	2	Manger - Bambou
41	8920610	734110	Toahauu	R	2	
42	8920500	734320	Ainaohe	R	2	Silhouette d'un jeune homme
43	8920360	734500	Mahaiata	R	1	Îlot dans la mer
44	8920040	734710	Peheu	A	2	
45	8920270	734990	Manoeeva	Pt	2	
46	8920090	735180	Hanaouna	A	2	
47	8920470	735310	Tapuahu	R	2	Sanctuaire
48	8920340	735320	Motumanu	Îlot	2	Île aux oiseaux
49	8920140	735560	Hanaouna-Teahu	A	2	
50	8921220	736480	Pehihoe		0	Brise du vent dans la mer
51	8920380	736020	Avakaapihi	A	1	
52	8920390	736220	Tehootupa	Pt	2	Pointe de Tupa
53	8920220	736120	Naomana	A	1	
54	8920010	736220	Motumouu	Pt	2	
55	8919870	736020	Teoutupoto	A	1	
56	8919570	735870	Vakaoa		0	Longue pirogue
57	8919220	736060	Natue	B	3	
58	8919180	736440	Teehi			Cocotier
59	8919640	737040	Teaermaniania	Pt	1	
60	8919910	737270	Motuputui	Îlot	2	Îlot sourd
61	8920040	737300	Motuoa	Îlot	2	Île longue
62	8921980	741370	Matafenua	Presqu'île/C.	3	
63	8919900	737840	Anahapao	A	1	
64	8920140	738200	Avauhi	A	1	Passe de la perle
65	8920400	738480	Tefafava	R	2	
66	8920610	738930	Houpo	A	1	Coeur
67	8920800	739150	Pufaa	A	1	
68	8921020	739270	Tevitua		Pt	2
69	8921020	739480	Anafanui	A	2	
70	8921520	740000	Tutaekena		1	Fiente du Kena
71	8921740	740030	Hanaei	A	1	Baie du cachalot
72	8921920	739880	Teohooteopu	Pt	2	Pointe ventée
73	8922080	740120	Hanataetae	A	1	Baie appréciée
74	8922340	740130	Tenoni		1	Grand arbre sur un rocher (Noni)
75	8922450	740140	Tetahena	Pt	2	
76	8922680	740310	Motuofio	Îlot	2	Îlot du sauvage
77	8922300	740570	Temapuha	A	1	
78	8922160	740830	Hanatavau	A	1	
79	8922070	741450	Motutomo	R	2	Îlot de l'entrée
80	8921670	741520	Motutapu	R	2	Île sacrée

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
81	8921370	741420	Motupahi	R	2	
82	8921000	740850	Vaipoo	A	1	
83	8920690	740540	Motuoa	R	2	Île longue
84	8919840	740490	Teohotepapa	Pt	2	Pointe rocheuse
85	8919650	740400	Matanau	Pt	2	
86	8919410	739400	Tauaonaoipo	A	2	
87	8919240	739500	Teohootevei-Vei	Pt	2	Pointe de l'agacement
88	8919090	739130	Teumanui	Pt	2	
89	8919370	737840	Meauteone	A	2	
90	8918830	737050	Tehakahami	Pt	2	La danse du Hami
91	8918520	736160	Utuaoo	Pt	1	
92	8918050	735230	Haatinao	A	2	Baie de l'énucléation
93	8917770	735350	Matau	Pt	2	
94	8917630	734330	Vaihoa	A	2	
95	8916850	733410	Faaea	A	1	
96	8916560	733240	Akuhua	A	1	
97	8916320	733270	Tekui	Pt	2	La mère
98	8916650	732540	Mataua	B	2	
99	8916240	732170	Ooatevai	A	2	
100	8915970	732080	Puumau	Pt	2	
101	8916040	731500	Humi	A	1	
102	8915770	731380	Teaeiteuu	Pt	2	
103	8915850	730840	Ounoni		0	Feuille de Noni
104	8915560	730580	Papaeifaa	Pt	2	
105	8915480	730520	Motupoto	Îlot	2	Île courte
106	8915200	730500	Motuoa	Îlot	2	Île longue
107	8915570	730430	Ooa	A	2	
108	8915020	730050	Teohaivehi	Pt	2	
109	8915220	729930	Temotu	Pt	1	L'île
110	8915610	729570	Anafanui	A	2	
111	8915340	729460	Tinatupapau	Pt	2	Prés des revenants
112	8915930	729010	Hanaupe	B	2	
113	8915320	728870	Aaioho		1	
114	8914920	728650	Tuomua	Pt	2	
115	8915150	728390	Utufaifai	Pt	1	
116	8915240	728200	Puufee	Pt	1	Tresse de poulpe
117	8915500	727730	Teaeihototo	Pt	1	
118	8915840	727500	Hekeani	B	2	Ciel pente
119	8915000	727400	Tehaehiapo	Pt	2	La maison en écorce de banyan
120	8915050	727070	Motuhaaiato	R	1	
121	8914990	726900	Oiae	Pt	2	
122	8915110	726450	Vaipuohe	A	1	
123	8915090	726280	Motuoa	Pt	2	Île longue
124	8915320	726290	Poaua	A	1	
125	8915210	725920	Avapanu	A	0	

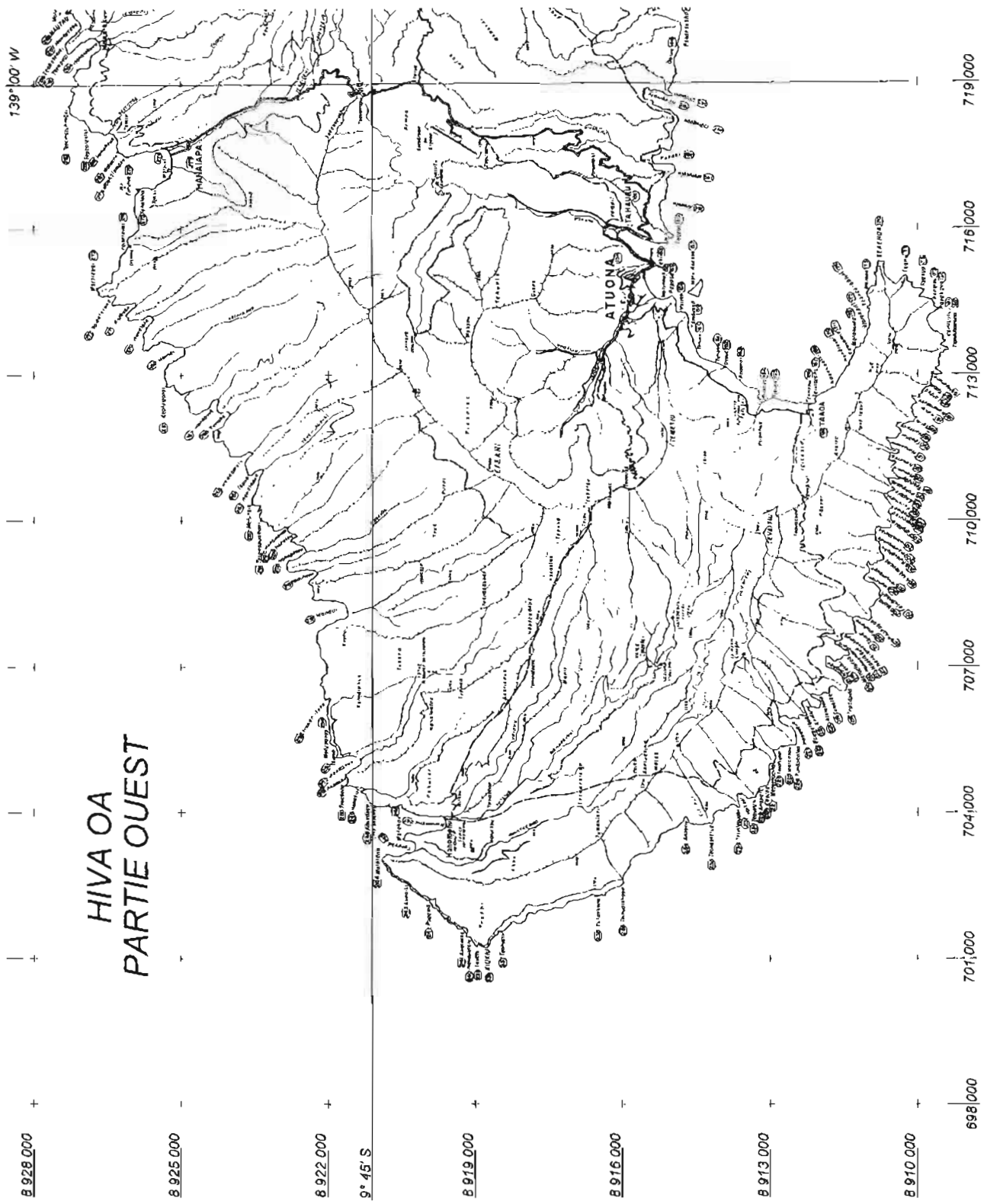
NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
126	8915060	725770	Motuau	R	2	
127	8915190	725730	Papaoa	Pt	2	Plaque rochcusc longuc
128	8915720	725810	Poonono	A	2	
129	8915680	725660	Anafai	A	1	
130	8915760	725530	Vaipio		1	Grotte
131	8915650	755280	Toetoe	Pt	2	Crabe
132	8915970	725030	Tekahia	Pt	1	
133	8916200	724730	Ututehe	B	2	
134	8915550	724620	Nohue	Pt	2	
135	8915310	723880	Utufaa	A	1	
136	8914840	724000	Matautu	Pt	3	
137	8915260	723000	Tahaoa		0	Endroit long
138	8915480	722540	Vaitahetahe		0	Courant d'eau
139	8915670	721830	Peetahuna	A	1	
140	8915840	721020	Hanahehe	B	2	
141	8915120	720800	Pukoo	Pt	2	
142	8915210	720440	Hanatea	A	2	Baie blanche
143	8914620	720210	Pakahakaha	Pt	2	
144	8914760	719450	Ootee		0	
145	8914790	718730	Utuaauao	Pt	1	
146	8915240	718730	Hanamate	B	2	Baie de la maladie
147	8914680	718230	Taihohonu	Pt	1	
148	8915110	717400	Punaei	B	2	Baie profonde
149	8914770	717150	Motunoio	Pt	2	
150	8914980	716580	Anamio	Pt	1	
151	8915720	716070	Tahauku	B	2	
152	8914810	715840	Teaeoa	Pt	2	
153	8915190	715220	Feki	Pt	3	
154	8915680	714640	Atuona	Village/B.	3	
155	8915030	714540	Motuneue		1	Île tremblante
156	8914890	714600	Papoa	Pt	2	Rocheuse longue
157	8914380	714710	Motu Anakee	Îlot	3	
158	8914770	714300	Vaiteo	A	1	
159	8914600	714240	Temoueva	Pt	1	
160	8914380	713450	Tehutu		0	
161	8913950	713190	Tahaoa		0	Endroit long
162	8913770	713110	Otoua		0	
163	8913560	712890	Anaotai	A	1	Grotte de la mer
164	8913050	712480	Vaikava	A	1	Eau saumâtre
165	8912810	712500	Tetiae	Pt	1	Le gardenia
166	8912080	712340	Teonehu		1	
167	8911960	712450	Teiviotahu	Pt	2	L'os de Tahu
168	8912040	712140	Taaoa	Village	2	Longue épine
169	8911560	712710	Kakenaoiki	A	1	
170	8911270	713140	Hanatevai	A	1	Baie de l'eau

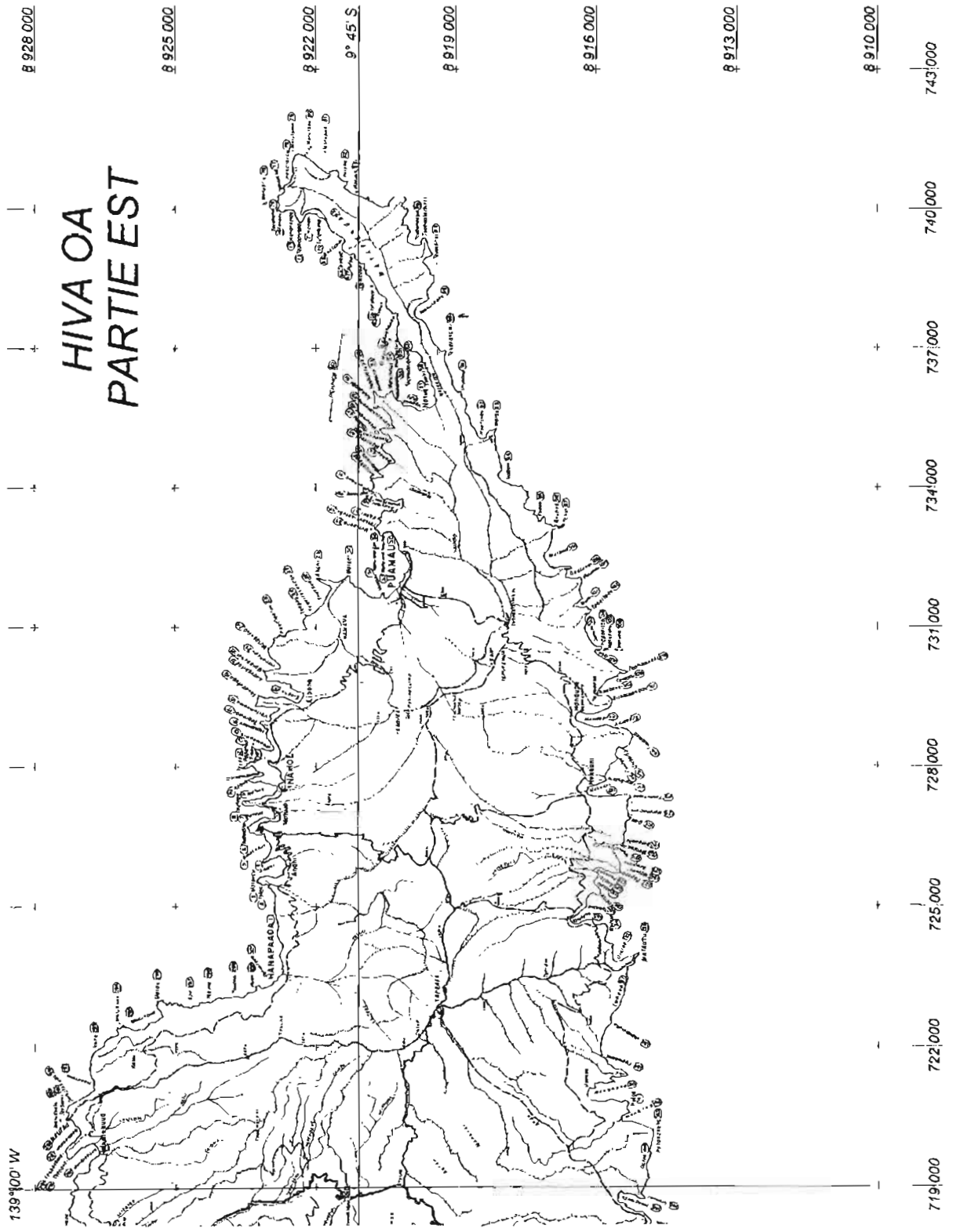
NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
171	8911180	713340	Temiomio		1	
172	8911120	713500	Matahueo	Pt	2	
173	8910870	713880	Vaioapiti	Pt	2	
174	8910860	714310	Teanaotaatini	Pt	2	Grotte des milles " piquants "
175	8910860	714610	Mataua	Pt	1	Pointe double
176	8910610	715240	Teaehoa	C	3	
177	8910040	714950	Teahu	Pt	2	Sanctuaire
178	8909690	714650	Faakua	P	2	Pandanus rouge
179	8909480	714410	Anarriau	A	1	
180	8909370	714240	Papahava	Pt	2	
181	8909280	713670	Vaituutuu	A	0	
182	8909170	713450	Tepuhihaa-Tuna	Pt	2	
183	8909490	712900	Haatuna	A	1	
184	8909520	712700	Tekui	Pt	1	La mer
185	8909670	712630	Fafaua		0	Raie
186	8909870	712420	Hanatefeke	A	1	Bain du poulpe
187	8909840	712340	Kakei	Pt	1	
188	8909890	711980	Tetiki		0	Le tiki
189	8910230	711890	Vaitepua	A	1	
190	8910170	711730	Teuanui	Pt	1	
191	8910390	711570	Hanaotono	A	1	
192	8913370	711240	Hanatea	A	1	Baie blanche
193	8910340	711020	Hanaoia	A	1	
194	8910170	710790	Tekoohé	Pt	2	
195	8910400	710750	Pohaapao	A	1	
196	8910032	710560	Anatote	Pt	2	
197	8910480	710450	Vaitemanu	A	1	L'eau de l'oiseau
198	8910350	710190	Motukioe	Pt	1	Île des rats
199	8910400	710120	Anataataa	A	1	Grotte rugueuse
200	8910310	709900	Fatutau	Pt	1	
201	8910650	709750	Hanatoutoa	A	2	Baie des 3 héros
202	8910690	709550	Hananaunau	A	1	
203	8910610	709350	Kaavatukii	A	1	Vallée du gravier
204	8910540	709140	Matatana	Pt	2	
205	8910850	709010	Hanaheupe	A	1	
206	8910900	708750	Hanatevi	A	1	
207	8910630	708480	Fatuhakii	Pt	2	
208	8910640	708340	Mono	Pt	1	
209	8910840	707910	Keahapaa	Pt	1	
210	8911140	707910	Fatuhemo	A	1	
211	8911130	707620	Taivai	Pt	2	Mer douce
212	8911400	707580	Hanatema-Nofatea	A	1	Baie du requin énorme
213	8911420	707490	Huetikaue	Pt	1	Vase des mouches
214	8911510	707410	Hanatema-Nofaiti	A	1	Baie du petit requin
215	8911280	707150	Matautufaa	Pt	2	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
216	8911520	707070	Tetiki		0	Le tiki
217	8911680	707020	Hanahoo	A	1	
218	8911360	706420	Tepaapaa	Pt	2	Le murissement
219	8911710	706370	Tenetae	Pt	1	
220	8911970	706310	Atetohona	A	1	
221	8912160	706130	Anafanui	A	1	
222	8912140	705920	Faeputaua	Pt	2	
223	8912560	705790	Hanauaua	A	1	Baie poreuse
224	8912390	705320	Punaohotea	Pt	2	Passage vent du Nord
225	8912520	705310	Mataovau		0	
226	8912760	705230	Tetahuna		0	Le gravier
227	8912830	704930	Meaetopaiho	Pt	2	Le Meae effondré
228	8912970	704500	Kikatoa	Pt	1	
229	8913120	704430	Anapotu	A	1	Grotte du cloporte
230	8913220	704240	Tepupuhi	Pt	1	Le bouillonnement
231	8913510	704250	Vaikooi	A	1	
232	8913540	704030	Teivitepuahi	Pt	2	La montagne du santal
233	8914140	703710	Tenaotetua	Pt	2	La grotte du dieu
234	8914670	703810	Anaotiu	A	1	Grotte vent du nord
235	8915940	702470	Teihuotehaoe	Pt	2	Nez de l'étranger
236	8916420	702230	Tutaekena	Pt	1	Fiente du Kena
237	8918410	701520	Teahuotu		0	Sanctuaire de TU
238	8918780	701170	Kiukiu	C	3	
239	8918980	701190	Teuma	Pt	0	La poitrine
240	8919120	701380	Hanauafatu	A	0	
241	8919280	701550	Anateako	A	0	
242	8919940	702130	Popoma		0	
243	8920400	702490	Anaoiki	A	0	
244	8920940	703030	Matatana	Pt	2	
245	8920290	703300	Tanaeka	A	2	
246	8920480	703440	Matahau	Pt	2	Cap de l'hibiscus
247	8919870	703730	Hanamenu	A	2	
248	8921130	704150	Kaunakua	Pt	1	Bain agréable, Pointe Gaussin (exonyme)
249	8921330	704470	Hanakiki	A	0	
250	8921670	704540	Tekekaho	Pt	1	Le roseau
251	8921650	704680	Anaokeo	A	0	Grotte de l'anus
252	8921440	705040	Hanaavao	A	2	
253	8921780	705120	Teuma	Pt	2	La poitrine
254	8921990	705440	Motuaavau		0	
255	8922020	706320	Hanahiitoka	A	0	
256	8921740	708180	Hanau	A	2	
257	8922310	708950	Mauhepo	A	2	
258	8922520	709420	Hanapeteo	A	2	Baie du gouffre
259	8922710	709730	Hanaotao	A	1	Baie du taro
260	8922890	709860	Hanameneo	A	0	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
261	8923400	710070	Tetaitapua-Moui		0	La baie interdite de la frayeur
262	8923570	710380	Motunoio	Pt	1	
263	8923430	711020	Hanatepua	A	1	Baie fleurie
264	8923630	710960	Tepua	Pt	2	La fleur
265	8923660	711380	Hanaomotu	A	1	Baie de l'île
266	8924080	712230	Tamuhu	A	1	
267	8924330	712470	Hanaooua	A	1	
268	8925350	712850	Keatuiipopoi	Pt	2	Pilon
269	8925130	713560	Hanaei	A	2	
270	8925660	714270	Hanafeta	A	2	
271	8926030	714520	Poiheke	A	1	
272	8926420	714690	Vaieetefana	A	1	
273	8926720	714930	Matatepai	Pt	2	
274	8926020	715800	Vaieetevai	cascade	1	
275	8925720	716720	Tahataha		0	Lieu de passage sur terre
276	8926110	717010	Fatutue	Îlot	2	
277	8925580	717400	Hanaiaapa	Village/B.	2	
278	8925190	717350	Motuivi	Pt	2	Île montagneuse
279	8926060	717620	Maunatemanu	Pt	2	Survolé par les oiseaux
280	8926250	717710	Matupoa	Pt	2	
281	8926320	718020	Hahahaue	A	2	
282	8926790	718180	Teohotenihi	Pt	1	
283	8927230	718560	Tehomotu-Himaki	Pt	2	
284	8926790	719870	Hanatekuua	Village/B.	2	
285	8927250	719790	Taenavai	Pt	2	
286	8927300	719950	Teohoteniki	Pt	2	
287	8927060	720390	Hanapapaa	A	1	
288	8927260	720620	Mautau	Pt	2	
289	8927400	720620	Motukeefiti	Îlot	2	
290	8927280	720800	Tevaieni	Pt	2	
291	8927100	721010	Teihutehuua		0	Le nez du clan familial
292	8926690	721450	Hanatané	A	1	
293	8926470	722240	Haha	A	1	Bouche
294	8926090	722700	Motuhoke	Îlot	2	
295	8925550	722760	Meauhava	A	1	
296	8925180	723170	Matau	Pt	2	
297	8924530	723090	Epo		0	Boue – Poussière
298	8924120	723140	Tepuna		0	La source
299	8923560	723240	Tauana		0	
300	8923170	723360	Huao		0	
301	8922820	723540	Tahefeua		0	

HIVA OA PARTIE OUEST





3.5 FATU IVA

Date : 21 janvier 1988
 Langue ou dialecte : Marquisien
 Transcripteur : EV 1 (S) Penven
 Locuteur : SM Huaatua

Lieu : Fatu Iva
 Carte marine : 5991 C.A.
 Informateurs :
 - Henri Maraetaata (Fils)
 (Secrétaire à la Mairie de Fatu Iva)
 - Henri Maraetaata (Père)
 (Maire de Fatu Iva)
 - Quatre anciens

Projection : UTM Fuseau 7
 Ellipsoïde : International
 Système géodésique : Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	8847210	755900	Tevai	C	3	L'eau
2	8846970	756200	Tehaatapuuae	A	2	
3	8847100	756370	Teuamano	Pt	2	Trou de requin-baleine
4	8846680	756640	Hanapano	A	2	
5	8846460	757190	Hanaoumi	A	1	
6	8846290	757520	Vaipoea	Falaise	0	Eau claire
7	8845860	757600	Hanahepu	A	2	
8	8845680	758450	Matena	Pt	2	Mort
9	8844970	758540	Hanamoohe	A	2	
10	8844840	759280	Papaomahihi	Pt	2	
11	8844590	759260	Hanateone	A	2	
12	8844600	759610	Temiotanu	Pt	1	
13	8844410	759670	Hanaua Oa Tai Oko	A	1	Mer forte
14	8844410	759790	Puhunui	Pt	1	
15	8844250	759820	Hanaua Oa Tai Mate	A	1	Mer calme
16	8844300	760130	Kehokeno	Pt	2	
17	8844100	760190	Tuahau	A	1	
18	8844140	760500	Mahea	Pt	2	
19	8843430	760500	Hanahoua	A	1	
20	8843620	760660	Motuai	Îlot	2	Motu
21	8843240	760670	Vaiapiopio	A	1	
22	8843360	760980	Pufau	Pt	2	
23	8842890	761520	Toatea	R	2	Rochers
24	8842470	761430	Mimino	Falaise	0	
25	8842230	761670	Moeae	Pt	1	
26	8842170	761850	Motutui	Îlot	2	Île aux amoureux
27	8841850	761420	Tahaoa	Falaise	0	
28	8841400	761380	Toakau	Falaise	0	Coin de pêche
29	8840360	761890	Teie	Pt	2	
30	8840180	761540	Otopuhi	A	1	Trou de murène
31	8839950	761450	Mataupoto	Pt	2	
32	8839890	761090	Ouia	B	2	
33	8839620	761200	Hanautaei	A	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
34	8839300	761850	Matakoo	C	3	
35	8838770	761690	Ahau	Pt	1	
36	8838730	761870	Toatea Kao	Ht Fd	1	P.A.
37	8838590	762090	Toatae Papa	Ht Fd	1	P.A.
38	8838210	761360	Aahoana	A	1	
39	8837900	761450	Mataoufau	Pt	1	Oeil d'une feuille de purau
40	8837840	761240	Teahiahu	A	1	
41	8837650	761490	Malapua	Îlot	2	Motu
42	8837430	761310	Motu Hihumu	Îlot	2	Motu
43	8837330	761140	Rareue	Falaise	0	
44	8836620	761070	Pahi	Îlot	2	Motu
45	8836570	760760	Haateenata	A	1	
46	8836410	760650	Nakeetu	A	1	
47	8835360	759980	Haatinao	A	1	
48	8834750	759650	Vaiorea	Falaise	0	
49	8834210	759420	Motuua	Îlot	2	Motu
50	8834040	759560	Mopii	Îlot	2	Motu
51	8834210	759020	Terneae	A	1	
52	8833840	759130	Takiei	R	2	Rocher
53	8833720	758590	Hanakau	A	1	
54	8832970	758010	Motuoikao	Îlot	2	Motu
55	8833120	757290	Hanamio	A	1	Sculpter
56	8832680	757210	Matau	R	2	Habituer
57	8832450	756870	Ai Enata	Pt	1	Cannibale
58	8832380	756540	Teae	C	3	
59	8833260	756310	Aimoua	A	2	
60	8833840	755470	Motu Tapu	R	1	Îlot tabou
61	8833820	755030	Hueo	Pt	1	
62	8834130	755080	Te Ana O Taiea	A	1	
63	8834390	754680	Peiti	A	1	
64	8834340	753930	Mahitoa	Pt	2	
65	8834470	754020	Anaoti	A	0	
66	8834920	753820	Haatii Moio	A	1	
67	8835010	753520	Tahaoa	A	1	
68	8835700	752910	Motu Roio	R	1	Îlot aux oiseaux
69	8836080	752880	Teava Ta Moohe	Pt	0	
70	8836520	753060	Teua'A Tohetia	Pt	0	
71	8836560	753120	Haumaii	Pt	0	
72	8836600	753160	Teka	Pt	0	Se tromper
73	8836650	753200	Naupepai	A	1	Vague qui déferle sur les rochers
74	8836700	753140	Motutapu	Pt	2	
75	8836680	753290	Anatutae	A	1	
76	8836720	753330	Anitau Uuti		1	
77	8836930	753400	Vaitopii	R	1	Rivière
78	8837010	753280	Puhiau	A	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
79	8837020	753180	Maoeifae	Pt	1	
80	8837050	753140	Vainapootu	Pt	0	
81	8837110	753040	Matahumu	Pt	2	
82	8836840	753170	Omoa	Village	3	
83	8837330	753290	Anauahei	A	1	
84	8837520	753320	Vaituhana	A	1	
85	8837810	753540	Teia'Tapu	Pt	0	
86	8838030	753750	Matake	Pt	1	
87	8838190	753900	Temaati	Pt	0	
88	8838370	753990	Tehootettoa	Pt	2	
89	8838290	754210	Hanau	A	1	
90	8838650	754310	Vaira	A	0	
91	8838730	754460	Otoee	A	0	
92	8839070	754530	Tuanaofaiatua	Pt	1	
93	8839170	754700	Anaohua	A	1	
94	8839410	754770	Otooi	A	1	
95	8839540	754520	Kaavai	Pt	1	
96	8839820	744660	Eeu	A	1	
97	8839900	754420	Tamouutea	Pt	2	
98	8840410	754600	Nanifapoto	A	1	
99	8840560	754500	Papaotiei	Pt	1	Cercueil d'un héros (Tiei)
100	8840660	754600	Nanifaoa	A	1	
101	8840810	754520	Manoeeva	Pt	1	
102	8840920	754530	Pauna	Pt	1	
103	8841010	754650	Hanapuaefaiti	A	1	
104	8841140	754560	Teumaotafeta	Pt	1	Poitrine d'un héros
105	8841260	754640	Hanapuaefatae	A	1	
106	8841360	754350	Matautu	Pt	2	Oeil de poisson
107	8841450	754500	Pehina	Falaise	1	
108	8841560	754650	Poiheao	A	1	
109	8841740	754700	Puhinaihe	Pt	1	
110	8841800	754950	Vainumia	Falaise	1	
111	8841910	755280	Papahoa	Falaise	1	
112	8842020	755490	Motupoha	R	1	Îlot cassé
113	8842160	755380	Hanavave	Village	3	Baie des vierges (exonyme d'usage courant)
114	8842340	755380	Maiivahane	Pt	1	
115	8842400	755360	Anakiikii	A	1	
116	8842680	755200	Hanahutu	A	0	
117	8842760	755000	Teputui	Pt	1	
118	8842940	754990	Vairao	A	0	
119	8843250	755000	Anatefau	A	1	
120	8843350	754870	Pooteupoo	Pt	1	
121	8843560	754870	Vaiohii	A	1	
122	8843670	754690	Tefaetapaia	Pt	1	
123	8843890	754520	Tehonuhonu	A	1	

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
124	8843910	754390	Tepuaoa	Pt	1	
125	8844280	754210	Teanaohaii	A	1	
126	8844350	753990	Viinaokioe	Pt	1	Chute de Kioe
127	8844660	753650	Teaitefaa	Pt	1	Manger le pandanus
128	8844810	753560	Teohootefau	Pt	2	
129	8844940	753540	Tepapaeava	Pt	0	
130	8845070	753590	Papahava	Pt	1	
131	8845270	753640	Teanavaipo	A	2	
132	8845570	753420	Omamo	Falaise	0	
133	8845970	753290	Temotuheke	Pt	0	
134	8846340	753190	Tetutaena	Pt	1	
135	8846600	753280	Aimoua	A	1	
136	8846740	753170	Teaitehoe	C	3	
137	8846800	753530	Oeno	A	0	
138	8847000	753900	Tenihofati	Pt	2	Dent cassée
139	8846920	754050	Hanapuoo	A	1	Faire du coprah
140	8847070	754170	Tehape	Pt	0	
141	8847240	754620	Fatutue	Pt	1	
142	8846940	755440	Hanamataoa	Falaise	0	
143	8844200	755380	Putau	SMt	2	897 m
144	8843620	756680	Faeone	SMt	2	933 m
145	8843260	757260	Kaiei	SMt	2	888 m
146	8842920	758170	Teani	SMt	2	840 m
147	8842530	758290	Teeavahinenao	Col	2	
148	8841990	758410	Tutea	SMt	2	867 m
149	8840650	759190	Mounanui	SMt	3	954 m
150	8839680	758330	Teavapuhiau	Col	2	694 m
151	8839070	759540	Natahu	SMt	3	822 m
152	8838480	759220	Tehoeatupa	P	3	
153	8838190	758550	Touaouoho	SMt	3	1 125 m
154	8837660	758260	Tekou	SMt	3	1 114 m
155	883600	757230	Tevaiua	SMt	2	871 m
156	8835600	753450	Tataaihoa	SMt	2	Aiguilles rocheuses
157	8836810	754080	Tekaoianahue	Coll	2	103 m
158	8840020	755930	Teamotua	SMt	3	63 m
159	8842020	756340	Uiha	R	1	Rivière
160			Fatu Iva	île	4	

3.6 TAHUATA

Date : 30 janvier 1988
 Langue ou dialecte : Marquisien
 Transcripteur : EV 1 (S) Penven
 Locuteur : SM Huaatua

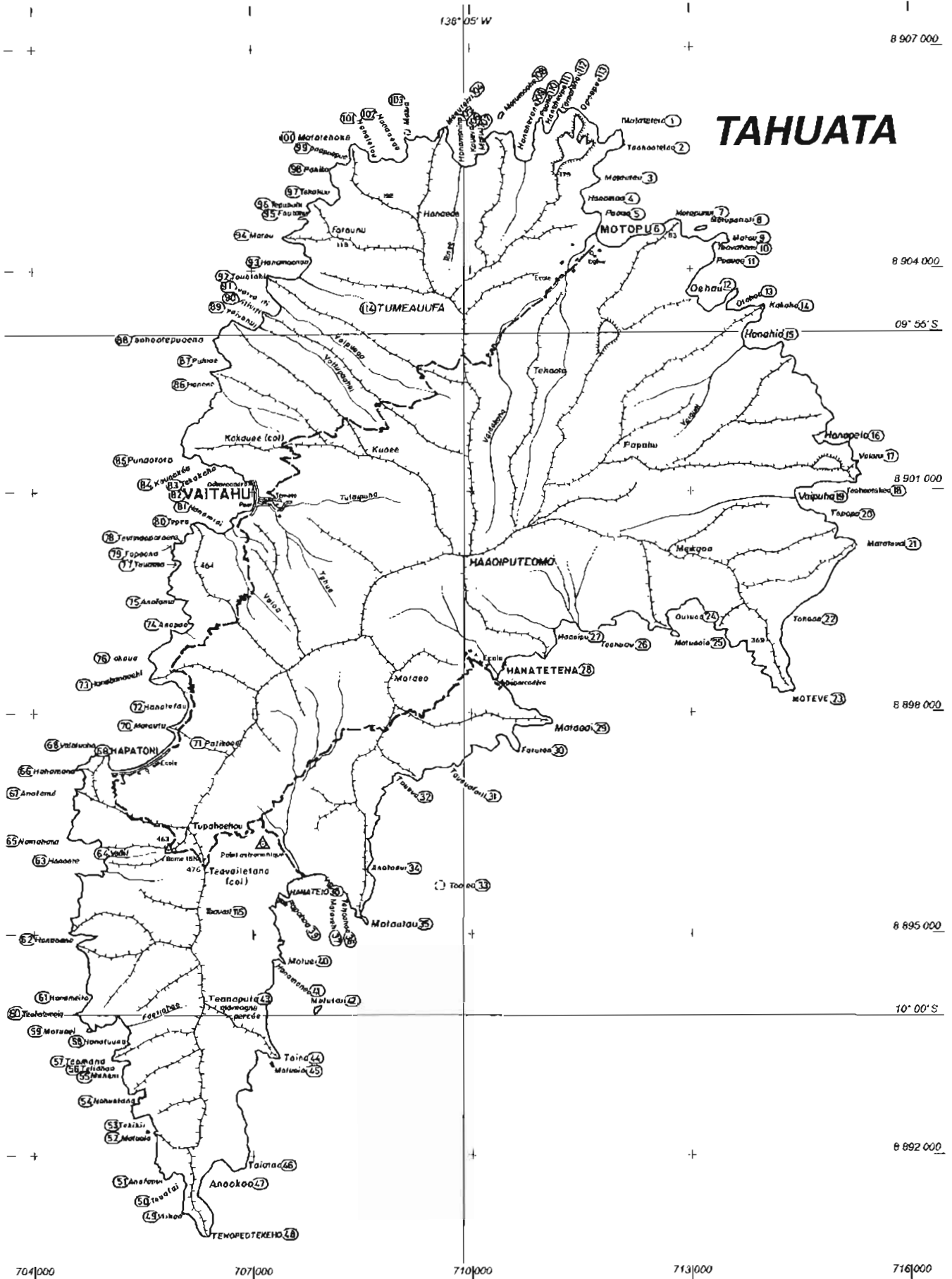
Lieu : Tahuata
 Carte marine : 5997 C.A.
 Informateurs :
 - Jean-Claude Kokauani (Pêcheur)
 - Kapiefitu Teiefitu dit Fata
 (Adjoint au Maire - Agriculteur - Pêcheur)
 - Tehei Putatoutaki dit Matou
 (Retraité d'agriculture)
 - Tehaumate Tetahiotupa dit Tetahi
 (Maire - Instituteur)

Projection : UTM Fuseau 7
 Ellipsoïde : International
 Système géodésique : Pseudo système géodésique IGN 72 défini à partir de compilation d'observations diverses collationnées dans le répertoire général de l'IGN des Marquises

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
1	712070	8905850	Matateteio	Pt	3	
2	712110	8905650	Teohootettoa	Pt	2	La pointe guerrier
3	711790	8905200	Matautau	Pt	2	Rocher remarquable
4	711640	8904920	Hanatitaa	A	1	
5	711810	8904730	Paona	Pt	1	Pin
6	711980	8904440	Motopu	Village	2	
7	712840	8904650	Motopunui	Pt	2	
8	713160	8904530	Motupatioti	Îlot	2	Motu
9	713520	8904350	Matau	Pt	2	Pêche à la ligne
10	713340	8904280	Teavahonu	A	1	Passage de tortue
11	713320	8904080	Poavae	Pt	0	
12	713240	8903630	Oehau	B	2	
13	713610	8903490	Otohoa	A	1	
14	714010	8903470	Kakaho	Pt	2	Roseau
15	713900	8903020	Hanahio	B	2	
16	714810	8901680	Hanapeto	B	1	
17	715230	8901390	Vaiuiui	A	0	Eau qui interroge
18	715260	8901070	Teohootekea	Pt	1	Pointe du rocher
19	714580	8900860	Vaipuha	B	2	
20	714840	8900620	Tepapa	Pt	0	Platier
21	715240	8900240	Matatevai	Pt	2	
22	714350	8899180	Tahaoa	A	2	endroit vaste
23	714390	8898240	Moteve	C	3	
24	712980	8899340	Outuoa	A	2	
25	712770	8899040	Motunoio	Îlot	2	Motu
26	711820	8898990	Teohuau	Pt	1	
27	711320	8899100	Haoipuu	A	1	
28	710720	8898510	Hanatetena	Village	2	
29	711130	8897850	Mataaai	Pt	2	Pointe du précipice
30	710660	8897460	Fatutea	Pt	2	
31	709770	8897270	Taueufaiti	A	0	
32	709010	8897110	Taueua	A	0	
33	709580	8895660	Toatea	Ht. Fd	2	Récif de corail immergé, blanc, 8 m (P.A.)

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
34	708620	8895880	Anafanui	A	1	
35	708580	8895140	Matautau	C	3	Rocher remarquable
36	708270	8895520	Tehooohoo	A	0	
37	708140	8895530	Matavehi	Pt	1	
38	707800	8895590	Hanateio	B	2	
39	707530	8895500	Papahoa	Pt	1	Platier facile
40	707460	8894610	Motuei	Pt	1	Île dent cachalot
41	707370	8894580	Hanameneo	A	1	
42	707890	8894000	Motutaii	Îlot		Île aux sternes. Motu
43	706360	8894180	Teinaputa	Mt	3	Montagne percée
44	707380	8893350	Taina	Pt	2	
45	707280	8893260	Motuoioi	I	2	Motu
46	706910	8891870	Taiatao	Pt	2	
47	706470	889170	Anaokoo	A	2	
48	706410	8890920	Tehopectekeho	C	3	Arrière d'une pierre de basalte
49	706050	8891250	Viihoa	Pt	1	Pierre tranchante
50	706020	8891700	Teuafai	A	1	
51	705810	8891710	Anafanui	Pt	2	
52	705580	8892360	Motuoio	Îlot	2	Motu
53	705580	8892540	Tekikii	A	1	
54	705410	8892830	Nahuetana	A	1	
55	705230	8893110	Maheni	Pt	1	
56	705270	8893290	Tetiahoa	A	1	
57	705100	8893330	Teomana	Pt	2	
58	705210	8893610	Hanatuuna	B	2	Baie support
59	704790	8893740	Motuooi	Pt	1	
60	704620	8893960	Teohoteimeie	Pt	2	Profanation
61	704780	8894170	Hanameito	A	1	
62	704660	8894980	Hanaoane	B	2	
63	704760	8896060	Hanaete	B	2	
64	705010	8896120	Vaihi	R	1	
65	704510	8896330	Namahana	Pt	2	Baie de la chaleur
66	704620	8897260	Hahamano	Pt	1	Gueule de requin
67	704620	8896940	Anafanui	A	1	
68	705040	8897510	Vaioteoho	Pt	2	
69	705530	8897430	Hapatonu	Village	2	
70	705870	8897810	Matautu	Pt	1	
71	706710	8897440	Patikoeo	Coll	1	
72	705930	8898140	Hanatefau	B	2	
73	705680	8898630	Hanahanaeahi	A	1	
74	706110	8899180	Anapoo	A	2	
75	706080	8899510	Anafanui	A	1	
76	705620	8898760	Fakaua	Pt	1	
77	705990	8900030	Teuama	A	1	Fosse à fruit de l'arbre à pain
78	706050	8900370	Teviinaoparaere	A	1	Chute de Paraere

NUMÉRO	NUMÉRO		TRANSCRIPTION	DÉSIGNATION	CODE	OBSERVATIONS
	Y	X				
79	705930	8900200	Tapeena	Pt	1	S'agripper sur un rocher
80	706220	8900590	Tepea	Pt	2	
81	706650	8900540	Hanamiaia	A	1	
82	706790	8900990	Vaitahu	Village	3	
83	706520	8901360	Tekakaho	A	0	Eau du dieu des KAIOI
84	706280	8901470	Kaunakea	A	1	
85	706100	8901490	Punaototo	Pt	2	Source de sang
86	706570	8902430	Hanene	A	1	
87	706650	8902760	Puhiae	A	2	
88	706520	8903070	Teohootepuaena	Pt	2	Pointe de la fleur de gingembre
89	707090	8903270	Ivaivanui	A	1	
90	707190	8903440	Vitiviti	Pt	1	Pointe du mât
91	707340	8903480	Ivaiva Iti	A	1	
92	707240	8904090	Touatahi	Pt	2	
93	707670	8904030	Hanamoenoa	B	2	
94	707440	8904450	Matau	Pt	2	Pêche à la ligne
95	707660	8904700	Fautanu	Pt	1	
96	707780	8904880	Tepupuhi	Pt	1	La fermentation-gazeux
97	708140	8905010	Tekokuu	A	2	
98	708090	8905360	Pahiko	Pt	1	
99	708330	8905490	Anapuepue	A	1	
100	708420	8905700	Matatehoke	Pt	2	Pointe de douleur
101	708720	8905490	Hanatetou	A	1	
102	709070	8905510	Hanaaeae	A	2	
103	709170	8905850	Matua	Rf	0	(ancree de baleinier par 5 m de fond au bout du récif)
104	709710	8905930	Meauteivi	Pt	2	
105	709960	8905500	Hanamenino	B	2	Baie calme
106	710120	8905540	Koueva	Pt	1	
107	710230	8905620	Matuu	A	1	
108	710450	8906070	Motumoohe		2	Île aux frégates
109	710780	8905570	Hanahevane	B	2	
110	711000	8906040	Paona	Pt	2	Fin
111	711080	8905900	Hanaheupe	A	1	
112	711300	8906140	Tamatanau	A	1	
113	711560	8906070	Opeepee	Pt	0	
114	709520	8903700	Tumeauufa	Coll	3	
115	706430	8895260	Teavaii	SMT	3	P.A. (Passage - fort courant)
116	709930	8900120	Haoiputeomo	SMT	3	
117			Tahuata		4	Lueur de l'aurore



APPENDICE C

Bibliographie sommaire

N°	Titre / Auteur	Editeur	Observations
01	Introduction à la langue des îles Marquises, par le Père François Zewen	Haere Po No Tahiti 1987	Grammaire et lexique. Ouvrage linguistique de base.
02	Les Marquises	Éditions du Pacifique 1983	Ouvrage destiné au grand public, comportant de nombreuses photos et un texte bien documenté.
03	Marquises	Cahiers du Pacifique Gauthier - Vilars	Études scientifiques diverses rassemblées sous l'égide du CEA.
04	Islands and Beaches. Discourse on a silent land. Marquesas 1774 – 1880 par Greg Dening	Melbourne University Press 1980	L'un des meilleurs ouvrages d'histoire écrits sur les Marquises. Complet et remarquablement documenté. Bibliographie exhaustive.
05	Les Polynésiens – Archéologie et Histoire par Peter Bellwood	Éditions du Pacifique 1983	Généralités sur le peuplement, la langue et l'histoire des Polynésiens. Bibliographie très importante.

TABLE RÉCAPITULATIVE DES ANNALES HYDROGRAPHIQUES DE LA 5^e SÉRIE (1973-1998)

	pages
Table de correspondance numéro-volume-fascicule-année de la 5 ^e série des annales hydrographiques	11-2

■ PREMIÈRE PARTIE

Table alphabétique donnant les noms des ingénieurs, officiers de marine ou personnalités diverses, dont les travaux ont été insérés dans la 5 ^e série des annales hydrographiques	11-3
--	------

■ DEUXIÈME PARTIE

Courants.....	11-24
Géodésie.....	11-24
Géologie.....	11-24
Hydrographie.....	11-25
Instrumentation	11-25
Marées	11-25
Missions hydrographiques et océanographiques.....	11-26
Océanographie.....	11-27
Photographie aérienne.....	11-29
Pollution	11-29
Radiolocalisation	11-30
Toponymie.....	11-30
Divers	11-30
Notices biographiques.....	11-30

5^e série des annales hydrographiques
Table de correspondance numéro – volume – fascicule – année

Numéro	Volume	Fascicule	Année
740	1	1	1973
741	2	1	1974
742	3	1	1975
743	4	1	1976
744	4	2	1976
745	4	3	1976
746	5	1	1977
747	5	2	1977
748	6	1	1978
749	6	2	1978
750	6	3	1978
751	7	1	1979
752	7	2	1979
753	7	3	1979
754	8	1	1980
755	8	2	1980
756	9	/	1981
757	10	/	1982
758	11	/	1983
759	12	/	1984
760	13	/	1985
761	14	/	1986
762	15	/	1988
763	16	/	1989
764	17	/	1991
765	18	/	1992
766	19	/	1993
767	20	/	1996
768	21	/	1997
769	22	/	1998

PREMIÈRE PARTIE

Auteurs	Titres des articles	Années	Numéros	Pages
A				
Arhan (M.) - Centre océanologique de Bretagne	Relations entre les variations de pression, au fond et les courants particuliers dans la houle côtière proche du déferlement	1976	743	59
B				
Barusseau (J.-P.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Ambiguïté de la notion de sables actuels et reliques. Exemple de la côte nord-ouest de l'île de Ré (golfe de Gascogne)	1976	743	75
Batany (C.) - technicien supérieur d'études et de fabrications	Evaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts. Suite : évaluation d'un atténuateur de dépression	1991	764	37 pagination inversée
Batany (C.) - technicien supérieur d'études et de fabrications	Evaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts	1991	764	45
Beauverger (C.) - Institut océanographique, Paris	Etude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous	1978	750	37
Bégis (D.) - IRIA, laboratoire de recherche en informatique et automatique	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modélisations de la dynamique de la couche de surface de l'océan : justifications et applications numériques	1977	746	207
Bertrand (B.) - chercheur, Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Rôle du frottement dans la génération des courants moyens dans les mers à marées littorales	1977	746	57
Bessero (G.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Géodésie de la Martinique	1985	760	27
Bessero (G.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1987-septembre 1988)	1992	765	167
Bessero (G.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (janvier-septembre 1987)	1996	767	77
Bessero (G.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	La responsabilité des services hydrographiques	1997	768	119
Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 1 ^{re} partie, équivalence du système en variables physiques et des systèmes en " variables caractéristiques "	1983	758	5
Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (A), compléments sur les multiplicités bicaractéristiques, équations approchées	1984	759	5

Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (B), triangulation des données de Cauchy ; étude qualitative des courbes et surfaces caractéristiques	1985	760	7
Biollay (Y.) -Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (A), étude qualitative de singularités a priori rencontrées au voisinage de la frontière côtière. Application aux baies et aux caps	1986	761	5
Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (B), compléments sur la théorie des enveloppes. Etude de quelques solutions régularisables de (E)	1988	762	5
Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Rectificatif au mémoire intitulé – Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques	1989	763	5
Biollay (Y.) - Ecole polytechnique fédérale, CH-1007 Lausanne (Suisse)	Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. 3 ^e partie (C) : problème de Riemann-Goursat : solutions régularisables par morceaux. Problème fondamental des marées littorales	1991	764	9
Bisquay (H.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives • Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années	1998	769	133 170
Blavin (J.-C.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie (juin 1970-janvier 1972)	1975	742	69
Bonnefille (R.) - Electricité de France, direction des études et recherches, Chatou-France	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Aspect énergétique des ondes-marées	1977	746	17
Bonnot (J.-F.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de dragage (février 1972–août 1972) - Mission océanographique de Méditerranée (août 1972-novembre 1972)	1978	750	79
Bonnot (J.-F.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique du Pacifique (mai 1976-mai 1978)	1980	755	69
Boulard (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique du Pacifique (mai 1974-mai 1976)	1980	754	61
Boulard (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (décembre 1980-juin 1982)	1991	764	57

Boulot (F.) - Laboratoire national d'hydraulique, Electricité de France, Chatou-France	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modèles mathématiques bidimensionnels d'écoulements à la surface libre à une ou deux couches	1977	746	199
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe)	L'ingénieur hydrographe général Henri Dyèvre (1893-1982)	1982	757	3
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe)	L'ingénieur hydrographe général (CR) Pierre Covillault (1905-1983)	1985	760	5
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	L'hydrographie française en Afrique Noire et à Madagascar pendant la période 1947-1965	1989	763	69
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	L'ingénieur général hydrographe (CR) Guy Chatel (1906-1990)	1991	764	3
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Rétrospective de l'hydrographie française • Annexe 1 : chronologie d'événements ou inventions intéressant directement ou indirectement l'hydrographie française • Annexe 2 : chronologie des travaux hydrographiques français de 1800 à 1997	1998	769	5 23 29
Bourgoin (J.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Les annales hydrographiques • Morceaux choisis des annales hydrographiques avant 1900	1998	769	35 52
Bussière (M.)	Les hétéroéléments (nickel, vanadium, soufre, azote) dans l'identification d'un résidu pétrolier. Analyse critique des différentes méthodes physico-chimiques utilisées	1981	756	5
C				
Cailliau (E.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique du Pacifique (mai 1978-mai 1980)	1988	762	43
Camus (Y.) - ingénieur civil sous contrat	Contribution à l'analyse automatique des températures superficielles du proche Atlantique	1975	742	17
Canonne (P.) - pharmacien chimiste des armées	La pollution de la mer par les hydrocarbures. Enquête documentaire	1976	745	3
Capelle (T.) - LMAI, université de Perpignan	Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43
Carsin (J.-L.) - pharmacien-chimiste des armées	Problèmes posés par l'automatisation du dosage potentiométrique de l'oxygène dissous dans la méthode de Winkler	1978	749	19
Carsin (J.-L.) - pharmacien-chimiste des armées	Pollution dans la rade abri du port militaire de Brest	1979	753	5
Carsin (J.-L.) - pharmacien-chimiste principal des armées	L'Amoco Cadiz : comportement de ses hydrocarbures dans le milieu marin	1980	754	19
Carsin (J.-L.) - pharmacien-chimiste principal des armées	Les hétéroéléments (nickel, vanadium, soufre, azote) dans l'identification d'un résidu pétrolier. Analyse critique des différentes méthodes physico-chimiques utilisées	1981	756	5

Carton (X.) - ingénieur en chef de l'armement	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Cavanié (A.) - Centre océanologique de Bretagne	Etude statistique de la houle littorale proche du déferlement	1976	743	65
Cavanié (A.) - Centre océanologique de Bretagne	Observations océanographiques dans le détroit de Gibraltar pendant la campagne PHYGIB (septembre-octobre 1971)	1973	740	75
Chabert d'Hières (G.) - ingénieur au CNRS, détaché à l'Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Synthèse sur la détermination des principales composantes de la marée dans la Manche, résolue à l'aide du modèle réduit de Grenoble	1977	746	47
Chabert d'Hières (G.) - ingénieur au CNRS, détaché à l'Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Etude expérimentale des ondes à l'interface d'une bi-couche dans un canal parallélépipédique tournant	1977	746	117
Chabert d'Hières (G.) - ingénieur au CNRS, détaché à l'Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Ondes internes engendrées par le vent dans un canal parallélépipédique en milieu tournant	1977	746	127
Chabert d'Hières (G.) - ingénieur au CNRS, détaché à l'Institut de mécanique de Grenoble	Atlas des composantes harmoniques de la marée dans la Manche	1978	750	5
Chabert d'Hières (G.) - ingénieur au CNRS, détaché à l'Institut de mécanique de Grenoble	Etude des courants de la marée M ₂ dans la Manche à l'aide du modèle réduit de Grenoble	1982	757	13
Champagne-Philippe (Mme) - Centre de météorologie spatiale, Lannion	Etude du front de Malte à partir de données de télédétection et de mesures <i>in-situ</i>	1982	757	65
Chanu (J.) - professeur, Université Paris VII	Sur quelques notions de thermodynamique moderne utiles aux océanographes	1976	744	5
Chaumery (C.) - pharmacien-chimiste principal	Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59
Cherbakov (A.-V.) - Centre de calcul de la division sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Les schémas de haute précision dans les problèmes dynamiques de la mer	1977	746	241

Cherubin (L.) – étudiant en thèse au SHOM/CMO	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	570
Cherubin (L.) – étudiant en thèse au SHOM/CMO	<i>Mixing processus in the Mediterranean outflow along the Iberian shelf</i> Processus de mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne sur le talus ibérique	1997	768	83 99
Chevereau - SOGREAH, Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modèles mathématiques à l'étude de processus morphologiques et de propagation des polluants dans les zones côtières	1977	746	215
Chibane (M.) - LMSS, école centrale A et M, Chatenay-Malabry	Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43
Chimot (J.-M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Localisation d'un avion au cours de missions photoaériennes (I)	1986	761	33
Chimot (J.-M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Localisation d'un avion de prise de vues aériennes (II)	1988	762	25
Chimot (J.-M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Etude de la doctrine d'emploi du sonar d'exploration hydrographique marine (SEHM)	1992	765	33
Chimot (J.-M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1987-septembre 1988) – Annexe 1 : Les bâtiments hydrographiques de 2 ^e classe type <i>Lapérouse</i>	1992	765	244
Chimot (J.-M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives • Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années	1998	769	133 170
Comolet-Tirman (A.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (avril 1971-octobre 1972)	1976	743	85
Comolet-Tirman (A.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Quelques figures marquantes du corps des ingénieurs hydrographes • Annexe : liste des ingénieurs hydrographes	1998	769	113 129
Connan (O.) - Laboratoire d'océanographie chimique, université de Bretagne occidentale	Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59

Connan (O.) - Laboratoire d'océanographie chimique, université de Bretagne occidentale	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Corbel (J.) – officier des équipages de 1 ^{re} classe, commandant l'Astrolabe	Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970-mai 1972) – Annexe III, le bâtiment hydrographique " Astrolabe "	1975	742	57
Corman (D.) - technicien supérieur d'études et de fabrications	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Covillault (P.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Mission hydrographique des côtes de France (septembre 1966-octobre 1968) de Peluchon (G), ingénieur en chef de l'armement	1979	753	41
Covillault (P.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Mission hydrographique des côtes de France (mars 1963-mars 1964) – Compte rendu succinct de l'activité de la mission d'après les documents d'archives	1974	741	97
Crépon (M.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Niveau moyen, pression atmosphérique et ajustement géostrophique	1977	746	65
Crépon (M.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Réponse linéaire d'un océan bi-couche à une perturbation météorologique mobile	1977	746	135
Crépon (M.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modélisations de la dynamique de la couche de surface de l'océan : justifications et applications numériques	1977	746	207
Cunge - SOGREAH, Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modèles mathématiques à l'étude de processus morphologiques et de propagation des polluants dans les zones côtières	1977	746	215
D				
Dars (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (septembre 1974-avril 1976)	1979	753	83
Daupleix (J.-M.) - LMAI, université de Perpignan	Etude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques	1989	763	33

Delanoë (Y.) - Laboratoire de géologie marine, université de Nantes	Une méthode indirecte d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment sur le plateau continental : la thermométrie du sédiment superficiel	1988	762	31
Demerliac (A.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Le niveau moyen de la mer – Calcul du niveau moyen journalier	1974	741	49
Demerliac (A.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970-mai 1972)	1975	742	35
Demerliac (A.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (octobre 1974-septembre 1975)	1979	753	67
Demerliac (A.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	Rapport sur les travaux géodésiques effectués par le service hydrographique et océanographique de la marine de 1920 à 1984	1989	763	55
Deniaud (Y.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale	Mesures du gradient de vitesse au voisinage du fond en Manche	1977	747	5
Desnoës (Y.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de Polynésie française (juin 1973-août 1974)	1976	744	63
Denoës (Y.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Le bruit dans les analyses de marée	1977	747	31
Denoës (Y.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Analyse et prédiction de la marée. Application aux marées du Havre et de Brest	1977	747	47
Denoës (Y.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Propriété des systèmes continus et invariants par translation soumis à des entrées à composantes périodiques. Application à une formule globale de prédiction de la marée	1978	748	15
Dolou (H.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Evaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts Suite : évaluation d'un atténuateur de dépression	1991	764	37
Dolou (H.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Mission océanographique de l'Atlantique (décembre 1980-juin 1982) – Annexe technique B : le gravimètre KSS 30	1991	764	97
Dolou (H.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Mission océanographique du Pacifique - Échelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992 - mai 1994)	1997	768	131
Donguy (J.-R.) - Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie)	Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud-ouest, basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973	1976	744	53
Duboul-Ravazet (Ch.) – Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Corrélations entre quelques facteurs géotechniques et sédimentologiques des fonds marins sous-consolidés	1974	741	43
Duboul-Ravazet (Ch.) – Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Résistance au cisaillement de sédiments marins de trois sites côtiers (baie de Banyuls - large du delta du Rhône - rade de Brest)	1976	744	19

Dupont (B.) - LEPAP, école centrale A et M, Chatenay-Malabry	Etude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques	1989	763	33
Dyèvre (H.) - ingénieur hydrographe général (2S)	A la mémoire d'Alain Le Berre (1913-1974)	1976	743	3
E				
Even (M.) - ingénieur principal de l'armement	Bilan de l'évaluation des possibilités de la photobathymétrie	1997	768	107
Even (M.) - ingénieur de l'armement	Mission océanographique du Pacifique - Échelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992-mai 1994) – Annexe 2 : systèmes géodésiques de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie	1997	768	266
Even (M.) - ingénieur de l'armement	Mission océanographique du Pacifique - Échelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992-mai 1994) – Annexe 3 : spatiopréparations de récifs en Nouvelle-Calédonie, emploi du GPS différentiel	1997	768	270
Ezrati (R.) - Centre océanologique de Bretagne	Etude statistique de la houle littorale proche du déferlement	1976	743	65
F				
Formerino (M.) - Université de Zulia (Vénézuéla), stagiaire de recherche à l'institut de mécanique de Grenoble	Étude des courants de la marée M_2 dans la Manche à l'aide du modèle réduit de Grenoble	1982	757	13
Frouin (R.)	Étude du front de Malte à partir de données de télédétection et de mesures <i>in-situ</i>	1982	757	65
G				
Gaillard (J.-C.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (décembre 1980-juin 1982) – Annexe technique C : l'automatisation des travaux de la MOA au 1 ^{er} mai 1982	1991	764	110
Gaillard (J.-C.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de la Méditerranée (octobre 1985-septembre 1988)	1992	765	89
Garzoli (S.-L.) - Laboratoires d'océanographie physique du muséum national et d'histoire et de l'université de Bretagne occidentale	Contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du front thermique sur le plateau continental breton	1979	752	5
Gascard (J.-C.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. L'effacement de la stratification de densité, en hiver, au large de la côte de France, relation avec les mouvements marins constatés, hypothèses tendant à expliquer les phénomènes	1977	746	153

Gascard (J.-C.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Mouvements verticaux profonds en Méditerranée nord-occidentale en hiver (milieu peu stratifié)	1977	746	177
Gascard (J.-C.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Technique de mesure de la composante verticale des mouvements marins	1977	746	183
George (K.-J.) - Department of Marine Science Plymouth Polytechnic	Application de la méthode des concordances par espèce à la marée dans la Loire	1982	757	51
Germain (J.-P.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Passage d'une onde sur une barrière verticale mince immergée en eau peu profonde	1977	746	7
Girard (G.) - Bureau international des poids et mesures, Sèvres	Etude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous	1978	750	37
Gonella (J.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum d'histoire naturelle	Étude des courants marins de surface induits par le vent	1973	740	61
Gonella (J.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Upwellings d'été sur la côte méditerranéenne française	1977	746	87
Gonella (J.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. L'effacement de la stratification de densité, en hiver, au large de la côte de France, relation avec les mouvements marins constatés, hypothèses tendant à expliquer les phénomènes	1977	746	153
Gouriten (Y.) - Centre océanologique de Bretagne	Relations entre les variations de pression, au fond et les courants particuliers dans la houle côtière proche du déferlement	1976	743	59
Goutorbe (F.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de Méditerranée (novembre 1975-décembre 1978) – annexe technique N° 2 : localisation au cours des travaux de l'Origny en Méditerranée orientale	1981	756	121
Goutorbe (F.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Méthode de calcul manuel de la marée à partir des principales constantes harmoniques	1983	758	17
Grenard (P.) - ingénieur des études et techniques d'armement	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives • Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années	1998	769	133 170

Grousseau (R.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe)	La vie et l'œuvre de l'ingénieur hydrographe général André Gougenheim (1902-1975)	1975	742	3
Guevel (D.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Étude du front de Malte à partir de données de télédétection et de mesures <i>in-situ</i>	1982	757	65
Guevel (D.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Étude hydrologique du canal des îles Loyauté	1983	758	33
Guillam (Y.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Mission océanographique du Pacifique - Échelon de Polynésie (février 1992-août 1993)	1996	767	163
Guillam (Y.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives • Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années	1998	769	133 170
Guillon (J.-P.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Contribution à l'étude du niveau moyen de la mer à Nouméa	1974	741	23
Gullé (L.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Passage d'une onde sur une barrière verticale mince immergée en eau peu profonde	1977	746	/
Guyon (J.-C.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Évaluation du réseau Syledis-Bretagne (1981-1983)	1984	759	15
Guyon (J.-C.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (février 1980-avril 1983)	1985	760	41
Guyon (J.-C.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Le personnel du SHOM en 1998	1998	769	107
H				
Habert (F.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de Polynésie française (mai 1971-juin 1973)	1978	748	29
Habert (F.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de circonstance de l'océan Indien (décembre 1980-avril 1981)	1982	757	113
Habert (F.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de Méditerranée (juin 1981-octobre 1983)	1984	759	113
Hénin (C.) - Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie)	Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud-ouest, basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973	1976	744	53
Hua (B.-L.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Réponse linéaire d'un océan bi-couche à une perturbation météorologique mobile	1977	746	135

Huet (M.) – ingénieur principal des études et techniques d'armement	Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts	1991	764	37
J				
Joanny (M.) - ingénieur-chimiste	Pollution dans la rade abri du port militaire de Brest	1979	753	5
K				
Kerinec (J.-C.) – technicien supérieur d'études et de fabrications	Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts. Suite : évaluation d'un atténuateur de dépression	1991	764	37 pagination inversée
Kerinec (J.-C.) – technicien supérieur d'études et de fabrications	Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts	1991	764	45
Kerléguer (L.) - ingénieur de l'armement	Évaluation et procédures d'exploitation du sondeur multifaisceaux Lennermor	1993	766	37
Kotchergin (V.-P.) - Centre de calcul de la division sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Les schémas de haute précision dans les problèmes dynamiques de la mer	1977	746	241
Kouzin (V.-I.) - Centre de calcul de la division sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. La méthode variationnelle aux différences pour la résolution des problèmes théoriques des ondes	1977	746	255
Krvtchenko (J.) – Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Sur la théorie spectrale des marées littorales	1977	746	23
Krvtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Etude théorique des ondes internes dans les eaux d'un bassin en rotation	1977	746	95
Krvtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 1 ^{re} partie, équivalence du système en variables physiques et des systèmes en " variables caractéristiques "	1983	758	5
Krvtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (A), compléments sur les multiplicités bicaractéristiques, équations approchées	1984	759	5
Krvtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (B), triangulation des données de Cauchy ; étude qualitative des courbes et surfaces caractéristiques	1985	760	7

Kravtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (A), étude qualitative de singularités a priori rencontrées au voisinage de la frontière côtière. Application aux baies et aux caps	1986	761	5
Kravtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (B), compléments sur la théorie des enveloppes. Etude de quelques solutions régularisables de (E)	1988	762	5
Kravtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Rectificatif au mémoire intitulé – Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques	1989	763	5
Kravtchenko (J.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. 3 ^e partie (C) : problème de Riemann-Goursat : solutions régularisables par morceaux. Problème fondamental des marées littorales	1991	764	9
L				
Labasque (T.) - technicien supérieur d'études et de fabrications	Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59
Labasque (T.) - technicien supérieur d'études et de fabrications	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Lacombe (H.) - professeur, Laboratoire d'océanographie physique du muséum national d'histoire naturelle	Modèles simples de prévision de l'état thermique de la mer et de l'immersion de la thermocline	1974	741	3
Lacombe (H.) - professeur, Laboratoire d'océanographie physique du muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. L'effacement de la stratification de densité, en hiver, au large de la côte de France, relation avec les mouvements marins constatés, hypothèses tendant à expliquer les phénomènes	1977	746	153
Lamy (A.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Observations d'ondes internes au passage d'un front hydrologique	1977	746	75
Lamy (A.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Upwellings d'été sur la côte méditerranéenne française	1977	746	87

Laporte (J.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de Méditerranée (octobre 1983-octobre 1985)	1986	761	131
Le Cann (B.) - Laboratoire de physique océanographique, université de Bretagne occidentale	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Le Corre (P.) - Laboratoire d'océanographie chimique, université de Bretagne occidentale	Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59
Le Corre (P.) - Laboratoire d'océanographie chimique, université de Bretagne occidentale	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Le Floch (J.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale	Mesures du gradient de vitesse au voisinage du fond en Manche	1977	747	5
Le Floch (J.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale	Un aspect de la dynamique des fronts thermiques profonds du plateau continental de Bretagne sud - Influence du passage d'une dépression	1980	755	23
Le Franc (Y.) - ingénieur civil sous contrat	Production de documents et bases de données hydrographiques du SHOM	1997	768	113
Le Gouic (M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Localisation d'un avion au cours de missions photoaériennes (I)	1986	761	33
Le Gouic (M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Localisation d'un avion de prise de vues aériennes (II)	1988	762	25
Le Gouic (M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Synthèse des résultats des campagnes de calibration du SNR Loran C	1991	764	31
Le Gouic (M.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique du Pacifique - Échelon de Polynésie (décembre 1988-juillet 1990)	1993	766	77
Le Gouic (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Évolutions scientifiques et techniques du service hydrographique	1998	769	179
Le Guen (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Compte rendu des travaux effectués par la mission hydrographique de l'Atlantique (février 1977-mars 1980)	1983	758	43
Le Guen (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (juin 1982-juillet 1984)	1989	763	77

Le Guisquet (B.) - ingénieur en chef des études et techniques d'armement (R)	Le Dépôt des cartes, plans et journaux de la Marine sous l'Ancien Régime (1720-1789)	1992	765	5
Le Provost (C.) - Institut de mécanique de Grenoble	Étude des marées dans les mers littorales	1976	743	7
Le Provost (C.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Sur la théorie spectrale des marées littorales	1977	746	23
Le Provost (C.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Synthèse sur la détermination des principales composantes de la marée dans la Manche, résolue à l'aide du modèle réduit de Grenoble	1977	746	47
Le Provost (C.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Rôle du frottement dans la génération des courants moyens dans les mers à marées littorales	1977	746	57
Le Provost (C.) - Institut de mécanique de Grenoble	Atlas des composantes harmoniques de la marée dans la Manche	1978	750	5
Le Visage (C.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Synthèse des résultats des campagnes de calibration du SNR Loran C	1991	764	31
Lebreton (B.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts. Suite : évaluation d'un atténuateur de dépression	1991	764	37 pagination inversée
Lebreton (B.) - ingénieur principal des études et techniques d'armement	Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts	1991	764	45
Levallois (J.-J.) - ingénieur général géographe	Sur la projection de Mercator transverse de l'ellipsoïde terrestre	1993	766	5
Long (B.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Ambiguïté de la notion de sables actuels et reliques. Exemple de la côte nord-ouest de l'île de Ré (golfe de Gascogne)	1976	743	75
Longuemard (J.-P.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Résistance au cisaillement de sédiments marins de trois sites côtiers (baie de Banyuls - large du delta du Rhône - rade de Brest)	1976	744	19
Longuemard (J.-P.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Corrélations entre quelques facteurs géotechniques et sédimentologiques des fonds marins sous-consolidés	1974	741	43
Longuemard (J.-P.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Mesure <i>in situ</i> des modalités de propagation des ondes longitudinales ultra-sonores dans les sédiments marins : application à la détermination des paramètres mécaniques et physiques de ces sédiments	1978	749	3

Longuemard (J.-P.) - LEPAP, école centrale A et M, Chatenay-Malabry	Étude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques	1989	763	33
Longuemard (J.-P.) - LEPAP, école centrale A et M, Chatenay-Malabry	Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43
M				
Martchouk (G.-I.) - Centre de calcul de la division sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Panorama des méthodes numériques appliquées aux problèmes d'océanographie dynamique utilisées par la section sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS	1977	746	229
Marty (Y.) - URA 322/CNRS, université de Bretagne occidentale	Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59
Mauvais (J.-L.) - Laboratoire d'océanographie physique, UER scientifiques, Brest	Relations entre la structure verticale des courants et la nature des fonds, dans l'estuaire de la Loire	1974	741	35
Mazé (R.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale	Application de résultats de mesures de courants à l'étude des ondes internes	1975	742	7
Mazé (R.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale	Comparaison des petits mouvements d'une couche stratifiée de l'océan et d'une couche stable de l'atmosphère avec la théorie des ondes internes	1976	744	43
Mazé (R.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale, Brest	Formation d'ondes internes stationnaires sur le talus continental, application au golfe de Gascogne	1980	754	45
Mazé (R.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale, Brest	Un aspect de la dynamique des fronts thermiques profonds du plateau continental de Bretagne sud - Influence du passage d'une dépression	1980	755	23
Mazé (R.) - Laboratoire d'océanographie physique, université de Bretagne occidentale, Brest	Passage de la marée au-dessus d'un talus en océan stratifié	1992	765	65
Menaché (M.) - Institut océanographique, Paris	Étude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous	1978	750	37
Milard (F.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie (janvier 1972-mai 1974)	1978	749	87
Milard (F.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe)	Aperçu sur le personnel du service hydrographique et océanographique de la marine. Ses fonctions, son recrutement, sa formation	1998	769	91

Millot (C.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Upwellings d'été sur la côte méditerranéenne française	1977	746	87
Montaz - SOGREAH, Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Modèles mathématiques à l'étude de processus morphologiques et de propagation des polluants dans les zones côtières	1977	746	215
Morin (P.) - Laboratoire d'océanographie chimique, université de Bretagne occidentale	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Mouscardès (P.) - ingénieur en chef des études et techniques d'armement	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives ▪ Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années	1998	769	133 170
P				
Paillet (J.) - ingénieur principal de l'armement	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Paitry (A.) - ingénieur-chimiste	Problèmes posés par l'automatisation du dosage potentiométrique de l'oxygène dissous dans la méthode de Winkler	1978	749	19
Paitry (A.) - ingénieur-chimiste	Pollution dans la rade abri du port militaire de Brest	1979	753	5
Park (Y.-H.) - maître de conférence, laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Synthèse sur les caractères physiques du courant circumpolaire antarctique	1989	763	7
Pasquay (J.-N.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Principes appliqués et méthodes utilisées pour l'établissement des tables permanentes des hauteurs d'eau	1978	748	19
Pasquay (J.-N.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (mai 1972-septembre 1974)	1978	748	61
Pasquay (J.-N.) - ingénieur général (hydrographe) (2S)	Le service hydrographique français et la coopération internationale en hydrographie	1998	769	223

Patot (J.) - LMAI, université de Perpignan	Étude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques	1989	763	33
Pauc (H.) - Centre de recherches de sédimentologie marine de Perpignan	Les modes granulométriques et les phases de la mise en place du recouvrement sédimentaire du plateau continental du sud de l'île du Levant	1973	740	51
Peluchon (G.) – ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique des côtes de France (septembre 1966-octobre 1968), rédigée par Covillault (P.), ingénieur général de l'armement (hydrographe) (2S)	1979	753	41
Pichon (A.) - ingénieur civil sous contrat	Passage de la marée au-dessus d'un talus en océan stratifié	1992	765	65
Pieretti (L.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de dragage (septembre 1969-février 1972)	1977	747	65
Pieretti (L.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de Méditerranée (novembre 1975-décembre 1978)	1981	756	49
Pinot (J.-P.) - Laboratoire de géographie de la mer, université de Brest	Une méthode indirecte d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment sur le plateau continental : la thermométrie du sédiment superficiel	1988	762	31
Plaire (T.) - LMAI, université de Perpignan	Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43
Poete (N.) – scientifique du contingent	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Poncin (J.) - aspirant	Pollution dans la rade abri du port militaire de Brest	1979	753	5
Pruvost (P.) - Laboratoire d'optique atmosphérique, équipe de recherche associée au CNRS, n°466, université des sciences et techniques de Lille	Étude du flux solaire et de l'échauffement radiatif dans la mer par temps clair	1975	742	25
R				
Raillard (J.) - Laboratoire d'océanographie de la faculté des sciences de Brest	Quelques aspects de la structure thermique sur le plateau continental breton (thermocline - front thermique)	1977	747	11
Ramamonjariisoa (A.) - chargé de recherches au CNRS	Note sur la prévision, par des méthodes semi-empiriques, des spectres d'énergie des vagues de vent	1976	743	51

Renouard (D.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Ondes internes engendrées par le vent dans un canal parallélépipédique en milieu tournant	1977	746	127
Revault D'Allonnes (M.) – enseigne de vaisseau de 2 ^e classe (R)	Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970-mai 1972) – Annexe IV, relations entre les structures verticales de la température et du courant au cœur de l'Iroise	1975	742	60
Revel (F.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique temporaire de Djibouti (septembre-décembre 1970)	1974	741	105
Révillon (P.) - capitaine de vaisseau honoraire, centre d'études et de recherches de biologie et d'océanographie médicale, Nice	Essai d'approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction du vent	1993	766	13
Révillon (P.) - capitaine de vaisseau honoraire	Approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction de sa vitesse	1996	767	5
Ribet (M.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de l'Atlantique (avril 1976-février 1977)	1980	754	127
Riou (J.-L.)	Les hétéroéléments (nickel, vanadium, soufre, azote) dans l'identification d'un résidu pétrolier. Analyse critique des différentes méthodes physico-chimiques utilisées	1981	756	5
Roubertou (A.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique des côtes de France (octobre 1968-octobre 1970)	1973	740	5
Rousselet (R.) – ingénieur société SYSECA	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Roux (J.) - enseigne de vaisseau (R)	Modèle de dispersion et de dérive	1979	753	21
S				
Saint-Guily (B.) - Laboratoire d'océanographie physique, muséum national d'histoire naturelle	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Perturbations mécaniques et thermiques dans une mer presque homogène	1977	746	149
Saint-Guily (B.) - Muséum national d'histoire naturelle, Paris et laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer	Ondes de frontière dans une mer stratifiée dont le fond est incliné	1982	757	7
Salomon (J.-C.) - Laboratoire d'océanographie physique, UER scientifiques, Brest	Relations entre la structure verticale des courants et la nature des fonds, dans l'estuaire de la Loire	1974	741	35

Salomon (J.-C.) - Laboratoire d'océanographie physique, UER scientifique, Brest	Modèle mathématique de la propagation de la marée dans l'estuaire de la Loire et la Loire maritime	1976	743	33
Sarret (E.) - LMSS, école centrale A et M, Chatenay-Malabry	Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43
Sauvel (J.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Partie 1 - Choix d'un modèle d'évolution à court terme de la couche de mélange océanique	1986	761	41
Sauvel (J.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Partie 2 - Test sur une utilisation opérationnelle simple d'un modèle d'évolution à court terme de la couche de mélange océanique	1986	761	49
Sauvel (J.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Partie 3 - Echelles temporelles et verticales pour la température et pour ses variations à court terme au point P (50° N, 145° W)	1986	761	57
Schrumpf (B.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique nord (septembre 1967-août 1969)	1974	741	59
Schrumpf (B.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de l'Atlantique (octobre 1972-octobre 1974)	1978	749	29
Schrumpf (B.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Recherche des épaves au magnétomètre	1980	755	5
Section océanographie	Extension des eaux fluviales dans le golfe du Lion	1976	744	31
Section océanographie	Répertoire des zones de marée et des zéros hydrographiques sur les côtes métropolitaines	1979	751	3
Serpette (A.) - ingénieur civil sous contrat	<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i> Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos	1997	768	5 70
Siess (J.) - ingénieur de l'armement	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Un modèle numérique de pénétration par la turbulence d'une couche stratifiée stable	1977	746	189
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Analyse et prédiction de la marée. Application aux marées du Havre et de Brest	1977	747	47
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Étude de la variation du niveau moyen en Manche	1979	752	27
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Analyse de 19 ans d'observations de marée à Brest	1980	754	5
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Méthodes de prédiction de la marée en Gironde	1981	756	25

Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Prédiction de la marée au Havre	1981	756	39
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Prédiction de la marée à Brest	1982	757	33
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Méthode de calcul manuel de la marée à partir des principales constantes harmoniques	1983	758	17
Simon (B.) - ingénieur civil sous contrat	Détermination des hauteurs d'eau extrêmes pour la délimitation du domaine public maritime	1996	767	17
Sirieys (P.) - Institut national des sciences appliquées de Toulouse	Résistance au cisaillement de sédiments marins de trois sites côtiers (baie de Banyuls - large du delta du Rhône - rade de Brest)	1976	744	19
Sornin (J.-M.) - Laboratoire de géologie marine, UER des sciences de la nature, Nantes	Étude de l'exhaussement ancien des fonds dans les zones conchylicoles de Cancale, Aiguillon et Marennes-Oléron	1980	755	13
Souquière (P.) - ingénieur de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique de Polynésie française (juillet 1970-avril 1971)	1974	741	83
Souquière (P.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Les vedettes hydrographiques en service en 1981	1982	757	101
Souquière (P.) - ingénieur général de l'armement (hydrographe)	Le service hydrographique français et la coopération nationale	1998	769	213
Suberville (J.-L.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Étude expérimentale des ondes à l'interface d'une bi-couche dans un canal parallélépipédique tournant	1977	746	117
Suberville (J.-L.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Étude théorique des ondes internes dans les eaux d'un bassin en rotation	1977	746	95
T				
Tailliez (J.) - lieutenant de vaisseau	Éléments de toponymie nautique provençale. Noms des lieux du bassin des îles d'Hyères, de la presqu'île de Giens au Cap Camarat (cartes 5175 et 5329 SHOM)	1980	755	39
Temperville (A.) - Institut de mécanique de Grenoble	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Interactions non linéaires dans la théorie de l'eau peu profonde	1977	746	13
Thouin (J.-P.) - ingénieur principal de l'armement (hydrographe)	Mission hydrographique des Glorieuses (septembre 1977-décembre 1977)	1980	754	145
Thouin (J.-P.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique de Méditerranée (janvier 1979-mai 1981)	1983	758	113

Thouin (J.-P.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Mission océanographique du Pacifique (octobre 1982-avril 1984)	1986	761	69
Tomczak Jr (M.) - The University of Liverpool, Department of Oceanography	De l'origine et la distribution de l'eau remontée à la surface au large de la côte nord-ouest africaine	1978	748	5
Tonchia (H.) - ingénieur principal de l'armement	Évaluation d'un sondeur multifaisceaux grands fonds pour les levés hydrographiques	1996	767	45
V				
Vasiliev (O.-F.) - membre correspondant de l'académie des sciences de l'URSS, institut d'hydrodynamique, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. La génération des ondes internes sous le collapse d'une zone de mélange turbulent dans un milieu stratifié	1977	746	169
Vicariot (J.) - ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)	Bureau d'études océanographiques (1 ^{er} août 1969-15 décembre 1971)	1979	752	49
Z				
Zalesny (V.-B.) - Centre de calcul de l'académie des sciences de l'URSS, Novosibirsk	Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975. Calcul numérique des marées dans les mers littorales	1977	746	249

DEUXIÈME PARTIE

Travaux	Années	Numéros	Pages
COURANTS			
Etude des courants marins de surface induits par le vent	1973	740	61
Relations entre la structure verticale des courants et la nature des fonds, dans l'estuaire de la Loire	1974	741	35
Application de résultats de mesures de courants à l'étude des ondes internes	1975	742	7
Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970-mai 1972) – Annexe IV, relations entre les structures verticales de la température et du courant au cœur de l'Iroise	1975	742	60
Relations entre les variations de pression, au fond et les courants particuliers dans la houle côtière proche du déferlement	1976	743	59
Étude statistique de la houle littorale proche du déferlement	1976	743	65
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	57
Rôle du frottement dans la génération des courants moyens dans les mers à marées littorales			
Mesures du gradient de vitesse au voisinage du fond en Manche	1977	747	5
Synthèse sur les caractères physiques du courant circumpolaire antarctique	1989	763	7
Essai d'approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction du vent	1993	766	13
Approche statistique prévisionnelle du courant côtier en fonction de sa vitesse	1996	767	5
GÉODÉSIE			
Géodésie de la Martinique	1985	760	27
Rapport sur les travaux géodésiques effectués par le service hydrographique et océanographique de la marine de 1920 à 1984	1989	763	55
Sur la projection de Mercator transverse de l'ellipsoïde terrestre	1993	766	5
Mission océanographique du Pacifique - Echelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992-mai 1994) – Annexe 2 : systèmes géodésiques de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie	1997	768	266
GÉOLOGIE			
Les modes granulométriques et les phases de la mise en place du recouvrement sédimentaire du plateau continental du sud de l'île du Levant	1973	740	51
Corrélations entre quelques facteurs géotechniques et sédimentologiques des fonds marins sous-consolidés	1974	741	43
Ambiguïté de la notion de sables actuels et reliques. Exemple de la côte nord-ouest de l'île de Ré (golfe de Gascogne)	1976	743	75
Résistance au cisaillement de sédiments marins de trois sites côtiers (baie de Banyuls - large du delta du Rhône - rade de Brest)	1976	744	19
Mesure <i>in situ</i> des modalités de propagation des ondes longitudinales ultrasonores dans les sédiments marins : application à la détermination des paramètres mécaniques et physiques de ces sédiments	1978	749	3
Étude de l'exhaussement ancien des fonds dans les zones conchylicoles de Cancale, Aiguillon et Marennes-Oléron	1980	755	13
Une méthode indirecte d'approche de la dynamique de l'interface eau-sédiment sur le plateau continental : la thermométrie du sédiment superficiel	1988	762	31
Étude des possibilités de tassement d'un sol sous-marin par moyens acoustiques	1989	763	33
Corrélations entre la masse volumique et la résistivité d'un sédiment marin	1989	763	43

HYDROGRAPHIE			
L'hydrographie française en Afrique Noire et à Madagascar pendant la période 1947-1965	1989	763	
Production de documents et bases de données hydrographiques du SHOM	1997	768	113
Mission océanographique du Pacifique - Echelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992-mai 1994) – Annexe 3 : spatiopréparations de récifs en Nouvelle-Calédonie, emploi du GPS différentiel	1997	768	270
Rétrospective de l'hydrographie française	1998	769	5
• Annexe 1 : chronologie d'événements ou inventions intéressant directement ou indirectement l'hydrographie française			23
• Annexe 2 : chronologie des travaux hydrographiques français de 1800 à 1997			29
Les annales hydrographiques	1998	769	35
• Morceaux choisis des annales hydrographiques avant 1900			52
Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives	1998	769	133
• Annexe : description des campagnes océanographiques réalisées par le SHOM durant les vingt dernières années			170
Évolutions scientifiques et techniques du service hydrographique	1998	769	179
INSTRUMENTATION			
Problèmes posés par l'automatisation du dosage potentiométrique de l'oxygène dissous dans la méthode de Winkler	1978	749	19
Recherche des épaves au magnétomètre	1980	755	5
Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts.	1991	764	37
Suite : évaluation d'un atténuateur de dépression			pagination inversée
Évaluation des marégraphes Suber en présence de courants forts	1991	764	45
Mission océanographique de l'Atlantique (décembre 1980-juin 1982) – Annexe technique B : le gravimètre KSS 30	1991	764	97
Mission océanographique de l'Atlantique (décembre 1980-juin 1982) – Annexe technique C : l'automatisation des travaux de la MOA au 1 ^{er} mai 1982	1991	764	110
Étude de la doctrine d'emploi du sonar d'exploration hydrographique marine (SEHM)	1992	765	33
Évaluation et procédures d'exploitation du sondeur multifaisceaux Lennermor	1993	766	37
Évaluation d'un sondeur multifaisceaux grands fonds pour les levés hydrographiques	1996	767	45
MARÉES			
Contribution à l'étude du niveau moyen de la mer à Nouméa	1974	741	23
Le niveau moyen de la mer. – Calcul du niveau moyen journalier	1974	741	49
Étude des marées dans les mers littorales	1976	743	7
Modèle mathématique de la propagation de la marée dans l'estuaire de la Loire et la Loire maritime	1976	743	33
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	17
Aspect énergétique des ondes-marées			
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	23
Sur la théorie spectrale des marées littorales			
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	47
Synthèse sur la détermination des principales composantes de la marée dans la Manche, résolue à l'aide du modèle réduit de Grenoble			

Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	249
Calcul numérique des marées dans les mers littorales			
Le bruit dans les analyses de marée	1977	747	31
Analyse et prédiction de la marée. Application aux marées du Havre et de Brest	1977	747	47
Propriété des systèmes continus et invariants par translation soumis à des entrées à composantes périodiques. Application à une formule globale de prédiction de la marée	1978	748	15
Principes appliqués et méthodes utilisées pour l'établissement des tables permanentes des hauteurs d'eau	1978	748	19
Atlas des composantes harmoniques de la marée dans la Manche	1978	750	5
Répertoire des zones de marée et des zéros hydrographiques sur les côtes métropolitaines	1979	751	3
Étude de la variation du niveau moyen en Manche	1979	752	27
Analyse de 19 ans d'observations de marée à Brest	1980	754	5
Méthodes de prédiction de la marée en Gironde	1981	756	25
Prédiction de la marée au Havre	1981	756	39
Etude des courants de la marée M ₂ dans la Manche à l'aide du modèle réduit de Grenoble	1982	757	13
Prédiction de la marée à Brest	1982	757	33
Application de la méthode des concordances par espèce à la marée dans la Loire	1982	757	51
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 1 ^{re} partie, équivalence du système en variables physiques et des systèmes en " variables caractéristiques "	1983	758	17
Méthode de calcul manuel de la marée à partir des principales constantes harmoniques	1983	758	17
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (A), compléments sur les multiplicités bicaractéristiques, équations approchées	1984	759	5
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 2 ^e partie (B), triangulation des données de Cauchy ; étude qualitative des courbes et surfaces caractéristiques	1985	760	7
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (A), étude qualitative de singularités a priori rencontrées au voisinage de la frontière côtière. Application aux baies et aux caps	1986	761	5
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques – 3 ^e partie (B), compléments sur la théorie des enveloppes.	1988	782	5
Étude de quelques solutions régularisables de (E)			
Rectificatif au mémoire intitulé – Etude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques	1989	763	5
Étude analytique d'un modèle des marées littorales à l'aide des multiplicités bicaractéristiques. 3 ^e partie (C) : problème de Riemann-Goursat : solutions régularisables par morceaux. Problème fondamental des marées littorales	1991	764	9
Passage de la marée au-dessus d'un talus en océan stratifié	1992	765	65
Détermination des hauteurs d'eau extrêmes pour la délimitation du domaine public maritime	1996	767	17
MISSIONS HYDROGRAPHIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES			
Mission hydrographique des côtes de France (octobre 1968–octobre 1970)	1973	740	5
Mission océanographique de l'Atlantique nord (septembre 1967–août 1969)	1974	741	59
Mission hydrographique de Polynésie française (juillet 1970–avril 1971)	1974	741	83
Mission hydrographique des côtes de France (mars 1963–mars 1964) – Compte rendu succinct de l'activité de la mission d'après les documents d'archives	1974	741	97
Mission hydrographique temporaire de Djibouti (26 septembre–22 décembre 1970)	1974	741	105
Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970–mai 1972)	1975	742	35
Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1970–mai 1972) – Annexe III, le bâtiment hydrographique " Astrolabe "	1975	742	57

Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie (juin 1970–janvier 1972)	1975	742	69
Mission océanographique de l'Atlantique (avril 1971–octobre 1972)	1976	743	85
Mission hydrographique de Polynésie française (juin 1973 – août 1974)	1976	744	63
Mission hydrographique de dragage (septembre 1969–février 1972)	1977	747	65
Mission hydrographique de Polynésie française (1er mai 1971–24 juin 1973)	1978	748	29
Mission hydrographique de l'Atlantique (15 mai 1972–20 septembre 1974)	1978	748	61
Mission océanographique de l'Atlantique (octobre 1972–octobre 1974)	1978	749	29
Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie (janvier 1972–mai 1974)	1978	749	87
Mission hydrographique de dragage (février 1972–août 1972) - Mission océanographique de Méditerranée (août 1972–novembre 1972)	1978	750	79
Mission hydrographique des côtes de France (septembre 1966-octobre 1968)	1979	753	41
Mission océanographique de l'Atlantique (octobre 1974-septembre 1975)	1979	753	67
Mission hydrographique de l'Atlantique (septembre 1974–avril 1976)	1979	753	83
Mission océanographique du Pacifique (mai 1974–mai 1976)	1980	754	61
Mission hydrographique de l'Atlantique (avril 1976–février 1997)	1980	754	127
Mission hydrographique des Glorieuses (septembre 1977–décembre 1977)	1980	754	145
Mission océanographique du Pacifique (mai 1976–mai 1978)	1980	755	69
Mission océanographique de Méditerranée (novembre 1975-décembre 1978)	1981	756	49
Mission hydrographique de circonstance de l'océan Indien (décembre 1980-avril 1981)	1982	757	113
Compte rendu des travaux effectués par la mission hydrographique de l'Atlantique (février 1977-mars 1980)	1983	758	43
Mission océanographique de Méditerranée (janvier 1979-mai 1981)	1983	758	113
Mission océanographique de Méditerranée (juin 1981-octobre 1983)	1984	759	113
Mission hydrographique de l'Atlantique (février 1980-avril 1983)	1985	760	41
Mission océanographique du Pacifique (octobre 1982-avril 1984)	1986	761	69
Mission océanographique de Méditerranée (octobre 1983-octobre 1985)	1986	761	131
Mission océanographique du Pacifique (mai 1978-mai 1980)	1988	762	43
Mission océanographique de l'Atlantique (juin 1982-juillet 1984)	1989	763	77
Mission océanographique de l'Atlantique (13 décembre 1980-13 juin 1982)	1991	764	57
Mission océanographique de la Méditerranée (octobre 1985-septembre 1988),	1992	765	89
Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1987-septembre 1988)	1992	765	167
Mission océanographique du Pacifique - Echelon de Polynésie (décembre 1988-juillet 1990)	1993	766	77
Mission océanographique de l'Atlantique (janvier-septembre 1987)	1996	767	77
Mission océanographique du Pacifique -Echelon de Polynésie (février 1992-août 1993)	1996	767	163
Mission océanographique du Pacifique - Echelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992-mai 1994)	1997	768	131
OCÉANOGRAPHIE			
Observations océanographiques dans le détroit de Gibraltar pendant la campagne PHYGIB (septembre-octobre 1971)	1973	740	75
Modèles simples de prévision de l'état thermique de la mer et de l'immersion de la thermocline	1974	741	3
Contribution à l'analyse automatique des températures superficielles du proche Atlantique	1975	742	17
Étude du flux solaire et de l'échauffement radiatif dans la mer par temps clair	1975	742	25
Note sur la prévision, par des méthodes semi-empiriques, des spectres d'énergie des vagues de vent	1976	743	51
Sur quelques notions de thermodynamique moderne utiles aux océanographes	1976	744	5
Extension des eaux fluviales dans le golfe du Lion	1976	744	31
Comparaison des petits mouvements d'une couche stratifiée de l'océan et d'une couche stable de l'atmosphère avec la théorie des ondes internes	1976	744	43
Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud-ouest, basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973	1976	744	53
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	7
Passage d'une onde sur une barrière verticale mince immergée en eau peu profonde			

Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	13
Interactions non linéaires dans la théorie de l'eau peu profonde Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	65
Niveau moyen, pression atmosphérique et ajustement géostrophique Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	75
Observations d'ondes internes au passage d'un front hydrologique Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	87
Upwellings d'été sur la côte méditerranéenne française Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	95
Étude théorique des ondes internes dans les eaux d'un bassin en rotation Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	117
Étude expérimentale des ondes à l'interface d'une bi-couche dans un canal parallélépipédique tournant Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	127
Ondes internes engendrées par le vent dans un canal parallélépipédique en milieu tournant Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	35
Réponse linéaire d'un océan bi-couche à une perturbation météorologique mobile Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	149
Perturbations mécaniques et thermiques dans une mer presque homogène Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	153
L'effacement de la stratification de densité, en hiver, au large de la côte de France, relation avec les mouvements marins constatés, hypothèses tendant à expliquer les phénomènes Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	169
La génération des ondes internes sous le collapse d'une zone de mélange turbulent dans un milieu stratifié Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	177
Mouvements verticaux profonds en Méditerranée nord-occidentale en hiver (milieu peu stratifié) Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	183
Technique de mesure de la composante verticale des mouvements marins Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	189
Un modèle numérique de pénétration par la turbulence d'une couche stratifiée stable Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	199
Modèles mathématiques bidimensionnels d'écoulements à la surface libre à une ou deux couches Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	207
Modélisations de la dynamique de la couche de surface de l'océan : justifications et applications numériques			

Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	229
Panorama des méthodes numériques appliquées aux problèmes d'océanographie dynamique utilisées par la section sibérienne de l'académie des sciences de l'URSS			
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	241
Les schémas de haute précision dans les problèmes dynamiques de la mer			
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	255
La méthode variationnelle aux différences pour la résolution des problèmes théoriques des ondes			
Quelques aspects de la structure thermique sur le plateau continental breton (thermocline - front thermique)	1977	747	11
De l'origine et la distribution de l'eau remontée à la surface au large de la côte nord-ouest africaine	1978	748	5
Étude de la variation de la masse volumique de l'eau (eau pure et eau de mer) en fonction de la composition isotopique et de la teneur en gaz atmosphériques dissous	1978	750	37
Contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du front thermique sur le plateau continental breton	1979	752	5
Formation d'ondes internes stationnaires sur le talus continental, application au golfe de Gascogne	1980	754	45
Un aspect de la dynamique des fronts thermiques profonds du plateau continental de Bretagne sud - Influence du passage d'une dépression	1980	755	23
Ondes de frontière dans une mer stratifiée dont le fond est incliné	1982	757	7
Étude du front de Malte à partir de données de télédétection et de mesures <i>in-situ</i>	1982	757	65
Étude hydrologique du canal des îles Loyauté	1983	758	33
Partie 1 - Choix d'un modèle d'évolution à court terme de la couche de mélange océanique	1986	761	41
Partie 2 - Test sur une utilisation opérationnelle simple d'un modèle d'évolution à court terme de la couche de mélange océanique	1986	761	49
Partie 3 - Echelles temporelles et verticales pour la température et pour ses variations à court terme au point P (50° N, 145° W)	1986	761	57
Analyse des chlorofluorocarbones (CFC) dans l'eau de mer - Application aux masses d'eaux du golfe de Gascogne	1996	767	59
<i>Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre : preliminary results from the Semane and Interafos experiments</i>	1997	768	5
Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos			70
<i>Mixing processus in the Mediterranean outflow along the Iberian shelf</i>	1997	768	83
Processus de mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne sur le talus ibérique			99
PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE			
Localisation d'un avion au cours de missions photoaériennes (I)	1986	761	33
Localisation d'un avion de prise de vues aériennes (II)	1988	762	25
Bilan de l'évaluation des possibilités de la photobathymétrie	1997	768	107
POLLUTION			
La pollution de la mer par les hydrocarbures. Enquête documentaire	1976	745	3
Actes du 2 ^e symposium franco-soviétique d'océanographie. Grenoble, 18-23 août 1975.	1977	746	215
Modèles mathématiques à l'étude de processus morphologiques et de propagation des polluants dans les zones côtières			

Pollution dans la rade abri du port militaire de Brest	1979	753	5
Modèle de dispersion et de dérive	1979	753	21
L'Amoco Cadiz : comportement de ses hydrocarbures dans le milieu marin	1980	754	19
Les hétéroéléments (nickel, vanadium, soufre, azote) dans l'identification d'un résidu pétrolier. Analyse critique des différentes méthodes physico-chimiques utilisées	1981	756	5
RADIOLOCALISATION			
Mission océanographique de Méditerranée (novembre 1975-décembre 1978) – annexe technique N° 2 : localisation au cours des travaux de l'Origny en Méditerranée orientale	1981	756	121
Évaluation du réseau Syledis-Bretagne (1981-1983)	1984	759	15
Synthèse des résultats des campagnes de calibration du SNR Loran C	1991	764	31
TOPONYMIE			
Éléments de toponymie nautique provençale. Noms des lieux du bassin des îles d'Hyères, de la presqu'île de Giens au Cap Camarat (cartes 5175 et 5329 SHOM)	1980	755	39
DIVERS			
Les vedettes hydrographiques en service en 1981	1982	757	101
Aperçu sur le personnel du service hydrographique et océanographique de la marine. Ses fonctions, son recrutement, sa formation	1998	769	91
Le personnel du SHOM en 1998	1998	769	107
Le service hydrographique français et la coopération nationale	1998	769	213
Le service hydrographique français et la coopération internationale en hydrographie	1998	769	223
La responsabilité des services hydrographiques	1997	768	119
Le Dépôt des cartes, plans et journaux de la Marine sous l'Ancien Régime (1720-1789)	1992	765	5
Mission hydrographique de l'Atlantique (octobre 1987-septembre 1988) – Annexe 1 : Les bâtiments hydrographiques de 2 ^e classe type <i>Lapérouse</i>	1992	765	244
Bureau d'études océanographiques (1 ^{er} août 1969–15 décembre 1971)	1979	752	49
NOTICES BIOGRAPHIQUES			
La vie et l'œuvre de l'ingénieur hydrographe général André Gougenheim (1902-1975)	1975	742	3
A la mémoire d'Alain Le Berre (1913-1974)	1976	743	3
L'ingénieur hydrographe général Henri Dyèvre (1893-1982)	1982	757	3
L'ingénieur hydrographe général (CR) Pierre Covillault (1905-1983)	1985	760	5
L'ingénieur général hydrographe (CR) Guy Chatel (1906-1990)	1991	764	3
Quelques figures marquantes du corps des ingénieurs hydrographes • Annexe : liste des ingénieurs hydrographes	1998	769	113 129

NOTES

NOTES

NOTES

Imprimerie de l'Établissement Principal
du Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine
13, rue du Chatellier
BP 30316 — 29603 Brest Cedex
Décembre 2000

Dépôt légal quatrième trimestre 2000
Numéro d'édition : 2437

Sommaire

Première partie

Réseau géodésique de Polynésie française
Synthèse des campagnes DORIS,
par S. LANNUZEL

Évaluation du système de localisation GPS différentiel
multi-référence Multifix sur le BH1 *L'Espérance*,
par J.-M. LÉCULIER

Étude des paramètres physico-chimiques du port militaire de Brest
de mai 1994 à décembre 1995,
par T. LABASQUE

Courants de marée sur la côte nord de Bretagne,
par L. PINEAU

Baie de Somme :
cartographie magnétique et détection d'obstructions en baie de Somme,
par M. CROUZAT, M.-F. LALANCETTE

Détection automatique des erreurs ponctuelles présentes
dans les données bathymétriques à l'aide d'un estimateur robuste,
par N. DEBESE

Bilan du projet Medatlas,
par D. JOURDAN

Deuxième partie

Mission océanographique de l'Atlantique
(juillet 1984 - janvier 1987),
par J. BONNOT

Mission océanographique du Pacifique
(avril 1986 - avril 1988),
par J. LAPORTE

Index de la 5^e Série

ANNALES HYDROGRAPHIQUES 770



9 782110 882837

ISBN 2-11-088283-2