

# Annales Hydrographiques

6<sup>e</sup> Série - Vol. 2

N° 771



Service  
Hydrographique  
et Océanographique  
de la Marine



2002

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

## TABLE DES MATIÈRES

Pages

### Première partie

Biographie de l'IGA Jean-François Bonnot (1938 - 2000), <i>par l'IGA (2S) A. COMOLET-TIRMAN</i> .....	1-1
Biographie de M. Henri Lacombe (1913 -2000), <i>par l'IGA (2S) J. BOURGOUIN</i> .....	2-1
GOGP (Golfe d'Oman, Golfe Persique) Une campagne d'océanographie du SHOM, <i>par Y. CAMUS</i> ...	3-1
Campagne GOGP-99 : levés hydrologiques par bouées aéro largables, <i>par L. HUBIN</i> .....	4-1
Niveaux caractéristiques et coefficient de Marée, <i>par B. SIMON</i> .....	5-1
Faisabilité opérationnelle de l'inversion géoacoustique par milieux équivalents : Principe et application aux données INTIMATE 96, <i>par X. DÉMOULIN</i> .....	6-1
Détermination de la zone d'insonification d'un sondeur multifaisceau par propagation de fronts, <i>par N. DEBESE</i> .....	7-1

### Deuxième partie

Mission océanographique de la Méditerranée – (août 1991 – septembre 1994), <i>par G. BESSERO</i> . ....	8-1
Mission océanographique du Pacifique en Polynésie – (avril 1997 – août 1999), <i>par L. KERLEGUER</i> . ....	9-1



# ***PREMIÈRE PARTIE***

-----

# Biographie de l'ingénieur général Jean-François BONNOT (1938 - 2000)

Allocution prononcée par l'IGA (2S) André Comolet-Tirman  
à l'occasion des obsèques de J.F. Bonnot

Les deux pôles de l'existence de Jean-François Bonnot ont été sa famille et son métier. [Il serait anormal que son activité professionnelle ne soit pas évoquée, en ces instants où nous cherchons à communier pleinement avec lui et avec les siens. L'ingénieur général Desnoës, actuel directeur du service hydrographique et océanographique de la Marine, qu'une mission à l'étranger empêche d'être parmi nous, m'a demandé de le faire pour lui] et je dirai que j'ai le sentiment de m'acquitter d'une dette, car notre ami disparu fut pour moi un collaborateur direct de premier plan durant les années où j'ai moi-même dirigé le SHOM.

Au sortir de l'école polytechnique en 1960, Jean-François Bonnot entre dans le corps, mystérieux pour beaucoup, des Ingénieurs hydrographes de la marine. Ceux-ci constituent les cadres du service hydrographique, dont le métier est caractérisé par un équilibre entre des tâches très concrètes "sur le terrain", c'est-à-dire le plus souvent à la mer, et des études. Après la campagne de la *Jeanne d'Arc* et les deux années d'école d'application du service hydrographique, il entre de plain pied dans ce métier pour lequel il se passionne immédiatement et auquel il consacre ses qualités et son énergie, qui sont grandes.

Les quinze premières années comportent une large dominante de postes embarqués. En qualité d'adjoint d'abord ; en Océan Indien sur le *Lapérouse*, puis au bureau d'études océanographiques de Toulon, le BEO, qui dispose de l'*Origny*. En 1966-67, Il est à la mission hydrographique de Polynésie française, chargé des travaux spéciaux pour le centre d'essais du Pacifique. C'est ensuite en qualité de directeur qu'il prend en 1972, à bord de *La Recherche*, la mission hydrographique de dragage, dont il assure la délicate fusion avec le BEO pour en faire la mission océanographique de Méditerranée, avant de diriger, de 1976 à 1978, la mission hydrographique du Pacifique.

Ces quinze premières années ne comportent qu'une seule période réellement sédentaire - en négligeant les missions temporaires - durant laquelle il est adjoint pour l'océanographie au chef de la section chargée des marées et de l'océanographie, à Paris d'abord, puis à l'établissement principal de Brest, l'EPSHOM ; il est alors également représentant national au groupe OTAN d'océanographie militaire. Il n'est pas question d'énumérer les innombrables levés hydrographiques ni toutes les campagnes océanographiques correspondant à ces affectations. Disons seulement qu'il s'agit de travaux de qualité ; que, grâce à une



organisation judicieuse, le rendement en est aussi bon que le permet la disponibilité des moyens flottants ; enfin que les rapports rendant compte de ces travaux sont remarquablement clairs et complets.

Dès les premières années, ses supérieurs observent qu'il a toutes les qualités requises pour faire un très bon ingénieur hydrographe, mettant l'accent sur la vivacité de son intelligence et la sûreté de son jugement, ainsi que sur son esprit d'initiative, son goût des responsabilités et du travail bien fait, sa volonté tenace, son aptitude à entretenir de bonnes relations avec les uns et les autres. Il manifeste une confiance en soi marquée, dit-on, mais c'est pour ajouter aussitôt qu'elle est justifiée. Cependant l'appréciation la plus spécifique me paraît être celle qui parle de son aptitude à ne pas demeurer prisonnier des habitudes, à prendre du recul pour proposer des solutions nouvelles, non pour le plaisir du changement, mais en vue d'obtenir un progrès réel. Et la suite le confirmera.

La seconde partie de sa carrière, plus sédentaire, doit normalement le voir prendre la tête de la section océanographie de l'EPSHOM. Et pourtant, elle commence par une affectation inattendue : alors qu'il n'a jamais été à la section cartographie, il en est nommé chef pour un an. Il s'en tire fort bien,

montrant ainsi sa faculté d'adaptation et son aptitude à diriger un personnel nombreux, relevant d'une multitude de statuts différents. Chef de la section océanographie de 1979 à 1984, fonction dont il s'acquitte parfaitement, il n'oublie ni cette expérience de cartographie, ni surtout les problèmes rencontrés outre-mer lors des levés des récifs coralliens, aussi poursuit-il en parallèle un projet qui lui tient à cœur : celui de voir le SHOM se doter de moyens de restitution photographique. Il écrit des articles sur l'usage de la photogrammétrie en hydrographie, suit des stages et fait l'assaut de la commission chargée de l'emploi des crédits d'équipement du SHOM, qui demande à être convaincue que les bénéfices seront à la hauteur de l'investissement. Je peux le dire, puisque c'est moi qui présidais à l'époque... Il a finalement gain de cause, et une équipe est constituée autour d'un magnifique appareil mis en place à la fin de 1983. L'avenir confirmera largement le bien fondé de cette option, dont l'intérêt ne peut que s'accroître encore avec le besoin reconnu d'une forme d'hydrographie adaptée aux interventions militaires dans des zones inhabituelles. Cette action a joué un rôle important dans l'attribution, qui lui a été faite en 1988, du prix Givry de l'Académie des sciences. C'est la période aussi durant laquelle il suit une session régionale de l'institut des hautes études de la défense nationale, puis la session 1983-84 des hautes études de l'armement.

En 1984, il repart à la mer à bord du *D'Entrecasteaux* dont il dirige la mission pendant deux ans et demi, durant lesquels se succèdent des campagnes océanographiques en Méditerranée et en Atlantique (la campagne Ondine, notamment), une campagne hydrographique en Océan Indien, et un levé hydrographique de grande envergure sur nos côtes, de Noirmoutier à Belle-Île. C'en est alors fini pour lui du travail à la mer, qu'il ne quitte pas sans regret, car il aimait la mer, j'ai peut-être oublié de le dire, tant cela me paraissait évident.

C'est alors qu'il prend la tête du bureau d'études générales à la direction du SHOM à Paris, et que je suis le témoin direct de l'activité qu'il déploie et de l'imagination dont il fait preuve dans tous les domaines de cette lourde charge. Parmi les succès qui lui sont dûs, je citerai la réunion à Paris de la commission hydrographique de Méditerranée, l'animation du comité des utilisateurs des documents du SHOM, la nouvelle et très judicieuse conception du rapport annuel, que mes successeurs ont à ce jour encore conservée, le lancement d'actions de coopération avec des pays en voie de développement.

Venant se superposer à toute cette activité, les réflexions menées au sein de la Défense sur l'organisation de l'océanographie militaire, nous ont fait connaître, à lui et à moi, des heures tendues et difficiles, durant lesquelles l'existence même du Service et l'exercice de ses responsabilités pouvaient paraître menacées. Nos réflexions en commun m'ont alors facilité l'adoption de réactions appropriées, et je lui en conserve une grande reconnaissance.

Devenu directeur-adjoint du SHOM en octobre 1990, nommé ingénieur général en 1991, il songe à un poste de directeur du bureau hydrographique international, où il serait en effet tout à fait à sa place. Ce projet n'ayant pu se réaliser, il entre à la mission interministérielle de la mer comme chef de la mission recherche, et il déploie là, jusqu'à son admission sur sa demande en 2<sup>e</sup> section, les grandes qualités de diplomate dont il est capable pour réunir des gens venus d'horizons divers et les amener à coopérer, alors que tel n'est pas, au départ, leur souci premier.

Ayant à rédiger une préface pour la réédition d'un ouvrage du grand hydrographe Bouquet de la Grye, je lui avais demandé de me préparer quelques éléments par écrit. J'ai souvenir des mots vibrants avec lesquels il s'efforçait de traduire l'enthousiasme de cet ingénieur pour son métier ; à travers eux, c'était son propre enthousiasme qui se lisait et je ne peux m'empêcher de penser que Jean-François Bonnot était bien dans la lignée. Je n'ai pas besoin de dire à sa famille, vers laquelle vont toute la sympathie du Service et la mienne, très affectueuse, qu'elle peut être fière de lui.

# Biographie de M. Henri LACOMBE

## 1913-2000

par l'IGA (2S) Jean Bourgoïn

Henri Lacombe est né à Nîmes le 24 décembre 1913, et décédé à Bourg-la-Reine le 4 juin 2000. Il entre à l'École polytechnique en 1933, et en sort dans le Corps des ingénieurs hydrographes de la Marine en 1935.

Pendant vingt années, de 1935 à 1955, il exerce son activité au Service hydrographique de la Marine. Avant la guerre, il effectue des missions de levés sur les côtes de France et de Tunisie. Pendant la guerre, des affectations successives à Toulon, Dakar et Casablanca lui procurent l'occasion d'aborder, auprès des Alliés, le domaine des études sur les matériels de détection acoustique et électromagnétique. Il se fait rapidement remarquer, au Centre d'écoute de Casablanca de la Marine, par sa compétence dans les techniques nouvelles d'acoustique sous-marine et du radar. De retour en France après la guerre (1945), il est affecté successivement aux sections des "Missions" et de "Marée-géophysique", avant de prendre la direction d'une importante mission de levés, au large des côtes marocaines (1953-1954). Au plan scientifique, plusieurs sujets retiennent son attention : la propagation de la marée en Manche et ses anomalies telles que la "tenue du plein" au Havre et la "double basse mer" de Portland, sur la côte britannique ; la mise au point d'une méthode de tracé des "rayons" sonores issus d'une source immergée à partir de la structure thermique du milieu ; l'étude, en application du principe de Huyghens, de la diffraction de la houle par une jetée semi-indéfinie ou par une passe ; l'établissement des "plans de vagues" à partir du tracé des orthogonales aux crêtes de houle.

Alors que de fortes traditions océanographiques existaient dans les pays voisins, il faut attendre 1946, en France, pour que se crée, sous les auspices discrets du Service Hydrographique de la Marine, le Comité d'océanographie et d'études des côtes de la Marine.

À la même époque, en 1948, Henri Lacombe crée le premier enseignement d'océanographie physique en France, d'abord destiné aux ingénieurs hydrographes, puis ouvert aux élèves de l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM). Il prendra une dimension nationale en 1956 à l'université de Paris, et sera poursuivi jusqu'en 1971, à l'École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA). Sous le titre de *Dynamique des mers*, ce cours, édité en 1965 par Gauthier-Villars, sera le passeport pour toute une génération d'étudiants, pour des études supérieures dans la discipline.

En 1955, Henri Lacombe quitte la Marine nationale pour occuper la chaire d'océanographie physique, créée à son intention, au Muséum national d'histoire naturelle. Le rap-



prochement, au Muséum, de la biologie marine et de l'océanographie physique, marquera le départ de la nouvelle océanographie d'après-guerre, dont H. Lacombe sera le pionnier et le promoteur en France, pendant un quart de siècle, jusqu'au début des années 80. Pendant cette période, il mène de pair, avec des collaborateurs de plus en plus nombreux et des moyens croissants, des tâches d'enseignement et des recherches avancées, intimement liées à la dizaine de campagnes à la mer, nationales et internationales, dont il est le principal architecte. Les trois grands axes de ses recherches portent sur les échanges d'eau dans le détroit de Gibraltar, la formation des eaux profondes en Méditerranée occidentale, les échanges d'énergie à l'interface océan-atmosphère. Ils ne sont pas, d'ailleurs, propres à la Méditerranée. On les retrouve dans tous les océans du globe, mais la Méditerranée offre un champ d'application réduit en surface et facilement accessible. C'est dans ce sens que l'on peut dire qu'elle constitue une sorte de "modèle réduit" pour l'étude

des phénomènes dynamiques à l'échelle mondiale, et notamment ceux affectant les mers polaires, qui sont essentiels. H. Lacombe est "l'inventeur" de cette nouvelle approche pour l'étude des principaux phénomènes affectant la dynamique des océans. Les étrangers ne s'y trompent pas, qui apportent leur concours en équipes de recherche et en moyens navals.

Sur le premier thème, H. Lacombe détermine, dès 1961, les valeurs moyennes du flux d'eau atlantique entrant en Méditerranée ( $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et du flux méditerranéen sortant ( $1,14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ainsi que celles des salinités moyennes entrantes et sortantes. Elles montrent qu'une fermeture du détroit de Gibraltar entraînerait un abaissement annuel du niveau de la Méditerranée de 76 cm. L'eau sortante étant de l'eau profonde du bassin occidental, on accède aussi à l'évaluation du stock d'eau profonde formée dans ce bassin. Il détermine en outre l'influence de la marée, de la pression atmosphérique et des ondes internes sur la dynamique des échanges dans le détroit de Gibraltar.

Sur le deuxième thème, H. Lacombe est le découvreur, en Méditerranée, du mécanisme fondamental de formation des eaux profondes dans les océans. Le phénomène se traduit par une homogénéisation de la température et de la salinité, donc de la densité, sur toute la colonne d'eau, sur des surfaces réduites de quelques milles de diamètre. Il se produit en hiver lorsque l'évaporation est forte à cause du vent, et le rayonnement solaire faible. Il en résulte une stratification en densité, favorable à d'amples mouvements verticaux de convection entraînant des courants de 2 à 8 cm/s. Des phénomènes de même nature se produisent à l'échelle mondiale. Les trois quarts des eaux océaniques sont des "eaux profondes" qui se forment dans quelques petites aires océaniques des régions polaires et subpolaires : pourtour de l'Antarctique, mer du Groenland, mer de Norvège, mer du Labrador. Les travaux de H. Lacombe sur la formation des eaux profondes et la grande circulation mondiale thermohaline ont été salués par le professeur W. H. Munk, de la Scripps Institution, en 1972 comme "un des développements les plus importants apparus en océanographie depuis dix ans".

La formation des "eaux profondes" évoquée ci-dessus est un exemple de l'interaction océan-atmosphère, dans le cas où l'absence de thermocline permet la propagation de la convection en profondeur. H. Lacombe s'est intéressé dès 1956 aux échanges d'énergie entre l'océan et l'atmosphère, en attirant l'attention des météorologistes et des océanographes sur l'importance des phénomènes d'interactions sur le climat, pour ces deux catégories de géophysiciens. En s'appuyant sur le Comité d'études pour l'exploitation des océans (COMEXO), la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST), le Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO), la Météorologie nationale, il met en place, dès 1960, une stratégie d'études des échanges air-mer se traduisant, en particulier, par la construction d'une bouée-laboratoire en Méditerranée, Bohra I (dite bouée Cousteau), puis d'une seconde, Bohra II, avec des satellites, la construction d'une soufflerie de simulation, à l'Institut de la mécanique de la turbulence (IMST),

sans omettre la construction du navire océanographique *Jean Charcot*, lancé en 1965. La disposition de ces moyens d'avant-garde a permis d'aborder toutes les échelles des phénomènes à observer : l'échelle du laboratoire, avec la soufflerie de simulation de l'IMST ; la petite échelle en mer, sur la bouée du Bohra II ; l'échelle mésométéorologique, grâce au polygone de bouées satellites de Bohra II et aux stations météorologiques côtières. Parmi les résultats, on peut citer les exemples suivants : la mise en évidence d'oscillations d'inertie engendrées par le vent sur les couches superficielles, dans le cas où il existe une thermocline ; la détermination du coefficient de traînée dans l'écoulement du vent au contact de la surface marine ; un modèle simple de thermocline saisonnière.

Au cours de son mandat de vingt-huit années (1955-1983) à la tête du Laboratoire d'océanographie physique du Muséum, Henri Lacombe a créé le groupe national le plus important dans ce domaine, et s'est fait reconnaître sur la scène internationale parmi les tout premiers dans sa discipline. Il a suivi attentivement les développements modernes de l'océanographie physique, notamment ceux concernant l'informatique et les modèles de simulation, la tomographie et son application aux chenaux sonores à longue distance, l'observation par satellite et son couplage avec l'instrumentation marine. Sa clairvoyance scientifique et son dynamisme ont hissé rapidement l'océanographie française au niveau international. À une époque où les pouvoirs publics, en France, entretenaient l'idée d'une exploitation imminente de l'océan comme source de richesses, le professeur Lacombe, en avance d'une génération, pressentait que l'application la plus importante de l'océanographie allait être, couplée à la météorologie, la prédiction de la sensibilité du climat mondial aux changements océaniques provoqués, dans une gamme de fréquence allant de l'année à plusieurs siècles. Pour cela, il fallait déjà faire des progrès décisifs en océanographie. Une course de vitesse vers cet objectif est engagée aujourd'hui, à l'échelle mondiale. Elle mobilise les ressources de l'espace et de l'informatique. mais d'abord l'élite des chercheurs à laquelle appartenait Henri Lacombe.

On ne saurait clore cette biographie du professeur Lacombe sans rappeler que ses éminentes qualités scientifiques étaient doublées de qualités humaine incomparables. Ceux qui ont travaillé avec lui à la mer, dans un environnement souvent hostile, ou dans son laboratoire, peuvent témoigner de la sérénité, la bienveillance, l'objectivité, le dévouement et la simplicité du maître vis-à-vis de ses collaborateurs et de ses étudiants. Les époux Lacombe partageaient une même foi et formaient un couple exemplaire. Souvenons-nous aussi des charges qui pesaient sur Madame Lacombe pour l'éducation de leurs sept enfants, alors que son mari était souvent embarqué ou en représentation de la France sur la scène océanographique internationale.

**Quelques titres et distinctions du professeur Lacombe**  
Membre de l'Institut (Académie des sciences) (1973) -  
Membre de l'Académie de marine (1976) - Membre du  
Bureau des longitudes (1968) - Président du Comité national

français de géodésie et géophysique (1971) - Président de la Commission océanographique inter-gouvernementale de l'Unesco (1965- 1967) - Président de l'Association internationale des sciences physiques de l'océan de l'Union géodésique et géophysique internationale (1970) - Officier de la Légion d'honneur, à titre militaire - Commandeur de l'Ordre national du Mérite - Commandeur de l'Étoile d'Anjouan (1961) - Officier de l'Ordre du Ouissam Alaouite (1964) - Chevalier du Mérite maritime - Lauréat de l'Académie des sciences [prix Becquerel (1951) et prix Binoux (1966)]

# GOGP (GOLFE D'OMAN, GOLFE PERSIQUE) UNE CAMPAGNE D'OCÉANOGRAPHIE DU SHOM

Yves Camus, ingénieur sur contrat,  
Etablissement principal du SHOM, moyens d'observations à la mer (EPSHOM/MOM)

Christophe Le Visage, ingénieur en chef de l'armement,  
mission océanographique de l'Atlantique (MOA)

Laurent Louvart, ingénieur de l'armement,  
mission océanographique du Pacifique (MOP Nouméa)

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>1 EN QUELQUES MOTS : QU'EST-CE QUE GOGP ?</b> .....	<b>3-2</b>
<b>2 LA PHASE INITIALE DE MISE EN PLACE DE CAPTEURS DE MESURES</b> .....	<b>3-2</b>
<b>3 D'ENTRECASTEAUX ET LAPLACE : À CHACUN SON RÔLE</b> .....	<b>3-2</b>
<b>4 QUAND D'ENTRECASTEAUX ET LAPLACE JOIGNENT LEURS EFFORTS À CEUX D'UN ATLANTIQUE 2, CELA FAIT DU BRUIT INTELLIGENT</b> .....	<b>3-3</b>
<b>5 UN RETOUR CHARGÉ D'EXOTISME ET DE LABEURS</b> .....	<b>3-3</b>
<b>6 QUELQUES ÉLÉMENTS TECHNIQUES</b> .....	<b>3-3</b>
Les bouées de type Surdrift .....	<b>3-3</b>
« Eau persique », confirmation et découverte .....	<b>3-3</b>
Expérimentation acoustique .....	<b>3-4</b>
Les capteurs océanographiques largables par avion .....	<b>3-4</b>

## 1. EN QUELQUES MOTS : QU'EST-CE QUE GOGP ?

GOGP (Golfe d'Oman, Golfe Persique) est une campagne pluridisciplinaire qui a réuni, dans le golfe d'Oman, le détroit d'Hormuz et l'extrême Est du golfe Persique deux bâtiments du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) : le BO *D'Entrecasteaux* et le BH *Laplace*, du 2 octobre 1999 (départ de Djibouti) au 3 novembre 1999 (arrivée à Dubay).

Durant toute cette période, interrompue par une escale commune (phase 1 de Djibouti à Mascate (Sultanat d'Oman) ; phase 2 de Mascate à Dubay (Emirats Arabes Unis)), les deux bâtiments ont travaillé en complémentarité afin de reconnaître, tant dans le domaine de l'océanographie physique que dans ceux de la géophysique et de la sédimentologie, une région encore mal connue. Dans le courant de la phase 2, ils ont reçu le concours très apprécié d'un ATL2 de la 21F de Nîmes Garons.

Les opérations prévues pour les deux bâtiments se sont réalisées dans des conditions presque optimales, en dépit de quelques difficultés administratives, puisque la campagne prévoyait des travaux dans les eaux sous juridiction étrangère ; les attachés de défense de Mascate (Oman), Abu Dhaby (E.A.U) et Téhéran (Iran) se sont efforcés d'obtenir ces autorisations, et finalement seules les eaux iraniennes sont restées inaccessibles aux deux bâtiments du SHOM.

## 2. LA PHASE INITIALE DE MISE EN PLACE DE CAPTEURS DE MESURES

Comme bien souvent lors des campagnes océanographiques, les deux bâtiments ont commencé leurs travaux en disposant des instruments de mesure aux environs du détroit d'Hormuz, point clé de la circulation océanique dans ce secteur.

Deux marégraphes ont été déposés sur le fond, l'un à l'ouvert du détroit d'Hormuz dans le Golfe d'Oman (100 m de profondeur), l'autre au voisinage de l'île Sir Abu Nu'ayr, sur un dôme de sel, dans le golfe Persique (30 m de profondeur) : la récupération des instruments se fait grâce à des flotteurs de subsurface qu'un largueur acoustique permet de libérer de leur lest.

Ces deux appareils, qui devaient effectuer des observations de pression pendant au moins un mois lunaire, étaient destinés à fournir des informations sur la marée locale de part et d'autre du détroit d'Hormuz. De ces observations dépendra la capacité des modélisateurs du SHOM à simuler le débit hydraulique au travers de ce détroit, condition première d'une modélisation numérique efficace de ce secteur.

Ces marégraphes ont été complétés par deux bouées équipées chacune de deux chaînes de thermistances, de longueurs respectives 25 m et 50 m, mesurant ainsi la température entre la surface et 75 m de profondeur (une chaîne de thermistances se compose de 10 capteurs de température équirépartis le long d'un câble électrique spécial, relié à un système d'enregistrement numérique placé dans un bidon

étanche), toujours à l'ouvert du détroit d'Hormuz, côté golfe d'Oman. Ces mouillages sont destinés à suivre l'évolution temporelle de la température des 75 premiers mètres de l'océan.

Deux profileurs de courant à effet Doppler (appareils acoustiques capables de mesurer les courants océaniques par tranches horizontales de 4 m d'épaisseur sur 100 m de profondeur à partir de leurs émetteurs) ont été mouillés dans le détroit d'Hormuz, par 100 m de profondeur environ, afin d'y mesurer les courants dus à la marée, au vent ou aux échanges d'eau entre le Golfe Persique et le Golfe d'Oman.

Enfin, à l'occasion de leurs transits, les deux bâtiments ont mis à l'eau des bouées dérivantes de type SURDRIFT.

## 3. D'ENTRECASTEAUX ET LAPLACE : À CHACUN SON RÔLE

Une fois ces divers équipements mis en place au début de la première phase de la campagne, les deux bâtiments ont poursuivi leur travail indépendamment l'un de l'autre, mais en étroite coopération notamment grâce aux liaisons Inmarsat.

Alors que le BO *D'Entrecasteaux* effectuait une reconnaissance hydrologique et courantométrique dans le golfe d'Oman, le BH *Laplace* effectuait le levé détaillé d'un dôme de sel dans l'Est du golfe Persique.

L'objectif de ce levé était de reconnaître, cartographier, autopsier si possible l'anatomie de ce relief géologique susceptible d'influencer notablement la propagation acoustique. Ce type de structure existe en de nombreux endroits de par le monde, mais bien souvent par grandes profondeurs. Le dôme étudié, situé par environ 30 m de fond, offrait une occasion unique d'étude dans des conditions presque idéales.

Pour effectuer ce travail, le BH *Laplace* a dû réaliser un premier levé bathymétrique couplé à un levé magnétométrique (mesure de l'intensité du champ magnétique terrestre) couvrant l'ensemble du dôme, soit un rectangle d'environ 5 milles par 6 milles. Ce premier levé a été complété en suivant les mêmes profils avec un sondeur de sédiments remorqué (sondeur acoustique particulier capable de mesurer l'épaisseur des sédiments sous le bateau qui le remorque).

Une fois la structure de ce dôme de sel caractérisée, des stations ont été réalisées avec une caméra vidéo sous-marine, en des points judicieusement choisis ; un sédimentologue de l'EPHOM a ainsi pu étudier la nature des fonds explorés. Bien sûr, chaque station a été complétée par un prélèvement de sédiments au moyen d'une benne preneuse Shipek. L'analyse de ces prélèvements sédimentaires permettra de préciser leurs caractéristiques, en particulier acoustiques.

Ce travail achevé, le BH *Laplace* a entrepris une série d'observations hydrologiques (mesures de profils verticaux de température et de salinité) dans le détroit d'Hormuz, avant de rejoindre le BO *D'Entrecasteaux* à Mascate pour une escale commune.

Le bilan provisoire dressé lors de cette escale a montré que les efforts conjugués des deux bâtiments avaient pour résultat d'une part un progrès significatif de nos connaissances de la nature des fonds dans la partie Est du golfe Persique et, d'autre part, une avancée considérable dans la connaissance du régime hydrologique de l'ensemble golfe Persique - détroit d'Hormuz - golfe d'Oman. Un des résultats est que le régime hydrologique, en particulier celui du détroit d'Hormuz, paraît beaucoup plus complexe que ne le laissait prévoir la littérature existante.

Les tout premiers résultats, obtenus en temps quasi-réel à bord du BO *D'Entrecasteaux*, ont pour l'essentiel confirmé la fiche de synthèse opérationnelle (FSO) éditée récemment par le SHOM, tout en la complétant et en apportant des éléments de réponse aux questions restées ouvertes. Après trois jours d'escale à Mascate, les deux bâtiments ont repris la mer pour la deuxième phase de cette campagne. Pendant que le *D'Entrecasteaux* effectuait des levés bathymétriques et gravimétriques (mesure de l'intensité du champ de la pesanteur terrestre) en même temps que des traits de Sea Soar (poisson ondulant entre 0 et 350 m, équipé de plusieurs capteurs hydro-biologiques), le BH *Laplace* effectuait de nouvelles observations hydrologiques dans le détroit d'Hormuz, en vue de repérer une variabilité temporelle éventuelle.

Avec son Sea Soar, le *D'Entrecasteaux* a pu préciser les conditions hydrologiques dans la partie Ouest du golfe d'Oman.

#### **4. QUAND D'ENTRECASTEAUX ET LAPLACE JOIGNENT LEURS EFFORTS A CEUX D'UN ATLANTIQUE 2, CELA FAIT DU BRUIT INTELLIGENT**

Après quelques jours de mer, les deux bâtiments se sont retrouvés au large de Mascate pour effectuer, pendant près de 6 jours, plusieurs expérimentations acoustiques.

La bouée Télémaque a été mouillée et relevée quatre fois pendant toute cette expérience, permettant ainsi à chaque fois d'étudier des conditions de propagation différentes en utilisant les résultats des travaux hydrologiques effectués par le BO *D'Entrecasteaux* durant la phase 1 et le début de la phase 2.

Durant le cours de cette expérience d'acoustique, un ATLANTIQUE 2 (ATL2) de la flottille 21F de Nîmes Garons a effectué deux vols de 7 heures chacun au-dessus du golfe d'Oman. Durant ces deux vols, l'ATL2 a largué au total 5 bouées type CMOD et environ 80 sondes AXBT et AXCTD. Les interventions de l'ATL2 ont permis de reconnaître rapidement la situation hydrologique de l'ensemble du golfe d'Oman, assurant une couverture quasi synoptique (" instantanée ", par rapport aux mesures qu'aurait pu faire un bateau) de l'expérience d'acoustique sous-marine.

A l'issue de cette expérience, les deux bâtiments se sont séparés.

#### **5. UN RETOUR CHARGÉ D'EXOTISME ET DE LABEURS**

Après 5 jours de bruit intense, le BO *D'Entrecasteaux* a pu souffler un peu, et a poursuivi sa reconnaissance hydrologique (remorquage Sea Soar) et géophysique (gravimétrie et bathymétrie) du golfe d'Oman.

Le BH *Laplace*, de son côté, a entrepris de compléter les informations déjà disponibles en vue de préciser le ou les trajets de la veine d'eau persique, en particulier dans la portion qui joint le détroit d'Hormuz (veine d'eau plaquée sur le fond, dans les chenaux, d'épaisseur 10 m environ) au début du plateau continental de la côte Nord d'Oman (veine d'eau plaquée le long du talus continental, à une immersion de l'ordre de 220 m).

A l'issue, il a effectué une dernière reconnaissance hydrologique du détroit d'Hormuz, avant de rejoindre le BO *D'Entrecasteaux* pour une escale commune à Dubay.

A la fin de cette escale, le BH *Laplace* est retourné à ses premières amours et à l'hydrographie, pour un levé au voisinage de l'île de Masirah, avant de transiter vers Brest où il est arrivé le 15 décembre 1999, après quelques escales pour rompre la monotonie du transit.

Le BO *D'Entrecasteaux*, quant à lui, a entamé seul la troisième et dernière phase de cette campagne en complétant par des mesures de géophysique et quelques carotages les observations effectuées par le BH *Laplace* sur le dôme de sel, dans l'Est du golfe Persique. Il a ensuite achevé ses opérations sur zone en relevant tous les équipements mouillés en début de la première phase.

Alors seulement, il a pu entamer un long transit qui, par le canal de Suez et le détroit de Gibraltar, l'a ramené à Brest le 10 décembre 1999.

#### **6. QUELQUES ÉLÉMENTS TECHNIQUES**

##### **Les bouées de type Surdrift**

Ces bouées, conçues par le SHOM, sont positionnées par GPS et transmettent leurs données à un centre à terre via les satellites du système ARGOS. Munies d'une ancre flottante dont l'immersion peut être ajustée selon les besoins entre 15 m et 1300 m, ces flotteurs dérivants sont entraînés par la masse d'eau située à l'immersion de leur ancre flottante. Il alors est possible de reconstituer la trajectoire de chaque flotteur, ce qui donne de précieuses indications sur les trajets suivis par les diverses masses d'eau en présence, leurs vitesses et les échanges éventuels au travers du détroit, ou la circulation dans le golfe d'Oman par exemple.

##### **"Eau persique", confirmation et découverte**

La présence d'une veine d'eau " persique " (issue du Golfe Persique, nettement plus chaude et plus salée que l'eau du Golfe d'Oman) le long du talus continental de la côte Nord d'Oman, à une immersion moyenne de 220m, est bien confirmée.

Par contre, alors que rien ne le laissait prévoir, des traces d'eau persique, plus ou moins diluées, sont trouvées presque en tout point du golfe d'Oman aux environ de 230 m d'immersion, élément de première importance pour tous ceux qui s'intéressent à la détection sous-marine dans cette région.

Les travaux hydrologiques réalisés par le BH *Laplace*, plus modestes du fait de la limitation des moyens mis à sa disposition, lui ont permis de suivre le trajet de cette eau persique, plaquée au fond en une couche de l'ordre de 10 m d'épaisseur seulement, depuis le détroit lui-même jusqu'au voisinage de son débouché dans le golfe d'Oman.

### Expérimentation acoustique

Le principe en est simple : une bouée, nommée Télémaque, est mouillée en un point donné. Elle supporte une antenne de réception acoustique sous-marine omnidirectionnelle ("flûte") et est ainsi capable d'enregistrer tous les bruits qui lui parviennent, en leur affectant une datation très précise. De plus cette bouée dispose d'un récepteur GPS qui lui assure une localisation de qualité. Afin de ne pas être perturbée par le bruit que pourrait engendrer un ancrage sur le fond, cette bouée dérive librement.

Une fois la bouée mise à l'eau, le BO *D'Entrecasteaux* se déplace selon des routes soigneusement choisies en remor-

quant une source acoustique de forte puissance (de l'ordre de 200 dB) dont les émissions ont lieu en des instants et selon un cycle parfaitement connu.

Après relecture des données enregistrées, la comparaison des signaux reçus aux signaux émis permettra de connaître les conditions de propagation réelles du son dans l'eau, et ainsi d'améliorer, à terme, les modèles numériques de portée Sonar.

Tout ceci repose pour une grande part sur une excellente connaissance des positions relatives du porteur et du récepteur, ainsi que sur une bonne connaissance de l'environnement océanique. Ce dernier point était dévolu au BH *Laplace* qui, tout en jouant le fidèle Cerbère de Télémaque en veillant à sa sécurité, a effectué des mesures de son environnement hydrologique.

### Les capteurs océanographiques largables par avion

Les bouées CMOD sont capables de mesurer la température de l'eau de mer en dix points équirépartis entre la surface et 100 m d'immersion. Un capteur de pression placé en partie basse de la chaîne de mesure permet de calculer l'immersion réelle de chaque capteur, ce qui améliore la qualité des mesures. Celles-ci sont retransmises à un centre à terre, via le système Argos. Ce centre traite les données et en transmet le résultat aux deux bâtiments via le système de

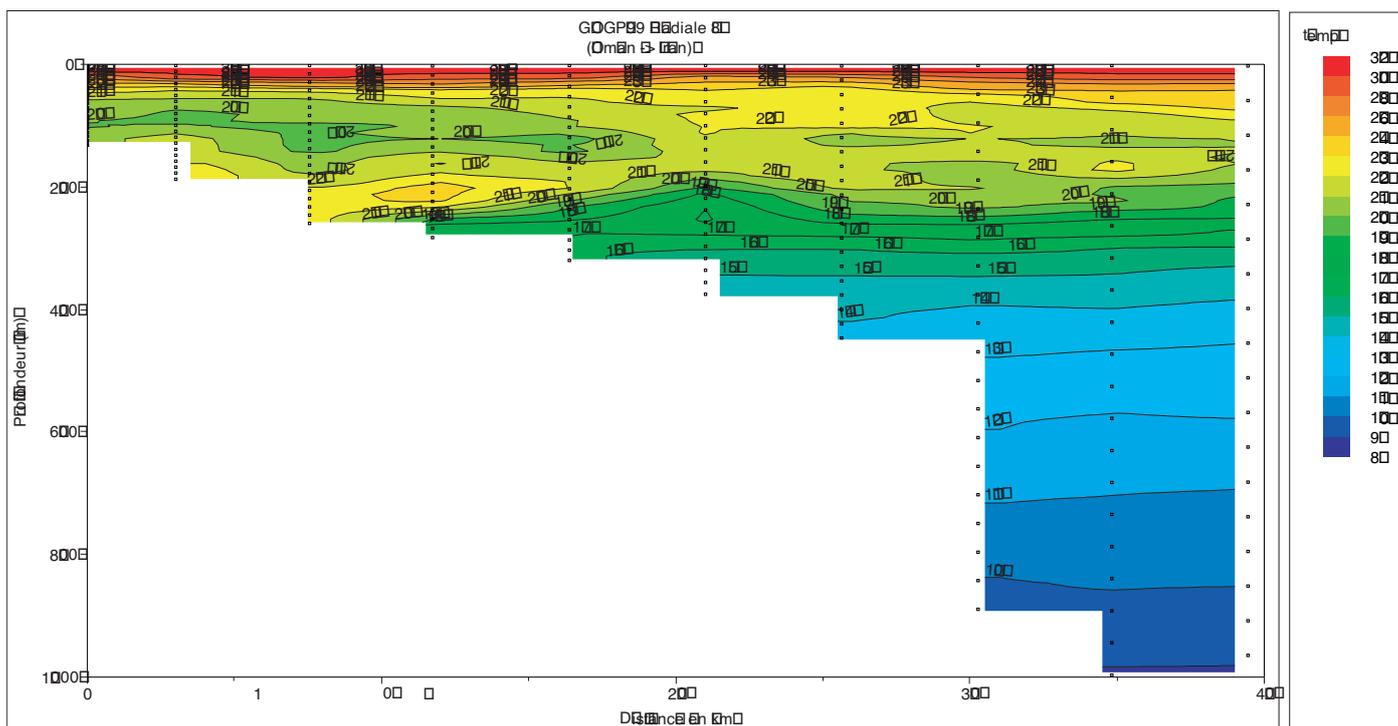


Figure \_ rad8temp.eps

Évolution spatiale de la température mesurée en station avec une bathysonde dans le golfe d'Oman, selon une radiale perpendiculaire à la côte omanaise.

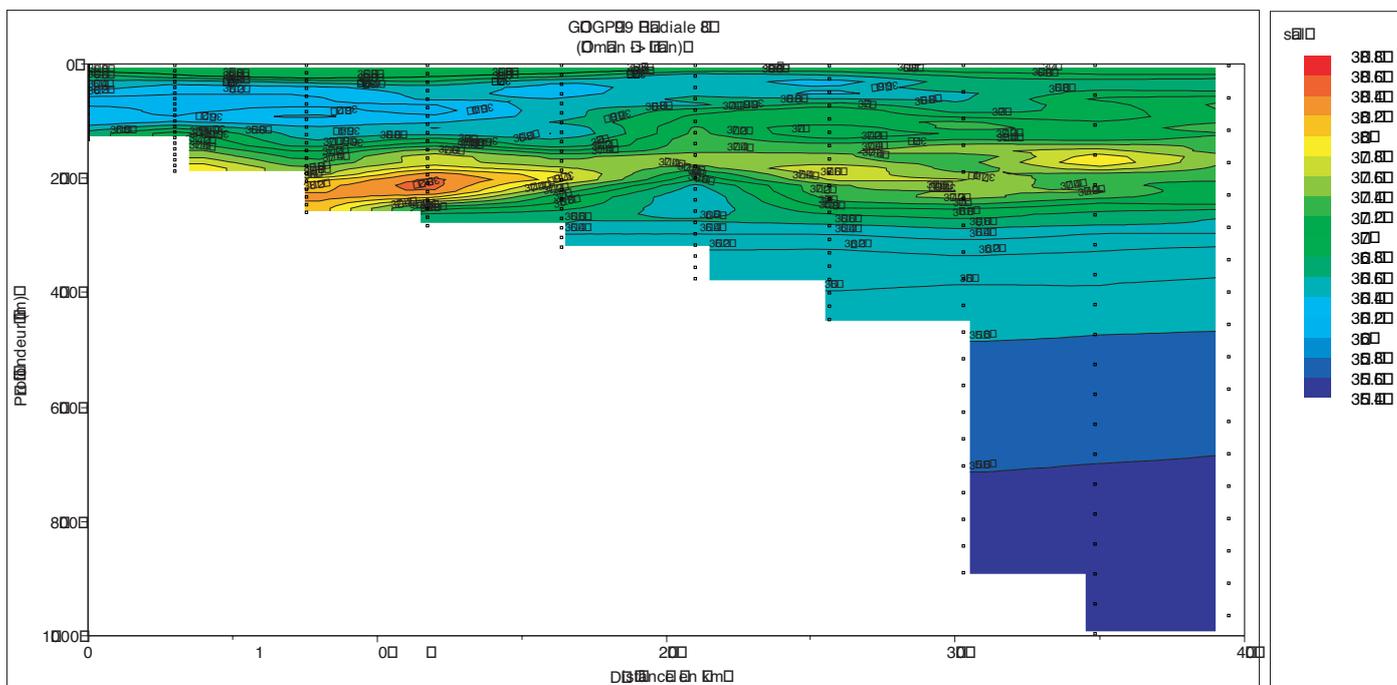
- *Noter, à 10 km des côtes omanaises, et par fonds de 200 m environ, la présence de la veine d'eau persique à peine marquée par un maximum relatif de température (température de 22 deg C) .*

communication Inmarsat. Les bouées ont une durée de vie théorique de 6 mois, pendant lesquels elles vont dériver dans le golfe d'Oman, donnant ainsi de précieuses informations, même après que les deux bâtiments auront quitté la zone.

Les sondes AXBT sont capables de mesurer la température de l'océan jusqu'à 800 m d'immersion environ. Pendant toute

la durée de la mesure, les données sont transmises par radio à l'avion qui les enregistre.

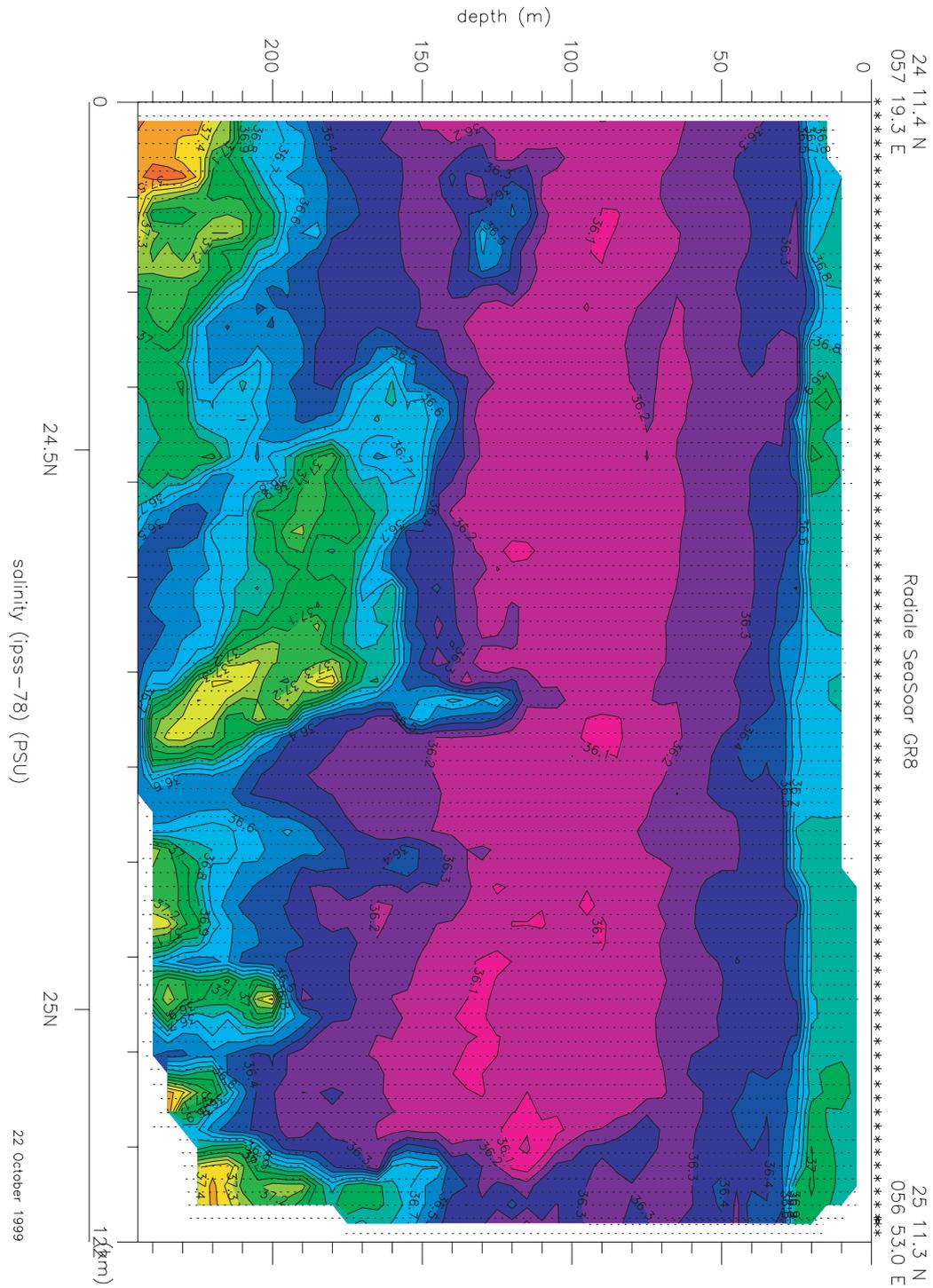
Les sondes AXCTD fonctionnent sur le même principe et mesurent la température mais aussi la salinité de l'eau de mer jusqu'à 1000 m environ.



figure\_rad8sal.eps

Évolution spatiale des salinités mesurées en station avec une bathysonde dans le golfe d'Oman, selon la même radiale.

- Noter, à 10 km des côtes omanaises, et par fonds de 200 m environ, la présence de la veine d'eau persique (maximum de salinité de 38.2), bien individualisée.
- Noter également l'accroissement relatif de la salinité entre les immersions 150 m et 250 m, traduisant une influence forte de l'eau persique à ce niveau tout le long de cette coupe.



figure\_rad8ss.ps

Évolution spatiale de la salinité mesurée en route avec un Sea Soar, selon une radiale parallèle aux isobathes, au voisinage des côtes omanaises dans le golfe d'Oman.

- Noter la présence de la veine d'eau persique marquée par des salinités supérieures à 36.6.
- Noter également l'hétérogénéité de cette veine qui paraît scindée en cellules consécutives.

# CAMPAGNE GOGP-99 : LEVÉS HYDROLOGIQUES PAR BOUÉES AÉROLARGABLES

Laurent HUBIN, premier maitre hydrographe  
Etablissement principal du SHOM — Centre militaire d'océanographie

## RÉSUMÉ

Lors de la campagne océanographique dans les golfes d'Oman et arabo-persique (GOGP-99), le SHOM a réalisé un levé hydrologique par bouées aérólargables. Sur les trois types de bouées utilisées, deux d'entre elles n'avaient jamais été certifiées pour une utilisation sur aéronef "Atlantique 2". Le SHOM a lancé une procédure de certification auprès des organismes de l'aéronautique navale concernés.

Dans une première partie, cet article présente le fonctionnement des bouées, donne une synthèse de la procédure de certification et décrit le domaine de vol autorisé pour leurs utilisations.

Dans une seconde partie, sont présentés la préparation et le déroulement de la phase aérienne de la campagne GOGP-99. La présentation des données recueillies et l'analyse de la qualité des mesures font l'objet de la troisième partie.

## ABSTRACT

During the oceanographic campaign in the gulf of Oman and the Persian gulf (GOGP- 99), SHOM has realised a hydrological survey by buoys releasable by aircraft. On the three types of used buoys, two of them had never been certified for an use on aircraft " Atlantique 2 ". SHOM has launched a procedure of certification with the military patrol aircraft technical centre.

In a first part, this article presents the buoys technical specifications, makes a synthesis of the procedure of certification and describes the domain of flight authorised for their uses.

In a second part, preparation and progress of the air phase of the survey GOGP-99 are presented. The presentation of collected data and the analysis of the quality of measurements are the object of the third part.

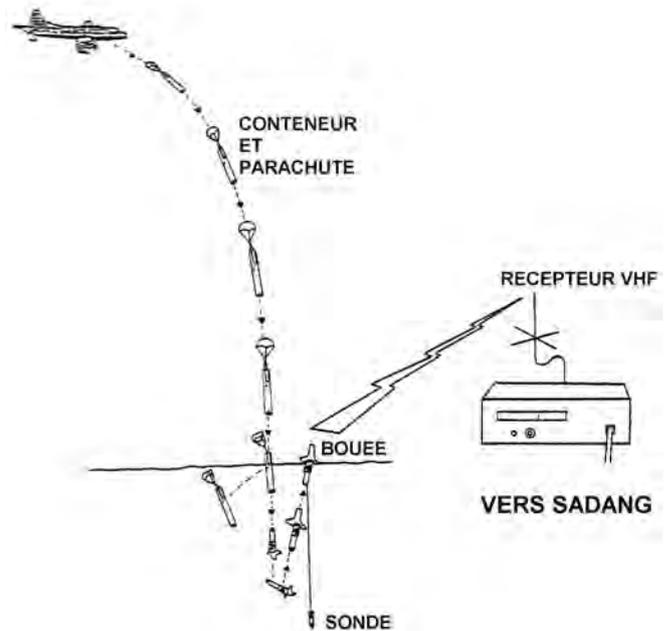
## TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. PRÉSENTATION DES BOUÉES .....	4-3
2. CERTIFICATION DES NOUVELLES BOUÉES .....	4-4
3. DÉROULEMENT DE LA PHASE AÉRIENNE .....	4-5
4. VALIDATION ET ANALYSE DES DONNÉES .....	4-7
5. RECOMMANDATIONS .....	4-10
6. CONCLUSIONS .....	4-10
7. VERS DES ÉVOLUTIONS PROMETTEUSES .....	4-10

Le golfe d'Oman et le golfe Persique (GOGP) ne sont qu'imparfaitement connus du point de vue océanographique. La plupart des données dans cette zone ont été collectées par des bâtiments de la marine nationale lors de transits et sur une longue période de temps ; avant GOGP en 1999 aucune campagne sur une courte période n'avait encore été dédiée à cette zone par le SHOM. En conséquence, les travaux océanographiques ont été orientés selon deux grands axes : l'étude du flux hydrologique échangé entre les deux golfes par le détroit d'Hormuz et la circulation de la veine d'eau persique le long des côtes omanaises.

Dans ce but et dans un besoin d'instantanéité lié aux évolutions rapides de ces deux phénomènes, le SHOM a été amené à entreprendre, pour la première fois, un levé hydrologique par moyen aérien et donc à utiliser trois types de bouées de mesures, largables par avion (AXBT, AXCTD et CMOD/Tz). Les avions chargés de ces missions sont depuis lors les Atlantique 2 (ATL2).

Deux des trois bouées n'ayant jamais été certifiées afin d'être utilisées sans danger par ce type d'avion, le SHOM a dû initier une demande de certification auprès du Centre d'Expérimentations Pratiques de l'Aéronautique navale (CEPA).



Principe de mise en oeuvre.



Un Atlantique 2.

## 1. PRÉSENTATION DES BOUÉES

La bouée AXBT (Aircraft eXpendable Bathy Thermograph), plus connue sous le nom SSQ 36 par le personnel de l'aéronautique navale, renferme une sonde qui mesure la température avec une précision de +/- 0,2°C. Le calcul de l'immersion atteint une précision de +/- 2%, avec une résolution verticale de 15 cm. La sonde AXBT peut atteindre une immersion de 1 000 m.

Immédiatement après le largage par l'avion, qui peut s'effectuer au plus à 30 000 pieds et à 360 nœuds, la bouée AXBT déploie son parachute qui stabilise, ralentit sa descente et contrôle son impact sur la surface de l'eau.

Après contact avec l'eau, la batterie à eau de mer se charge, le système de flottaison se gonfle rapidement, le conteneur de la bouée et le parachute se séparent et se sabordent.

Après une stabilisation de la température d'une durée de 40 secondes, un minutage amorce la libération de la sonde et permet l'émission du signal FM de 1 watt de l'émetteur VHF.



Conteneur et bouée AXBT.

La résistance de la thermistance de la sonde change en fonction de la température de l'eau. Lorsque la sonde descend, ces changements de résistance sont transformés en fréquences et sont transmis à la bouée par l'intermédiaire d'un fil fin métallique, reliant par le jeu de deux bobines, la sonde à la bouée en surface.

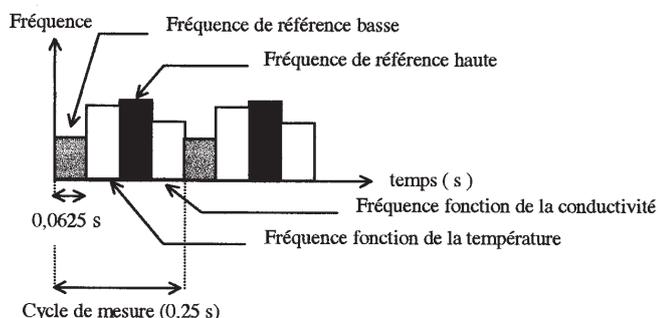
Les données sont transférées à l'avion sur l'un des trois canaux d'émission possibles, (12, 14 ou 16, sur les fréquences respectives 170,5, 172,0 et 173,5 MHz) par l'émetteur de la bouée. Les températures sont directement fonction de la fréquence modulée sur la porteuse (signal continu).

Le profil de température est visualisé et archivé sur un PC, lorsque que le porteur est muni du système d'acquisition adéquat.

Dans le cas de l'ATL2, le profil de température est visualisé sur l'écran de la console dédiée à l'écoute des bouées de lutte anti sous-marine (SADANG), tracé sur enregistreur papier et l'émission de la bouée enregistrée sur bande audio en analogique.

Lorsque la sonde a atteint son immersion maximale, l'émission est arrêtée automatiquement, libérant ainsi la fréquence, la bouée se dégonfle et l'ensemble coule.

La sonde AXCTD (Aircraft eXpendable Conductivity and Temperature Depth profiler) fonctionne selon le même principe que la sonde AXBT. Elle mesure, en plus de la température, la conductivité de l'eau. La sonde possède donc deux capteurs dont les données sont transmises sur les mêmes canaux que ceux de l'AXBT. Contrairement à l'AXBT, les fréquences correspondant à la température et à la conductivité sont modulées de manière cyclique sur la porteuse (voir figure ci-dessous) ; y sont incluses les fréquences de référence haute et basse (quatre émissions durant chacune 0,0625 s).



Signal de l'AXCTD.

La salinité, directement fonction de la température et de la conductivité, est ensuite calculée par le logiciel, seul apte à visualiser et archiver directement les profils mesurés. Lors de cette campagne, le signal d'émission des AXCTD a dû être enregistré sur bande audio en analogique. Ces enregistrements ont servi à simuler une acquisition en temps différé sur PC, générant ainsi les fichiers de données. A bord de l'ATL2 le signal peut être visualisé en temps réel par l'opérateur mais ne peut pas être interprété.



Conteneur, bouées, sondes et cartes d'acquisition.

La bouée CMOD est dérivante, elle libère une chaîne de 10 thermistances réparties de la surface à 100 m d'immersion (2,5 ; 7,5 ; 12,5 ; 17,5 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 75 et 100 m). Son principe de largage est le même que celui des sondes AXBT et AXCTD. Après contact avec l'eau, la batterie à eau de mer se charge, le système de flottaison se gonfle rapidement, le conteneur de la bouée et le parachute se séparent et se sabordent. La bouée libère sa chaîne de thermistances et commence sa transmission radio vers les satellites du système ARGOS, toutes les 90 secondes, pour une durée inférieure à 1 seconde sur la fréquence 401,65 MHz.



Bouée CMOD/Tz sans son conteneur.

## 2. CERTIFICATION DES NOUVELLES BOUÉES

Tout matériel destiné à être embarqué sur aéronef et qui plus est largué à partir de celui-ci, doit être testé et certifié. Une ouverture de domaine de vol découlant de ces essais doit être effectuée. Celui-ci fixe de manière stricte les conditions d'emploi du matériel.

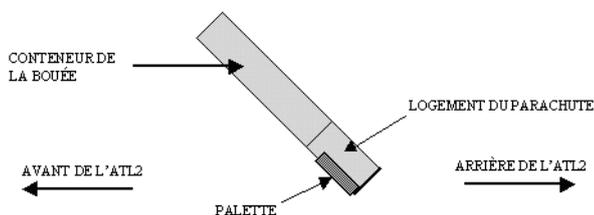
Dans ce cadre, les sondes de type AXBT étant déjà utilisées par les avions Atlantique 2 en lutte sous-marine, n'ont pas fait l'objet de certification à l'occasion de cette campagne.

Par contre le SHOM, pour l'utilisation des bouées CMOD/Tz et AXCTD, a donc fait une demande de certification. L'accord de principe a été donné par l'état-major de la Marine (EMM). La procédure de certification a été assouplie, s'appuyant sur l'avis donné par le Centre Technique des systèmes Navals (CTSN).

Cet assouplissement se traduit par la réduction d'utilisation au mode de largage par lanceur universel (LU). Il est à signaler que les bouées CMOD/Tz et AXCTD ont déjà été larguées par des aéronefs de l'US Navy. Il n'a pas été prévu qu'elles soient évaluées techniquement. Le CEPA par délégation du Centre d'Essai en Vol (CEV) a été chargé d'effectuer les essais en coopération avec le CTSN. Aucun contrôle de compatibilité électromagnétique n'a été prévu. L'étude du CEPA n'a pas porté sur l'enregistrement ni sur l'exploitation du signal. Ce dernier a été simplement enregistré sur bande 4115

en ce qui concerne la bouée AXCTD. L'émission du signal des bouées CMOD/Tz n'a pas été enregistré.

Les essais au sol ont consisté à vérifier la compatibilité de la sonde AXCTD et de la bouée CMOD avec le lanceur universel de l'ATL2, à mesurer le poids, la position du centre de gravité, la longueur et le diamètre des deux bouées. L'ergonomie du système de freinage, la forme aérodynamique, la nature et la rigidité de l'enveloppe et le système d'éjection du parachute ont été également vérifiés. Enfin la bouée AXCTD a été comparée avec la bouée AXBT qui lui est similaire. Les essais en vol quant à eux, ont permis de contrôler la séparation entre la bouée et l'aéronef ainsi que son fonctionnement après impact sur l'eau. Ils ont été effectués avec succès en septembre 1999 par un ATL2 sous la direction du CEPA à partir de la Base de l'Aéronautique Navale (BAN) de Hyères. Quatre bouées AXCTD et quatre bouées CMOD ont été larguées par le lanceur universel. Les trajectoires de séparations proches de l'avion ont été filmées par un aéronef d'accompagnement Nord 262. Les bouées ont été larguées parachute en bas, palette vers l'avant.



Largage d'une bouée AXCTD.

La visualisation des films montre que dans ce cas la séparation est saine et sans danger pour l'ATL2 et ceci pour les deux types de bouées.

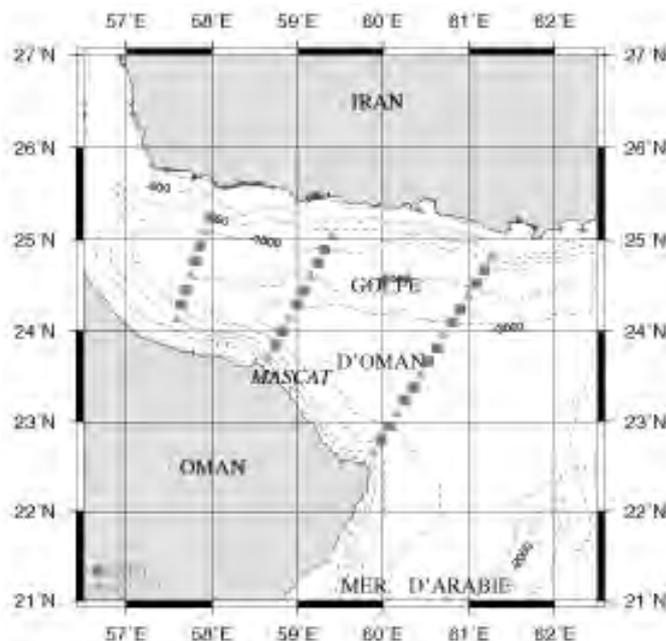
L'autorisation a donc été donnée pour un largage dans les conditions précisées par le domaine de largage restreint suivant:

- Vitesse : 180 +/- 10 nœuds
- Accélération verticale : 1 G
- Altitude : 1 000 à 1 500 pieds
- Roulis : +/- 30 degrés
- Dérapage : +/- 10 degrés
- Configuration avion : radôme sorti, soute fermée (Etat de mer max. < 5)

### 3. DÉROULEMENT DE LA PHASE AÉRIENNE

Les objectifs de la phase aérienne GOGP-99 étaient de compléter les observations effectuées par le BO *D'Entrecasteaux* et le BH2 *Laplace* par trois radiales AXCTD et AXBT, de fournir une vue d'ensemble de la situation hydrologique du golfe d'Oman, afin de compléter et orienter les mesures d'océanographie acoustique, par quatre radiales AXCTD et AXBT et enfin de mettre en place les bouées CMOD complétant les observations de deux mouillages effectués à l'ouvert du détroit d'Hormuz.

Les conditions de transport et de stockage, entraînées par une mission lointaine dans une zone climatique très chaude,



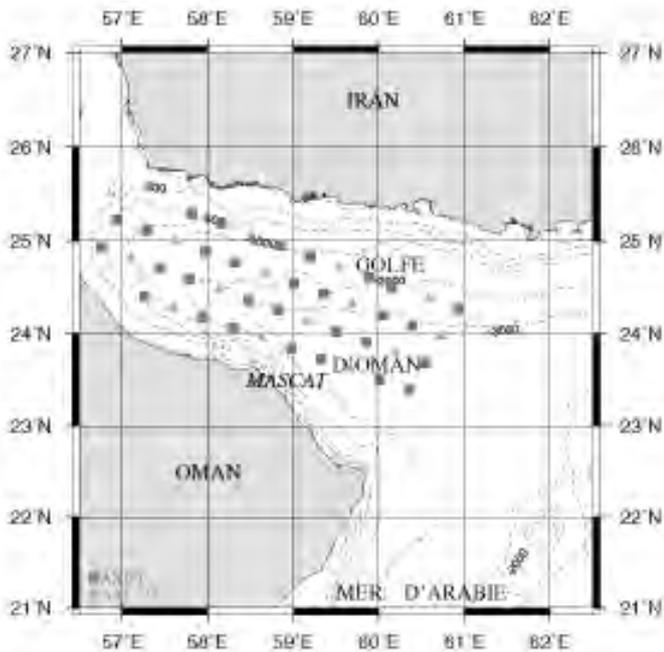
Les trois radiales du premier vol.

ont incité à la fabrication d'emballages spéciaux pour les bouées AXBT et AXCTD, les sondes devant être stockées à des températures comprises entre -20 et 40 °C et à l'abri de l'eau ou d'une humidité trop importante.

L'ensemble des bouées a pu ensuite transiter sans encombre jusqu'à Mascate (Sultanat d'Oman) dans la soute du *D'Entrecasteaux* où elles ont été débarquées après quelques petits problèmes de droit de douane, rapidement résolus par l'attaché militaire de l'ambassade. Enfin elles ont été convoyées jusqu'à l'aérodrome militaire de Seeb pour être entreposées dans des locaux climatisés, mis à disposition du détachement ATL2.

L'ensemble des éléments constitutifs de cette phase de GOGP-99 étant tous réunis, il ne restait plus qu'à mettre un point final à l'organisation avant le déroulement des opérations. Ce fut fait lors de la réunion (briefing) à Mascate entre l'équipage et les responsables de la mission, avant le premier vol. Les instructions techniques (IT) complémentaires concernant le levé aérien GOGP-99 avait été transmises à l'équipage de la flottille 21 F et étudiées par eux. Aucun problème concernant le déroulement du levé n'a été soulevé. Seules les positions de mouillages des bouées CMOD ont été alors précisées, comme il était prévu dans les IT. Un second briefing avec l'équipage seul a permis d'attribuer les rôles spécifiques à la mission et à organiser de manière pratique les largages. Ainsi, pour pouvoir palier les problèmes de place à bord et le court délai (environ 6 min) entre deux largages, tout en s'assurant que la bouée à larguer était du bon type et du bon canal, il a été décidé de numéroter les bouées.

Les deux vols ont lieu les 25 et 27 octobre 1999 au départ de l'aérodrome militaire de Seeb, près de Mascate. Le déroulement de la partie spécifique à l'emploi des différentes bouées a été le suivant :



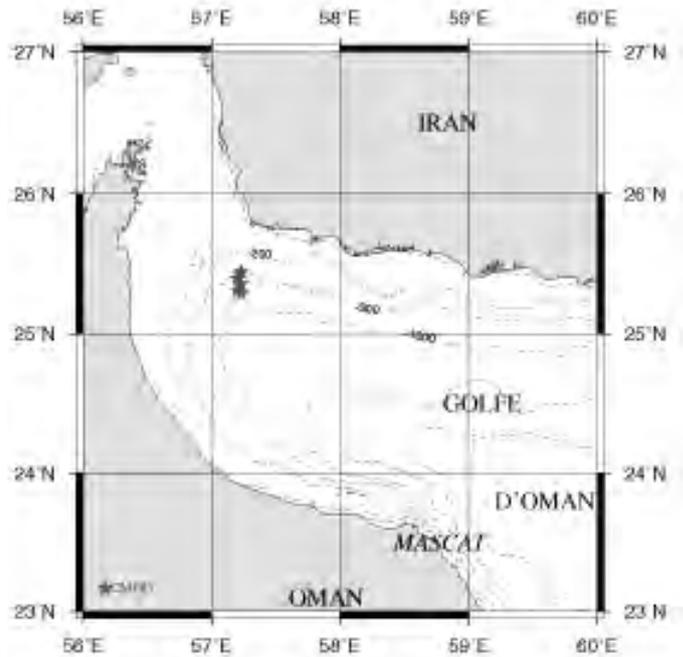
Les quatre radiales du second vol.

Pour la désignation du point de largage, les coordonnées de chaque point de la radiale sont entrées à partir de la console du coordinateur tactique. Le chef de bord et le pilote suivent les indications en azimuth/distance pour rallier chaque point. Avant le début de radiale, l'avion descend à l'altitude de 1 500 pieds, il est dépressurisé, la vitesse est réduite, la porte arrière donnant au sas du LU (Lanceur Universel) est ouverte. Le coordinateur tactique indique le temps restant avant le largage. Il donne confirmation du numéro et du type de la bouée à larguer. Celle-ci et les trois suivantes sont déstockées et placées dans la partie arrière de la coursive proche du sas.

Elles sont débarrassées du papier adhésif maintenant le "windflap", palette permettant la libération du parachute au contact du vent dû à la vitesse. A T-30 secondes le coordinateur tactique demande l'autorisation de larguer ; après réponse positive du chef de bord, la bouée est placée près du LU, prête à être larguée. A T-10 secondes, la bouée est placée parachute vers le bas dans le LU pour être lâchée au signal du coordinateur tactique. Avant de donner l'autorisation de largage, une veille attentive est effectuée ; des zones de fort trafic maritime et de pêche ont été souvent survolées. Pour chacun des "tops" de largage, l'heure et la position sont automatiquement enregistrées, le navigateur rentre les commentaires liés à la bouée (type et canal). Le déploiement du parachute et l'impact de la bouée en surface sont observés et peuvent permettre de déterminer en temps réel la cause éventuelle du non-fonctionnement de la bouée. Lors de la première phase, après chaque largage, un cercle d'une circonférence d'environ 10 nautiques est effectué autour du point de largage. Ceci afin de temporiser pour permettre d'écouter deux bouées émettant sur la même fréquence.

Le signal émis par les bouées est enregistré sur bande 4115

(lecteur 28 pistes), sur les pistes réservées à cet effet. Les pistes, heures de largages ainsi que tous les renseignements liés à l'enregistrement sont notés par les opérateurs. Les deux postes d'écoute et d'analyse des signaux (SADANG) ont été employés. Les opérateurs indiquent après chaque largage si la porteuse est audible et précisent la qualité du signal (brouillage, non-émission du signal modulé...). Ils ont pu visualiser uniquement les profils de température issus des AXBT.



Positions initiales des bouées CMOD.

Pendant la seconde phase aucun cercle n'a été effectué, la distance entre chaque point de largage le permettant. Il a été tenu compte de la qualité du signal reçu pour régler la vitesse.

En conclusion, l'opération de largage, l'écoute et l'enregistrement des bouées se sont déroulés sans aucun problème. L'organisation mise en place a permis ce bon déroulement. Néanmoins cinq bouées n'ont pas fonctionné, pour deux d'entre-elles aucune émission n'a été entendue (pas de porteuse et donc pas de signal modulé). Deux autres bouées de même type et même canal ont été larguées à la position prévue.

Pour une d'entre elles, seules la porteuse a été entendue. Et enfin deux autres ont eu un problème avec leur parachute. Elles se sont détruites lors du contact avec la surface de l'eau. Pour ces dernières, le largage n'a pas été doublé car aucune bouée de même type et de même canal n'était disponible. De plus, des impératifs opérationnels ne permettaient pas d'allonger la durée de vol.

Le seul réel problème est de ne pas avoir pu juger plus précisément de la qualité d'émission des bouées AXBT et AXCTD en temps réel, ce qui aurait pu permettre de doubler certains largages pour lesquels les signaux enregistrés se sont avérés inexploitable à posteriori.

#### 4. VALIDATION ET ANALYSE DES DONNÉES

Les signaux émis par les bouées ont été enregistrés sur bande 4115 (28 pistes) à bord de l'ATL2. Ces bandes enregistrent toutes les communications du bord ; 16 pistes sont réservées à l'écoute des bouées largables par l'aéronef. Ces pistes ont été utilisées pour l'enregistrement des bouées AXCTD et AXBT. Les deux consoles dédiées à l'acquisition des bouées se partagent ces 16 pistes.



Tranche tactique d'ATL2.

De retour en France, les différents enregistrements d'un même signal ont été comparés en les visualisant, afin de déterminer la meilleure piste enregistrée. Les bandes ont ensuite été copiées sur cassette DAT par le bureau analyse de la BAN Nimes-Garons pour être exploitées au CMO. L'acquisition, sur PC, d'un profil de température ou de température et salinité, a été ensuite simulée avec comme source l'enregistrement DAT.

L'utilisation des bouées CMOD, le recueil et la validation des données acquises sont totalement indépendantes du moyen

utilisé pour leur largage. Ainsi, ceux-ci ont fait l'objet d'un rapport particulier distinct.

A ce niveau de l'exploitation, l'ensemble du descriptif lié à chaque sondage est renseigné. Il comprend la date, l'heure, la position de largage et les principaux paramètres météorologiques. Le format de fichier issu de l'acquisition est transformé pour pouvoir être interprété par le logiciel de validation et d'archivage de sondes perdables (METOC) du CMO.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de la validation.

En résumé, les profils sont inexploitable pour les raisons suivantes :

- Profil " décalé " dû à un problème de thermistance a priori
- Profil trop parasité
- Profil parasité comportant trop peu de points de mesure corrects
- Profil " décalé " de manière non constante dû à un problème de coefficients d'étalonnage de la thermistance a priori
- Mise en évidence d'une mauvaise réception du signal (présence que de quelques points sur le profil)
- Manque un tronçon en début de profil

Lorsque les mesures sont exploitables, on constate que le profil peut être :

- Légèrement parasité, coupé à partir d'une immersion car trop parasité au-delà ou possédant trop peu de points de mesure corrects
- De bonne qualité (pas ou très peu parasité)
- Parasité avec une faible densité de points de mesure corrects sur certains tronçons
- Bruité en salinité

La qualité des profils n'a pu être que difficilement appréciée en temps réel. En effet, les profils de températures issus des AXBT ont été jugés exploitables selon les critères propres à leur utilisation habituelle en lutte anti sous-marine (mission de l'ATL2), leur qualité du point de vue hydrologique s'avérant parfois insuffisante. Ceci n'a pu être décelé qu'au moment du traitement des données. En ce qui concerne les

AXBT				
	exploitable	inexploitable	HS après largage	TOTAL
Phase 1	19	2	0	21
Phase 2	21	8	3	32
TOTAL	40	10	3	53
AXCTD				
	exploitable	inexploitable	HS après largage	TOTAL
Phase 1	6	7	1	14
Phase 2	6	7	1	14
TOTAL	12	14	2	28
				<b>81</b>

bouées AXCTD, seule a pu être constatée la bonne émission de la bouée (porteuse), la qualité du signal ne pouvant pas du tout être appréciée. Ceci est dû à l'origine du signal, qui ne peut pas être tracé de manière lisible ou interprétable sur les enregistreurs de l'ATL2, non prévus à cet effet.

Afin de déterminer les causes de mauvais fonctionnement, toutes les différences de paramètres entre les points de mesures ont été recensées. Ainsi la première différence est la méthode de largage et d'écoute. Elle a été différente selon les phases. Pour la première phase, les bouées étaient larguées tous les 10 nautiques ; un cercle de rayon de 3 km était effectué autour de chaque point de largage. Pendant la deuxième phase, les bouées étaient larguées en route, tous les 20 nautiques, sans manœuvre particulière. Les principales autres différences sont, l'utilisation de différents canaux d'émission, la nature du signal entre les deux types de bouées et la plus ou moins grande proximité des côtes, source de brouillages radio.

Pendant la récupération des données sur PC, il a été remarqué que sur certains profils de la première phase, des périodes de brouillage très marquées étaient suivies d'un fonctionnement correct ou vice versa. Les bouées émettant simultanément et sur des fréquences très proche, on a supposé qu'une bouée puisse parasiter une autre. Afin d'évaluer un éventuel brouillage des bouées entre elles, des graphiques des couples de bouées émettant simultanément ont été tracés. Ils représentent la qualité de réception, issue de la validation des données, de chaque bouée en fonction du temps. Pour des facilités d'interprétation, le temps est compté (T = 0) à partir du début du premier sondage. Pour les deux types de bouées le temps d'émission pris en compte est le temps d'émission maximum.

De tous les couples possibles, seul quatre peuvent être étudiés car étant relativement bien représentés. Il s'agit des couples AXBT 12 – AXCTD 16, AXCTD 12 – AXBT 14, AXBT 14 - AXBT 12, AXCTD 16 – AXBT 14.

Afin de démontrer un éventuel brouillage d'une bouée par l'autre, on cherche à déterminer si l'une ou l'autre des deux bouées est seulement parasitée pendant la période d'émission simultanée. Autrement dit, une bouée parasitée devrait fonctionner de nouveau correctement après la fin d'émission de la bouée qui la précède. Dans le cas du couple AXBT 12 - AXCTD 16, la fin d'émission de la bouée AXBT 12 correspond, deux fois sur dix, au début de la réception correcte de la bouée AXCTD 16. Il est difficile de pouvoir en tirer des conclusions, surtout que dans également deux cas, le début d'émission de la bouée AXCTD 16 est correct alors que la bouée AXBT 12 est toujours en émission. Il est peu probable que les bouées se brouillent entre elles.

Dans la plupart des cas de brouillage, ce sont les périodes de fonctionnement correct qui sont suivies d'un brouillage très marqué et ceci indépendamment de la période d'émission simultanée (cf. tableau ci-dessous). Ceci pourrait plutôt s'expliquer par l'éloignement de l'avion.

Localisation du brouillage sur le profil (phase 1)	Nombre de profils concernés
début	3
fin	8
aléatoire	10

Dans les cas où le brouillage est aléatoire, il est sûrement dû à une source extérieure.

Lors de la première phase, les bouées AXBT canal 14 ont eu un bon taux de réussite. Elles étaient réparties géographiquement sur toute la zone et n'ont pas subi l'influence d'éventuels brouillages, par des émissions radio provenant des côtes ou de bâtiments en mer. De plus, étant encadrées par d'autres types de sondes, de canal différent, elles n'ont pas non plus été parasitées par celles-ci. Le même constat est fait pour la seconde phase. L'éloignement entre l'aéronef et la bouée en fin d'acquisition était supérieur dans la seconde phase. La qualité des profils reste égale dans les deux cas. Le pourcentage de réussite global (critères : " profil de bonne qualité " et " exploitable au-delà de 300 m ") est de 95%, soit 22 bouées sur 23.

Les bouées AXBT canal 12 de la même phase ont donné de bons résultats (86% pour les mêmes critères), bien qu'étant parasitées. La répartition des sondages ne permet pas de déduire des zones géographiques particulières parasitées par d'autres émissions radio. Lors de la seconde phase, le taux d'échec est important (23% pour les mêmes critères) bien que les bouées, plus espacées, ne pouvaient se brouiller entre elles. Mais dans ce cas l'aéronef s'éloignait plus rapidement de la source que lors de la première phase. La réception du signal, en général, n'est pas très bonne en début d'émission et se dégrade ensuite. Par conséquent on peut penser que les AXBT canal 12 sont parasitées par une source extérieure. Les mauvais résultats sont dus à l'éloignement trop rapide des bouées.

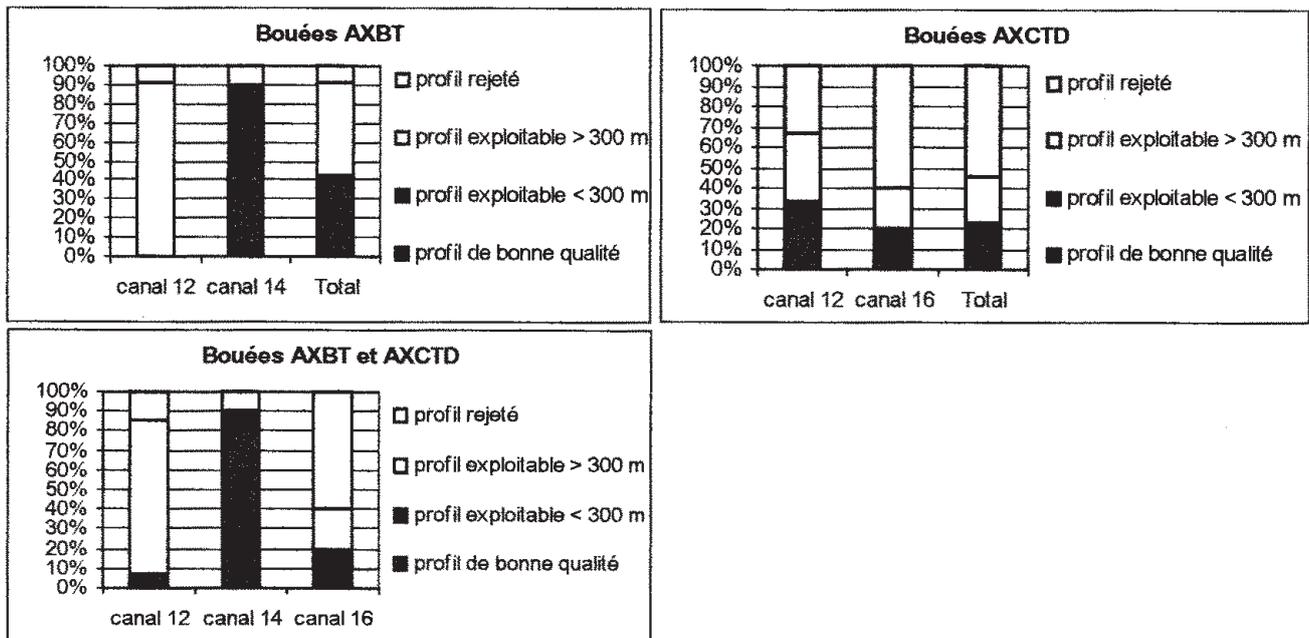
Le parasitage diminue la portée d'émission efficace. Les distances maximales d'éloignement étaient d'environ 18 nautiques pour la première phase et de 40 nautiques pour la seconde phase. Le pourcentage de réussite global est de 48%, soit 13 bouées sur 27.

Les bouées AXCTD semblent confirmer le brouillage du canal 12, le pourcentage de réussite global est de 44%, soit 4 bouées sur 9. Le canal 14 paraît moins parasité ; le pourcentage de réussite global est de 67%, soit 4 bouées sur 6. Cependant le petit nombre de bouées AXCTD larguées ne permet pas de tirer des conclusions directes sur l'occupation des divers canaux.

Les seules bouées larguées, émettant sur le canal 16 ont été des AXCTD. Le pourcentage de réussite global est de 42%, soit 11 bouées sur 26. A la vue de ces résultats, le canal 16 semble autant parasité que le canal 12.

Si l'on compare le taux de réussite des bouées AXBT et AXCTD émettant sur le même canal, on s'aperçoit que les AXCTD sont plus sensibles au brouillage. Leur fonctionnement semble l'expliquer. Pour le canal 12 relativement brouillé, le taux global de sondes totalement inexploitable est de 33% pour les AXBT et de 55% pour les AXCTD. Pour le canal 14 peu bruité, le taux d'échec des AXCTD s'élève tout de même à 33% (2 bouées sur 6).

Les résultats sont moyens ; 75,5% des bouées AXBT et 42,9 % des bouées AXCTD larguées ont été exploitées. Cependant, ces pourcentages ne tiennent pas compte de



Qualité des profils.

l'immersion maximale de la sonde qui peut être parfois faible (100 m).

L'échantillon n'est pas suffisamment représentatif pour permettre de tirer des conclusions générales, dans un premier temps, sur le brouillage des bouées entre elles et dans un second temps sur l'occupation des canaux d'émission. Cependant, dans le cas de la campagne GOGP-99 et à la vue des résultats, il semblerait que les bouées ne se brouillent pas entre elles et que le canal 14 (172 MHz) soit relativement libre dans le golfe d'Oman.

Les différences de fonctionnement entre les bouées AXBT et AXCTD ont mis en évidence de grosses inégalités au niveau de la qualité du signal.

Afin de parfaire l'analyse de la qualité des signaux enregistrés, il est important de signaler qu'un phénomène de diaphonie a été constaté à deux reprises sur les bandes. En effet, une partie du signal peut être enregistrée sur une piste proche de celle prévue.

Les pistes utilisées sont au nombre de 16, dont 8 sont lisibles en marche avant et 8 en marche arrière. Ce phénomène peut apparaître sur deux pistes symétriques (avant/arrière). Dans la plupart des cas, lors des radiales, deux bouées étaient écoutées simultanément et elles étaient enregistrées sur 8 pistes chacune.

Le tableau ci-dessous présente le couplage des pistes.

Il y a donc possibilité de diaphonie entre les pistes 5 et 17 par exemple. Pour éviter ce phénomène, il est préférable de ne pas enregistrer simultanément sur deux pistes couplées sur la même partition de bande.

Pour pallier un défaut d'enregistrement qui serait dû à la tête de lecture, il est tout de même recommandé d'enregistrer deux bouées émettant simultanément, sur 4 pistes chacune, comme suit :

Partition de la bande	A	B	C	D	E	F	G	H
N° piste avant	5	9	11	13	6	10	12	14
N° piste arrière	17	19	21	25	18	20	22	26

Partition de la bande	A	B	C	D	E	F	G	H
Bouée 1 (piste avant)	5		11		6		12	
Bouée 2 (piste arrière)		19		25		20		26

## 5. RECOMMANDATIONS

Les bouées ne se brouillent pas entre elles, lorsque les canaux utilisés sont différents. Il est primordial de respecter les temps d'émission ou tout du moins une grande distance entre deux points de largage, pour l'utilisation de deux bouées du même canal. En effet, pour certaines fréquences, elles peuvent être correctement captées au-delà de 40 nautiques à l'altitude de 1500 pieds ; c'est le cas du canal 14 lors de la seconde phase, ce qui pourtant peut être profitable dans le cas où, le temps de transit entre deux bouées réduit la possibilité de couvrir totalement la zone à explorer, par manque d'autonomie de l'aéronef.

Certains canaux sont plus ou moins brouillés par des émissions radio et ceci en fonction de la zone géographique. Il serait profitable d'écouter ces canaux sur zone afin de déterminer celui qui est le moins occupé. Lors de largages ponctuels, cette manière de faire reste possible, mais lors de radiales, où le nombre de sondes est élevé, cela devient problématique. Il faudrait embarquer la totalité des bouées à larguer pour trois canaux différents, ce qui pourrait être gênant par manque de place à bord.

La comparaison des résultats de la première phase et de la seconde phase semble montrer que la solution semble être pour l'instant, en attendant des bouées à 99 canaux, de ne pas s'éloigner trop vite de la bouée après le largage. C'est-à-dire de temporiser afin d'en n'être éloigné en fin d'émission que de 20 nautiques environ, en ce qui concerne les AXBT, et de 10 nautiques au maximum pour les AXCTD (cas de la première phase). Ces distances maximums arbitraires, issues des observations faites lors de la mission GOGP-99 pour des bouées non brouillées et pour des états de mer inférieurs ou égaux à 1, pourront être revues en fonction de nouvelles expériences. De la temporisation entre deux bouées découle le problème de l'autonomie de l'ATL2. En effet, le nombre de bouées larguées est moindre et la possibilité de couvrir une zone entière est diminuée. Il faut donc trouver un compromis entre la zone à couvrir, le nombre de bouées à larguer et le temps à consacrer à chaque bouée.

Il serait utile de pouvoir utiliser un tracé issu de l'enregistreur de l'ATL2, estimé correct du point de vue hydrologique après validation, pour juger de la qualité des profils lors de l'acquisition des bouées. Il serait alors possible en temps réel, par comparaison, de déterminer si le profil est exploitable. Ceci pourrait permettre de déterminer des critères d'exploitabilité plus fins que ceux utilisés à bord des ATL2 et qui seraient propres à l'hydrologie.

## 6. CONCLUSIONS

Le recueil des données à bord de l'ATL2 s'est avéré correct, malgré deux cas de diaphonie diminuant la qualité des profils. L'enregistrement à bord de l'ATL2 peut être fait selon la méthode proposée, afin d'éviter ce phénomène. Le processus de copie des données sur cassette DAT, effectuée par le bureau analyse de la BAN Nimes-Garons est long. En effet, la durée de copie d'un enregistrement est égale à la durée de son acquisition mais permet toutefois la conservation de la qualité des enregistrements. Cette méthode de récupéra-

tion de l'information était la seule utilisable lors de cette campagne. Cependant, de cette contrainte liée aux délais d'exploitation est née l'idée d'étudier un moyen de connexion directe entre le lecteur de bande 4115 et le PC muni du logiciel d'acquisition. Le traitement des données au sein du CMO n'a pas posé de gros problèmes. Le temps d'exploitation s'est néanmoins avéré long car l'enregistrement des données sur DAT a servi de source à la simulation d'acquisition sur PC. De plus le calage des bandes au début de chaque profil s'est parfois montré difficile.

La mission GOGP-99 a montré une certaine sensibilité des sondes AXCTD au brouillage. Les bouées de canaux différents ne semblent pas interférer entre elles. Le choix du canal, quel que soit le type de bouées, est primordial et l'éloignement de la source d'émission doit être choisi avec précaution.

Le largage de bouées pendant la campagne GOGP-99 a permis de couvrir une grande zone géographique en un temps minimum, fournissant un instantané de la situation hydrologique dans le Golfe d'Oman tout en complétant les mesures réalisées par les bâtiments océanographiques. Les mouillages des bouées CMOD ont également permis de compléter les mesures effectuées par les mouillages océanographiques en offrant l'avantage de la vitesse de mise en place. Ce genre de levé s'avère idéal dans les zones géographiques où les phénomènes océanographiques sont instables.

La phase aérienne de GOGP-99 a constitué une première et par conséquent a révélé des problèmes propres à l'inexpérience. Ceux-ci sont pratiquement tous liés à des problèmes de propagations des ondes hertziennes, difficilement prévisibles, qu'il est néanmoins important de résoudre afin d'améliorer le taux de réussite des sondages.

Il est profitable d'utiliser de nouveaux moyens pour répondre à de nouveaux besoins, même si ceux-ci sont peu connus et semblent n'avoir a priori aucun lien avec l'océanographie. Les missions sur ATL2, en étendant le rayon d'action des campagnes océanographiques du SHOM, ont permis de profiter de l'expérience et du professionnalisme des équipages d'ATL2 ainsi que de tout le personnel exploitant les bouées au sein de l'aéronautique navale. Ce type de coopération a poussé le SHOM à renouveler ce genre de levé.

## 7. VERS DES ÉVOLUTIONS PROMETTEUSES

En septembre 2000 et au large des côtes bretonnes a eu lieu la campagne MICADO. Dans le cadre de MELOMINT, système destiné à la prévision de la structure thermique des couches superficielles de l'océan, le CMO a organisé cette campagne. Celle-ci a permis l'acquisition de données de températures, assimilable par le système MELOMINT, afin de permettre à celui-ci de ne pas dériver. Les températures ont été mesurées à l'aide de sondes perdables de type AXBT (SSQ36), largables par aéronef, selon des radiales. Profitant de l'expérience de GOGP-99 et de la proximité du bureau analyse de la BAN de Lann-bihoué, les mesures (63 profils) ont été effectuées et mises à disposition en quelques

jours. Comme pour GOGP-99, les bandes de l'ATL2 ont été recopiées avant exploitation. La coordination entre les équipes d'ATL2, l'équipe du bureau analyse et les personnes du CMO, a permis de réduire considérablement le temps d'exploitation, accroissant ainsi la capacité opérationnelle d'un tel procédé. Depuis janvier 2002, le CMO est en mesure, grâce à une étroite collaboration avec le CEPA, d'enregistrer directement à bord de l'ATL2, les profils de températures et de salinités, par l'intermédiaire d'un PC. Ce système permettra de supprimer les étapes de copies sur cassette DAT et de relecture sur PC. Ce principe ouvre des perspectives réellement opérationnelles dans le cadre d'un REA (Rapid Environmental Assessment).

Les prochaines améliorations viendront, à coup sûr, de la mise en service prochaine des bouées AXBT (SSQ36) à 99 canaux sélectionnables et de la transmission des données par satellite, qui espérons le, sera installée un jour à bord des ATL2.

# NIVEAUX CARACTÉRISTIQUES ET COEFFICIENT DE MARÉE CALCUL DIRECT À L'AIDE DES CONSTANTES HARMONIQUES

Janvier 2001

par

Bernard Simon, ingénieur sous contrat  
Etablissement principal du SHOM, section géodésie-géophysique

## RÉSUMÉ

Les composantes harmoniques de la marée fournissent la possibilité de calculer, par un processus itératif, les niveaux caractéristiques de la marée utilisés en hydrographie. La méthode proposée, adaptée à tous les types de marée, permet également de préciser la notion de moyenne appliquée aux vives-eaux et aux mortes-eaux. Elle est susceptible, en outre, de fournir la définition d'un coefficient de marée de portée universelle compatible avec le coefficient défini par Laplace.

## ABSTRACT

*Processing tidal harmonic constituents allows calculation of tidal reference levels in use in hydrography, through iterative technique. This direct method is adapted to any type of tide and provides a way of defining precisely notions of mean spring tide and mean neap tide. In addition, it might give the opportunity of defining a universal coefficient compatible with the Laplace coefficient which is so popular in France.*

# TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>5-3</b>
<b>2. FORMULE HARMONIQUE DE LA MARÉE</b> .....	<b>5-3</b>
<b>3. NIVEAUX EXTRÊMES</b> .....	<b>5-3</b>
Recherche de la solution approchée .....	5-4
Marée diurne .....	5-4
Marée semi-diurne .....	5-4
Marée à forte inégalité diurne ou mixte .....	5-5
Ondes de petit fond .....	5-6
<b>4. VIVE-EAU MOYENNE</b> .....	<b>5-6</b>
<b>5. COEFFICIENT DE MARÉE</b> .....	<b>5-7</b>
Calcul du coefficient par la formule harmonique .....	5-8
<b>6. QUELQUES RÉSULTATS</b> .....	<b>5-8</b>
Plus basses mers .....	5-8
Niveaux caractéristiques .....	5-8
Coefficients .....	5-9
<b>7. CONCLUSION</b> .....	<b>5-11</b>

## 1. INTRODUCTION

Selon une recommandation de l'Organisation Hydrographique Internationale, le zéro hydrographique devrait être choisi au voisinage du niveau des plus basses mers théoriques. La procédure recommandée pour situer ce niveau consiste à effectuer une prédiction sur une période de 19 années et à retenir la hauteur de la plus basse mer. Cette méthode repose sur l'idée très répandue que la marée est un phénomène à peu près périodique dont la période est celle de la révolution (rapportée au point vernal) du nœud ascendant de la lune, égale approximativement à 18,61 ans. Or cette idée est fautive. En particulier, il est impossible de prétendre que, sur une période donnée, quelle qu'elle soit, on aura observé le niveau des plus basses mers ou des plus hautes mers. On peut évidemment accepter une certaine imprécision, mais, d'une part il est difficile de la chiffrer, d'autre part il existe une solution alternative plus satisfaisante.

La méthode proposée, consistant en un calcul direct à partir des composantes harmoniques de la marée, est plus rigoureuse et plus simple à mettre en œuvre. Elle peut également être appliquée au calcul des hauteurs des plus hautes mers, des pleines mers et des basses mers de vive-eau moyenne, et donne la possibilité de définir un coefficient de marée de portée universelle.

## 2. FORMULE HARMONIQUE DE LA MARÉE

La hauteur de la marée a pour expression en fonction du temps :

$$H(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^{i=N} A_i \cos(V_i - G_i)$$

Dans cette expression,  $Z_0$  est le niveau moyen,  $A_i$  l'amplitude,  $V_i$  l'argument du cosinus dans le développement harmonique du potentiel générateur de la marée, et  $G_i$  la " situation " de la composante  $i$ . La situation d'une composante harmonique de la marée représente son retard exprimé en angle, par rapport à la composante correspondante du potentiel (pour obtenir son retard exprimé en temps, il suffit de la diviser par la vitesse angulaire  $\frac{dV_i}{dt}$ ).

$Z_0$ ,  $A_i$  et  $G_i$  sont constants en un lieu donné.

Seul  $V_i$  dépend du temps. On l'exprime généralement à l'aide des éléments astronomiques suivants dans lesquels  $T$  est le temps exprimé en siècles juliens de 36525 jours de temps moyen, écoulés depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2000 à midi temps civil local.  $t$  est l'heure, exprimée également en temps civil local.

On montre que ces six paramètres indépendants suffisent à décrire le mouvement des trois corps terre, lune et soleil, et la rotation terrestre, dans l'hypothèse d'une terre rigide sphérique et homogène et en négligeant l'influence des planètes. Les termes en  $T^2$  peuvent être négligés sur une période de quelques siècles.

$$V_i = n_{1i}\tau + n_{2i}s + n_{3i}h + n_{4i}p + n_{5i}N' + n_{6i}p_1 + n_{7i}\frac{\pi}{2}$$

que l'on peut mettre sous la forme :

$$V_i = \overrightarrow{N}_i \overrightarrow{X} + n_{7i} \frac{\pi}{2}$$

$V_i$  est donc fonction linéaire du vecteur  $\overrightarrow{X}$  de composantes  $\{\tau, s, h, N', p_1\}$

## 3. NIVEAUX EXTRÊMES

La hauteur  $H$  est une fonction  $\Psi(\overrightarrow{X})$  de période  $2\pi$  par rapport à chacune des composantes de  $\overrightarrow{X}$ . Le fait que les périodes de ces composantes soient incommensurables

deux à deux entraîne que  $\Psi(\overrightarrow{X})$  n'est pas elle-même une fonction périodique. Il en résulte qu'une valeur donnée de  $\overrightarrow{X}$  ne peut être atteinte en un temps fini. On ne cherchera donc pas la solution du problème sous la forme d'une fonction explicite du temps, mais d'une fonction de chacune des variables astronomiques indépendantes, qui constituent autant de degrés de liberté du système .

Les niveaux extrêmes sont ceux pour lesquels  $\overrightarrow{\text{grad}}(\Psi) = 0$  soit :

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = \frac{\partial \Psi}{\partial s} = \frac{\partial \Psi}{\partial h} = \frac{\partial \Psi}{\partial p} = \frac{\partial \Psi}{\partial N'} = \frac{\partial \Psi}{\partial p_1} = 0$$

Symbole	Valeur en fonction du temps (°)	Grandeur physique
$\tau$	$15t + h - s$	Temps lunaire moyen local
$s$	$218,3165 + 481267,8804 T - 0,0016 T^2$	Longitude moyenne de la lune
$h$	$280,4661 + 36000,7698 T + 0,0003 T^2$	Longitude moyenne du soleil
$p$	$83,3535 + 4069,0215 T - 0,103 T^2$	Longitude moyenne du périégée lunaire
$N'$	$234,555 + 1934,1363 T + 0,0021 T^2$	Opposé de la longitude moyenne du nœud ascendant de la lune
$p_1$	$282,9384 + 1,7195 T + 0,0005 T^2$	Longitude moyenne du périégée solaire

Ces égalités constituent un système d'équations que leur caractère transcendant interdit de résoudre directement. En désignant par  $x$  une variable astronomique, il est nécessaire de recourir à des approximations successives du type

$$\frac{\partial \Psi(\bar{X})}{\partial x} = \frac{\partial \Psi(\bar{X}_0)}{\partial x} + (\bar{X} - \bar{X}_0) \frac{\partial^2 \Psi(\bar{X}_0)}{\partial x^2} = 0$$

où,  $\bar{X}_0$  étant une solution approchée,  $\bar{X}$  constitue une meilleure approximation :

$$\bar{X} = \bar{X}_0 - \frac{\partial \Psi(\bar{X}_0)}{\partial x} / \frac{\partial^2 \Psi(\bar{X}_0)}{\partial x^2}$$

Le problème consiste désormais à rechercher la solution approchée  $\bar{X}_0$ , ou en d'autres termes, les valeurs de  $\tau, s, h, N'$ , et  $p_1$  suffisamment proches de la solution pour que la convergence vers cette solution soit assurée.

### Recherche de la solution approchée

D'emblée, il est nécessaire de distinguer les types de marée semi-diurne et diurne. Les cas litigieux, que peuvent représenter les marées mixtes ou à forte inégalité diurne feront l'objet des deux types de traitement, diurne et semi-diurne, afin de permettre le choix de la meilleure solution.

L'idée initiale est que l'amplitude de la marée est une fonction croissante du potentiel générateur, décalé dans le temps de l'âge de la marée. C'est toujours vrai si les composantes d'interactions non linéaires sont suffisamment faibles. Les marées pour lesquelles cette condition n'est pas remplie feront l'objet d'un traitement spécifique.

Le périhélie solaire a un mouvement très lent, inférieur à 2° par siècle. On le considérera comme fixe en adoptant la valeur constante  $p_1 = 238^\circ$  qui est celle du début du XXI<sup>e</sup> siècle. Rien ne s'opposerait, au prix d'un léger allongement des temps de calcul, à prendre en compte son mouvement, mais les valeurs extrêmes ainsi calculées ne seraient atteintes que dans une quarantaine de siècles, ce qui ne présente évidemment aucun intérêt pratique.

### Marée diurne

Le nœud ascendant de la lune joue un rôle différent pour les composantes diurnes et semi-diurnes. L'inclinaison de l'orbite de la lune est maximale (égale à 28,6°) lorsque  $N'$  est nul et minimale (égale à 18,3°) lorsque  $N'$  est égal à 180°. Les ondes diurnes sont d'autant plus importantes que la déclinaison est importante. On choisira donc pour le maximum diurne une valeur initiale de  $N'$  égale à 0°.

Le maximum d'action des astres pour la marée diurne est obtenu dans les conditions suivantes :

- déclinaison maximum :  $h = s = \frac{\pi}{2} + k\pi$

- lune au périhélie :  $p = s + 2k\pi$

- passage au méridien :  $\tau = 2k\pi$  (pleine mer) ou

$\tau = \pi + 2k\pi$  (basse mer)

Mais le maximum d'amplitude de la marée ne se produit pas au même instant. Il faut tenir compte de l'âge de la marée

diurne qui se traduit par un certain retard de la marée sur l'action des astres. Les égalités précédentes doivent être corrigées pour en tenir compte. Les constantes harmoniques de la marée nous en donnent la possibilité. Les arguments du cosinus ( $\Phi_j = V_j - G_j$ ) des quatre principales composantes de la marée diurne ( $Q_1, O_1, P_1, K_1$ ) fournissent les quatre relations nécessaires pour obtenir les valeurs de  $\tau, s, h$  et  $p$  correspondant à la condition initiale recherchée :

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{Q_1} &= \tau - 2s + p - G_{Q_1} - \frac{\pi}{2} \\ \Phi_{O_1} &= \tau - s - G_{O_1} - \frac{\pi}{2} \\ \Phi_{P_1} &= \tau + s - 2h - G_{P_1} - \frac{\pi}{2} \\ \Phi_{K_1} &= \tau + s - G_{K_1} + \frac{\pi}{2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \tau_{01} &= \frac{G_{O_1} + G_{K_1}}{2} + k_r \pi \\ s_{01} &= \frac{G_{K_1} - G_{O_1}}{2} - \frac{\pi}{2} + k_s \pi \\ h_{01} &= \frac{G_{K_1} - G_{P_1}}{2} - \frac{\pi}{2} + k_h \pi \\ p_{01} &= \frac{2G_{Q_1} + G_{K_1} - 3G_{O_1}}{2} - \frac{\pi}{2} + k_p \pi \end{aligned} \right.$$

$k_r$  est paire pour les pleines mers et impaire pour les basses mers.

On pourra adopter  $k_p = k_s$  car le maximum d'action se situe au voisinage du passage de la lune au périhélie.

Afin de déterminer les pleines mers et les basses mers extrêmes, le processus itératif sera mis en œuvre tour à tour avec les 8 conditions initiales, correspondant aux valeurs de  $k_r, k_s$  et  $k_h$  égales à 0 ou 1.

### Marée semi-diurne

Pour les composantes semi-diurnes, le choix de la condition initiale pour  $N'$  est moins évident, puisque la vive-eau extrême recherchée intervenant au voisinage du passage de la lune à l'équateur, la valeur de l'inclinaison de l'orbite ne présente pas a priori la même importance. Néanmoins, compte tenu des irrégularités de la propagation de la marée, le maximum d'amplitude ne correspond pas exactement au passage de la lune à l'équateur et les composantes semi-diurnes sont alors plus importantes lorsque la déclinaison est faible. On choisira donc pour le maximum semi-diurne, une valeur initiale de  $N'$  égale à 180° qui correspond aux variations les plus faibles de la déclinaison de la lune.

Le maximum d'action pour la marée semi-diurne correspond aux conditions suivantes :

- astres à l'équateur :  $h = s + k\pi$

- lune à son périhélie :  $p = s + 2k\pi$

- pleines mers :  $\tau = k\pi$

$$\tau = \frac{\pi}{2} + k\pi$$

- basses mers :  $\tau = \frac{\pi}{2}$

De même que pour le cas diurne, les conditions initiales recherchées correspondant aux marées extrêmes peuvent être déduites des arguments du cosinus ( $\Phi_j = V_j - G_j$ ) des quatre principales composantes de la marée semi-diurne ( $N_2, M_2, S_2, K_2$ ) :

$$\left. \begin{array}{l} \Phi_{N_2} = 2\tau - s + p - G_{N_2} \\ \Phi_{M_2} = 2\tau - G_{M_2} \\ \Phi_{S_2} = 2\tau + 2s - 2h - G_{S_2} \\ \Phi_{K_2} = 2\tau + 2s - G_{K_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \tau_{02} = \frac{G_{M_2}}{2} + k_\tau \frac{\pi}{2} \\ s_{02} = \frac{G_{K_2} - G_{M_2}}{2} + k_s \pi \\ h_{02} = \frac{G_{K_2} - G_{S_2}}{2} + k_h \pi \\ p_{02} = \frac{2G_{N_2} + G_{K_2} - 3G_{M_2}}{2} + k_p \pi \end{array} \right.$$

$k_\tau$  est paire pour les pleines mers et impaire pour les basses mers. Le maximum d'action se produit au voisinage du passage de la lune à son périégée : on adoptera  $k_p = k_s$ .

Comme pour le cas diurne, le processus itératif sera mis en œuvre tour à tour avec les 8 conditions initiales, correspondant aux valeurs de  $k_\tau$ ,  $k_s$ ,  $k_p$  égales à 0 ou 1.

### Marée à forte inégalité diurne ou mixte

Il est à craindre, dans ce cas, qu'un niveau extrême de marée puisse ne pas correspondre à un point de convergence du processus itératif. Considérons, pour simplifier, le cas de la marée réduite aux composantes diurne et semi-diurne, dans l'hypothèse (justifiée dans ce cas) où les amplitudes et phases varient suffisamment lentement pendant un cycle de marée pour être considérées comme constantes.

$$H(t) = R_1 \cos(\tau - \alpha_1) + R_2 \cos(2\tau - \alpha_2)$$

$$\text{en posant : } \theta = \tau - \frac{\alpha_2}{2},$$

$$\text{et } \beta = \alpha_1 - \frac{\alpha_2}{2}$$

$$H(t) = R_1 \cos(\theta - \beta) + R_2 \cos(2\theta)$$

On montre que si :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R_1}{R_2} \geq 4, \text{ il y a toujours une pleine mer et une basse mer par jour} \\ \frac{R_1}{R_2} \leq 2, \text{ il y a toujours deux pleines mers et deux basses mers par jour} \\ 2 \leq \frac{R_1}{R_2} \leq 4, \text{ le nombre de pleines et basses mers (soit deux, soit quatre) dépend de la valeur de } \beta \end{array} \right.$$

Rappelons que  $\Psi(\bar{X})$  est périodique de période  $2\pi$  par rapport à chacune des variables astronomiques. Prenons par exemple le cas de  $h$ , la longitude moyenne du soleil. En période de vive-eau, la composante semi-diurne passe par un maximum lorsque  $h$  est voisin de  $0$ , ou  $\pi$ , tandis que la composante diurne passe par un maximum lorsque  $h$  est

voisin de  $\frac{\pi}{2}$  ou  $\frac{3\pi}{2}$ . En fixant les autres variables astro-

nomiques à leur valeur initiale, la superposition des composantes diurne et semi-diurne se traduit par la somme de deux sinusôides approximativement en opposition de phase.

Le maximum est voisin, soit de  $0$ , soit de  $\frac{\pi}{2}$  (à  $\pi$  près)

selon l'importance relative des composantes diurne et semi-diurne au voisinage de leur valeur maximale, ce qui signifie qu'en choisissant les quatre valeurs initiales voi-

sines de  $k\frac{\pi}{2}$ , ( $k = 0, 1, 2, 3$ ) on est sûr de couvrir toutes

les possibilités. Le même raisonnement peut être fait pour  $s$ . Le nombre de valeurs initiales attribuées à  $\tau$  sera donc égal

à 2 si  $\frac{R_1}{R_2} \geq 4$  et égal à 4 dans les autres cas.

Concernant la longitude moyenne du périégée lunaire  $p$ , pour la composante diurne comme pour la composante semi-diurne, le maximum d'action a lieu au moment du passage au périégée. Le fait que les âges de marée diurne et semi-diurne soient différents n'a pas d'importance pratique,  $p$  ayant une période voisine de 9 ans, toujours très grande devant l'âge de la marée : le choix d'une valeur initiale de  $p$  proche de  $s$  peut être adopté sans inconvénient.

Il résulte des considérations précédentes, que dans le cas où la marée est du type à forte inégalité diurne ou mixte, la procédure consistera à traiter le cas diurne et le cas semi-diurne séparément et à choisir le résultat correspondant à l'extremum recherché.

### Ondes de petit fond

Lorsque les ondes quart-diurnes ou sixième-diurnes sont importantes, il peut se produire les phénomènes de doubles pleines mers ou doubles basses mers, entraînant la convergence du processus itératif en un point qui ne correspond pas nécessairement à une pleine mer ou une basse mer extrême. La procédure adoptée consiste, dans un premier temps, à détecter les situations où ce phénomène risque de se produire, puis le cas échéant, à augmenter en conséquence le nombre de valeurs initiales de  $\tau$ .

Le raisonnement est le même que celui qui a consisté à rechercher le nombre de pleines et basses mers dans la superposition des composantes diurne et semi-diurne : en appelant  $R_2$  l'amplitude de la composante semi-diurne,  $R_4$  l'amplitude de la composante quart diurne et  $R_6$  l'amplitude de la composante sixième diurne, on recherchera systéma-

tiquement 8 pleines et basses mers si  $\frac{R_4}{R_2} > 0,25$  et 16 pleines et basses mers si  $\frac{R_6}{R_2} > 0,0625$ .

### 4. VIVE-EAU MOYENNE

Selon une norme adoptée au SHOM, la vive-eau moyenne est souvent définie, en particulier pour les ports d'outre-mer où les observations sont peu nombreuses, à l'aide des deux composantes principales semi-diurnes d'une part et diurnes d'autre part. En appelant  $NM$  le niveau moyen :

Pour les marées à forte inégalité diurne, une formulation un peu plus compliquée, faisant intervenir le déphasage entre la composante semi-diurne moyenne et la composante diurne en période de vive-eau est adoptée.

Ces formules présentent l'avantage de la simplicité, et prises comme des définitions elles peuvent acquérir un caractère incontestable. Cependant, elles peuvent difficilement être considérées comme satisfaisantes, tout au moins en tant que valeurs moyennes, car elles ne fournissent pas les résultats obtenus lorsqu'on effectue la moyenne des hauteurs de pleines mers ou de basses mers observées en situation de vive-eau et de morte-eau. Le fait par exemple que la hauteur des pleines mers de vive-eau moyenne ainsi définie ne soit pas identique à la moyenne des pleines mers de vive-eau est source de confusion.

Examinons par exemple le cas du Havre :

$$\left. \begin{array}{l} NM = 487,7 \text{ cm} \\ A_{M_2} = 261,6 \text{ cm} \\ A_{S_2} = 87,6 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} PMVE = 837 \text{ cm} \\ BMVE = 139 \text{ cm} \end{cases}$$

Or les hauteurs moyennes des pleines mers et des basses mers de vive-eau sont respectivement **790** cm et **120** cm. Ces écarts, respectivement de **47** cm en pleine mer et **19** cm en basse mer sont trop importants pour que l'on puisse assimiler ces deux modes de détermination.

Il y a donc effectivement confusion, car deux définitions cohabitent, au moins pour ce qui concerne les annuaires français. En fait dans les ports où les interactions non linéaires sont importantes, la formulation simplifiée est inadaptée. Dans le cas précis du Havre, par exemple, la hauteur de pleine mer de vive-eau moyenne issue de la formulation simplifiée (**837** cm) est très proche de la hauteur maximale théorique (**842** cm) ce qui ne correspond évidemment pas à la réalité.

$$\text{Marée semi - diurne} \left\{ \begin{array}{l} \text{hauteur de pleine mer de vive - eau : } PMVE = NM + (A_{M_2} + A_{S_2}) \\ \text{hauteur de pleine mer de morte - eau : } PMME = NM + (A_{M_2} - A_{S_2}) \\ \text{hauteur de basse mer de morte - eau : } BMME = NM - (A_{M_2} - A_{S_2}) \\ \text{hauteur de basse mer de vive - eau : } BMVE = NM - (A_{M_2} + A_{S_2}) \end{array} \right.$$

$$\text{Marée diurne} \left\{ \begin{array}{l} \text{hauteur de pleine mer de vive - eau : } PMVE = NM + (A_{O_1} + A_{K_1}) \\ \text{hauteur de basse mer de vive - eau : } BMVE = NM - (A_{O_1} + A_{K_1}) \end{array} \right.$$

La raison essentielle de cette inadaptation de la formulation simplifiée est que les composantes d'interactions non linéaires peuvent jouer un rôle non négligeable qui n'est pas pris en compte. Par ailleurs, l'argument de la simplicité n'est plus déterminant avec les moyens de calcul actuels qui permettent aisément de prendre en compte toutes les composantes harmoniques d'un port nécessaires pour obtenir rapidement une solution exacte.

Le point important est évidemment la définition de ce que l'on appelle vive-eau et morte-eau.

**Les vives-eaux semi-diurnes** ont lieu au voisinage du

moment où  $s - h = \frac{G_{S_2} - G_{M_2}}{2} + k\pi$ . Les hauteurs

moyennes de pleines mers et de basses mers de vive-eau sont donc les moyennes des hauteurs de pleines mers et de basses mers voisines de ces instants. Si la moyenne porte sur une durée suffisamment longue, toutes les composantes dont l'argument astronomique n'est pas de la forme  $l\tau + m(s-h)$  sont éliminées,  $l$  et  $m$  étant des nombres entiers positifs, négatifs ou nuls. Il subsiste évidemment  $M_2, S_2$  mais également toutes les composantes d'interactions non linéaires faisant intervenir  $M_2, S_2$ , comme par exemple  $MS_2, 2MS_2, 2SM_2, M_4, MS_4 \dots$  qui ne sont pas prises en compte dans les formules simplifiées présentées plus haut.

**Les vives-eaux diurnes** ont lieu au voisinage du moment où

$s = \frac{G_{K_1} - G_{O_1}}{2} - \frac{\pi}{2} + k\pi$ . Toutes les composantes dont

l'argument astronomique n'est pas de la forme  $l\tau + ms$  sont éliminées dans la moyenne. Il subsiste évidemment  $O_1$  et  $K_1$ , mais également  $OO_2, K_2, MK_3 \dots$

Les calculs peuvent être menés exactement comme pour les marées extrêmes, simplement en ne prenant en compte que les composantes qui ne s'éliminent pas dans la moyenne, à savoir celles dont l'argument astronomique est de la forme  $l\tau + m(s-h)$  pour la marée semi-diurne, ou  $l\tau + ms$  pour la marée diurne.

Dans le processus itératif, les pleines et basses mers sont calculées au même instant que le maximum d'amplitude. S'agissant d'un calcul de moyenne, il faut en toute rigueur tenir compte des variations de  $s - h$  dans le cas semi-diurne et de  $s$  dans le cas diurne pendant un demi cycle de marée de part et d'autre de la pleine mer et de la basse mer.

$$\frac{d(s-h)}{dt} = 0,5079479^\circ / \text{heure},$$

durée du cycle de marée demi - diurne :  $T_2 = 12,42$  heures

$$\frac{ds}{dt} = 0,5490165^\circ / \text{heure},$$

durée du cycle de marée diurne :  $T_1 = 24,84$  heures

En supposant une variation sinusoïdale de l'amplitude de part et d'autre du maximum, il convient d'appliquer les facteurs correctifs suivants :

Ces corrections, très proches de l'unité, sont inutiles dans la pratique.

$$\rho_2 = \frac{1}{T_2} \int_{-T_2/2}^{T_2/2} \cos\left(\frac{d(s-h)}{dt} t\right) dt = 0,9995 \approx 1 \text{ pour le type semi - diurne}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} \cos\left(\frac{ds}{dt} t\right) dt = 0,9976 \approx 1 \text{ pour le type diurne}$$

## 5. COEFFICIENT DE MARÉE

Le coefficient de marée est une notion introduite par Laplace et reprise dans les annuaires des côtes de France à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

Pour comparer les marnages des divers ports, Laplace a caractérisé chaque port par une unité de hauteur : " l'unité de hauteur est la valeur moyenne de l'amplitude (demi marnage) de la plus grande marée qui suit d'un jour et demi environ l'instant de la pleine ou de la nouvelle lune, vers les syzygies d'équinoxe ".

La notion de coefficient résulte directement de cette définition : par convention, on attribue le coefficient 100 au marnage moyen des vives-eaux qui suivent la syzygie la plus voisine de l'équinoxe, d'où la formule :

$$C = 100 \frac{H - Z_0}{U}$$

dans laquelle :

**C** est le coefficient de marée,

**H** est la hauteur de la pleine mer,

**Z<sub>0</sub>** est le niveau de mi-marée,

**U** est l'unité de hauteur

En pratique, le coefficient est calculé pour Brest avec uniquement les composantes semi-diurnes de la marée, à l'aide de la formule suivante :

$$C = 100 \frac{\text{amplitude semi - diurne}}{3,05}$$

Dans cette formule, 3,05 est l'unité de hauteur de Brest.

Le succès de cette notion de coefficient en France vient du fait qu'elle fournit très rapidement une indication sur l'amplitude de la marée. Ce n'est évidemment qu'une indication relative, mais très largement utilisée par tous les familiers des zones côtières françaises de la Manche et de l'Atlantique. Le coefficient présente de plus l'intérêt de permettre des calculs rapides de hauteurs d'eau ou de courants. En effet, les tables de correction des annuaires pour calculer les hauteurs de marée dans les ports secondaires, et les atlas de courants fournissent des éléments pour des situations de vive-eau moyenne et de morte-eau moyenne qui correspondent respectivement aux coefficients 95 et 45. Connaissant le coefficient de la marée en cours, il est très aisé d'effectuer une règle de trois pour calculer les hauteurs ou les courants correspondants.

Les résultats de ces calculs ne sont qu'approximatifs, et les navigateurs doivent en être conscients, mais le sachant, le coefficient calculé pour Brest peut être adopté pour toutes les côtes de France, à l'exception, éventuellement, des ports

de la Mer du Nord où les variations relatives de l'amplitude de la marée sont sensiblement plus faibles qu'à Brest. Mais il serait hasardeux d'étendre la zone de validité du coefficient de Brest à des zones trop éloignées, et cela n'aurait d'ailleurs aucun sens pour les types de marée autres que semi-diurnes.

Cependant, étant donné l'intérêt pratique de cette notion, il pourrait être intéressant de chercher à lui donner une définition de portée universelle.

### Calcul du coefficient par la formule harmonique

Selon l'idée de Laplace, qu'il convient de conserver, le coefficient de marée est une mesure de l'amplitude de la marée, rapportée à une unité de mesure, appelée " *unité de hauteur* ". Cette unité de hauteur est l'amplitude moyenne des vives-eaux d'équinoxe. Le mot " moyenne " est important car il suppose que toutes les contributions dues aux mouvements du périgée lunaire et du nœud ascendant disparaissent si cette moyenne est effectuée sur une durée suffisamment longue. En termes de formule harmonique, cela signifie que toutes les composantes dont l'argument astronomique dépend de  $p$  ou  $N'$  s'éliminent dans la moyenne. Cependant, afin de généraliser la notion de coefficient, il convient de la rapporter à tout type de marée et non uniquement aux vives-eaux d'équinoxe des marées de type semi-diurne. Or il se trouve précisément que le mode de calcul des marées extrêmes exposé précédemment se prête naturellement à une définition de l'unité de hauteur calculée à l'aide des composantes dont les arguments astronomiques ne dépendent pas des longitudes du périgée et du nœud ascendant de la lune : Il suffit, en appliquant le même mode opératoire que pour les marées extrêmes, de rechercher le maximum de

$\Psi(\vec{X}_U)$  où  $\vec{X}_U$  est le vecteur de composantes  $\{\tau, s, h\}$ . Plus qu'à une notion de hauteur, le coefficient se rapporte à l'amplitude de la marée. Or la notion d'amplitude est parfois difficile à concevoir, par exemple dans le cas de marées semi-diurnes à forte inégalité diurne. Afin d'éviter de définir un coefficient risquant de subir de fortes variations au cours d'une même journée, aux notions de hauteur ou d'amplitude, on préférera la notion de " variabilité ", ou pour parler en langage statistique, de variance.

Appelons  $R_{kU}$  l'amplitude de l'espèce  $k$  ( $k = 1$  pour les composantes diurnes, 2 pour les semi-diurnes, etc.) cor-

respondant au maximum de  $\Psi(\vec{X}_U)$ , la formule suivante définit l'unité de hauteur  $U$  :

$$U = \sqrt{\sum_k R_{kU}^2}$$

En appelant  $R_k$  l'amplitude de l'espèce  $k$  à un instant donné, le coefficient  $C$  au même instant est défini par la formule :

Cette définition n'est pas identique à celle qui est adoptée

$$C = 100 \frac{\sqrt{\sum_k R_k^2}}{U}$$

pour le calcul du coefficient de Brest, mais dans ce cas précis, les amplitudes des composantes diurnes et d'interactions étant faibles devant l'amplitude de la composante semi-diurne, les résultats sont très voisins : les différents tests effectués sur des coefficients compris entre les valeurs extrêmes n'ont pas révélé d'écarts supérieurs à une unité.

Il serait donc envisageable d'adopter ce mode de calcul pour l'annuaire des côtes de France, et compte tenu du caractère très général de la formulation de définir ainsi un coefficient à caractère universel.

## 6. QUELQUES RÉSULTATS

### Plus basses mers

Le niveau des plus basses mers est un paramètre important car c'est la correction à apporter au zéro hydrographique pour se conformer à la recommandation de l'OHI.

A Brest, des calculs effectués sur des périodes disjointes de 19 ans conduisent à des niveaux de plus basses mers compris entre 20 et 23 cm, tandis que la méthode directe fournit une hauteur de plus basse mer théorique égale à 17 cm. Pour Do Son, port à marée diurne de l'annuaire d'outre-mer du SHOM, les calculs sur 19 ans ont fourni des valeurs comprises entre -21 et -17 cm, et la méthode directe -25 cm. Cet écart de 8 cm entre le minimum théorique et l'une des déterminations, représente près de 2% de l'amplitude maximale de la marée. Concernant la définition d'un niveau de référence dont une des principales qualités devrait être un positionnement précis, de tels écarts peuvent être jugés excessifs. Les hauteurs de plus basses mers calculées pour les ports principaux de l'annuaire des côtes de France au cours du XX<sup>e</sup> siècle et les résultats de calculs par la méthode directe donne des résultats sensiblement équivalents, avec cependant quelques hauteurs inférieures obtenues par la méthode directe au prix d'un moindre effort de calcul.

### Niveaux caractéristiques

Le tableau suivant présente quelques comparaisons de niveaux de vive-eau moyenne, d'une part tels qu'ils apparaissent dans les annuaires, d'autre part issus du calcul direct.

Port	PMVE annuaire	PMVE direct	BMVE annuaire	BMVE direct
Brest	6,95 m	6,91 m	1,05 m	1,09 m
Le Havre	7,9 m	7,82 m	1,2 m	1,28 m
Douvres	6,8 m	6,62 m	0,8 m	0,96 m
Portland	2,1 m	2,13 m	0,1 m	0,21 m
Vlissingen	4,8 m	5,41 m	0,3 m	0,31 m
Casablanca	3,5 m	3,48 m	0,8 m	0,72 m
Do Son	3,3 m	3,40 m	0,4 m	0,53 m
San Francisco	1,7 m	1,72 m	0,0 m	-0,11 m
Hong Kong	2,1 m	2,23 m	0,6 m	0,53 m

Ces résultats sont assez proches. Les écarts relativement importants observés à Douvres ou Portland peuvent être attribués aux constantes harmoniques disponibles à l'EPSHOM qui peuvent ne pas être parfaitement identiques à celles utilisées pour le calcul de l'annuaire britannique. Pour Do Son, la règle adoptée pour l'annuaire est celle préconisée par le SHOM pour les marées diurnes.

En fait, il règne une certaine confusion dans ce domaine, car les règles de calcul pour les niveaux caractéristiques figurant dans les annuaires ne sont pas identiques d'un Service Hydrographique à l'autre, et pour un même Service

Hydrographique, elles peuvent dépendre du type de marée ou de la zone considérée.

### Coefficients

Des exemples de variation du coefficient pour chaque type de marée au cours d'un mois, permettent de donner une idée de sa signification, en gardant à l'esprit que cette notion est essentiellement qualitative. On remarque en particulier que, en raison du fait que le coefficient est une mesure de l'amplitude de la marée et non de la hauteur, à un même coefficient peuvent correspondre des hauteurs de pleine mer différentes.

**Tableau 1 – hauteurs de pleines mers et coefficients à Brest**

Mars 1997	matin			soir		
	Hauteur (cm)	C <sub>A</sub>	C	Hauteurs (cm)	C <sub>A</sub>	C
1	583	59	58	565	55	54
2	550	50	49	539	46	45
3	528	43	42	533	43	42
4	533	46	45			
5	562	51	50	570	58	57
6	613	66	66	624	75	75
7	670	84	84	677	93	93
8	722	100	101	720	107	107
9	759	112	113	746	116	116
10	775	119	118	753	119	118
11	769	118	117	739	114	114
12	741	109	108	707	102	102
13	695	95	95	661	87	87
14	640	78	78	610	69	69
15	582	60	60	560	52	52
16	533	45	44	523	39	39
17	504	36	36			
18	511	36	36	510	38	38
19	532	43	42	541	48	47
20	566	54	53	577	59	58
21	599	64	64	609	69	68
22	628	74	73	636	78	77
23	652	81	81	656	84	84
24	668	87	86	670	88	88
25	678	90	89	677	90	90
26	679	90	90	676	89	89
27	672	88	88	665	86	86
28	655	83	82	645	79	79
29	628	75	74	617	70	69
30	595	65	64	584	60	59
31	560	54	53	555	50	49

Le tableau 1 montre une comparaison avec les données de l'annuaire des côtes de France pour le mois de mars 1997, au cours duquel a eu lieu une vive-eau très importante. Dans ce tableau,  $C_A$  est le coefficient figurant dans l'annuaire, et  $C$  celui qui a été calculé par la méthode directe. Les différences (ne dépassant pas une unité) ne sont pas significatives et permettent d'envisager l'adoption pour l'annuaire de cette nouvelle méthode de calcul.

Les calculs effectués pour Saint-Nazaire et Dunkerque figurent dans le tableau 2, dans lequel  $C_m$ ,  $h_m$ ,  $C_s$  et  $h_s$  représentent respectivement les coefficients et les hauteurs de pleine mer du matin et du soir de chaque jour du mois de mars 1997. Les coefficients et hauteurs de Dunkerque sont

mis en correspondance avec les coefficients et hauteurs de Brest en tenant compte du décalage approximatif de 9 heures entre les deux ports. Ces résultats montrent des différences significatives, qui révèlent le caractère approximatif des calculs de marée simplifiés enseignés parfois dans les cours de navigation.

Le tableau 3 donne deux exemples de coefficients pour des marées diurne (Do Son) et semi-diurne à inégalité diurne (San Francisco) pour le mois de juin 1987, période où la marée diurne fut particulièrement importante. On constate qu'ils reflètent bien les variations d'amplitude et qu'une utilisation qualitative de cette notion pourrait se révéler aussi utile que pour les côtes de France.

**Tableau 2 – comparaison des coefficients**

Mars 1997	<i>Brest</i>				<i>Saint-Nazaire</i>				<i>Dunkerque</i>			
	$C_m$	$h_m$	$C_s$	$h_s$	$C_m$	$h_m$	$C_s$	$h_s$	$C_m$	$h_m$	$C_s$	$h_s$
1	58	583	54	565	59	500	55	485	68	501	62	498
2	49	550	45	539	50	469	47	458	58	471	55	477
3	42	528	42	533	45	451			55	463	57	485
4	45	533			46	466	49	472	62	486		
5	50	562	57	570	55	496	62	505	69	519	76	527
6	66	613	75	624	70	536	79	543	84	560	90	567
7	84	670	93	677	88	579	96	578	96	593	100	603
8	101	722	107	720	104	617	110	607	104	614	107	624
9	113	759	116	746	115	645	119	625	109	625	110	637
10	118	775	118	753	120	656	120	628	111	626	110	639
11	117	769	114	739	118	650	115	617	109	618	107	630
12	108	741	102	707	110	625	104	592	103	601	99	611
13	95	695	87	661	96	588	88	558	94	575	88	580
14	78	640	69	610	79	543	70	519	82	539	74	538
15	60	582	52	560	61	497	54	478	67	497	60	494
16	44	533	39	523	46	454	42	442	55	462	52	470
17	36	504			38	435			53	458		
18	36	511	38	510	39	447	41	453	56	479	61	481
19	42	532	47	541	45	469	50	477	67	505	72	513
20	53	566	58	577	55	494	60	503	77	531	81	540
21	64	599	68	609	65	519	70	529	84	552	87	561
22	73	628	77	636	74	542	78	552	89	566	91	574
23	81	652	84	656	82	562	85	571	92	575	93	582
24	86	668	88	670	87	577	89	584	94	580	94	587
25	89	678	90	677	90	585	91	590	95	582	94	589
26	90	679	89	676	91	586	90	588	94	581	93	584
27	88	672	86	665	88	579	86	578	91	573	89	575
28	82	655	79	645	83	564	79	559	87	558	83	560
29	74	628	69	617	75	540	70	532	80	537	75	536
30	64	595	59	584	65	509	60	500	71	507	66	505
31	53	560	49	555	55	475	52	468	62	478	59	487

**Tableau 3 – coefficients à midi pour des types de marée non semi-diurnes**

<i>Do Son</i> (marée diurne)				<i>San Francisco</i> (inégalités diurnes)				
Jun 1987	<b>C</b>	BM (cm)	PM (cm)	<b>C</b>	BM matin	BM soir	PM matin	PM Soir
1	<b>92</b>	34	347	<b>75</b>	-6 cm	107	154	135
2	<b>87</b>	44	337	<b>68</b>	2	102	144	138
3	<b>80</b>	58	324	<b>61</b>	11	93	133	143
4	<b>70</b>	76	306	<b>55</b>	20		122	149
5	<b>57</b>	99	283	<b>52</b>	77	31	114	155
6	<b>42</b>	126	255	<b>54</b>	58	43	110	163
7	<b>23</b>	158	220	<b>63</b>	35	56	112	172
8	<b>10</b>	174	208	<b>76</b>	11	69	118	181
9	<b>33</b>	152	253	<b>91</b>	-13	80	125	191
10	<b>61</b>	108	301	<b>104</b>	-33	89	132	199
11	<b>86</b>	62	344	<b>114</b>	-47	95	137	204
12	<b>105</b>	24	377	<b>118</b>	-55	98	141	205
13	<b>118</b>	-1	396	<b>117</b>	-56	100	143	
14	<b>122</b>	-12	402	<b>111</b>	-50	99	199	146
15	<b>120</b>	-10	395	<b>100</b>	-38	95	187	151
16	<b>110</b>	5	374	<b>87</b>	-22	86	171	157
17	<b>94</b>	32	342	<b>74</b>	-3	70	152	164
18	<b>72</b>	70	300	<b>65</b>	18		134	170
19	<b>46</b>	115	255	<b>64</b>	50	38	123	176
20	<b>20</b>	160	216	<b>68</b>	30	56	119	179
21	<b>12</b>	180	214	<b>75</b>	12	71	122	181
22	<b>32</b>	149	248	<b>82</b>	-2	83	128	181
23	<b>51</b>	115	279	<b>87</b>	-11	93	133	180
24	<b>67</b>	85	306	<b>91</b>	-18	100	136	179
25	<b>80</b>	60	327	<b>92</b>	-21	104	138	178
26	<b>90</b>	42	344	<b>92</b>	-22	106	138	176
27	<b>96</b>	30	354	<b>90</b>	-20	105	138	172
28	<b>98</b>	26	357	<b>87</b>	-17	104	138	
29	<b>95</b>	30	352	<b>81</b>	-11	101	167	140
30	<b>89</b>	41	341	<b>74</b>	-3	97	159	143

## CONCLUSION

Une importance particulière est attribuée en hydrographie, aux niveaux caractéristiques de la marée, et en particulier aux niveaux extrêmes, car ils servent souvent de référence de hauteurs. Or ce statut se satisfait mal de la détermination hasardeuse dont ils sont souvent l'objet, basée sur une assertion fautive (périodicité de 18,6 ans) ou une définition approximative (vive-eau ou morte-eau moyenne). Leur détermination directe à partir des constantes harmoniques de la marée présente l'avantage de la rigueur et, grâce aux moyens de calcul actuels, de la simplicité.

Il s'avère que cette méthode se prête également parfaitement à la définition d'un coefficient de marée de portée universelle, équivalent au coefficient de Laplace. Compte tenu de la popularité de cette notion en France, il est possible qu'elle s'avère également utile hors des zones côtières françaises. Cela pourrait fournir l'occasion de répondre à de nombreuses demandes dans ce sens.

# FAISABILITÉ OPÉRATIONNELLE DE L'INVERSION GÉOACOUSTIQUE PAR MILIEUX ÉQUIVALENTS : PRINCIPE ET APPLICATION AUX DONNÉES INTIMATE96

Juillet 2000

par

Xavier Démoulin (EPSHOM/CMO),  
Laurent Pélissero (Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées)  
Yann Stéphan (EPSHOM/CMO)

## RÉSUMÉ

Une méthode simple et rapide pour estimer les paramètres géoacoustiques du milieu est présentée dans ce rapport. Le principe repose sur l'estimation d'un milieu équivalent à partir de mesures acoustiques en large bande à très basse fréquence. Le milieu équivalent est un milieu qui donne les mêmes performances en transmission que le milieu réel. La méthode s'appuie sur le traitement de modulations de fréquences 300-800 Hz sur un seul hydrophone. La réponse impulsionnelle du milieu est obtenue après filtrage adapté. De cette réponse, deux caractéristiques stables de la propagation sont extraites : la durée du signal en sortie de filtrage et les amplitudes des rayons réfléchis. Ces deux caractéristiques sont reliées analytiquement à la vitesse de compression et au coefficient d'atténuation du milieu équivalent. L'inversion pour retrouver ces deux derniers paramètres est aisée et repose sur une expression analytique du problème inverse. La méthode est mise en oeuvre sur les données de la campagne INTIMATE96. Les résultats montrent un excellent accord entre les caractéristiques de la propagation dans le milieu réel et le milieu équivalent.

## ABSTRACT

*A simple and fast approach to retrieve geoacoustic parameters is presented in this report. The principle of the method is to estimate an equivalent medium from low frequency acoustic data. The equivalent medium gives the same propagation features than the true medium. The method is based upon the processing of 300-800 Hz broadband signals on a single hydrophone. Matched filtering is used to estimate the impulse response of the waveguide. From this impulse response, two stable characteristics of shallow water propagation are estimated: the time dispersion of the received signal and the amplitude of bottom reflections. This two features are analytically linked to the compressional speed and to the attenuation coefficient of the medium. The inversion of the two latter geoacoustic parameters is straightforward since it relies on an analytical expression. The method is tested on INTIMATE96 shallow water data. The results show an excellent agreement between the propagation losses in the equivalent medium and the true medium.*

# TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>6-3</b>
<b>2. LA CAMPAGNE INTIMATE96</b> .....	<b>6-3</b>
2.1 Stratégie instrumentale .....	6-3
2.2 Interprétation des données .....	6-4
<b>3. LE PROBLÈME GÉOACOUSTIQUE DIRECT</b> .....	<b>6-6</b>
3.1 Interprétation du coefficient de réflexion. Notion de milieu équivalent .....	6-6
3.2 Corrélation avec la réponse impulsionnelle .....	6-7
3.3 Formulation analytique du problème direct.....	6-8
<b>4. INVERSION GÉOACOUSTIQUE</b> .....	<b>6-9</b>
4.1 Formulation analytique du problème inverse .....	6-9
4.2 Inversion des données INTIMATE96.....	6-9
4.2.1 Sélection des données.....	6-9
4.2.2 Inversion.....	6-10
4.2.3 Résultats .....	6-10
4.3 Discussion .....	6-12
<b>5. CONCLUSIONS</b> .....	<b>6-13</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>6-13</b>
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>6-14</b>
<b>Annexe A</b> : Effets de l'état de mer .....	<b>6-15</b>
<b>Annexe B</b> : Relation entre $R_{sp}$ et $\alpha_b$ .....	<b>6-15</b>
<b>Annexe C</b> : Formulation asymptotique de $R(\theta)$ .....	<b>6-15</b>

## 1. INTRODUCTION

Les propriétés géoacoustiques du fond ont une influence majeure sur les prédictions de portées des sonars, en particulier à très basses fréquences. Pour optimiser les prédictions, il est nécessaire de disposer d'un modèle géoacoustique du fond qui puisse rendre compte efficacement de la propagation et la réverbération dans le milieu réel et qui soit adapté aux contraintes opérationnelles liées aux codes de prédiction et aux temps de calcul. Deux approches complémentaires existent.

La première approche vise à estimer les paramètres géoacoustiques du milieu par des mesures directes. Cette approche, souvent appelée " Vérité Terrain ", repose principalement sur les prélèvements par carottier ou par benne. Ces prélèvements sont souvent accompagnés de mesures acoustiques indirectes (sondeur de sédiment, sondeur multifaisceau, classificateur de sédiments, sonar latéral) ou vidéo (caméra sous-marine). La mesure de la réalité terrain est adaptée à la caractérisation géophysique des fonds pour la constitution des bases de données d'environnement. Malgré tout, c'est une approche lourde et peu pratique pour les opérations d'évaluation rapide de l'environnement (REA) pour deux raisons principales. D'une part, les mesures par carottage et prélèvement peuvent difficilement être traitées *in situ* et la fusion des informations issues des autres systèmes nécessitent une expertise poussée. D'autre part, certains paramètres sont difficilement mesurables (épaisseur des sédiments, nature du substrat).

De plus, les mesures directes ne prennent pas en compte la finalité opérationnelle (notamment en terme de senseurs) et le modèle géoacoustique obtenu n'est pas nécessairement adapté à l'utilisation des sonars.

La seconde approche, qui sera traitée dans ce rapport, consiste en l'évaluation des paramètres géoacoustiques par une mesure de type sonar. L'idée sous-jacente est d'utiliser la réponse impulsionnelle du guide d'onde pour estimer les paramètres géoacoustiques du milieu.

Cette approche est généralement appelée " inversion géoacoustique " (voir par exemple, Chapman *et al.*, 1998). Les modèles de fond obtenus par inversion géoacoustique peuvent être de bonnes approximations du milieu réel, en particulier à très basses fréquences. Ces modèles peuvent également être construits comme des " fonds équivalents ", ce qui signifie qu'ils ont la même réponse acoustique que le milieu réel dans une application définie (Démoulin et Garlan, 1997). Bien sûr, une telle approche ne donne pas la vérité terrain et elle n'est donc pas adaptée à la caractérisation géophysique des fonds marins. Par contre, elle présente l'avantage majeur de fournir un modèle simple dont les caractéristiques en propagation et/ou en réverbération soient les mêmes que celles du milieu réel. Le milieu équivalent est donc le milieu tel qu'il est vu par le sonar. Par opposition à la vérité terrain, cette approche peut être appelée " vérité sonar ".

La plupart des techniques d'inversion pour l'estimation des propriétés acoustiques des fonds reposent sur l'analyse spatiale et temporelle du champ de pression acoustique (Dosso *et al.*, 1993, Gerstoft, 1995, Rajan *et al.*, 1997, Fallat et Dosso, 1999). Ces méthodes font généralement appel à des

modèles assez lourds et à des itérations nombreuses, ce qui rend en pratique ces techniques coûteuses sur le plan informatique et difficiles à mettre en oeuvre de façon opérationnelle. De plus, les traitements monochromatiques font appel à des traitements sur des antennes verticales ou horizontales et elles sont souvent instables vis-à-vis des imprécisions sur les positions des capteurs ou sur les paramètres d'environnement (hauteur d'eau, état de mer, etc.). Une tendance nouvelle en inversion géoacoustique tient dans l'utilisation de signaux large bande et leur traitement sur un nombre réduit d'hydrophones (Hermand *et al.*, 1998). Les propriétés du fond peuvent être obtenues de manière robuste et précise à partir de l'étalement temporel de la réponse impulsionnelle du guide d'onde et de l'amplitude des rayons sonores réfléchis sur le fond (Hermand, 1999). Cependant, le processus d'inversion pour rechercher la vérité terrain reste coûteux et fait appel à une modélisation directe relativement complexe.

Dans ce rapport, il est proposé une approche originale qui combine le concept de milieu équivalent pour la propagation et le concept d'inversion large bande. Cette approche repose sur des développements analytiques du coefficient de réflexion pour retrouver les propriétés géoacoustiques du milieu équivalent. Cette méthode permet d'éviter des calculs lourds et coûteux et peut être interprétée comme une approche " vérité sonar " puisque le modèle de fond est par construction adapté au sonar qui a été utilisé. Par contre, le modèle obtenu n'est pas général : il n'est valide que pour une gamme de fréquences et une ouverture en site définies. L'inversion se fait en deux étapes et ne requiert qu'une simulation acoustique d'un modèle standard. Cette approche a été expérimentée sur les données de la campagne INTIMATE96 (Stéphan *et al.*, 1998) sur des signaux large bande entre 300 et 800 Hz.

Ce rapport est organisé comme suit. La seconde partie rappelle le schéma de mesure adopté durant la campagne INTIMATE96 et donne une brève analyse des données acoustiques. La troisième partie présente en détail le problème direct. Une formulation analytique y est décrite.

La quatrième partie décrit le problème inverse. L'application de la méthode aux données réelles est présentée. Les conclusions et perspectives sont dégagées en fin de rapport.

## 2. LA CAMPAGNE INTIMATE96

### 2.1 Stratégie instrumentale

L'objectif principal du projet INTIMATE<sup>1</sup> est l'observation de la marée interne par tomographie acoustique (Démoulin *et al.*, 1997, Stéphan *et al.*, 1998). Cependant, l'exploitation des données, principalement par traitements en large bande, a révélé que la richesse des signaux permettait non seulement d'estimer les principales caractéristiques de la marée interne (Stéphan *et al.*, 2000) mais aussi de faire du suivi de source acoustique (Porter *et al.*, 1998, Jesus *et al.*, 1998) et de l'inversion géoacoustique (Démoulin *et al.*, 2000), objet de ce rapport. La première campagne en mer, appelée INTIMATE96, s'est déroulée en juin 1996 sur le plateau continental portugais au nord du Canyon de Nazaré (Figure 1). Cette campagne a été

<sup>1</sup>. Internal Tide Investigation by means of Acoustic Tomography Experiment

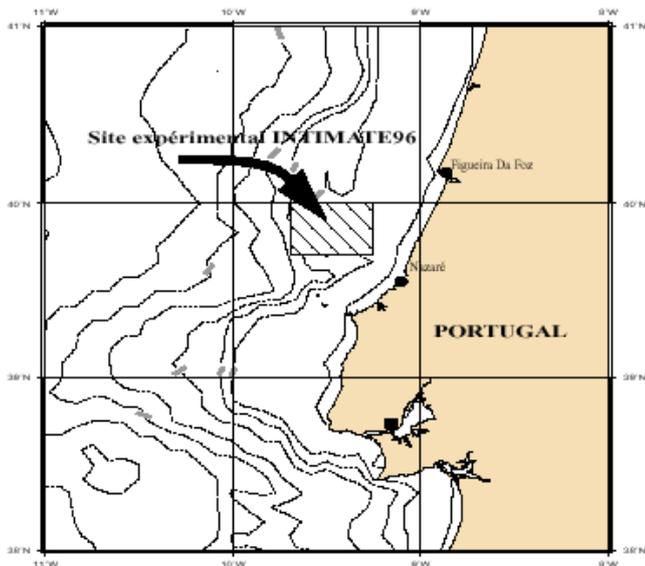


Figure 1. Site de la campagne INTIMATE96.

menée conjointement par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et l'Institut Hydrographique du Portugal (IHP), avec la collaboration de l'Université d'Algarve. Une source acoustique large bande, remorquée par le Bâtiment Océanographique

*D'Entrecasteaux*, et une antenne verticale de quatre hydrophones ont été utilisées. Des données acoustiques ont été collectées durant cinq jours comprenant des phases de stations et des phases de remorquage. Les signaux reçus sur les hydrophones étaient transmis et traités à bord du bâtiment portugais NRP *Andromeda* pour une analyse en temps réel. Il a également été procédé à des mesures intensives d'environnement (XBT, CTD, Doppler mouillé, Doppler de coque, chaînes de thermistance, levés bathymétriques). Trois phases ont été réalisées : une station acoustique à 5,6 kilomètres au nord de l'antenne, une phase durant laquelle la source a été remorquée à différentes immersions, à différentes distances et selon différentes directions par rapport à l'antenne et une station acoustique à 6,8 kilomètres à l'ouest de l'antenne d'hydrophones. Enfin, un levé sismique (système Sparker) a été réalisé au préalable à la campagne et des carottes ont été prélevées sur zone pour la caractérisation des fonds. Une description de l'environnement le long de la radiale nord-sud correspondant à la première station acoustique est donnée en Figure 2.

## 2.2 Interprétation des données

Le signal émis était une modulation linéaire de fréquence (LFM) entre 300 et 800 Hz. La LFM durait 2 secondes et était répétée toutes les 8 secondes (la date d'émission était contrôlée par GPS). Le signal acoustique subissait une com-

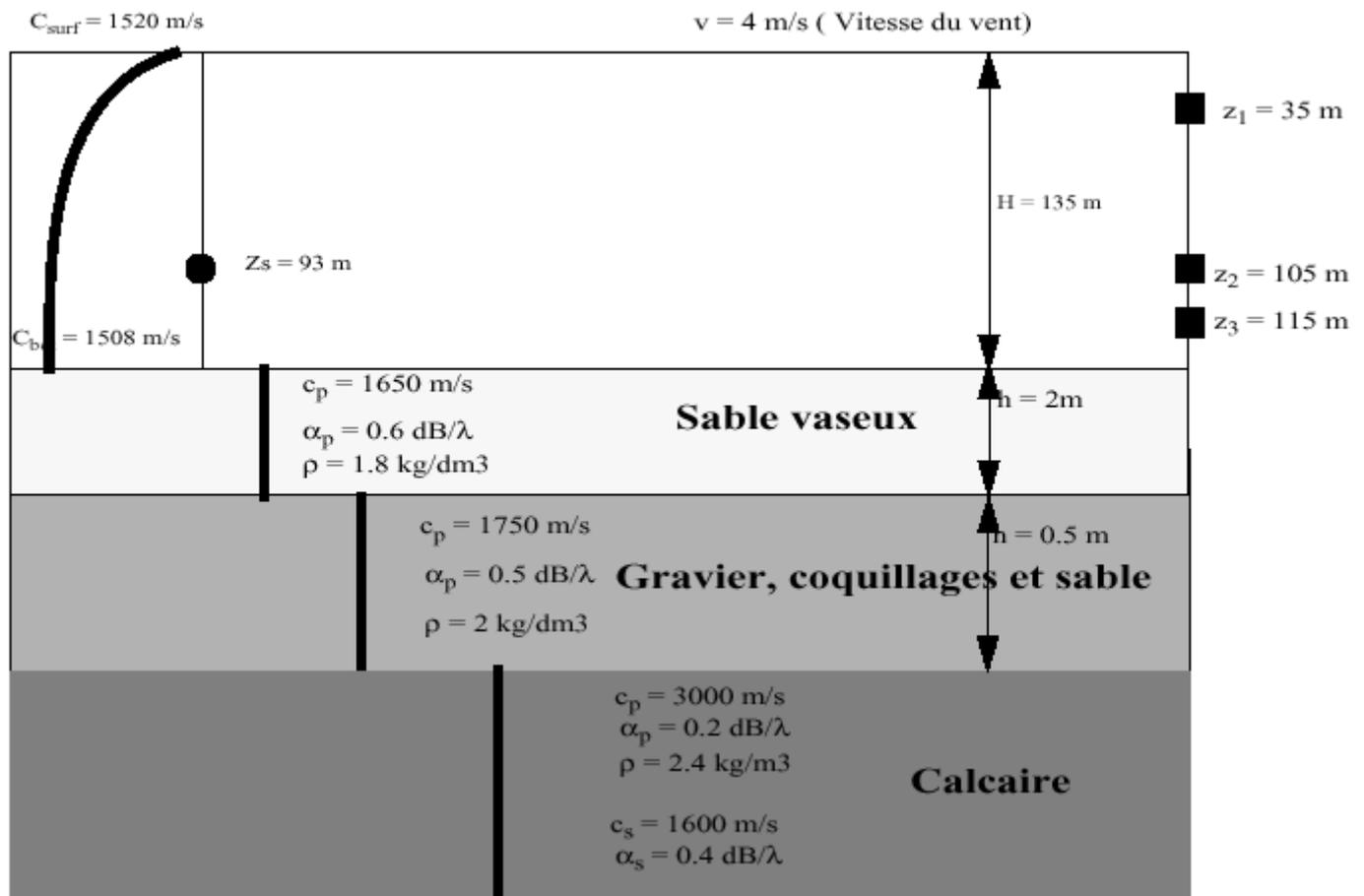


Figure 2. Dispositif expérimental et paramètres d'environnement pour la station acoustique en milieu non variable.

pression d'impulsion à la réception par inter-corrélation avec une réplique du signal émis (filtrage adapté). Toutes les séquences de réception ont été alignées sur la première arrivée énergétique afin de s'affranchir des fluctuations de la position des capteurs. Une séquence d'arrivée typique pour une source à 90 mètres et un récepteur à 115 mètres est présentée en Figure 3. Cette séquence est divisée en deux parties. La première est composée d'arrivées directes réfrac-

tées dans la thermocline et/ou avec un nombre faible de réflexions en surface ou au fond. La seconde partie montre une séquence d'arrivées résolues qui sont les trajets réfléchis en surface et au fond. Cette partie est remarquablement stable, c'est à dire qu'elle fluctue peu dans le temps. Seuls les temps d'arrivée fluctuent sous les effets de la marée interne, qui induit une modification de la célérité moyenne sur l'ensemble de la colonne d'eau, et de la marée externe,

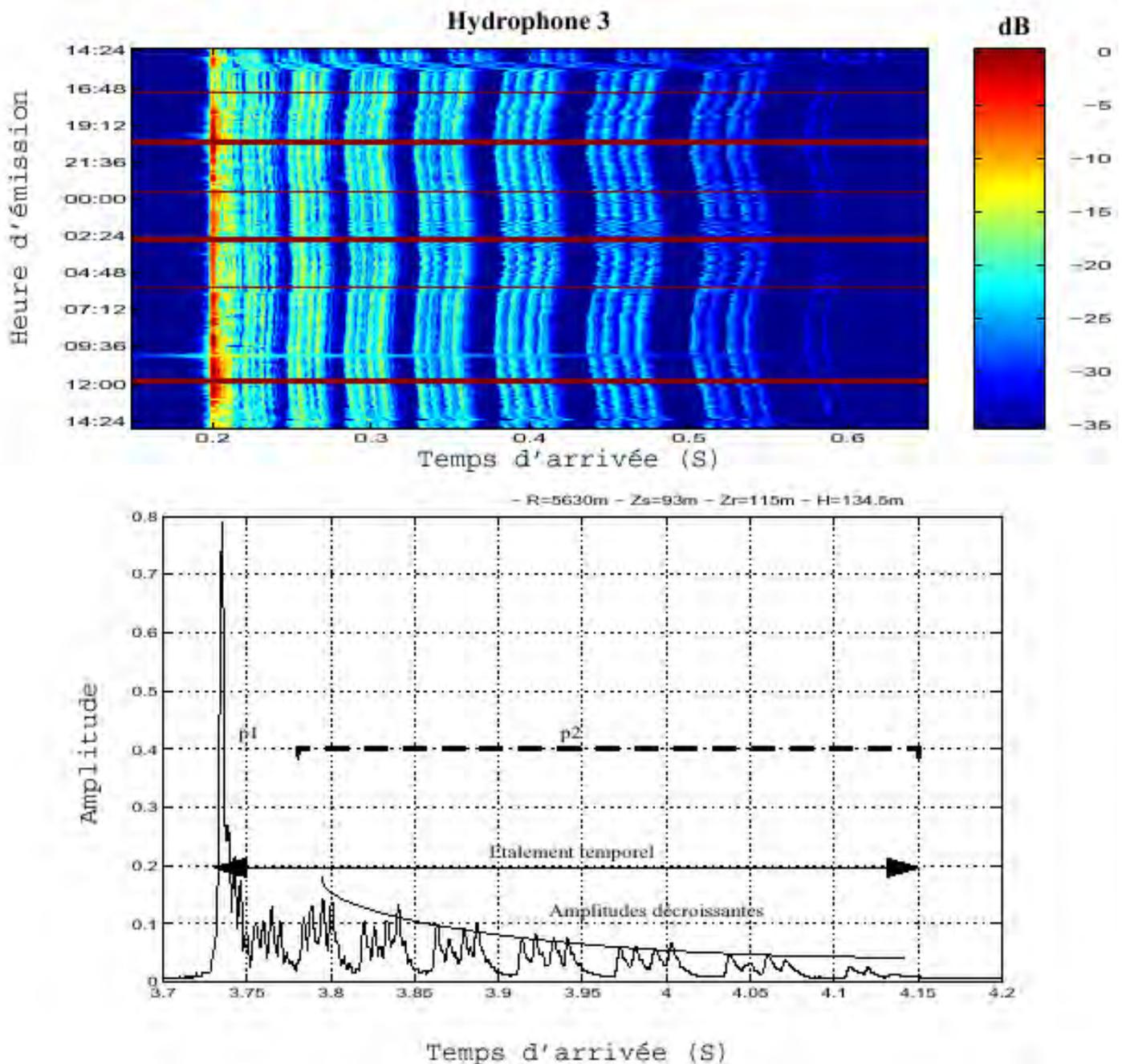


Figure 3. Haut : Données acoustiques collectées sur l'hydrophone 3 (115 mètres) pendant la station de 24 heures. Toutes les séquences reçues sont alignées sur la première arrivée. La dernière partie du signal est constituée des trajets aux multiples réflexions sur le fond et la surface.

Bas : Séquence typique reçue (somme sur 30 minutes de données). Les effets du fond sont visibles sur l'étalement temporel de la séquence et dans la loi de décroissance des amplitudes des rayons réfléchis. La partie stable du signal est matérialisée par la partie p2, la partie fortement fluctuante sous l'effet du profil de célérité par p1.

qui entraîne un changement du niveau de la surface de la mer. La stabilité des trajets réfléchis sur le fond suggère que les traitements effectués sur cette partie du signal puissent être extrapolés à de nombreuses configurations petits fonds. Le fond a deux influences majeures sur la réponse impulsionnelle du milieu. D'une part, si l'on considère un milieu fluide semi-infini, les derniers rayons perceptibles sont ceux émis aux angles voisins de l'angle critique, angle au-delà duquel l'énergie n'est plus réfléchi mais transmise dans le fond. Par conséquent, l'étalement temporel de la réponse impulsionnelle du milieu peut être en première approximation interprété comme une mesure indirecte de l'angle critique, cet angle étant lui-même fonction de la vitesse de compression du fond. D'autre part, l'amplitude des rayons réfléchis au fond décroît avec le nombre de ces réflexions et de façon équivalente avec leur temps d'arrivée relatif. Par suite, l'amplitude de chaque rayon réfléchi, ainsi que la loi de décroissance de ces amplitudes d'un rayon à l'autre, peut être vue comme une mesure indirecte de la partie " faible rasance " du coefficient de réflexion. C'est donc une mesure indirecte à la fois de la vitesse de compression et du coefficient d'atténuation de compression. Ces deux idées constituent les fondements de l'approche présentée dans ce rapport : à partir de la mesure de l'étalement temporel du signal et de la loi de décroissance des arrivées réfléchies sur le fond, on cherche à estimer la vitesse et l'atténuation de compression du sédiment équivalent, défini par une couche fluide semi-infinie.

### 3. LE PROBLÈME GÉOACOUSTIQUE DIRECT

#### 3.1. Interprétation du coefficient de réflexion. Notion de milieu équivalent

Les modèles géoacoustiques équivalents ont été proposés et étudiés pour différents propos comme par exemple la modélisation par équation parabolique (Bucker, 1983) ou pour l'étude des effets des ondes de cisaillement (Li, 1997). Nous reprenons ici le concept dans un but d'estimation de pertes de propagation.

Les trois couches du modèle géoacoustique du fond rencontré pendant la campagne INTIMATE96 sont décrites en Figure 2. Une telle description est peu adaptée à une estimation rapide des paramètres d'environnement en raison du nombre de paramètres à estimer et de la difficulté de les mesurer in situ, que ce soit de manière directe ou indirecte. Il est intéressant de noter que pour la plupart des applications sonars, les prédictions de portées reposent principalement sur la précision de l'évaluation des pertes en transmission pour les angles de rasance faible (puisque qu'aux angles forts, l'énergie est très vite atténuée). En ce sens, le coefficient de réflexion de Rayleigh  $R(\theta)$  est un moyen efficace de décrire le fond vu par son impédance acoustique. Ce coefficient, fonction de l'angle de rasance, comporte deux parties séparées par l'angle critique. L'énergie des rayons touchant le fond avec une incidence supérieure à l'angle critique est absorbée par le fond. A l'opposé, les rayons touchant le fond avec des incidences inférieures à l'angle critique sont propagés dans la colonne d'eau, leur énergie étant atténuée proportionnellement à la valeur du coefficient de réflexion pour l'angle considéré. A une fréquence pure donnée, même dans un fond complexe (qui

peut notamment comprendre des effets de résonance, d'ondes de surface...), la forme typique du coefficient de réflexion pour des angles inférieurs à l'angle critique (aux angles pré-critiques) peut le plus souvent être paramétrée par le modèle géoacoustique le plus simple, à savoir un milieu fluide semi-infini. Ce milieu joue le rôle d'un milieu équivalent puisqu'il possède les mêmes propriétés en transmission que le fond réel. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que le coefficient de réflexion dépend de la fréquence. Le milieu équivalent n'est valide que pour une certaine gamme de fréquences.

La forme générale du coefficient de réflexion pour l'environnement de la campagne INTIMATE96 est donnée en Figure 4. Afin d'illustrer l'idée exposée précédemment, la comparaison entre les coefficients de Rayleigh dans le milieu réel et le milieu équivalent est donnée. L'adéquation est excellente sur les 30 premiers degrés. Les paramètres du milieu équivalent sont les suivants :  $\rho_b = 1,54 \text{ kg/cm}^3$ ,  $C_b = 1711 \text{ m/s}$  et  $\alpha_b = 0,87 \text{ dB}/\lambda$ . Ces paramètres ont été obtenus par minimisation des écarts entre les coefficients de réflexion sur les 30 premiers degrés. Comme il sera expliqué par la suite, ces valeurs sont très proches de celles obtenues par inversion des données réelles, excepté pour la densité dont on sait de toute façon qu'elle est peu influente, les deux paramètres dimensionnants étant la vitesse et l'atténuation de compression. Afin de montrer l'intérêt opérationnel de l'approche par milieu équivalent, la Figure 5 montre une comparaison dans la configuration d'INTIMATE96 des pertes de propagation sur 20 kilomètres dans le milieu réel et dans le milieu équivalent. Le calcul est mené à la fréquence centrale -650 Hz- de la résonance haute du transducteur utilisé, c'est-à-dire une source Janus-Helmoltz. Les calculs ont été obtenus par le code aux modes normaux KRAKENC (Porter, 1991). L'écart de pertes de propagation est minime et ne dépasse pas 1 dB à 20 km. La représentation par milieu équivalent semble donc parfaitement adaptée à l'évaluation des pertes de propagation dans le contexte instrumental d'INTIMATE96.

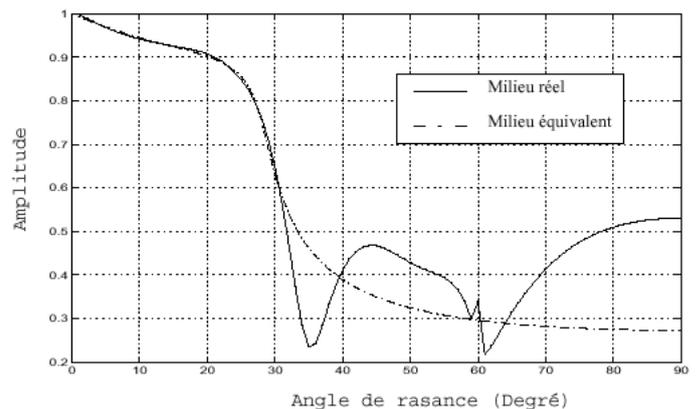


Figure 4. Allure générale du coefficient de réflexion à la résonance principale de la source (650 Hz) dans l'environnement INTIMATE96 (courbe pleine). Le coefficient de réflexion du milieu équivalent (fond fluide semi-infini) est donné en courbe tiretée. La correspondance est quasi-parfaite pour les angles pré-critiques (angles inférieurs à 30 degrés).

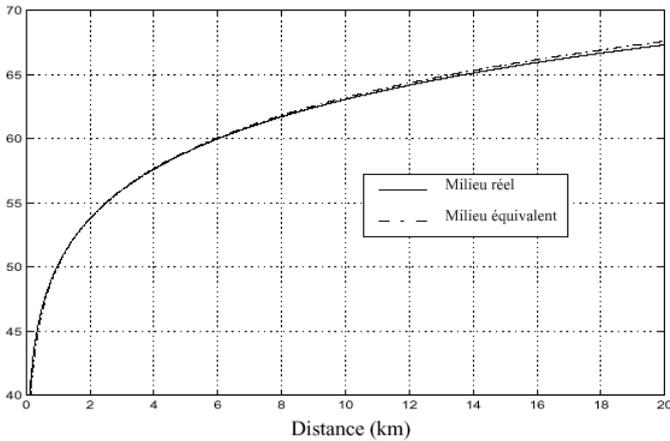


Figure 5. Pertes incohérentes de propagation dans le cas du milieu équivalent calculé à 650 Hz (courbe tiretée) et le milieu réel (courbe pleine). L'écart est inférieur à 1 dB à 20 kilomètres.

### 3.2 Corrélation avec la réponse impulsionnelle

Comme il est représenté en Figure 6, il existe une corrélation entre la forme de la réponse impulsionnelle du milieu et la forme du coefficient de réflexion. D'une part, la durée de la réponse impulsionnelle est reliée à l'angle critique. D'autre part, la loi de décroissance des amplitudes des rayons est corrélée à la décroissance du module du coefficient de réflexion  $R$  pour les angles pré-critiques. Plus précisément, l'amplitude d'un rayon donné s'étant réfléchi  $n$  fois sur le fond est fonction du module de  $R$  à la puissance  $n$ . Bien entendu, cette corrélation concerne les effets du fond et peut être bruitée par les réflexions en surface (voir annexe B). L'analyse de l'amplitude de plusieurs rayons (donc à différents angles d'incidence) permettrait de retrouver la forme générale du coefficient de réflexion. Cette approche nécessite toutefois d'identifier l'ensemble des rayons et de reconstruire numériquement le coefficient aux angles pré-critiques. Une autre approche consiste à n'utiliser qu'un seul rayon, à condition toutefois de posséder un développement analy-

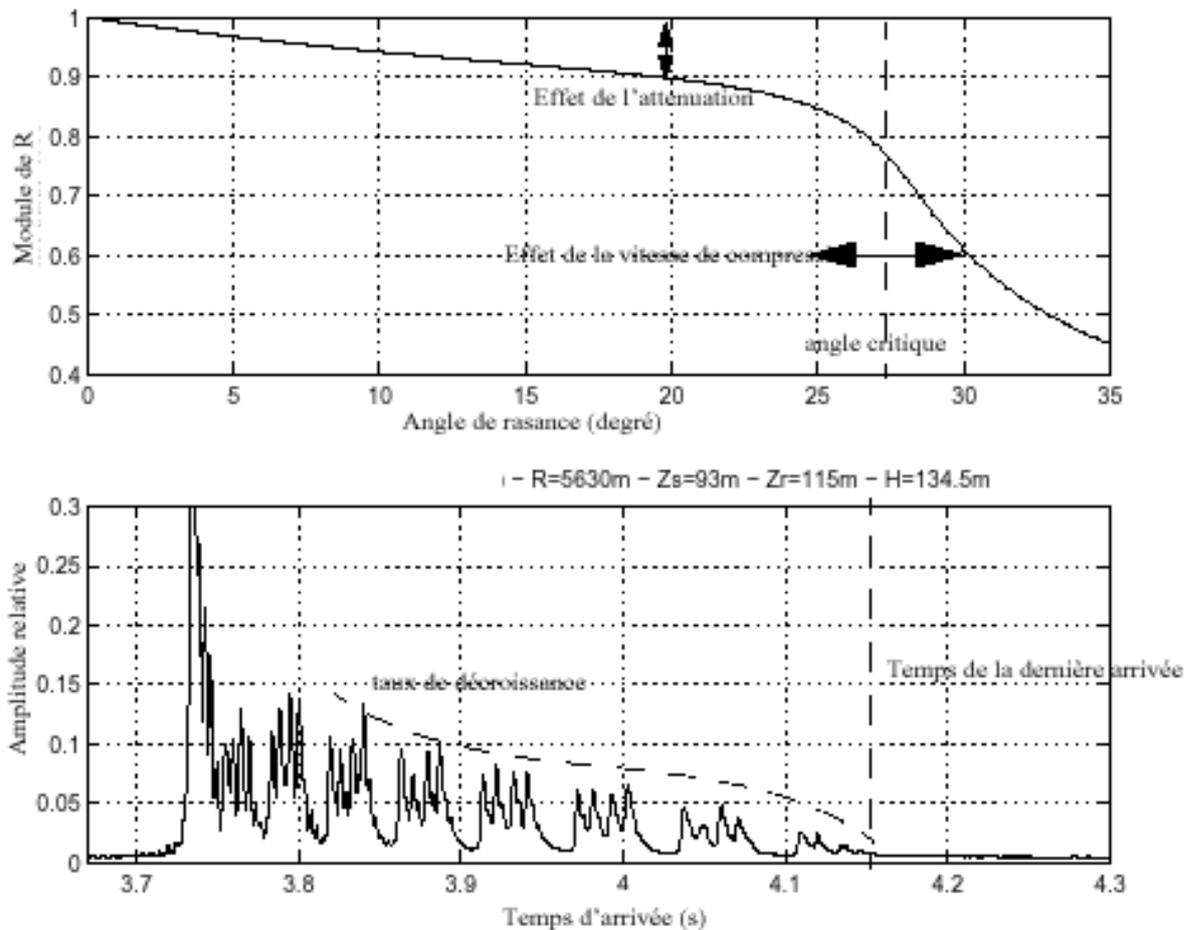


Figure 6. Corrélation entre la forme du coefficient de réflexion et la forme de la réponse impulsionnelle du milieu. On note la correspondance entre l'angle critique et la dernière arrivée. De plus, la décroissance des amplitudes des rayons réfléchis correspond à la décroissance du coefficient de réflexion pour les angles pré-critiques.

tique du coefficient de réflexion. Dans les deux cas, il semble que, s'il est possible de mesurer expérimentalement la durée de la séquence reçue et les amplitudes des rayons réfléchis (filtrées éventuellement des effets de surface), on pourra déterminer la vitesse et l'atténuation de compression par une approche inverse relativement simple. Comme on l'a déjà mis en avant, cette approche ne sera valide que pour une gamme donnée de fréquences mais l'utilisation de signaux large bande doit permettre d'obtenir des milieux équivalents sur un spectre assez étendu de fréquences.

### 3.3 Formulation analytique du problème direct

L'objectif de cette partie est de formaliser la relation entre le coefficient de réflexion et les paramètres de la réponse impulsionnelle. La première étape est d'exprimer le coefficient de Rayleigh pour un interface fluide-fluide. Ce coefficient s'écrit :

$$R(\theta) = \frac{Z_b - Z_w}{Z_b + Z_w}, \quad (1)$$

où  $Z_i = \rho_i \cdot c_i \sin \theta$ ,  $b$  et  $w$  désignant respectivement le fond ("bottom") et l'eau ("water"). Rappelons que  $c_b$ , formulation complexe de la vitesse dans le fond, est fonction de la vitesse de compression  $C_b$  en m/s et de l'atténuation  $\alpha_b$  en dB/ $\lambda$  suivant la formule :

$$c_b = \frac{C_b}{1 + \frac{i \cdot \alpha_b}{2 \cdot \pi \cdot 8,686}}, \quad \text{où } \alpha_b \text{ est en dB}/\lambda \text{ et } 8,686 \text{ est le terme d'échelle } 20 \cdot \log(e). \quad (2)$$

La densité du fond n'est pas un paramètre très influent sur la propagation des signaux puisqu'il affecte principalement la valeur du coefficient de réflexion aux fortes rasances (angles post-critiques). Dans ce travail, nous adopterons pour relation entre la densité et la vitesse la relation de Hamilton (1986), valide pour les sédiments des terrasses continentales :

$$C_b = 2330,4 - (1257 \cdot p_b) + 487,7 \cdot p_b^2 \quad (3)$$

La seconde étape consiste à caractériser la réponse impulsionnelle à partir de deux paramètres : le temps de propagation de la dernière arrivée, notée  $T_{la}$ , et l'amplitude d'un rayon  $i$  donné, notée  $y(\theta_i)$ . En réalité, si le niveau émis par la source ou si les sensibilités des hydrophones ne sont pas connus, on ne peut estimer les niveaux absolus. L'amplitude mesurée est alors proportionnelle à l'amplitude réelle :

$$y^{obs}(\theta_i) = K \cdot y(\theta_i) \quad (4)$$

où  $K$  désigne une constante inconnue. En pratique, il est donc préférable d'utiliser les rapports d'amplitude entre deux rayons  $i$  et  $j$  :

$$R_{sp}^{i,j} = \frac{y^{obs}(\theta_i)}{y^{obs}(\theta_j)}. \quad (5)$$

Le calcul de  $T_{la}$  et  $R_{sp}^{i,j}$  sera explicité dans la suite du rapport.

La troisième étape consiste à trouver une relation analytique entre les grandeurs  $T_{la}$  et  $R_{sp}^{i,j}$  et les paramètres à estimer  $C_b$  et  $\alpha_b$ . Dans un premier temps,  $T_{la}$  et  $C_b$  peuvent être directement reliés sous deux hypothèses :

- la dernière arrivée visible est celle du rayon réfléchi à l'angle critique. Ceci implique que le rapport signal-à-bruit doit être suffisant pour identifier correctement la dernière arrivée, que l'angle critique doit être discriminant pour générer une disparition nette des rayons et enfin que le nombre d'arrivées composant le multitrajet doit être suffisant pour couvrir un domaine angulaire significatif autour de l'angle critique.
- l'angle critique est suffisamment élevé afin de considérer les trajectoires des rayons réfléchis comme linéaires.

Sous cette deuxième hypothèse, on peut écrire que :

$$\theta_c = a \cos\left(\frac{C_{moy}}{C_b}\right) = a \cos\left(\frac{D}{D_{la}}\right), \quad (6)$$

où  $C_{moy}$  désigne la célérité moyenne sur la colonne d'eau,  $D$  la distance horizontale entre la source et le récepteur et  $D_{la}$  la longueur du trajet du rayon à l'angle critique. En notant que :

$$D_{la} = T_{la} \cdot C_{moy} \quad (7)$$

on obtient alors une expression simple reliant la vitesse de compression au temps d'arrivée du dernier rayon :

$$C_b = \frac{T_{la} \times C_{moy}^2}{D} \quad (8)$$

Par ailleurs, l'amplitude d'un rayon réfléchi sur le fond peut s'exprimer en fonction du coefficient de réflexion par :

$$y(\theta_i) = \frac{\sqrt{\cos(\theta_i)}}{D_i} \cdot e^{-\alpha D_i} \cdot |R_s|^{p(\theta_i)}(\theta_i) \cdot |R_b|^{q(\theta_i)}(\theta_i) \quad (9)$$

Le premier terme est la dispersion géométrique dans l'hypothèse d'une trajectoire linéaire. Le second terme traduit l'atténuation volumique où  $\alpha$ , en dB/km/Hz, est le coefficient de Thorp (pour l'Atlantique), et  $D_i$  la longueur de la trajectoire du rayon. Les termes  $R_s$  et  $R_b$  désignent respectivement les modules des coefficients de réflexion en surface et au fond. Enfin,  $p$  et  $q$  sont respectivement le nombre de réflexions en surface et au fond.

La comparaison de la réponse impulsionnelle avec le tracé des rayons propres permet d'identifier aisément les rayons. Pour un rayon donné, on dispose donc des paramètres  $\theta_i$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $D_i$ . Le terme  $|R_s|$  est estimé à partir de l'état de mer à partir d'expressions standards (par exemple Chapman-Harris, voir annexe B). On obtient alors :

$$R_{sp}^{i,j} = \frac{(|R_{b,j}|^2)^{q_j}}{(|R_{b,i}|^2)^{q_i}} \cdot K, \quad (10)$$

où le terme  $K$  est une constante ne dépendant pas des coefficients de réflexion sur le fond. Il est nécessaire d'établir une relation analytique entre le coefficient de réflexion et la valeur du coefficient d'atténuation. Ceci peut se faire par un développement asymptotique du coefficient de réflexion. Un développement limité au voisinage de 0 est donné par (Smith, 1983) :

$$|R_b(\theta)| \approx 1 - b \sin(\theta) \quad (11)$$

où  $b$  est une fonction de la densité, de la vitesse et de l'atténuation de compression. Dans notre cas, une telle formule n'est pas valable puisqu'on s'intéresse à tous les angles jusqu'à l'angle critique. Il est donc nécessaire de faire un développement asymptotique sur tous les angles pré-critiques. Un tel développement est donné en annexe C. Cette formulation s'écrit :

$$|R_b|^2 \approx \frac{1 - v \cdot \alpha_b}{1 + v \cdot \alpha_b}, \text{ avec} \quad (12)$$

$$v = \frac{\rho_b^*}{\pi \cdot 8,686 \cdot (A - 1) \cdot (1 + \rho_b^{*2})}, \text{ avec } A = \left( \cos(\theta_w) \cdot \frac{C_b}{C_w} \right)^2$$

$$\text{et } \rho_b^* = \rho_b \cdot \frac{\cos(\theta_w) \cdot C_b / C_w}{\sqrt{A - 1}} \quad (13)$$

Excepté pour les milieux trop absorbants, ce qui sera discuté plus tard dans le rapport, cette expression asymptotique donne d'excellentes approximations du coefficient de réflexion pour les angles pré-critiques. On montre en annexe B que :

$$R_{sp} \approx Cte \cdot \frac{1 + w \cdot \alpha_b}{1 - w \cdot \alpha_b}, \text{ avec } w = q_1 \cdot v_1 - q_2 \cdot v_2 \quad (14)$$

En utilisant Eq. (8) et Eq. (14), le problème direct pour l'inversion de milieux équivalents s'exprime alors simplement sous la forme :

$$T_{1a} = \frac{D \times C_b}{C_{moy}^2} \quad (15)$$

$$R_{sp} = Cte \cdot \frac{1 + w \cdot \alpha_b}{1 - w \cdot \alpha_b}$$

## 4. INVERSION GÉOACOUSTIQUE

### 4.1. Formulation analytique du problème inverse

Sous des contraintes relativement faibles, on a montré qu'il était possible d'exprimer analytiquement le problème direct. Ceci conduit à une formulation du problème inverse de la forme :

$$\begin{aligned} C_b &= F^{-1}(T_{1a}) \\ \alpha_b &= G^{-1}(R_{sp}) \end{aligned} \quad (16)$$

La première équation du système permet d'estimer la vitesse de compression et la densité. La seconde permet de remonter à l'atténuation de compression. On déduit facilement que :

$$\alpha_b = \frac{R_{sp} - Cte}{w \cdot (R_{sp} + Cte)} \quad (17)$$

Là encore, il faut insister sur le fait que l'on cherche un milieu équivalent. Cela simplifie la tâche de l'inversion puisque même si le problème est mal posé en raison de la non-unicité de la solution, n'importe quelle solution pourra être retenue.

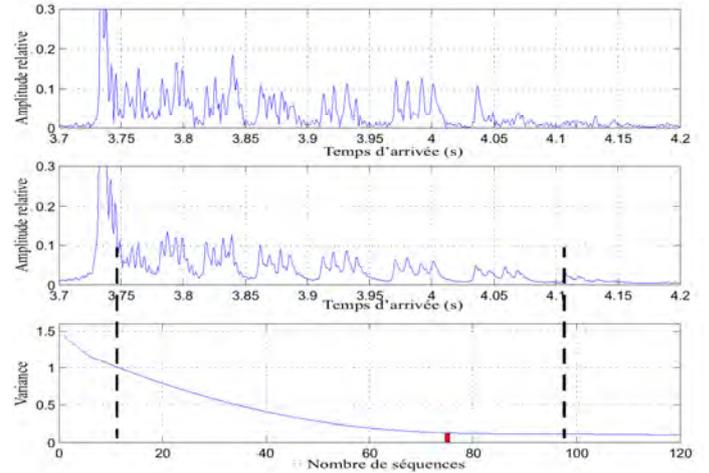


Figure 7. Effet de la sommation incohérente sur la variance de l'énergie reçue. Haut : réponse impulsionnelle estimée sur une séquence. Centre : réponse impulsionnelle estimée sur 75 séquences consécutives (10 minutes). Bas : évolution de la variance de l'énergie en fonction du nombre de séquences sommées.

## 4. 2. Inversion des données INTIMATE96

### 1) Sélection des données

Le jeu de données de la campagne INTIMATE96 est réparti en trois phases. La première phase contient les données recueillies durant un point fixe de 25 heures, sur un fond plat et en milieu non variable puisque se situant dans une direction nord-sud, ligne de phase de la marée interne. Un jeu de 30 minutes de données a été extrait. La réponse impulsionnelle mesurée est la moyenne issue de la sommation après recalage temporel de 75 séquences élémentaires (moyenne sur 10 minutes), ceci afin de s'affranchir des fluctuations hautes fréquences. Ce choix est basé sur le calcul de la variance de l'énergie reçue sur l'ensemble des arrivées réfléchies au fond. En effet, il existe un nombre minimal de séquences à considérer afin de minimiser cette variance (Figure 7).

Le tracé de rayons propres dans les conditions moyennes de bathycélérimétrie durant la campagne permet une très bonne identification des rayons réfléchis sur le fond (Figure 8). La déduction du paramètre  $T_{1a}$  est aisée. Par contre, il reste à choisir quels rayons vont être pris pour réa-

liser l'inversion de  $R_{sp}$ . En effet, deux rayons *a priori* suffisent. Or, on dispose de multiples quadruplets de rayons. Afin de tester la robustesse de la méthode, il a été procédé à des inversions sur plusieurs couples possibles de rayons. La première partie du signal étant composée d'arrivées directes, le premier quadruplet exploitable est le quadruplet repéré *qu1* sur la Figure 8. Le dernier quadruplet, qui se situe au voisinage de l'angle critique, n'est pas utilisé.

Enfin, on ne considère pas les cas de 2 rayons au sein du même quadruplet. Partant du principe que l'on veut réaliser l'inversion sur un rayon de faible rasance et un rayon de forte rasance, il existe trois familles de choix possibles :

- le premier rayon est pris dans le quadruplet *qu1*, le second pouvant être pris au choix dans *qu3*, *qu4*, *qu5* ou *qu6* (soit 64 possibilités) ;
- le premier rayon est pris dans le quadruplet *qu2*, le second pouvant être pris au choix dans *qu4*, *qu5* ou *qu6* (soit 48 possibilités) ;
- le premier rayon est pris dans le quadruplet *qu3*, le second pouvant être pris au choix dans *qu5* ou *qu6* (soit 32 possibilités).

Cette procédure permet de disposer d'un échantillon représentatif de 124 doublets pour tester la robustesse de l'inversion vis-à-vis du bruit sur les amplitudes et de l'influence de l'angle d'incidence.

## 2) Inversion

La première étape de l'inversion consiste à estimer la vitesse de compression. Cette partie est immédiate à partir de la mesure du temps d'arrivée du dernier rayon selon Eq. (8). On en déduit la densité à partir de Eq. (3).

La seconde étape de l'inversion consiste à estimer les amplitudes des rayons pour l'ensemble des doublets retenus. Cette estimation est faite par détection de maximum dans une fenêtre temporelle centrée autour du temps d'arrivée moyen du rayon considéré. A ce stade, l'amplitude  $R_{sp}$  est pondérée pour tenir compte de l'état de mer, comme expliqué en annexe A, et de la dispersion géométrique. L'atténuation de compression  $\alpha_b$  est alors estimée par résolution de Eq. (17).

## 3) Résultats

Un exemple de résultat d'inversion pour un exemple de doublet de rayons est présenté dans le Tableau 1. L'ensemble des résultats est présenté dans le Tableau 2 (résultats moyens) et sur la Figure 9. Dans un jeu de données, la dispersion autour de la valeur de l'atténuation de compression est principalement due aux données abérantes (amplitudes

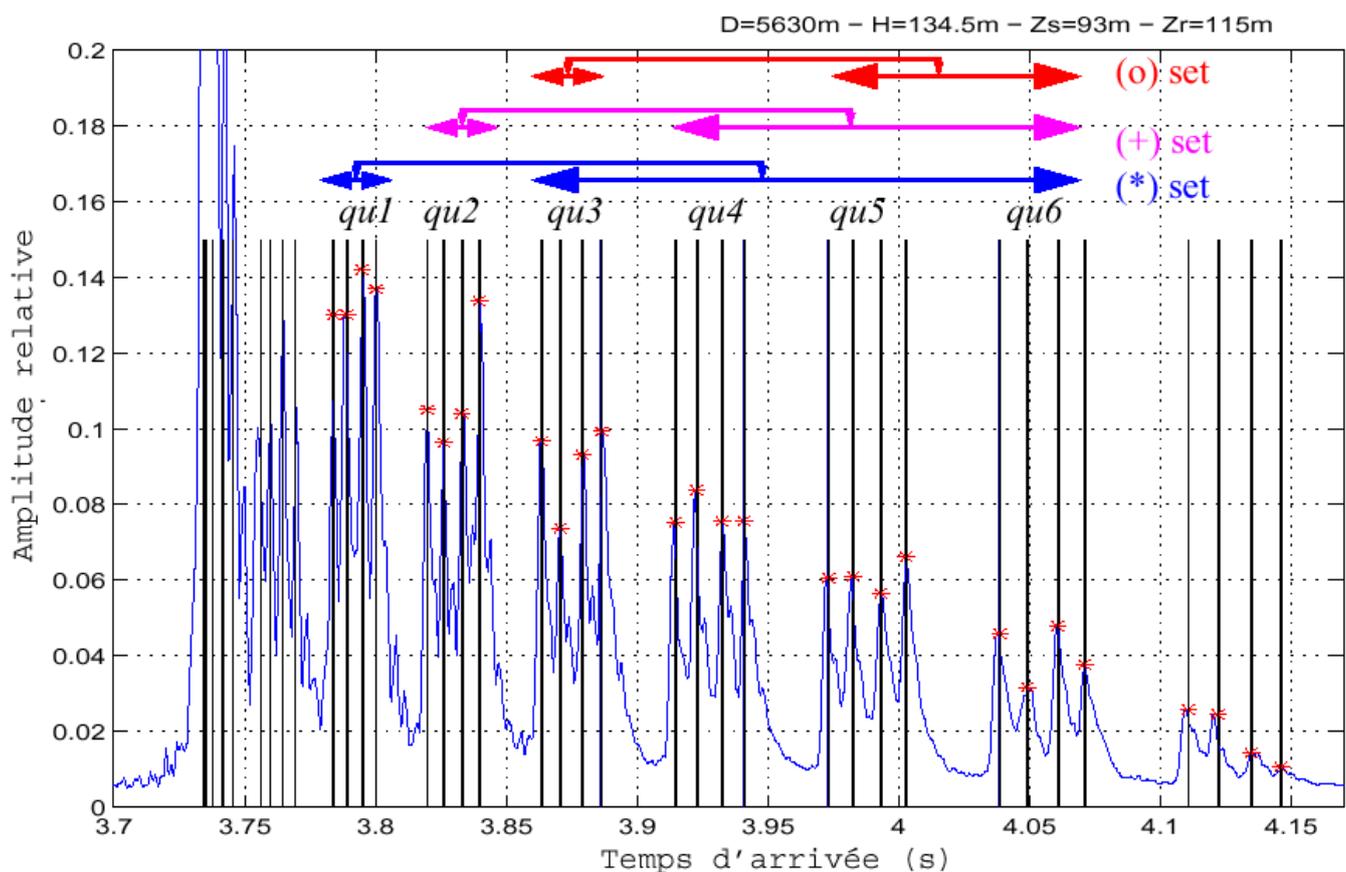


Figure 8. Comparaison entre la réponse du milieu et le tracé de rayons propres. On observe une correspondance parfaite entre les rayons prédits et les trajets réfléchis. De nombreuses combinaisons existent pour choisir deux rayons parmi l'ensemble des arrivées. Trois familles de solutions ont été testées : choix d'un rayon en *qu3* et un en *qu5* ou *qu6*, choix d'un rayon en *qu2* et un en *qu4*, *qu5* ou *qu6*, choix d'un rayon en *qu1* et un en *qu3*, *qu4*, *qu5* ou *qu6*.

Configuration	D = 5630m	H = 134.5m	Zs = 93m	Zr = 115m	$C_{moy} = 1511.5ms^{-1}$	
Etape 1	$T_{la} = 4.15 s$					
Inversion Etape 1	$C_b = 1685 ms^{-1}$			$\rho = 1.87 kg/dm^3$		
Etape 2	$y_1 = 0.1303$ $y_2 = 0.0967$	$t_1 = 3.784s$ $t_2 = 3.8637s$	$\theta_1 = 11.5deg$ $\theta_2 = 16deg$	$p(\theta_1) = 3$ $p(\theta_2) = 5$	$q_1 = 2$ $q_2 = 3$	D 1 = 5721.5 D 2 = 5840.7
Inversion Etape 2	$\alpha_b = 0.7634 dB/\lambda$					

Tableau 1. Paramètres et résultats d'inversion pour un doublet de rayons (premier rayon de  $qu1$ , dernier rayon de  $qu3$ ).

Etape 1	Etape 2	
$C_b = 1685 ms^{-1}$	Jeu 1 (64 couples)	$\alpha_b = 0.98 dB/l$
	Jeu 2 (48 couples)	$\alpha_b = 0.77 dB/l$
$\rho = 1.87 kg/dm^3$	Jeu 3 (32 couples)	$\alpha_b = 0.67 dB/l$
	Moyenne	$\alpha_b = 0.81 dB/\lambda$

Tableau 2. Résultats moyens de l'inversion sur l'ensemble des données (124 doublets de rayons).

erronées). De telles anomalies sont possibles sous l'effet du bruit et de la bathymétrie, qui peut par un phénomène local au voisinage de la zone de réflexion du rayon - présence d'une roche affleurante, d'algues ... - affecter son énergie. Par contre, les valeurs moyennes sont fiables. Il semble que la moyenne ne soit pas tout à fait la même pour les angles faibles que pour les angles forts. Ceci peut être dû aux effets

de réflexion à la surface ou à un écart dans la modélisation expérimentale du modèle de réflexion fluide de Rayleigh. L'effet du cisaillement, par exemple, peut augmenter l'atténuation des rayons aux faibles incidences et la diminuer pour les fortes incidences. Les résultats que nous retiendrons pour cette étude sont ceux donnés par la valeur moyenne, i.e.  $\alpha_b = 0.81 dB/\lambda$ .

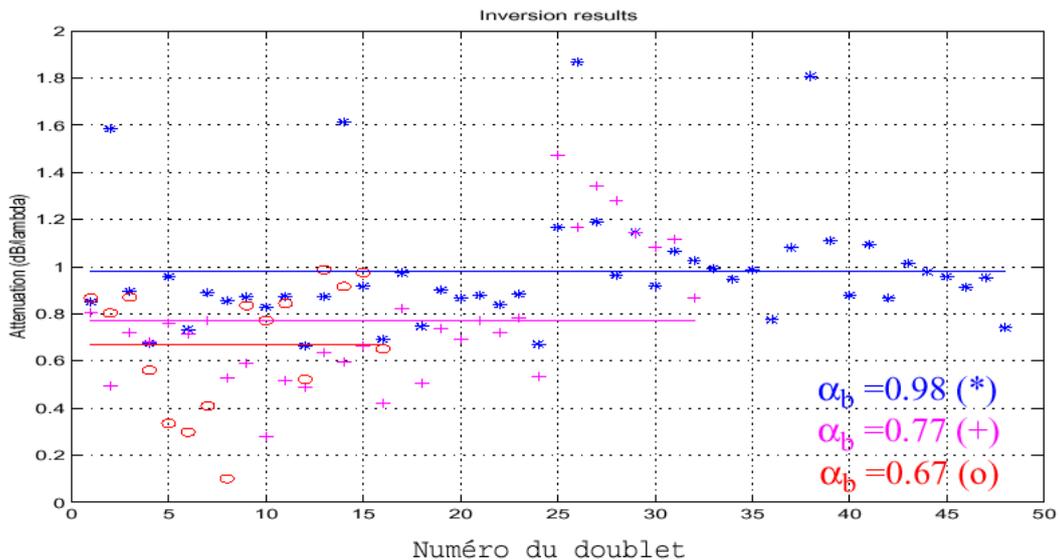


Figure 9. Résultats d'inversion pour l'atténuation de compression pour l'ensemble des trois jeux de données. La valeur moyenne est donnée par les traits pleins.

En conclusion, la méthode a permis de retrouver les paramètres géoacoustiques du fond équivalent au milieu réel rencontré dans la configuration nord-sud de la campagne INTIMATE96. Ces paramètres sont :

$$C_b = 1685 \text{ m/s}, \alpha_b = 0,81 \text{ dB}/\lambda, \rho_b = 1,87 \text{ kg/dm}^3 \quad (18)$$

La comparaison des coefficients de réflexion dans le milieu équivalent et dans le milieu réel est excellente pour les angles pré-critiques, comme le montre la Figure 10.

### 4.3 Discussion

Le but recherché par la méthode proposée dans ce rapport est d'estimer les paramètres géoacoustiques d'un milieu équivalent au milieu réel. Les résultats de la campagne INTIMATE96 montrent que cette méthode est très simple à mettre en oeuvre, qu'elle est rapide, précise et robuste. Du point de vue de la propagation, les pertes acoustiques calculées dans le milieu réel et dans le milieu équivalent sont les mêmes à quelques dixièmes de dB près sur des portées de 10 km. Un des atouts de la méthode est qu'elle repose sur une analyse de la réponse impulsionnelle (qui ne nécessite qu'un seul hydrophone de réception) et sur la propagation des rayons réfléchis au fond et en surface, si bien qu'elle est peu sensible aux conditions de célérité dans la colonne d'eau. La stratégie instrumentable est très légère puisqu'elle ne nécessite qu'une source large bande non calibrée et un hydrophone. Le positionnement précis des capteurs n'est pas nécessaire et de plus, la méthode est peu sensible aux déplacements de la source ou du récepteur. Elle est également stable vis-à-vis de la hauteur d'eau.

Les principales limitations de la méthode résident dans les faits suivants :

- elle ne s'applique pour l'instant qu'aux milieux ne variant pas avec la distance. Ceci vient du fait que les développements du coefficient de réflexion n'ont été menés que dans ce cadre. Néanmoins, les premiers résultats (non disponibles ici) montrent que le cas de milieux variables en nature de fond semble pouvoir

être traité de manière simple par un fond équivalent non seulement sur la verticale (couches sédimentaires) mais aussi sur l'horizontale (zones de rupture).

- Les effets de la surface peuvent se révéler perturbants puisqu'ils peuvent " noyer " le dernier rayon dans le bruit ambiant, notamment quand l'état de mer est supérieur à 4 (voir annexe A). Au-dessous de cette limite, il est possible de filtrer les effets de réflexion en surface en utilisant les lois standards.
- La méthode requiert un rapport signal-à-bruit suffisant, ce qui la rend plus délicate à mettre en oeuvre sur des distances longues. D'un autre côté, sur de courtes distances, le nombre de rayons réfléchis peut ne pas être suffisant pour bien déterminer la zone pré-critique du coefficient de réflexion. Il existe donc un intervalle de distance optimal pour la mise en oeuvre de la méthode, cet intervalle dépendant de la fréquence et de la hauteur d'eau. Néanmoins, cet intervalle est suffisamment large pour assurer la stabilité de la méthode et l'utilisation de sources de type sonar, dont les niveaux d'émission assez élevés assurent un rapport signal-à-bruit intéressant.
- La méthode ne s'applique pas aux milieux fortement absorbants, pour lesquels la partie stable du signal est très faible. Néanmoins cela signifie que la partie " utile " du signal sera celle au voisinage des angles de faible rasance (typiquement moins de 10 degrés). Notons que dans ce cas, il n'est pas utile de connaître précisément les paramètres géoacoustiques du fond puisque celui-ci ne participera quasiment pas à la détection. La méthode permettra néanmoins de déterminer que le fond est très absorbant et donnera donc une information opérationnellement pertinente.

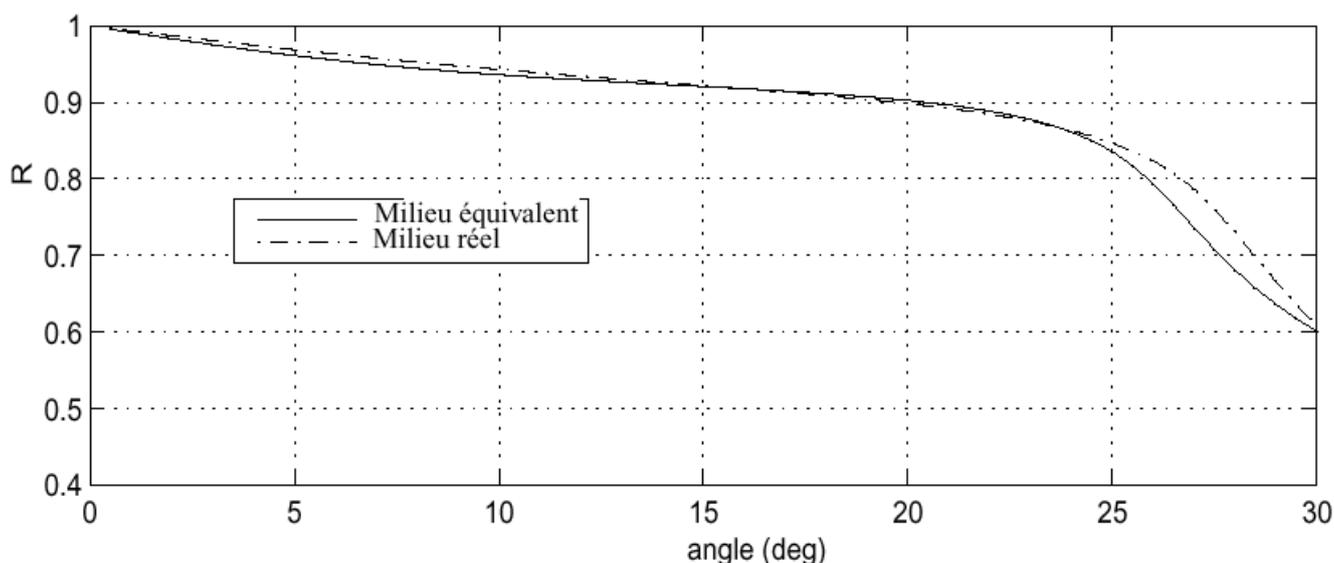


Figure 10. Comparaison des coefficients de réflexion du milieu équivalent et du milieu réel.

## 5. CONCLUSIONS

Une approche simple et rapide pour l'inversion géoacoustique a été présentée dans ce rapport. Le principe de la méthode est d'estimer un milieu équivalent qui possède les mêmes propriétés acoustiques en propagation que le milieu réel. Le principe repose sur le traitement de signaux large bande sur un unique hydrophone. La méthode a été appliquée avec succès aux données de la campagne INTIMATE96. Les limitations sont bien cernées et aucune d'elles ne semble insurmontable en vue de la réalisation d'un système opérationnel.

La suite à donner à ce travail est de deux ordres : d'une part, il sera intéressant d'étudier la possibilité d'étendre le concept d'inversion par milieux équivalents à des environnements plus défavorables, notamment des milieux variables par leur bathymétrie et par leur nature de fond. Le jeu de données nécessaire à ces études a été recueilli durant la campagne INTIMATE98 sur le plateau continental armoricain (Stéphan *et al.*, 2000). D'autre part, il paraît intéressant d'étudier la faisabilité opérationnelle d'une telle approche dans le cadre des opérations d'évaluation rapide de l'environnement. En particulier, peut-on, par cette approche, utiliser directement les systèmes sonar existants et disposer ainsi d'un moyen

de mesure rapide, robuste et précis des pertes acoustiques par réflexion de fond dans un environnement mal connu? Une telle approche, si elle est réalisable, permettrait notamment une amélioration significative de la connaissance de l'environnement pour l'amélioration des prédictions de portées en ATBF. Enfin, cette méthode est aussi potentiellement intéressante pour les applications de sonar adaptatif, où l'estimation de paramètres de fonds équivalents permet d'optimiser les algorithmes de détection et de suivi de sources et de cibles.

### Remerciements

Les auteurs remercient les équipages du NRP *Andromeda* et du BO *D'Entrecasteaux*, ainsi que les équipes de la Mission Océanographique de l'Atlantique et de la section Campagne à la Mer du Centre Militaire d'Océanographie. Nous remercions également le SACLANT Center pour le prêt de l'antenne de réception et R. Chiarabini pour sa participation. Merci à T. Folégot et G. Bonnaillie pour leurs contributions à ce travail.

## RÉFÉRENCES

- N.R. CHAPMAN, A. TOLSTOY ET G.H. BROOKE, "Workshop97: Benchmark for geoacoustic inversion in shallow water", *Journal of Computational Acoustics*, **6**, 1-28, 1998.
- X. DEMOULIN ET T. GARLAN, "Sedimentological acoustics: an attempt to fill the gap between acoustical models and sedimentological surveys", *High Frequency Acoustics in Shallow Water, Saclantcen conference proceedings series CP-45*, 163-170, 1997.
- X. DEMOULIN, Y. STÉPHAN, S. JESUS, E. COELHO ET M. PORTER, "INTIMATE96: A shallow water experiment devoted to the study of internal tides", *Shallow Water Acoustics*, Zhang & Zhou eds., China Ocean Press, 485-490, 1997.
- X. DEMOULIN, L. PELLISERO, Y. STÉPHAN, S. JESUS, M. PORTER ET E. COELHO, "Estimating equivalent bottom geoacoustical parameters from broadband inversion", *Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conference on Underwater Acoustics*, **1**, 191-196, 2000.
- S.E. DOSSO, M.L. YEREMY, J.M. OZARD ET N.R. CHAPMAN, "Estimation of ocean bottom properties by matched field inversion of acoustic field data", *IEEE Journal of Ocean Engineering*, **18**, 232-239, 1993.
- M.R. FALLAT ET S.E. DOSSO, "Geoacoustic inversion via local, global and hybrid algorithms", *Journal of the Acoustical Society of America*, **105**, 3219-3230, 1999.
- P. GERSTOFT, "Inversion of acoustic data using a combination of genetic algorithms and the Gauss-Newton approach", *Journal of the Acoustical Society of America*, **97**, 2181-2190, 1995.
- S.M. JESUS, M.B. PORTER, Y.A. STÉPHAN, E. COELHO ET X. DEMOULIN, "Broadband source localization with a single hydrophone", *IEEE Journal of Ocean Engineering*, **25**, 3, 337-346.
- E.L. HAMILTON ET R.T. BACHMAN, "Sound velocity and related properties of marine sediments", *Journal of the Acoustical Society of America*, **72**, 1891-1904, 1982.
- J.-P. HERMAND, E. MICHELOSI, P. GURERRINI ET A. BARBAGELATA, "Advanced drifting acoustic buoy field for rapid assessment of bottom properties in shallow water: EnVerse97 experiments", *Proceedings of the 4<sup>th</sup> European conference on Underwater Acoustics*, A. Phillipi & G.B. Cannelli Eds., Roma, 319-326.
- J.-P. HERMAND, "Broadband geoacoustic inversion in shallow water from waveguide impulse response measurements on a single hydrophone: Theory and experimental results", *IEEE Journal of Ocean Engineering*, **24**, n° 1, 41-66, 1999.
- M. B. PORTER, *The KRAKEN normal mode program*, SACLANT Undersea Research Centre Memorandum (SM-245) / Naval Research Laboratory Mem. Rep. 6920, 1991.
- M.B. PORTER, S.M. JESUS, Y.A. STÉPHAN, E. COELHO ET X. DEMOULIN, "Single phone source tracking in a variable environment", *Actes de la 4<sup>e</sup> "European conference on Underwater Acoustics"*, A. Phillipi & G.B. Cannelli Eds., Roma, 575-580, 1998.
- S.D. RAJAN, J.F. LYNCH ET G.V. FRISK, "Perturbative inversion methods for obtaining bottom geoacoustic parameters in shallow water", *Journal of the Acoustical Society of America*, **82**, 998-1017, 1987.
- P.W. SMITH, "Low-frequency rolloff in the response of shallow-water channels", *Journal of the Acoustical Society of America*, **79**, 71-75, 1986.
- Y.A. STÉPHAN, X. DEMOULIN, T. FOLÉGOT, S. M. JESUS, M.B. PORTER ET E. COELHO, "Influence de l'environnement sur la propagation acoustique par petits fonds: la campagne de tomographie acoustique INTIMATE96", fiche technique n° 18/EPSSHOM/CMO/OCA/NP, 1998.
- Y.A. STÉPHAN, X. DEMOULIN, T. FOLÉGOT, S. M. JESUS, M.B. PORTER ET E. COELHO, "Acoustical effects of internal tides on shallow water propagation: An overview of the INTIMATE96 experiment", à paraître dans *Experimental Acoustic Inversion Methods for Exploration of the Shallow Water Environment*, Hermand/Porter/Jesus/Caiti Eds, 2000..20
- Y.A. STÉPHAN, T. FOLÉGOT, X. DEMOULIN, J.M. LÉCULIER ET J. SMALL, "The INTIMATE98 experiment", *Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conference on Underwater Acoustics*, **2**, 1329- 1334, 2000.

## Annexe A : Effets de l'état de mer.

Les réflexions surface-fond comprennent bien entendu non seulement la signature des fonds mais également celle de la surface de la mer. Sous l'hypothèse d'une réflexion spéculaire en surface, l'état de mer peut être pris en compte par des lois standards, comme le coefficient de Eckart :

$$R(\theta) = V \exp(-2k^2 \sigma^2 \sin^2 \theta), \quad (19)$$

avec  $\sigma = 5,33 \cdot 10^{-3} v^2$ .  $V$ ,  $V$  étant le coefficient de Rayleigh ( $V = -1$  pour la surface),  $v$  est la vitesse du vent en m/s et  $k = 2\pi/\lambda$ . Cette expression est valide sous la condition  $2k\sigma \sin \theta < 1$ .

Dans le cas d'INTIMATE96, la fréquence centrale est de 650 Hz et la valeur maximale de l'angle d'émission est de 26,2 degrés, obtenu par la relation. On obtient donc  $\sigma < 0,42$  ce qui conduit à une valeur de vitesse de vent de 9 m/s, ce qui est supérieur à la vitesse observée pendant la campagne ( $v_{obs} = 4$  m/s).

En utilisant à nouveau le coefficient d'Eckart appliqué à l'exemple numérique du Tableau 1, l'effet de la surface conduit à une pondération de  $R_S(\theta_1) / R_S(\theta_2) = 1,0288$  sur la valeur mesurée du rapport signal-à-bruit. Bien que très proche de 1 sur cet exemple, cette pondération peut être non négligeable pour les forts angles d'émission.

Si la vitesse du vent est plus forte, la réflexion non spéculaire tend à détériorer la propagation multitrajet ; l'interprétation de l'amplitude des pics est plus douteuse et l'estimation de la vitesse et du coefficient de compression est plus problématique. De plus, le rapport signal-à-bruit est moins fort et l'identification de la dernière arrivée est plus difficile.

## Annexe B : Relation entre $R_{sp}$ et $\alpha_b$

Par comparaison de la réponse impulsionnelle du milieu et un tracé de rayon, on peut aisément relier chaque arrivée observée dans le signal avec le rayon correspondant et, par suite, ses paramètres caractéristiques :  $\theta_i$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $D_i$ . On obtient donc pour  $R_{sp}$  :

$$R_{sp} = \frac{Ky(\theta_2)}{Ky(\theta_1)} = \sqrt{\frac{\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_1)}} \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{e^{-\alpha D_2} \cdot R_s^{p(\theta_2)}(\theta_2) \cdot R_b^{q(\theta_2)}(\theta_2)}{e^{-\alpha D_1} \cdot R_s^{p(\theta_1)}(\theta_1) \cdot R_b^{q(\theta_1)}(\theta_1)} = Cte \cdot \frac{R_b^{q(\theta_2)}(\theta_2)}{R_b^{q(\theta_1)}(\theta_1)}. \quad (20)$$

$R_{sp}$  et Cte peuvent être calculés facilement et on obtient :

$$T = \frac{(|R_{b_2}|^2)^{q_2}}{(|R_{b_1}|^2)^{q_1}} = \frac{R_{sp}}{Cte}, \quad (21)$$

en utilisant la notation discrète  $R_{b_i}$  pour  $R_b(\theta_i)$  et  $q_i$  pour  $2 \cdot q(\theta_i)$ .

En utilisant l'expression asymptotique de  $R_b$  développée en annexe C :

$$|R_b|^2 \approx \frac{1 - v \cdot \alpha_2}{1 + v \cdot \alpha_2}, \quad (22)$$

et en approximant  $(|R_b|^2)^q$  par son développement limité au premier ordre -ce qui est licite en raison de la faible valeur de  $v$  :

$$(1 + v \cdot \alpha_b)^q \approx 1 + v \cdot q \cdot \alpha_b, \quad (23)$$

on obtient :

$$T \approx \frac{(1 - \alpha_b \cdot q_2 \cdot v_2)}{(1 + \alpha_b \cdot q_2 \cdot v_2)} \cdot \frac{(1 + \alpha_b \cdot q_1 \cdot v_1)}{(1 - \alpha_b \cdot q_1 \cdot v_1)} \approx \frac{1 + \alpha_b \cdot w}{1 - \alpha_b \cdot w}$$

$$\text{avec } w = q_1 \cdot v_1 - q_2 \cdot v_2 \quad (24)$$

et conduit à la relation :

$$R_{sp} = \frac{Ky(\theta_2)}{Ky(\theta_1)} = Cte \cdot T \approx Cte \cdot \frac{1 + w \cdot \alpha_b}{1 - w \cdot \alpha_b}, \quad (25)$$

équation de laquelle on déduit :

$$\alpha_b = \frac{R_{sp} - Cte}{w \cdot (R_{sp} + Cte)}. \quad (26)$$

## Annexe C : Formulation asymptotique de $R(\theta)$

Dans cette annexe, on recherche une formulation asymptotique de  $R(\theta)$  qui mette en avant la dépendance analytique vis-à-vis de l'atténuation  $\alpha_b$ . Cette expression doit être valide pour des angles sub-critiques  $0 < \theta < \theta_c$  pour lesquels, étant donnés les paramètres  $\rho_b$  et  $C_b$ , le coefficient de Rayleigh présente une décroissance proportionnelle à  $\alpha_b$ . Cette formulation, qui se révèle être précieuse dans le cadre de la méthode présentée ici, peut également se révéler très intéressante pour estimer rapidement les effets de l'atténuation sur les pertes en transmission par petits fonds.

On rappelle que le coefficient de Rayleigh pour une interface fluide-fluide s'écrit :

$$R(\theta) = \frac{Z_b - Z_w}{Z_b + Z_w} = \frac{\frac{\rho_b \cdot c_b}{\sin(\theta_b)} - \frac{\rho_w \cdot c_w}{\sin(\theta_w)}}{\frac{\rho_b \cdot c_b}{\sin(\theta_b)} + \frac{\rho_w \cdot c_w}{\sin(\theta_w)}}, \text{ avec :}$$

$$c_b = \frac{C_b}{1 + \frac{i \cdot \alpha_b}{2 \cdot \pi \cdot 8,686}} = \frac{C_b}{1 + i \cdot \varepsilon} \sim \frac{C_b \cdot (1 - i \cdot \varepsilon)}{1 + \varepsilon^2} \sim C_b \cdot e^{-i \cdot \varepsilon} \quad (27)$$

Ces expressions sont valides pour  $\varepsilon \ll 1$ , i.e pour  $\alpha_b \ll 2 \cdot \pi \cdot 8,686$ .

En utilisant l'équation Eq. (27) pour évaluer  $\sin(\theta_b)^2$ , on obtient :

$$Z = \sin(\theta_b)^2 = z^2 = 1 - (\cos(\theta_w)^2 \cdot c_b^2 / c_w^2) = 1 - (\cos(\theta_w)^2 \cdot C_b^2 / c_w^2 \cdot (1 - 2 \cdot i \cdot \varepsilon)), \quad (28)$$

qui peut être écrit dans sa forme complexe  $|Z| \cdot e^{i \cdot \arg(Z)}$  :

$$Z = |Z| e^{i \cdot \arg(Z)}$$

$$(|Z| = \sqrt{(1 - A)^2 + 4\varepsilon^2 A^2} \sim \sqrt{(1 - A)^2} \sim (A - 1)),$$

$$\arg(Z) = \frac{2\varepsilon A}{1 - A} + \pi \quad (29)$$

où  $A = (\cos \theta_w) \cdot C_b / C_w)^2$ . Le terme  $\pi$  dans Eq. (29) provient de l'hypothèse  $\theta < \theta_c$ , qui entraîne  $A > 1$ . On déduit donc que  $z$ , racine carrée de  $Z$ , vaut

$$z = \sin(\theta_b) = |Z|^{1/2} \cdot e^{i \cdot \frac{\arg(Z)}{2}} \sim \sqrt{(A - 1)} \cdot e^{i \cdot \frac{\varepsilon A}{1 - A}} \cdot e^{i \cdot \frac{\pi}{2}} \quad (30)$$

et que :

$$\frac{Z_b}{Z_w} = \rho_b / \sqrt{(A - 1)} \cdot C_b / C_w \cdot \sin(\theta_w) \cdot e^{i \cdot \left(-\frac{\varepsilon}{1 - A} - \frac{\pi}{2}\right)} =$$

$$X \cdot e^{i \cdot \left(-u - \frac{\pi}{2}\right)} \sim X \cdot (u - i), \quad (31)$$

avec  $u = \varepsilon / (1 - A) \ll 1$  et  $X = \rho_b / (\sqrt{(A - 1)}) \cdot C_b / C_w \cdot \sin(\theta_w)$

Le développement limité peut s'écrire de la manière suivante :

$$\left| \frac{Z_b}{Z_w} \mp 1 \right|^2 = (Xu \mp 1)^2 + X^2 \sim \mp 2uX + 1 + X^2, \quad (32)$$

ce qui conduit à l'expression finale :

$$|R_b|^2 \approx \frac{1 + (2uX)/(1 + X^2)}{1 - (2uX)/(1 + X^2)} \sim \frac{1 + v \cdot \alpha_2}{1 - v \cdot \alpha_2}, \quad (33)$$

avec :

$$v = \frac{X}{\pi \cdot 8,686 \cdot (A - 1)} / (1 + X^2) \quad (34)$$

# DÉTERMINATION DE LA ZONE D'INSONIFICATION D'UN SONDEUR MULTIFAISCEAU PAR PROPAGATION DE FRONTS

par Nathalie Debese, ingénieur d'études  
Etablissement principal du SHOM, section géodésie-géophysique

## RÉSUMÉ

Pour l'exécution de ses levés hydrographiques, le **SHOM** (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) exploite depuis une dizaine d'années trois sondeurs multifaisceaux. Ces systèmes fournissent des mesures simultanées de la profondeur d'eau suivant l'axe transversal au navire permettant un gain de temps considérable dans les sondages bathymétriques.

La préparation, la gestion ainsi que l'exploitation d'un levé bathymétrique reposent sur une présentation synthétique de la zone insonifiée par le sondeur. Les représentations jusqu'alors utilisées s'appuyaient uniquement sur une approximation de la couverture obtenue en supposant fixe l'aire d'insonification de chaque faisceau.

Cet article propose une méthode alternative de construction de la couverture basée sur une opération courante en morphologie mathématique : la dilatation. L'originalité de l'approche proposée réside dans sa mise en œuvre. Une reformulation de la dilatation en termes de propagation de fronts à vitesse uniforme permet d'optimiser le temps de traitement de la couverture fixe, tout en offrant une précision optimale (distance euclidienne). Cette même reformulation permet l'implémentation efficace d'une **dilatation adaptative**. Celle-ci conduit à une représentation plus réaliste de la couverture pour une précision et un temps de traitement acceptables. Utilisée dans la phase de préparation du levé, elle permet également, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain grossier et des caractéristiques du sondeur, de simuler une couverture.

## ABSTRACT

*For the execution of its bathymetric surveys, the French hydrographic and oceanographic service of the Navy (**SHOM**) operates since ten years three MultiBeam Echo-Sounders (MBES). These systems carry out simultaneous depth measurements along the transversal axis of the ship decreasing the time for collecting the data.*

*Planning, managing as well as running a bathymetric campaign rely on a synthetic representation of the area observed by the Echo-Sounder. Representations previously used were only based on an approximation of the covered area obtained by making the assumption that the insonification area of each beam is fixed.*

*This paper proposes an alternative method for building an insonification area based on a standard operation of mathematical morphology: the dilation. The original aspect of our approach lies in its implementation. A reformulation of the dilation in terms of constant fronts propagation to perform a fixed covered area allows optimization of both the time and precision (Euclidean distance). This also gives rise to an efficient implementation of an **adaptive dilation**. This one led to a more realistic and accurate representation of the covered area in an acceptable processing time. Used during the planning of the campaign, it allows to simulate a covered area from a rough Digital Elevation Model and the Echo-Sounder parameters.*

# TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>7-3</b>
<b>2. DÉFINITIONS</b> .....	<b>7-3</b>
2.1 Couvertures calculées .....	7-3
2.2 Couverture simulée.....	7-4
<b>3. CONSTRUCTION PAR PROPAGATION DE FRONTS</b> .....	<b>7-4</b>
3.1 Généralités .....	7-4
3.2 Application au calcul d'une couverture .....	7-5
<b>4. APPLICATION</b> .....	<b>7-6</b>
<b>5. CONCLUSIONS</b> .....	<b>7-7</b>
<b>6. RÉFÉRENCES</b> .....	<b>7-8</b>

## 1. INTRODUCTION

Les sondeurs multifaisceaux fournissent des mesures simultanées de la profondeur d'eau dans l'axe transversal au navire, ce qui permet un gain de temps considérable dans les sondages bathymétriques. A titre d'exemple, le sondeur Simrad EM12-Dual peut couvrir des surfaces d'une largeur pouvant aller jusqu'à 7 fois la profondeur d'eau.

La couverture d'un sondeur multifaisceau (la zone insonifiée ou encore éclairée par le sondeur) dépend de la largeur d'insonification qui est fonction de l'ouverture du sondeur et de la profondeur. Elle dépend également du lacet : étant donné l'importance du bras de levier, de forts écarts du cap autour de la route moyenne peuvent induire une irrégularité de la couverture. Afin de réaliser une insonification totale, l'espacement entre les routes suivies par le navire est choisi de façon à éviter la présence de «trous». Cependant, comme les fonds ne sont généralement pas connus, un suivi en temps réel reste nécessaire. Celui-ci s'appuie sur une représentation synthétique de la zone ayant été insonifiée. La couverture *y* est décrite à l'aide de deux lignes de contours. La première est extérieure au lot de sondes, la seconde en délimite les «trous». L'une et l'autre de ces lignes sont générées pour un rayon de contrôle donné, permettant de prendre ainsi partiellement en compte la surface de la zone insonifiée de chaque mesure, laquelle dépend à la fois du système et de la profondeur mesurée. Actuellement, la couverture est calculée en supposant que l'aire d'insonification de chaque faisceau (encore appelé pied de faisceau) est constante. Or, celle-ci augmente proportionnellement à la profondeur et s'avère donc très différente des faisceaux centraux aux faisceaux latéraux d'un même système.

La couverture d'un jeu de sondes est définie comme étant la somme des pieds de faisceaux attachés à chaque mesure. La construction de la couverture se ramène, dans l'idéal, à une opération courante en morphologie mathématique : la dilatation. L'originalité de l'approche décrite dans cet article tient dans la mise en oeuvre de cette famille d'opérations, qu'elle reformule en termes de propagation de fronts à vitesse uniforme (advection).

Le premier argument expliquant ce choix méthodologique réside dans le fait que les opérations morphologiques construites par propagation de contours (Ragnemalm 1992) permettent d'optimiser le temps de traitement. Un autre avantage, essentiel pour cette application, est qu'il devient possible de mener simultanément des opérations de tailles différentes rendant ainsi la couverture **adaptive**.

Tout comme la couverture calculée avec un rayon fixe, la couverture **adaptive** est utilisée au cours d'un levé pour optimiser la gestion. Elle pourra également être utilisée lors de la phase d'exploitation du levé en contraignant (interdisant les extrapolations abusives) le Modèle Numérique de Terrain qui sera calculé.

La couverture est également utilisée pour la préparation des levés lorsque l'on définit les profils de navigation à suivre. Actuellement, cette phase est entièrement manuelle ; cette étude se propose de l'automatiser. Pour ce faire, il a été nécessaire de définir un second type de couverture, à savoir la couverture simulée. Contrairement à la couverture calculée, dont la définition est donnée ci-dessus, la couverture simulée attachée à une route de navigation est définie comme

étant la surface au sol qu'éclaire en théorie le sondeur suivant ladite route. Comme la couverture calculée, la couverture simulée dépend des caractéristiques du sondeur et du relief. Les caractéristiques du relief sont décrites au moyen d'un Modèle Numérique de Terrain très grossier construit à partir des données bathymétriques disponibles sur la zone à lever. Quant aux caractéristiques du système, il s'agit de l'angle d'ouverture et des limites physiques du sondeur (ouverture).

Les deux types de couverture sont définis dans le paragraphe ci-dessous. Après avoir brièvement introduit la technique de propagation de fronts, son application puis sa généralisation au cas de couverture adaptative son présentées. Pour finir, le dernier paragraphe présente les gains en temps et précision de la technique utilisée ainsi que l'apport d'une couverture adaptative.

## 2. DÉFINITIONS

Deux types de couverture ont été définis :

- une couverture *calculée* : à partir des sondes  $(x, y, z)$  acquises au cours du levé,
- une couverture *simulée* : à partir d'une modélisation grossière des fonds marins lors de la phase de préparation du levé.

Comme l'illustrent les figures 2-1 et 2-2, le calcul de ces couvertures s'appuie sur une description des reliefs ainsi qu'une modélisation des caractéristiques du sondeur utilisé.

### 2.1 Couvertures calculées

Bien qu'étant représentée par un triplet  $(x, y, z)$ , une sonde acquise par un faisceau correspond à une valeur moyenne de la profondeur évaluée sur son aire d'insonification, encore désignée sous le vocable de pied de faisceau.

Deux modes de calcul sont envisagés selon la modélisation des pieds de faisceau que l'on retient :

- **fixe** : la pastille d'insonification est identique quel que soit le faisceau.
- **adaptive** : la pastille d'insonification est fonction des caractéristiques de chaque faisceau.

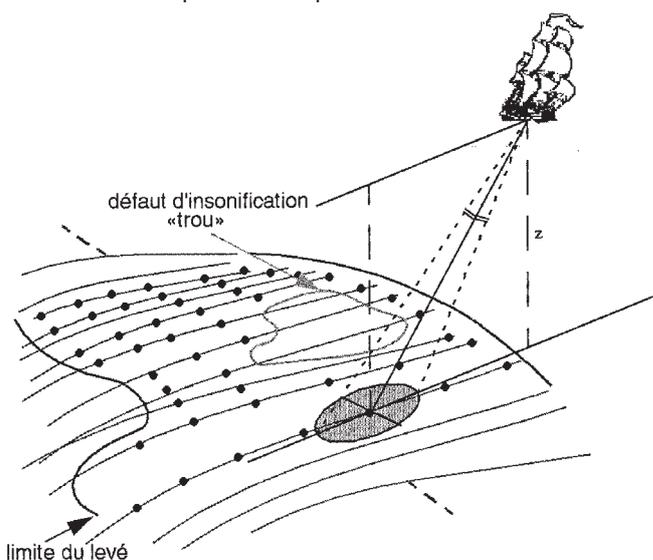


Figure 2-1 - Couverture calculée.

La couverture **fixe** associe à chaque sonde une pastille d'insonification identique quel que soit le faisceau ayant effectué la mesure, et ce, indépendamment de la mesure elle-même. Autrement dit, chaque point du lot de sondes est dilaté pour couvrir la même surface.

Le modèle retenu est celui d'un disque de rayon  $R$  pouvant être fixé *a priori* ou déduit des caractéristiques du lot de sondes.

La couverture **adaptative** permet de prendre en compte les caractéristiques des reliefs et celles du sondeur. Elle est particulièrement adaptée au cas de levés réalisés sur des zones présentant de fortes variations du relief. En outre, par très grands fonds, elle permet de prendre en compte les déformations des pieds des faisceaux latéraux.

Afin de conserver des temps de calcul raisonnables, les modèles adoptés s'affranchissent des angles de roulis et de tangage du navire. D'autre part, ils supposent que les effets liés à la pente locale sont négligeables dans le calcul des pieds de faisceaux. Deux modèles sont proposés qui dépendent du sondeur utilisé. Dans le cas du sondeur petits fonds (5 m – 300 m) Thomson-Lenormor comprenant 20 faisceaux aux ouvertures angulaires latérale et longitudinale identiques, la déformation des pieds de faisceaux extérieurs est faible. En conséquence le modèle est identique quel que soit le faisceau. Il s'agit d'un disque dont le rayon est défini en fonction de la profondeur locale et des angles de pointé,  $\alpha_f$ , et d'ouverture du faisceau,  $\beta_f R(z, \alpha_f, \beta_f)$ .

Dans le cas du sondeur grands fonds (200 m – 12000 m) Simrad EM12-Dual comportant 162 faisceaux et dont l'ouverture qui dépend mode de fonctionnement du sondeur peut atteindre 150°, la déformation des faisceaux extérieurs doit être prise en compte par le modèle. Le pied d'un faisceau latéral sera modélisé par un ensemble de disques de rayon variable  $\{R(z, \alpha_i, \beta_i)\}_{i=1, \dots, N}$ . Dans la pratique, la modélisation des faisceaux latéraux revient à rajouter des sondes fictives au lot de sondes initial.

## 2.2 Couverture simulée

La *couverture simulée* associée à la route  $R$  est une estimation théorique de la zone insonifiée par le sondeur lorsqu'il suit la route  $R$ . Elle est déterminée à partir des caractéristiques des reliefs décrits à l'aide d'un Modèle Numérique de Terrain grossier (e.g. construit à partir des sondes de la Base de données bathymétriques du **SHOM**) et de l'ouverture angulaire du sondeur.

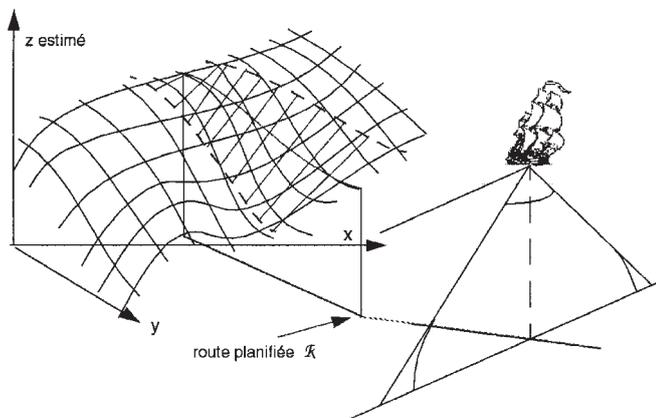


Figure 2-2 - Couverture simulée.

Cette couverture prévisionnelle sert à optimiser la planification d'un levé. Sa précision est celle du Modèle Numérique de Terrain à partir duquel elle est construite.

## 3. CONSTRUCTION PAR PROPAGATION DE FRONTS

### 3.1 Généralités

En 2D, l'évolution temporelle d'un front d'onde peut être représentée par une courbe qui se propage dans ses directions normales avec une vitesse pouvant dépendre de critères extrinsèques ou intrinsèques au front. Dans le cas particulier, où tous les points du front se déplacent à la même vitesse orthogonale, on parle de processus d'advection (Jacq 1997). Il s'agit d'un processus d'advection linéaire, lorsque le module de la vitesse de propagation est invariant. La forme algorithmique la plus simple de l'advection linéaire est celle de l'implémentation de **la dilatation** dans un graphe binaire - ce que l'on cherche à faire ici. Dans ce cas, l'évolution du front initial vérifie le principe d'Huygens, à savoir qu'un front se propageant à une vitesse unitaire est, à l'instant  $t$ , uniquement composé des points situés à distance  $t$  du front initial.

Dans le cadre de la théorie des graphes, propager un front par advection linéaire revient à construire une arborescence à coût uniforme à partir des sommets décrivant les fronts initiaux. La majeure partie du coût opératoire de l'algorithme de propagation à distance uniforme réside dans la phase de recherche du sommet ouvert (non visité) présentant le plus faible coût. Pour pouvoir accéder rapidement à ce sommet, il faut que la liste des sommets ouverts soit ordonnée en fonction du coût associé au sommet. On peut, comme le propose Verwer dans (Verwer 1989) mettre en oeuvre une technique informatique simple de tri par paniers, dès lors que les coûts s'expriment par valeurs entières. On se donne alors un panier par valeur possible du coût et l'on utilise la valeur du coût comme indice du panier. On initialise le processus de propagation en plaçant tous les sommets décrivant le front initial dans le panier de coût nul. Ainsi que l'illustre la figure 3.1, on examine ensuite, un par un, chaque panier dans l'ordre croissant. L'examen d'un panier se ramène à l'examen des sommets qui le composent. L'ordre d'observation des sommets d'un panier peut être quelconque. En pratique, comme les paniers sont implémentés sous forme de listes, l'ordre du balayage est celui associé à la gestion de la liste. Lorsque l'on examine un sommet, deux cas de figure peuvent se produire :

- Le sommet  $p$  est fermé, c'est à dire qu'on l'a déjà rencontré avec un coût inférieur. Dans ce cas, il est simplement retiré de la liste.
- Le sommet  $p$  est ouvert. Dans ce cas, on note qu'il vient d'être observé (on le ferme). Il génère ensuite ses successeurs. Le successeur  $p'$  d'un sommet est un sommet voisin, au sens du voisinage défini sur le graphe, n'ayant pas été déjà fermé. On sait calculer le coût associé à un successeur :  $c(p')$  : c'est le coût associé au chemin menant au sommet  $p$  auquel s'ajoute le coût du chemin reliant le sommet  $p$  à son successeur. On affecte donc le successeur au panier d'indice  $c(p')$ .

Comme la liste des paniers est traitée par ordre croissant de leur indice et donc des coûts, on est assuré que les successeurs des sommets d'un panier sont des sommets dont le coût est toujours strictement supérieur à l'index du panier en question (la propagation est entropique).

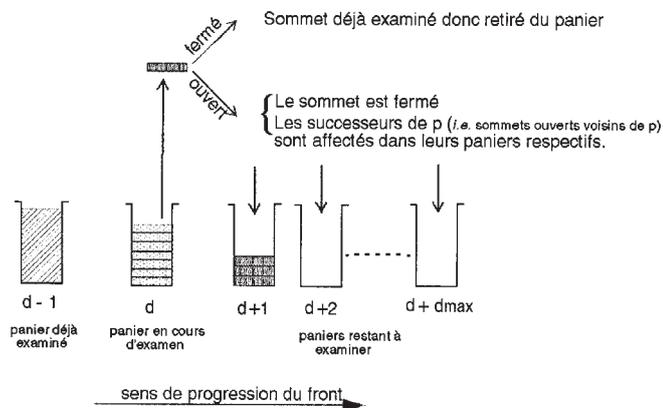


Figure 3-1 – Progression d'un front à distance uniforme, à l'aide d'un tri par paniers - examen du panier d.

La distance ainsi obtenue est non-euclidienne. Ragnemalm montre dans (Ragnemalm 1992) que cette technique peut être étendue au cas de la distance euclidienne en indexant les paniers à l'aide de la norme au carré du vecteur position reliant la position du sommet à celle du sommet le plus proche au sein du front initial :  $(v_i, v_j)$ .

### 3.2 Application au calcul d'une couverture

Comme évoqué précédemment, la couverture met en oeuvre une opération classique en morphologie mathématique binaire : la dilatation (extension des régions d'une image). Optionnellement, il est possible de proposer un post-filtrage de la couverture ainsi obtenue, en procédant à une fermeture (dilatation suivie d'une érosion - contraction des régions d'une image - de même taille). En restant dans le cadre de la progression d'un front, cette opération s'intègre dans le processus dynamique d'évolution du front. Pour réaliser une ouverture de taille  $\delta$ , il suffit de faire progresser le front sur une distance supplémentaire  $\delta$ , puis, après avoir inversé le sens de propagation, d'effectuer une progression du front sur cette même distance  $d$ . Il en résulte un effet de lissage, sélectif ou partiel, des contours des couvertures - les anfractuosités sont atténuées; de même les «trous» de taille inférieure ou égale à celle de la fermeture sont comblés. Ces deux opérations ont été implémentées à l'aide d'un algorithme de propagation d'un front, à distance uniforme, à l'aide d'un tri par paniers.

Dans ce cadre, la détermination d'une couverture suppose la création préalable d'une image binaire à partir du lot de sondes initial - un pixel à l'état 0 représentera une cellule (élément de l'image) vide, alors qu'un pixel à l'état 1 représentera une cellule contenant au moins une sonde. La taille des pixels définit la précision de la couverture. C'est un paramètre essentiel de l'algorithme, que l'on déduit de la taille de la dilatation.

#### Détermination d'une couverture fixe.

Le front est propagé à partir des cellules contenant au moins une sonde. Dans le cas d'une progression suivant la distance euclidienne, chaque panier est indexé par la norme au carré du vecteur position des sommets  $p$  qu'il contient. La propagation du front nécessite de connaître pour chaque sommet  $p$  ses index  $(i, j)$  dans l'image ainsi que les coordonnées  $(v_i, v_j)$  du vecteur position qui lui est associé.

#### Détermination d'une couverture adaptative.

Dans le cas d'une couverture *adaptative*, la taille de la dilatation dépend des caractéristiques (profondeur et angle d'incidence du faisceau ayant effectué la mesure) de chaque sonde. La progression à vitesse constante de fronts initialisés au même instant conduit à la dilatation uniforme du jeu de sondes. Un moyen simple visant à rendre la taille de la dilatation dépendante des caractéristiques des sondes est de généraliser l'algorithme précédent au cas de fronts se propageant à vitesse constante mais initialisés à des instants différents (Debesse 1999). Comme précédemment, la dilatation opère sur une grille. Afin de déterminer les instants d'initialisation des différents fronts, on affecte à chaque cellule de la grille la profondeur maximale des sondes qu'elle contient. Les instants d'initialisation des fronts attachés à chaque sonde sont déduits de l'histogramme des profondeurs calculé sur la grille. Le pas de l'histogramme tient compte de la précision de la grille et de l'ouverture angulaire longitudinale des faisceaux.

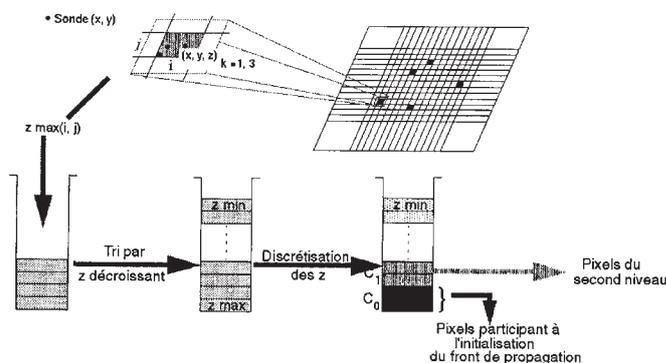


Figure 3-2 (a) - Initialisation de la temporisation des différents fronts de propagation - cas d'une couverture *adaptative*.

A l'instant  $t_0$  relatif à l'initialisation du processus de création de la couverture adaptative, les fronts initiaux sont composés des pixels correspondant à la classe des pixels de profondeur maximale  $Z_{max}$  (C.f. Figure - 3-2 (a)). On associe à chacun de ces pixels ainsi qu'illustré sur la figure 3-2 (b), le vecteur nul. Lors de la première étape, chaque pixel - en noir - du front initial donne naissance à un ensemble de successeurs, qui sont soit affectés au panier  $p[1]$ , soit affectés au panier  $p[2]$ . Avant de faire progresser le front en générant la descendance des pixels contenus dans le panier, on commence par ajouter, s'il y a lieu, les pixels décrivant les nouveaux fronts de propagation. Ainsi, le panier  $p[1]$  contient-il à la fois les pixels générés par ceux du panier  $p[0]$  et ceux issus de la classe  $C_1$  de l'histogramme des profondeurs. Les

vecteurs positions des pixels du front qui vient d'être initialisé sont mis à 0. La progression des fronts étant causale, il est nécessaire de tenir compte de leur retard éventuel dans le calcul de l'index des paniers dans lesquels seront placés les descendants des pixels qui les décrivent. D'un point de vue pratique, cela signifie qu'il devient nécessaire de stocker en plus des index  $(i, j)$  des pixels et des coordonnées  $(v_i, v_j)$  du vecteur distance qui leur sont associés, l'instant du front leur ayant donné naissance.

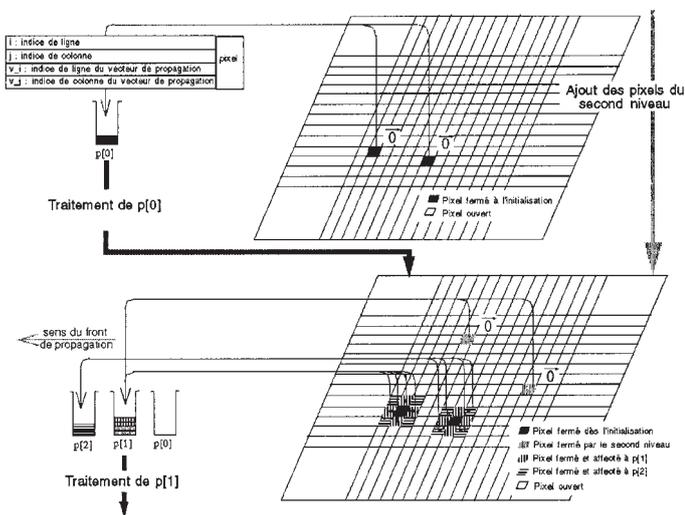


Figure 3-2 (b) – Propagation du front initial puis initialisation des pixels du second front - cas d'une couverture *adaptative*.

#### Détermination d'une couverture simulée.

Avec les couvertures fixe et adaptative, la technique de propagation de fronts a permis de construire efficacement une carte distance. Appliquée à la construction d'une couverture simulée associée à la route  $R$ , elle consiste à faire progresser un front de pixels initialisés par la route  $R$ . Le front progresse de proche en proche, englobant au fur et à mesure de sa progression les pixels limitrophes de la région ainsi constituée, tant qu'ils vérifient les contraintes d'ouverture du capteur.

#### 4. APPLICATION

L'implémentation standard d'une dilatation s'effectue par balayage séquentiel d'un élément structurant (une imagerie). Par référence à cette technique, l'approche proposée a permis de déterminer la couverture fixe d'un lot de plus d'un million de sondes en moins de 3 s sur station Sun-Ultra Sparc, réalisant un gain d'un facteur 6 par rapport à l'approche classique. Cette mesure n'est donnée ici qu'à titre indicatif : la configuration spatiale des données entrant en ligne de compte dans les temps de traitement. En effet, Ragnemalm, dans (Ragnemalm 1992), a comparé les complexités de chaque approche. Pour une image binaire de taille  $n \times n$ , l'approche classique est en  $O(n^2)$ . La complexité de l'approche par propagation de front est, quant à elle, uniquement fonction de l'aire d'influence de l'opération morphologique (l'accroissement d'aire résultant de la dilatation). La figure 4(a) souligne l'apport en terme de précision d'une couverture adaptative par rapport à une couverture fixe et une couverture minimale (couverture fixe dont le rayon est

déduit de la profondeur minimale du lot de sondes). Les données utilisées pour ce test sont issues du sondeur Simrad EM12-Dual opérant en mode 150° par fonds plats.

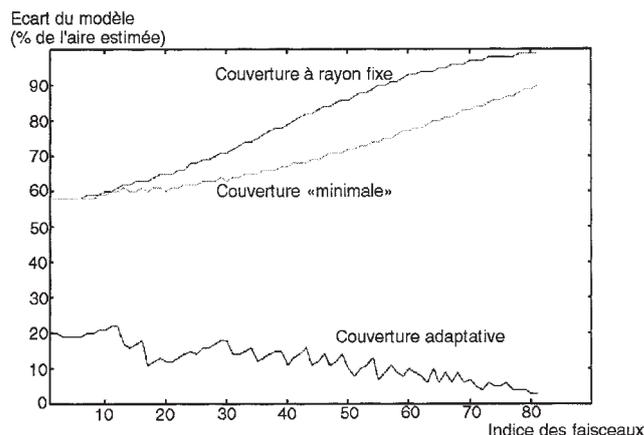


Figure 4(a) – Ecarts surfaciques, en pourcentage de l'aire estimée, par faisceau - Sondeur Simrad EM12-Dual.

En tenant compte des caractéristiques propres à chaque sonde, la couverture adaptative améliore considérablement la précision de la zone effectivement insonifiée par le sondeur multifaisceau. En présence d'un sommet, comme c'est le cas sur la figure 4(b), la couverture fixe conduit à une sous estimation de 10%, se révélant préjudiciable par masquage des « trous » à proximité d'une remontée des reliefs. Une couverture à rayon fixe calculée en tenant compte de la profondeur minimale ne permet pas de remédier à ce problème. La couverture minimale pouvant être calculée à partir d'une sonde erronée trop courte ne reflète plus la couverture sur les zones plus profondes, la rendant illisible en engendrant une forte densité de « trous ». A l'inverse, la forte densité des trous de la couverture adaptative sur les faisceaux extérieurs est interprétable et peut servir de guide à l'acquisition de nouvelles données.

Pour finir, l'application de cette technique à la construction d'une structure hiérarchique de stockage des couvertures a permis de classifier et d'extraire les « trous » en fonction de critères spécifiques (surface, proximité d'un sommet, taux de sondes erronées...).

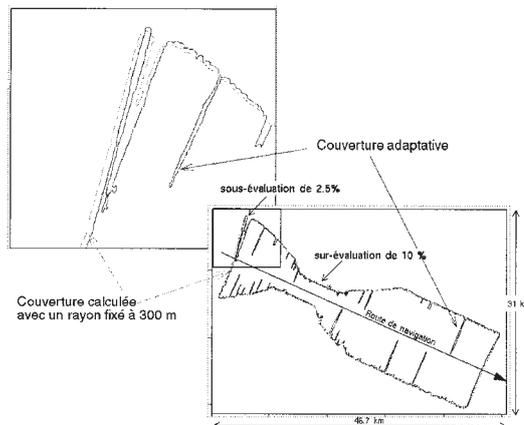


Figure 4(b) Exemple comparatif d'une couverture adaptative par rapport à une couverture fixe. Par souci de clarté seuls les contours extérieur y sont représentés.

## 5. CONCLUSION

La préparation, la gestion ainsi que l'exploitation d'un levé bathymétrique s'appuient sur une représentation synthétique de la zone insonifiée par le sondeur.

Cet article propose une méthode alternative de construction de la couverture basée sur une opération courante en morphologie mathématique : la dilatation. L'originalité de l'approche présentée ici réside dans sa mise en oeuvre. Une reformulation de la dilatation en termes de propagation de fronts à vitesse uniforme permet d'optimiser le temps de traitement de la couverture fixe et d'offrir une précision optimale. Sa généralisation a permis d'obtenir une représentation adaptée aux reliefs et au capteur, réaliste en temps de traitement.

Utilisée dans la phase de préparation du levé, elle permet également, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain grossier et des caractéristiques du sondeur, de simuler une couverture.

La description hiérarchique, qu'elle fournit, permet une classification des zones douteuses d'un levé (pour des critères donnés). A moyen terme, son utilisation dans l'exploitation des levés sera envisagée pour contraindre le calcul des Modèles Numériques de Terrain.

## 6. RÉFÉRENCES

RAGNEMALM I., Fast Erosion and Dilatation by Contour Processing and Thresholding of Distance Maps. *Pattern Recognition Letters*, Vol. 13, No.3, pp. 161-166, Mar. (1992).

JACQ J. J. Elements de segmentation morphologique, *Rapport interne Département Image et traitement de l'information de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, pp-77 Dec. (1997).

VERWER B.J.H., VERBEEK P.W., AND DEKKER S.T. An efficient Uniform Cost Algorithm Applied to Distance Transforms, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 11, No. 4, pp. 425-429, Apr. (1989).

DEBESE N., Détermination de la zone insonifiée par un sondeur multifaisceau, *Rapport d'étude du SHOM n°001/99 fév.* (1999).

## ***DEUXIÈME PARTIE***

-----

# MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MÉDITERRANÉE

(août 1991 - septembre 1994)

Gilles BESSERO, Ingénieur en chef de l'armement

Page

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>8-6</b>
<b>CHAPITRE 1 - Généralités</b>	
1.1 Organisation.....	8-7
1.2 Travaux effectués.....	8-7
1.3 Personnel.....	8-7
1.4 Moyens.....	8-8
1.4.1 Moyens flottants.....	8-8
1.4.1.1 <i>D'Entrecasteaux</i> .....	8-8
1.4.1.1.1 Fonctionnement .....	8-8
1.4.1.1.2 Conditions d'emploi .....	8-9
1.4.1.2 <i>Gazelle</i> .....	8-9
1.4.1.2.1 Fonctionnement et équipements .....	8-9
1.4.1.2.2 Conditions d'emploi .....	8-10
1.4.1.3 <i>Drome</i> .....	8-10
1.4.2 Locaux à terre .....	8-10
1.4.3 Véhicules .....	8-10
1.4.4 Moyens aériens .....	8-11
1.4.5 Équipements généraux .....	8-11
1.4.5.1 Présentation.....	8-11
1.4.5.2 Localisation .....	8-11
1.4.5.2.1 Système Trident .....	8-11
1.4.5.2.2 Système GPS.....	8-11
1.4.5.2.3 Système Axyle .....	8-11
1.4.5.3 Sondeurs .....	8-11
1.4.5.4 Géophysique .....	8-12
1.4.5.5 Océanographie .....	8-12
1.4.5.6 Transmission .....	8-12
1.4.6 Équipements informatiques .....	8-12
1.4.7 Administration .....	8-13
1.5 Méthodes .....	8-13
1.5.1 Localisation .....	8-13
1.5.1.1 Emploi du système GPS .....	8-13
1.5.1.2 Emploi du système Axyle.....	8-15
1.5.2 Acquisition et traitement des données.....	8-15

## CHAPITRE 2 - Campagnes de géophysique aux Açores

2.1	Présentation .....	8-15
2.2	Conditions d'exécution .....	8-15
2.3	Localisation .....	8-16
2.4	Bathymétrie .....	8-16
2.5	Gravimétrie .....	8-16
2.6	Magnétisme.....	8-17
2.7	Nature du fond .....	8-17
2.8	Hydrologie .....	8-17
2.8.1	Température de surface .....	8-17
2.8.2	Structure verticale.....	8-17
2.9	Courants .....	8-17
2.10	Documents rédigés .....	8-17

## CHAPITRE 3 - Campagnes d'hydrographie en Guyane

3.1	Présentation .....	8-17
3.2	Campagne de 1992.....	8-18
3.2.1	Chronologie .....	8-18
3.2.2	Conditions d'exécution .....	8-18
3.2.3	Géodésie .....	8-19
3.2.4	Localisation.....	8-20
3.2.5	Marée et nivellement .....	8-21
3.2.5.1	Généralités .....	8-21
3.2.5.2	Observations .....	8-21
3.2.5.3	Analyse des observations .....	8-22
3.2.5.3.1	Exploitation primaire .....	8-22
3.2.5.3.1	Observatoire fondamental .....	8-22
3.2.5.3.1	Observatoires secondaires.....	8-22
3.2.5.4	Constitution du modèle de calcul de la marée .....	8-22
3.2.5.4.1	Analyse harmonique.....	8-22
3.2.5.4.2	Élaboration d'un modèle empirique .....	8-23
3.2.5.4.3	Réduction des sondages .....	8-23
3.2.6	Bathymétrie.....	8-23
3.2.6.1	Sondages effectués.....	8-23
3.2.6.1.1	Généralités .....	8-23
3.2.6.1.2	Levé de la zone d'attente de Dégrad des Cannes et de sa voie d'accès.....	8-24
3.2.6.1.3	Levé des abords de Cayenne .....	8-24
3.2.6.1.4	Levé de reconnaissance du plateau continental .....	8-24
3.2.6.1.5	Levé des abords de Kourou .....	8-24
3.2.6.1.6	Levé détaillé du plateau continental .....	8-24
3.2.6.1.7	Travaux divers .....	8-24
3.2.6.2	Transmission .....	8-24
3.2.6.3	Résultats .....	8-25
3.2.7	Topographie .....	8-25
3.2.8	Gravimétrie .....	8-26
3.2.9	Magnétisme .....	8-26
3.2.10	Nature du fond .....	8-26
3.2.11	Hydrologie .....	8-26
3.2.12	Courants .....	8-26
3.2.12.1	Mesures au point fixe .....	8-26
3.2.12.2	Détermination de la circulation générale .....	8-27
3.2.13	Information nautique .....	8-27
3.2.14	Documents rédigés .....	8-27

3.3	Campagne de 1994 .....	8-27
3.3.1	Chronologie .....	8-27
3.3.2	Conditions d'exécution .....	8-27
3.3.3	Localisation .....	8-28
3.3.4	Marée .....	8-28
3.3.5	Bathymétrie .....	8-28
3.3.6	topographie et balisage .....	8-29
3.3.7	Rédaction .....	8-29

#### **CHAPITRE 4 - Levé portuaire à Fort-de-France (MARTINIQUE)**

4.1	Présentation .....	8-29
4.2	Conditions d'exécution .....	8-29
4.3	Localisation.....	8-29
4.4	Marée .....	8-30
4.5	Bathymétrie .....	8-30
4.5.1	Sondages effectués.....	8-30
4.5.2	Réduction des sondes.....	8-30
4.5.3	Traitement .....	8-30
4.5.4	Résultats .....	8-31
4.6	Topographie et balisage flottant .....	8-31
4.7	Documents rédigés.....	8-32

#### **CHAPITRE 5 - Campagnes d'hydrographie au sud-est de la Sardaigne**

5.1	Présentation .....	8-32
5.2	Conditions d'exécution .....	8-32
5.3	Localisation.....	8-33
5.3.1	Configuration utilisée.....	8-33
5.3.2	Performance du système GPS .....	8-33
5.3.3	Évaluation des réseaux LORAN .....	8-33
5.4	Bathymétrie .....	8-34
5.4.1	Sondages effectués.....	8-34
5.4.2	Résultats .....	8-34
5.5	Natures du fond .....	8-34
5.6	Magnétisme .....	8-34
5.7	Courants .....	8-35
5.8	Documents rédigés.....	8-35

#### **CHAPITRE 6 - Campagne d'océanographie Sémaphore**

6.1	Présentation .....	8-35
6.2	Opérations de 1993 .....	8-35
6.2.1	Conditions d'exécution .....	8-35
6.2.2	Localisation .....	8-37
6.2.3	Bathymétrie .....	8-37
6.2.4	Gravimétrie .....	8-38
6.2.5	Natures du fond.....	8-38
6.2.6	Hydrologie .....	8-38
6.2.6.1	Mesures .....	8-38
6.2.6.2	Traitement .....	8-39
6.2.6.2.1	Température de surface .....	8-39
6.2.6.2.2	Observations XBT et XCTD .....	8-39
6.2.6.2.3	Observations CTD.....	8-39
6.2.6.2.4	Analyses de salinité .....	8-39
6.2.6.2.5	Maquette du système SOAP .....	8-40
6.2.6.3	Résultats .....	8-40
6.2.7	Météorologie.....	8-40
6.2.8	Documents rédigés .....	8-41

6.3 Opérations de 1994 .....	8-41
6.3.1 Conditions d'exécution .....	8-41
6.3.2 Localisation .....	8-41
6.3.3 Hydrologie .....	8-41
6.3.4 Courantométrie.....	8-42
6.3.5 Natures du fond .....	8-42

## CHAPITRE 7 - Campagne d'hydrographie aux Kerguelen

7.1 Présentation .....	8-43
7.2 Chronologie .....	8-43
7.3 Conditions d'exécution .....	8-43
7.3.1 Personnel .....	8-43
7.3.2 Organisation et préparation.....	8-44
7.3.3 Matériel .....	8-44
7.3.4 Environnement .....	8-44
7.4 Géodésie .....	8-44
7.5 Localisation.....	8-44
7.6 Marée .....	8-45
7.7 Bathymétrie .....	8-45
7.7.1 Sondages effectués.....	8-45
7.7.1.1 Passe Royale .....	8-45
7.7.1.2 Abords de île du Cimetière et plateau du Four .....	8-45
7.7.1.3 Route d'accès à Port Jeanne d'Arc .....	8-45
7.7.1.4 Route sud-nord à l'est de l'îlot Channer .....	8-45
7.7.1.5 Transit dans la baie du Morbihan.....	8-45
7.7.1.6 Haut-fond de 8 m sur la carte marine 6741 .....	8-45
7.7.2 Traitements .....	8-45
7.8 Topographie et information nautique .....	8-46
7.9 Documents rédigés.....	8-46

## CHAPITRE 8 - Travaux divers en Méditerranée

### CHAPITRE 9 - Travaux en transit

9.1 Présentation .....	8-46
9.2 Localisation.....	8-47
9.3 Bathymétrie .....	8-47
9.3.1 Sondages effectués.....	8-47
9.3.2 Traitements .....	8-47
9.3.3 Résultats .....	8-48
9.3.3.1 Reconnaissance de sondes anormales .....	8-48
9.3.3.2 Comparaisons avec les minutes Gebco .....	8-48
9.4 Gravimétrie .....	8-48
9.5 Hydrologie .....	8-49

## CHAPITRE 10 - Rédaction des levés effectués en 1991 à Mayotte et à la Réunion

10.1 Présentation .....	8-50
10.2 Rédaction du levé de Mayotte .....	8-50
10.3 Rédaction du levé de la Réunion .....	8-50

RÉFÉRENCES .....	8-51
------------------	------

LISTE DES PLANCHES.....	8-52
-------------------------	------

<b>ANNEXES</b> .....	<b>8-71</b>
ANNEXE A - Les stations de référence DGPS Sercel .....	<b>8-72</b>
ANNEXE B - Évaluation du gravimètre KSS 31 .....	<b>8-73</b>
ANNEXE C - Évaluation du magnétomètre SMM92 .....	<b>8-82</b>
ANNEXE D - Courantomètres de coque à effet Doppler .....	<b>8-84</b>
ANNEXE E - Engin remorqué Sea Soar .....	<b>8-85</b>
ANNEXE F - Liste des rapports et compte rendus .....	<b>8-93</b>

## INTRODUCTION

Ce rapport rend compte de l'activité de la mission océanographique de la Méditerranée (MOM) du 8 août 1991 au 7 septembre 1994, période pendant laquelle j'exerçai les fonctions de directeur de mission. Cette période fut principalement marquée par de longues périodes d'indisponibilité du bâtiment océanographique (BO) *D'Entrecasteaux*, navire principal de la mission, qui perturbèrent sérieusement l'activité à la mer. Cette activité se déroula principalement en Atlantique mais la mission intervint également en Méditerranée, soit avec des moyens légers soit avec le bâtiment de soutien de région (BSR) *Gazelle*.

Si la rédaction des levés effectués pendant cette période fut, pour l'essentiel, achevée avant mon départ, il ne fut par contre pas possible de terminer la rédaction de la campagne effectuée en océan Indien sous la direction de mon prédécesseur, l'ingénieur en chef de l'armement Jean-Claude Guyon, pendant le premier semestre 1991.

## CHAPITRE 1

### GÉNÉRALITÉS

#### 1.1. ORGANISATION

La mission océanographique de la Méditerranée (MOM) était en 1991 l'une des trois missions métropolitaines du service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM). L'organisation en vigueur était celle fixée en 1988 lors du transfert de Brest à Toulon du *D'Entrecasteaux* (instruction n° 006 EMM/PL/ORG/NP du 7 janvier 1988). La MOM était basée à Toulon et placée sous l'autorité organique de l'amiral adjoint opérations<sup>1</sup> du commandant en chef pour la Méditerranée (CECMED)<sup>2</sup>. Elle comprenait le BO *D'Entrecasteaux*, placé sous l'autorité organique du commandant de la flottille des bâtiments légers de la Méditerranée (COMFLOMED)<sup>3</sup>, et une unité hydrographique embarquée. La MOM disposait en outre du concours du BSR *Gazelle* (muni des équipements nécessaires à une activité hydrographique) dans la limite d'un potentiel annuel de 60 jours. Elle était enfin dotée de locaux permanents dans l'enceinte de l'arsenal de Toulon.

Le programme de la mission était fixé annuellement par l'état-major de la marine, sur proposition du SHOM. Ce programme était notifié à CECMED.

L'organisation interne de la MOM, mise en place par mes prédécesseurs prévoyait, au sein de l'unité hydrographique, deux services placés chacun sous l'autorité d'un ingénieur adjoint au directeur :

- le service "océanographie-hydrographie" chargé de la préparation, de l'exécution et de la rédaction des levés,
- le service "logistique", chargé de la maintenance des équipements et de l'entretien des infrastructures.

L'unité hydrographique était normalement embarquée à bord du *D'Entrecasteaux*. Une instruction permanente conjointe du directeur et du commandant fixait l'organisation de l'activité hydro-océanographique à bord du bâtiment.

En fonction des activités inscrites au programme ou de la situation du *D'Entrecasteaux*, un détachement de l'unité hydrographique était constitué en échelon à terre basé à Toulon. Cet échelon assurait le soutien arrière des équipes embarquées sur le *D'Entrecasteaux* ou la *Gazelle*, menait indépendamment divers travaux ponctuels en région maritime Méditerranée (levés portuaires, concours divers aux organismes locaux de la défense) et poursuivait éventuellement l'exploitation en temps différé des levés. Il ne regroupait la quasi-totalité de l'unité hydrographique que pendant les principales périodes d'indisponibilité du *D'Entrecasteaux*. Pour certaines activités menées à partir de la *Gazelle* ou de moyens extérieurs à la région maritime, un détachement opérant séparément, sous la direction technique déléguée d'un ingénieur adjoint, était constitué.

L'unité hydrographique était représentée dans les structures d'information et de participation du *D'Entrecasteaux*.

1 contre-amiral François Lafargue jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre 1993 puis contre-amiral Guy de Chauliac.

2 vice-amiral d'escadre Michel Tripier jusqu'au 15 septembre 1993 puis vice-amiral Gérard Gazzano.

3 capitaine de vaisseau Gilles Urvoy de Portzamparc jusqu'au 21 août 1992 ; capitaine de vaisseau Gérard Aublet du 21 août 1992 au 10 août 1994 ; capitaine de vaisseau François Capelle à partir du 10 août 1994.

#### 1.2. TRAVAUX EFFECTUÉS

L'activité de la MOM sous ma direction fut caractérisée par des zones d'intervention relativement dispersées et souvent éloignées de sa base (planche 1). Plusieurs campagnes programmées durent être annulées, en raison de défaillances imprévues du *D'Entrecasteaux*, principalement en 1993 et 1994. Les travaux effectués se répartirent comme suit :

##### a) hydrographie générale :

- poursuite de la rédaction des levés effectués en 1991 à Mayotte et à la Réunion ;
- poursuite de la réfection de l'hydrographie des côtes de Guyane ;
- campagne d'hydrographie côtière aux Kerguelen ;
- travaux complémentaires divers sur le littoral méditerranéen (recherche d'épaves et de hauts-fonds, revue d'amers, compléments du levé général des côtes de Corse).

##### b) hydro-océanographie militaire :

- poursuite du levé géophysique des abords des Açores entrepris en 1990 par la mission hydrographique de l'Atlantique (MHA) et la MOM ;
- participation à deux phases de la campagne d'océanographie Sémaphore en Atlantique nord ;
- poursuite du levé bathymétrique de la zone située entre le canal de Sardaigne et le canal de Sicile ;
- réalisation d'un levé de contrôle de l'accès à l'embouchure du Maroni en Guyane ;
- réalisation de sondages ponctuels dans le port de Toulon et devant le fort de Brégançon.

##### c) hydrographie civile :

- maîtrise d'œuvre du levé bathymétrique de l'étang de Berre réalisé par le port autonome de Marseille pour Electricité de France (EDF) ;
- réalisation de sondages ponctuels en baie de Fort-de-France pour la direction départementale de l'équipement de Martinique.

##### d) développement-formation :

- essais de recette et début de l'évaluation des nouveaux équipements du *D'Entrecasteaux* (courantomètres de coque à effet Doppler ; engin remorqué Sea Soar).

En outre, les transits des bâtiments furent mis à profit pour effectuer des relevés bathymétriques, gravimétriques ou bathythermiques destinés à enrichir les bases de données correspondantes.

#### 1.3. PERSONNEL

Outre le directeur, sept ingénieurs de l'armement (IA) ou des études et techniques d'armement (IETA) participèrent à l'encadrement de l'unité hydrographique pendant la période considérée :

- IA Yannick Vimont : jusqu'au 29 novembre 1991,
- I2ETA Patrick Grenard : jusqu'au 10 juillet 1992,
- I2ETA Christophe Capelle : du 2 septembre 1991 au 10 septembre 1993,
- I1ETA Erwan L'Arvor : du 3 janvier 1992 au 13 septembre 1993,
- I1ETA David Moreau : à partir du 28 juin 1992,
- I2ETA Serge Allain : à partir du 1<sup>er</sup> septembre 1993,
- IPETA Pierre Mouscardès : du 1<sup>er</sup> septembre 1993 au 3 août 1994.

Le *D'Entrecasteaux* fut commandé successivement par :

- le capitaine de frégate Michel Durand-Gasselín : jusqu'au 30 août 1991,
- le capitaine de frégate Jean-Patrick Pluvinet : du 30 août 1991 au 8 octobre 1992,
- le capitaine de frégate Georges Chevillotte : du 8 octobre 1992 au 30 septembre 1993,
- le capitaine de frégate Pierre Chrissément : à partir du 30 septembre 1993.

La durée de commandement fixée jusque-là à un an fut portée à dix-huit mois à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1993.

Trois officiers se succédèrent comme officier ou commandant en second : le capitaine de corvette Louis Le Dreff jusqu'au 23 août 1991, le lieutenant de vaisseau, puis capitaine de corvette, Bernard Paulus jusqu'au 3 mai 1993 puis le capitaine de corvette Marcel Leguay.

Le BSR *Gazelle* fut commandé par le major Franck Pasco jusqu'au 2 mars 1993 puis par le major Jean-Luc Douet.

L'unité hydrographique était armée uniquement par du personnel militaire. L'effectif réglementaire était de 36 personnes, le personnel spécialisé en hydro-océanographie et le personnel du service général représentant deux fractions sensiblement égales. Une partie du personnel de service général (manœuvriers et mécaniciens) était mise pour emploi dans des services du *D'Entrecasteaux*. Le personnel du contingent représentait le tiers de l'effectif réglementaire. Cette proportion était un peu forte pour une unité spécialisée mettant en œuvre des matériels complexes et coûteux.

L'unité hydrographique bénéficia jusqu'en avril 1993 d'un effectif réel de 15 à 18 officiers-mariniers hydrographes alors que l'effectif réglementaire était de 14. Malgré cette situation excédentaire, le fonctionnement de l'unité fut gêné par les mouvements nombreux et surtout par le déficit de personnel d'encadrement expérimenté (ingénieurs et officiers mariniers supérieurs hydrographes). La situation fut ensuite encore moins favorable - l'effectif réel était de 10 officiers mariniers hydrographes de septembre 1993 à janvier 1994 - en dépit de la réduction d'activité imposée par les longues indisponibilités du *D'Entrecasteaux*.

L'entraînement à la mise en œuvre des équipements et des systèmes d'acquisition et de traitement des données était normalement assuré par les ingénieurs à l'occasion des levés. Des stages particuliers furent organisés à l'établissement principal du SHOM (EPSHOM) pour la formation à l'utilisation d'équipements nouveaux. La diversité des activités et la rotation souvent rapide du personnel (personnel du contingent en particulier) créèrent des difficultés pour assurer la conservation des compétences relatives aux techniques utilisées irrégulièrement (mise en œuvre des vedettes hydrographiques, carottage, hydrologie).

## 1.4. MOYENS

### 1.4.1. Moyens flottants

#### 1.4.1.1. *D'Entrecasteaux*

#### 1.4.1.1.1. Fonctionnement et équipements

L'état du système propulsif du *D'Entrecasteaux* fut une source constante de soucis pendant toute la période. Les groupes électrogènes de propulsion (GEP) et leurs accessoires, les armoires de régulation des moteurs électriques de propulsion (MEP), les propulseurs auxiliaires, les butées de lignes d'arbres et le bouilleur furent à l'origine d'avaries importantes qui ne cessèrent de perturber l'activité. Le nombre annuel de jours d'absence du port de base diminua continûment, passant de 230 en 1991 à 149 en 1992 puis 53 en 1993 et ne remonta qu'à 64 en 1994.

Les difficultés apparurent dès la campagne Açores de 1991. Attribuées pour l'essentiel à un mauvais état général résultant d'un déséquilibre excessif entre entretien et activité au cours des années antérieures, ces difficultés auraient dû être réglées par la période d'indisponibilité périodique pour entretien et réparation (IPER) qui suivit et qui fut prolongée de trois à cinq mois. Cette prolongation significative ne suffit cependant pas à retrouver une situation normale : les diverses avaries subies après la sortie d'IPER, entraînèrent la perte supplémentaire de 15 jours d'activité en 1992. Ainsi, dès le seizième jour de la campagne Açores de 1992, un blocage brutal de son turbocompresseur rendit indisponible jusqu'au retour à Toulon le GEP bâbord. La campagne suivante en Guyane fut perturbée, entre autres, par une avarie sur le palier de butée de la ligne d'arbre bâbord qui survint le 13 novembre 1992 et imposa une interruption prématurée du levé en cours et un retour à Toulon sur une seule ligne d'arbre. Cette avarie remit à l'ordre du jour le problème chronique d'échauffement anormal des butées de lignes d'arbres, qui était apparu dès la construction. Le bâtiment fut placé en période d'entretien intermédiaire (PEI) puis en indisponibilité pour entretien (IE). Après de multiples réglages et essais infructueux, DCN Toulon décida finalement de mettre en place sur chaque butée un système de circulation forcée de l'huile et une réfrigération extérieure. La prolongation de deux à cinq mois de la période d'indisponibilité entraîna d'abord l'annulation d'une campagne d'hydrographie militaire au sud-est de la Sardaigne. Après de nombreux reports de la date de disponibilité, le bâtiment put finalement appareiller le 24 juin 1993, pour participer, avec une semaine de retard sur le calendrier initial, à la phase 93-1 de la campagne d'océanographie militaire Sémaphore en Atlantique nord. L'avarie grave du GEP tribord, survenue moins d'une heure après l'appareillage, imposa le retour à Toulon et l'annulation de cette deuxième opération. L'enquête type B ordonnée par CECMED révéla que l'avarie était due à un mauvais réglage de la pompe à injection, dont le remplacement prévu pendant l'indisponibilité de début d'année avait été reporté faute de disposer des kits d'adaptation nécessaires au montage des nouvelles pompes. Il fallut une nouvelle période de travaux de trois mois, avec passage au bassin, pour que le *D'Entrecasteaux* puisse retrouver une disponibilité normale, après visite totale du GEP avec remplacement du bâti et révision en atelier de l'alternateur associé. La dernière opération de l'année, correspondant à la phase 93-3 de la campagne Sémaphore, put alors se dérouler dans des conditions acceptables.

Malgré les déboires liés à l'état du système propulsif du *D'Entrecasteaux*, l'EMM décida en 1993 de reporter de 1998 à 2001 la date prévisionnelle de retrait du service actif. Les dispositions adoptées pour l'IPER 1993-94, avec notamment le remplacement des deux GEP et le contrôle complet des deux lignes d'arbres, devaient permettre de retrouver une fiabilité compatible avec cette décision. Les principales interventions réalisées au cours de cette IPER sur l'appareil propulsif furent les suivantes :

- remplacement des deux GEP par deux moteurs neufs Wärtsilä SACM UD33V12M4 initialement acquis pour le programme de bâtiment anti-mines océanique (BAMO),
- dépose, contrôle et remontage des lignes d'arbres et modification des butées,
- remplacement des armoires de régulation des MEP,
- révision du groupe électrogène n° 2,
- visite du système de variation de pas d'hélice.

L'expertise des butées de lignes d'arbres effectuée en début d'IPER n'ayant pas mis en évidence de défaut majeur, la modification des butées de lignes d'arbres fut limitée à des adaptations de jeux, à l'adoption d'un angle de portée de 180° pour les paliers et à un aménagement du circuit de réfrigération installé à titre expérimental en 1993.

La complexité des travaux à réaliser ne permit pas à DCN Toulon de tenir le calendrier initial de l'IPER : la date de disponibilité initialement fixée au 27 mai 1994 fut reportée au 12 juin puis au 5 juillet. Cette IPER fut suivie d'une période d'indisponibilité accidentelle, du 8 juillet au 1<sup>er</sup> août, pour régler les principales avaries consécutives aux essais et au stage de remise en condition. Les avaries survenues pendant la phase 94-2 de la campagne Sémaphore montrèrent que le nouveau système propulsif nécessitait encore quelques mises au point.

Indépendamment des travaux liés au système propulsif, les périodes d'indisponibilité furent mises à profit pour apporter plusieurs modifications aux installations fixes et aux équipements du *D'Entrecasteaux*. Les principales modifications furent les suivantes :

a) IPER 1991-1992 :

- suppression du laboratoire photographique,
- débarquement de la grille d'accrochage de l'hélicoptère,
- installation d'un réseau de vent numérisé NPBX-1A,
- installation d'un gravimètre KSS 31 (cf. § 1.4.5.4 et annexe B).

b) PEI/IE 1993 :

- installation d'une station Magnavox MX2400 de télécommunications par satellites Inmarsat (standard A),
- débarquement du gravimètre KSS 5.

c) IPER 1993-1994 :

- remplacement des pompes des centrales hydrauliques,
- débarquement de l'enrouleur à trois tourets de la plate-forme supérieure (seul l'enrouleur inférieur utilisé pour la mise en œuvre du carottier fut conservé) et du treuil Mécabolié tribord avant. Ces deux appareils n'étaient plus utilisés depuis de nombreuses années et étaient en mauvais état,
- réfection des panneaux de cales,

- sablage et peinture de la coque,
- remplacement du bouilleur,
- débarquement du sondeur Edo à faisceau étroit stabilisé.

En outre, dans le cadre de cessions financées sur crédits SHOM, DCN Toulon installa deux profileurs de courant à effet Doppler (ADCP) et un engin remorqué type Sea Soar (cf. § 1.4.5.5 et annexes D et E). Une pré-étude de faisabilité de l'installation d'un sondeur multifaisceaux grands fonds fut également réalisée sous la maîtrise d'œuvre de l'EPSHOM. La procédure de remplacement du treuil Mécabolié pour bathysonde fut engagée.

Des demandes de modification relatives à divers aménagements du laboratoire d'hydrologie et à la révision du circuit d'alimentation électrique scientifique 220 V n'avaient toujours pas abouti lors de mon départ.

#### 1.4.1.1.2. Conditions d'emploi

L'état-major de la marine avait toléré jusqu'en 1992 une certaine sur-activité du *D'Entrecasteaux* (plus de 2 800 heures sous propulsion par an en moyenne de 1986 à 1992). Il décida en 1992 d'une part de renforcer le rôle de l'autorité organique en matière de suivi des normes d'entraînement et d'activité et d'autre part d'imposer le respect de la norme d'activité fixée par la note-circulaire n° 44 EMM/OPS/ACT/NP du 16 février 1984, soit pour le *D'Entrecasteaux* 200 heures de mer par mois d'activité. Des mesures conjoncturelles de réduction de l'activité liées au contexte budgétaire général furent en outre décidées en 1993 et en 1994 ; elles n'eurent pas d'effet notable sur l'activité effective, compte tenu des indisponibilités successives du *D'Entrecasteaux*.

On veilla à tenir compte de ces contraintes pour établir les prévisions annuelles d'activités du *D'Entrecasteaux*. Le calendrier détaillé de chaque campagne prévue était élaboré en se basant sur un modus operandi qui avait été mis au point avec le commandant du *D'Entrecasteaux* à la fin de 1991 et qui fixait le nombre de jours d'escale d'une campagne à environ 25 % de sa durée totale. Cette question perdit de sa sensibilité lorsque le potentiel d'heures de mer consommé devint la limitation principale, plutôt que le nombre de jours d'absence du port de base.

Le *D'Entrecasteaux* disposait d'un supplément d'équipage sous forme de tableau "G" (17 personnes) destiné à diminuer les contraintes pour le personnel d'une activité soutenue. Dans la pratique, cette subtilité avait été perdue de vue et le bâtiment se considérait en situation normale avec la totalité des effectifs "M + G" (80 personnes). Il faut reconnaître que le tableau "G" n'offrait aucune souplesse au niveau des officiers chefs de service.

#### 1.4.1.2. Gazelle

##### 1.4.1.2.1. Fonctionnement et équipements

Le BSR *Gazelle* était équipé en permanence d'une base Deso 20 dopée et du compensateur de pilonnement associé. En version hydrographique, il pouvait recevoir sur le pont principal un conteneur de 20 pieds et à l'arrière de l'abri navigation un conteneur de 10 pieds. Un treuil Martec et un treuil Klein amovibles permettaient la mise en œuvre des appareils remorqués ou immergés (sondeur latéral, magnéto-

mètre, bathycélémètre). Des aménagements divers furent réalisés en 1992 pour faciliter l'emploi des appareils remorqués ou immergés et pour permettre l'embarquement d'une coralline. Le conteneur de 20 pieds contenait les équipements d'acquisition et d'exploitation primaire des données. Le conteneur de 10 pieds, initialement utilisé pour le stockage du matériel, était devenu un logement annexe de fortune. Il fut réaménagé en 1992 pour pouvoir loger quatre membres de l'unité hydrographique embarquée dans des conditions d'hygiène et de confort acceptables. Les capacités de logement propres de la *Gazelle* (bannes rabattables dans le salon) étaient en effet inadéquates à un embarquement dépassant quelques jours et à des travaux continus de jour et de nuit.

La *Gazelle* eut un fonctionnement globalement satisfaisant. Deux équipements eurent cependant des défaillances gênantes pour l'activité hydrographique. Il s'agissait d'une part du pilote automatique et d'autre part du compensateur de pilonnement. Le pilote automatique était censé tenir lieu d'homme de barre et était indispensable pour le suivi continu de profils en levé hydrographique. Ses avaries répétées conduisirent à établir en décembre 1992 une demande d'étude relative à son remplacement. Malgré un avis favorable de l'autorité pilote des BSR<sup>4</sup> en avril 1993, cette demande n'avait toujours pas eu de suite en août 1994. L'emploi du compensateur de pilonnement semblait avoir été perdu de vue à mon arrivée. La remise en état de l'alimentation électrique et de l'équipement lui-même fut laborieuse et le compensateur ne put être utilisé ni en 1992 ni en 1993.

L'acquisition du cap du gyrocompas et de la vitesse du loch par la centrale d'estime et de topage Hydest propre à la *Gazelle* n'avait jamais fonctionné. L'acquisition du loch fut possible après re-programmation par l'EPSHOM de la carte interface. Par contre, l'acquisition du gyrocompas se révéla impossible car le rapport des sorties synchro était de 360:1 au lieu de 1:1 pour les sorties des gyrocompas des autres bâtiments du SHOM. L'utilisation du rapport 360:1 aurait nécessité de prévoir une initialisation du cap sur la centrale Hydest.

#### 1.4.1.2.2. Conditions d'emploi

Suite à la suppression du deuxième équipage des BSR, diminuant sensiblement la disponibilité de ces bâtiments, le potentiel de la *Gazelle* réservé en temps normal à la MOM fut réduit de 90 à 60 jours par an en 1991. Il fallut en outre adopter pendant les travaux hydrographiques un rythme d'activité modéré, conformément aux directives de CECMED.

La *Gazelle* était une plate-forme bien adaptée aux travaux côtiers par beau temps. Son utilisation en Sardaigne constitua une limite, le rendement étant relativement faible, compte tenu des contraintes imposées par un équipage peu nombreux (dix personnes). La proximité d'un port ou d'un mouillage de repli accessible sans préavis conditionne la réalisation d'un levé hauturier par ce type de bâtiment. L'activité hydrographique était bien perçue par l'équipage car elle introduisait de la variété par rapport aux activités de routine relevant de la direction du port de Toulon ; l'annulation inopinée de la campagne en Sardaigne de 1994 fut ainsi vivement regrettée. L'effectif de l'unité hydrographique embarquée était habituellement fixé à neuf personnes dont un ingénieur.

4. Direction du port de Brest

#### 1.4.1.3. Drome

La drome de la MOM relevait d'une part du plan d'armement du *D'Entrecasteaux* (3 vedettes hydrographiques, un LCPS, 4 embarcations pneumatiques, 1 youyou) et d'autre part de celui de l'unité hydrographique (1 embarcation pneumatique, 1 youyou). Les deux youyous de la dotation réglementaire étaient remplacés par deux corallines starvag 420 LX.

Les vedettes ne furent utilisées que pendant la campagne en zone maritime Antilles-Guyane de 1992. Leur état général était médiocre, leur emploi épisodique se prêtant mal à un entretien satisfaisant. La priorité accordée au règlement des problèmes du *D'Entrecasteaux* et les arbitrages financiers du major général de Toulon ne permirent pas d'effectuer les révisions nécessaires suite à la campagne de 1992. Seule la vedette VH1 avait pu être remise à l'eau et essayée en août 1993. Il fut envisagé de remplacer cette vedette-prototype par l'une des vedettes VH9 standard rendues disponibles par le désarmement du BH1 *L'Estafette*. On y renonça compte tenu du mauvais état des VH9 de *L'Estafette*.

Les corallines furent utilisées fréquemment pour la réalisation de sondages à très grande échelle (supérieure ou égale à 1/1 000) pour lesquels les vedettes étaient inadéquates (vitesse minimum trop élevée et impossibilité de suivre les profils avec une précision suffisante). Indépendamment de leur mauvais état général, leur tenue à la mer était insuffisante en présence de clapot. La procédure de remplacement engagée par mon prédécesseur en 1991 n'avait toujours pas abouti en août 1994.

#### 1.4.2. Locaux à terre

Les locaux affectés à la MOM ou mis à sa disposition étaient dispersés, vétustes ou inadéquats et éloignés du poste d'amarrage du *D'Entrecasteaux*. Ils comprenaient le rez-de-chaussée de l'immeuble du laboratoire de chimie analytique, des alvéoles du rez-de-chaussée de l'abri n° 10 voisin et, à partir du 1<sup>er</sup> février 1994, un ancien local de DCN Toulon sur l'îlot Castigneau. Ce local abritait les vedettes du *D'Entrecasteaux* pendant les campagnes hauturières et du matériel lourd ou encombrant précédemment stocké dans le hall des dragues de FLOMED.

Une action fut engagée en 1992 pour obtenir le relogement de la mission ou la rénovation de ses locaux. La proposition de dissolution de la MOM annoncée au printemps 1993 y mit naturellement fin. Les besoins liés au réaménagement des locaux que le SHOM souhaitait conserver à Toulon, en principe dans l'immeuble du laboratoire de chimie analytique, furent définis en février 1994.

#### 1.4.3. Véhicules

Le parc de véhicules était composé en août 1991 de cinq véhicules : deux breaks Peugeot 305, une camionnette Renault Trafic et deux camionnettes 4x4 Peugeot Durisotti et Dangel. Suite aux remplacements successifs de la camionnette Dangel par une camionnette tous chemins Auverland A3SL (août 1992), du break 305 le plus ancien par un break Peugeot 405 (décembre 1992) puis de la camionnette Durisotti par une camionnette Peugeot Combi J5 4x4 (août

1993), la situation du parc était relativement satisfaisante. La camionnette tous chemins Auverland manqua cependant de fiabilité (105 jours d'indisponibilité pour pannes mécaniques en 1993).

Les délais d'intervention du centre automobile principal de Toulon étaient assez longs dès qu'il fallait commander des pièces, faute de crédits réellement disponibles, le crédit en valeur des unités ne correspondant qu'à un droit de tirage théorique.

A partir du 1<sup>er</sup> mai 1993, la qualification militaire des conducteurs titulaires d'un permis civil fut transférée des centres automobiles aux unités. Cette charge supplémentaire fut gérée par le *D'Entrecasteaux*, tant pour le bord que pour l'unité hydrographique.

#### 1.4.4. Moyens aériens

La capacité porte-hélicoptère du *D'Entrecasteaux* fut une fois de plus appréciée pendant la campagne en zone maritime Antilles-Guyane de 1992, malgré la généralisation de l'emploi du système de localisation GPS. Transport de matériels, prises de vues obliques, revues d'amers ou de balisage furent les principales opérations pour lesquels l'hélicoptère Alouette III embarqué pendant la campagne fut avantageusement utilisé.

Des essais de localisation GPS avec un récepteur Sercel NR 103 fonctionnant en mode naturel furent effectués avec succès en décembre 1992. Il restait à étudier l'installation d'une configuration différentielle pour obtenir des performances au moins équivalentes à celles du système Trident.

#### 1.4.5. Équipements généraux

##### 1.4.5.1. Présentation

La période 1992-1994 fut caractérisée par une évolution significative des équipements généraux utilisés par la mission avec, en particulier, l'installation et la mise en service de nouveaux équipements à bord du *D'Entrecasteaux*, la généralisation de l'emploi du système GPS, la mise en service du système de localisation très précis à courte portée Axyle et les essais d'un nouveau magnétomètre remorqué.

##### 1.4.5.2. Localisation

###### 1.4.5.2.1. Système Trident

La MOM fut dotée en 1992 d'une configuration Trident IV. Les équipements furent testés et embarqués pour la campagne en zone maritime Antilles-Guyane de 1992 mais il ne fut pas nécessaire de les déployer, le système DGPS s'étant révélé suffisant pour les travaux effectués en Guyane.

###### 1.4.5.2.2. Système GPS

La mise en place d'une configuration de satellites permettant une localisation continue et l'évolution du parc d'équipe-

ments du SHOM permirent de généraliser l'emploi du système GPS en 1992 [Bessero, 1993]. Un premier récepteur Sercel NR 103, intégrant dans un seul boîtier les capacités de fonctionnement en mode naturel et différentiel et permettant de recevoir simultanément 10 satellites fut mis en service à la MOM en 1991. Après la livraison en 1992 de récepteurs supplémentaires, pour équiper la *Gazelle* et les vedettes, et de deux stations de référence DGPS, pour l'utilisation du mode différentiel (cf. annexe A), tous les levés d'échelle inférieure ou égale à 1/5 000 furent réalisés avec le seul système GPS en mode différentiel. Bien qu'il offrait des performances globalement supérieures à celles du récepteur TR5S, le récepteur NR 103 présentait l'inconvénient de ne pas permettre une gestion manuelle du mode de calcul du point (3D+T ou 2D+T). En cas de fonctionnement prolongé en mode 2D+T, il était en outre nécessaire de réinitialiser manuellement l'altitude de l'antenne prise en compte par le récepteur. Pour les levés à grande échelle, il fallait tenir compte du délai d'élaboration du point calculé par le récepteur NR 103, de l'ordre de la seconde.

###### 1.4.5.2.3. Système Axyle

Pour les levés de détail d'échelle supérieure au 1/5 000, la MOM fut dotée également en 1992 d'un système de radiolocalisation très précis Axyle de type circulaire. La dotation comprenait deux ensembles mobiles AP1/AT1 et quatre balises AB1. L'emploi du système était relativement simple et permettait d'atteindre facilement une précision meilleure que 50 cm, malgré l'existence de versions logicielles différentes sur les deux mobiles livrés à la MOM et une documentation non conforme (identification des balises et prise en compte des retards internes de chaque élément). Les contrôles effectués sur des bases connues montrèrent qu'une dérive des constantes d'étalonnage était possible. Ce phénomène ne put pas être confirmé, faute de pouvoir maîtriser les modalités de calibration des équipements.

###### 1.4.5.3. Sondeurs

Le parc de sondeurs (six sondeurs verticaux Deso 20, un sondeur vertical Raytheon/ODEC avec éléments de rechange, deux sondeurs portables Simrad EA300P, quatre sondeurs latéraux EG&G 260) ne bénéficia que de quelques améliorations mineures. Les derniers éléments de sondeurs verticaux Deso 10 et de sondeur latéral EG&G type 259 furent débarqués en décembre 1991. Seules les deux bases hors-bord 30/210 kHz associées aux sondeurs Deso 10 d'embarcations furent conservées pour être utilisées en coralline avec un sondeur Deso 20. Pour les sondages en coralline, on préféra cependant utiliser le sondeur portable Simrad EA300P, moins sensible à l'environnement marin. Les enregistreurs de sondeur latéral EG&G type 260 furent modifiés en 1993 en version 260TH à enregistrement thermique. Le sondeur Edo à faisceau étroit stabilisé du *D'Entrecasteaux* fut débarqué en 1994, pour permettre l'installation dans le sabot correspondant des bases des courantomètres ADCP.

Une modification apportée par l'EPSHOM au corrélateur CESP III du sondeur Raytheon fut évaluée en 1993, pendant la phase 93-3 de la campagne Sémaphore (cf. chapitre 6), mais elle n'améliora pas significativement le fonctionnement

de l'ensemble. Le dispositif de réglage de la largeur de l'écho facilita le suivi par fonds réguliers mais les nombreuses pertes de fond observées sur les reliefs conduisirent à abandonner l'emploi du corrélateur.

Un essai d'évaluation du sondeur multifaisceaux léger Simrad EM950 fut réalisé en rade de Toulon en avril 1994 avec le concours des sociétés CRM et Simrad mais aucun résultat concret ne fut communiqué à la MOM.

L'entretien et la réparation des équipements théoriquement gérés par la DCN (sondeurs verticaux Deso 20 et sondeurs latéraux EG&G) posèrent quelques problèmes à Toulon, faute de compétences et de rechanges adaptés.

#### 1.4.5.4. Géophysique

Le *D'Entrecasteaux* fut équipé début 1992 d'un nouveau gravimètre Bodenseewerk KSS 31. L'ancien gravimètre KSS 5 fut démonté et débarqué en février 1993, après achèvement de l'évaluation du gravimètre KSS 31. Cette évaluation est décrite en annexe B. Quelques éléments du gravimètre KSS 5 furent conservés pour versement à la collection scientifique de l'EPSHOM.

Les magnétomètres remorqués Barringer M123 étaient en fin de vie et leur emploi nécessita de multiples dépannages sur les enregistreurs ou la connectique. La qualité des mesures fut généralement médiocre. Des essais du nouveau magnétomètre remorqué Thomson Géomag SMM92 furent effectués en 1992 et en 1993. Les résultats furent satisfaisants, malgré quelques doutes sur la tenue de la jonction entre le câble et le connecteur côté poisson (cf. annexe C).

Le carottier type Kullenberg de 10 m mis en œuvre par le *D'Entrecasteaux* fut modifié en 1991 pour porter le diamètre des carottes de 60 à 100 mm. Les précautions prises pour le stockage entre deux campagnes n'empêchèrent pas une forte corrosion interne des tubes, nécessitant une remise en état avant utilisation. Un jeu de rechanges, comprenant un lest de 1 200 kg et six tubes de 10 m fut livré en mai 1994.

#### 1.4.5.5. Océanographie

Les capacités océanographiques du *D'Entrecasteaux* furent sensiblement augmentées avec l'installation pendant l'IPER 1994 de deux courantomètres de coque à effet Doppler et d'un engin remorqué Sea Soar. Les annexes D et E présentent les caractéristiques de ces équipements.

Divers équipements mobiles furent aussi mis en œuvre pour la première fois par la MOM à l'occasion de la campagne Sémaphore (cf. chapitre 6). On procéda notamment à l'évaluation d'un bathycélérimètre grands fonds Mors SV560 et de sondes perdables XCTD (observation simultanée des profils de température et de conductivité). Les résultats de l'évaluation du bathycélérimètre SV560 ne furent pas satisfaisants (biais du capteur de pression, précision médiocre du capteur de célérité, difficultés d'extraction des données). Un salinomètre portable Guildline Portasal installé dans le laboratoire d'hydrologie permit d'effectuer à la mer l'analyse des échantillons d'eau de mer des paliers d'étalonnage des stations d'hydrologie. Le déploiement de flotteurs dérivants de

surface (Surdrif) ou profonds (flotteurs en verre RAFOS) ne souleva pas de difficulté particulière. Le système "Smaler" de mise à l'eau des flotteurs RAFOS conçu par le CMO fut néanmoins abandonné au profit d'un "lancement" manuel par un opérateur couché sur la plage arrière. Cette procédure se révéla moins aléatoire par mer un peu agitée.

La sonde Orca TQP de mesure de la température de l'eau de mer du *D'Entrecasteaux* fit l'objet d'un étalonnage annuel à l'EPSHOM. Le biais observé augmentait de 0,1 à 0,2°C par an.

L'utilisation des bathysondes Guildline fut non seulement perturbée par les défauts habituels du système de trancannage du treuil Mécabolier du *D'Entrecasteaux* mais également par des dérives anormales des capteurs. Seule la réalisation et l'exploitation rapide des paliers d'étalonnage permirent de déceler ces anomalies.

Un biais anormal fut détecté à plusieurs reprises sur des marégraphes autonomes Suber SLS23. Ce biais pouvait dépasser le mètre mais il ne semblait pas nuire à la précision relative des mesures. On imposa néanmoins quelques précautions supplémentaires dans l'emploi de ces marégraphes (multiplication des mesures de calage en hauteur, mise en œuvre simultanée de deux appareils chaque fois que possible).

#### 1.4.5.6. Transmission

En prévision de la campagne Sémaphore au cours de laquelle il allait être nécessaire d'échanger des fichiers numériques de données avec la terre, une station Magnavox MX2400 de télécommunications par satellites Inmarsat (standard A) fut installée à bord du *D'Entrecasteaux* en février 1993. Cet équipement se révéla également bien utile pour les liaisons par téléphone et télécopie notamment pour la mise au point à la mer des modifications de programme imposées par les circonstances.

Treize émetteurs-récepteurs VHF TRPP45A furent livrés à la MOM en juin 1994, pour remplacer les émetteurs-récepteurs TRPP32, dont les caractéristiques étaient mal adaptées à un usage intensif en hydrographie (autonomie insuffisante, absence d'accessoires pour le radioguidage des embarcations).

#### 1.4.6. Équipements informatiques

Les systèmes Hydrac-Hytrai utilisés pendant cette période étaient en fin de vie. Le calculateur HP320 livré en décembre 1991 fonctionna correctement mais les cinq ou six calculateurs HP9816 nettement plus anciens dont pouvait disposer la mission subirent de nombreuses pannes de lecteurs de disquette. Avec un seul lecteur Bernoulli la mission manquait en outre de support de mémoire de masse pour les gros levés. Le transfert sur calculateur HP Vectra de la chaîne de logiciels Hydrac-Hytrai fut envisagé mais il aurait fallu transcrire en langage Basic 6.2 les modules écrits en langage Pascal 4.0 et il fut donc décidé d'attendre la mise en service du nouveau système Aqidoc-Tradoc prévue en 1995. La MOM fut dotée pendant cette période d'un parc de calculateurs PC fixes (6 calculateurs Compaq Deskpro) et por-

tables (6 calculateurs Compaq Contura). Les systèmes Hydrac vedette furent provisoirement remplacés par une configuration comprenant un PC portable et un boîtier interface Intac permettant l'acquisition simultanée de la localisation Axyle ou GPS et de la sonde. Malheureusement, ces équipements se révélèrent fragiles en ambiance tropicale et pendant la campagne en Guyane il ne fut pas possible d'obtenir un fonctionnement durablement correct ni du topage ni de l'acquisition de la sonde. Les modifications apportées par l'EPSHOM permirent d'obtenir de meilleurs résultats pendant l'intervention aux Kerguelen.

Au fur et à mesure de la disponibilité des logiciels correspondants, fournis par l'EPSHOM ou développés conjointement par la mission et par l'EPSHOM, les calculateurs PC furent utilisés pour d'autres applications : exploitation des marégraphes et courantomètres Mors/Suber, acquisition et traitement des sondages XBT et XCTD, acquisition du réseau de vent du *D'Entrecasteaux*, contrôle de la qualité des corrections diffusées par les stations DGPS, prévision de la qualité du point GPS, calculs de géodésie, édition des fiches d'amers et de points géodésiques, tracés de documents graphiques, etc. La mise à disposition de chaque ingénieur ou scientifique d'un ordinateur PC facilita aussi la gestion de l'activité et l'établissement des rapports et comptes rendus à caractère technique.

Le traceur Benson 1645 de la salle de dessin du *D'Entrecasteaux* fut remplacé en février 1992 par un nouveau traceur A0 Océ 1665 dont l'acheminement à travers les courbes fut délicat. Le soin apporté à cette manipulation ne fut pas récompensé puisque l'appareil présentait des défauts répétés de fonctionnement nécessitant plusieurs interventions du fournisseur.

La rédaction du levé portuaire effectué à Fort-de-France en octobre 1992 révéla, après expertise par l'EPSHOM des anomalies décelées par la mission, que l'acquisition de la sonde sur terminal Husky associé à un sondeur Simrad EA300P n'était pas fiable (dérive excessive de l'horloge interne du terminal ; défaut de datation et d'archivage des sondes).

Un mini-réseau Ethernet fut mis en œuvre à bord du *D'Entrecasteaux*, pendant la campagne Sémaphore. Il reliait quatre stations de travail Sun (dont deux portables) et une imprimante laser réparties entre le PC scientifique et le local gravimètre. Le réseau était en outre connecté par l'intermédiaire d'un modem à la station Inmarsat. Ce réseau fut utilisé pour l'acquisition et le traitement des observations météorologiques et océanographiques en route ou en station et pour l'exploitation de la maquette du système d'observation, d'analyse et de prévision SOAP. L'acquisition des stations bathysonde sur station de travail portable RDI ne fut possible qu'après quelques mises au point, en raison de blocages intempestifs répétés de la liaison RS3232 entre le calculateur et l'unité de contrôle de la bathysonde.

#### 1.4.7. Administration

Comme les autres missions, la MOM bénéficiait des crédits du SHOM pour les fonds de prévoyance (environ 20 kF par an gérés directement par le directeur de mission) et les frais

de déplacement (130 à 180 kF par an gérés par l'intermédiaire du CABLEM). Elle était censée aussi bénéficier des soutiens du ressort de l'autorité maritime locale, dans les mêmes conditions que les autres unités de la marine. Dans un contexte général de restriction financière, l'absence de définition nette et reconnue par les deux parties de leurs domaines respectifs de responsabilité fut plus souvent source de complication que de souplesse, dans la gestion courante. L'emploi des droits de tirage alloués sur les crédits en valeur DCN (50 kF/an) ou DCM (60 kF/an) était conditionné par les stocks disponibles dans les magasins.

Le régime d'alimentation très souple applicable aux ingénieurs affectés à des unités embarquées<sup>5</sup> fut une nouveauté contestée à l'initiative de la direction du commissariat de la région maritime Méditerranée. Son abrogation définitive, notifiée par la direction du SHOM en octobre 1992, ne souleva pas de difficulté particulière pour la MOM, dans la mesure où ses ingénieurs pouvaient être admis quasiment en permanence aux tables du *D'Entrecasteaux*.

## 1.5. MÉTHODES

### 1.5.1. Localisation

#### 1.5.1.1. Emploi du système GPS

Comme indiqué plus haut (§ 1.4.5.2.2), cette période fut marquée par la généralisation de l'emploi du système GPS en mode naturel ou différentiel. Au cours des différents levés effectués avec le système DGPS à partir de l'été 1991, la MOM s'attachait à contrôler les performances réelles du système. Ces contrôles étaient basés soit sur l'analyse de cibles à quai soit sur des comparaisons avec un autre système réputé plus précis.

Le tableau 1 résume les performances observées à quai dans différentes configurations. Les conclusions que l'on put tirer de l'analyse de la dispersion des cibles étaient les suivantes :

- la précision horizontale en mode naturel avec SA ("selective availability") était suffisante pour effectuer un levé au 1/100 000 (précision à 90 % - 1,6 drms - meilleure que 60 m) ;
- la précision horizontale en mode naturel sans SA était suffisante pour effectuer un levé au 1/20 000 (précision à 90 % meilleure que 16 m) ;
- la précision horizontale en mode différentiel était suffisante pour effectuer un levé au 1/5 000 (précision à 90 % meilleure que 6 m). Ni la distance à la station de référence ni le mode de transmission des corrections (UHF ou HF) n'avaient d'effet déterminant sur la précision observée (planche 2).

Chaque fois qu'une détermination indépendante de la position WGS84 de l'antenne GPS put être réalisée, on vérifia que la position GPS moyenne ne présentait pas de biais significatif par rapport à la précision du procédé de rattachement.

<sup>5</sup> En application d'un texte ancien, les ingénieurs affectés en mission étaient, sauf activité particulière, placés en régime de "tournee" et remboursaient directement aux tables qui les accueillait leurs frais d'alimentation.

**Tableau 1**  
**Données statistiques d'observations GPS à quai**

Port	An	Récepteur	Mode (1)	Erreur de position horizontale (m)			Distance station DGPS (km)
				drms	r63 %	r98 %	
Las Palmas (Canaries)	92	TR5S	2D+T SA N	24,2	18,6	59,7	
		NR103	3D+T SA N	26,9	24,9	61,1	
Santa Cruz de Tenerife (Canaries) Funchal (Madère)	93	TR5S	2D+T SA N	30,1	26,3	57,8	
		NR103	3D+T SA N	21,7	20,9	42,4	
	91	TR5S	3D+T N	9,7	6,6	31,7	
		NR103	3D+T N	8,3	6,7	19,8	
93	NR103	3D+T SA N	21,8	21,7	42,4		
Horta (Açores)	91	TR5S	3D+T DH	3,4	2,8	7,3	250
		NR103	3D+T N	5,8	5,2	11,4	
	92	TR5S	3D+T SA N	36,1	33,9	79,2	
		NR103	3D+T SA DH	1,6	1,1	4,5	
Angra do Heroísmo (Açores)	91	TR5S	3D+T DH	2,8	2,5	6,7	360
		NR103	3D+T N	7,1	6,8	15,7	
Ponta Delgada (Açores)	91	TR5S	3D+T DH	3,5	2,8	9,3	520
		NR103	3D+T N	6,1	5,3	14,8	
	92	TR5S	3D+T SA N	35,0	31,9	80,8	
		NR103	3D+T SA DH	1,1	1,0	3,7	
		NR103	3D+T SA N	23,7	22,5	42,9	
93	NR103	3D+T SA DH	2,6	2,2	4,4	2000	
Malaga (Espagne)	93	TR5S	2D+T SA N	33,9	30,6	64,6	
		NR103	3D+T SA N	25,7	25,3	49,5	
		NR103	3D+T SA DH	1,6	1,2	4,0	1280
Toulon	92	NR103	3D+T SA DU	1,7	1,5	4,9	1
	93	NR103	3D+T SA DH	2,4	1,9	6,5	330
Dégrad des Cannes (Guyane)	92	TR5S	3D+T SA DH	2,4	2,0	5,6	50
		NR103	3D+T SA DU	1,0	0,9	2,1	10
		NR103	3D+T SA DH	2,6	2,4	5,9	50
		NR103	3D+T SA DU	1,8	1,4	5,1	10

(1) : 2D+T SA N : mode 2D+T, SA activé, naturel  
 3D+T N : mode 3D+T, SA non activé, naturel  
 3D+T DH : mode 3D+T, SA non activé, différentiel HF  
 3D+T SA DU : mode 3D+T, SA activé, différentiel UHF

L'expérience acquise à la MOM, en particulier pendant le levé des côtes de Guyane de 1992, permet d'ébaucher la doctrine d'emploi du système DGPS résumée ci-après.

- domaine d'utilisation :

Le système DGPS peut être utilisé sans précaution particulière pour les levés d'échelle inférieure ou égale au 1/20 000 (acquisition sur réseau Hydroboucle) ou 1/10 000 (acquisition sur ordinateur PC). Pour les levés d'échelle supérieure il faut tenir compte du délai de calcul et d'acquisition du point GPS.

- mise en œuvre des stations de référence :

Si l'étendue de la zone à couvrir impose l'emploi d'une station HF, le choix de l'emplacement de cette station devra faire l'objet d'une étude préalable. On veillera en particulier à assurer un bon dégagement des antennes d'émission. Il est indispensable de disposer sur le site retenu d'une alimenta-

tion électrique secourue et d'un local pour abriter le matériel. L'attribution des fréquences d'émission doit être demandée aux autorités compétentes suffisamment à l'avance.

La détermination de la position WGS84 de l'antenne de réception et l'initialisation des coordonnées dans le récepteur de référence doivent être réalisées avec soin. Une erreur à ce stade sera difficilement décelable par la suite. On préférera un rattachement direct à un point connu dans le système WGS84.

- contrôle de la qualité de la localisation :

Pour pouvoir détecter des erreurs éventuelles et contrôler le bon fonctionnement du système, il est important de prévoir la réalisation de cibles au point fixe dans la zone du levé avec rattachement indépendant au système WGS84 (par géodésie classique).

Une procédure de contrôle en temps réel, ou à défaut en temps différé, des résidus observés sur les pseudo-dis-

tances et des corrections diffusées par la station doit être prévue. Elle sera complétée en temps différé par une analyse des écarts observés par rapport au profil théorique. Les points correspondant à des anomalies non dues à un écart de barre ou à un changement de vitesse du mobile seront invalidés. Pour que cette épuration ne nuise pas à la qualité du levé, il est utile de prévoir une cadence d'archivage suffisamment élevée compte tenu de l'échelle du levé et de la vitesse du mobile.

- contrôle de l'intégrité du système :

Le système GPS n'étant pas encore déclaré opérationnel, il est prudent de prévoir un accès régulier aux informations relatives à l'état des satellites.

#### 1.5.1.2. Emploi du système Axyle

Destiné à la localisation précise des levés à très grande échelle (échelle supérieure au 1/5 000) avec acquisition des données sur ordinateur PC, le système Axyle se révéla moins performant que prévu. Outre la dérive possible des constantes d'étalonnage évoquée au § 1.4.5.2.3, il fallait tenir compte de l'imprécision de la datation des informations par le système d'acquisition Axyletop ou Axyleson sur PC mise en évidence par la mission océanographique du Pacifique [Dolou, 1997]. Cette imprécision, de l'ordre de +/- 0,5 s, imposait de limiter la vitesse du porteur.

#### 1.5.2. Acquisition et traitement des données

La MOM continua d'utiliser les logiciels Hydrac-Hytrai directement issus de la chaîne EPSHOM de 1985 [Bessero, 1996]. Le logiciel d'acquisition "bâtiment" avait subi les évolutions imposées par l'apparition de nouveaux capteurs ; l'adaptation à de nouveaux capteurs fut poursuivie avec la mise en service des récepteurs GPS NR103, du gravimètre KSS 31 et du réseau de vent NPBX-1A.

Sous réserve des problèmes de fiabilité des matériels les moins récents (cf. § 1.4.6), la chaîne Hytrai permettait d'assurer convenablement les phases d'exploitation primaire des données. Par contre, les opérations de contrôle et de constitution des fichiers et documents définitifs restaient laborieuses. Diverses anomalies, parfois anciennes, résultant des modifications successives apportées aux logiciels furent décelées et corrigées. Quelques améliorations furent développées, en tant que de besoin, pour faciliter le traitement de la localisation océanique (détection et invalidation des points aberrants) et le contrôle des fichiers "valeurs" (analyse statistique ; comparaison de profils superposés ou voisins ; analyse des écarts aux intersections de profils sécants). Le traitement de la gravimétrie fit également l'objet d'améliorations, en complément de l'épuration réalisée en mode interactif lors de l'échantillonnage à l'écran des profils. Un algorithme d'invalidation automatique des portions de profils perturbées par des changements intempestifs d'allure ou des écarts de barre<sup>6</sup> fut développé et utilisé pour épurer les données du gravimètre KSS 31.

Des améliorations de détail furent également apportées à la chaîne de traitement des stations d'hydrologie.

La chaîne d'acquisition sur ordinateur PC mise au point avec l'EPSHOM pour les sondages en vedettes ou en embarcations fut rapidement opérationnelle pour l'acquisition de la localisation (GPS ou Axyle). La gestion de la sonde fut plus difficile à maîtriser ; bien que présentant encore des anomalies, la version 2.2 du logiciel NR103SON utilisée aux Kerguelen donna à peu près satisfaction.

## CHAPITRE 2

### CAMPAGNES DE GÉOPHYSIQUE AUX AÇORES

#### 2.1. PRÉSENTATION

Le levé géophysique autour des Açores entrepris en 1990 fut poursuivi en 1991 et 1992 par la MHA et la MOM. Le *D'Entrecasteaux* participa, avec *L'Espérance*, à la poursuite du levé bathymétrique exploratoire de la zone prioritaire et effectua des stations d'hydrologie et des carottages. Des radiales d'observations bathythermiques (observations B) et des reconnaissances de sondes anormales furent réalisées à l'occasion des transits aller et retour (cf. chapitre 9).

#### 2.2. CONDITIONS D'EXÉCUTION

La campagne de 1991 se déroula du 6 septembre au 5 novembre 1991, de Toulon à Toulon, avec escales à Funchal (Madère), Horta, Ponta Delgada et Angra do Heroísmo. Elle fut perturbée par plusieurs avaries affectant le système de propulsion du *D'Entrecasteaux* et par deux infortunes d'origine extérieure (passage d'une dépression puis collision avec une aussière à la dérive). Environ 80 % du levé bathymétrique prévu initialement fut réalisé ; la totalité des travaux en station (hydrologie et carottage) programmés a priori ou jugés nécessaires sur zone furent par contre exécutés. La campagne de 1992 se déroula du 13 mai au 7 juillet 1992, de Toulon à Toulon, avec escales à Las Palmas (Canaries), Horta et Ponta Delgada. Elle fut perturbée par une avarie majeure du système de propulsion du *D'Entrecasteaux* et

<sup>6</sup> Cet algorithme était basé sur la détermination des fluctuations de vitesse et de cap surface observées sur un intervalle de 8 minutes centré sur l'instant de la mesure.

par deux incidents d'origine extérieure (passage d'une dépression et débarquement d'un officier marinier pour raisons familiales). Seulement 55 % du levé bathymétrique régulier prévu initialement fut réalisé et il restait encore 12 % de la zone de priorité une à explorer au 1<sup>er</sup> juillet 1992 (soit 47 000 km<sup>2</sup>). Tous les travaux en station (hydrologie et carottage) programmés a priori ou jugés nécessaires sur zone furent par contre exécutés.

Le tableau 2 résume les principales données numériques des deux campagnes. Les planches 3 et 4 précisent les travaux effectués.

### 2.3. LOCALISATION

La localisation était assurée au moyen du système GPS, en mode naturel pendant les transits et en mode différentiel dans la zone couverte par la station de référence DGPS mise en place par l'EPSHOM à Flores. La dégradation SA (disponibilité sélective) suspendue en 1991 était active pendant toute la campagne de 1992. La constellation disponible pendant la campagne de 1992 fut suffisante pour éviter l'emploi du mode 2D qui avait été encore utile en 1991.

Les stations DGPS de Brest en fonction en 1991 et de Pertusato en fonction en 1992 furent reçues de nuit à une distance dépassant 1 000 milles ; celle de Porspoder fut reçue de nuit en 1991 comme en 1992 à plus de 800 milles. Ces stations n'étaient pas reçues de jour. La station de Flores émettait sur les deux fréquences (1 630 et 2 164 kHz) utilisées lors des campagnes précédentes. La portée de nuit de la station de Flores dépassait 600 milles sur la fréquence haute ; de jour, la portée utile était comprise entre 300 et 350 milles. Quelques anomalies affectèrent les corrections diffusées par cette station (corrections absentes du message ou valeurs aberrantes), sans que leur origine puisse être déterminée.

Les escales furent mises à profit pour comparer les performances du GPS en mode naturel et en mode différentiel et

pour contrôler les décalages entre les systèmes géodésiques des cartes marines et le système WGS 84. L'analyse des cibles obtenues donna les résultats suivants :

- la précision observée à quai du GPS en mode naturel non dégradé était meilleure que 20 m (précision à 95 % - 2 drms) en 1991.
- la précision observée à quai du GPS en mode naturel dégradé (SA en fonction) était un peu meilleure que la précision nominale (précision à 95 % - 2 drms - de l'ordre de 70 m au lieu de 100 m). Elle était trois à quatre fois moins bonne qu'en mode non dégradé mais elle restait suffisante pour effectuer des levés à une échelle inférieure au 1/50 000.
- la répartition des points était sensiblement gaussienne, avec ou sans SA ; la précision horizontale n'était pas améliorée en fixant l'altitude.
- la précision du mode différentiel ne sembla pas affectée par l'activation du SA, puisque la précision à 90 % à quai était meilleure que 3 m en 1992, contre 6 m en 1991.

### 2.4. BATHYMÉTRIE

Les sondages effectués permirent de contrôler l'existence de relèvements figurant sur l'édition en service de la carte marine 6623 ou dans les fichiers GEBCO et de préciser leurs caractéristiques. Trois monts sous-marins nouveaux culminant à moins de 1 000 m furent détectés en 1991.

### 2.5. GRAVIMÉTRIE

Outre les mesures habituelles en route et à quai, la campagne de 1992 permit d'effectuer diverses évaluations du

**Tableau 2**  
**Données numériques des campagnes Açores 1991 et 1992 de la MOM**

	1991	1992
Durée totale d'absence (de Toulon à Toulon) (jours)	60	55
Durée de présence sur zone (jours)	40	31
Nombre d'heures de mer (en route ou en station)	1 194	1 188
Distance parcourue de Toulon à Toulon (milles)	12 519	10 131
Distance parcourue en sondage sur zone (km)	13 600	10 016
Travaux en stations :		
carottages (nombre)	9	10
stations d'hydrologie (nombre)	15	14
Observations B réussies :		
observations de routine	18	30
observations sur radiales	48	66
observations sur profils	68	49
Emploi du personnel hydrographe :		
Nombre d'OMH embarqués	6*	8
Activité :		
préparation (journées)	53	30
exécution (journées)	267	266
exploitation (sauf GEBCO) (journées)	244	305

\* deux stagiaires du cours CBS HYDRO étaient également présents

nouveau gravimètre KSS 31. On se reportera à l'annexe B pour la description de ces opérations et de leurs résultats.

La superposition des minutes de bathymétrie et d'anomalie à l'air libre issues des mesures de 1991 et 1992 montra une bonne corrélation entre les maximum locaux de l'anomalie (50 à 110 mGal) et les monts sous-marins. Ces effets du relief entraînaient des écarts supérieurs à 50 mGal par rapport au tracé fourni par l'EPSHOM à partir du modèle MAPS.

## 2.6. MAGNÉTISME

Le champ magnétique observé dans la zone varie de 43 100 à 47 700 nT du sud au nord de la zone. La variation diurne déduite des observations de la station de référence de Flores est généralement inférieure à 20 nT en valeur absolue ; elle atteint exceptionnellement 100 nT.

L'anomalie, obtenue en retranchant aux valeurs réduites la valeur calculée par le modèle IGRF 1990, est généralement positive. Au sud et au centre de la zone, elle varie entre - 800 et + 900 nT, avec un écart-type de l'ordre de 200 nT. La variabilité de l'anomalie est la plus forte au sud de la zone. Au nord de la zone, en revanche, la variation de l'anomalie le long des profils est plus modérée. L'anomalie est généralement comprise entre - 200 et + 200 nT, avec un écart-type de 100 nT.

## 2.7. NATURE DU FOND

Conformément aux instructions techniques, deux types d'observations furent effectuées : des carottages furent réalisés sur quelques sites préalablement choisis par l'EPSHOM et la nature superficielle du fond fut déterminée en continu par interprétation sommaire des bandes de sonde.

Les faciès sédimentaires (sédiment ou sédiment probable) sont relativement rares. Ils ont été observés à l'ouest du parallèle 30°30'W et au nord de Faial, vers 29°W et 40°N, dans des zones très limitées qui ne s'étendent que rarement sur plus d'un profil.

## 2.8. HYDROLOGIE

### 2.8.1. Température de surface

En 1991, la température observée en surface dans la zone du levé variait entre 18,2°C au nord et 24,4°C au sud. La baisse de la température, observée entre le 28 septembre et le 27 octobre 1991 aux intersections des profils de vérification et des profils réguliers, atteignit 3°C par 029°30'W et 30°30'N. La recherche des structures frontales se limita à l'analyse des gradients observés le long des profils. Un gradient supérieur à 0,6°C/km fut observé à trois reprises au nord de Flores. La nébulosité généralement voisine de 8 ne se prêtait guère au repérage de ses structures par télédétection spatiale.

En 1992, la température observée en surface dans la zone du levé était comprise entre 15,6°C au nord-est de la zone et 19,2°C au sud-ouest. La hausse maximum observée aux intersections de profils atteignit 1,4°C entre le 10 et le 23 juin vers 030°W et 43°N. Le gradient maximum observé dans la

zone ne dépassa pas 0,5°C/km. Des gradients plus importants, atteignant 0,7°C/km, furent observés pendant le transit de retour, à l'est de la zone prioritaire et en particulier à l'est de Ponta Delgada.

### 2.8.2. Structure verticale

L'examen des profils verticaux de température issus des observations B et des stations d'hydrologie effectuées dans la zone du levé montra une variabilité importante jusqu'à 1 250 m de profondeur au moins. Cette variabilité apparut également sur les profils verticaux de salinité, avec des écarts à une profondeur donnée entre stations voisines pouvant dépasser 0,5 ppm. L'épaisseur de la couche isotherme de surface ne dépassa jamais 100 m. Les profils verticaux de célérité étaient à peu près centrés sur le profil moyen de la zone-saison correspondante de l'album de champs sonores de l'Atlantique nord-est (ouvrage 716) et généralement contenus dans l'enveloppe des bathycélérogrammes de la zone-saison concernée. La comparaison des profils de célérité moyenne observés dans la zone étudiée et des profils déduits de l'ouvrage NP139 (Echo-sounding correction tables - 3<sup>e</sup> édition) montra que la célérité dans la couche 0-1 000 m était sensiblement supérieure aux valeurs tabulées. L'écart était généralement inférieur à 1 % et compatible avec la précision indiquée dans l'ouvrage NP139.

## 2.9. COURANTS

L'exploitation des données d'estime et de localisation ne mit pas en évidence de courant significatif. Il est probable que cette méthode, mise au point en Manche [Pasquay - 1978], est inefficace dans la zone Açores à cause de la faiblesse du courant général dans cette zone (moins de 0,5 nœud).

## 2.10. DOCUMENTS RÉDIGÉS

Les documents rédigés sont archivés sous les numéros 92.35 et 93.41. On pourra également consulter les rapports particuliers mentionnés en annexe F.

## CHAPITRE 3

### CAMPAGNES D'HYDROGRAPHIE EN GUYANE

#### 3.1. PRÉSENTATION

La mission intervint à deux reprises en Guyane. La première opération, inscrite au programme annuel de 1992 et réalisée du 17 septembre au 20 décembre 1992, était la dixième campagne outre-mer du *D'Entrecasteaux* et sa deuxième campagne consacrée à la rénovation de l'hydrographie des côtes de Guyane. La seconde opération, relative au chenal d'accès à l'embouchure du Maroni, n'avait pas été programmée. Elle fut décidée en février 1994 suite à une demande

du commandant de la marine en Guyane consécutive aux difficultés rencontrées en novembre 1993 par le Batral *Francis Garnier* pour accéder au plageage de la pointe des Hattes. Le levé fut réalisé par un détachement de la MOM du 14 mai au 22 juin 1994, avec des moyens locaux de la marine et de la direction départementale de l'équipement.

## 3.2. CAMPAGNE DE 1992

### 3.2.1. Chronologie

Trois priorités avaient été fixées pour la poursuite des travaux entrepris en 1989 :

- achèvement du levé de la zone d'attente du port de Dégrad des Cannes et levé de la voie d'accès à cette zone,
- levé des abords de l'île de Cayenne,
- levé exploratoire de l'ensemble du plateau continental, destiné à préciser les isobathes 15, 20, 30 m.

Si les conditions météorologiques se révélèrent plus favorables qu'en 1989, divers incidents entraînent néanmoins des pertes de temps qui ne permirent pas d'achever la totalité des travaux prioritaires. Les sondages bathymétriques et les opérations nécessaires à leur exécution (géodésie complémentaire et observations de marée), furent complétés par divers travaux de courantométrie, de géodésie spatiale, de sédimentologie et de collecte d'informations nautiques.

Le directeur du SHOM passa l'inspection hydrographie de la MOM pendant cette campagne, du 15 au 24 novembre 1992.

La MOM bénéficia pendant tout son séjour dans la zone du soutien attentif des autorités civiles et militaires et de concours efficaces de différents organismes.

Compte tenu des éléments recueillis lors de la campagne de 1989, il ne fut pas jugé utile de procéder à une reconnaissance préalable des lieux. Par contre, pour permettre le démarrage des travaux dès l'arrivée du *D'Entrecasteaux* sur zone, il fut décidé de constituer un détachement précurseur chargé essentiellement d'installer la station différentielle nécessaire à la localisation précise du bâtiment avec le système GPS. Ce détachement rallia la Guyane le 29 septembre 1992 par voie aérienne militaire. Le matériel étant trop volumineux pour être accepté sur une liaison aérienne militaire régulière et le délai nécessaire à un acheminement par voie maritime ne permettant pas de garantir l'arrivée du matériel avant le *D'Entrecasteaux*, il fallut expédier le matériel par voie aérienne civile. La station DGPS fut installée dès le 8 octobre mais, en raison d'une avarie de la carte formateur et des difficultés d'acheminement d'une carte de rechange dues aux mouvements sociaux qui paralysèrent les liaisons aériennes avec la Guyane du 12 au 19 octobre, elle ne put être mise en fonction que le 19 octobre, en mode dégradé.

Le *D'Entrecasteaux*, qui avait quitté Toulon le 17 septembre, arriva devant les côtes de Guyane le 18 octobre, après une escale à Santa Cruz de Tenerife (Canaries) et un séjour à Fort-de-France (cf. chapitre 4). L'escale technique prévue du 19 au 20 octobre à Dégrad des Cannes dut être annulée,

l'accès au port étant interdit depuis le 12 octobre par un barrage de chalutiers mouillés dans le chenal d'accès. Ce barrage ne fut levé que le 23 mais la mise en place des infrastructures nécessaires aux sondages avait pu néanmoins être achevée grâce à l'hélicoptère embarqué.

Après la mise en place d'un réseau de marégraphes et de courantomètres, les sondages proprement dits débutèrent le 24 octobre, dans la zone d'attente du port de Dégrad des Cannes. Du 27 octobre au 24 novembre, les vedettes furent constituées en détachement indépendant basé à Dégrad des Cannes pour effectuer le levé côtier des abords de Cayenne. Le 27 octobre, le *D'Entrecasteaux* commença le levé exploratoire de la zone comprise entre les isobathes 25 et 50 m, à l'ouest du levé de 1989. Ce levé et le levé de la voie d'accès à la zone d'attente de Dégrad des Cannes furent achevés le 9 novembre, après une première escale à Dégrad des Cannes. Entre le 10 et le 16 novembre, le bâtiment participa de jour au levé des abords de Cayenne et poursuivit de nuit le levé du plateau continental à l'est du levé de 1989. Une avarie rendant indisponible la ligne d'arbre bâbord survint brutalement le vendredi 13 novembre. Une tentative de réparation n'ayant pas abouti, cette avarie contraignit à réviser à la baisse la suite du programme. En raison de la limitation à 9 nœuds de la vitesse sur une seule ligne d'arbre, il fallait en effet écourter de 3 jours la durée de présence en Guyane et supprimer l'escale à Belem (Brésil) pour assurer le retour à Toulon avant les fêtes de fin d'année. Ce ré-aménagement entraîna - malgré les concours apportés par Marine Cayenne pour accélérer la récupération des marégraphes et courantomètres - une perte totale de 7 jours d'activité du bâtiment et de 2 jours d'activité des vedettes, par rapport aux 40 jours de présence en Guyane prévus initialement.

Le levé exploratoire de la zone située entre la limite est du levé de 1989 et l'embouchure de l'Oyapock fut entrepris par le *D'Entrecasteaux* le 15 novembre. Les perturbations induites par l'avarie de ligne d'arbre ne permirent pas de l'achever.

Le *D'Entrecasteaux* fit escale à trois reprises à Dégrad des Cannes. Il inaugura l'apponement de la future base navale lors de la première escale (5 au 9 novembre). La seconde (17 au 19 novembre) fut motivée par une intervention sur la ligne d'arbre bâbord qui fut malheureusement infructueuse : le soutien actif du bâtiment de soutien mobile (BSM) *Rhône*, présent en Guyane depuis le 12 novembre, ne suffit pas à pallier l'absence d'avis technique des organismes réparateurs. Enfin, la dernière escale (23 au 25 novembre) fut consacrée au démontage des infrastructures et à l'embarquement du matériel et des véhicules du détachement basé à terre. Le bâtiment quitta la Guyane le 26, après une courte halte aux îles du Salut. Il fit escale à Funchal (Madère) du 11 au 14 décembre et rejoignit Toulon le 20 décembre.

### 3.2.2. Conditions d'exécution

Pour cette campagne, la MOM disposait des moyens suivants :

- le *D'Entrecasteaux* et sa drome (trois vedettes de 9 mètres, deux corallines),

- quatre véhicules (un VL type 305 break, un VL AX, une camionnette tous chemins Auverland et une camionnette Trafic),
- un hélicoptère Alouette III mis en œuvre par un détachement de l'escadrille 23S (7 personnes dont deux pilotes) et disposant d'un potentiel de 150 heures de vol au profit de la MOM et de 15 heures d'entraînement.

Elle fit appel pendant la campagne aux concours de différents organismes militaires ou civils. Outre les ravitaillements en carburant et en vivres du *D'Entrecasteaux*, à Dégrad des Cannes, ces concours concernèrent en particulier :

- le soutien du détachement précurseur en Guyane, jusqu'à l'arrivée du bâtiment,
- l'accueil temporaire et le ravitaillement de l'hélicoptère à Cayenne (détachement de gendarmerie de la Madeleine ; EHOM 068 à l'aéroport de Cayenne-Rochambeau),
- la mise à disposition d'un local climatisé pour l'installation de la station différentielle GPS HF (Centre Spatial Guyanais, CSG),
- le débarquement des véhicules et le ravitaillement du *D'Entrecasteaux* pendant le blocus du port de Dégrad des Cannes (3<sup>e</sup> REI),
- l'hébergement, à titre onéreux, du détachement constitué à terre en Guyane pour la mise en œuvre des vedettes (3<sup>e</sup> RSMA au camp du Tigre à Cayenne),
- le concours de moyens nautiques locaux (patrouilleurs P 775 et P 789 de la brigade de gendarmerie maritime de Cayenne) pour la mise en place ou la récupération d'équipements,
- la mise à disposition d'une alimentation par panneaux solaires pour la balise différentielle GPS UHF (service des phares et balises de Guyane),
- la fourniture d'observations météorologiques (service météorologique de Guyane),
- la fourniture d'observations de marée (observatoires gérés par la direction départementale de l'équipement de Guyane).

La pauvreté de son parc automobile ne permit pas toujours à Marine Cayenne de satisfaire les besoins de transport du détachement précurseur ; l'utilisation d'un véhicule de location fut nécessaire pendant quelques jours.

Outre les équipements traditionnels, la MOM utilisa pour la première fois de manière opérationnelle le système de localisation DGPS/UHF (cf. annexe A). Le levé de Guyane fut le premier levé côtier réalisé exclusivement avec le système GPS, y compris par les vedettes, équipées d'un système d'acquisition adapté sur ordinateur portable (cf. chapitre 1). Le fonctionnement de ces nouveaux systèmes fut satisfaisant mais l'avancement des travaux fut perturbé par diverses avaries qui affectèrent d'autres équipements (sondeurs en particulier), les vedettes et, dans une moindre mesure, l'hélicoptère. La disponibilité des vedettes fut très moyenne : sur 75 séances journalières théoriques (3 vedettes pendant 25 jours œuvrés), 49 furent effectivement exécutées (dont une consacrée au démontage des installations de l'îlet la Mère) soit un rendement de 65 % seulement. L'hélicoptère fut particulièrement précieux pour faire face aux perturbations induites par l'avarie du *D'Entrecasteaux*. La seule avarie importante de la campagne (rupture d'un joint d'embrayage) imposa un posage d'urgence à la pointe

des Hattes. La réparation put être effectuée sur place en moins de 48 heures.

Le *D'Entrecasteaux* bénéficia pendant son séjour en Guyane d'un régime stable d'alizé. Le vent de secteur est forçait généralement la journée pour atteindre une vitesse maximum de 15 nœuds. La pression était voisine de la valeur standard (1013 hPa) et la mer était belle à peu agitée. Les pluies furent peu fréquentes, avec seulement quelques grains en fin de période. Si des conditions météorologiques défavorables ne bloquèrent complètement les vedettes qu'une seule journée, la qualité des sondages effectués fut néanmoins limitée par la présence, près de la côte, d'une houle permanente dépassant souvent 1 m de creux.

La campagne fit l'objet d'une information préalable : un lot d'affiches réalisées par l'EPSHOM fut expédié à Marine Cayenne début septembre et un communiqué de presse fut remis par le détachement précurseur. Une information actualisée sur les zones de travaux effectifs fut ensuite diffusée régulièrement, par l'intermédiaire de Marine Cayenne et des Affaires Maritimes. L'activité réduite des pêcheurs en raison des mouvements sociaux pendant la période considérée ne permit pas d'apprécier l'efficacité réelle de cette mesure.

Le tableau 3 présente les principales données numériques de la campagne. Les planches 5 et 6 résument les travaux effectués.

### 3.2.3. Géodésie

Les opérations géodésiques furent réalisées par le détachement précurseur puis par le détachement basé à terre, principalement à l'aide de récepteurs GPS de géodésie de type Ashtech LXII. Elles visaient d'une part à positionner des sites pouvant servir à l'implantation de balises de radiolocalisation (stations DGPS ou balises Trident) et d'autre part à contrôler la cohérence du réseau géodésique local et à étudier le décalage entre ce réseau et le système WGS 84. Quelques rattachements de points complémentaires ou d'amers et le nivellement des observatoires de marée furent effectués par des moyens classiques.

Le réseau géodésique de la Guyane en service était le réseau CSG 67. Issu des travaux effectués par l'IGN, principalement en 1967 et 1977, pour le compte du CSG, il s'étendait de Saint-Laurent du Maroni jusqu'au sud de Cayenne. Les points étaient entretenus par le service topographie du CSG et le réseau était en bon état. La documentation laissait par contre à désirer : la numérotation des points variait selon les éditions des répertoires IGN ou CSG et il n'existait pas de répertoire complet à jour.

23 sessions de mesures furent réalisées entre le 6 octobre et le 25 novembre (planche 7). La courte durée de la campagne ne permit pas de procéder systématiquement à des cheminements fermés. En outre, les traitements n'ayant pu être effectués pour l'essentiel qu'après le départ de Guyane, les sessions dont la qualité se révéla moins bonne ne purent pas être refaites.

L'analyse des mesures montra que la précision estimée ( $5 \cdot 10^{-6}$  dans de bonnes conditions) était généralement inférieure à la précision attendue ( $2 \cdot 10^{-6}$ ). Des variations impor-

**Tableau 3**  
**Données numériques de la campagne Guyane 1992**

Durée totale d'absence (de Toulon à Toulon)	(jours)	95
Durée de présence en zone Antilles-Guyane	(jours)	53
dont Guyane	(jours)	39
<i>Emploi des moyens</i>		
<i>D'Entrecasteaux</i> :	heures de mer	1 552
	distance parcourue (milles)	15 929
Vedettes :	nombre de séances journalières	48
Véhicules :	distance parcourue (km)	13 804
Hélicoptère 23S :	heures de vol (hors entraînement)	68,8
<i>Emploi du personnel hydrographe</i>		
Nombre d'OMH embarqués		15
Potentiel consommé :	préparation (journées)	55
	exécution (journées)	365
	exploitation (journées)	750
<i>Frais liés à la mise à terre du personnel (kF)</i>		
Frais de déplacement SHOM		72,4
Alimentation marine (vivres d'isolés)		48,9
<i>Travaux effectués</i>		
Distance parcourue en sondage (km) :	<i>D'Entrecasteaux</i>	8 538
	Vedettes	1 632
Travaux en stations :	bathycélérimètres : nombre	37
	natures de fond : nombre	46
Stations de courantométrie exploitables :	nombre	5
	durée totale en jours	78
Observatoires de marée exploitables :	nombre	6
	durée totale en jours	189
Sessions de mesures GPS géodésiques :	nombre	23

tantes furent observées d'une session à l'autre sans qu'il fût possible d'identifier de critère significatif.

La comparaison avec les données de géodésie classique montra une bonne cohérence interne du réseau CSG 67 : aucune déformation significative par rapport à la précision des mesures GPS ne fut décelée sur les mesures de base effectuées. Les défauts d'orientation (1") et d'échelle ( $4 \cdot 10^{-6}$ ) du système CSG 67 par rapport au système WGS 84, déduits des mesures GPS, étaient cohérents avec la méthode de détermination du réseau CSG 67. Leur prise en compte permet de définir une formule de transformation de précision meilleure que 0,2 m. Les écarts importants observés en 1989, de l'ordre du mètre avec une forte dispersion, ne furent pas confirmés. Ils résultaient vraisemblablement de l'inadaptation des récepteurs disponibles à cette époque (type mono-fréquence) pour des mesures de bases dépassant nettement 20 km.

Un contrôle partiel des points géodésiques et des amers fut effectué. Les fiches ouvertes pour les points déterminés par mesures GPS sans rattachement direct au réseau CSG 67 furent établies dans le système WGS 84. Les coordonnées de référence étaient celles adoptées pour la borne IGN "Montagne Galliot".

### 3.2.4. Localisation

Les sites de Guyane propices à l'installation de balises de radiolocalisation étaient rares, peu élevés et souvent déjà occupés par des pylônes de télécommunication ou des installations dépendant du CSG. La situation de la constellation de satellites GPS à la mi-1992 (4 satellites du bloc 1, 13 satellites du bloc 2) assurant une couverture continue, on pouvait envisager le recours exclusif au système GPS pour cette campagne. La précision du mode standard naturel (100 m à 95 %) étant incompatible avec la précision requise pour les sondages côtiers (10 m), le recours au mode standard différentiel s'imposait.

Le site de Montabo, initialement retenu par Marine Cayenne pour l'implantation de la station DGPS/HF se révéla inadapté à l'installation prévue, faute d'un dégagement suffisant pour les antennes. Un site un peu plus éloigné de la côte (7 km environ) fut finalement choisi par le détachement pré-curseur sur le mont Leblond, dans une autre enceinte du CSG, à proximité de Kourou (planche 5). La position de l'antenne de réception fut déterminée dans le système WGS84 par mesures GPS géodésiques à partir de la borne IGN "Montagne Galliot". En moins d'une semaine, les mesures GPS, leur traitement et l'installation de la station étaient achevés mais une avarie sur une carte du tiroir formateur

retarda la mise en route. La panne d'un des deux émetteurs qui survint par la suite n'eut pas de conséquence opérationnelle : le fonctionnement sur une seule fréquence fut toujours satisfaisant, la portée maximum nécessaire ne dépassant pas 300 km. Le CSG imposa l'arrêt des émissions pendant le lancement de fusée Ariane du 27 octobre ainsi que pendant la répétition générale qui précéda le tir le 23 octobre.

Une station DGPS/UHF fut installée sur l'îlet la Mère à l'ouest de Cayenne (planche 5) de manière à pouvoir être utilisée par les embarcations pour le levé côtier aux abords de Cayenne. L'alimentation était assurée par des batteries rechargées par panneaux solaires. Pour éviter la décharge des batteries pendant la nuit, la station fut programmée pour n'émettre que pendant les sondages des embarcations, effectués uniquement de jour. La position de l'antenne GPS de la station fut déterminée, comme pour la station HF, par mesures GPS géodésiques. L'installation de la station sur le site pré-déterminé ne prit que quelques heures.

La précision (2 drms) estimée sur profil était meilleure que 10 m pour 95 % des tops archivés lors des sondages en vedettes. Elle était meilleure que 10 m pour 99 % des tops archivés lors des sondages effectués par le *D'Entrecasteaux* après la mise en route de la station différentielle.

Pour la rédaction des documents, les positions WGS 84 furent transformées dans le système CSG 67 en utilisant les décalages déterminés pour la borne IGN "Montagne Galliot" :

$$\begin{aligned} TX &= X \text{ CSG } 67 - X \text{ WGS } 84 = +185,8 \text{ m} \\ TY &= Y \text{ CSG } 67 - Y \text{ WGS } 84 = - 229,8 \text{ m} \\ TZ &= Z \text{ CSG } 67 - Z \text{ WGS } 84 = - 108,7 \text{ m} \end{aligned}$$

### 3.2.5. Marée et nivellement

#### 3.2.5.1. Généralités

En raison de l'étendue de la zone à sonder et des observations effectuées en 1989, l'EPSHOM avait préconisé la constitution d'un modèle harmonique analogue à celui utilisé en Manche. Pour permettre à la MOM de gérer elle-même toutes les étapes du processus, l'EPSHOM lui avait fourni un logiciel d'analyse harmonique sur ordinateur PC et un logiciel de calcul de la marée par modèle harmonique sur ordinateur HP (MAREE\_BAS). Les observations effectuées sur zone à l'aide de marégraphes Suber pouvaient soit être traitées directement sur ordinateur PC (logiciel MAREE) soit être d'abord exploitées avec la chaîne traditionnelle sur ordinateur HP (logiciels TRAITMAR ou TRAIT\_23) puis transférées sur ordinateur PC pour analyse.

Compte tenu, d'une part, de la bonne corrélation entre la marée de l'observatoire de référence de l'île Royale et les marées des observatoires secondaires et, d'autre part, du temps nécessaire au calcul de la marée par le modèle harmonique sur ordinateur HP, on préféra utiliser, comme en 1989, un modèle empirique simple. Le modèle retenu est calé sur la marée observée à l'île Royale. La valeur en un

point quelconque est obtenue par interpolation spline des hauteurs calculées aux nœuds du modèle, correspondant aux observatoires secondaires, à l'aide de fonctions linéaires de la hauteur observée à l'île Royale. Les coefficients des fonctions linéaires ont été déduits des observations effectuées en 1989 ou 1992. La précision du modèle a été contrôlée pour chaque observatoire secondaire et par comparaison avec le modèle harmonique en un point représentatif.

La courte durée de la campagne était incompatible avec la réalisation de longues périodes d'observations. Le déploiement des observatoires avait été planifié initialement de manière à assurer au moins trente jours d'observation en chaque site occupé. En raison des perturbations induites par l'avarie du *D'Entrecasteaux*, la durée de fonctionnement de l'observatoire de Montagne d'Argent fut réduite à 28 jours.

#### 3.2.5.2. Observations

Tous les sites prévus par les instructions techniques furent occupés, à l'exception de Pariacabo puisque le calendrier de la campagne ne permettait pas a priori de prévoir des travaux aux abords de Kourou. Outre l'observatoire de référence de l'île Royale, huit observatoires secondaires (Dégrad des Cannes, pointe des Hattes [bouée SL], Ilet la Mère, Montagne d'Argent, Larivot, trois points au large [baptisés d'est en ouest : L1, L2, L3]) furent ainsi équipés d'un ou plusieurs marégraphes de la MOM ou de la DDE. Les marégraphes de type Ott R16 de la DDE étaient réglés en mode journalier. La période d'échantillonnage et la durée d'intégration des marégraphes Suber étaient fixées aux valeurs usuelles (5 et 4 minutes respectivement pour les appareils SLS23 ; 7,5 et 4 minutes respectivement pour les appareils SLS13). Compte tenu des risques d'envasement, les marégraphes Suber des observatoires côtiers furent mis en place capteur en haut. Cette précaution se révéla utile à la bouée SL et à Montagne d'Argent.

Aucun site permettant d'installer un marégraphe à flotteur n'ayant été trouvé à la pointe des Hattes et faute de marégraphes Suber en nombre suffisant, aucun observatoire ne fut installé en amont de la barre à l'embouchure du Maroni. Les marégraphes à flotteur de Larivot et de Dégrad des Cannes ne furent pas doublés par un marégraphe Suber.

Le fonctionnement des marégraphes Suber fut globalement satisfaisant. Seul le marégraphe SLS23 mouillé au point L1 ne put être exploité. L'acquisition des données s'était interrompue, pour une raison qui resta mystérieuse, après la mise en fonction de l'appareil mais avant sa mise à l'eau. Les paramètres d'initialisation étaient pourtant corrects. Le site choisi pour le marégraphe de Montagne d'Argent était trop proche de la côte : l'examen des mesures révéla que le capteur découvrait aux grandes basses mers. Comme le capteur présentait en outre un biais de l'ordre de 50 cm, les valeurs inférieures à - 45 cm furent invalidées pour l'exploitation. Le marégraphe Suber mis en place à l'île Royale au début du levé dut être relevé et déplacé en raison de travaux sur la jetée de la baie des Cocotiers.

Tous les observatoires firent l'objet d'une fiche.

### 3.2.5.3. Analyse des observations

#### 3.2.5.3.1. Exploitation primaire

Le calcul des hauteurs d'eau à partir des mesures de pression enregistrées par les marégraphes Suber fut effectué avec les pressions atmosphériques réduites au niveau de la mer observées à la station météorologique de l'aéroport de Cayenne-Rochambeau. On vérifia que ces observations étaient cohérentes avec celles effectuées simultanément dans les autres stations du département (Saint-Laurent, Saint-Georges et Kourou) et à bord du *D'Entrecasteaux*. Les écarts entre les pressions réduites observées à Rochambeau et celles observées dans les autres stations ne dépassaient pas 3 hPa pendant le mois d'octobre.

La densité moyenne adoptée pour la réduction des mesures Suber était 1,022 pour les observatoires côtiers et 1,027 pour les observatoires du large. Ces valeurs furent déduites des statistiques de température, salinité et densité de l'eau de mer fournies par le centre militaire d'océanographie (CMO), et couvrant la zone de latitude comprise entre 5 et 7° N et de longitude comprise entre 053 et 050° W.

Le rattachement des zéros instrumentaux des marégraphes aux repères - existants, ou mis en place en 1992 - fut effectué par comparaison des hauteurs enregistrées et de mesures de tirants d'air faites à la sonde lumineuse. La précision des rattachements est meilleure que 5 cm.

Le niveau concordant avec le zéro de réduction des sondes 1989 de l'île Royale fut déterminé pour chaque observatoire secondaire. La concordance en hauteur ne fut effectuée que sur les hauteurs des basses mers. Ce niveau fut comparé, chaque fois que possible, avec le zéro de réduction des sondes adopté précédemment. La concordance entre la marée de référence et la marée des observatoires rattachés était satisfaisante : le coefficient de corrélation obtenu pour des séries de 44 à 60 couples d'observations concomitantes était supérieur à 0,98, sauf pour Larivot (0,96 pour 38 couples de basses mers).

Une comparaison directe fut effectuée entre les marégraphes Suber et Ott R16 des observatoires déjà équipés par la DDE (Ile Royale et îlet la Mère).

#### 3.2.5.3.2. Observatoire fondamental

Les repères de 1989 furent tous retrouvés. Les dénivelées mesurées entre le repère fondamental A et les autres repères étant supérieures de 3 à 5 mm aux dénivelées adoptées en 1989, la cote du repère A par rapport au zéro de réduction des sondes re-déterminé en 1989 fut fixée à 6,884 m au lieu de 6,880 m. Les cotes des autres repères furent conservées.

Les deux périodes d'observations furent fusionnées en tenant compte des mesures de calage en hauteur à la sonde lumineuse et de l'écart observé entre les hauteurs enregistrées simultanément par les deux appareils pendant la période de recouvrement. Un fichier de référence unique, rapporté au zéro de réduction des sondes re-déterminé en 1989, fut ainsi constitué. La comparaison avec le fichier TRAMAR

issu de la numérisation des marégrammes communiqués par la DDE fut satisfaisante : l'écart entre les hauteurs horaires simultanées sur 19 jours d'observations exploitables était généralement inférieur à 10 cm et ne dépassait pas 20 cm.

Les niveaux moyens journaliers observés en 1992 variaient entre 2,01 et 2,25 m au-dessus du zéro de réduction des sondes. La moyenne sur 33 jours était de 2,14 m. Le niveau moyen observé en 1989 (24 jours d'observations) était de 2,06 m. Ces valeurs étaient supérieures à celle adoptée pour l'annuaire de marée (1,92 m), déduite des observations de juillet 1936 à janvier 1937 [Yayer, 1947]. On supposa donc que le zéro adopté en 1989 était situé 15 à 20 cm au-dessous du zéro de 1937, mais la durée des observations était insuffisante pour confirmer cette hypothèse.

La MOM participa le 6 novembre au nivellement de l'observatoire de marée installé sur l'île Royale par l'ORSTOM dans le cadre d'un réseau couvrant l'Océan Atlantique tropical.

#### 3.2.5.3.3. Observatoires secondaires

Trois des observatoires secondaires de 1992 avaient déjà été occupés en 1989 : il s'agit des observatoires de l'îlet la Mère, de Dégrad des Cannes et de Larivot, utilisés par la DDE. La comparaison des résultats des nivellements de contrôle de 1992 et des indications des fiches de marée établies en 1990 mit en évidence des incohérences. Leur analyse conduisit à modifier les cotes adoptées précédemment pour certains repères.

Seuls les observatoires de la bouée SL, de Dégrad des Cannes et de Larivot purent être rattachés au réseau de nivellement IGN 1977. Les cotes du niveau moyen obtenues pour les observatoires de 1989 et 1992 directement rattachés au réseau de nivellement étaient cohérentes entre elles : le niveau moyen observé était situé entre 20 et 30 cm au-dessus du zéro IGN 1977. Le zéro IGN 1977 serait donc situé 20 cm trop bas.

#### 3.2.5.4. Constitution du modèle de calcul de la marée

##### 3.2.5.4.1. Analyse harmonique

En 1989, des observations portant sur une trentaine de jours avaient permis à l'EPSHOM de déterminer les composantes des ondes principales de marée en trois sites : l'îlet la Mère, l'île Royale et un point à la limite du plateau continental (051°46'W, 06°00'N).

Les observations de 1992 firent l'objet d'une analyse harmonique, à l'exception des observations du Larivot dont la qualité fut jugée insuffisante. Les résultats obtenus furent les suivants :

- la marée observée était de type semi-diurne avec une inégalité diurne un peu plus marquée au large : le rapport  $R = (K1 + O1) / (M2 + S2)$  était compris entre 0,21 et 0,24 pour les trois observatoires du large de 1989 ou 1992 ; il était compris entre 0,15 et 0,17 pour les observatoires côtiers.

- les ondes semi-diurnes étaient amplifiées par la propagation sur le plateau continental : la somme des amplitudes M2 + S2 passait de 0,71 m au point L3 à 1,30 m à Montagne d'Argent, alors que la somme O1 + K1 restait partout comprise entre 16 et 20 cm. En outre des ondes composées et supérieures apparaissaient dans les petits fonds.
- les ondes mensuelles (MF, MM, MSF) de vitesse angulaire égale ou inférieure au degré par heure étaient mal déterminées, en raison des courtes périodes d'observations (23 à 32 jours).
- les situations des ondes importantes variaient peu d'un observatoire à l'autre, à l'exception de Montagne d'Argent et de Dégrad des Cannes. A Montagne d'Argent, les écarts en temps étaient voisins de l'heure pour la plupart des ondes diurnes et semi-diurnes. Pour Dégrad des Cannes, les écarts en temps étaient voisins de la demi-heure.

La qualité de l'analyse harmonique fut évaluée en comparant les marées prédites et observées. A l'exception de Dégrad des Cannes, les résidus étaient généralement inférieurs à 0,1 m et ne dépassaient jamais 0,2 m.

### 3.2.5.4.2. Elaboration d'un modèle empirique

Pour simplifier la procédure de réduction des sondes, on chercha à élaborer un modèle de calcul simplifié basé sur une relation linéaire du type :

$$h_i(t) = a_i + b_i \text{href}(t)$$

avec :

$h_i$ , href : hauteurs observées simultanément à l'observatoire secondaire  $i$  et à l'observatoire de référence de l'île Royale, rapportées au zéro de réduction des sondes de chaque point,  $a_i$ ,  $b_i$  : coefficients déterminés par comparaison des marées observées au point  $i$  et à l'île Royale.

Les coefficients  $a_i$  et  $b_i$  et les résidus du modèle furent calculés pour chaque observatoire de 1989 ou 1992. Les observatoires pour lesquels les résidus furent jugés acceptables furent retenus comme nœuds du modèle. La marée en un point quelconque fut alors calculée par interpolation de type spline [Simon, 1990] entre les hauteurs  $h_i(t)$  et href( $t$ ). Cette procédure était plus rapide qu'une interpolation des composantes harmoniques.

L'extension du modèle constitué par les nœuds ainsi choisis ne couvrait pas la totalité du plateau continental, notamment à l'est de la ligne joignant l'île la Mère au mouillage L2. L'extension du modèle au large fut réalisée à partir des observations du mouillage du large de 1989. On admit que le modèle empirique complété par ce point pouvait être étendu jusqu'au point L1, par extrapolation spline. Pour éviter une divergence du modèle près de la côte, deux nœuds supplémentaires furent introduits : Pointe des Roches (observations de 1989) et Montagne d'Argent (observations de 1992).

Outre la vérification de la validité du modèle simplifié en chaque nœud par l'analyse des résidus, une comparaison fut effectuée avec le modèle harmonique en un point représentatif situé au milieu de la zone (053°W, 06°N). La marée calculée par le modèle harmonique (logiciel MAREE93 adapté par la MOM) était définie comme suit :

- Hobs(ref,t) : marée observée à l'île Royale,
- Hhar(ref,t) : marée calculée à l'île Royale par la formule harmonique,
- Hsim(cont,t) : marée calculée au point de contrôle par le modèle simplifié,
- Hhar(cont,t) : marée calculée au point de contrôle par le modèle harmonique (interpolation spline des constantes des observatoires),
- Hcor(cont,t) : marée calculée au point de contrôle, corrigée des variations estimées du niveau moyen :  

$$Hcor(cont,t) = Hhar(cont,t) + [Hobs(ref,t) - Hhar(ref,t)]$$

La statistique des écarts entre Hsim et Hcor sur la période du 29 octobre au 14 novembre 1992 était satisfaisante : l'écart moyen était nul et l'écart maximum était de 11 cm.

### 3.2.5.4.3. Réduction des sondages

#### a) zone d'attente de Dégrad des Cannes et abords de Cayenne

On évalua l'erreur maximum commise en négligeant les variations de la marée dans ces deux zones à partir d'une statistique des écarts, sur deux profils représentatifs, entre le modèle simplifié et la marée observée à l'île la Mère. Les écarts obtenus ne dépassant pas 10 cm, les sondages de ces deux zones furent donc réduits avec la marée observée à l'île la Mère.

#### b) chenal d'accès à Dégrad des Cannes

Compte tenu de la variation réduite de la marée observée entre Dégrad des Cannes et l'île la Mère (écart inférieur à 36 cm) et de la moindre qualité des observations de Dégrad des Cannes, les sondages dans le chenal d'accès furent réduits avec la marée observée à l'île la Mère.

#### c) levé du plateau continental (levé de reconnaissance et levé au 1/100 000)

Avant d'entreprendre la réduction des sondes par le modèle simplifié, un dernier contrôle fut effectué sur douze intersections : les écarts entre les sondes réduites étaient inférieurs à 30 cm dans 8 cas sur 12. L'écart maximum était de 49 cm. Ces résultats ayant été jugés satisfaisants, le modèle simplifié fut retenu pour la réduction des sondages effectués par le D'Entrecasteaux sur le plateau continental.

## 3.2.6. Bathymétrie

### 3.2.6.1. Sondages effectués

#### 3.2.6.1.1. Généralités

Les sondages furent effectués simultanément par le bâtiment et par les trois vedettes. En prévision des levés ultérieurs éventuels, un réseau de profils couvrant l'ensemble du plateau continental fut défini avec un espacement initial de 50 m. L'orientation était celle adoptée en 1989 (041,5 - 221,5°). Les sondages aux différentes échelles prévues pouvaient ainsi être réalisés en suivant un profil sur deux (1/10 000), sur quatre (1/20 000), sur vingt (1/100 000) ou sur cent (1/500 000).

Les planches 5 et 6 précisent l'état d'avancement des sondages au terme de la campagne. Le levé prescrit par les instructions techniques était subdivisé en cinq sous-ensembles distincts détaillés ci-après. L'interruption prématurée de la campagne et les pertes de rendement dues à diverses avaries ne permirent pas d'atteindre tous les objectifs fixés.

#### **3.2.6.1.2. Levé de la zone d'attente de Dégrad des Cannes et de sa voie d'accès**

Les compléments du levé au 1/10 000 de la zone d'attente de Dégrad des Cannes effectué en 1989 furent achevés par les vedettes. Le levé au 1/10 000 de la voie d'accès à cette zone fut effectué par le *D'Entrecasteaux*, avec mise en œuvre simultanée d'un magnétomètre et d'un sondeur latéral remorqués. Le déroulement du levé fut contrarié par des avaries multiples des sondeurs latéraux, tant à bord du *D'Entrecasteaux* que des vedettes.

#### **3.2.6.1.3. Levé des abords de Cayenne**

Le levé de la zone située entre la côte et la limite sud du levé de 1989 fut entrepris par les trois vedettes basées à Dégrad des Cannes. Les premiers sondages ayant montré que les fonds étaient très réguliers, il fut décidé de faire participer le *D'Entrecasteaux* au levé de cette zone prioritaire. Il effectua, de jour uniquement, le levé de la partie située au large d'une limite coïncidant approximativement avec l'isobathe 10 m.

Le levé fut mené de manière continue d'est en ouest, suivant des profils espacés de 200 m. Environ 60 % de la zone définie par les instructions techniques fut couverte par le *D'Entrecasteaux* ou par les vedettes ; des profils intercalaires et quelques recherches ponctuelles furent effectués dans les zones jugées intéressantes, principalement aux abords de l'accès à Dégrad des Cannes. Le passage entre l'îlet la Mère et les Mamelles fit l'objet d'un levé au 1/5 000, sans recherche complémentaire.

Compte tenu du pilonnement et surtout des défauts de fonctionnement de l'interface entre le sondeur et le ordinateur PC, on renonça rapidement à l'acquisition automatique de la sonde pour les vedettes.

#### **3.2.6.1.4. Levé de reconnaissance du plateau continental**

Ce levé suivant des profils espacés de 5 km (1/500 000) était destiné essentiellement à préciser le tracé de l'isobathe 30 m qui était une des limites théoriques de la zone où la pêche était autorisée. Il constitua l'activité prioritaire du *D'Entrecasteaux*. La limite côté large de ce levé fut fixée à l'isobathe 50 m, de telle sorte que les profils effectués constituassent un échantillonnage du futur levé au 1/50 000 de la zone comprise entre les isobathes 50 et 25 m. La limite côté terre fut déterminée après une exploration préliminaire au sondeur latéral, suivant des profils parallèles à la côte, d'une bande définie a priori, en fonction des indications fragmentaires des cartes en service, de manière à ne pas engager la sécurité du bâtiment. La limite adoptée coïncidait approximativement avec l'isobathe 20 m.

Le levé de la zone située entre l'embouchure du Maroni et la limite ouest du levé de 1989 fut achevé. Par contre, les perturbations induites par l'avarie de ligne d'arbre ne permirent pas d'achever le levé de la zone située entre la limite est du levé de 1989 et l'embouchure de l'Oyapock : il restait à effectuer six profils à l'extrémité est de la zone.

#### **3.2.6.1.5. Levé des abords de Kourou**

Le levé de cette zone ne put pas être entrepris, faute de temps.

Marine Cayenne fut saisi le 29 octobre d'une demande du CSG (division logistique) relative à l'exécution du levé d'une partie du chenal d'accès à Kourou, entre les bouées K0 et K5. Cette demande s'inscrivait dans le cadre d'une pré-étude d'aménagement du chenal, en vue de permettre l'accès au port de Pariacabo de navires d'un tirant d'eau de 5 à 6 m. L'exécution de ce levé, qui aurait nécessité l'interruption des sondages aux abords de Cayenne fut finalement jugé inutile, compte tenu des documents disponibles issus du levé de 1989 et de la faible évolution apparente des fonds, déduite d'une comparaison entre le levé de 1989 et deux profils de reconnaissance effectués par la DDE en 1992.

#### **3.2.6.1.6. Levé détaillé du plateau continental**

Le levé entrepris en 1989 devait être poursuivi vers l'est et vers l'ouest, au 1/100 000 entre les isobathes 50 et 1 000 m et au 1/50 000 entre les isobathes 25 et 50 m. Une bande de 10 km de large fut ainsi sondée suivant des profils espacés de 1 000 m, à l'est de la zone étudiée en 1989. Ces profils furent essentiellement réalisés de nuit pendant la période de sondages aux abords de Cayenne. Aucun complément ne fut réalisé dans la zone couverte au 1/100 000.

#### **3.2.6.1.7. Travaux divers**

A la demande de Marine Cayenne, un contrôle de relèvements ponctuels fut effectué pendant les travaux de dragage aux abords de l'apportement de la base navale de Dégrad des Cannes. La nécessité d'un levé de plageage à la pointe des Hattes fut évoquée mais l'opération ne se concrétisa pas, le besoin n'ayant pas été précisé.

Les transits des vedettes entre Dégrad des Cannes et la zone de sondage furent mis à profit pour effectuer quelques profils de contrôle dans le chenal d'accès au port.

#### **3.2.6.2. Traitements**

Les sondages furent exploités suivant les procédures habituelles. Un profil unique de célérité fut adopté pour la période considérée, à partir des observations effectuées avec un bathycélérimètre Suber.

Des fichiers aux normes du 1/5 000 (abords de Cayenne), du 1/10 000 (zone d'attente de Dégrad des Cannes et voie d'accès) ou du 1/50 000 (levé de reconnaissance et levé détaillé du plateau continental) furent constitués et validés puis échantillonnés à l'échelle de rédaction des différents documents définitifs (1/10 000, 1/20 000, 1/100 000 ou 1/500 000). Diverses anomalies détectées dans les systèmes d'acqui-

tion ou logiciels de traitement de la chaîne Hydrac-Hytrai nécessitent de reprendre une partie des opérations de constitution des fichiers de base et des fichiers échantillonnés. En raison de la correction empirique - par lissage manuel - du pilonnage affectant les profils réalisés par les vedettes, la précision des sondes issues de ces profils était moins bonne que celle des sondes issues des profils effectués par le *D'Entrecasteaux*. Dans les zones de recouvrement, on invalida donc les sondes vedettes, après avoir vérifié qu'elles étaient cohérentes avec les sondes *D'Entrecasteaux*. Le lissage de certains profils vedette fut repris pour supprimer des discontinuités artificielles entre profils adjacents ou entre profils superposés.

### 3.2.6.3. Résultats

Les fonds observés sur le plateau continental guyanais étaient réguliers : à l'exception des abords immédiats de la côte ou des îlots des abords de Cayenne, on n'observa aucun relèvement significatif.

Le fond était parfois mal défini sur les bandes de sonde en raison de la densité variable de la vase et les quelques recherches effectuées aux abords de Cayenne visaient généralement à confirmer ou infirmer un relief d'existence incertaine ; elles furent alors réduites à un seul profil. Une mention existence douteuse fut maintenue pour un relèvement possible observé en levé régulier près de l'îlet le Père, mais non confirmé par une recherche partielle. Trois petits bancs de vase à caractère changeant furent identifiés par le symbole "ST" sur la minute B 10.3.

Des zones incomplètement hydrographiées furent délimitées aux abords des îlets le Père et la Mère, dans les anses de Montjoly et de Rémire et à l'embouchure du Mahury (minutes B 10.1, B 10.3 et B 20.1).

Les limites du chenal d'accès à Dégrad des Cannes furent portées sur les minutes B 10.1 à 3 à partir des plans de sondage 92-047 à 049 au 1/5 000 dressés par la cellule hydrographique de la DDE. Les sondes observées par la MOM dans le chenal n'avaient qu'une valeur indicative, le chenal étant continuellement entretenu par une drague basée à Dégrad des Cannes. Le seuil minimum observé par la MOM dans le chenal était de 2,4 m alors que le chenal était censé être maintenu à 3,1 m (cf. avis 93.04.17 T).

La comparaison avec les documents antérieurs mit en évidence des évolutions vraisemblablement liées à des déplacements des bancs de vase. Dans les zones de recouvrement avec le levé de 1989, les écarts étaient généralement inférieurs à 50 cm. Ils atteignaient le mètre dans le chenal d'accès à Dégrad des Cannes (cf. minute 91.2.6).

Les évolutions constatées par rapport aux cartes marines issues de données anciennes et éparses étaient souvent plus importantes. La comparaison de la minute B 500 et de la carte marine 6131 (publication 1955 - à jour de la correction n° 73) montra un déplacement vers la terre de l'isobathe 20 m, qui pouvait atteindre 5 km. A terre de cette isobathe, les sondes de 1992 étaient sensiblement supérieures aux sondes de la carte marine, l'écart pouvant varier de 5 m (abords de la bouée SL) à 15 m (abords de Sinnamary). Les

écarts observés par fonds supérieurs à 30 m étaient généralement inférieurs à 5 m. Les écarts plus importants correspondaient à des sondes anciennes suspectes ; l'échelle du levé de 1992 était insuffisante pour prouver leur inexistence mais un contrôle de leur origine serait souhaitable avant de décider des investigations complémentaires à prévoir lors d'une intervention ultérieure. Aucun relèvement ne fut décelé à la position du banc Cospatrick ; un indice de relèvement (12,0 m) fut par contre observé à la position des Battures du Connétable.

Aux abords de Cayenne, on constata, par rapport aux cartes 2459 (édition n° 2 - 1932) et 2386 (édition n° 7 - 1956), des envasements ou des dégraissements qui dépassaient 2 m. L'existence de la Roche Simon portée sur la carte 2386 près de l'îlet le Père fut confirmée. Par contre, aucun indice de relèvement ne fut décelé aux positions de la Roche Gallot et de la Bonne Amédée portées sur les cartes 6435 (édition 1962) et 2386 près de la rive nord de l'embouchure du Mahury. Aucune recherche ne fut jugée nécessaire, ces roches n'ayant été ni retrouvées lors du levé effectué en 1947 par l'IHP Lemièrre [Lemièrre, 1949], ni décelées sur les photographies aériennes utilisés pour les restitutions photogrammétriques, ni décelées lors d'une reconnaissance en hélicoptère. La Roche Gallot cotée 0,2 m sur la carte 2386 correspondait sur la minute B 10.1 à une sonde 0,1 m située à proximité d'un sommet local coté 0,3 m. La Bonne Amédée située à terre de l'isobathe 1 m sur la carte 2386 correspondait sur la minute B 10.1 à une sonde 1,2 m dans des fonds réguliers. Les deux toponymes figuraient sur les cartes IGN au 1/50 000 (NB-22-II-4 c et d, édition 1989).

Pour le haut-fond coté 0,8 m porté sur la carte 2459 au nord-ouest de la Mère on considéra que la carte 2386, à plus grande échelle et plus récente sur laquelle il n'apparaissait pas, faisait foi. Aucun indice de relèvement ne fut décelé en 1992 à cette position et aucune recherche ne fut effectuée.

La sonde minimum observée dans le passage entre la Mère et les Mamelles était de 1,6 m. Aucune recherche ne fut effectuée dans cette zone, considérée comme incomplètement hydrographiée.

Les abords du nouvel appontement de la base navale de Dégrad des Cannes ne firent pas l'objet de sondages complets.

Les minutes de restitution photogrammétrique établies par l'EPSHOM relatives à la zone sondée (P 92.10.15<sup>4</sup> à <sup>6</sup>) ne comportaient guère de renseignements dans la partie maritime. Aucun indice de relèvement ne fut décelé à la position des roches immergées possibles portées sur les minutes P 92.10.15<sup>4</sup> et <sup>6</sup> mais ces éléments étaient situés dans une zone incomplètement hydrographiée. On constata par contre qu'aucun des relèvements significatifs détectés au sondeur n'avait été décelé sur les photographies aériennes.

### 3.2.7. Topographie

Les travaux effectués furent limités au contrôle visuel des observations mentionnées dans les rapports de restitution photogrammétrique.

### 3.2.8. Gravimétrie

Les deux gravimètres KSS 5 et KSS 31 furent maintenus en fonction du 1<sup>er</sup> septembre au 23 décembre 1992. Outre les mesures de référence et de nivellement effectuées à Toulon avant et après la campagne, des mesures de référence furent réalisées pendant chaque escale intermédiaire (cf. chapitre 9).

L'évaluation du gravimètre KSS 31 fut également poursuivie pendant la campagne (cf. annexe B).

Les mesures des deux gravimètres furent traitées suivant les procédures habituelles. Après exploitation des opérations d'évaluation du gravimètre KSS 31, il fut décidé de ne rédiger que les mesures fournies par cet appareil. Les données acquises lors des sondages côtiers au 1/10 000 ne furent pas exploitées en raison de la faible longueur des profils entre deux retournements successifs. Les portions de profils perturbées par des changements intempestifs d'allure ou des écarts de barre furent épurés. Comme pour la bathymétrie, des fichiers de base au 1/50 000 furent constitués et validés puis échantillonnés à l'échelle des documents définitifs (1/100 000 ou 1/500 000).

L'anomalie à l'air libre observée dans la zone étudiée était comprise entre - 46 (vers 051°50'W - 04°50'N) et + 94 mGal (vers 052°20'W - 05°50'N). Le gradient entre valeurs consécutives échantillonnées au 1/50 000 était généralement inférieur à 10 mGal/km ; il ne dépassait pas 16 mGal/km. Les variations les plus fortes furent observées au voisinage de l'ancienne barrière récifale, vers 80 m de profondeur, et au voisinage du talus continental.

Les écarts observés aux intersections entre profils fournirent une évaluation de la précision des mesures. Ces écarts étaient inférieurs à 2 mGal et dépassaient rarement le milligal.

### 3.2.9. Magnétisme

Le magnétomètre remorqué Barringer DMS123 associé à une console M123 fut mis en œuvre pendant les sondages de la voie d'accès à la zone d'attente de Dégrad des Cannes et sur les profils du levé détaillé du plateau continental. Les essais d'un nouveau magnétomètre Thomson Géomag SMM92, prévus pendant cette campagne, furent infructueux, en raison d'un défaut du connecteur du câble électro-porteur côté poisson (cf. annexe C).

Le traitement des données fut effectué suivant les procédures habituelles (filtrage des mesures brutes, validation des fichiers valeurs, calcul de l'anomalie par rapport au modèle IGRF 90). Le levé au 1/10 000 de la zone d'attente ne fit l'objet que d'une exploitation sommaire pour contrôler l'absence d'indice d'épave métallique. Les fichiers numériques durent être invalidés en raison d'un défaut d'acquisition rendant incertaine la datation des mesures. La qualité médiocre des enregistrements analogiques ne permettait pas de reconstituer les profils par numérisation.

Quatre tracés de contrôle furent rédigés au 1/100 000. L'intensité du champ magnétique observée sur les quelques profils disponibles était comprise entre 30 160 et 31 450 nT. Le gradient maximum observé atteignait 470 nT/km. L'anomalie entre les valeurs observées et le modèle IGRF 90 était généralement inférieure à 100 nT en valeur absolue.

### 3.2.10. Nature du fond

Conformément aux instructions techniques, 46 échantillons de sédiments superficiels furent prélevés à la benne dans la zone sondée par les vedettes aux abords de Cayenne. L'interprétation géomorphologique des bandes de sonde fut réalisée au fur et à mesure, sans difficulté particulière. La participation d'un étudiant de l'université de Bordeaux à ces opérations avait été annulée au dernier moment.

Les échantillons du fond furent expédiés à l'EPSHOM pour analyse. La plupart de ces échantillons présentaient une granulométrie identique correspondant à une vase argileuse à faible teneur en silts et sables fins. Quelques anomalies isolées (teneur en sable fin comprise entre 3 et 7 %, voire présence de sable moyen) furent néanmoins observées. Les échantillons prélevés à l'embouchure du Mahury présentaient une phase sableuse beaucoup plus importante (sable vaseux ou sable grossier).

La nature généralement sédimentaire des fonds fut confirmée par l'examen des bandes de sondes. La présence de réflecteurs rocheux certains ou probables était peu fréquente sur le plateau continental : on n'observa que quelques cas d'émergences ponctuelles de réflecteurs sous-jacents à la couche sédimentaire.

### 3.2.11. Hydrologie

La sonde de température de surface TQP fut maintenue en fonction pendant toute la campagne. Deux bathycélérimètres furent mis en œuvre pour déterminer les éléments de réduction des sondes (37 stations effectuées).

La comparaison des profils de célérité moyenne observés en Guyane et des profils déduits de l'ouvrage NP139 (Echo-sounding correction tables - 3<sup>e</sup> édition) pour la zone 22 montra que la célérité dans la couche 0 - 500 m était plutôt supérieure aux valeurs tabulées. L'écart était inférieur à 1 % et compatible avec la précision de l'ouvrage NP139.

La température observée en surface était comprise entre 23,8°C le matin près de la côte à l'est de l'embouchure du Maroni et 29,4°C en fin d'après-midi au large. La variation diurne observée aux intersections de profils ou entre des profils voisins atteignait 2,5°C. Le gradient maximum atteignait 5°C/km.

### 3.2.12. Courants

#### 3.2.12.1. Mesures au point fixe

Des mesures au point fixe à une ou deux immersions différentes furent réalisées aux trois sites définis par les instructions techniques (cf. planche 5). En outre, à la demande de Marine Cayenne, des mesures furent également effectuées aux abords de l'apportement de la base navale de Dégrad des Cannes. Les mesures météorologiques correspondantes furent fournies par l'observatoire de Cayenne-Rochambeau.

Les deux courantomètres placés sur les bouées CA et K0 près de la côte furent retrouvés recouverts d'une épaisse couche de concrétions. Le premier fut récupéré avec son rotor brisé et seulement quelques intervalles de mesures de courant exploitables. Le second fut récupéré intact mais ne put être traité qu'après remplacement d'un composant électronique. Seuls les trois premiers jours de mesure étaient exploitables, probablement suite à un blocage du rotor. Aucun dossier ne fut constitué pour ces deux stations.

Les autres courantomètres eurent un fonctionnement apparemment correct. Les mesures des deux stations de l'appontement de la base navale furent néanmoins perturbées en vitesse et direction par les tourbillons générés par les piles de l'appontement. Une troisième série d'observations fut donc effectuée sur la bouée D25 située à proximité. A la station du large, un changement suspect de la direction du courant fut observé le 7 novembre (passage de 300 à 180°) : on supposa que la girouette avait été bloquée par un corps étranger, aucune anomalie n'ayant été constatée au relevage ni lors de contrôles ultérieurs. Les mesures étaient par ailleurs fortement bruitées par les mouvements de la ligne de mouillage.

La partie principale du courant observé au large était un courant permanent orienté au 300° dont la vitesse variait entre 1 et 4 nœuds en surface et entre 0,5 et 2 nœuds à 25 m sous la surface. La modulation introduite par la marée était bien visible sur les enregistrements effectués à 25 m sous la surface. Le maximum de cette composante était de l'ordre de 0,3 nœud.

#### 3.2.12.2. Détermination de la circulation générale

Le courant de surface au large de la Guyane fut déterminé à partir des données de localisation du *D'Entrecasteaux*. La localisation précise du bâtiment (GPS différentiel) permettait d'accéder à sa route par rapport au fond. Les informations fournies par le loch et le gyrocompas permettaient de déterminer la route surface. La différence vectorielle entre les deux représentait la dérive du bâtiment, induite par le vent et le courant de surface. La dérive induite par le vent était estimée à l'aide d'un modèle simple. Le courant de surface estimé était la différence entre la dérive globale et la dérive due au vent. Les données utilisées provenaient d'un échantillonnage toutes les 4 minutes de tous les profils suivis par le bâtiment. Les biais des capteurs d'estime furent déduits de la comparaison de profils à cap inverse. Le vent fut déterminé par intégration sur 30 minutes des données du réseau numérique de vent et archivé sur ordinateur PC toutes les heures. Le courant estimé fut moyenné par carreau de 10 km de côté.

Les résultats obtenus étaient cohérents avec les résultats obtenus en 1989 et avec les mesures de la station du large. Le courant général était parallèle à la côte ; il portait au nord-ouest avec une vitesse voisine de 2 nœuds. Le courant s'atténuait au large de l'embouchure du Maroni et semblait s'orienter plus au nord. Il s'orientait à l'ouest aux abords de Cayenne.

#### 3.2.13. Information nautique

Un contrôle partiel des amers, du balisage et des documents du SHOM fut effectué à l'occasion des travaux.

Dix vues obliques furent réalisées par hélicoptère. Elles couvrent deux des sites mentionnés dans les instructions techniques (Dégrad des Cannes et Pariacabo) ainsi que le quai de Cayenne et l'embouchure du Kourou. Le troisième site mentionné dans les instructions techniques (Saint-Laurent du Maroni) ne put pas être traité.

#### 3.2.14. Documents rédigés

Les documents rédigés sont archivés sous le numéro 94.38. On pourra également consulter le compte rendu et les rapports particuliers mentionnés en annexe F.

### 3.3. CAMPAGNE DE 1994

#### 3.3.1. Chronologie

Le détachement de la MOM chargé d'effectuer en collaboration avec la direction départementale de l'équipement (DDE) de Guyane le levé du chenal d'accès à l'embouchure du Maroni rallia la Guyane le 14 mai. Après récupération du matériel, expédié par l'EPSHOM, et divers essais à Dégrad des Cannes, le détachement et l'équipe de la DDE s'installèrent à Mana, près de la pointe des Hattes. La mise en place des infrastructures nécessaires à la localisation et à l'observation de la marée fut achevée le 20 mai. Les sondages effectués avec la vedette *Arouba* de la DDE furent interrompus à plusieurs reprises :

- du 27 au 31 mai, suite à une voie d'eau résultant d'une collision avec une tortue luth (nombreuses en cette saison) ;
- du 2 au 5 juin, après que la vedette se soit engagée dans un filet dérivant peu visible ;
- les 9, 13, 17 et 18 juin pour diverses avaries mécaniques. Les travaux prescrits furent achevés le 21 juin, avec un contrôle de la navigabilité du nouveau chenal par le patrouilleur de gendarmerie *Stenia*. Le détachement regagna la métropole le 26 après avoir conditionné le matériel devant faire retour à l'EPSHOM.

#### 3.3.2. Conditions d'exécution

Les travaux furent menés conjointement par un détachement de la MOM et la subdivision des phares et balises de la DDE, conformément aux dispositions d'un protocole entre le SHOM et la DDE. Le détachement de la MOM était composé de l'IPETA Pierre Mouscardès, chef du détachement, et de deux officiers-mariniers hydrographes. Côté DDE, six inscrits maritimes, assurant l'armement et l'entretien de la vedette *Arouba* mise à disposition du détachement, et cinq techniciens des cellules hydrographie et électronique participèrent en totalité ou en partie aux opérations. La cellule entretien général de la subdivision apporta également son concours pour la confection des mouillages des marégraphes et le transport du matériel.

Un lot de matériel fut constitué et expédié par l'EPSHOM. D'un poids total de 1,5 tonne, il permettait notamment d'assurer la localisation précise de la vedette (système DGPS UHF), les observations de géodésie, de marée et de célérité du son ainsi que la détection des obstructions (sondeur latéral). Un sondeur vertical de secours et un système d'acquisition sur PC étaient destinés, le cas échéant, à pallier les défaillances du système Dali de la DDE.

Les moyens suivants de la DDE furent mobilisés :

- une embarcation "Boston Whaler" pour la mise en place des marégraphes,
- la vedette *Arouba* et un zodiac pour les sondages et la topographie
- un camion et quatre véhicules légers pour le transport du matériel et les liaisons routières,
- les observatoires de marée de l'île Royale et de Saint-Laurent-du-Maroni.

Divers concours furent apportés par l'unité marine de Dégrad des Cannes (réception et expédition du matériel, mise à disposition de plongeurs et d'équipements divers), le conseil général de Guyane, et la commune de Mana (mise à disposition de locaux de travail et d'hébergement) et les pompiers de Saint-Laurent du Maroni (gonflage des bouillottes de plongée). WWF-France, présent sur le site de reproduction des tortues luths de la pointe des Hattes, assura également la surveillance du marégraphe mouillé devant la pointe.

La succession d'avaries subies par la vedette montra que son état général se prêtait mal à une campagne loin de sa base habituelle. Sans la présence d'un plongeur de bord au sein du détachement de la MOM, il aurait été difficile d'éviter de plus longs arrêts, voire l'interruption des sondages. Le détachement dut aussi faire face à des conditions d'environnement difficiles. Les mois de mai et juin sont généralement les plus pluvieux de l'année ; les fleuves sont à leur plus haut niveau et roulent les eaux les plus boueuses. Les pluies particulièrement abondantes de mai (870 mm à Mana) ralentirent les opérations initiales de géodésie et de nivellement. En raison de l'isolement de la zone des travaux, située à 250 km de Cayenne et à 50 km de la station-service la plus proche (Saint-Laurent-du-Maroni), la moindre avarie se soldait par un arrêt d'au moins une journée. La zone de sondage, située à la frontière entre le Suriname et la Guyane française, était truffée de nombreux filets de pêche dépourvus de marques visibles, dont certains étaient simplement amarrés aux bouées du chenal. Un de ces filets ne put être évité et entraîna l'arrachement d'une chaise de ligne d'arbre de la vedette, une voie d'eau et trois jours d'immobilisation au sec à Saint-Laurent-du-Maroni. Pour couronner le tout, la région était infestée de moustiques particulièrement agressifs.

La planche 8 résume les travaux effectués.

### 3.3.3. Localisation

La localisation fut assurée à partir d'une station DGPS UHF implantée à Mana. La position de l'antenne GPS de référence fut déduite par mesures GPS géodésiques de la position WGS 84 de la borne IGN de Mana-I, déterminée en 1992. L'emploi du système Dali de la DDE imposant l'utilisation de coordonnées rectangulaires, le levé fut effectué en projection UTM, fuseau 22, dans le système géodésique CSG 67, en utilisant les formules de passage du système WGS 84 au système CSG 67 définies en 1992 (cf.§3.2.4).

Afin de contrôler le bon fonctionnement de la chaîne de traitement Dali de la DDE, l'acquisition de la localisation à bord de la vedette fut effectuée simultanément avec le logiciel de la DDE d'une part et avec le logiciel NR103SON du SHOM d'autre part, sur deux calculateurs PC connectés chacun à une sortie d'un récepteur NR103. Cette disposition permit l'exploitation expédiée des sondages de reconnaissance, malgré l'indisponibilité du système informatique temps différé de la DDE.

### 3.3.4. Marée

Les trois marégraphes SLS23 disponibles furent mouillés respectivement sous la bouée SL, devant le village de Yalimapo à la pointe des Hattes et dans la Mana, au pied du ponton ruiné du village de Mana. Le premier marégraphe ne fut pas retrouvé. Les observations des deux autres appareils furent rattachées par des mesures de tirant d'air à des repères de nivellement. L'observatoire de référence de l'île Royale et un observatoire secondaire implanté à Saint-Laurent-du-Maroni furent maintenus en fonction par la DDE pendant toute la durée des sondages ; ils étaient chacun équipés d'un marégraphe OTT R16.

Un nivellement de vérification fut effectué à Mana entre les repères IGN de l'église (CM'-13) et du quai (CM-13-I). L'observatoire de Saint-Laurent fut rattaché au repère IGN C scellé sur la bordure d'un aqueduc d'assainissement à 50 m du poste de douane. Aucun nivellement ne fut effectué à la pointe des Hattes, les repères anciens [Yayer, 1947] ayant disparu.

Après analyse de la marée observée à la pointe des Hattes, le zéro de réduction des sondes défini en 1992 fut conservé. Le niveau moyen observé, rapporté à ce zéro, est, comme en 1992, supérieur de 80 cm à la valeur adoptée en 1937 et indiquée dans l'annuaire des marées (1,65 m). La valeur de 1937 n'est pas cohérente avec l'amplification de la marée par rapport à l'île Royale (rapport des amplitudes voisin de 1,15 ; rapport des niveaux moyens de 1937 voisin de 0,86). Le niveau moyen observé en 1994 à l'île Royale est, comme en 1989 et 1992, supérieur de 20 cm à la valeur adoptée en 1937 et indiquée dans l'annuaire (1,92 m).

### 3.3.5. Bathymétrie

Les sondages furent effectués en respectant les priorités fixées par les instructions techniques. Un premier levé exploratoire au 1/50 000 couvrant le banc Français permit de définir l'allure probable du chenal. Ensuite, un levé au 1/10 000 effectué suivant les grands axes du chenal probable sur une largeur de 1 000 m en précisa la morphologie. Un troisième levé au sondeur latéral fut réalisé au 1/2 500 en suivant les mêmes axes, sur 200 m de large dans la partie centrale. Les transits de la vedette furent mis à profit pour effectuer quelques profils exploratoires dans la Mana et un profil dans le Maroni. L'emploi du sondeur latéral se révéla délicat, en raison d'une part des très petits fonds et d'autre part des perturbations de la propagation acoustique dues à la présence en surface d'une couche d'eau douce venant du fleuve. Trois profils espacés de 500 m furent prolongés jusqu'à la bouée d'atterrissage SL, pour assurer un raccordement minimum avec le levé de reconnaissance exécuté en 1992.

34 profils de célérité furent acquis pendant les sondages avec un bathycélérimètre Mors SV510.

### 3.3.6. Topographie et balisage

Le détachement disposait d'une image Spot de 1986 à une échelle voisine du 1/27 000 et de zooms au 1/19 000 des zones intéressantes. Il ne fut pas possible d'effectuer des séances de trajectographie GPS ou de piquage sur le Maroni et les criques, faute de temps et de moyens nautiques adaptés. Seule une partie des berges de la Mana et le contour de l'île située entre l'embouchure et Mana furent délimités.

L'ensemble du balisage, de la bouée SL à Saint-Laurent-du-Maroni, fut positionné.

### 3.3.7. Rédaction

L'indisponibilité prolongée de son système informatique temps différé ne permit pas à la DDE d'entreprendre la rédaction du levé pendant la présence du détachement. En raison de ce contretemps et des difficultés de traitement, propres au système Dali, d'un levé plus complexe que les sondages réguliers habituellement pratiqués par les services hydrographiques portuaires, il fut décidé que la rédaction serait effectuée simultanément par le détachement et par la DDE. Les bandes de sonde qui devaient être expédiées à la MOM après numérisation par la DDE n'étaient toujours pas parvenues à la MOM à mon départ.

L'ensemble du dossier fut transféré à la MHA, pour achèvement de la rédaction sous la direction du chef de détachement nommé directeur de la MHA (levé archivé sous le numéro 96.16).

## CHAPITRE 4

### LEVÉ PORTUAIRE A FORT-DE-FRANCE (MARTINIQUE)

#### 4.1. PRÉSENTATION

Un levé de contrôle de l'emprise du port de Fort-de-France fut effectué par la MOM du 5 au 11 octobre 1992 au profit de la direction départementale de l'équipement (DDE) de Martinique. Cette prestation fut exécutée à titre onéreux, en application d'un protocole d'accord entre le SHOM et la chambre de commerce et d'industrie de la Martinique. Le levé devait être limitée au site d'un futur terminal pour porte-conteneurs et le séjour à Fort-de-France du *D'Entrecasteaux* avait été programmé en conséquence, du 4 au 12 octobre, à l'occasion du transit du bâtiment vers la Guyane pour la campagne décrite au chapitre 3. Pour tenir compte de besoins supplémentaires apparus trop tardivement pour permettre une adaptation du calendrier de l'intervention, les

caractéristiques du levé furent modifiées en concertation avec la DDE. La zone couverte fut étendue vers l'ouest (cf. planche 9) mais l'échelle du levé fut réduite du 1/1 000 au 1/2 000 ou 1/2 500. Diverses difficultés de mise en œuvre des embarcations et des équipements et les conditions météorologiques ralentirent l'avancement des travaux par rapport aux prévisions initiales.

#### 4.2. CONDITIONS D'EXÉCUTION

La MOM bénéficia pendant le séjour du *D'Entrecasteaux* à Fort-de-France de concours de différents organismes militaires ou civils. Outre les ravitaillements en carburant et en vivres, ces concours concernèrent en particulier :

- la mise à disposition de deux véhicules, les véhicules de la mission n'ayant pu être débarqués que le 7 octobre,
- l'accueil temporaire et le ravitaillement de l'hélicoptère (détachement de gendarmerie de l'aéroport du Lamentin),
- la fourniture d'observations météorologiques (service météorologique de Martinique),

Les sondages furent réalisés en coralline, équipée d'un sondeur Simrad EA300P avec base hors-bord, dans les zones très peu profondes et en vedette équipée d'un sondeur Deso 20 ailleurs. La localisation était assurée par un réseau de quatre balises Axyle implantées sur des points connus. C'était la première fois que la MOM utilisait de manière opérationnelle le système de localisation Axyle. La MOM ne disposant que de deux équipements pour mobile, seules deux embarcations furent mises en œuvre simultanément, à partir du *D'Entrecasteaux* à quai. Malgré les essais effectués préalablement à Toulon, l'emploi, à bord des corallines, d'un système d'acquisition des données dit "léger", se révéla délicat, en l'absence de dispositifs de protection adéquats contre la pluie ou les embruns. Un calculateur portable fut endommagé par aspersion dès le deuxième jour des sondages.

Les sites utilisés pour l'implantation des balises Axyle n'étant pas protégés contre les intrusions, les balises furent mises en place chaque matin et démontées chaque soir. L'utilisation de l'hélicoptère embarqué pour la campagne en Guyane permit un gain de temps précieux pour ces opérations. L'hélicoptère était stationné pendant la nuit à l'aéroport du Lamentin et effectuait les rotations nécessaires à partir de la zone de poser du fort Saint-Louis.

#### 4.3. LOCALISATION

Deux configurations de balises Axyle furent retenues en fonction des points géodésiques existants de manière à éviter des travaux de géodésie qui auraient retardé le début des sondages. Trois sites étaient communs aux deux configurations (Ilet à Ramiers, Fort Desaix, Pointe du Bout). La quatrième balise disponible fut placée sur Gros Ilet ou à la Pointe des Nègres en fonction de la zone à couvrir. Seule la balise de Fort Desaix put être maintenue en place pendant toute la période, les accès aux autres sites n'étant pas protégés.

Le fonctionnement du système Axyle fut globalement satisfaisant mais on observa de nombreux décrochages intempestifs qui ralentirent l'avancement des travaux en imposant de multiples reprises. Une évaluation a posteriori montra que la portée d'utilisation (3 à 6 km) des balises peu élevées (Pointe du Bout, Gros Ilet) dépassait la portée utile théorique (moins de 4 km). Il aurait fallu rehausser les antennes pour améliorer la fiabilité de la réception. L'encombrement du mouillage des Flamands (voiliers au mouillage et nouvel appontement) fut aussi une source de perturbations lors des sondages dans cette zone. La DDE fit déplacer les voiliers les plus gênants.

On adopta, pour les retards des différents éléments du réseau Axyle, les valeurs déterminées par le constructeur et contrôlées à Toulon. L'indice de réfraction fut fixé à 1,000 400.

La localisation fit l'objet d'un rejeu en temps différé, en raison de l'insuffisance des éléments archivés en temps réel pour apprécier la qualité du point (pas de relation univoque entre la note de qualité et la précision du point) et pour tenir compte des décrochages observés (invalidation des lieux correspondants). La précision adoptée a priori pour les mesures de distances fut fixée à 20 cm (un écart type) pour les balises de Pointe des Nègres, Ilet à Ramiers et Pointe du Bout et à 50 cm pour les deux autres sites, en raison de la précision moindre de leurs coordonnées. Les résidus sur les distances ne dépassaient que rarement 2 écarts types a priori. La précision à 90 % des points rejoués étaient meilleure que 2 m. Sauf exception, tous les points furent calculés avec au moins trois lieux validés.

Quelques travaux de topographie furent effectués à partir d'une station à terre avec un théodolite T1000 muni d'un distancemètre Di5. On constata la disparition d'un certain nombre de points repérés par la MOA en 1980-1981.

Tous les calculs de localisation furent effectués en projection UTM, fuseau 20, dans le système géodésique SHOM 84 [Bessero, 1985].

#### 4.4. MARÉE

Deux marégraphes Suber SLS23 furent mouillés le 4 octobre à proximité de la bouée "3" du chenal d'accès à Fort-de-France par fonds de 28 m. Ils furent relevés le 11 octobre. Un autre appareil fut mouillé dans le port, au coin ouest du quai aux huiles, du 4 au 12 octobre. Le marégraphe à flotteur de l'observatoire permanent du quai aux huiles, inutilisé depuis 1990, fut remis en service le 11 octobre avec le concours de la DDE. Sa surveillance fut confiée au capitaine du port.

Le calcul des hauteurs d'eau à partir des mesures de pression enregistrées par les marégraphes fut effectué avec les pressions atmosphériques réduites au niveau de la mer, observées à la station météorologique du Lamentin.

Le rattachement aux repères et au zéro hydrographique traditionnel des zéros instrumentaux des trois marégraphes Suber fut effectué par comparaison des hauteurs enregistrées et des lectures faites à la sonde lumineuse par rapport

à des repères nivelés. Un nivellement de contrôle partiel conduisit à modifier les cotes des repères C et F adoptées par la MOA en 1982 [Boulard, 1991], en raison probablement d'un affaissement du quai des avisos par rapport au repère B. On adopta comme zéro de réduction des sondes le zéro traditionnel situé à 4,213 m sous le repère B (MOA 1976). La précision du rattachement fut estimée à +/- 3 cm. Les courbes observées avec les trois appareils étaient parfaitement superposables.

#### 4.5. BATHYMÉTRIE

##### 4.5.1. Sondages effectués

La préparation des sondages de la partie est (de la pointe des Carrières à la pointe des Grives) avait été effectuée au 1/1 000 (profils espacés de 10 m), conformément aux termes du protocole. Suite à l'extension de la surface à couvrir, il fut décidé de n'effectuer qu'un profil sur deux, soit un espacement de 20 m. La zone située à l'entrée du port et le mouillage des Flamands furent sondées suivant des profils espacés de 25 m. La réduction de l'échelle du levé permit de limiter l'intervention des corallines à la zone de petits fonds devant l'embouchure de la rivière Monsieur et d'utiliser ailleurs les vedettes, moins sensibles à l'état de la mer et aux conditions météorologiques.

Vingt-six indices de relèvements du fond furent sélectionnés, lors de l'examen quotidien des bandes de sonde, pour des investigations complémentaires au sondeur. Quatre d'entre eux firent l'objet en outre d'un examen par plongeur. Aucune recherche ne fut effectuée dans la zone du mouillage des Flamands, faute de temps.

##### 4.5.2. Réduction des sondes

Aucune correction n'était appliquée aux sondes en temps réel : la correction d'immersion de la base était réglée à 0 et la célérité instrumentale à 1 500 m/s. Un contrôle à la barre était effectué sur zone au début et à la fin de chaque séance.

Quatre profils de célérité du son furent observés avec un bathycélérimètre SLS22, deux au niveau de la bouée "3" du chenal d'accès à Fort-de-France et deux dans le port. Une célérité constante de 1 543 m/s fut adoptée pour la réduction des sondages.

##### 4.5.3. Traitement

Les sondages effectués par les vedettes furent traités suivant la procédure habituelle, par numérisation des bandes de sonde Deso 20, l'acquisition automatique de la sonde n'étant pas opérationnelle dans la configuration utilisée.

Les sondages effectués en coralline donnèrent lieu à une acquisition numérique de la sonde par un terminal Husky connecté au sondeur Simrad et synchronisé manuellement avec le calculateur PC associé au mobile Axyle. Compte tenu de la résolution limitée des enregistrements analogiques associés, le traitement fut basé initialement sur un simple contrôle qualitatif des fichiers numériques par rapport aux enregistrements analogiques.

Les contrôles effectués lors de l'examen du bleu valeurs de la zone est mirent en évidence, sur des sondes isolées caractéristiques, un décalage de trois secondes environ entre la date du fichier numérique archivé par le terminal Husky et la date déterminée sur la bande de sonde par interpolation entre les marques de tops encadrantes. Ce décalage était a priori incompatible avec la précision recherchée (erreur maximum tolérée au 1/2 500 pour une vitesse de sondage de 2,5 nœuds : 2 secondes). En outre, certains relèvements ponctuels apparaissant sur les bandes de sonde n'étaient pas archivés dans les fichiers numériques.

Les conclusions de l'expertise du logiciel utilisé (AC300M), demandée au service informatique de l'EPSHOM, furent les suivantes :

- l'horloge interne des calculateurs Husky n'était pas fiable : une dérive de 10 s en 40 minutes fut observée sur un appareil. Les contrôles prévus pendant l'exécution des sondages avaient pour but de pallier ce défaut éventuel. Compte tenu de la procédure visuelle de synchronisation et des recalages effectués en cours de séance, on admit que l'incertitude due à la dérive des terminaux utilisés à Fort-de-France ne dépassait pas 2 s.
- la datation des sondes par le calculateur Husky n'était pas fiable et des sondes pouvaient être perdues ; l'erreur en temps était comprise entre 0 et 5 s (heure "Husky" postérieure à l'heure de référence).

L'incertitude globale entre l'heure Husky et l'heure de référence de la localisation était donc comprise entre - 2 et + 7 s. En retranchant 2,5 s aux heures des fichiers numériques Husky, on réduisait l'incertitude à +/- 4,5 s, soit une imprécision de 6 m sur la position des sondes. Cette imprécision n'affectant que la position des sondes dans le sens du profil, on décida de conserver néanmoins l'échelle de rédaction initialement fixée au 1/2 500.

La procédure adoptée pour la constitution des fichiers Simrad définitifs fut la suivante :

- les sondes numériques anormales non confirmées par l'enregistrement analogique furent conservées, sauf invraisemblance flagrante,
- les indices de relèvement figurant sur les enregistrements et non acquis numériquement furent dépouillés et insérés manuellement. On ajouta 2,5 s à l'heure déterminée par interpolation entre les marques de top courant les plus proches.
- une correction de - 2,5 s fut appliquée à toutes les heures des sondes.

Les différentes étapes du traitement donnèrent lieu à un double contrôle. L'expertise du logiciel puis la reprise du traitement retarda d'environ quatre mois l'achèvement de la rédaction du levé.

Les sondes anormales recherchées par plongeurs furent cotées avec un profondimètre Aqualung à affichage digital.

Les valeurs réduites obtenues étaient inférieures de 1 à 2 m aux valeurs réduites obtenues à partir des études au sondeur. Le profondimètre utilisé ayant été perdu lors de la mise en place d'un marégraphe en Guyane, il ne fut pas possible de contrôler son étalonnage en eau chaude. L'étalonnage effectué à Toulon avant l'appareillage n'avait pas révélé d'anomalie (biais inférieur à 0,4 m jusqu'à 30 m). Les valeurs obtenues au profondimètre étant incohérentes avec la hauteur des obstacles au-dessus du fond moyen, elles ne furent pas validées.

#### 4.5.4. Résultats

La comparaison des sondages de 1992 et du levé précédent, effectué par la MOA en 1980-81 [Boulard, 1991], ne mit pas en évidence d'évolution notable des fonds : les tracés de courbes de niveau étaient généralement cohérents. On nota seulement la disparition de la zone de profondeur inférieure à 9 m située au sud-est du nouvel appontement de la pointe Simon. La sonde la plus faible observée en 1992 était 9,3 m, contre 8,2 m en 1980-81. Cette évolution était sans doute liée aux travaux de construction de l'appontement.

Dans la partie située à l'est de la Pointe des Carrières, quatre sondes de la minute 82.27.8 plus faibles que les sondes de 1992 mais non infirmées par le nouveau levé furent reportées sur la minute BT 2.5<sup>1</sup>. Une erreur de dépouillement de bande de sonde fut détectée sur la minute 82.27.8. Dans la partie située à l'ouest de la Pointe des Carrières, deux sondes de la minute 82.27.8 furent reportées sur la minute BT2.5<sup>2</sup>.

La comparaison avec le levé effectué en 1977 par Sogetras Antilles pour le compte de la DDE mit en évidence un engraissement dans les fonds inférieurs à 10 m à l'embouchure de la rivière Monsieur. De nombreuses sondes anormales figurant sur la minute E.0403-09.77 n'étaient confirmées ni par le levé de 1980-81 ni par le levé de 1992. Elles provenaient vraisemblablement d'erreurs de dépouillement.

Quelques sondes anormales auraient mérité des investigations complémentaires qui n'avaient pas pu être réalisées faute de temps.

#### 4.6. TOPOGRAPHIE ET BALISAGE FLOTTANT

Les nombreuses épaves situées à l'embouchure de la rivière Monsieur furent positionnées et cotées à la perche topographique à partir d'un zodiac. En raison de la multiplicité des débris, seules les épaves principales furent cotées.

Une topographie sommaire du nouvel appontement de la pointe Simon fut également réalisée.

Une couverture photographique du cimetière d'épaves et de l'appontement fut réalisée par hélicoptère.

Le balisage flottant de la baie de Fort-de-France situé à l'est du méridien 061°05' W et au nord du parallèle 14°35' N fut contrôlé.

## 4.7. DOCUMENTS RÉDIGÉS

Les documents rédigés sont archivés sous le numéro 93.32. On pourra également consulter le compte rendu mentionné en annexe F.

## CHAPITRE 5

### CAMPAGNES D'HYDROGRAPHIE AU SUD-EST DE LA SARDAIGNE

#### 5.1. PRÉSENTATION

Un levé bathymétrique destiné à assurer le raccordement entre les levés effectués respectivement en 1979 dans le canal de Sicile [Thouin, 1983] et en 1988-89 au sud de la Sardaigne fut inscrit au programme de 1992 de la MOM. Pour son exécution, il était prévu initialement de mettre en œuvre simultanément ou successivement le BO *D'Entrecasteaux* et le BSR *Gazelle*. En raison des indisponibilités prolongées ou imprévues du *D'Entrecasteaux* en 1992 puis en 1993 et de la réduction d'activité imposée en 1993, les travaux effectués sous ma direction furent limités à deux campagnes du BSR *Gazelle*, insuffisantes pour achever le levé de la zone prioritaire, située à l'ouest du méridien 010°13'E. Une troisième intervention de la *Gazelle* programmée en 1994 fut annulée pour permettre à la MOM de réaliser un levé urgent à l'embouchure du Maroni en Guyane (cf. chapitre 3).

#### 5.2. CONDITIONS D'EXÉCUTION

Conformément aux directives de CECMED, le programme des travaux et le régime d'activité du BSR *Gazelle* furent établis en tenant compte des limitations imposées par la taille et l'effectif réduits du bâtiment. Le rythme moyen d'activité retenu en 1992 comme en 1993 était de 4 jours à la mer pour 3 jours d'escale, principalement à Cagliari (Sardaigne). Bien que les deux campagnes aient été programmées pendant les mois de juin et juillet, elles furent chacune perturbées par des conditions météorologiques peu favorables, auxquelles la *Gazelle* était particulièrement sensible en raison de son faible tonnage.

L'annulation des interventions du *D'Entrecasteaux* ne permit pas d'entreprendre les mesures de gravimétrie et d'hydrologie prescrites par les instructions techniques. Les mesures de magnétisme terrestre ne purent pas être réalisées dans la zone sondée par la *Gazelle*, en raison de difficultés de mise en œuvre des magnétomètres remorqués disponibles à la MOM.

En 1992, le BSR *Gazelle* fut disponible à l'hydrographie à partir du 5 mai, après installation et essais du matériel hydrographique. Du 5 au 26 mai, le bâtiment effectua des travaux

hydrographiques en Corse du Sud (cf. chapitre 8). Le 26 mai, il appareilla de Porto Vecchio pour transiter le long des côtes orientales de la Sardaigne vers le nord de la zone Sardaigne - Sicile. Les anomalies de fonctionnement du magnétomètre Barringer puis la perte de la sonde dès l'arrivée sur zone contraignirent à l'abandon des mesures de magnétisme.

Après deux journées de sondage effectif, la *Gazelle* fit une première escale à Cagliari du 29 mai au 1<sup>er</sup> juin. La dégradation des conditions météorologiques contraignit le bâtiment à faire à nouveau une escale technique dans le même port, du 2 au 4 juin.

Du 5 au 9 juin, le bâtiment fit une escale à Bizerte où ses installations hydrographiques purent être présentées aux élèves tunisiens du cours d'hydrographie supervisé par les experts de la mission technique de coopération militaire (MCTM) en Tunisie. Le 11 juin, après 3 jours de sondage, une nouvelle aggravation des conditions météorologiques mit un terme à la campagne Sardaigne 1992.

En 1993, après les essais du matériel hydrographique et une revue d'amers entre le cap Bénat et la baie de Cavalaire (cf. chapitre 8), la *Gazelle* appareilla de Toulon le 1<sup>er</sup> juin pour transiter vers le sud-est de la Sardaigne. Après deux jours de sondage, le bâtiment fit une première escale à Cagliari du 4 au 7 juin. Les conditions météorologiques peu favorables perturbèrent ensuite sensiblement le déroulement de la campagne. Heureusement, il avait été explicitement prévu par l'intermédiaire de CECMED que la *Gazelle* puisse modifier ses dates d'escale à Cagliari et se replier dans ce port avec un court préavis (6 heures). Les facilités accordées à cet effet par les autorités italiennes furent particulièrement appréciées et permirent de préserver un minimum d'activité effective. Le 21 juin, le bâtiment quitta la zone sud-est Sardaigne pour achever les compléments entrepris en 1992 en Corse du Sud (cf. chapitre 8) puis rejoindre Toulon pour ravitaillement en vivres et gazole.

Prévu le 28 juin, l'appareillage de Toulon pour la deuxième phase de la campagne fut repoussé au 29, suite à une avarie sur un des collecteurs d'échappement. Le 4 juillet, après 5 jours de sondage, la *Gazelle* dut à nouveau interrompre ses travaux en raison des mauvaises conditions météorologiques. Elle se réfugia au mouillage à l'abri du Cap Carbonara puis fit escale à Cagliari le 5 juillet où elle resta jusqu'au 8 juillet au soir. Après deux jours de sondage, une nouvelle aggravation de l'état de la mer obligea le bâtiment à suspendre ses travaux puis à rejoindre Cagliari dans la nuit du 10 au 11 juillet. Le 11 juillet en soirée, la *Gazelle* quittait Cagliari pour rallier Toulon le 13, après un transit par l'est de la Corse imposé par un fort mistral.

Le tableau 4 présente les principales données numériques des deux campagnes. La planche 10 précise les travaux effectués.

**Tableau 4**  
**Données numériques des campagnes Sardaigne 1992-93**

	1992	1993
Durée totale des campagnes (jours)	45	50
Durée présence sur zone (escales comprises - jours)	16	33
Nombre d'heures de mer (en route ou station)	250	539
Distance parcourue en sondage sur zone (km)	1 966	3 867
Stations de bathycélérimétrie (nombre)	6	8
Emploi du personnel hydrographe		
nombre d'OMH embarqués		4
activité (journées) :		
préparation		36
exécution		130
exploitation		180

Le rendement moyen de la *Gazelle* pendant chacune des deux campagnes fut voisin de 120 km par jour de présence sur zone. Il fut sensiblement inférieur au rendement maximum estimé sur la base d'un rythme d'activité nominal de 4 jours de mer pour 3 jours d'escale (200 km par jour de présence sur zone).

### 5.3. LOCALISATION

#### 5.3.1. Configuration utilisée

La localisation fut assurée au moyen du système GPS en mode différentiel, grâce à la station de référence DGPS/HF longue portée mise en place au sémaphore de Pertusato, au sud de la Corse, après une reconnaissance des sites potentiels effectuées en décembre 1991. Les données de la chaîne Loran C 7990 (réseaux X et Z) furent acquises pour étalonnage mais non prises en compte dans le calcul du point.

La cadence d'archivage de la localisation était fixée à 2 minutes en 1992 et à 1 minute en 1993. En transit, la cadence était fixée à 5 minutes. Les positions archivées étaient rapportées au système géodésique WGS 84.

#### 5.3.2. Performances du système GPS

Les conditions de réception des corrections émises par la station DGPS ne permirent pas d'assurer en permanence une localisation en mode différentiel pur. Excellente de nuit dans toute la zone, la qualité de réception des corrections était souvent perturbée de jour, principalement au sud du parallèle 38°30'N. Ces anomalies étaient probablement dues au trajet terrestre sur la partie nord-est de la Sardaigne. En outre, des perturbations des transmissions du sémaphore, vraisemblablement induites par les émissions DGPS, furent signalées en 1993.

Sauf pour quelques tops des profils effectués en 1992, la précision estimée (2 drms) était meilleure que 50 m. Elle était meilleure que 10 m pour 95% des tops validés.

Des acquisitions des mesures GPS furent effectuées à quai pendant les escales à Cagliari de 1993, principalement en mode différentiel de manière à contrôler la qualité des corrections différentielles émises par la station de Pertusato mais aussi pour contrôler le décalage entre système géodésique local et système WGS 84 (cf. chapitre 9).

Les résultats confirmèrent la bonne qualité de la localisation DGPS : la précision à 95 % était toujours meilleure que 3 m. La précision en mode naturel, SA activé, était meilleure que 50 m.

#### 5.3.3. Évaluation des réseaux LORAN

La chaîne 7990 se composait d'une station maîtresse à Sellia Marina (Italie) et de trois stations esclaves situées à Lampedusa (Sicile, réseau X), Kargaburum (Turquie, réseau Y) et Estartit (Espagne, réseau Z).

L'étude des corrections à apporter aux réseaux X et Y utilisés fut effectuée en temps différé pour l'ensemble des deux campagnes, par calcul des écarts entre les phases observées et les valeurs correspondant aux positions DGPS validées simultanées. Suite à une erreur d'initialisation dans le fichier des paramètres du logiciel temps réel, le décalage entre les antennes n'était pas correctement pris en compte. L'erreur commise était inférieure à 10 m, soit 0,03  $\mu$ s pour le réseau X (sensibilité voisine de 300 m/ $\mu$ s) et 0,06  $\mu$ s pour le réseau Z (sensibilité voisine de 170 m/ $\mu$ s).

On répartit les corrections observées pendant les deux campagnes par carreaux de 10 minutes de côté entre les méridiens 009°50'E et 010°20'E et entre les parallèles 37°40'N et 39°00'N. Les données furent épurées en éliminant les valeurs de correction qui s'éloignaient de plus de 0,3  $\mu$ s de la valeur moyenne obtenue après un premier traitement. Outre l'analyse statistique globale, on effectua une analyse séparée des données de 1992 et de 1993 et des données acquises de nuit (18 h à 05 h UT) et de jour (05 h à 18 h UT).

La correction à apporter aux phases du réseau X ne variait guère dans la zone : elle était comprise entre 0,6 et 0,8  $\mu$ s. La correction sur le réseau Z était plus instable : la moyenne par carreau variait entre 0,46  $\mu$ s et - 0,15  $\mu$ s. Pour les deux réseaux, l'écart type des mesures pour chaque carreau était voisin de 0,1  $\mu$ s. Ces résultats étaient cohérents avec ceux de 1989.

Pour le réseau X, la correction de nuit était systématiquement plus faible que la correction de jour, avec un écart moyen entre les deux de 0,05  $\mu$ s. Pour le réseau Z, la correction de nuit était plus forte (en valeur algébrique) que la correction de jour avec un écart sensiblement du même ordre que pour le réseau X.

Les différences entre les corrections déduites des observations de 1992 et celles déduites des observations de 1993 étaient généralement inférieures à 0,1  $\mu$ s et n'étaient donc pas significatives, compte tenu de la dispersion des mesures.

Une analyse des mesures acquises pendant les escales de 1993 à Cagliari fut également effectuée. Les corrections observées étaient les suivantes :

- réseau X :	correction moyenne	:	1,0 $\mu$ s
	écart type	:	0,04 $\mu$ s
- réseau Z :	correction moyenne	:	0,1 $\mu$ s
	écart type	:	0,07 $\mu$ s

Là aussi, le réseau Z était plus instable, les corrections observées variant entre 0,0 et 0,5  $\mu$ s.

Ces valeurs s'écartaient de plus de 0,4  $\mu$ s des corrections déterminées au nord de la zone sondée en 1989.

Compte tenu de l'étendue relativement limitée de la zone étudiée en 1992-1993, on ne jugea pas nécessaire d'établir de nouveaux abaques de corrections.

## 5.4. BATHYMÉTRIE

### 5.4.1. Sondages effectués

Le levé régulier fut mené d'ouest en est, suivant des profils orientés nord-sud. Les profils de base étaient espacés de 1 000 m, avec des intercalaires dans les fonds inférieurs à 500 m. Compte tenu d'une part des performances moindres du sondeur de la *Gazelle* par rapport à ceux du *D'Entrecasteaux* et d'autre part des mesures gravimétriques prescrites par les instructions techniques, la *Gazelle* effectua d'abord les profils intercalaires jusqu'à la limite de la zone prioritaire. Elle entreprit ensuite l'exploration des profils de base, à partir de la limite ouest de la zone. La planche 10 précise les sondages effectués au cours des deux campagnes de 1992 et 1993. Il restait environ 1 500 km de profils de base à parcourir pour terminer le levé de la zone prioritaire. Aucun profil de vérification n'avait été effectué, sauf dans les fonds inférieurs à 1 000 m au nord-ouest de la zone.

Les sondages furent réalisés avec un sondeur Deso 20 version "grands fonds" (NUBS 15A/B - 33 kHz). Pour des états de mer inférieurs ou égaux à 2, il fut possible d'obtenir des enregistrements corrects jusqu'à 2 800 m à une vitesse de 11 nœuds. Au-delà, même en réduisant la vitesse à 7 nœuds (en passant sur un seul moteur pour éviter les problèmes d'encrassement), la qualité des enregistrements devint rapidement médiocre et il fallut généralement interrompre les sondages.

Des avaries successives empêchèrent de faire fonctionner le compensateur de houle Heco 10, tant en 1992 qu'en 1993. L'appareil ne put être remis en état qu'à l'issue de la campagne de 1993.

Aucune correction d'immersion de la base n'était appliquée en temps réel et la célérité affichée au sondeur était fixée à 1 500 m/s. La célérité du son adoptée pour la réduction des sondes fut déduite de profils observés en station jusqu'à 1 000 m avec un bathycélérimètre Suber SLS 12 et prolongés jusqu'à 3 000 m à partir des données de la table NP139 pour la zone 44.

### 5.4.2. Résultats

Le levé effectué était incomplet à l'est du méridien 010°05'E : dans cette zone, seuls les profils intercalaires avaient été réalisés.

La comparaison des données recueillies et de la carte marine en service (CM 6606, édition 1974) ne mit pas en évidence d'anomalie importante.

## 5.5. NATURES DU FOND

La nature superficielle du fond fut déterminée en continu par interprétation sommaire des bandes de sonde, suivant la procédure habituelle. Le code correspondant fut inséré dans les fichiers bathymétriques. La qualité moyenne des enregistrements rendit l'interprétation parfois délicate.

## 5.6. MAGNÉTISME

Des mesures de l'intensité du champ magnétique total étaient prévues pendant les sondages de la *Gazelle*.

En 1992, un magnétomètre remorqué Barringer avait été embarqué à cet effet. La sonde fut perdue dès la première séance de sondage, vraisemblablement suite à un accrochage sur un des nombreux engins de pêche présents dans la zone et aucune mesure ne put être acquise, aucun capteur de rechange n'étant disponible.

En 1993, la *Gazelle* disposait, pour évaluation, du nouveau magnétomètre Thomson - Geomag SMM92 (cf. annexe C). Alors que le fonctionnement de l'ensemble paraissait satisfaisant, le poisson fut endommagé lors de la récupération à la fin d'un premier profil d'essai. L'appareil fut renvoyé à Brest pour réparation et aucune mesure ne fut acquise.

## 5.7. COURANTS

En raison d'une incompatibilité entre la centrale Hydest et le gyrocompas de la *Gazelle*, (cf. § 1.4.1.2.1) il fut impossible d'acquies pendant les sondages le cap et la vitesse surface du bâtiment. En conséquence, aucune détermination de la circulation générale ne put être envisagée, par comparaison des données d'estime et de localisation.

## 5.8. DOCUMENTS RÉDIGÉS

Les documents rédigés sont archivés sous le numéro 95.11. On pourra également consulter le rapport particulier mentionné en annexe F.

- un mouillage météo-océanographique (Métoc), mis en place le 4 octobre par le bâtiment de soutien de haute mer (BSHM) *Ailette*. La disparition de ce mouillage fut malheureusement constatée le 16 octobre ;
- des navires spécialisés : outre le *D'Entrecasteaux*, le navire océanographique *Suroît* et les BSHM *Ailette* et *Alcyon* furent présents sur zone pendant tout ou partie de cette phase ;
- deux avions de mesures atmosphériques mis en œuvre par l'institut des sciences de l'univers (INSU) à partir de l'île de Santa Maria ;
- des flotteurs dérivants et des bouées instrumentées mis en place par les navires participants.

Une campagne de mesures acoustiques pilotée par la direction des constructions navales (DCN) se déroula dans la même zone du 26 octobre au 4 novembre avec la participation du bâtiment d'expérimentation (BE) *Langevin* et du BSHM *Albacore*. Enfin, un navire océanographique russe, le *Professor Shtokman*, était également présent dans la zone pendant une partie de la phase 93-3.

## CHAPITRE 6

### CAMPAGNE D'OCÉANOGRAPHIE SEMAPHORE

#### 6.1. PRÉSENTATION

La MOM réalisa en 1993 puis en 1994 les phases 93-3 et 94-2 de la campagne d'océanographie Sémaphore entreprise en 1993, entre Madère et les Açores. Elle exécuta, à bord du BO *D'Entrecasteaux* et avec le concours du centre militaire d'océanographie (CMO), du centre national de recherches météorologiques (CNRM) ou de l'université de Bretagne occidentale (UBO), diverses observations météo-océanographiques. En outre, le CMO mit en œuvre, à bord du *D'Entrecasteaux*, pendant la phase 93-3, une maquette du futur système opérationnel d'analyse et de prévision océanique (SOAP).

La campagne pluridisciplinaire Sémaphore, organisée sous l'égide du centre national de la recherche scientifique (CNRS) concernait une zone de 500 km de côté, délimitée par les méridiens 020°30' et 026°00'W et par les parallèles 31°30' et 36°00'N (planche 11). Les deux premières phases de 1993 avaient été exécutées entre le 15 juin et le 15 septembre 1993. La phase 3 de 1993, qui se déroula du 15 octobre au 19 novembre 1993, correspondait à la période dite d'observations intensives au cours de laquelle un volume important de moyens était déployé. La phase 2 de 1994 débuta le 14 août 1994 et fut achevée sous la direction de mon successeur, l'ingénieur en chef de l'armement Michel Le Gouic.

#### 6.2. OPÉRATIONS DE 1993

##### 6.2.1. Conditions d'exécution

Outre les lignes de mouillage instrumentées et les flotteurs dérivants mis en place au cours des phases 93-1 et 93-2, les moyens déployés pendant la phase 93-3 comprenaient :

L'intervention du *D'Entrecasteaux* faisait suite à une longue période d'indisponibilité au cours de laquelle la participation du bâtiment à la première phase des opérations de 1993 avait dû être annulée. De nouvelles avaries survinrent pendant cette phase mais aucune ne perturba l'exécution des opérations programmées, et la quasi-totalité des objectifs fixés fut atteinte.

Les conditions météorologiques furent relativement clémentes, compte tenu de la saison. Un seul passage de dépression, engendrant des vents de force 9 à 10, entraîna l'interruption des travaux le 29 octobre et une modification de l'escale suivante. Une situation anti-cyclonique prévalut ensuite avec un état de mer rarement supérieur à 3.

Plusieurs équipements nouveaux furent mis en œuvre pour l'acquisition et le traitement des observations météorologiques et océanographiques en route ou en station et pour l'exploitation de la maquette du système SOAP.

Les équipements nécessaires à la campagne (bouées et flotteurs dérivants ; équipements informatiques et réseau Ethernet associés à la maquette du système SOAP) acheminés de Brest et de Toulouse par voie routière avaient été embarqués à Toulon les 4 et 5 octobre. Le *D'Entrecasteaux* appareilla le 6 octobre.

Les opérations proprement dites débutèrent le 15 octobre au sud-est de la zone, après une escale à Funchal (Madère) du 12 au 14 octobre. Le *D'Entrecasteaux* effectua une radiale d'observations XBT vers le nord-ouest puis deux radiales de 70 milles, espacées de 10 milles, à la limite ouest de la zone (planche 12). Trois flotteurs Surdrif furent lâchés au centre du front. Le temps disponible avant l'escale à Ponta Delgada prévue du 18 au 21 octobre fut mis à profit pour débiter au nord-ouest de la zone le réseau hydrologique prévu en deuxième partie. Le 16 octobre, le *Suroît* constata la disparition de la bouée Métoc puis perdit, pour une raison indéterminée, son courantomètre ADCP remorqué. Le navire océanographique russe *Professor Shtokman* fut rencontré le 15 octobre ; il devait apparemment opérer dans la zone Sémaphore jusqu'au 24.

Les opérations reprirent le 22 au matin. Pour cette deuxième partie, un réseau hydrologique couvrant l'essentiel de la zone (84 points de mesure) et d'une durée nominale de 15 jours avait été défini avec le représentant embarqué du CMO. Le 22 octobre en fin d'après-midi, peu de temps après une rencontre à la mer avec le *Suroît*, la bouée Métoc fut retrouvée par hasard, grâce à la vigilance du chef de quart, vers 024°53'W - 35°20'N, soit à plus de 30 milles de sa position initiale. La bouée qui flottait retournée fut récupérée en premier et redressée sur le pont. 500 mètres environ de ligne en pendant furent ensuite remontés à l'aide du cabestan mobile. Trois chaînes de thermistances, les enregistreurs associés ainsi que deux courantomètres S4 furent récupérés en bon état apparent. Le dernier tronçon de câble se terminant par l'embout précédant le premier flotteur sub-surface, on supposa que le reste de la ligne était toujours en place. L'absence de toute trace d'usure ou d'effort sur le dernier embout conduisit à suspecter un défaut de la manille intermédiaire de la liaison vers le premier flotteur sub-surface.

Après cet intermède inattendu, les observations XBT et CTD et les lâchers de flotteurs dérivants de surface (Surdrif) ou profonds (RAFOS) reprirent normalement et se déroulèrent sans incident majeur jusqu'au 29 octobre (planche 13). Les conditions météorologiques, qui avaient été plutôt clémentes jusque là, se dégradèrent brutalement dans la matinée. Après l'exécution difficile d'une station bathysonde puis d'une observation XBT, il fallut interrompre le réseau, par vent de force 9/10 et mer de force 6/7. Une route de fuite vers le sud-est fut adoptée pour la nuit du 29 au 30 octobre. La dépression de 990 hPa à l'origine de ce coup de vent, centrée vers 36°N et 19°W, paraissant solidement installée sur la bordure est de la zone Sémaphore, il semblait illusoire d'espérer un retour rapide à une situation maniable. Pour limiter la durée totale des interruptions de travaux, il parut donc judicieux - malgré les perturbations induites par ce changement tardif sur les mouvements de personnel et de matériels déjà engagés - d'avancer l'escale suivante, prévue à Ponta Delgada du 5 au 8 novembre. L'état de la mer interdisant un transit normal vers les Açores ou vers Madère, l'autorisation de faire escale du 1<sup>er</sup> au 4 novembre aux Canaries - escale la plus proche du point de reprise des travaux - fut demandée, et obtenue dans des délais remarquables, par l'intermédiaire de CECLANT et de l'attaché de défense à Madrid. L'accès direct au réseau téléphonique par la station Inmarsat facilita nettement les tractations.

Le *Suroît* en escale à Ponta Delgada depuis le 27 octobre reprit ses travaux au nord-est de la zone dans la nuit du 30 au 31. Son intervention s'acheva le 17 novembre. La campagne acoustique PROTEE organisée par la DCN simulta-

nément à la phase intensive de la campagne Sémaphore avait démarré le 26 octobre avec l'arrivée sur zone du BE *Langevin* et du BSHM *Albacore*. Le fort coup de vent du 29 surprit également ces deux bâtiments, alors que leur instrumentation (base Janus et bouée Télémaque) était à l'eau. Le 31, le *Langevin* était en route à petite vitesse vers un abri pour tenter de récupérer la base Janus bloquée à 55 m, tandis que l'*Albacore* s'efforçait de rester à proximité de la bouée Télémaque. La campagne PROTEE se termina le 4 novembre, les deux bâtiments faisant escale à Madère du 4 au 6 novembre.

Le *D'Entrecasteaux* fit escale à Santa Cruz de Tenerife (Canaries) du 1<sup>er</sup> au 4 novembre. Il récupéra à cette occasion une bouée Marisonde qui avait dérivé vers les Canaries et avait été remise au centre météorologique de Tenerife. Le bâtiment revint dans la zone Sémaphore le 5 et reprit le réseau hydrologique interrompu. Les observations correspondantes furent achevées le 1. Le 10, une bouée dérivante du Plymouth Marine Laboratory, apparemment hors service, fut découverte et récupérée.

La dernière partie de la campagne, du 11 au 19 novembre, fut consacrée à la recherche et à l'étude détaillée de tourbillons d'eau méditerranéenne (meddies) détectés au cours du réseau d'hydrologie, à la récupération de bouées météorologiques dérivantes Marisonde et à un complément d'étude du front des Açores. Un meddy fut effectivement étudié mais les recherches pour en retrouver deux autres furent infructueuses. La bouée météorologique dérivante Mentor mise en œuvre par l'IFREMER pour compléter les observations effectuées par le *Suroît* et qui avait été perdue de vue début octobre fut découverte par hasard le 17 et récupérée. Le relevage des bouées Marisonde, effectué en coordination avec le BSHM *Alcyon*, fut interrompu le 19, le centre de météorologie marine de Brest ayant demandé au dernier moment de laisser en place les deux dernières bouées. L'*Alcyon* avait alors récupéré 17 bouées Marisonde et le *D'Entrecasteaux* 10. Présent sur zone depuis le 13 novembre, l'*Alcyon* avait également récupéré le 14 la partie inférieure du mouillage METOC. Il constata la disparition d'un tronçon intermédiaire comprenant deux courantomètres type S4. Comme pour la partie supérieure, la rupture semblait s'être produite au niveau d'une manille, sans trace apparente d'usure sur l'anneau de liaison terminant le tronçon récupéré.

Le *D'Entrecasteaux* regagna Toulon le 28 novembre, après avoir effectué une dernière escale à Malaga (Espagne) du 23 au 26 novembre.

Le tableau 5 présente les principales données numériques de la campagne et les planches 12 à 15 résument les travaux effectués.

**Tableau 5**  
**Données numériques de la phase 93-3 de la campagne Sémaphore**

Durée totale d'absence (de Toulon à Toulon)	(jours)	53
Durée de présence sur zone	(jours)	35
Nombre d'heures de mer (en route ou en station)		1 005
Distance parcourue de Toulon à Toulon	(milles)	9 330
Distance parcourue en travaux sur zone	(km)	8 000
Stations d'hydrologie	(nombre)	43
Sondes XBT/XCTD consommées : observations de routine		42
observations sur zone		218
Flotteurs mis à l'eau (RAFOS, Surdrif, Marisonde)		36
Flotteurs récupérés (Marisonde)		11
Ballons de radiosondage consommés		48
Emploi du personnel hydrographe		
nombre d'OMH embarqués		7
nombre d'unités d'œuvre consommées (sauf GEBCO)		200

### 6.2.2. Localisation

La localisation fut assurée au moyen du système GPS, en mode naturel. L'installation à Santa Maria de la station différentielle DGPS/HF de l'EPSHOM implantée précédemment à Flores n'ayant toujours pas été autorisée par les autorités portugaises, le mode différentiel ne put être utilisé que de nuit avec les stations de Porspoder ou de La Coubre, situées à plus de 1 200 milles de la zone de travail. La dégradation SA était activée pendant toute la campagne.

La constellation disponible pendant la campagne fut suffisante pour éviter l'emploi du mode 2D. Les indisponibilités prévues ou imprévues de certains satellites n'entraînèrent aucune perturbation significative.

La précision estimée (2 drms) était toujours meilleure que 210 m. Elle était meilleure que 100 m pour 99 % des tops validés et meilleure que 50 m pour 88 % des tops validés.

Les escales furent mises à profit pour contrôler la précision du système GPS et pour contrôler les décalages entre les systèmes géodésiques des cartes marines et le système WGS 84. L'analyse des cibles obtenues confirma les résultats obtenus lors des campagnes précédentes dans la région des Açores (cf. chapitre 2). La précision du mode différentiel restait excellente à plus de 1 200 milles de la station de référence (précision à 95 % de l'ordre de 5 m). Cela confirma l'intérêt d'un système de transmission des corrections par satellites pour s'affranchir des limitations de portée des liaisons HF terrestres.

### 6.2.3. Bathymétrie

Les sondages furent réalisés exclusivement avec le sondeur Raytheon réglé sur la fréquence 12 kHz, en utilisant principalement la base avant. Aucune correction d'immersion de la base n'était appliquée en temps réel. Un corrélateur CESP modifié par l'EPSHOM fut mis en œuvre pour évaluation (cf. chapitre 1).

Des fichiers échantillonnés toutes les 15 minutes furent constitués pour le CMO, à partir des fichiers bruts relatifs aux trajets effectués dans la zone Sémaphore. Ces fichiers furent traités suivant les procédures habituelles aux normes du 1/1 000 000. Certains profils comportant de nombreux changements d'allure (tirs Sippican) ou très courts furent éliminés à ce stade.

La célérité du son fut déterminée à partir des observations CTD et, pour les profondeurs supérieures à 4 000 m, à partir de l'ouvrage NP139. Un profil de célérité moyenne unique fut adopté pour la gamme des profondeurs observées. La précision obtenue est meilleure que +/- 3 m/s soit +/- 0,2 % de la profondeur.

Une minute au 1/1 000 000 couvrant la zone Sémaphore fut rédigée.

La profondeur observée sur les profils suivis dans la zone varie de 3 135 m (024°59'W - 36°14'N) à 5 543 m (024°32'W - 34°24'N). Les deux sondes les plus faibles portées sur la carte 6624 et provenant des minutes GEBCO 079 et 080 (2 284 m par 021°39'W - 33°38'N et 3 657 m par 023°27'W - 33°04'N) ne furent pas confirmées mais l'espacement des profils qui les encadraient ne permirent pas de conclure avec certitude à leur inexistence. Les gradients minimum correspondant à ces deux sondes, par rapport aux valeurs voisines de la minute GEBCO ou du levé de 1993, seraient respectivement de 500 et 350 m/km. Le gradient maximum observé le long des profils effectués en 1993 étant de 185 m/km, l'existence de ces deux sondes semblait néanmoins peu probable.

La comparaison de la minute établie et des minutes GEBCO 079 et 080 (éditions du 1<sup>er</sup> janvier 1991) mit en évidence des anomalies sur des sondes isolées, ainsi que des décalages systématiques entre certains profils et les profils voisins de la minute GEBCO et de la minute de la zone Sémaphore. Ces anomalies pourraient provenir d'un défaut de réduction des sondes brutes antérieures (sondes non réduites ?) ou d'un décalage en position.

## 6.2.4. Gravimétrie

Les mesures habituelles en route et à quai furent réalisées avec le gravimètre KSS 31 jusqu'au 3 décembre. Le fonctionnement du gravimètre fut satisfaisant mais les mesures furent souvent perturbées par les changements d'allure imposés par les mesures océanographiques : plus de 75 % des valeurs archivées sur la zone Sémaphore ayant dû être invalidées en raison des changements d'allure ou de cap, on renonça finalement à établir une minute d'anomalie à l'air libre et de pesanteur absolue pour cette zone. Seuls les transits aller et retour furent conservés pour alimenter la base de données océaniques (cf. chapitre 9).

## 6.2.5. Nature du fond

La nature superficielle du fond fut déterminée en continu par interprétation sommaire des bandes de sonde, suivant la procédure habituelle.

Les faciès observés dans la zone Sémaphore sont généralement de type sédimentaire. Les fonds rocheux ou probablement rocheux sont principalement situés dans la moitié nord-ouest de la zone.

## 6.2.6. Hydrologie

### 6.2.6.1. Mesures

Les mesures effectuées dans la zone Sémaphore furent de quatre types :

- mesure continue de la température de surface avec la sonde TQP,
- mesures discrètes du profil de température et éventuellement du profil de conductivité avec des sondes perdables Sippican XBT T5 ou XCTD,
- mesures discrètes des profils de température et de conductivité avec une bathysonde Guildline (stations CTD),
- marquage des masses d'eau par des flotteurs dérivants de surface (Surdrif) ou profonds (Rafos).

En outre, un bathycélérimètre Mors SV560 fut évalué à la demande de la MHA, à l'occasion des stations CTD.

Les mesures discrètes furent principalement effectuées aux positions de référence fixées par les instructions techniques, sur des traces de satellite altimétrique.

Les observations XBT et XCTD étaient acquises à l'aide d'un calculateur HP Vectra équipé d'une carte Mk12.

La mise en œuvre du logiciel d'acquisition XBT développé pour l'EPSHOM par Alcatel TITN Answare révéla quelques défauts. De nombreux blocages du calculateur entraînent un taux élevé de tirs avortés en début de campagne (19 % en octobre). Ce taux put être réduit en enchaînant sans temps d'attente les phases d'initialisation puis de chargement et de lancement de la sonde. Diverses imperfections furent constatées dans la saisie des descriptifs et dans l'édition des messages types JJXX. L'absence d'un indicateur clair d'archivage des données météorologiques et du profil corrigé provoqua quelques erreurs qui nécessitèrent une reprise du traitement à partir des fichiers bruts.

Les observations XCTD étaient acquises à l'aide d'un logiciel Sippican, modifié par l'EPSHOM pour permettre en principe l'acquisition jusqu'à l'immersion maximale atteinte. Le premier tir de sonde XCTD fut perdu suite à une interruption intempestive du logiciel, sans archivage du profil, à une immersion légèrement supérieure à 2 100 m, alors que la sonde transmettait toujours des données. Après divers essais avec une sonde test qui confirmèrent ce défaut, la parade provisoire adoptée consista à limiter l'immersion maximale à 2 100 m, lors de l'initialisation avant le tir. Les options offertes par le logiciel Sippican étaient limitées : ni la saisie formatée des éléments météorologiques ni l'édition sur imprimante externe des éléments du tir ou des profils verticaux n'étaient prévues. En outre, les échelles de tracé à l'écran des profils de température, salinité et conductivité étaient trop faibles et la fonction zoom accessible en temps différé n'était pas d'un emploi commode.

Les premières stations CTD furent effectuées avec la bathysonde 400 bars n° 57432. L'acquisition était initialement prévue sur station de travail portable RDI BriteLite. Les blocages intempestifs répétés de la liaison RS232 entre le calculateur RDI et l'unité de contrôle Guildline et les difficultés de reprise constatés dès la deuxième station conduisirent à abandonner ce système et à revenir à la chaîne d'acquisition classique, sur calculateur HP9816 équipé d'un interface GPIO. Cette chaîne fonctionna correctement pour les stations 3 à 34 mais des parasitages aléatoires de la liaison entre l'unité de contrôle et la bathysonde apparurent à plusieurs reprises. La première occurrence (stations 4 à 6) fut éliminée par un raccourcissement du câble électro-porteur. Le câble fut à nouveau raccourci après la deuxième occurrence (stations 20 à 22) mais le parasitage persista. Après remplacement de la bathysonde 400 bars par la bathysonde 300 bars n° 53101 (station 23), le parasitage subsista encore, sans que son origine puisse être identifiée. L'unité de contrôle ne put pas être remplacée, l'unité de rechange ayant présenté dès le premier essai un défaut rédhibitoire (blocage en "Error" et affichage instable sur les trois voies). L'analyse des paliers effectués avec la bathysonde 300 bars ayant révélé une plus grande dispersion que pour la bathysonde 400 bars, celle-ci fut remise en service pour les stations 29 à 44. Entre-temps, un défaut de programmation avait été identifié par l'EPSHOM dans le logiciel pour station de travail. Le nouveau système d'acquisition fut donc remis en fonction, après correction du logiciel, à partir de la station 35. Son fonctionnement fut satisfaisant mais l'absence d'une imprimante adaptée au calculateur RDI limita les possibilités d'exploitation primaire des stations.

Les stations CTD étaient initialement prévues jusqu'à 2 000 ou 4 000 m. Compte tenu de la variabilité résiduelle au-delà de 2 000 m, la profondeur de mesure fut portée à 2 500 m au moins. Les stations profondes furent par contre généralement interrompues à 3 500 m.

Les défauts du treuil Mécaboler furent une source de pertes de temps dans l'exécution des stations bathysonde. La maîtrise du système de trancannage nécessita toujours une longue pratique et une surveillance constante. La mise en place de deux demi-flasques en contreplaqué sur une joue du treuil permit néanmoins de limiter les manœuvres du système de trancannage et de conserver un enroulement à peu

près correct. Quelques aléas dans le fonctionnement de la commande électrique susciterent aussi des inquiétudes. Le câble électro-porteur, remplacé pendant l'IPER 1991-92, ne parut pas avoir toutes les qualités requises : la bathysonde faisait régulièrement la toupie à sa sortie de l'eau et les cent premiers mètres du câble se décomirent rapidement en plusieurs endroits, y compris après rafraîchissement.

Le câblemètre Néréides normalement utilisé pour permettre au treuilliste de suivre la ligne filée et la vitesse de défilement fut indisponible dès le début de la campagne, vraisemblablement à cause d'un défaut du codeur optique fourni par l'EPSHOM juste avant l'appareillage, en remplacement de l'exemplaire qui avait été précédemment réquisitionné pour *L'Espérance*. Cette défaillance fut d'autant plus gênante que le système d'acquisition sur ordinateur RDI ne prévoyait pas - contrairement au système HP - la connexion d'un indicateur "droite-gauche" pour transmettre au treuilliste l'immersion de la bathysonde et sa vitesse de déplacement déduites des mesures de pression.

Le *D'Entrecasteaux* disposait de deux types de flotteurs dérivants :

- des flotteurs de surface Surdrif drogués à 150 m. Le flotteur de surface contenait une balise Argos permettant de localiser le flotteur. Il était relié par un câble de 2,1 mm de diamètre à une drogue en toile de 7,6 m de long et de 0,9 m de diamètre immergée à 150 m. Un morceau de chaîne lestait l'ensemble.
- des flotteurs profonds Rafos. Chaque flotteur était constitué d'un tube en verre de 1 cm d'épaisseur, de 8 cm de diamètre et de 220 cm de long contenant les capteurs, l'électronique et les piles d'alimentation. Un lest adapté à chaque flotteur était fixé à sa partie inférieure pour équilibrer l'ensemble à une immersion pré-déterminée (1 000 ou 2 000 m). Le flotteur était alors censé dériver avec la masse d'eau qui l'entourait. Sa localisation nécessitait la mise en place d'un réseau de sources acoustiques qui émettaient régulièrement des signaux bien définis. Le flotteur enregistrait les temps d'arrivée des différentes émissions. Une programmation préalable fixait sa durée d'immersion (6 à 18 mois). A l'issue, le lest était libéré, le flotteur remontait en surface et transmettait ses données par le système Argos, jusqu'à épuisement de ses réserves d'énergie. Normalement, les flotteurs n'étaient pas récupérés.

La manipulation de ces flotteurs ne souleva pas de difficulté particulière. Les flotteurs Surdrif furent mouillés par l'arrière, drogue en dernier, le bâtiment étant en route à faible vitesse (deux moteurs avant 0). Les flotteurs Rafos devaient être mis à l'eau par l'arrière, bâtiment stoppé, à l'aide d'une gouttière suspendue sous le portique (système Smaler). La gouttière devait être descendue jusqu'à la surface en étant maintenue horizontale ; elle se remplissait alors d'eau et basculait vers l'arrière en libérant le flotteur. Ce système, conçu par le CMO, fonctionna relativement bien lors des trois premières mises à l'eau effectuées par beau temps. La quatrième opération effectuée par mer un peu agitée révéla une faiblesse inhérente au système : la gouttière se retourna vers

l'avant au lieu de basculer vers l'arrière. Le flotteur partit vers l'avant, le lest restant en pendant vers l'arrière, ce qui entraîna la rupture de la liaison entre les deux. Le flotteur dériva en surface et ne put être récupéré. Suite à cet incident, une mise à l'eau à la main par un opérateur couché sur la plage arrière fut essayée avec succès et adoptée pour tous les mouillages suivants. Cette procédure parut nettement plus simple et plus sûre.

Au total, 12 flotteurs Surdrif et 19 flotteurs Rafos furent mouillés par le *D'Entrecasteaux*.

Pour pouvoir vérifier le bon fonctionnement des sources acoustiques nécessaires à la localisation des flotteurs Rafos, l'EPSHOM avait fait développer par la société ORCA un système d'écoute connectable sur une câble de bathysonde. Ce système fut mis en œuvre dans la nuit du 26 au 27 octobre vers 023°21,5'W et 34°05,5'N. Malgré un bon fonctionnement apparent de l'ensemble, aucun signal ne fut détecté, ni en temps réel ni lors de tentatives ultérieures de corrélation avec les signaux émis. La défaillance simultanée des trois sources mises en place en juin étant peu probable, on supposa que les hydrophones de la station d'écoute présentaient un défaut de sensibilité imputable à leur mode de fixation sur le bout supportant le lest. Faute de temps, on ne put pas réaliser d'essai à proximité immédiate d'une source.

## 6.2.6.2. Traitement

### 6.2.6.2.1. Température de surface

Les mesures furent traitées en temps différé suivant la procédure utilisée depuis 1991. Les fichiers définitifs furent corrigés du biais du capteur déduit d'un étalonnage in situ.

### 6.2.6.2.2. Observations XBT et XCTD

Les observations B furent traitées suivant la procédure en vigueur dans la marine nationale. Chaque observation donna lieu à émission d'un message BATHY et les fichiers correspondants furent expédiés à l'EPSHOM à l'issue de la campagne.

### 6.2.6.2.3. Observations CTD

Un traitement simplifié complet des stations d'hydrologie fut effectué au fur et à mesure pour constituer des fichiers réduits exploitables sur les stations de travail du CMO. L'abandon provisoire de la chaîne d'acquisition sur ordinateur RDI nécessita la réalisation d'un logiciel de reformatage sur PC des fichiers réduits élaborés sur ordinateur HP. Le format adopté sur PC était celui des fichiers issus du traitement sur ordinateur RDI.

Les logiciels de réduction de la chaîne HP furent par ailleurs simplifiés de manière à automatiser complètement le traitement.

### 6.2.6.2.4. Analyses de salinité

Un salinomètre Guildline Portasal était embarqué à bord du *D'Entrecasteaux* pour la campagne. Installé dans le laboratoire d'analyse, il bénéficia d'un environnement relativement protégé (température stable). Un scientifique du contingent de la MOM préalablement formé par le laboratoire de chimie

océanographique du CMO fut chargé d'effectuer les analyses des échantillons associés aux observations XBT ou aux paliers des stations d'hydrologie. Ces analyses furent effectuées par séries d'environ 25 échantillons. Deux déterminations étaient réalisées pour chaque échantillon. Quelques difficultés de remplissage de la cellule furent constatées, en partie à cause du roulis, mais on ne déplora que deux échecs sur 274 échantillons analysés. L'incertitude due aux instabilités de mesure ne dépassa jamais  $\pm 0,003$  PSU pour les analyses validées. Les échantillons étaient doublés (XBT) ou triplés (CTD) de manière à permettre un contrôle ultérieur par l'EPSHOM.

La dérive de l'appareil au cours de chaque séance d'analyse fut généralement négligeable : elle atteignit exceptionnellement 0,009 PSU pour la première séance (anomalie vraisemblablement due à un mauvais remplissage de la cellule lors du contrôle final) mais ne dépassa pas 0,003 PSU pour les séances suivantes.

#### 6.2.6.2.5. Maquette du système SOAP

La maquette du futur système opérationnel d'analyse et de prévision (SOAP) fut mise en œuvre à bord du *D'Entrecasteaux* par l'équipe du CMO présente à bord du 12 octobre au 2 novembre.

Un mini-réseau Ethernet avait été installé à cet effet, avant l'appareillage de Toulon. L'opération fut réalisée en moins de 24 heures mais, pour obtenir un fonctionnement correct, il fallut remplacer le concentrateur approvisionné par le CMO par un appareil prêté gracieusement par DCN Toulon. Le réseau comprenait quatre stations de travail (deux stations Sparc et deux stations portables RDI) et une imprimante laser réparties entre le PC scientifique et le local gravimètre. Il était relié à la station Inmarsat par l'intermédiaire d'un modem qui avait été testé à bord au premier semestre.

Un premier bulletin d'analyse fut élaboré et expédié à la CELENV le 26 octobre. Un deuxième bulletin d'analyse et de prévision fut élaboré le 31 et expédié le 1<sup>er</sup> novembre.

Les échanges de données numériques avec les organismes à terre via le réseau Inmarsat furent souvent laborieux, vraisemblablement à cause de la saturation du système. Aucun échange ne put être effectué avec le *Langevin*, en raison d'un défaut de configuration des périphériques de la station de ce bâtiment.

#### 6.2.6.3. Résultats

L'analyse des données était du ressort du CMO. On se reportera aux rapports d'études correspondants pour les résultats définitifs.

#### 6.2.7. Météorologie

Différents types d'observations météorologiques furent effectués pendant la campagne.

Les relevés SHIP habituels furent réalisés toutes les trois heures pendant toute la campagne. En outre, l'acquisition numérique du vent vrai était assurée sur le réseau

Hydroboucle avec une période d'archivage de cinq minutes. Le vent vrai archivé à l'instant  $t$  était la moyenne vectorielle sur l'intervalle  $(t - 5 \text{ min} / t)$  des valeurs instantanées.

Entre le 22 octobre et le 19 novembre, des radiosondages furent régulièrement effectués, généralement deux fois par jour avec un lâcher de ballon à 11 h et 23 h UT. Quatre lâchers furent effectués le 24 octobre, en concertation avec le NO *Suroît*. Ni l'installation du système fourni par le CNRM ni sa mise en œuvre ne souleva de difficulté particulière. Le dispositif de gonflage à l'hélium était installé à tribord du hangar hélicoptère. Un réceptacle mobile muni d'une bâche était utilisé pour gonfler le ballon sur la plate-forme hélicoptère. Le système d'acquisition Vaisala Digicora et le calculateur HP 300 associé étaient installés au PC scientifique, les antennes de réception étant montées à proximité de la plate-forme TRATO. Un second maître timonier du *D'Entrecasteaux* fut formé par les deux techniciens de Météo France embarqués du 21 octobre au 4 novembre pour pouvoir assurer, avec un aide du bord, les radiosondages suivants.

Enfin, dix bouées Marisonde GT avaient été embarquées à Toulon pour mise à l'eau au début de la campagne.

Chaque bouée Marisonde était composée d'un mât aile de 1,8 m de haut, d'un corps cylindrique et d'une quille de 2 m de long. Une chaîne de thermistances de 150 m de long était fixée en pendant. La bouée s'orientait dans le lit du vent et mesurait le vent vectoriel, la pression atmosphérique, la température de l'air et la température de l'eau de mer en 10 niveaux répartis entre la surface et 150 m. Une balise Argos assurait la localisation de la bouée et la transmission des données vers la terre. Le démarrage d'une bouée était obtenu, après assemblage des éléments, en connectant la chaîne de thermistances. Cette opération devait impérativement être réalisée à une heure synoptique, de préférence à 12 h UT, l'instant de démarrage servant de référence pour le cycle de mesures (pas de datation absolue).

Seulement cinq bouées furent effectivement mouillées, en fonction des besoins exprimés par le CNRM. Les mouillages furent réalisés par le côté, à l'aide de la grue milieu, la chaîne de thermistances étant filée à la main en dernier. Pendant le mouillage, le bâtiment était en dérive sur propulsion auxiliaire de manière à s'écarter de la bouée.

La récupération des bouées Marisonde mouillées pendant cette phase ou lors des phases précédentes était prévue en fin de campagne. Elle fut effectuée en coordination avec le BSHM *Alcyon* de manière à minimiser les transits de chacun des bâtiments. La détection des bouées au radar étant aléatoire, le *D'Entrecasteaux* se limita à des récupérations de jour. La fourniture bi-quotidienne des positions Argos centralisées par le centre de météorologie marine de Brest facilita les recherches. Le fonctionnement du radio-goniomètre assurant la détection des émissions Argos ne fut pas toujours irréprochable : la portée de détection était généralement comprise entre 5 et 10 milles mais deux bouées furent repérées à la vue avant d'être détectées au gonio. 10 bouées furent récupérées par le *D'Entrecasteaux*.

### 6.2.8. Documents rédigés

Les documents rédigés sont archivés sous le numéro 94.12. On pourra également consulter le rapport particulier mentionné en annexe F.

## 6.3. OPÉRATIONS DE 1994

### 6.3.1. Conditions d'exécution

L'intervention du *D'Entrecasteaux* faisait suite à une longue période d'indisponibilité au cours de laquelle le bâtiment avait bénéficié d'une refonte partielle de sa propulsion (remplacement des groupes électrogènes de propulsion et réfection des armoires électriques) et de l'installation d'équipements supplémentaires (bathysonde remorquée Sea Soar et courantomètres de coque à effet Doppler ADCP). Le calendrier initial de la campagne, fixé par les instructions techniques, dut être décalé de trois jours suite à l'ajournement de la recette du système Sea Soar, consécutif à un défaut de l'équipement (cf. chapitre 1).

Pendant la première phase de la campagne, les conditions météorologiques furent bonnes (mer calme à belle, vent ne dépassant pas 15 nœuds en général). Le déroulement des opérations fut par contre perturbé par de nouvelles défaillances de la propulsion du bâtiment : des fuites répétitives sur les échangeurs eau de mer - eau douce des groupes de propulsion entraînaient l'indisponibilité d'un des deux groupes de propulsion à partir du 2 septembre.

Les équipements et procédures d'acquisition et de traitement des observations de routine (localisation, bathymétrie, gravimétrie, température de surface de la mer et vent) étaient les mêmes que ceux utilisés en 1993. Les nouveaux équipements ADCP et Sea Soar furent mis en œuvre pour la première fois au cours de cette campagne.

Les équipements nécessaires à la campagne (flotteurs dérivants ; équipements informatiques ; conteneur laboratoire de l'UBO) acheminés de Brest par voie routière avaient été embarqués à Toulon le 8 août. Le *D'Entrecasteaux* appareilla le 14 août, après reprise et achèvement des essais de recette du système Sea Soar.

Le transit jusqu'à la première escale prévue à Funchal (Madère - 19 au 22 août) se déroula sans incident notable. Les opérations proprement dites débutèrent le 23 août. Le *D'Entrecasteaux* entreprit la réalisation, d'est en ouest, d'un réseau hydrologique couvrant l'ensemble de la zone. Une interruption de 24 heures dut être décidée dans la nuit du 31 août au 1<sup>er</sup> septembre pour l'évacuation sanitaire vers l'hôpital de Ponta Delgada (Açores) d'un aspirant atteint d'une phlébite. Les opérations reprurent le 2 septembre au matin et se poursuivirent jusqu'au 5. Elles furent ralenties à partir du 2 par l'indisponibilité d'un des deux groupes de propulsion (vitesse moyenne réduite de 13 à 11 nœuds). A l'issue de cette première phase, le bâtiment fit escale à Ponta Delgada du 6 au 9 septembre. Cette escale avait été retardée de 24

heures pour permettre l'achèvement du réseau d'hydrologie après l'interruption du 1<sup>er</sup>. Le changement de directeur intervint pendant cette escale. La planche 15 précise les travaux effectués jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre.

### 6.3.2. Localisation

La localisation dans la zone fut assurée au moyen du système GPS, en mode différentiel, avec la station DGPS/HF de Santa Maria.

### 6.3.3. Hydrologie

Les mesures prévues au cours de la phase 94-2 étaient de cinq types :

- mesure continue de la température de surface avec la sonde TQP,
- mesures continues de la température, de la conductivité et de la teneur en chlorophylle dans la tranche 0 - 350 m avec la bathysonde remorquée Sea Soar,
- mesures discrètes du profil de température et éventuellement du profil de conductivité avec des sondes perdables Sippican XBT T5 ou XCTD,
- mesures discrètes des profils de température et de conductivité avec une bathysonde Guildline (stations CTD),
- marquage des masses d'eau par des flotteurs dérivants profonds (VCM SHOM et RAFOS WHOI).

Pendant la première partie de la phase 94-2, 104 points du réseau de base furent occupés. Des observations supplémentaires furent effectuées pour contrôler des profils douteux (anomalie pouvant correspondre à un meddy au point 101), dans les zones intéressantes (observations T7 intercalaires aux abords du front) ou entre les points du réseau séparés de plus de 20 milles, sur les trajets est-ouest.

Les observations XBT et XCTD étaient acquises à l'aide d'un calculateur HP Vectra équipé d'une carte Mk12, comme en 1993. Une nouvelle version du logiciel d'acquisition développé pour l'EPSHOM par Alcatel TITN, Answare, fut mise en œuvre à partir de Madère. Elle permettait l'acquisition des deux types de sondes, XBT ou XCTD. Son emploi révéla encore quelques défauts.

Les stations CTD furent effectuées avec la bathysonde 400 bars n° 46597. L'acquisition des données fut assurée par une station de travail portable RDI BriteLite. Les profils étaient initialement prévus jusqu'à 2 500 ou 4 000 m. Des stations supplémentaires limitées à 375 m furent effectuées à chaque extrémité de certains profils Sea Soar. La plupart des stations prévues jusqu'à 4 000 m furent interrompues avant 3 500 m, en fonction du profil observé, pour gagner du temps. Le câblemètre Néréides en avarie depuis 1993 n'était toujours pas disponible pour cette campagne. On regretta à nouveau que le système d'acquisition sur calculateur RDI ne prévoie pas - contrairement au système HP - la connexion d'un indicateur "droite-gauche" pour transmettre au treuilliste l'immersion de la bathysonde et sa vitesse de déplacement déduites des mesures de pression. Le fonctionnement du treuil Mécaboli fut relativement satisfaisant, compte tenu des imperfections de son système de trancannage.

Celui dut être démonté pendant une station, pour rattraper un jeu de 6 mm sur l'arbre du guide-câble, dû au desserrage d'une bague. La qualité des mesures parut moyenne, avec en particulier des fluctuations de 0,01 à 0,03 PSU sur la salinité.

Malgré quelques défauts résiduels de l'infrastructure bord les essais de recette du système Sea Soar, suspendus en juin après une première tentative, avaient pu être acquis le 10 août, juste avant la campagne. L'utilisation opérationnelle du système pendant la première partie de la phase 94-2 ne souleva pas d'autres problèmes que ceux déjà identifiés pendant les essais. Le réglage du cycle de navigation du poisson fut assez bien maîtrisé : pour une vitesse de remorquage comprise entre 7,5 et 8 nœuds, on obtint des oscillations régulières entre 10 et 370 mètres (cf. annexe E).

Pendant la phase de remorquage, le câble était maintenu dans l'axe de la demi-lune par un montage provisoire à deux poulies. Les changements de route éventuels imposés par l'état de la mer pour la récupération furent effectués avec le poisson à l'immersion maximum pour réduire les risques de détérioration du câble à la sortie de la demi-lune. Pendant la récupération du câble, un opérateur devait orienter convenablement les ailettes du carénage à l'entrée de la demi-lune. Malgré les précautions prises, des blocages et détériorations d'ailettes furent encore observés dans la demi-lune ; les réparations furent effectuées de préférence à la récupération pour ne pas gaspiller l'autonomie limitée de la sonde Sea Bird (qui doit être mise sous tension avant la mise à l'eau du poisson). Les opérations de récupération et de mise à l'eau du Sea Soar mobilisaient une équipe de 8 à 10 personnes sur la plage arrière (cf. annexe E).

L'installation et la mise en œuvre des capteurs Sea Bird (bathysonde) et Aquatrack (fluorimètre) ne soulevèrent pas de difficultés particulières. L'examen des premiers cycles de mesures mit en évidence un effet d'hystérésis ou de traînée des capteurs entre descente et montée successives. Une forte dispersion des mesures de salinité fut également observée pendant la première radiale ; un nettoyage soigné de la cellule de conductivité permit de réduire un peu cette dispersion. Le signal mesuré par le fluorimètre parut a priori cohérent.

Contrairement à ce qui était prévu initialement, il s'était avéré impossible d'alimenter la sonde Sea Bird par les deux seuls conducteurs disponibles sur le câble de remorquage. Les essais de recette d'août avaient donc été effectués avec une alimentation par piles. Cette solution se révéla contraignante puisque l'autonomie observée ne dépassa pas 6 heures environ avec des piles Varta fournies par l'EPSHOM. La première radiale dans la zone Sémaphore fut réalisée avec des piles Duracel, dont deux jeux avaient été acheminés à Funchal par le personnel du CMO. L'autonomie fut de 7 heures ; pour les radiales suivantes effectuées avec des piles Varta, l'autonomie varia entre 4 h 30 min et 7 h. Les mesures du fluorimètre étaient les premières à être affectées par la baisse de tension des piles. Il fallait alors récupérer le poisson, changer les piles et reprendre le profil au point d'interruption de l'acquisition. Cette opération faisait perdre 2 à 3 h selon les interventions nécessaires sur le carénage du câble. Un changement intempestif de configuration logicielle de la sonde Sea Bird, interdisant toute acquisition de données, fut observé après un changement de piles. La configuration fut ensuite contrôlée après chaque changement de piles.

L'acquisition des données des capteurs était assurée par un calculateur HP Vectra. L'emploi du logiciel constructeur SEASAVE était relativement aisé mais des imperfections furent relevées :

- le changement automatique de fenêtre du module de visualisation à l'écran ne fonctionnait que dans un seul sens : par exemple, pour une visualisation des paramètres en fonction de la pression avec un intervalle initial 0 - 400 dbar, la fenêtre restait bloquée sur l'intervalle 400 - 800 dbar lorsque la pression dépassait 400 dbar.
- pour rafraîchir l'écran, il fallait interrompre l'acquisition et l'archivage.
- les données n'étaient pas datées mais simplement repérées par un numéro d'ordre (scan number). La datation ultérieure des mesures, par exemple pour fusion avec la localisation, nécessitait de relever manuellement l'instant de lancement de l'acquisition. Pendant la première partie de la phase 94-2, 8 séances de remorquage de 6 heures environ furent réalisées.

Le *D'Entrecasteaux* disposait de deux types de flotteurs dérivants profonds :

- des flotteurs profonds RAFOS d'origine américaine fournis par M. Richardson (Woods Hole Oceanographic Institute - WHOI) ;
  - des flotteurs profonds VCM approvisionnés par l'EPSHOM pour expérimentation.
- Aucun meddy n'ayant été détecté pendant la première partie, leur mise en œuvre fut reportée.

#### 6.3.4. Courantométrie

Les deux courantomètres de coque ADCP installés pendant l'IPER 1994 (cf. annexe D) furent mis en fonction dans le détroit de Gibraltar et dans la zone Sémaphore.

Le courantomètre 300 kHz fut pratiquement utilisé en continu dans la zone Sémaphore pendant la première partie de la phase 94-2. Le courantomètre 75 kHz ne fut utilisé que lorsque la vitesse du bâtiment était suffisamment faible pour avoir une portée intéressante, c'est-à-dire pendant les profils Sea Soar et pendant quelques stations d'hydrologie. L'utilisation simultanée des deux appareils permit d'explorer la tranche d'eau 0 - 700 à 750 m, avec un recouvrement entre 100 et 150 m, lorsque la vitesse du bâtiment ne dépassait pas 8 nœuds. A 10 nœuds, avec un seul groupe de propulsion en fonction, la portée utile du courantomètre 75 kHz était encore de l'ordre de 500 m.

Une fuite d'eau douce avait été détectée pendant la permission-gardiennage sur le dôme intérieur des courantomètres ADCP. Cette fuite, difficilement localisable du fait de son débit très faible, nécessita un appoint d'eau tous les quatre jours environ.

#### 6.3.5. Nature du fond

Six sites de carottages baptisés SM1 à SM6 avaient été définis par l'EPSHOM dans la zone Sémaphore. Les sites SM4 et SM5 étant situés en dehors de la radiale de mesures acoustiques effectivement réalisée en 1993 par la DCN furent éliminés a priori. La première tentative de carottage

effectuée au point SM6 se solda par un échec, la fixation du bras de déclenchement du nouveau carottier de 10 m approvisionné par l'EPSHOM n'étant pas adaptée au diamètre du câble. Le bras de déclenchement glissa le long du câble lors de la mise à l'eau et l'extrémité du câble fut endommagée. Une réparation provisoire permit de remettre en service l'installation avant d'arriver au point suivant, SM3. La mise à l'eau et la descente du carottier se déroula sans difficulté. Par contre, la remontée fut laborieuse en raison d'un mauvais enroulement initial du câble, de l'avarie du système de trancannage et d'une panne d'alimentation électrique de la centrale hydraulique. Il fallut plus de 9 heures pour remonter l'ensemble. Indépendamment des défauts du treuil de carottage, la taille et le poids du nouveau carottier rendaient sa manipulation délicate, même par beau temps.

## CHAPITRE 7

### CAMPAGNE D'HYDROGRAPHIE AUX KERGUELEN

#### 7.1. PRÉSENTATION

Un détachement conjoint SHOM/TAAF<sup>1</sup> opéra aux îles Kerguelen sous la direction de l'IPETA Pierre Mouscardès du 1<sup>er</sup> octobre au 25 novembre 1993. Il s'agissait de la troisième intervention d'un détachement du SHOM aux Kerguelen, depuis la signature en 1989 d'un protocole d'accord entre le SHOM et l'administration des TAAF, mais c'était la première fois depuis 1956 [Brie, 1958] qu'une mission constituée participait à une telle opération et que des moyens conséquents étaient mis en œuvre. Les contraintes logistiques et les conditions météorologiques rudes réduisirent le rendement de l'intervention (26 journées de sondages en 56 jours de présence sur zone, pour une durée totale d'absence de métropole de 94 jours). Les sondages, effectués avec le chalutier océanographique des TAAF *La Curieuse*, furent principalement limités à la baie du Morbihan, la zone prioritaire des abords de la passe Royale étant impraticable en raison de l'état de la mer à l'extérieur de la baie. Outre les observations de marée nécessaires à l'exploitation des sondages, le détachement effectua des travaux de géodésie, dressa un inventaire des besoins hydrographiques locaux et recueillit diverses informations nautiques.

#### 7.2. CHRONOLOGIE

Après une courte période de formation du personnel et de préparation du matériel scientifique, du 10 août au 1<sup>er</sup> septembre, le détachement SHOM/TAAF rejoignit la Réunion le 11 septembre pour embarquer sur le patrouilleur *Albatros*. Le départ vers les Terres australes ayant été fixé au 17 septembre, le temps disponible à la Réunion fut employé à une première vérification du matériel.

<sup>1</sup> TAAF : Terres australes et antarctiques françaises.

Après un arrêt de deux jours à l'île de la Possession, archipel de Crozet, pour débarquer matériel, vivres et courrier, l'*Albatros* arriva à Port aux Français le 31 septembre. Il fallut attendre près de 24 heures pour que les conditions météorologiques s'améliorent et que le détachement puisse débarquer. L'installation du matériel commença le 4 octobre, avec l'implantation d'une station DGPS/UHF sur la presqu'île du Prince de Galles, puis l'installation d'un marégraphe immergé à Port aux Français et enfin le montage du système d'acquisition sur *La Curieuse*.

Le 11 octobre, le premier levé débutait. Les sondages se poursuivirent jusqu'au 12 novembre inclus, avec trois arrêts dus aux missions mensuelles "Point Bis" et "Kerfix" de *La Curieuse*. La période à partir du 13 novembre fut essentiellement consacrée au rangement et au conditionnement des 1 600 kg de matériel, pour être prêt à les embarquer sur le *Marion Dufresne*, dès son arrivée, le 21 novembre.

Le 19 novembre, une station de géodésie GPS était effectuée Pointe Suzanne. L'arrivée du *Marion Dufresne* et de son hélicoptère - une Alouette II - permit au détachement d'effectuer deux autres stations sur des points de premier ordre du réseau IGN, autrement inaccessibles, dans la seule journée du 23 novembre. Les tentatives du 22 et du 24 furent infructueuses en raison des conditions météorologiques.

Le détachement quitta les Kerguelen à bord du *Marion Dufresne* le 25 novembre. Le passage à l'île d'Amsterdam, le 28 novembre, permit d'effectuer quelques vues de côtes et de constater la pauvreté des documents nautiques utilisés.

Arrivé le 5 décembre à la Réunion, le détachement acheva le conditionnement du matériel pour expédition vers l'EPSHOM et la MOM par voie aérienne militaire. Le détachement regagna la métropole le 11 décembre par voie aérienne civile. Parti le 15 décembre de la Réunion, le matériel arriva la première semaine de janvier à l'EPSHOM et le 12 janvier à la MOM.

Les planches 16 à 18 résument les travaux effectués aux Kerguelen.

#### 7.3. CONDITIONS D'EXÉCUTION

##### 7.3.1. Personnel

Le détachement était composé de l'IPETA Mouscardès, chef du détachement, de deux officiers-mariniers hydrographes provenant de l'EPSHOM et de la MOM et de deux matelots Radec du contingent, affectés au SHOM et mis pour emploi aux TAAF pour la durée de leur service national.

La constitution tardive du détachement n'avait permis ni d'assurer convenablement sa formation ni de maîtriser la préparation du matériel, ce qui entraîna des difficultés lors de la mise en œuvre de certains équipements et logiciels. Par ailleurs, la dispersion des membres du détachement dès le retour en métropole gêna la rédaction confiée à la MOM.

Le rythme de travail en sondage, imposé par l'effectif de *La Curieuse* (5 personnes), fut de 10 heures par jour, avec arrêt de l'activité hydrographique du samedi à midi au lundi matin.

### 7.3.2. Organisation et préparation

Le détachement n'avait pas eu suffisamment de contacts directs avec ses trois interlocuteurs du district et l'harmonisation des travaux hydrographiques avec les programmes de recherche de la saison dut être réalisée une fois sur place.

En particulier il fallut tenir compte des moyens disponibles sur place et des capacités de *La Curieuse*. Grâce à la bonne volonté de chacun, notamment du capitaine de *La Curieuse* et de son équipage, les problèmes d'installation furent rapidement résolus.

### 7.3.3. Matériel

Dans l'ensemble, le matériel du détachement se comporta bien, malgré les rigueurs climatiques. Les problèmes rencontrés résultèrent pour l'essentiel :

- de l'inadaptation de certains matériels aux conditions locales (piles et batteries, connectique, haubannage des antennes, etc.),
- de l'absence de coordination et de dialogue préalable avec le district et le SHOM (cf. § 7.3.2),
- du manque d'homogénéité de certaines chaînes d'acquisition et de traitement, imparfaitement testées (version 2.2 du logiciel d'acquisition NR103SON et logiciel de transfert HP/PC, logiciels associés aux récepteurs GPS Ashtech),
- des avaries dues au transport, malgré un conditionnement très soigné du matériel, en raison notamment des conditions météorologiques qui rendent très difficiles les manœuvres de déchargement et de chargement aux Kerguelen.

### 7.3.4. Environnement

Les conditions météorologiques très particulières qui règnent à la latitude des Kerguelen (entre les quarantièmes rugissants et les cinquantièmes hurlants !) posèrent quelques problèmes d'adaptation surtout pour le matériel, mais aussi, dans une moindre mesure, pour le personnel. Le détachement s'attendait à avoir de rudes conditions de travail, mais il fut surpris par la soudaineté et la violence des grains et des rafales et par l'état habituel de la mer. L'impossibilité d'avoir des prévisions météorologiques fiables au delà de 5 heures imposa d'adapter en permanence les activités, pour profiter au mieux des périodes d'accalmie relative ou des zones relativement abritées en fonction de la variation de la direction des vents.

Par ailleurs, les effets spéciaux "grand froid" délivrés par le service HCC de Toulon se révélèrent inadaptés. Le manteau de mer et son pantalon fourré étaient trop lourds et rapidement traversés par les paquets de mer. Les chaussures "grand froid" étaient lourdes et trop basses. En fait, un simple ensemble type "K-Way" fourré et de grandes bottes d'égoutier auraient suffi dans la plupart des circonstances. Pour les conditions extrêmes, une combinaison étanche en "Gore-Tex" aurait été idéale. Cette tenue était

d'ailleurs obligatoire pour effectuer des transits en hélicoptère au-dessus de la mer, lorsque sa température était inférieure à 12°C.

## 7.4. GÉODÉSIE

Les opérations de géodésie furent réalisées avec des récepteurs GPS Ashtech L XII. Elles visaient d'une part à positionner des sites d'implantation de stations DGPS/UHF et d'autre part à contrôler la cohérence des systèmes géodésiques locaux (SH 50, IGN 66) et à étudier le décalage entre ces systèmes et le système WGS 84. Dix sessions de mesures GPS furent consacrées à l'analyse du système IGN 66 et six autres à la détermination de points nouveaux (planche 16). Les contraintes de sécurité résultant de l'isolement des points et de l'évolution rapide des conditions météorologiques ne permirent pas de réaliser des cheminement fermés. Quelques rattachements de points complémentaires et le nivellement de l'observatoire de marée de Port Jeanne d'Arc furent effectués avec les moyens classiques.

Le réseau géodésique en service aux Kerguelen était le réseau IGN 66 issu des travaux effectués de 1961 à 1966. Il couvrait l'ensemble de l'archipel mais n'était pas entretenu, la majorité des points souffrant de dégradations dues aux intempéries. Un autre système local avait été défini antérieurement lors des travaux réalisés en 1950 et 1956 par la mission hydrographique de Madagascar (système SH 50 de la carte marine 6087 - [Brémond, 1951 ; Brie, 1958]). De nombreux points existaient encore et huit d'entre eux avaient été inclus dans la triangulation IGN, ce qui permit d'étudier le décalage entre les deux systèmes. Par contre le système utilisé en 1931 pour le levé du plan de Port Jeanne d'Arc (carte marine 5750 - cartouche 6) était inconnu ; la détermination dans le système WGS 84 de deux points de ce plan permit néanmoins un recalage graphique.

Le point de référence utilisé pour les mesures GPS était le pilier KAUX matérialisant la station de poursuite du système allemand Prare. Ce point avait été rattaché précédemment à l'antenne de la balise Doris de Port aux Français.

La précision des huit bases mesurées varie de 0,6 à 5.10<sup>-6</sup>. Les formules de transformation obtenues ont une précision meilleure que 5 cm pour le passage du système IGN 66 au système WGS 84 et meilleure que 20 cm pour le passage du système SH 50 au système WGS 84.

## 7.5. LOCALISATION

La localisation fut assurée exclusivement par le système GPS en mode différentiel standard. C'est le site "KO", pilier fondamental de la triangulation IGN 66 situé à Port aux Français, qui fut finalement retenu pour l'implantation de la station DGPS/UHF. Cette station couvrait la quasi-totalité de la baie du Morbihan et de l'ouvert de la passe Royale tout en simplifiant considérablement la maintenance (alimentation

électrique 220 V, chauffage, accès rapide et facile). Pour la partie sud de la passe du Prince Albert, la station fut implantée à la pointe de la Topographie. Plus exposé, ce site nécessita une recharge des batteries tous les deux jours, malgré une protection renforcée contre le froid.

## 7.6. MARÉE

Le détachement disposant de deux marégraphes SLS 23, la marée fut observée simultanément à Port aux Français et à Port Jeanne d'Arc. Les observations antérieures ayant montré que la marée du large était identique à celle observée à Port aux Français, le détachement ne prit pas le risque de mouiller un marégraphe à l'ouvert de la passe Royale.

Les pressions enregistrées furent converties en hauteurs d'eau en utilisant la pression atmosphérique observée à la station météorologique de Port aux Français et en adoptant une densité moyenne de 1,026. Les zéros instrumentaux des marégraphes furent rattachés aux repères, existants ou mis en place, par comparaison des hauteurs enregistrées et des mesures de tirant d'air. La précision du rattachement était meilleure que 5 cm.

Le zéro traditionnel de Port aux Français fut conservé. Il est situé à 3,070 m au-dessous du repère B implanté par la mission hydrographique de Madagascar en 1950 [Brémond, 1951]. Le niveau correspondant à Port Jeanne d'Arc fut déterminé par concordance sur les basses mers. Il est situé à 1,870 m au-dessous du repère A implanté en 1993. On considéra que les deux marées étaient identiques, la différence maximale entre les hauteurs simultanées étant inférieure à 15 cm.

Une seule zone de marée fut définie pour l'ensemble de la baie du Morbihan et de la passe Royale et de ses abords.

## 7.7. BATHYMÉTRIE

### 7.7.1. Sondages effectués

Les travaux prescrits par les instructions techniques comprenaient six sous-ensembles distincts. Les conditions météorologiques ne permirent pas d'atteindre la totalité des objectifs fixés.

#### 7.7.1.1. Passe Royale

Le levé prioritaire des abords est de la passe ne put être effectué, les conditions de mer habituelles entraînant un pilonnement trop important de *La Curieuse*, avec des pertes de fond au sondeur. La partie sud de la passe étant la plus fréquentée et la moins bien hydrographiée, un levé de reconnaissance au 1/40 000 fut entrepris dans cette zone.

#### 7.7.1.2. Abords de l'île du Cimetière et plateau du Four

Le levé effectué au 1/20 000 assure la liaison entre le levé de la partie sud de la passe Royale, le levé de 1991 du mouillage de Port des Îles et la route d'accès à Port Jeanne

d'Arc. Un haut-fond dangereux fut découvert sur le plateau du Four et signalé par avis (n° 93.48.46 puis 94.24.39). Une roche toujours découverte située au nord de l'île Suhm et signalée en 1991 fut confirmée car elle n'était pas portée sur la carte. Par contre, une roche toujours immergée portée sur la carte 6087 à l'ENE de l'île Hynes ne fut pas plus retrouvée en 1993 qu'en 1991.

#### 7.7.1.3. Route d'accès à Port Jeanne d'Arc

La route d'accès à Port Jeanne d'Arc par les passes de l'Hydrographie, du Prince Albert et de Buenos Aires fut sondée au 1/10 000 avec de nombreux intercalaires, compte tenu de la morphologie tourmentée des fonds. Plusieurs sondes susceptibles de présenter un danger pour la navigation ou les mouillages furent signalées (avis n° 94.24.39).

#### 7.7.1.4. Route sud-nord à l'est de l'îlot Channer

À la demande des usagers, une route d'accès à Port aux Français orientée sud-nord dans l'est de l'îlot Channer fut reconnue au 1/5 000, sans aucune recherche. Cette route est plus pratique pour la présentation au mouillage devant Port aux Français que celle qui est recommandée mais elle est moins sûre.

#### 7.7.1.5. Transit dans la baie du Morbihan

Tous les transits de *La Curieuse* furent mis à profit pour améliorer les maigres connaissances de la bathymétrie de la baie. Sur les routes pratiquées par le capitaine de *La Curieuse*, deux sondes inférieures à 10 m furent détectées et signalées (avis n° 94.24.39).

#### 7.7.1.6. Haut-fond de 8 m sur la carte marine 6741

Cette sonde avait été portée sur la carte marine 6741 au large de la passe Royale, vers 49°34,0'S - 070°26,9'E, suite à la campagne 1991 du remorqueur de haute mer *Centaure*. Présentant une gêne certaine pour les navires qui fréquentaient la zone, elle fut recherchée par deux fois sans résultat probant. L'analyse a posteriori des documents de 1991 confirma l'existence du haut-fond mais révéla que la valeur et la position étaient imprécises. Deux remontées d'une dizaine de mètres, par rapport aux fonds avoisinants, observées en 1993 pourraient correspondre à la sonde signalée par le *Centaure*.

### 7.7.2. Traitements

Les sondages furent exploités selon les procédures habituelles. L'acquisition automatique de la sonde donna satisfaction, seuls quelques profils bruités ayant nécessité une reprise manuelle. Certains échos latéraux importants dans les zones de fortes pentes (passes de l'Hydrographie et de Buenos Aires) furent également re-numérisées manuellement en prenant en compte les sondes minimum. Les zones d'algues (*macrocystis pyrifera*) furent délimitées à partir des bandes de sonde où leur présence était facilement reconnaissable.

Une célérité constante et uniforme sur toute la tranche d'eau fut adoptée à partir des profils observés avec un bathycélérimètre SLS 22.

Des fichiers aux normes du 1/5 000 (est îlot Channer) ou au 1/10 000 furent constitués et validés, pour servir de base aux travaux ultérieurs, puis échantillonnés à l'échelle de rédaction des documents définitifs.

## 7.8. TOPOGRAPHIE ET INFORMATION NAUTIQUE

Compte tenu du décalage du trait de côte observé in situ par rapport aux documents fournis par l'EPSHOM, cinq points identifiables sur la scène Spot disponible furent positionnés en WGS 84. Treize points identifiés sur les photographies aériennes, dont quatre points de spatiopréparation, furent également déterminés pour permettre la comparaison entre ces photos et la scène Spot et pour valider une méthode originale de piquage des photographies à l'aide d'un récepteur NR103 en mode DGPS/UHF.

Un contrôle partiel des amers, du balisage et des documents du SHOM fut effectué à l'occasion des travaux et un inventaire des travaux hydrographiques utiles fut établi.

## 7.9. DOCUMENTS RÉDIGÉS

Les documents rédigés sont archivés sous le numéro 94.39. On pourra également consulter les rapports mentionnés en annexe F.

# CHAPITRE 8

## TRAVAUX DIVERS EN MEDITERRANÉE

Depuis l'achèvement en 1988 de l'hydrographie générale de la zone de responsabilité française en Méditerranée [Gaillard, 1992], les interventions de la MOM le long de la côte sud de France étaient limitées à des levés ponctuels justifiés par des besoins particuliers essentiellement militaires ou à des travaux de complément.

Outre quelques prestations au profit des autorités maritimes locales (positionnement d'antennes par exemple), les principales opérations effectuées sous ma direction furent les suivantes, dans l'ordre chronologique :

- 1991-1992 : maîtrise d'œuvre d'un levé bathymétrique de l'étang de Berre exécuté par le port autonome de Marseille, dans le cadre d'une convention entre le SHOM et Electricité de France.
- 1991 : exploration par la *Gazelle* de quelques sites d'épaves entre Marseille et Hyères et contrôle partiel d'une restitution photogrammétrique côtière effectuée par l'EPSHOM à l'ouest du cap Camarat.
- 1992 : recherche de quatre sondes anormales dans le golfe de Giens et réalisation d'un levé détaillé de l'anse ouest du fort de Brégançon, avec des moyens légers ; réalisation avec la *Gazelle* de compléments au levé général des côtes de Corse, comprenant d'une part la recherche d'épaves et d'une obstruction

d'existence douteuse à l'entrée du golfe de Porto-Vecchio et à l'ouest des bouches de Bonifacio et d'autre part le levé détaillé d'un plateau rocheux entre Porto-Vecchio et Bonifacio.

- 1993 : achèvement des compléments du levé général des côtes de Corse et revue maritime des amers de la carte 6616 (du Cap Bénat au Cap Lardier) avec la *Gazelle* ; sondages de vérification dans le port militaire de Toulon, avec des moyens légers ; investigations complémentaires par le GISMER de quelques uns des sites d'épaves explorés en 1991.
- 1994 : poursuite des sondages de vérification dans le port militaire de Toulon ; essais de recette des équipements nouveaux du *D'Entrecasteaux* (bathysonde remorquée Sea Soar et courantomètres ADCDP, cf. chapitre 1).

Ces opérations firent l'objet du rapport particulier et des comptes rendus mentionnés en annexe F. Les documents rédigés sont archivés sous les numéros suivants :

- 91.55 : recherche de sondes anormales dans le golfe de Giens
- 92.04 : levé de l'étang de Berre ;
- 92.71 : recherche d'épaves et travaux complémentaires sur les côtes de Provence ;
- 93.12 : levé de l'anse ouest du fort de Brégançon ;
- 93.39 : revue maritime des amers entre le cap Bénat et le cap Taillat ;
- 93.64 : complément du levé général des côtes de Corse ;
- 94.28 : sondages de vérification dans le port militaire de Toulon.

# CHAPITRE 9

## TRAVAUX EN TRANSIT

### 9.1. PRÉSENTATION

Les transits effectués à l'occasion des levés décrits dans les chapitres précédents firent l'objet de relevés continus destinés à enrichir les bases de données océaniques. Les relevés rédigés sous ma direction furent exécutés en Méditerranée par le *D'Entrecasteaux* (1991 à 1993) ou par la *Gazelle* (1992 et 1993) et en Atlantique nord par le *D'Entrecasteaux* (1991 à 1993). Les documents correspondants sont archivés sous le numéro 94.35.

## 9.2. LOCALISATION

La localisation fut assurée à l'aide du système GPS en mode naturel ou différentiel. La dégradation SA, qui avait été désactivée en 1991, était en fonction en 1992 comme en 1993. Le mode différentiel fut utilisé chaque fois que le bâtiment était à portée d'une station en service : station HF du SHOM installée à Pertusato pour les sondages en Méditerranée, stations HF du SHOM installées à Porspoder, La Coubre ou Flores (Açores) pour les sondages en Atlantique nord. On n'eut recours à l'utilisation du mode 2D, pour lequel il fallait disposer d'un étalon au césium, que pour les relevés effectués en 1991 par le *D'Entrecasteaux*.

Les escales lors des transits ou dans les zones de levés furent mises à profit pour contrôler la précision du système GPS et déterminer les décalages entre les systèmes géodésiques des cartes marines et le système WGS 84 à l'aide d'observations GPS au point fixe. Les positions des antennes GPS dans le système géodésique local furent déterminées par des mesures d'angles au cercle sur des amers ou, chaque fois que possible, par rattachement direct au réseau géodésique local.

Le tableau 6 précise les sites concernés. Des fiches récapitulatives furent établies pour chacun d'entre eux, à l'exception de Funchal (Madère), pour lequel il ne fut pas possible d'obtenir d'exemplaire de la carte marine portugaise à grande échelle.

La précision déduite des observations effectuées à quai par le *D'Entrecasteaux* était la suivante :

- mode différentiel avec ou sans SA : drms toujours inférieur à 5 m et généralement inférieur à 2 m,
- mode naturel sans SA : drms inférieur ou égal à 10 m,
- mode naturel avec SA : drms inférieur ou égal à 35 m.

Ces valeurs furent confirmées par les cibles à quai réalisées par la *Gazelle* en Méditerranée en 1993.

La cadence d'archivage de la localisation était fixée à 5 minutes pour les transits.

## 9.3. BATHYMÉTRIE

### 9.3.1. Sondages effectués

Les relevés furent effectués pendant les transits entre la zone de travail et les ports d'escale ou le port de base. On s'efforça de choisir des routes espacées d'au moins 5 km et, en fonction du temps disponible, de rechercher les sondes anormales figurant sur les minutes GEBCO disponibles.

Les relevés du *D'Entrecasteaux* furent effectués exclusivement avec le sondeur Raytheon réglé sur la fréquence 12 kHz, en utilisant principalement la base avant. Le corrélateur fut utilisé occasionnellement pour évaluation (cf. chapitre 1).

Les relevés de la *Gazelle* furent effectués avec un sondeur Deso 20 dopé (type NUBS 15A/B), réglé sur la fréquence 33 kHz.

### 9.3.2. Traitements

Les sondages furent exploités suivant les procédures habituelles. Des fichiers bathymétriques furent constitués et validés à l'échelle 1/250 000 (Méditerranée) ou 1/1 000 000 (Atlantique).

Les profils de célérité du son dans l'eau adoptés pour la réduction des sondes furent déterminés à partir d'observations in situ (sondages XBT en route ou profils de bathycélérimètre en station) et de l'ouvrage NP139.

**Tableau 6**  
**Observations GPS à quai**

<i>Port</i>	<i>Système géodésique local</i>	<i>Campagne</i>
Funchal (Madère)	carte marine PT 151 (1981)	Açores 1991 Sémaphore 1993
Horta (Açores)	carte marine PT 183 (1980)	Açores 1991 Açores 1992
Ponta Delgada (Açores)	carte marine PT 160 (1980)	Açores 1991 Açores 1992 Sémaphore 1993
Angra do Heroísmo (Açores)	carte marine PT 170 (1978)	Açores 1991
Las Palmas - Puerto de la Luz (Canaries)	carte marine ES 5080 (1991)	Açores 1992
Santa Cruz de Tenerife (Canaries)	Pico de las Nieves	ZMAG 1992 Sémaphore 1993
Fort-de-France (Martinique)	SHOM 1984	ZMAG 1992
Port of Spain (Trinidad)	Naparima 1955	ZMAG 1992
Cagliari (Sardaigne)	Roma 1940	Sardaigne 1993
Malaga (Espagne)	Europe 50	Sémaphore 1993

L'interprétation géomorphologique des bandes de sondes fut réalisée au fur et à mesure des relevés.

Les fichiers valeurs furent vérifiés à l'aide de tracés de contrôle édités sans choix de sonde au 1/250 000 (Méditerranée) ou au 1/1 000 000 (Atlantique). Les zones encombrées (abords de Gibraltar et de Madère) firent l'objet d'agrandissements au 1/50 000.

### 9.3.3. Résultats

#### 9.3.3.1. Reconnaissances de sondes anormales

La reconnaissance du mont de la Seine (014°25'W - 33°45'N) fut réalisée en 1991 par le *D'Entrecasteaux*. Il s'agit d'un sommet sensiblement plat et circulaire culminant à 170 m, l'isobathe 200 m ayant un rayon voisin de 5 km. L'existence de la sonde 86 m portée sur la carte marine à moins de 10 milles au nord-est semble peu probable mais l'extension de la reconnaissance était insuffisante pour conclure avec certitude à son inexistence. La diminution très rapide de la profondeur, qui passe de 3 000 m à 200 m en moins de 7 milles, pourrait expliquer une erreur d'interprétation lors du relevé original (HMS *Protector*, 1968).

Le tableau 7 précise les résultats des autres reconnaissances de sondes océaniques effectuées par le *D'Entrecasteaux*.

#### 9.3.3.2. Comparaisons avec les minutes GEBCO

Les comparaisons entre les sondages effectués et les minutes GEBCO disponibles à la MOM mirent en évidence des anomalies de sondes isolées ainsi que des décalages systématiques entre certains profils figurant sur les minutes GEBCO. Ces anomalies furent répertoriées et signalées à l'EPSHOM.

### 9.4. GRAVIMÉTRIE

Trois configurations différentes furent utilisées pour les relevés gravimétriques en transit à bord du *D'Entrecasteaux* :

- un gravimètre KSS 5 pour la campagne Açores 1991 ;
- un gravimètre KSS 5 et un gravimètre KSS 31 en évaluation pour les campagnes Açores 1992 et Guyane 1992 ;
- un gravimètre KSS 31 seul pour la campagne Sémaphore en 1993 et en 1994.

La dérive des gravimètres fut déterminée à l'aide de mesures de référence effectuées à quai, avant l'appareillage et au retour à Toulon et à chaque escale intermédiaire. Le tableau 8 précise les références utilisées.

**Tableau 7**  
**Résultats des reconnaissances de sondes océaniques anormales**

Sonde (m)	Longitude (W)	Latitude (N)	Origine	Observations (position rapportée au système WGS 84)
265	026°10'	37°50'	GEBCO 059	Recherche partielle (1991) Aucun indice de relèvement
1 787	026°10'	25°48'	GEBCO 103	Étude partielle (1992) Existence d'un mont sous-marin confirmée Sommet à 1 686 m - 026°12,4'W - 25°48,1'N
605	025°49'	36°50'	GEBCO 059 CM FR 1266	Recherche rayon 9 250 m effectuée à 80 % Indice de relèvement détecté 1 860 m - 025°45,0'W - 36°53,0'N
3 970	022°00'	28°48'	GEBCO 103	Recherche partielle (1992) Aucun indice de relèvement
728	018°00'	28°06'	GEBCO 104 CM FR 7270	Recherche rayon 18500 m effectuée à 75 % Aucun indice de relèvement
1 545	017°18'	33°08'	GEBCO 080 CM FR 7270	Recherche rayon 9 250 m effectuée à 75 % Aucun indice de relèvement
2 820	015°00'	30°00'	GEBCO 104	Recherche partielle (1992) Aucun indice de relèvement
915	014°41'	30°11'	GEBCO 080	Étude complète (1991-1992) Existence d'un mont sous-marin confirmée Sommet à 795 m - 014°41,99'W 30°07,91'N
239	014°00'	36°40'	GEBCO 060	Un seul passage (1991) Aucun indice de relèvement
393	004°34'	36°02'	GEBCO 061 (UK - 1972)	Recherche rayon 3 250 m Aucun indice de relèvement
728	004°37'	36°02'	GEBCO 061 (UK - 1972)	Recherche rayon 3 250 m Aucun indice de relèvement
391	004°22'	36°14'	CM FR 4717	Profil isolé Aucun indice de relèvement

**Tableau 8**  
**Références gravimétriques 1991-1994**

<i>Port nom de la station</i>	<i>Point de référence</i>	<i>Pesanteur adoptée (mGal)</i>
Toulon		
Épi Noël - poste 204	SHOM 49-89 - épi Noël	980 476,09
Épi Noël - poste 203	SHOM 49-89 - épi Noël	980 476,36
Quai Milhaud 5 – poste 106	RGF 80-42-24 – capitainerie	980 476,00
Quai Dupuy de Lôme – poste 805	RGF 80-42-24 – capitainerie	980 475,48
Funchal (Madère)		
Cais da Pontinha – bollard 21	MOM 1990 – bollard 17	979 769,73
Cais da Pontinha – bollard 29	IGB 11026 - Forte SãoTiago	979 769,36
Cais da Pontinha – bollard 34	MOM 1989	979 769,06
Cais da Pontinha – rep. 2 – MOM 1989	IGB 11026 - Forte SãoTiago	979 769,41
Horta (Açores)		
Cais B	IGB 11188 - p. do Molhe	980 145,72
Cais A-92	IGB 11188 - p. do Molhe	980 146,31
Ponta Delgada (Açores)		
Cais 04 - bollard 20	IGB 11175 - obs. météo.	980 115,38
Cais 04 - bollard 21	IGB 11175 - obs. météo.	980 115,39
Cais 12 - bollard 41	IGB 11175 - obs. météo.	980 114,74
Angra do Heroísmo (Açores)		
Quai commercial	IGB 11187 - Cais da Figueirinha	980 165,08
Las Palmas (Canaries)		
Muelle Santa Catalina – bollards 3/4	WHOI 767 – WHOI 769	979 373,18
Santa Cruz de Tenerife (Canaries)		
Dique Muelle del Sur – bollard 19	IGB 07486 – bollard 36	979 395,55
Dique Muelle del Sur – bollard 17	IGB 07486 – bollard 36	979 395,54
Fort-de-France (Martinique)		
Quai des avisos	Lamentin - hall de l'aéroport	978 505,52
Port of Spain (Trinidad)		
King's Wharf	bollard 5	978 169,2 <sup>1</sup>
Dégrad des Cannes (Guyane)		
Appontement Marine	Rochambeau – BAB 7	978 047,49
Malaga (Espagne)		
Muelle Canovas del Castillo - bollard 20	DMATC 3042.4 – obs. sismique	979 905,29

Suite à l'évaluation du gravimètre KSS 31 (cf. annexe B), les mesures KSS 5 de 1992 ne furent pas exploitées. Comme pour la bathymétrie, des fichiers au 1/250 000 ou au 1/1 000 000 furent constitués puis validés à l'aide de tracés de contrôle de l'anomalie à l'air libre, édités sans choix surfacique.

La cohérence des mesures réalisées avec le gravimètre KSS 31 était excellente (écarts aux intersections ou aux recouvrements de profils généralement inférieurs à 2 mGal). On constata par contre un biais systématique entre les mesures KSS 5 et KSS 31 (pourtant recalées à la même valeur aux escales) : les valeurs KSS 5 étaient généralement inférieures de 3 à 5 mGal aux valeurs KSS 31. Cet écart ne put pas être expliqué (cf. annexe B). Aucune comparaison ne fut effectuée avec les données issues des relevés antérieurs à 1991.

<sup>1</sup> valeur réduite au niveau moyen, déduite par interpolation entre Fort-de-France et Dégrad des Cannes.

## 9.5. HYDROLOGIE

La sonde de mesure de la température de surface du *D'Entrecasteaux* fut maintenue en fonction pendant tous les transits. Des fichiers valeurs furent constitués au fur et à mesure à raison d'une valeur par top de localisation. La position associée à chaque valeur était celle de l'antenne de localisation de référence. Les fichiers définitifs furent corrigés du biais du capteur déduit des étalonnages effectués par l'EPSHOM et des mesures simultanées effectuées avec d'autres capteurs (thermomètre seau, sondes XBT, bathysonde).

En plus des observations bathythermiques de routine effectuées pendant les transits une à quatre fois par jour, des radiales d'observations bathythermiques denses furent réali-

sées par le *D'Entrecasteaux* à l'occasion des transits des campagnes Açores 1991, Açores 1992, Guyane 1992, à la demande de l'EPSHOM. Des inclusions d'eau méditerranéenne (meddies) furent ainsi observées, sur les radiales Açores-Toulon, entre 1 000 et 1 500 m, en 1991 (025°00'W - 38°11'N) comme en 1992 (022°55'W - 37°30'N).

## CHAPITRE 10

### RÉDACTION DES LEVÉS EFFECTUÉS EN 1991 A MAYOTTE ET A LA REUNION

#### 10.1. PRÉSENTATION

Lors de ma prise de fonction, l'exploitation primaire (validation de la localisation et choix de sonde) des levés effectués à Mayotte et à la Réunion pendant la campagne en océan Indien du premier semestre 1991 n'était pas encore achevée. Cette exploitation fût poursuivie ainsi qu'indiqué dans les paragraphes 10.2 et 10.3 ci-après, mais sans qu'il soit possible de la mener à son terme : l'exploitation complète des deux levés sera achevée en 1995 par mon successeur.

La programmation d'une nouvelle campagne outre-mer en 1992, un encadrement technique et un effectif global insuffisants en furent les principales causes. Les modalités de réalisation des levés (déploiement du maximum de moyens sans aucune exploitation primaire sur place), la complexité de la bathymétrie du lagon de Mayotte et le manque de fiabilité de la chaîne Hytraï de la MOM furent des facteurs aggravants, et ne permirent pas de profiter pleinement des périodes d'indisponibilité du *D'Entrecasteaux*.

#### 10.2. RÉDACTION DU LEVÉ DE MAYOTTE

Les travaux furent menés de septembre 1991 à août 1992 puis à partir de janvier 1994. Ils portèrent sur la validation de la localisation (détection et correction d'un défaut de synchronisation entre les relèvements optiques et les distances Trident des profils réalisés en localisation mixte ; prise en compte des instabilités des corrections Trident résultant des interférences entre balises émettant sur le même code), la constitution des fichiers bathymétriques et le dépouillement laborieux des enregistrements de sondeur latéral.

Pour l'exploitation des enregistrements de sondeur latéral, on distingua deux types de fonds : les zones encombrées et les zones normales. Les zones encombrées étaient celles dans lesquelles la forte densité des échos intéressants ne permettait pas un dépouillement individuel. Les échos intéressants étaient caractérisés par une hauteur minimum au-dessus du fond, fixée à 2 m, à laquelle correspondait, pour chaque réglage utilisé, une longueur d'ombre minimum qui

permettait de les sélectionner sur les enregistrements. Les zones encombrées étaient délimitées ; seuls les échos les plus significatifs étaient dépouillés à l'intérieur de ces zones. A l'extérieur des zones encombrées, les échos intéressants étaient dépouillés individuellement. La numérisation des enregistrements et la fusion avec les fichiers de localisation furent réalisées à l'aide d'un logiciel développé à cet effet. La numérisation fut laborieuse : la définition des zones encombrées n'étant pas toujours bien comprise par les opérateurs, il fallut faire procéder à de nombreuses reprises. Des bleus valeurs furent rédigés à la même échelle que les bleus valeurs de bathymétrie. Ils comportaient les éléments suivants :

- profils suivis (positions du poisson),
- limites des zones explorées,
- limites des zones encombrées,
- position des échos isolés (avec rattachement au profil de détection).

Des listages annexes donnaient les caractéristiques des échos par profil (éléments dépouillés, position et estimation de la hauteur au-dessus du fond).

Le tracé des bleus valeurs fut achevé en juin 1992. Les contrôles révélèrent des divergences avec le levé de 1985 qui nécessitèrent un examen détaillé des bandes de sondes de 1985. A mon départ, sur les 33 coupures prévues, 21 dossiers avaient été contrôlés par le chef de salle de dessin, dont 9 avaient pu être examinés par le directeur. Les sondes susceptibles de présenter un danger pour la navigation, détectées pendant la rédaction ou pendant les contrôles, furent signalées à l'EPSHOM et au COMAR La Réunion.

La fiche de marée et les trois dossiers de courantométrie furent rédigés et signés.

On effectua une analyse des déformations planimétriques du système géodésique local IGN 1950 par rapport aux points rattachés au système WGS 84 par observations GPS.

#### 10.3. RÉDACTION DU LEVÉ DE LA REUNION

Les travaux furent menés de février à août 1992, de mars à mai 1993 puis à partir de juillet 1994. Ils permirent de constituer la totalité des fichiers bathymétriques.

Quatre observatoires de marée avaient été mis en place pendant la campagne, à Port des Galets, Saint-Gilles, Saint-Leu et Saint-Pierre. Compte tenu des écarts inférieurs à 20 cm entre les marées observées rapportées au zéro du Port (0,552 m au-dessous du zéro IGN 89), il fut décidé d'adopter la marée de Saint-Pierre rapportée au zéro du Port pour la réduction des sondages. Les sept dossiers de courantométrie furent rédigés et signés. La circulation générale en surface fut également déterminée, dans la zone explorée par le *D'Entrecasteaux*, à partir des données de localisation du bâtiment.

On effectua une analyse des déformations planimétriques du système géodésique local IGN 1947-49 par rapport aux points rattachés au système WGS 84 par observations GPS.

## RÉFÉRENCES

- BESSERO G.  
Géodésie de la Martinique  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 760, 1985, p. 27-38
- BESSERO G.  
Un exemple d'utilisation du système GPS différentiel en levé hydrographique  
*Revue hydrographique internationale*, vol. LXX, n° 2, septembre 1993, p. 41-58
- BESSERO G.  
Mission océanographique de l'Atlantique (janvier-septembre 1987)  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 767, 1996, p. 77-162
- BRÉMOND E.  
Mission hydrographique de Madagascar (juillet 1949 - juillet 1950)  
Mission aux îles Kerguelen  
*Annales hydrographiques*, 4<sup>e</sup> série, tome 2, 1951, p. 101-109
- BRIE R.  
Mission hydrographique de Madagascar (novembre 1955 - avril 1957)  
Mission aux îles Kerguelen  
*Annales hydrographiques*, 4<sup>e</sup> série, tome 9, 1958, p. 178-185
- BOULARD M.  
Mission océanographique de l'Atlantique (13 décembre 1980 - 13 juin 1982)  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 764, 1991, p. 57-14
- DOLOU H.  
Mission océanographique du Pacifique - Echelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992 - mai 1994)  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 768, 1997, p. 131-277
- GAILLARD J.-C.  
Mission océanographique de la Méditerranée (6 octobre 1985 - 1<sup>er</sup> septembre 1988)  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 765, 1992, p. 89-166
- LEMIÈRE G.  
Mission hydrographique de la Guyane (1947 - 1948)  
*Annales hydrographiques*, 3<sup>e</sup> série, tome 21, 1949, p. 69-89
- PASQUAY J.-N.  
Mission hydrographique de l'Atlantique (mai 1972 - septembre 1974)  
Annexe II : détermination des courants de surface par utilisation de la localisation précise au cours des sondages réguliers étendus  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 748, 1978, p. 111-112
- SIMON B.  
Calcul de la marée au large pour la correction des sondages  
*Revue hydrographique internationale*, vol. LXVII, n° 2, juillet 1990, p. 161-177
- THOUIN J.-P.  
Mission océanographique de Méditerranée (janvier 1979 - mai 1981)  
*Annales hydrographiques*, 5<sup>e</sup> série, n° 758, 1983, p. 133-138
- YAYER J.  
Mission hydrographique de la Guyane française (1936 - 1937)  
*Annales hydrographiques*, 3<sup>e</sup> série, tome 19, 1947, p. 31-120

## LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : situation des travaux effectués par la MOM d'août 1991 à septembre 1994

Planche 2 : dispersion des cibles GPS en fonction de la distance à la station de référence

Planche 3 : travaux effectués pendant la campagne Açores 1991

Planche 4 : travaux effectués pendant la campagne Açores 1992

Planche 5 : travaux effectués pendant la campagne Guyane 1992

Planche 6 : travaux effectués pendant la campagne Guyane 1992

Planche 7 : mesures GPS géodésiques de la campagne Guyane 1992

Planche 8 : travaux effectués pendant la campagne Guyane 1994

Planche 9 : travaux effectués à Fort-de-France

Planche 10 : travaux effectués au sud-est de la Sardaigne

Planche 11 : zone de la campagne Sémaphore

Planche 12 : campagne Sémaphore : opérations effectuées par le *D'Entrecasteaux* du 15 au 17 octobre 1993

Planche 13 : campagne Sémaphore : opérations effectuées par le *D'Entrecasteaux* du 22 au 29 octobre 1993

Planche 14 : campagne Sémaphore : opérations effectuées par le *D'Entrecasteaux* du 5 au 19 novembre 1993

Planche 15 : campagne Sémaphore : opérations effectuées par le *D'Entrecasteaux* du 23 août au 1<sup>er</sup> septembre 1994

Planche 16 : mesures géodésiques GPS aux Kerguelen

Planche 17 : sondages effectués aux Kerguelen

Planche 18 : travaux divers effectués aux Kerguelen

N° chapitre	Objet
02 :	campagnes géophysiques aux Açores
03 :	campagnes d'hydrographie en Guyane
04 :	levé portuaire à Font-de-France
05 :	campagnes d'hydrographie au sud -est de la Sardaigne
06 :	campagne d'océanographie Sémaphore
07 :	campagne d'hydrographie aux Kerguelen
08 :	travaux divers en Méditerranée

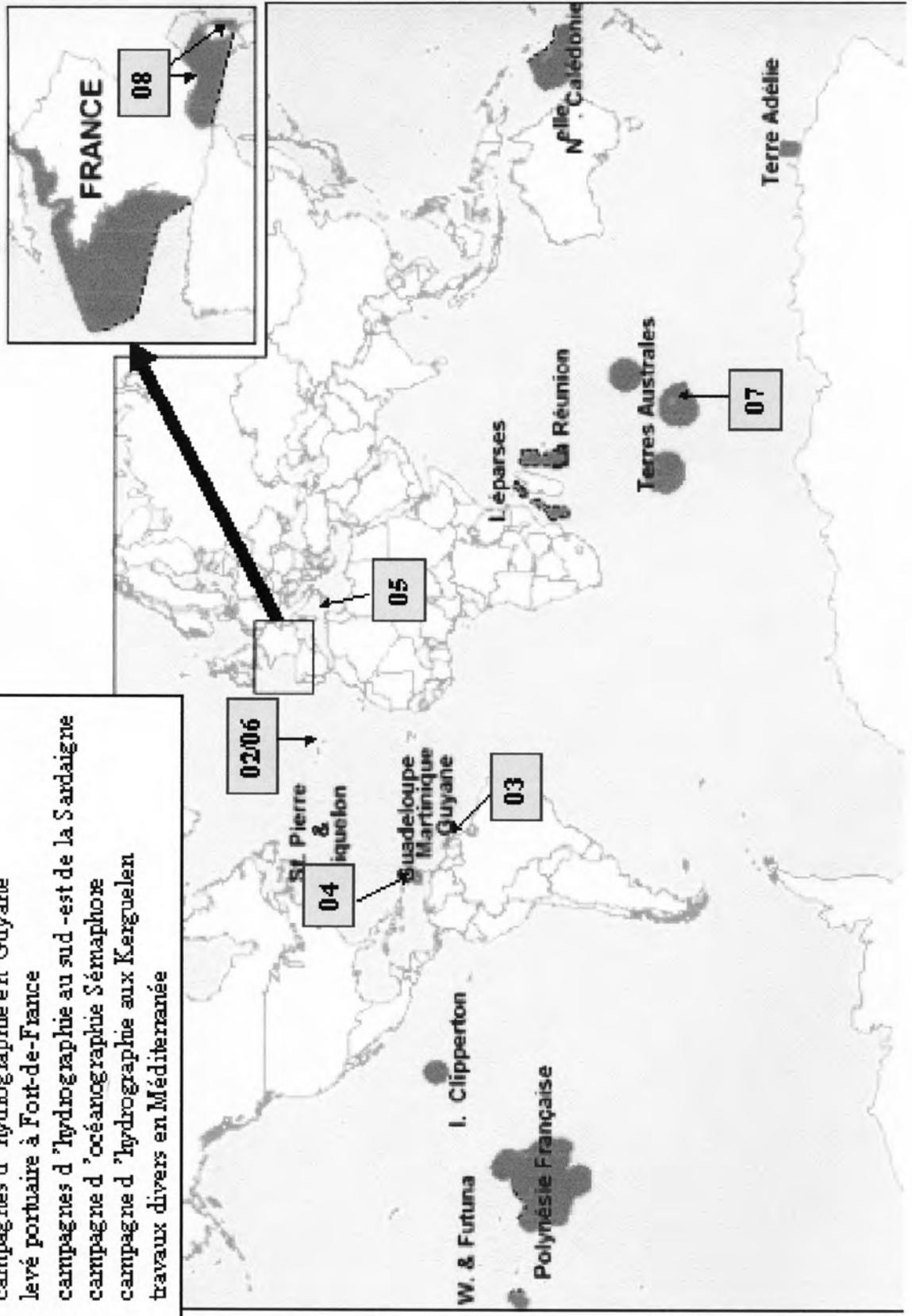
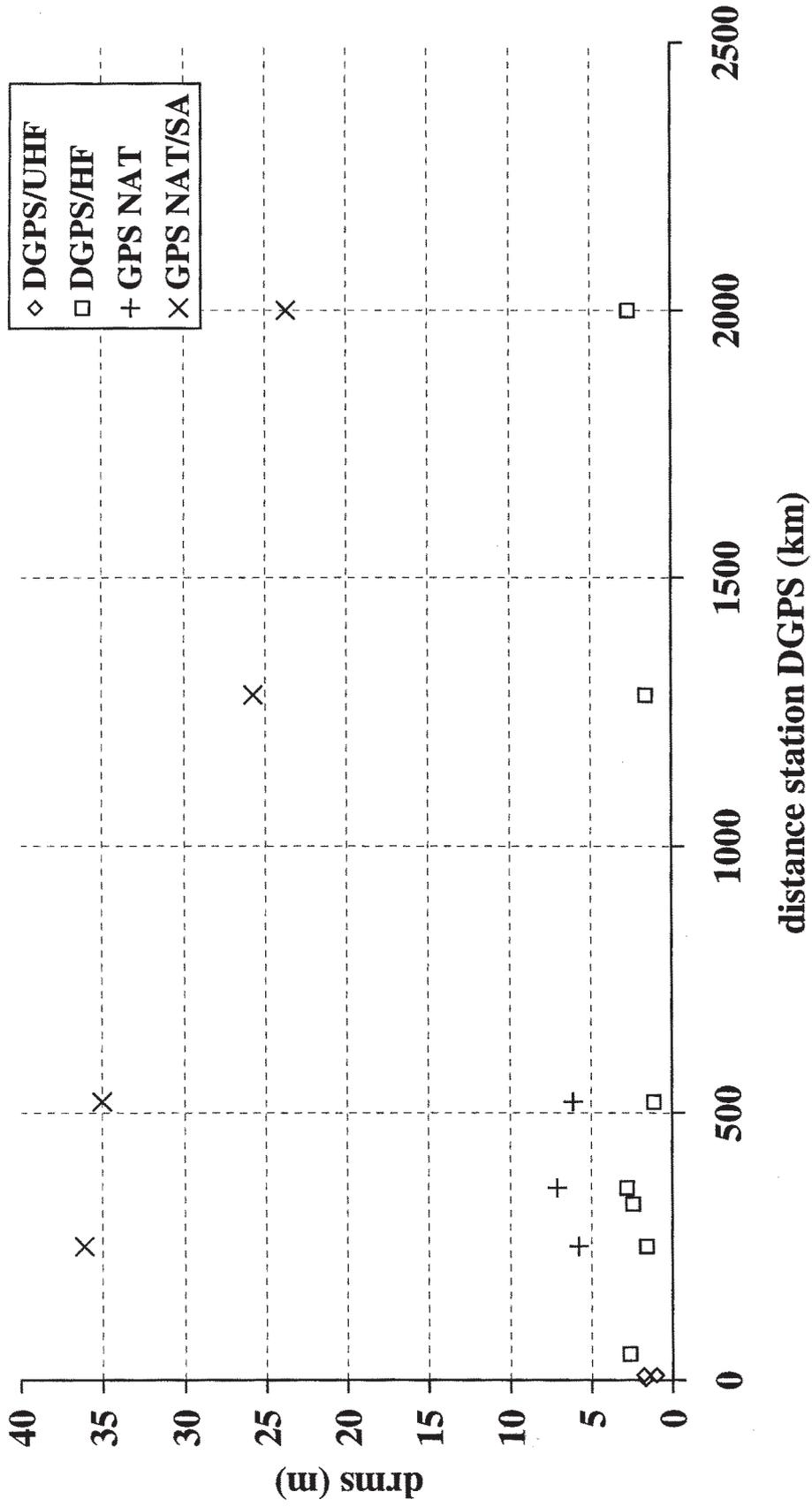


Planche 1. Situation des travaux effectués par la MOM d'août 1991 à septembre 1994.

Planche 2. Dispersion des cibles GPS en fonction de la distance à la station de référence.



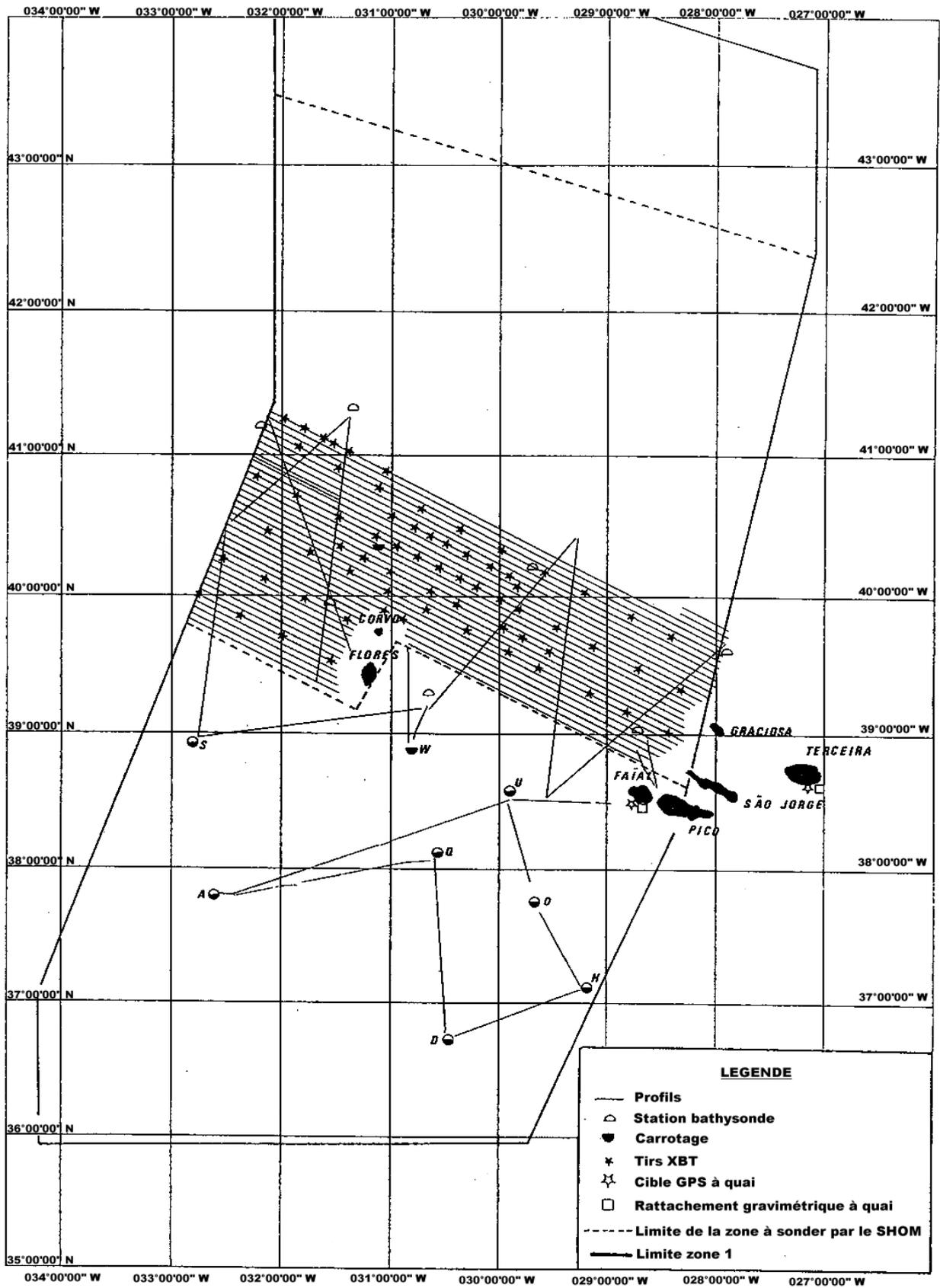


Planche 3. Travaux effectués pendant la campagne Açores 1991.

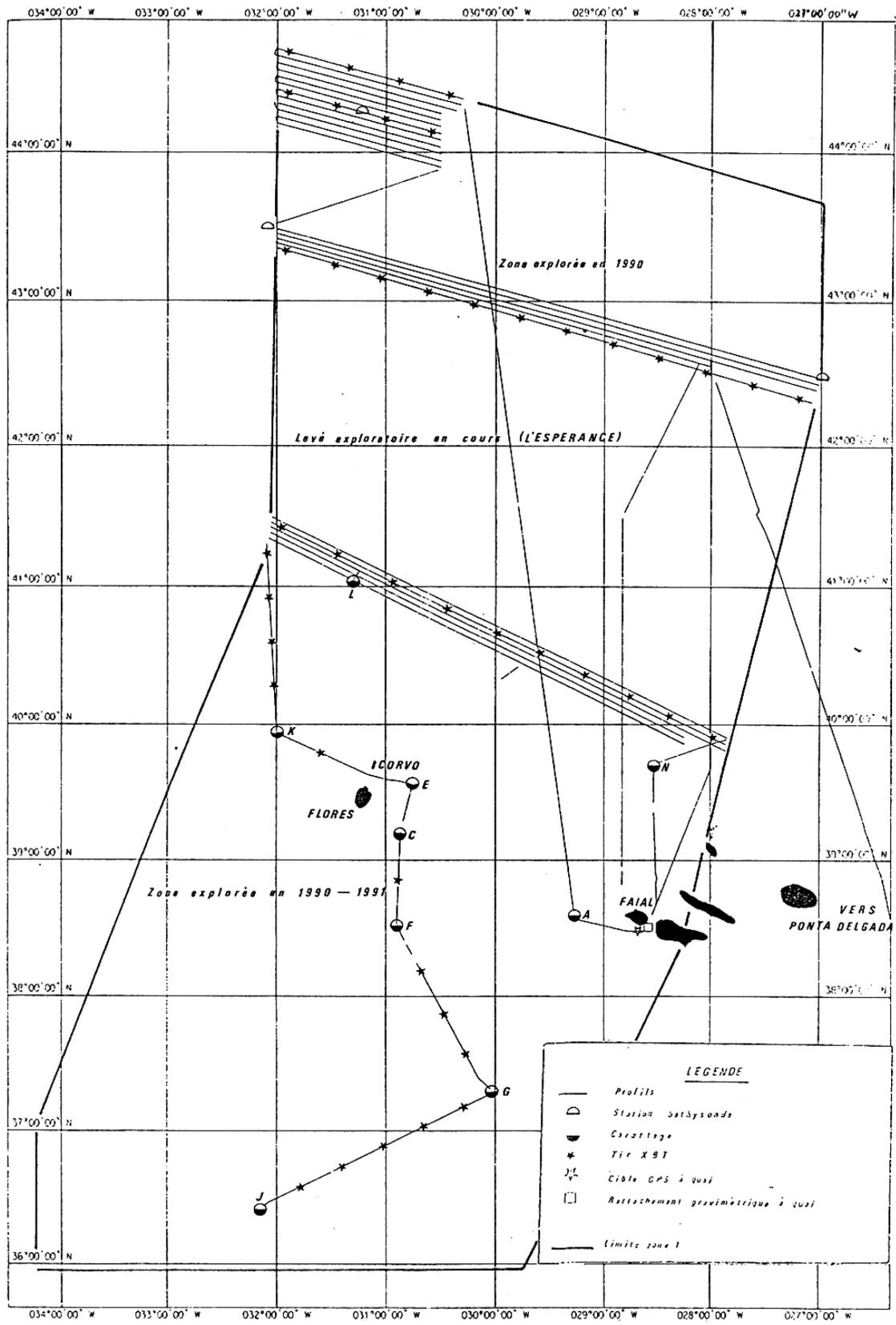


Planche 4. Travaux effectués pendant la campagne Açores 1992.

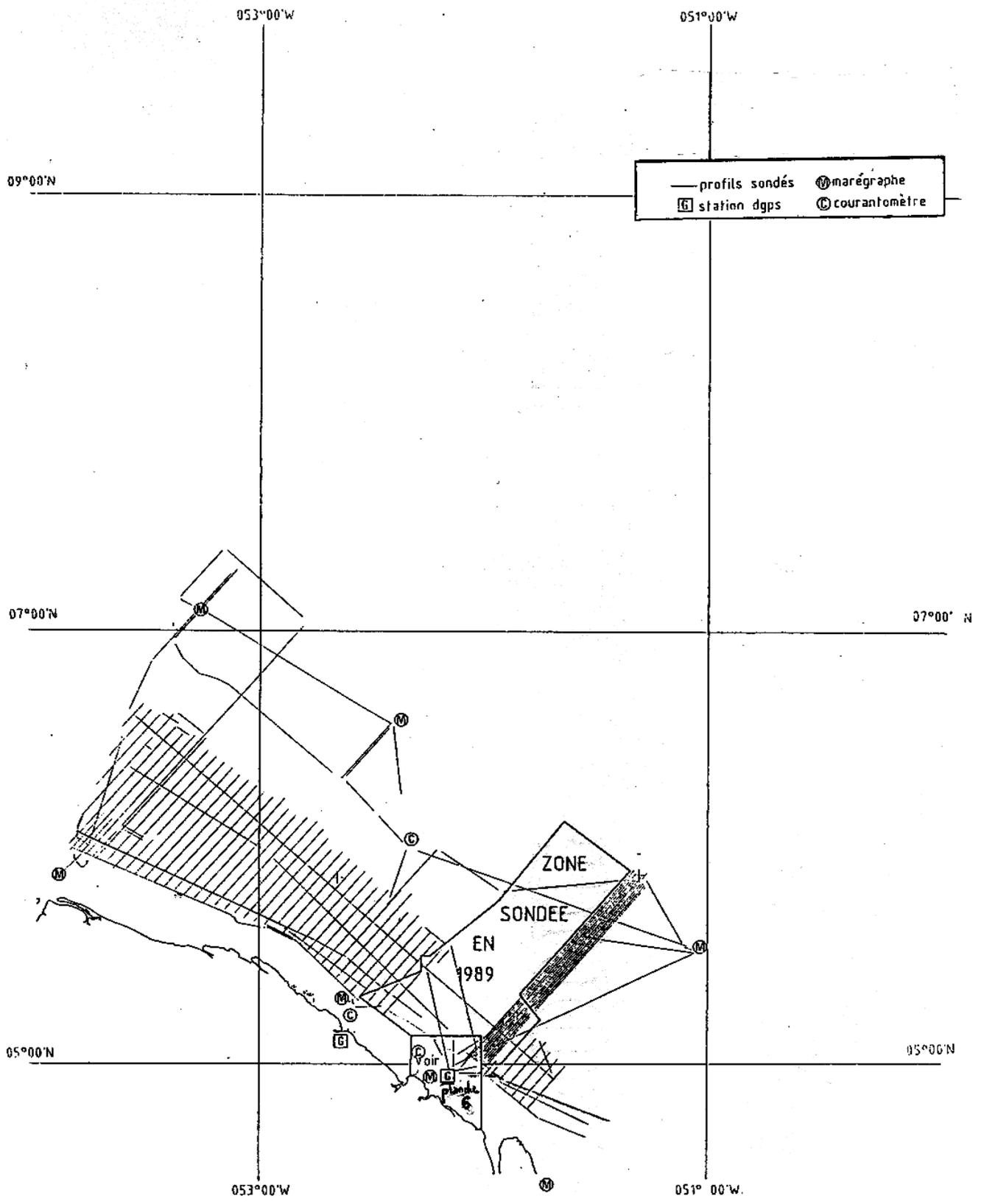


Planche 5. Travaux effectués pendant la campagne Guyane 1992.



\* station

✕ session de mesure

A : sessions principales

B : sessions complémentaires

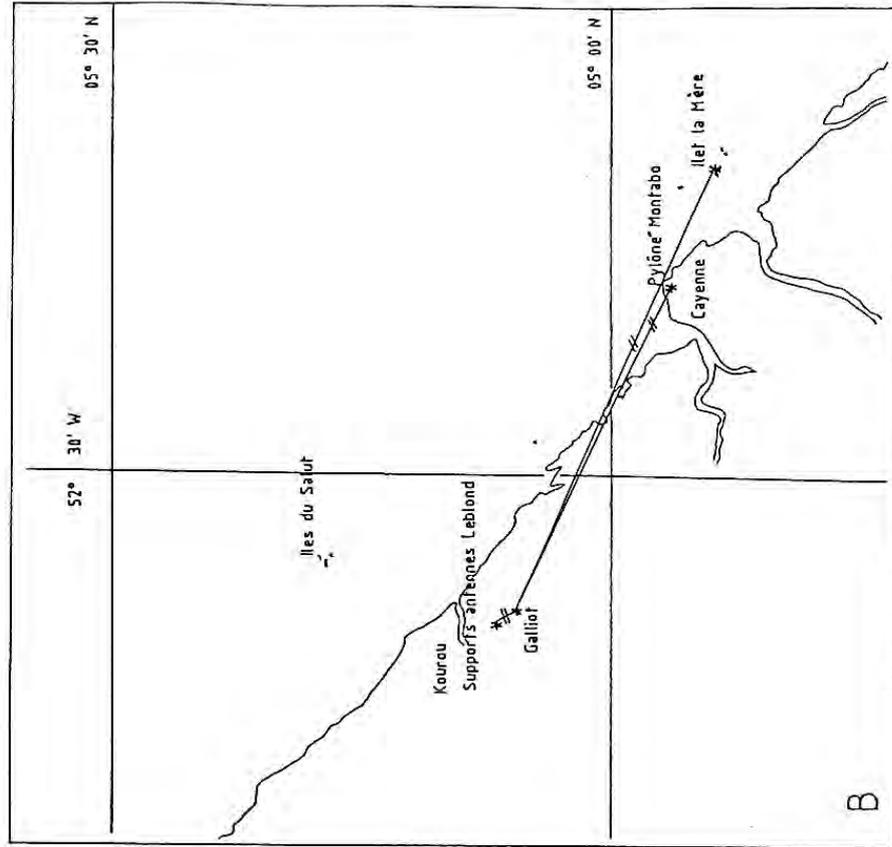
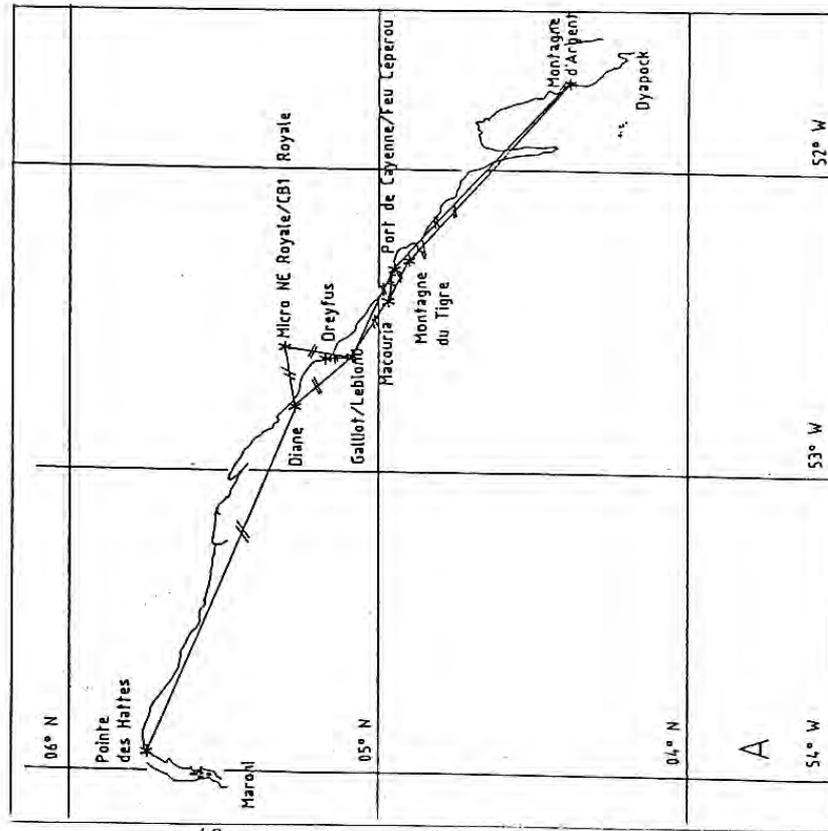


Planche 7. Mesures GPS géodésiques de la campagne Guyane 1992.

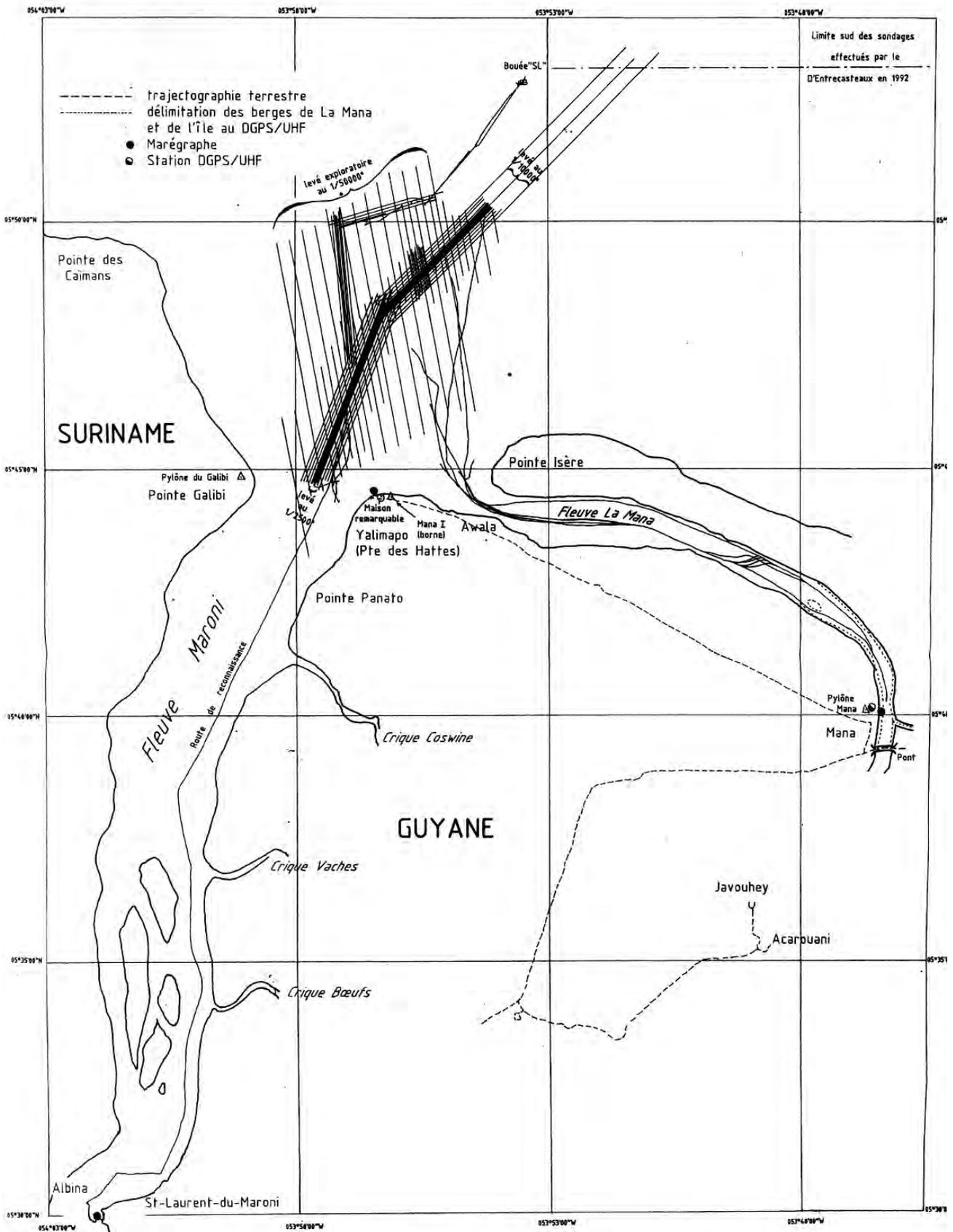


Planche 8. Travaux effectués pendant la campagne Guyane 1994.

70800  
16150

70800

70800

707800

706800  
15000

M.E0619

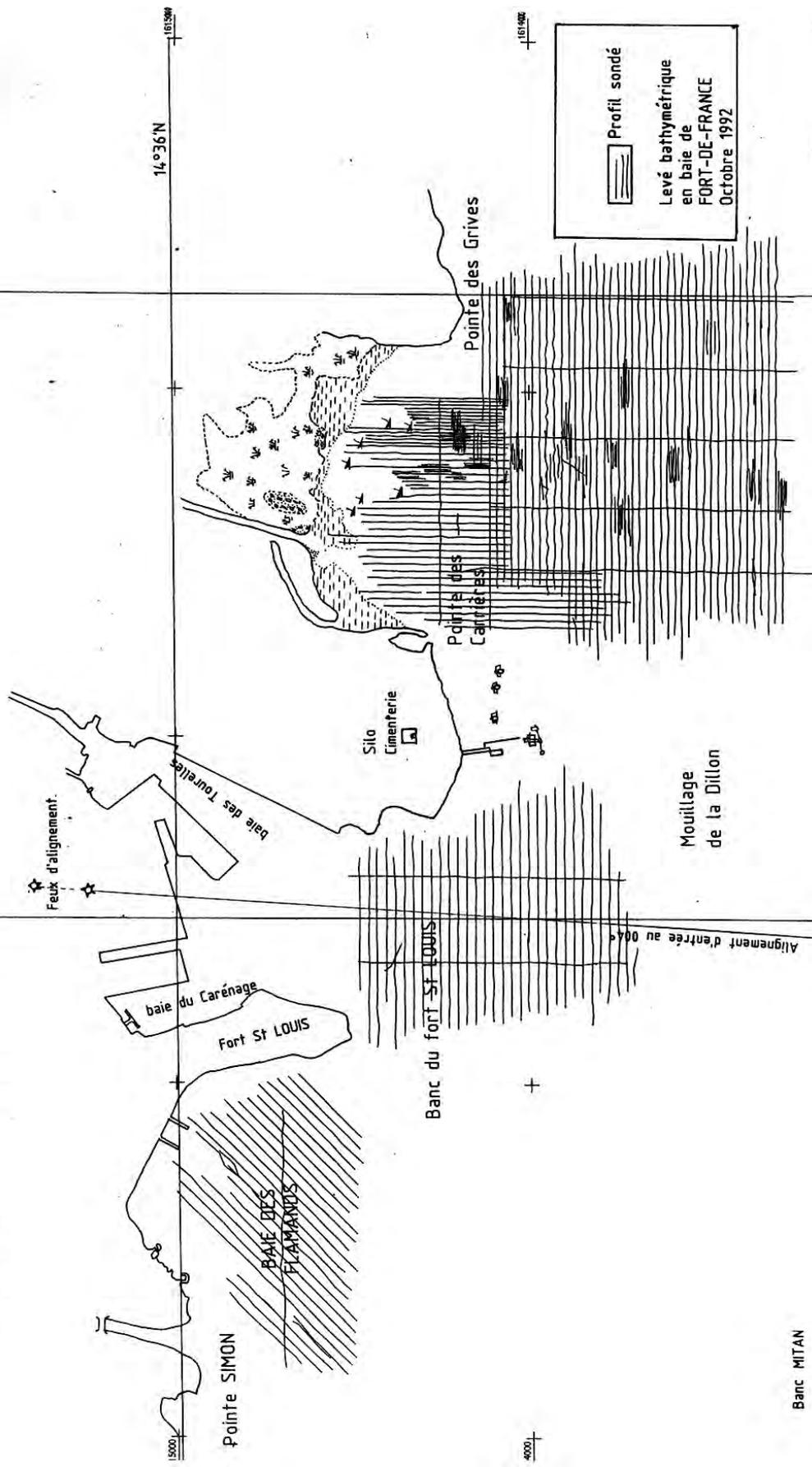
61047W

14°36'N

161500

4000

# FORT-DE-FRANCE



 Profil sondé  
 Levé bathymétrique  
 en baie de  
 FORT-DE-FRANCE  
 Octobre 1992

Banc MITAN

Planche 9. Travaux effectués à Fort-de-France.

Légende : — profils sondés

⊙ station bathycélérimètre

Echelle : 1/1 000 000 à 41°30'N

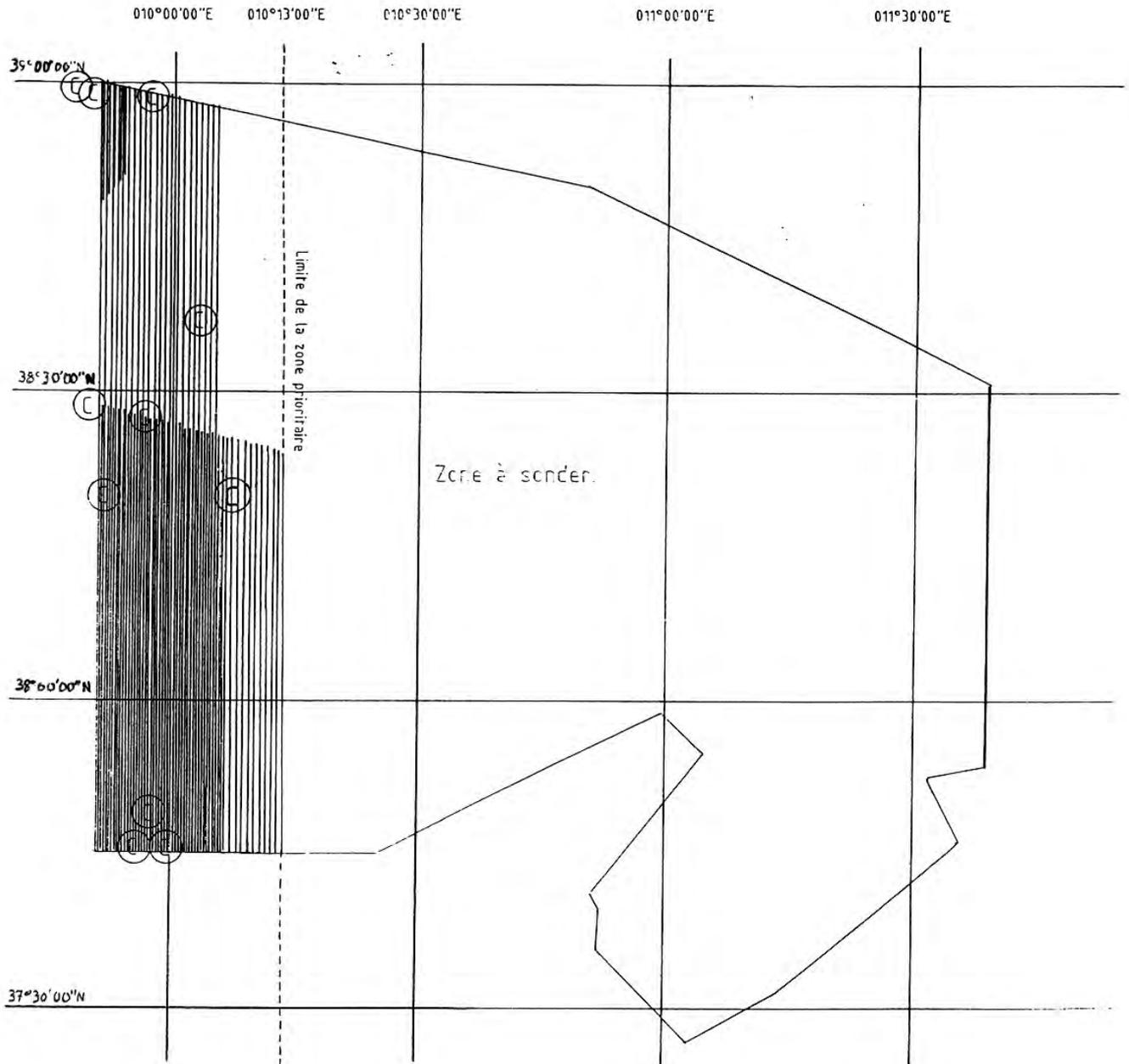
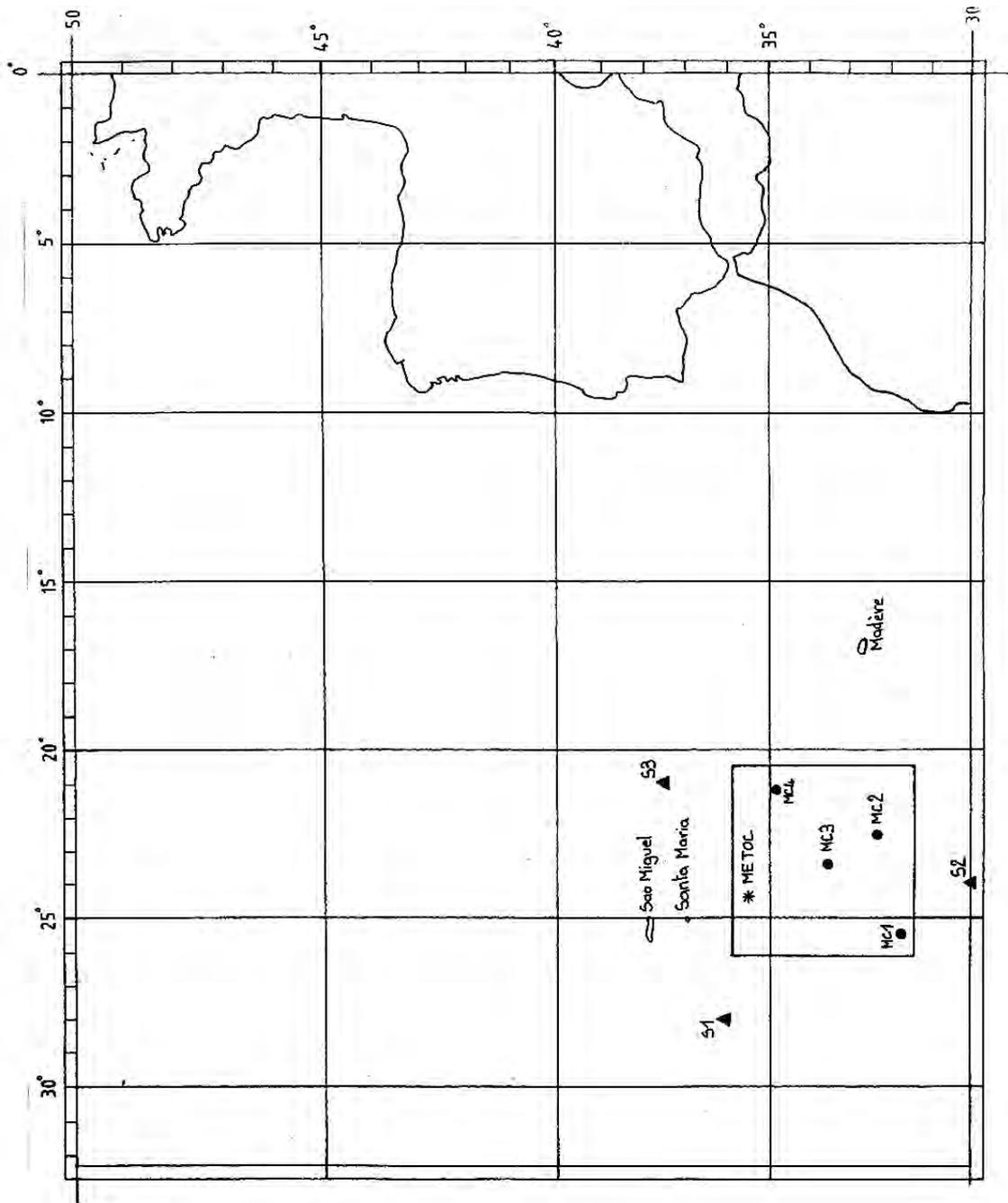


Planche 10. Travaux effectués au sud-est de la Sardaigne.



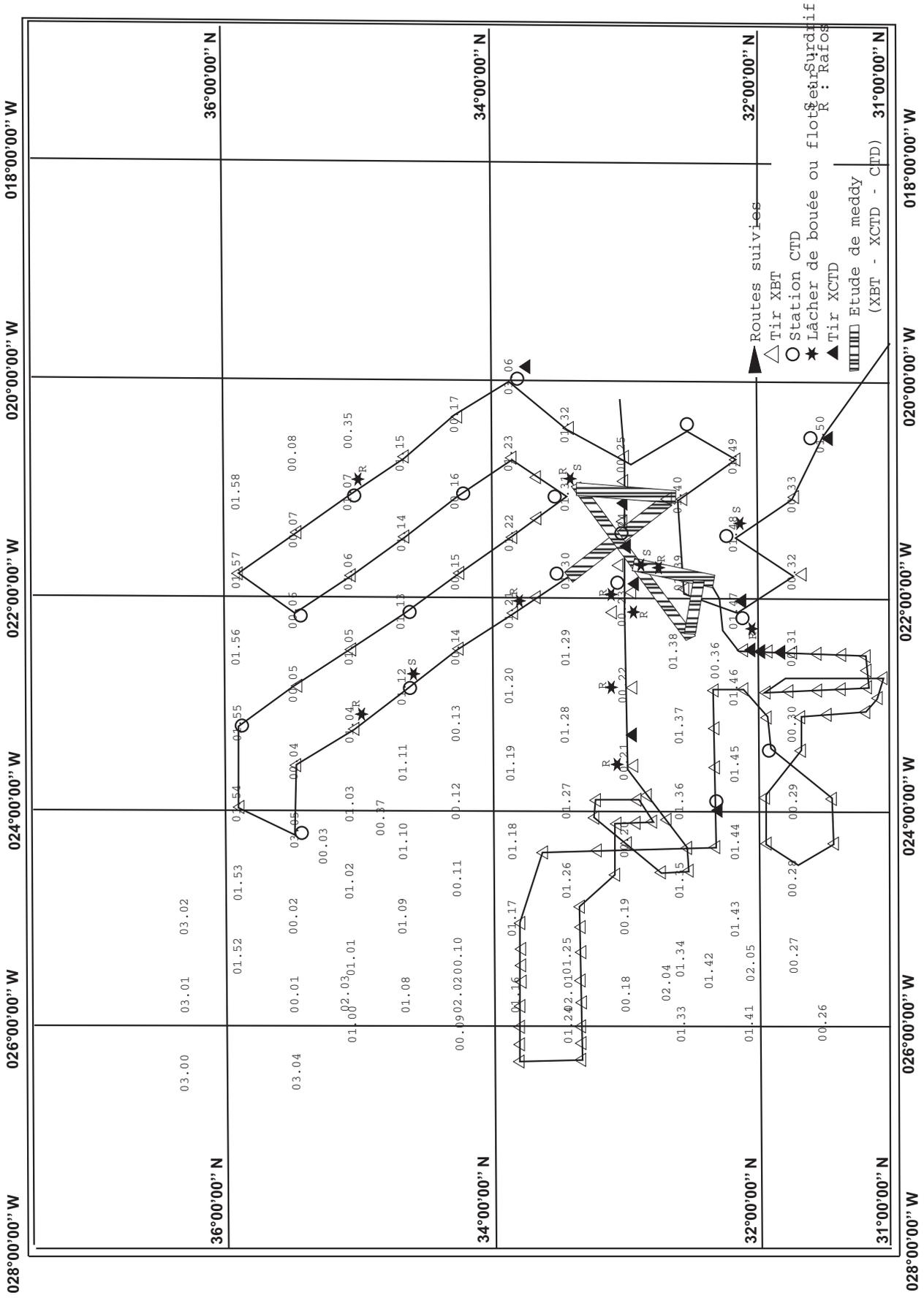
- ▲ sources acoustiques
- mouillages courantométriques
- \* mouillage METOC
- zone des mesures intensives

Planche 11. Zone de la campagne Sémaphore.





Planche 14. Campagne Sémaphore : opérations effectuées par le D'Entrecasteaux du 5 au 19 novembre 1993.



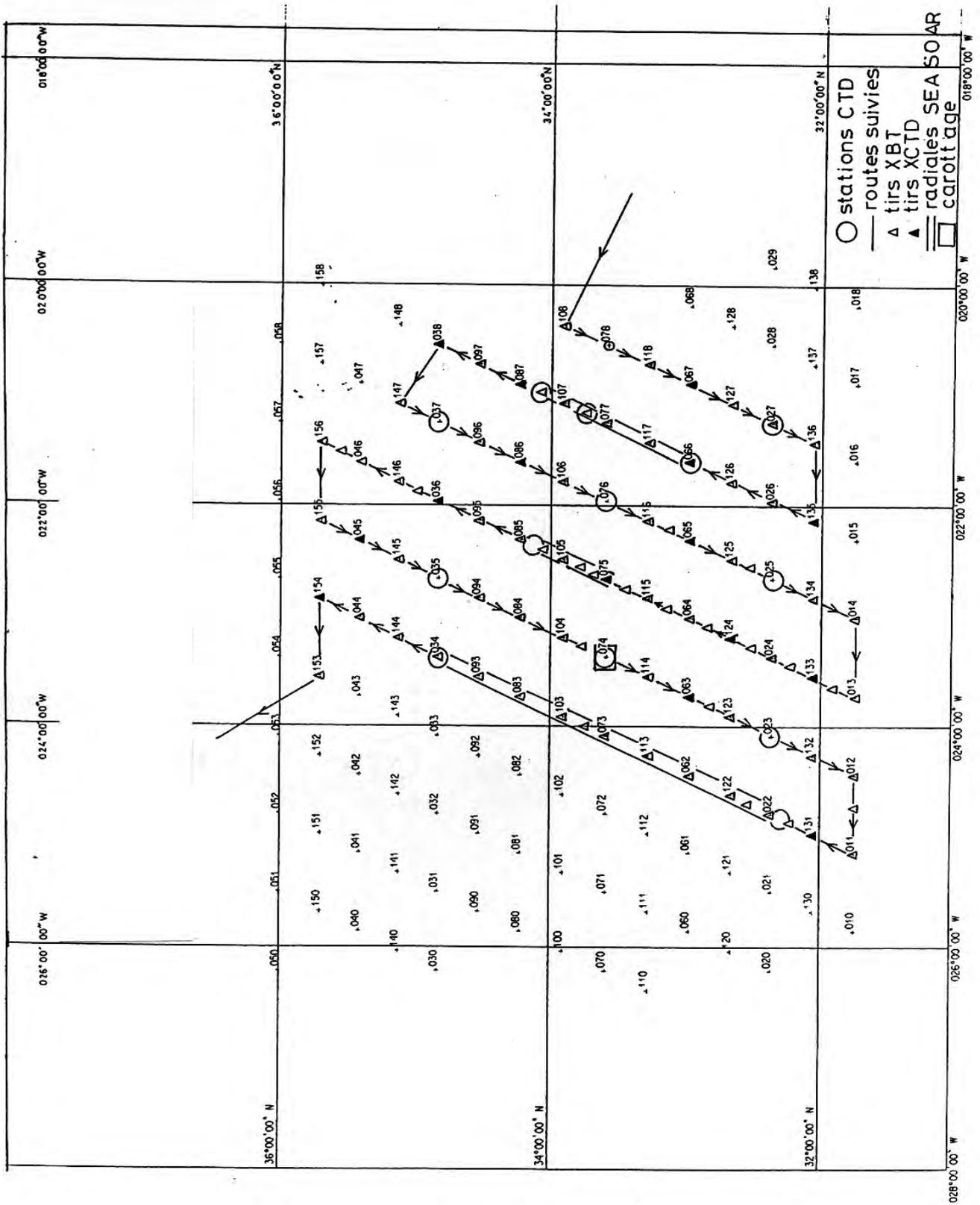


Planche 15. Campagne Sémaphore : opérations effectuées par le D'Entrecasteaux du 23 août au 1<sup>er</sup> septembre 1994.

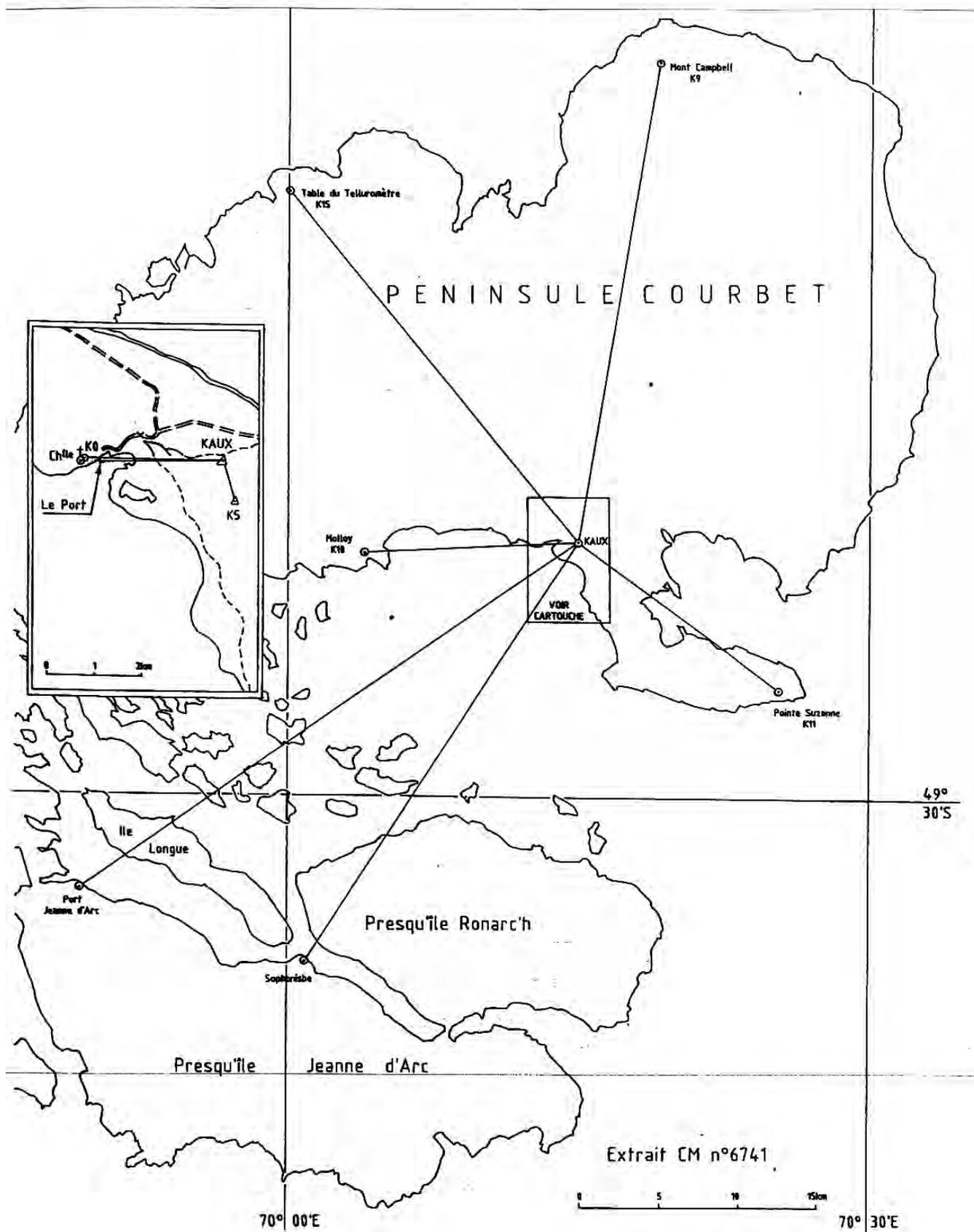
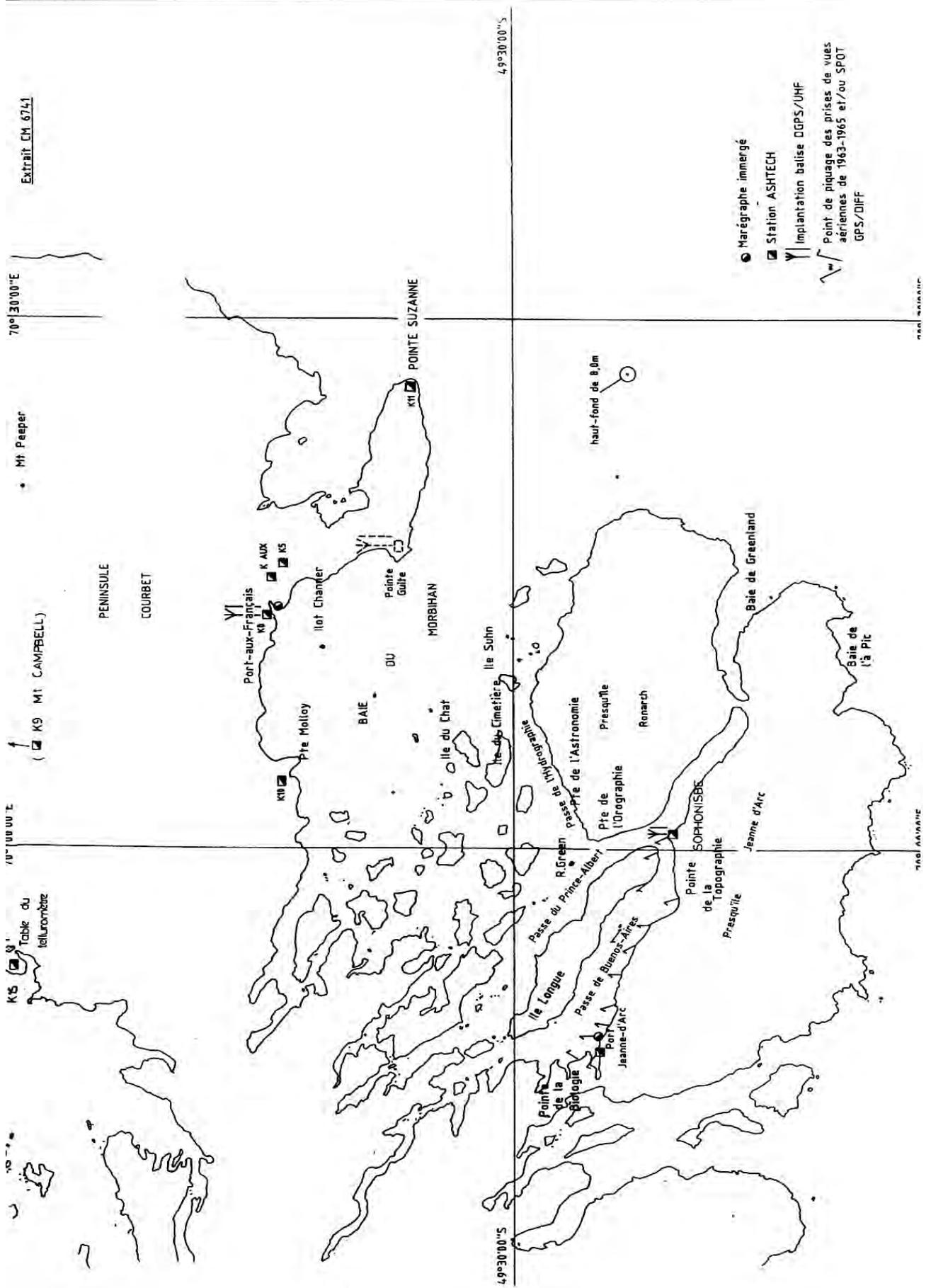


Planche 16. Mesures géodésiques GPS aux Kerguelen.



Planche 18. Travaux divers effectués aux Kerguelen.



## **ANNEXES**

- Annexe A : Les stations de référence DGPS.
- Annexe B : Évaluation du gravimètre KSS 31
- Annexe C : Évaluation du magnétomètre SMM92  
*par l'ingénieur des études et techniques d'armement Erwan L'ARVOR*
- Annexe D : Les courantomètres de coque à effet Doppler  
*par l'ingénieur des études et techniques d'armement Serge ALLAIN*
- Annexe E : L'engin remorqué Sea Soar  
*par l'ingénieur des études et techniques d'armement David MOREAU*
- Annexe F : Liste des rapports et comptes rendus

## ANNEXE A

### LES STATIONS DE RÉFÉRENCE DGPS SERCEL

#### A.1. GÉNÉRALITÉS

La MOM fut dotée à partir de 1992 de deux stations de référence DGPS SERCEL : une station longue portée HF et une station courte portée UHF de type NDS 100 dont les caractéristiques sommaires sont décrites ci-après.

#### A.2. STATION DGPS/HF LONGUE PORTÉE

La station de référence DGPS/HF SERCEL se composait d'une baie d'émission-réception, d'une alimentation ininterrompue de 2,5 kW, d'une antenne de réception des signaux GPS et de deux antennes d'émission de 14 m de hauteur. L'ensemble conditionné pour le transport pesait environ 1,5 tonne et occupait 6 m<sup>3</sup>. La baie d'émission-réception comprenait :

- un récepteur GPS NR103 modifié qui recevait et traitait les signaux des satellites,
- un tiroir formateur qui élaborait les messages de corrections et pilotait les émetteurs,
- deux émetteurs d'une puissance maximum de 150 W chacun,
- une alimentation 220 V / 24 V continu et une unité de ventilation.

Un terminal spécifique ou un ordinateur compatible PC était nécessaire pour la mise en service de la station et le contrôle de son bon fonctionnement. Après une première initialisation, le redémarrage de la station après une coupure de l'alimentation était automatique.

Les fréquences d'émission étaient réglables. Elles devaient être espacées d'au moins 1 MHz et choisies entre 1,6 à 2,4 MHz d'une part, 2,4 et 3 MHz d'autre part, pour assurer la réception à bord des mobiles d'au moins une des deux fréquences, de jour comme de nuit, jusqu'à 600 km au moins de la station pour une puissance émise de 100 W. Les deux fréquences attribuées à la MOM étaient 1 897 et 3 154,6 kHz en 1992 puis 2 202 et 3 154,6 kHz.

Le format des messages de correction était proche de celui recommandé par le comité RTCM 104. La vitesse de transmission étant de 50 bauds, il fallait 6 s pour transmettre jusqu'à 8 corrections.

L'installation d'une station DGPS/HF était une opération relativement lourde. Les principaux critères à prendre en compte pour le choix du site étaient les suivants :

- bonnes conditions de propagation des ondes HF vers la zone du levé : les trajets terrestres devaient être limités et surtout dépourvus d'obstacle important ;
- dégagement suffisant pour installer les antennes d'émission : une surface plane de 30 m de diamètre était nécessaire pour chaque antenne, avec une

distance minimale de 30 m entre chaque antenne. La longueur des coaxiaux entre la baie d'émission et les antennes était normalement de 30 m mais elle pouvait être augmentée sans inconvénient majeur jusqu'à 100 m ;

- dégagement suffisant pour installer l'antenne de réception GPS : aucun masque ne devra avoir une élévation supérieure à 10° ;
- peu de risques d'interférence et de réflexions parasites dans la bande de fréquence des signaux HF et GPS. L'absence de fréquence gênante devait être contrôlée avec un analyseur de spectre avant l'installation ;
- existence d'un local fermé et climatisé pouvant abriter le matériel électronique. Ce local devait être situé à moins de 100 m des antennes d'émission et disposer d'une alimentation électrique fiable et si possible secourue en 220 V, 50 Hz. La puissance requise était de 6 kVA.

La station de la MOM fonctionna sur deux sites différents :

- en Corse du sud, au sémaphore de Pertusato, de février à août 1992 puis à partir de février 1993. Cette implantation fut utilisée pour les levés effectués en Méditerranée ;
- en Guyane, dans une enceinte du centre spatial guyanais sur le mont Leblond, près de Kourou, en octobre et novembre 1992. Cette implantation fut utilisée pour le levé des côtes de Guyane (cf. chapitre 3).

#### A.3. STATION DGPS/UHF COURTE PORTÉE

La station DGPS/UHF Sercel NDS 100 était nettement moins encombrante que la station HF : les différents sous-ensembles électroniques (récepteur GPS, carte formateur, modem, émetteur UHF) étaient intégrés dans un seul boîtier étanche de 14 kg. Les corrections étaient émises à 600 bauds sur une seule fréquence réglable entre 406 et 470 MHz. La puissance rayonnée était de 9 W. Le boîtier devait être connecté à une alimentation externe 10/15 V continu, à l'antenne de réception GPS et à une antenne UHF de 1,4 m. La portée était limitée à l'horizon radioélectrique.

La réception des corrections à bord des mobiles était assurée à l'aide d'un modem spécifique connecté à un récepteur NR 103.

Cette station fut mise en œuvre successivement en Guyane (octobre-novembre 1992), aux Kerguelen (octobre-novembre 1993) puis de nouveau en Guyane (mai-juin 1994).

## ÉVALUATION DU GRAVIMÈTRE KSS 31

### B.1. GÉNÉRALITÉS

Un gravimètre marin de type KSS 31 commandé par l'EPSHOM en décembre 1991 fut installé à bord du *D'Entrecasteaux* à partir du 27 avril 1992. Des essais préliminaires furent effectués à quai puis à la mer jusqu'au 12 mai. Les deux campagnes suivantes du *D'Entrecasteaux* permirent de poursuivre les essais et de réaliser une première évaluation du système. Elles permirent de conclure au bon fonctionnement de l'appareil et d'adopter un coefficient de calibration définitif. Cette annexe résume les résultats de ces campagnes, détaillés dans les rapports cités en annexe F.

### B.2. CAMPAGNE AÇORES 1992

#### B.2.1. Présentation

La campagne Açores 92 devait permettre de vérifier la conformité aux spécifications du constructeur. Elle fut axée sur la détermination du coefficient de calibration, de la dérive journalière, des temps de stabilisation après changement de route, des retards de restitution de la pesanteur dus au filtrage et des filtres à adopter en fonction de l'état de la mer.

#### B.2.2. Coefficient de calibration

Les différences de pesanteur entre Toulon et les ports d'escale devaient permettre d'affiner le coefficient de calibration du capteur déterminé en usine, à Meersburg. Le constructeur invitait l'utilisateur à parcourir un trajet en un temps très court entre deux points de pesanteur très différente. Ce fut le cas du trajet Toulon - Las Palmas (Canaries) effectué en cinq jours.

Après prise en compte de la dérive du gravimètre, supposée a priori linéaire sur toute la période du levé (2,8 mGal en 59,5 jours), on obtint finalement un coefficient de calibration de 0,9371 (au lieu de 0,9418 initialement). Cette valeur, entrée manuellement dans le contrôleur ZE31, au moyen des roues codeuses, fut adoptée pour la campagne Guyane 1992.

#### B.2.3. Dérive

Après adoption du coefficient de calibration, les dérives journalières observées durant la campagne s'échelonnaient entre 0,03 et 0,06 mGal/jour. Quant aux dérives apparentes observées à quai, elles étaient comprises entre 0,03 et 0,08 mGal/jour. En fait, contrairement aux performances annoncées par le représentant du constructeur (0,05 mGal/jour), ces dérives étaient inférieures à la dérive maximale indiquée dans la documentation constructeur (0,1 mGal/jour). Ce paramètre devait cependant faire l'objet d'une attention particulière pendant la campagne suivante.

### B.2.4. Compensation de manoeuvre et temps de stabilisation

Une série de mesures comportant des changements de route et d'allure fut effectuée.

Lors des premiers essais réalisés sans compensation de manoeuvre, des sauts de pesanteur cohérents avec les variations théoriques de pesanteur induites par les changements de route étaient observés. Le temps de stabilisation était, en dépit de l'absence de compensation, étonnamment court (6 minutes au maximum).

Dans un deuxième temps, des girations étaient effectuées avec compensation de manoeuvre, avec un seuil fixé à 0,05 m/s<sup>2</sup>. Le système de compensation se déclenchait alors, réduisant sensiblement le saut de pesanteur (6 mGal au lieu de 15). Quant au temps de stabilisation de la mesure, il ne dépassa plus guère 5 minutes.

Des essais de variation brutale de la vitesse furent également entrepris, afin de tester l'aptitude du gravimètre à contrer un échelon d'Eötvös. L'expérience montra cette fois un temps de stabilisation plus conséquent, mais acceptable, de 10 minutes.

Enfin, le système de compensation fut également testé dans le cas de petits écarts du bâtiment autour d'une route moyenne. Les résultats furent là aussi satisfaisants.

En conclusion, le système de compensation de manoeuvre du gravimètre fut jugé très efficace, avec un temps de stabilisation de la mesure toujours inférieur à 10 minutes. Le seuil de compensation des accélérations parasites fut provisoirement fixé à 0,05 m/s<sup>2</sup>.

### B.2.5. Filtrage de la pesanteur

Afin de déterminer le retard de restitution de la pesanteur des différents filtres de Bessel proposés par le constructeur, une série de mesures selon des trajets opposés fut réalisée, complétée de l'étude de la réponse des filtres à un échelon (test de la bille).

La simulation sur ordinateur de la réponse de chaque filtre à une rampe et un échelon, permit d'établir parallèlement leurs caractéristiques théoriques. Les valeurs calculées furent corroborées par les mesures empiriques.

### B.2.6. Choix des filtres

Parmi les six filtres de Bessel proposés par le constructeur, l'expérience montra que seuls les filtres 2, 3 et 4 étaient réellement efficaces. La doctrine d'emploi des filtres fut fixée comme suit :

- |                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| - mer calme (inférieure à 3) : | filtre 2  |
| - mer agitée (état 4) :        | filtre 3  |
| - mer supérieure à 4 :         | filtre 4  |
| - mesures à quai :             | filtre 3. |

### B.3. CAMPAGNE GUYANE 1992

#### B.3.1. Présentation

La campagne Guyane 1992 permet d'adopter définitivement le coefficient de calibration, de contrôler la dérive et d'achever la comparaison avec le gravimètre KSS 5. Les conditions de mer clémentes, aussi bien à l'aller qu'au retour, ne permirent ni d'approfondir l'étude du système de compensation de manœuvre ni d'affiner la règle d'ajustement du seuil de compensation en fonction de l'état de la mer. Une évaluation de la pesanteur corrigée de l'accélération d'Eötvös par le gravimètre fut effectuée, par comparaison au traitement classique effectué en temps différé.

#### B.3.2. Coefficient de calibration

A l'instar de la campagne Açores 1992, une première escale aux Canaries cinq jours seulement après le départ de Toulon permit de vérifier le coefficient de calibration, provisoirement adopté à la valeur de 0,9371. Après prise en compte de la dérive globale déterminée au retour à Toulon (cf. § B.3.3), le calcul du coefficient correctif donna le résultat suivant :

$$k = 1 - 1,5 \cdot 10^{-4}$$

ce qui conduisit à adopter définitivement le coefficient de calibration de 0,9371.

La stabilité et la linéarité de la chaîne de mesure furent vérifiées par le test de calibration, consistant à poser sur le capteur une masse additionnelle et à mesurer la variation de pesanteur apparente.

Suite au test de la parabole effectué à l'issue des mesures de référence à Toulon, au départ de la campagne, les valeurs des deux digits relatifs au roulis et au tangage furent fixés à +1 et -1. A partir de Fort-de-France, le test de la parabole mit en évidence un dérèglement de la table en tangage : il fallut imposer une valeur de digit égale à -4 pour rétablir la verticalité de la table selon cet axe. Ce décalage fut confirmé à Port of Spain, puis à Dégrad des Cannes.

#### B.3.3. Dérives observées

Les mesures à quai à Toulon au retour de campagne permirent d'évaluer la dérive globale du gravimètre sur 99,5 jours, soit 8,9 mGal.

Les dérives observées durant la mission sont récapitulées dans le tableau suivant :

Date	Trajet	Dérive (mGal/jour)
13 au 24/09	Toulon - Santa Cruz	0,08
24/09 au 11/10	Cruz - Fort-de-France	0,08
11 au 15/10	Fort-de France - Port of Spain	0,06
15/10 au 06/11	Port of Spain - Dégrad des Cannes	0,06
06/11 au 12/12	Dégrad des Cannes - Funchal	0,13
12 au 21/12	Funchal - Toulon	0,02

La dérive globale du gravimètre était donc supérieure à celle constatée durant la campagne Açores 1992, mais restait compatible avec la dérive maximale annoncée dans la notice constructeur.

#### B.3.4. Comparaison des gravimètres KSS 5 et KSS 31

La précision du gravimètre KSS 5 était initialement annoncée à 1 mGal. Cependant, eu égard à l'âge de l'appareil et aux débullages de plus en plus fréquents, la précision n'était sans doute plus que de l'ordre de 2 mGal. La précision du KSS 31 était annoncée à 2 mGal par le constructeur, "sans rejeu des données". De manière générale, compte tenu des accélérations parasites inhérentes au milieu marin (et plus ou moins maîtrisées), la précision de la gravimétrie en mer ne peut raisonnablement pas être meilleure que 3 mGal.

La comparaison des deux appareils aboutit à un écart presque systématique : la pesanteur mesurée par le KSS 5 était toujours inférieure à celle du KSS 31, d'une valeur comprise entre 0 et 5 mGal et en moyenne de 3 mGal. Cet écart moyen de 3 mGal n'était pas inquiétant en soi puisqu'il était compatible avec la précision cumulée des deux appareils. Seul le caractère systématique de l'écart était quelque peu troublant. En effet, par construction, les deux pesanteurs devaient être identiques, aux bruits de mesure près, peu de temps après le rattachement à quai et peu de temps également avant d'arriver à quai (mesures d'interpolation recalées à quai par rattachement à des points de pesanteur connue), ce qui n'était visiblement pas le cas.

Les planches B.1 et B.2 sur lesquelles sont comparées les deux anomalies à l'air libre sur deux profils effectués durant la campagne Açores 1992, orientés est ouest et longs de 130 km illustrent ce phénomène. Les observations durant le transit aller de la campagne Guyane 1992 confirmèrent l'écart systématique entre les deux gravimètres (planche B.3).

Ni le contrôle du coefficient de calibration du KSS 5 ni la révision de la procédure de traitement de la gravimétrie et du logiciel afférent ne mirent en évidence de défaut permettant d'interpréter cet écart systématique.

#### B.3.5. Mesures annexes

Le constructeur proposait en sortie numérique la pesanteur corrigée de l'accélération d'Eötvös, calculée au moyen des informations de navigation transmises par le réseau

Hydroboucle. Afin d'examiner l'utilité éventuelle de cette option, une série de mesures fut réalisée au large de Madère, dans une zone à gradient de pesanteur faible.

Des profils orientés est ouest et nord sud furent réalisés, avec archivage à cadence élevée (20 s) des données de pesanteur brute et corrigée. Les planches B.4 et B.5 représentent les deux pesanteurs corrigées, en temps réel par le gravimètre et en temps différé, par le logiciel de traitement. Elles montrent que les écarts entre les deux méthodes sont presque tolérables, quand la tenue de profil est excellente. Dans le cas d'une localisation et d'un suivi de profil de qualité, on pourrait presque concevoir d'archiver directement la pesanteur corrigée. Cette procédure ne permettrait cependant pas le rejeu des valeurs de pesanteur, qui peut s'avérer nécessaire en raison de variations imprévues de cap et de vitesse ou d'une dégradation sensible de la localisation (passage du mode différentiel au mode naturel en localisation GPS, par exemple) ou d'un suivi de profil médiocre.

### B.3.6. Fonctionnement du système

Aucune avarie du gravimètre KSS31 ne se produisit pendant la campagne et aucun problème de fonctionnement apparent ne fut relevé. Les différents tests effectués en escale furent toujours positifs. Une coupure d'électricité accidentelle de plusieurs heures survint durant l'acquisition à quai à Fort-de-France. Le passage sur batteries fonctionna correctement pendant une heure. Le système s'arrêta automatiquement, ne laissant en fonction que le chauffage du capteur. Au retour de l'alimentation principale, la remise en route s'effectua simplement en validant le bouton "Alarm Reset"; les batteries se rechargèrent normalement<sup>1</sup>. L'incident ne perturba pas les mesures de pesanteur.

### B.4. OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES DE 1993 ET 1994

Le gravimètre KSS 31 fut stoppé complètement le 23 décembre 1992 pour la durée de la période d'indisponibilité du *D'Entrecasteaux*. En prévision du levé qui devait être réalisé au sud-est de la Sardaigne à partir du 5 mai, le gravimètre fut remis en fonction le 30 avril 1993. Les mesures qui suivirent mirent en évidence deux types d'anomalies : des sauts brutaux de la mesure GV et une dérive initiale excessive, dépassant 0,5 mGal/jour pour se stabiliser ensuite à une valeur voisine de 0,1 mGal/jour. Un contrôle par le constructeur ne révéla aucune défaut. Les anomalies observées étaient simplement dues à l'arrêt du pré-chauffage. Lors de la montée en température après la remise en fonction du pré-chauffage, le capteur avait accumulé des contraintes mécaniques dont la libération était aléatoire et engendrait les sauts observés. Pour éviter ce phénomène, il aurait fallu tapoter légèrement l'enceinte du capteur pendant la phase de stabilisation thermique. Le constructeur recommanda de ne pas stopper le pré-chauffage, sauf nécessité absolue. On prit donc les dispositions nécessaires pour assurer en permanence l'alimentation électrique du pré-chauffage lors des périodes d'entretien ou de gardiennage suivantes. Les mesures effectuées ensuite en 1993 puis en 1994 furent satisfaisantes, mais la dérive resta néanmoins assez forte (0,1 mGal/jour).

<sup>1</sup> L'autonomie du système de chauffage du capteur sur batterie est de 24 heures. Il faut éviter de décharger complètement ces batteries.

## Liste des planches

Planche B.1 : comparaison des mesures de pesanteur KSS 31/KSS 5 (nord Açores)

Planche B.2 : comparaison des mesures de pesanteur KSS 31/KSS 5 (nord Açores)

Planche B.3 : comparaison des mesures de pesanteur KSS 31/KSS 5 (transit Gibraltar-Canaries)

Planche B.4 : évaluation de la correction d'Eötvös instrumentale (profil sud-nord)

Planche B.5 : évaluation de la correction d'Eötvös instrumentale (profil est-ouest)

Planche B.1. Comparaison des mesures de pesanteur KSS31/KSS5 (anomalie à l'air libre). Zone : nord Açores.

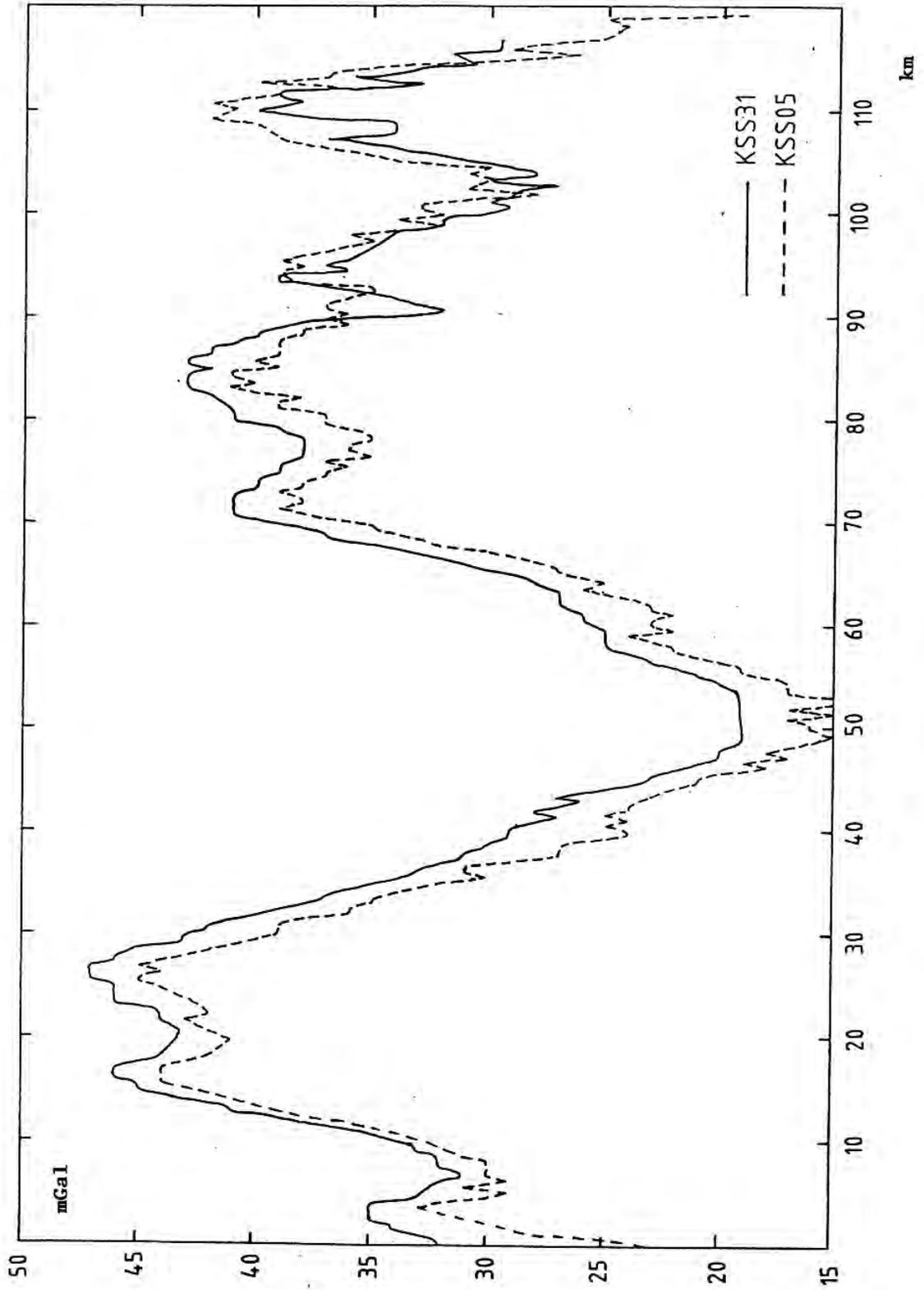
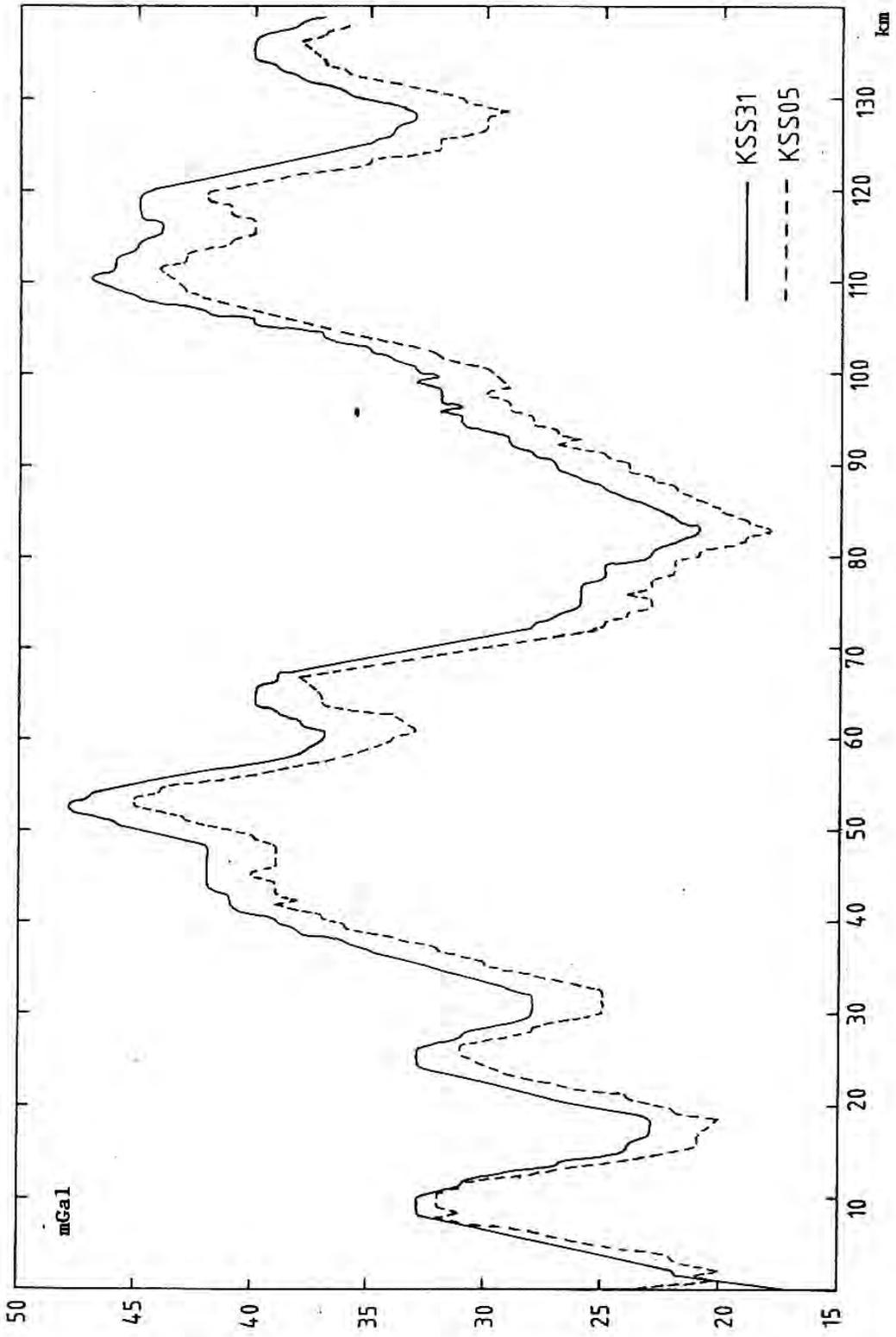


Planche B.2. Comparaison des mesures de pesanteur KSS31/KSS5 (anomalie à l'air libre). Zone : nord Açores.



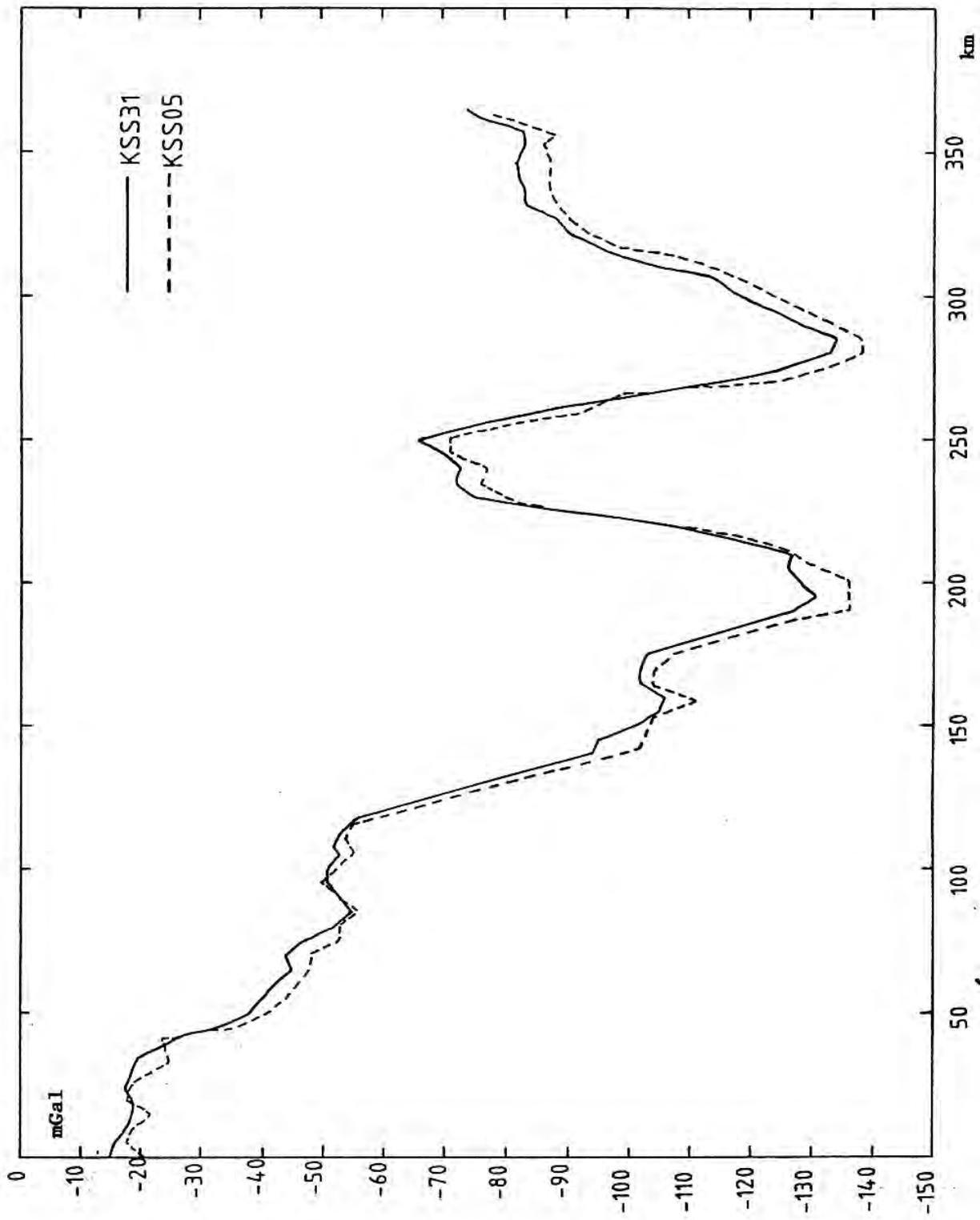
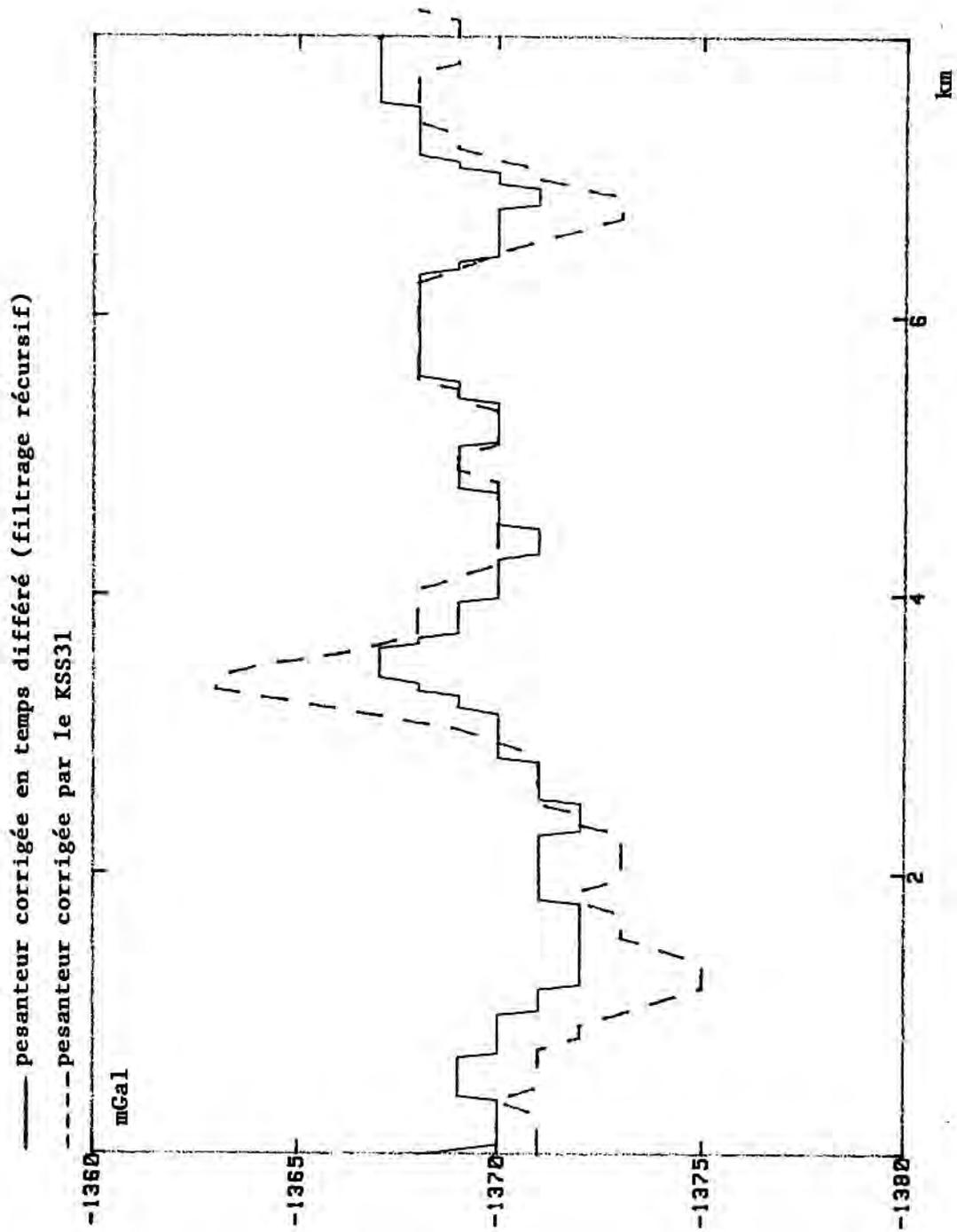


Planche B3. Comparaison des mesures de pesanteur KSS31/KSS5 (anomalie à l'air libre). Transit Gibraltar - Canaries.

Planche B.4. Evaluation de la correction de la correction d'Eötvös instrumentale. Profil sud - nord.



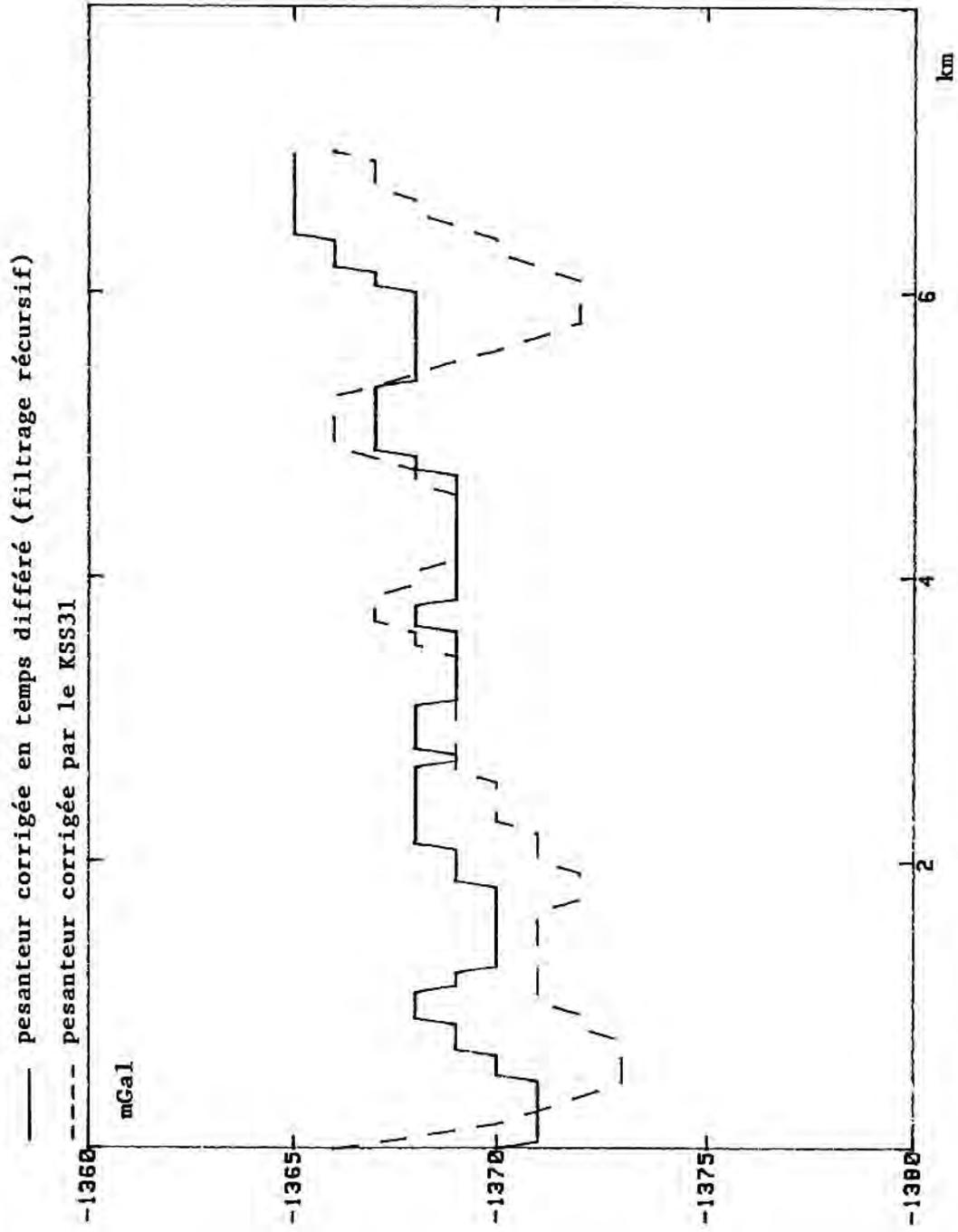


Planche B.5. Evaluation de la correction d'Eötvös instrumentale. Profil est - ouest.

## ANNEXE C

### ÉVALUATION DU MAGNETOMÈTRE SMM92

Ingénieur des études et techniques d'armement

Erwan L'ARVOR

#### C.1. GÉNÉRALITÉS

En vue du renouvellement du parc de magnétomètres remorqués en service dans les missions du SHOM, l'EPSHOM avait acquis en 1992 un magnétomètre prototype SMM92 de Thomson-Sintra - Géomag, dérivé d'un magnétomètre GEM GSM19M.

Le magnétomètre SMM92 se composait de trois éléments : la console qui permettait l'initialisation des paramètres et la visualisation des mesures sur un écran à cristaux liquides, le câble électro-porteur, et le poisson remorqué dans lequel se trouvait toute l'électronique de mesure. Un enregistreur analogique pouvait être connecté à la console.

L'évaluation du magnétomètre fut confiée à la MOM à l'occasion de la campagne Antilles-Guyane de 1992 (cf. chapitre 3) puis de travaux hydrographiques au sud-est de la Sardaigne (cf. chapitre 5). Cette évaluation fut perturbée par diverses anomalies ou avaries et par l'indisponibilité imprévue et prolongée du *D'Entrecasteaux* en 1993. Aucun essai de longue durée ne put être réalisé et l'emploi du magnétomètre en vedette restait à évaluer.

#### C.2. CHRONOLOGIE

9 septembre 1992	: expédition du matériel par l'EPSHOM
17 septembre 1992	: appareillage du <i>D'Entrecasteaux</i>
18 octobre 1992	: arrivée en Guyane
21 octobre 1992	: essais à bord du <i>D'Entrecasteaux</i> (mauvais fonctionnement)
20 novembre 1992	: réception de la documentation détaillée
27 novembre au 1 <sup>er</sup> décembre 1992	: reprise des essais à bord du <i>D'Entrecasteaux</i> (mauvais fonctionnement)
20 décembre 1992	: retour du <i>D'Entrecasteaux</i> à Toulon
28 décembre 1992	: expédition du matériel vers l'EPSHOM
janvier-mars 1993	: contrôle par le constructeur et par l'EPSHOM
31 mars 1993	: réception du matériel par la MOM
11 mai 1993	: essais à bord du <i>D'Entrecasteaux</i> (défaut sortie analogique)
13 mai 1993	: essais d'acquisition sur réseau Hydroboucle
17 mai 1993	: transfert sur la <i>Gazelle</i>
19 mai 1993	: essais à bord de la <i>Gazelle</i> à quai (défaut sortie analogique)
28 mai 1993	: intervention du constructeur à Toulon

2 juin 1993	: appareillage de la <i>Gazelle</i> pour la Sardaigne
3 juin 1993	: essais à bord de la <i>Gazelle</i> à la mer (bon fonctionnement)
7 juin 1993	: mise en œuvre en sondage régulier (bon fonctionnement) poisson endommagé lors de la récupération en fin de profil.
28 juin 1993	: expédition du matériel vers l'EPSHOM

#### C.3. ESSAIS A BORD DU *D'ENTRECASTEAUX*

Les essais de 1992 furent infructueux. Un fonctionnement correct put généralement être obtenu sur le pont mais, après mise à l'eau du poisson, la console restait bloquée en mode écran principal, sans acquisition de mesure possible. Les investigations entreprises après réception de la documentation appropriée conduisirent à suspecter le câble électro-porteur. Le matériel fut renvoyé à l'EPSHOM à l'issue de la campagne.

Les mesures prises par le constructeur, après expertise, furent les suivantes :

- remplacement des condensateurs variables du bloc d'émission HF par des condensateurs fixes, pour améliorer la tenue aux vibrations ;
- réfection du connecteur du câble électro-porteur côté poisson.

Les essais de 1993 furent perturbés par les avaries mécaniques du *D'Entrecasteaux*. Un essai d'une heure put néanmoins être effectué en mai ; le fonctionnement fut satisfaisant et l'acquisition des données par le réseau Hydroboucle put être validée. Deux anomalies de fonctionnement furent néanmoins constatées :

- fluctuations anormales de la température mesurée,
- impossibilité de maîtriser la sortie analogique vers un enregistreur externe.

La mise en œuvre du poisson à bord du *D'Entrecasteaux* à partir du portique arrière ne posa pas de problème particulier. On nota simplement que l'angle du câble électro-porteur au niveau du connecteur côté poisson était proche de 90° au moment de la mise à l'eau ou de la sortie de l'eau, ce qui pouvait provoquer une usure rapide du câble.

#### C.4. ESSAIS A BORD DE LA *GAZELLE*

##### C.4.1. Essais à quai

Compte tenu de la prolongation de l'indisponibilité du *D'Entrecasteaux* et de ses vedettes, le matériel fut transféré à bord de la *Gazelle*. Une intervention de deux techniciens du constructeur permit d'obtenir un fonctionnement correct de la sortie analogique, sans que les causes du blocage constaté précédemment, à bord du *D'Entrecasteaux* puis de la *Gazelle*, fussent clairement élucidées. Il s'agissait peut-être d'une saturation de la sortie due à l'instabilité du champ mesuré.

#### C.4.2. Essais à la mer

La durée totale des essais effectués ne dépassa pas six heures.

Contrairement aux bâtiments du SHOM, le BSR *Gazelle* n'était pas équipé d'un portique oscillant arrière mais d'une bigue fixe. Pour permettre la mise à l'eau du poisson, un dispositif utilisant un palan, une poulie et des faux bras fut mis en place sur la bigue. Le câble électro-porteur était installé sur le treuil Martec de la MOM, normalement prévu pour la mise en œuvre du sondeur latéral. Pendant la mise à l'eau et la récupération du poisson, la vitesse du bâtiment ne devait pas excéder 4 nœuds. En effet, le poisson, ayant une faible flottabilité, risquait, pour des vitesses supérieures, d'être pris dans les remous du sillage.

Les nombreuses mises à l'eau et récupérations du poisson montrèrent que la manipulation du poisson SMM92 était plus délicate que celle de la sonde Barringer DMS123. Le poisson SMM92 était plus encombrant que la sonde Barringer et dès que la mer était bien formée (mer 3), la manœuvre pouvait s'avérer périlleuse pour le matériel surtout lorsque le poisson était en pendant sous la bigue. Ainsi, lors d'une récupération en fin de profil, le poisson vint heurter le davier. Sous le choc, pourtant peu violent, un des ailerons arrière se brisa. Cet incident entraîna l'arrêt des essais, faute de rechange disponible pour la partie arrière du poisson.

L'enveloppe du câble était fragile. Il fallait éviter les angles vifs et utiliser une poulie avec un réa suffisamment profond pour que le câble ne risquât pas de sortir de la gorge et de se coincer entre le réa et l'armature de la poulie. L'enveloppe du câble fut abîmée lors d'une manipulation mais une réparation de fortune put être effectuée avec du ruban isolant auto-soudable.

On nota aussi une mauvaise tenue de la peinture du corps du poisson.

L'emploi de la console était aisé et le menu proposé était simple et convivial. Toutefois le paramètre "Sensibilité en Volt" eût mérité d'être explicité clairement puisque c'était lui qui définissait la correspondance nT/V pour la sortie analogique (plage en tension fixée à +/- 5 V).

L'affichage à l'écran était insuffisant pour l'exploitation des mesures. Il était nécessaire d'associer un enregistreur analogique pour le contrôle du bon fonctionnement et le traitement, en temps différé, des mesures acquises via le réseau Hydroboucle. Contrairement au magnétomètre Barringer, le changement de sous-gamme n'était pas automatique. Lorsque la mesure sortait de l'intervalle défini lors de l'initialisation des paramètres, l'affichage sur écran LCD et l'enregistreur analogique se bloquaient à la valeur inférieure ou supérieure de l'intervalle. Pour visualiser à nouveau les mesures, il fallait reprogrammer la console ce qui nécessitait un arrêt de l'acquisition.

Les valeurs de magnétisme mesurées par le SMM92 présentaient une grande stabilité. Un passage sur une épave permit d'apprécier la résolution de l'appareil. Avec une longueur de câble égale à la longueur du bâtiment, la fluctua-

tion observée des mesures à bord de la *Gazelle* n'excédait pas 2 nT. On observa par contre, outre les fluctuations du capteur de température constatées à bord du *D'Entrecasteaux*, que le capteur de pression délivrait une mesure entachée de fluctuations de l'ordre de 3 m, pour une vitesse et un cap du du bâtiment stables et une mer voisine de l'état 0. La valeur indiquée lorsque le poisson était en surface était voisine de 3 m. L'étalonnage du capteur ne fut pas vérifié à quai.

#### C.5. CONCLUSION

Les divers incidents rencontrés au cours des essais ne permirent pas d'effectuer une évaluation complète sur une longue durée. Un premier bilan fut néanmoins dressé pour orienter la suite de l'évaluation :

- câble :

- \* le câble est léger et facile à manipuler, mais son enveloppe est fragile.
- \* la simplicité du système de connexion du câble sur le poisson est un avantage important mais la jonction entre le câble et le connecteur côté poisson semble fragile compte tenu de la flexion importante observée à la mise à l'eau et à la récupération du poisson.

- poisson :

- \* la longueur du poisson risque d'être pénalisante pour la mise en œuvre en vedette ou sur bâtiment non doté d'un portique oscillant adapté.
- \* une protection du corps par une coquille en caoutchouc est à étudier pour amortir les chocs éventuels. Dans la configuration actuelle, il faut prévoir des rechanges pour la partie arrière et étudier un dispositif adapté pour maintenir le poisson écarté de la coque lors de la mise à l'eau et de la récupération.

- console :

- \* la console présente l'avantage d'être peu encombrante et "rackable".
- \* la valeur de l'origine de l'échelle d'intensité du champ magnétique de l'écran graphique devrait être affichée en permanence. Les gammes disponibles pour la visualisation de l'intensité ne sont pas définies clairement.
- \* la gestion du rafraîchissement d'écran est à revoir (prévoir une fenêtre temporelle glissante ou un renouvellement par moitié plutôt qu'un effacement complet de l'écran).
- \* un changement automatique de sous-gamme est à prévoir sur l'écran graphique et sur la sortie analogique.

- qualité des mesures :

- \* la résolution observée est de l'ordre de 2 nT pour une ligne filée égale à la longueur du bâtiment (*Gazelle*) et de 1 nT pour une ligne filée égale à 1,5 fois la longueur du bâtiment (*D'Entrecasteaux*). Il reste à vérifier la résolution annoncée (0,2 à 0,3 nT), pour une ligne filée égale à 3 fois la longueur du bâtiment porteur.
- \* les capteurs auxiliaires (température et pression) ne sont pas suffisamment fiables ; l'intérêt du capteur de température n'est pas évident.

## ANNEXE D

### COURANTOMÈTRES DE COQUE A EFFET DOPPLER

Ingénieur des études et techniques d'armement  
Serge ALLAIN

#### D.1. GÉNÉRALITÉS

Les profileurs de courant acoustiques à effet Doppler (Acoustic Doppler Current Profilers ou ADCP) 300 kHz et 75 kHz furent installés lors de l'IPER 1994 du *D'Entrecasteaux* en lieu et place du sondeur grand fond stabilisé de type Edo. La recette des matériels fut acquise au cours de la seconde semaine de juin 1994.

Aucune évaluation approfondie ne fut réalisée quant à la qualité des données acquises. Une évaluation qualitative fut effectuée au passage de zones où la présence de courant fort est relativement bien connue telles que le détroit de Gibraltar et le passage du front et courant des Açores.

#### D.2. PRÉSENTATION

Les ADCP de la société américaine RDI sont constitués chacun de quatre transducteurs placés à 90° les uns des autres et qui émettent en rayons convergents dans les quatre directions. Les deux profileurs sont mis en fonction indépendamment l'un de l'autre. Ils sont baignés dans de l'eau douce et séparés du milieu marin par une fenêtre acoustique installée, après une étude préalable de la DCN Brest, sur le sabot modifié de la base Edo.

L'orientation globale des transducteurs par rapport à la ligne de foi du bâtiment est à 45°. Cette orientation fut fixée en atelier par rapport à l'axe de la plaque support des transducteurs. La MOM contrôla en bassin le parallélisme de la ligne joignant les centres de chacun des deux ensembles de transducteurs et de la ligne de foi du navire.

Aucune centrale d'attitude ne fut installée. En conséquence, aucune compensation de roulis et de tangage n'est réalisée. Chaque base est reliée à un meuble de commande et de contrôle, lui même lié par une liaison GPIB à un ordinateur PC sur lequel sont visualisées et stockées les données.

#### D.3. PERFORMANCES

L'ADCP 300 kHz permet d'acquérir des données courantométriques de l'immersion de la base (4 m) à une immersion maximale d'environ 220 m et ce à toutes vitesses du bâtiment.

L'ADCP 75 kHz permet théoriquement, dans les mêmes conditions, d'acquérir des données jusqu'à 700 m environ. En réalité, ce profileur n'acquiert des données cohérentes qu'entre 100 m et 700 m d'immersion et pour des vitesses du bâtiment limitées à 8 nœuds. Cette limitation des performances viendrait de la déformation de la fenêtre acoustique à plus grande vitesse.

#### D.4. LOGICIELS LIÉS AUX PROFILEURS ADCP

Plusieurs logiciels de test, de configuration, d'acquisition et de visualisation, sont fournis par la société RDI.

##### - logiciel de test *VMTEST*

Le logiciel *VMTEST* met en fonction une batterie de tests qui contrôle la bonne santé globale du système (liaison, transducteurs, etc.).

##### - logiciel de configuration *NAVCFG*

Le logiciel *NAVCFG* permet de choisir le type de liaison entre le PC et le récepteur GPS (liaison série, vitesse de transmission, choix du port série, etc.). Les éléments du message GPS qui intéressent le logiciel d'acquisition, y sont sélectionnés. Enfin, *NAVCFG* fixe la durée de filtrage en localisation (300 s en mode naturel, 0 s en mode différentiel).

##### - menu de logiciels *Transect*

*Transect* englobe un certain nombre de logiciels (*Communication, Calibration, Planning, Acquire, Playback*). Les trois premiers permettent de fixer les autres éléments de la configuration nécessaires à la définition complète du système tels que l'immersion des bases, la salinité de l'eau où baignent ces bases, le coefficient d'absorption, l'orientation des transducteurs, etc. On y définit aussi les paramètres propres à chaque utilisateur tels que le nom de baptême des fichiers, la durée d'échantillonnage des données courantométriques, le choix des types de fichiers enregistrés.

*Transect* comprend le logiciel de lancement d'acquisition *Acquire* et le logiciel de rejeu et de visualisation des données acquises *Playback*.

Les fichiers qui peuvent être enregistrés lors des phases d'acquisition sont de trois types :

- les fichiers de données brutes (*Rawdata*) sont les enregistrements des signaux acquis par chacun des quatre transducteurs d'une base. Ces fichiers sont de loin les plus volumineux et demandent en conséquence un espace disque disponible important (ou un nombre de disquettes conséquent).
- les fichiers navigation (*Navdata*) sont les enregistrements des données envoyées par le récepteur GPS et moyennées à la cadence désirée.
- les fichiers de données moyennées (*Averagedata*) sont les enregistrements des données courantométriques compilées, issues des données brutes et des données navigation. En fonctionnement de routine, seuls ces enregistrements sont conservés et traités en raison du volume de stockage trop important nécessaire aux enregistrements des données brutes.

Aucun traitement des données n'est effectué a posteriori à bord du bâtiment.

## ANNEXE E

### ENGIN REMORQUÉ SEA SOAR

Ingénieur des études et techniques d'armement  
David MOREAU

#### E.1. GÉNÉRALITÉS

L'IPER 94 du BO *D'Entrecasteaux* fut mise à profit pour installer toute l'infrastructure permettant l'utilisation d'un poisson remorqué type Sea Soar. La recette du poisson ainsi que celle du système de mise à l'eau conçu par la DCN Toulon furent acquises avec quelques réserves au cours de la deuxième semaine du mois d'août, juste avant le départ du *D'Entrecasteaux* pour la phase 94-2 de la campagne Sémaphore (cf. chapitre 6). Cette annexe présente le système Sea Soar muni de ses capteurs, tel qu'il fut utilisé pendant cette campagne.

#### E.2. PRÉSENTATION

Le Sea Soar, fabriqué par la société britannique Chelsea Instruments, est un poisson remorqué conçu pour transporter des instruments de mesures à des profondeurs variant entre 0 et 350 m. Son principe de fonctionnement est astucieux : lorsqu'il est remorqué, son hélice, située à l'arrière, fournit de l'énergie à une pompe qui génère une pression hydraulique. Cette pression est injectée vers une valve de contrôle du fluide. Cette valve est commandée par un signal issu de l'unité de commande et répartit cette pression vers un piston. Le mouvement du piston en avant ou en arrière modifie l'angle d'inclinaison des ailes du poisson et le poisson plonge ou remonte.

Le système Sea Soar comprend :

- un poisson muni d'un capteur de pression (planche E.1),
- un câble électroporteur comportant sept conducteurs et une armature,
- un dynamomètre qui mesure la force exercée sur le câble,
- une unité de surface composée de :
  - \* un contrôleur qui commande le poisson,
  - \* une baie support des indicateurs.

Les capteurs utilisés permettent de recueillir en temps réel des informations de profondeur, température, conductivité et de teneur en chlorophylle A. Les capteurs CTD sont associés à une bathysonde Seabird ; un fluorimètre Aquatrack de Chelsea permet de mesurer la teneur en chlorophylle A<sup>1</sup>. La bathysonde recueille les données sous forme numérique dans une chaîne hexadécimale de 18 caractères. Les quatre premiers sont réservés aux données de pression, les quatre suivants aux données de température, quatre autres aux données de conductivité et les six derniers aux données de teneur en chlorophylle A. Les données sont envoyées sur un ordinateur PC par une liaison type RS232 avec une cadence de 600 bauds.

Le logiciel d'acquisition des données sur ordinateur PC se nomme Seasave. La configuration interne de la bathysonde

est réalisée à l'aide du programme Seasoft.con. Au cours d'un changement de piles<sup>2</sup> cette configuration avait été effacée.

Le fluorimètre est fixé dans le fond du poisson, juste derrière un trou de 5 cm de diamètre réalisé sur l'avant bas du poisson afin d'améliorer l'écoulement de l'eau sur le capteur. La bathysonde Seabird quant à elle, est installée au plus haut du poisson laissant ainsi déborder ses capteurs.

#### E.3. CÂBLAGE

Le schéma de liaison entre le poisson et le PC scientifique est précisé sur la planche E.2. La bathysonde Seabird, le système hydraulique et le capteur de pression du poisson sont liés au câble de traction par huit conducteurs (les sept brins du câble et l'armature). Une soudure étanche est réalisée à cet effet ; elle nécessite une journée de travail (reprise d'effort et fixation de la queue de vache comprises). La planche E.3 présente le logement des capteurs et leur connexion dans le poisson.

#### E.4. UNITÉS DE COMMANDE ET DE CONTRÔLE

Deux unités de commande et de contrôle sont associées au poisson.

##### E.4.1. Unité de contrôle

Elle présente plusieurs afficheurs qui indiquent les différents éléments qui intéressent directement la conduite du Sea Soar. Le plus à droite indique la profondeur réelle (Depth) du poisson par l'intermédiaire du capteur de pression associé au poisson. Celui du milieu indique la tension du câble (cable strain) mesurée par le capteur de contrainte. Cette tension doit rester inférieure à 1 200 daN. Elle se situe de façon générale entre 100 et 900 daN.

Un enregistreur graphique situé à gauche inscrit trois signaux (planche E.4) :

- le signal de commande envoyé au système par le meuble de commande (tracé vert),
- le trajet réel du poisson (tracé rouge)
- la tension du câble (tracé bleu)

Un afficheur lumineux situé au dessus de l'enregistreur répète ces informations.

##### E.4.2. Unité de commande

La seconde unité placée sur la partie inférieure est le contrôleur proprement dit, qui permet de commander la course du poisson. Sa face avant (planche E.5) comporte huit éléments :

- un vernier pour régler la vitesse de remontée (UP),
- un vernier pour régler la vitesse de descente (DOWN),
- un vernier pour régler l'immersion maximale désirée (MAX),
- un vernier pour régler l'immersion minimale désirée (MIN),
- un indicateur d'inclinaison des ailes,
- un vernier pour régler le temps de réponse des commandes (LOOP),

<sup>1</sup> Le principe du capteur de fluorescence est le suivant : une source de rayons ultraviolets excite certaines substances présentes dans l'eau qui dégagent ainsi une intensité lumineuse. Cette intensité est comparée à la source et le rapport est converti en volts.

<sup>2</sup> L'autonomie des piles fournies par l'EPSHOM était de six heures environ dans cette configuration.

- un vernier pour régler la position horizontale des ailes qui varie selon ce que contient le poisson (BIAS),
- un vernier pour régler manuellement, en mode *override*, l'inclinaison des ailes.

## E.5. MODE DE FONCTIONNEMENT

### E.5.1. Principes

Il existe quatre modes différents de fonctionnement :

- le mode externe (non accessible),
- le mode normal/manuel (le poisson doit naviguer autour d'une valeur d'immersion maximale fixée),
- le mode normal/ondulation,
- le mode *override*,

Seuls ces deux derniers modes de fonctionnement furent utilisés.

### E.5.2. Mode normal/ondulation

La trajectoire idéale du poisson serait un créneau en dents de scie variant entre 0 et 500 m de profondeur et possédant une vitesse de descente et de remontée égale à 1,5 m/s. Avec une longueur de câble de 500 m filée (dont 440 m carénés) et une vitesse du bâtiment fixée à 7,5 nœuds, les réglages permirent d'obtenir une oscillation régulière du poisson entre 10 et 380 m, la vitesse de descente étant inférieure à 1,8 m/s.

Le mode ondulation est accessible en sélectionnant le mode *undulate* sur le bouton situé le plus en bas à gauche de la face avant de l'unité de commande. Il faut régler ensuite les quatre verniers UP, DOWN, MAX et MIN. Ces boutons ne représentent aucune valeur physique, et il faut donc ne se fier qu'aux afficheurs de l'unité de contrôle pour régler l'immersion.

### E.5.3. Mode *override*

Ce mode, lorsqu'il est sélectionné, permet de commander directement la montée ou la descente du poisson par l'intermédiaire du vernier situé au dessus du commutateur sélectionnant les différents modes. Ce vernier est très sensible. Une faible variation des valeurs affichées sur le vernier peut provoquer une forte inclinaison des ailes, donc une contrainte importante sur le câble (celle-ci ne doit pas dépasser 1200 daN). La valeur de maintien à une profondeur donnée du poisson se situe aux environs de la graduation 500. Une valeur inférieure à 500 commande la remontée du poisson ; une valeur supérieure à 500 commande la descente. La valeur 480 correspond à une remontée d'urgence.

Un galvanomètre (unité  $\mu A$ ) indique si le poisson est en phase de plongée ou en phase de remontée. La position de l'aiguille indique la position des ailes (par exemple 40  $\mu A$  correspond à la butée haute).

## E.6. RÉGLAGES

### E.6.1 Procédure de réglage

Le vernier BIAS permet de régler le 0 du galvanomètre, c'est à dire la position d'équilibre du poisson. La valeur correspondant à la configuration Seabird + fluorimètre est de 503. Le vernier LOOP permet de régler le temps de réponse des commandes. La valeur adoptée est de 908. Si l'amplitude d'immersion est grande il faut diminuer le temps de réponse ; si l'amplitude diminue alors il vaut mieux augmenter à 920 par exemple.

Le vernier MAX est réglé sur la valeur maximale, soit 999

Ces paramètres étant définis, il faut ensuite fixer la vitesse du bâtiment et la longueur de câble filée. Enfin, pour obtenir une montée et une descente régulières sans que le poisson ne sorte de l'eau lorsqu'il arrive en surface, il faut jouer avec les verniers MIN, UP, et DOWN.

### E.6.2 Réglage type pendant la phase 94-2 de la campagne Sémaphore

Longueur de câble filée : 500 m, dont 440 m carénés  
 Vernier BIAS : 503  
 Vernier LOOP : 908

## E.7. MISE EN ŒUVRE

A la mise à l'eau du poisson, une équipe de sept personnes minimum est nécessaire :

- personnel bord :
  - 2 manœuvriers (autour du portique),
  - 1 mécanicien (à la commande du portique et du touret) ;
- personnel de l'unité hydrographique :
  - 1 manœuvrier (autour du portique),
  - 2 opérateurs au système de trancannage,
  - 1 opérateur minimum pour le remontage éventuel des carènes sur le câble.

A la remontée du poisson, un opérateur supplémentaire est nécessaire pour plaquer les carènes du câble sur le touret.

Vitesse D'Entrecasteaux (loch - nœuds)	UP	DOWN	MAX	MIN	Résultats
7,5	220	174	996	50	yoyo entre 7 et 370 m
7,5	220	172	996	70	yoyo entre 10 et 375 m
7,8	226	174	996	55	yoyo entre 5 et 350 m
8,0	230	172	996	65	yoyo entre 5 et 350 m mais léger palier pendant la montée

Les dispositions retenues pour la mise à l'eau et la récupération du poisson, par mer belle, étaient les suivantes :

- vitesse de remorquage :
  - \* 3 nœuds pour la mise à l'eau et la récupération
  - \* 6 nœuds pour l'enroulement et le déroulement du câble
- portique :
  - \* brassé à l'extérieur pour la mise à l'eau et la récupération du poisson
  - \* brassé à l'intérieur pour le remorquage et la récupération du câble
  - \* position intermédiaire pour le déroulement du câble, selon l'état de la mer
- poisson :
  - \* ailes en position "remontée" ( $20 \mu A$  sur le galvanomètre) ce qui permet de maintenir le poisson au voisinage de la surface tant que la vitesse de remorquage n'est pas inférieure à 6 nœuds.

## E.8. RÉSULTATS

L'utilisation du système Sea Soar pendant la phase 94-2 de la campagne Sémaphore ne souleva pas de problèmes particuliers. Le réglage du cycle de navigation du poisson fut bien maîtrisé. Huit séances de remorquage de six heures environ furent effectuées avec succès.

Quelques modifications du système de mise à l'eau furent néanmoins demandées à DCN Toulon pour faciliter la manipulation du poisson.

## Liste des planches

Planche E.1 : le poisson Sea Soar

Planche E.2 : schéma de la liaison entre le poisson Sea Soar et le PC scientifique du *D'Entrecasteaux*

Planche E.3 : emplacement des capteurs dans le poisson Sea Soar

Planche E.4 : exemple d'enregistrement graphique temps réel du Sea Soar

Planche E.5 : panneau avant de l'unité de commande du Sea Soar

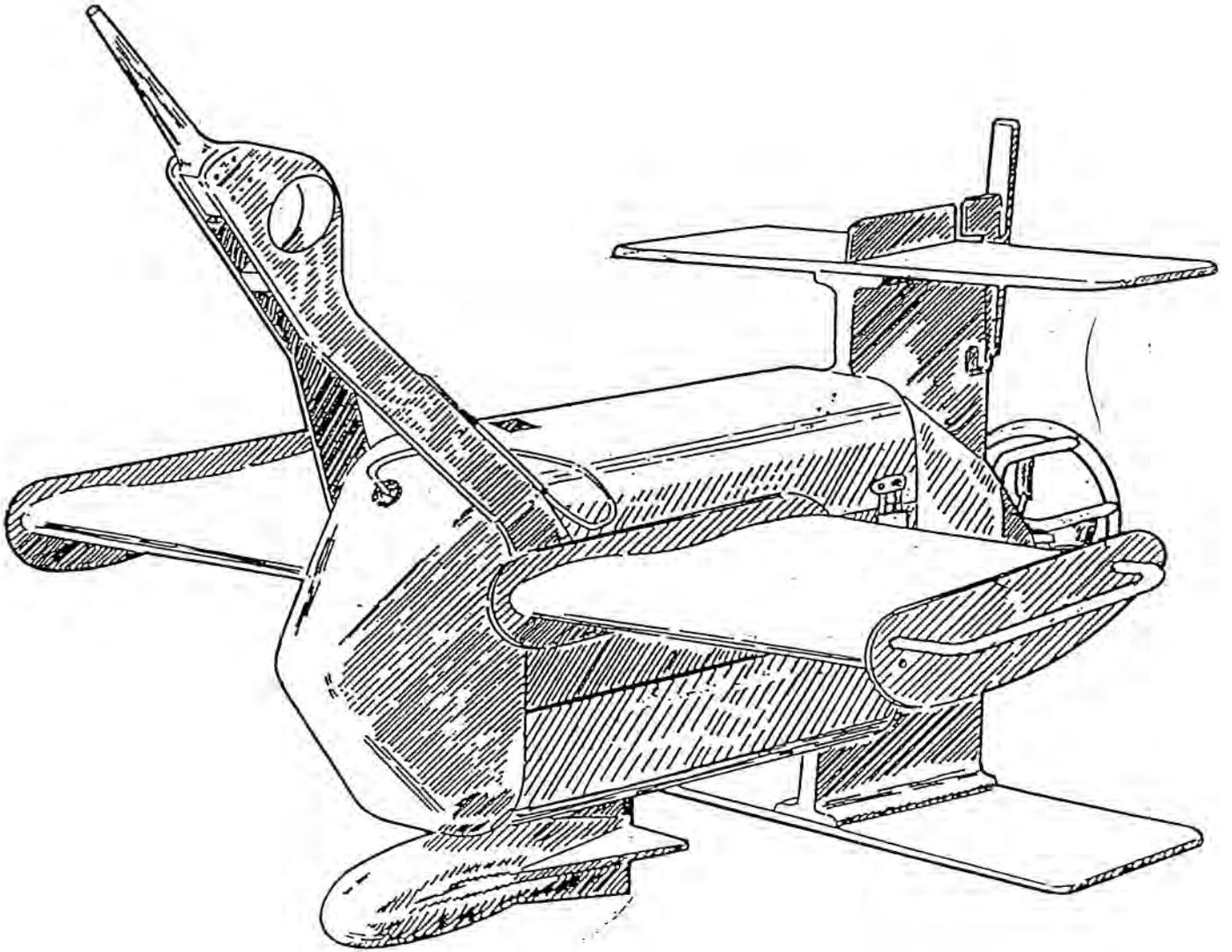


Planche E.1. Le poisson Sea Soar.

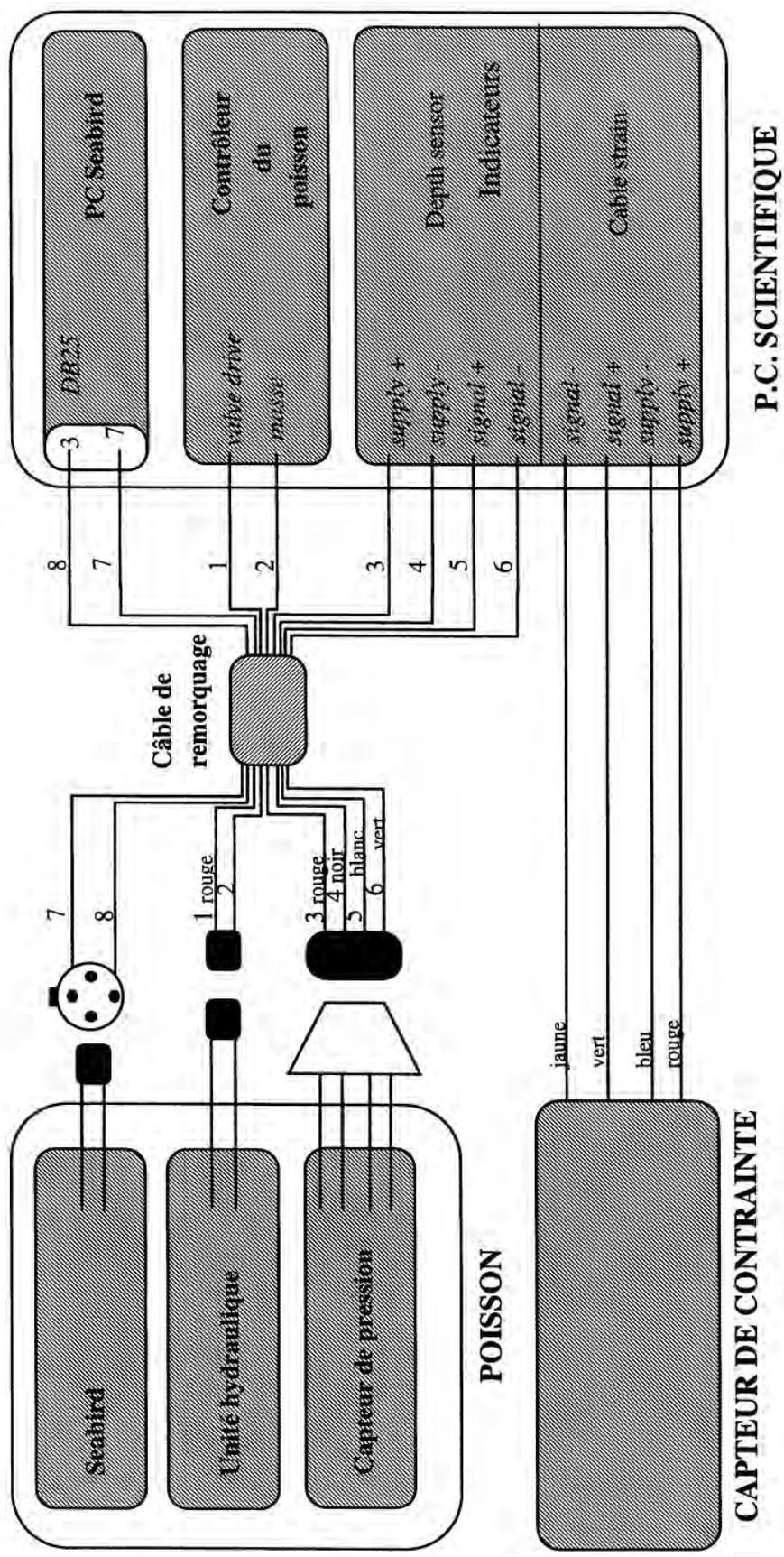
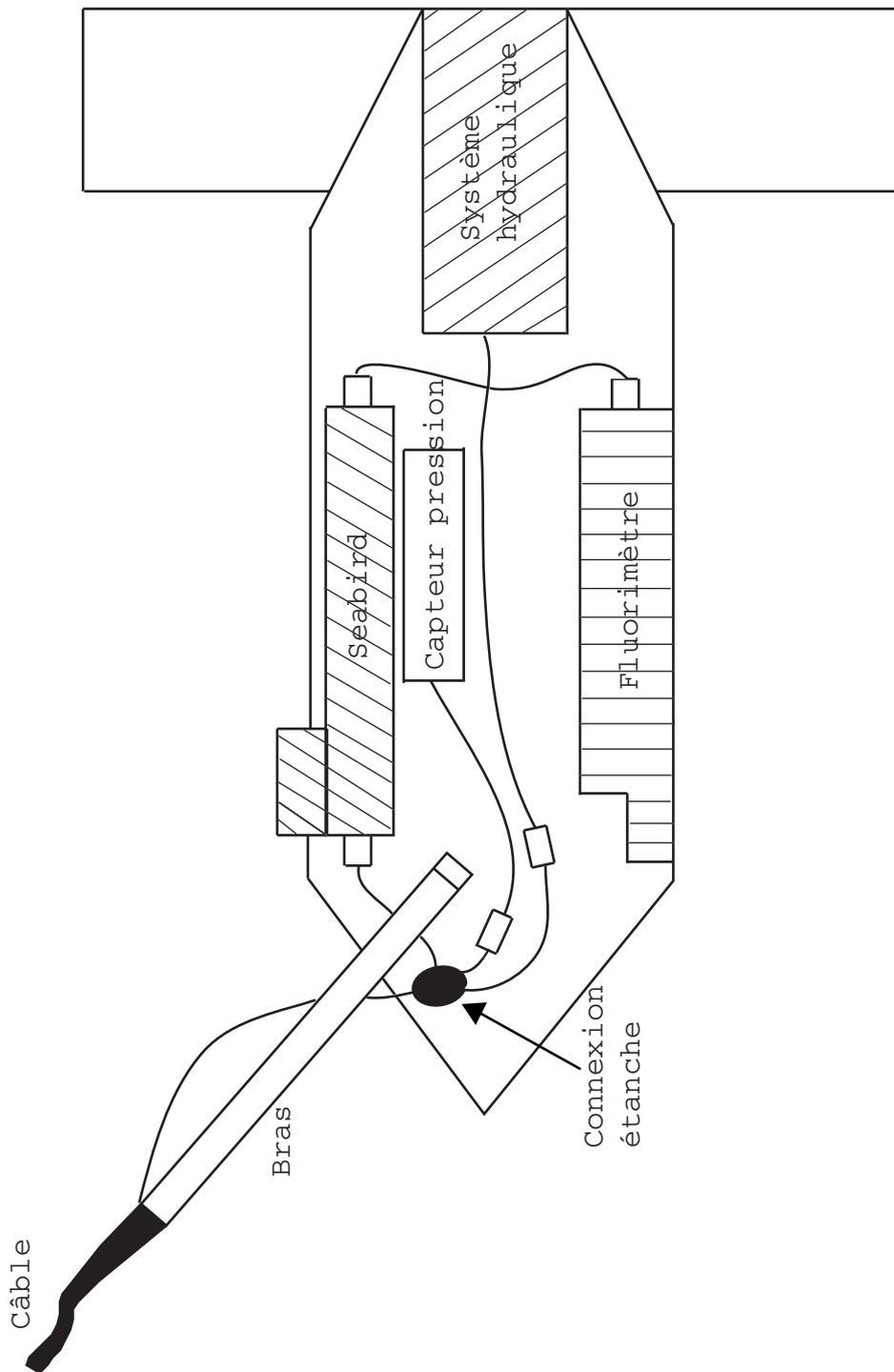


Planche E.2. Schéma de la liaison entre le poisson Sea Soar et le PC scientifique du D'Entrecasteaux.

Planche E.3. Emplacement des capteurs dans le poisson Sea Soar.



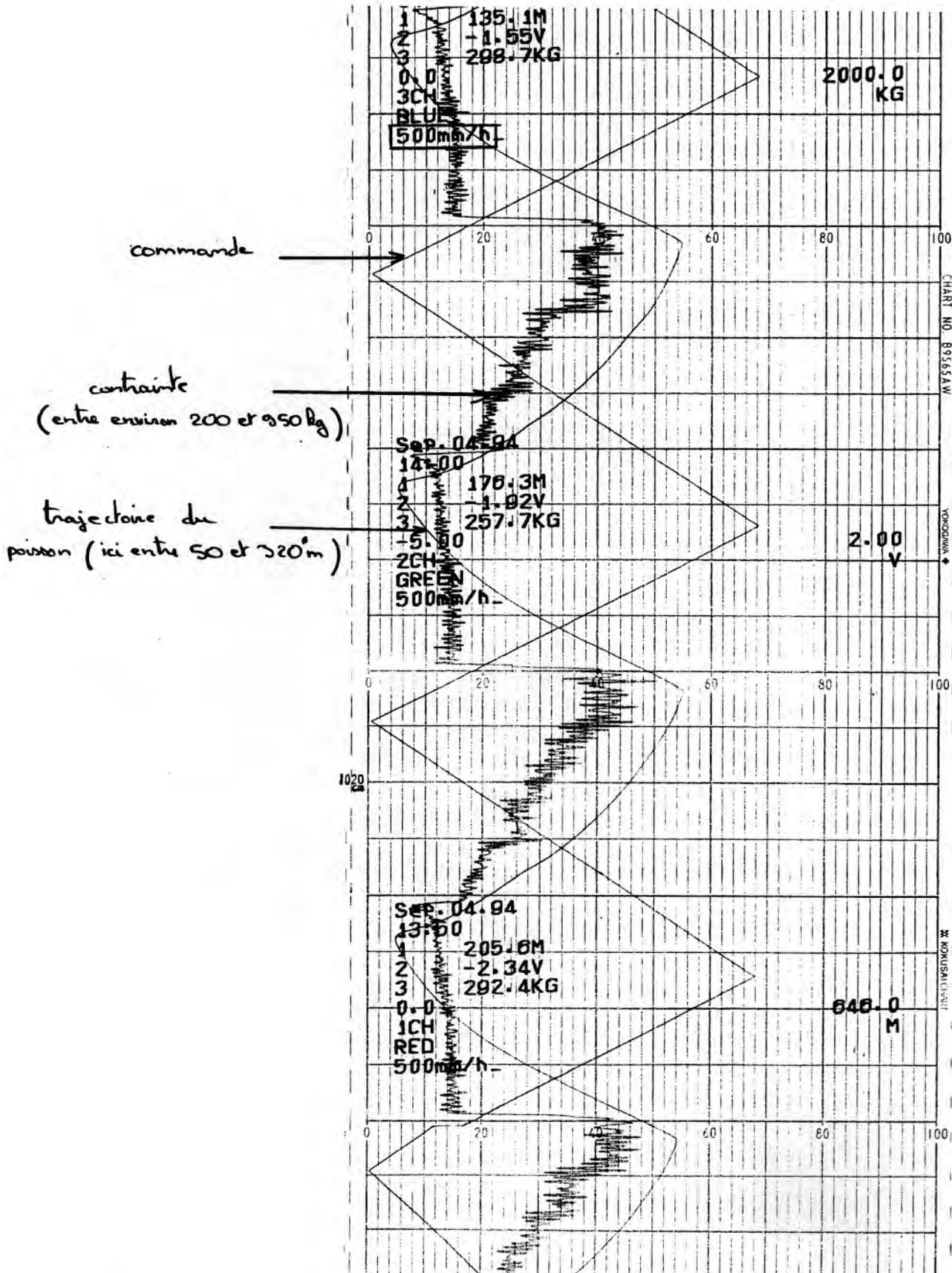
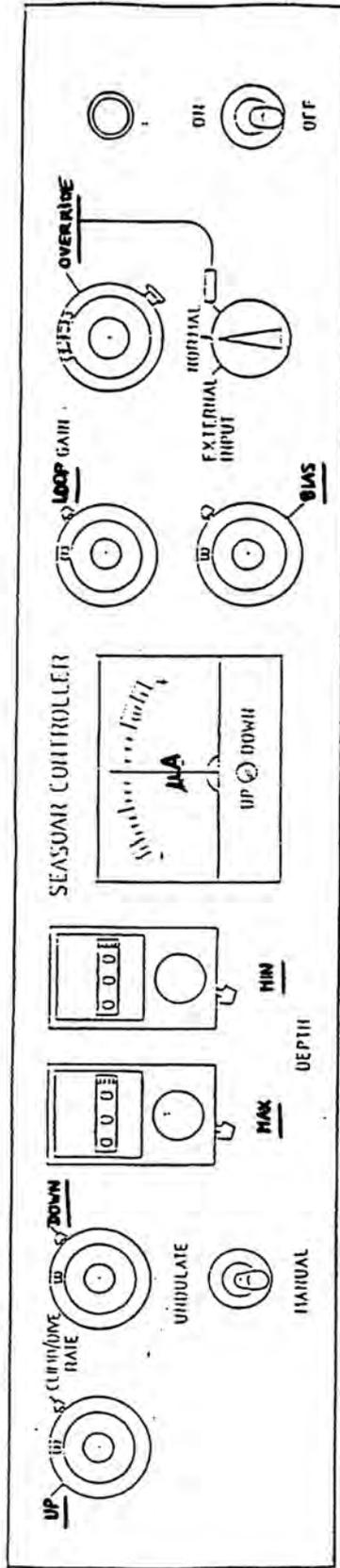


Planche E.4. Exemple d'enregistrement graphique temps réel du Sea Soar.

Planche E.5. Panneau avant de l'unité de commande du Sea Soar.



## ANNEXE F

### LISTE DES RAPPORTS ET COMPTES RENDUS

#### Chapitre 1

Rapport particulier n° 186 MOM/NP du 10 juillet 1992  
*Évaluation du gravimètre marin KSS 31*  
Rapport particulier n° 31 MOM/NP du 27 janvier 1993  
*Évaluation du gravimètre marin KSS 31*

#### Chapitre 2

Rapport particulier n° 138 MOM/-- du 29 avril 1992  
*Levé bathymétrique en Atlantique nord*  
Rapport particulier n° 167 MOM/-- du 12 juillet 1993  
*Levé bathymétrique en Atlantique nord (1992)*

#### Chapitre 3

Rapport particulier n° 127 MOM/NP du 24 mai 1993  
*Etude du décalage entre le système géodésique CSG 67 de la Guyane française et le système WGS 84*  
Compte rendu n° 184 MOM/NP du 30 juillet 1993  
*Contrôle du balisage des côtes de Guyane*  
Rapport particulier n° 150 MOM/NP du 4 juillet 1994  
*Levé bathymétrique sur les côtes de Guyane*  
Rapport préliminaire n° 172 MOM/NP du 3 août 1994  
*Levé bathymétrique du banc Français, embouchure du Maroni, Guyane*

#### Chapitre 4

Compte rendu n° 142 MOM/NP du 16 juin 1993  
*Levé en baie de Fort-de-France*

#### Chapitre 5

Rapport particulier n° 194 MOM/NP du 2 septembre 1994  
*Levé bathymétrique entre la Sardaigne et la Sicile*

#### Chapitre 6

Rapport particulier n° 303 MOM/NP du 29 décembre 1993  
*Campagne océanographique Sémaphore (phase 1993-3)*

#### Chapitre 7

Rapport préliminaire n° 29 MOM/NP du 26 janvier 1994  
*Campagne 1993 d'hydrographie dans l'archipel des Kerguelen*  
Rapport particulier n° 83 MOM/NP du 22 mars 1994  
*Mesures géodésiques GPS aux Kerguelen*  
Rapport particulier n° 170 MOM/NP du 2 août 1994  
*Campagne 1993 d'hydrographie dans l'archipel des Kerguelen*

#### Chapitre 8

Compte rendu n° 210 MOM/NP du 11 décembre 1991  
*Levé de l'étang de Berre (première phase)*  
Compte rendu n° 146 MOM/NP du 11 mai 1992  
*Levé de l'étang de Berre (deuxième phase)*  
Rapport particulier n° 245 MOM/NP du 30 septembre 1992  
*Recherche d'épaves et travaux complémentaires sur les côtes de Provence*  
Compte rendu n° 249 MOM/NP du 3 octobre 1992  
*Recherche de sondes dans le golfe de Giens*  
Compte rendu n° 277 MOM/NP du 12 novembre 1992  
*Levé de l'anse ouest du fort de Brégançon*  
Compte rendu n° 177 MOM/NP du 19 juillet 1993<sup>1</sup>  
*Revue d'amers entre le cap Bénat et le cap Taillat*  
Compte rendu n° 181 MOM/NP du 23 juillet 1993  
*Recherche d'épaves sur les côtes de Provence*  
Compte rendu n° 266 MOM/NP du 20 novembre 1993  
*Travaux hydrographiques dans le port de Toulon*  
Compte rendu n° 267 MOM/NP du 22 novembre 1993  
*Compléments au levé hydrographique des côtes de Corse*  
Compte rendu n° 135 MOM/NP du 6 juin 1994<sup>2</sup>  
*Travaux hydrographiques dans le port de Toulon (darse des sous-marins)*  
Compte rendu n° 145 MOM/NP du 17 juin 1994  
*Travaux hydrographiques dans le port de Toulon (Milhaud - appointements n° 1 et 2)*

#### Chapitre 9

Compte rendu n° 186 MOM/NP du 13 août 1994  
*Relevés bathymétriques en transit 1991-1993 en Méditerranée et en Atlantique nord*

#### Chapitre 10

Rapport particulier n° 221 MOM/NP du 16 septembre 1993  
*Décalages entre le système géodésique WGS 84 et les systèmes géodésiques locaux de Mayotte et de la Réunion*

<sup>1</sup> A jour du modificatif n° 1 - n° 233 MOM/NP du 27 septembre 1993.

<sup>2</sup> A jour du modificatif n° 1 - n° 143 MOM/NP du 17 juin 1994.

# MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE EN POLYNÉSIE

Période du 11 août 1997 au 3 août 1999

Laurent Kerléguer, Ingénieur principal de l'armement

## PRÉSENTATION

Le rapport comporte trois parties.

La première partie est consacrée à la description des grandes lignes de l'organisation et de l'activité de la mission océanographique du Pacifique en Polynésie d'août 1957 à août 1999.

La deuxième partie est consacrée aux développements, méthodes et études.

La troisième partie comporte une liste des rapports particuliers, une liste des sigles et abréviations et un appendice regroupent les planches descriptives des différents levés.

# 1ère partie

## La mission océanographique du Pacifique en Polynésie française d'août 1997 à août 1999 Synthèse

	Page
<b>1. GÉNÉRALITES, FAITS MARQUANTS</b> .....	<b>9-4</b>
1.1 Organisation .....	9-4
1.2 Activité .....	9-4
1.3 Moyens .....	9-4
<b>2. ACTIVITÉ – PRINCIPAUX TRAVAUX</b> .....	<b>9-4</b>
2.1 Iles Marquises .....	9-5
2.2 Archipel des Tuamotu .....	9-5
2.2.1 Travaux de géodésie et de spatiopréparation .....	9-5
2.2.2 Rangiroa.....	9-5
2.2.3 Amanu .....	9-5
2.2.4 Fakarava .....	9-5
2.2.5 Tahanea .....	9-5
2.2.6 Katiu .....	9-5
2.2.7 Makemo .....	9-5
2.2.8 Motutunga .....	9-5
2.2.9 Mururoa-Fangataufa .....	9-5
2.2.10 Toau .....	9-5
2.2.11 Raroia.....	9-5
2.3 Iles Australes.....	9-5
2.3.1 Raivavae .....	9-5
2.3.2 Rimatara.....	9-5
2.3.3 Maria .....	9-5
2.3.4 Tubuai .....	9-6
2.3.5 Rurutu .....	9-6
2.4 Iles de la Société.....	9-6
2.4.1 Tupai .....	9-6
2.4.2 Motu One .....	9-6
2.4.3 Maupihaa .....	9-6
2.4.4 Manuae .....	9-6
2.4.5 Tetiaroa .....	9-6
2.4.6 Huahine .....	9-6
2.4.7 Raiatea.....	9-6
2.4.8 Tahaa .....	9-6
2.4.9 Bora Bora.....	9-6
2.4.10 Maupiti .....	9-6
2.4.11 Tahiti – Port de Papeete.....	9-6
2.4.12 Tahiti – Taravao .....	9-6
2.5 Levés océaniques .....	9-6
2.6 Concours apportés par la MOP à des organismes extérieurs .....	9-6
2.6.1 Météo France.....	9-6
2.6.2 Zepolyf .....	9-6
2.6.3 Territoire de Polynésie française .....	9-6
<b>3. ORGANISATION</b> .....	<b>9-7</b>
<b>4. PERSONNEL</b> .....	<b>9-7</b>

<b>5. MOYENS</b> .....	<b>9-7</b>
5.1 Moyens propres de la MOP .....	9-7
5.2 Moyens extérieurs .....	9-10
5.3 Emploi des moyens .....	9-10
<b>6. LOCAUX A TERRE</b> .....	<b>9-10</b>
<b>7. ÉQUIPEMENTS</b> .....	<b>9-12</b>
7.1 Chaîne d'acquisition et de traitement de données hydrographiques Aqidoc-Tradoc .....	9-12
7.2 Radiolocalisation .....	9-12
7.3 Géodésie .....	9-12
7.4 Océanographie .....	9-12
7.4.1 Bathycélérimètre .....	9-12
7.4.2 Marée .....	9-12
7.4.3 Courant.....	9-12
7.5 Bureautique .....	9-13
7.6 Sondeurs .....	9-13
<b>8. MÉTHODES, DÉVELOPPEMENTS</b> .....	<b>9-13</b>
8.1 Géodésie, spatiopréparation .....	9-13
8.2 Courantologie .....	9-14
8.3 Étude du géoïde .....	9-14
8.4 Logiciel de gestion de l'activité .....	9-14
8.5 Emploi du sonal.....	9-14
<b>9. PERSPECTIVE CONCERNANT L'ACTIVITÉ HYDROGRAPHIQUE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE</b> .....	<b>9-15</b>
<b>10. VISITE D'AUTORITÉS, COMMUNICATION</b> .....	<b>9-15</b>

## 1. GÉNÉRALITÉS, FAITS MARQUANTS

Ce rapport rend compte de l'activité de l'unité hydrographique de Polynésie de la mission océanographique du Pacifique sous la direction technique de l'IPA Laurent Kerléguer du 10 août 1997 au 31 juillet 1999.

Durant cette période, deux officiers de marine se sont succédés au commandement du bâtiment hydrographique *Arago*, le CC Fabrice Legrand de juillet 1997 à juillet 1998 puis le LV François-Xavier Nester de juillet 1998 à juillet 1999.

### 1.1. ORGANISATION

Au plan de l'organisation cette période aura été marquée par la préparation du regroupement de la MOP en Polynésie française (liée au retrait du BH2 *Laplace* du Pacifique).

Pour cette raison d'une part et pour tenir compte de la professionnalisation des armées d'autre part, le plan d'armement de la MOP a évolué pour rejoindre au 1<sup>er</sup> janvier 2000 son format définitif (cf. § 4.)

Le format futur se traduira par une plus grande professionnalisation et par conséquent par l'amélioration qualitative (niveau de formation, expérience) du plan d'armement, avec notamment l'arrivée prévue au mois d'août 1999 d'un IETA électronicien.

### 1.2. ACTIVITÉ

Le recentrage de l'activité du SHOM sur les activités d'hydrographie générale et d'hydrographie militaire entraîne deux types de conséquences :

- le gouvernement du Territoire doit prendre en charge l'hydrographie de ses eaux intérieures ;
- les moyens de la MOP en Polynésie doivent, à échéance de 3 à 4 ans, être adaptés à l'exécution d'une plus grande proportion de missions d'hydrographie océanique.

Concernant le premier point, la MOP (et cela depuis plusieurs années) a fortement contribué à la mise en place des structures nécessaires au transfert progressif sous la responsabilité du gouvernement du Territoire de certaines activités d'hydrographie des eaux intérieures.

Ces efforts ont abouti en 1999 puisque le gouvernement du Territoire a décidé la création d'une capacité hydrographique territoriale qui sera opérationnelle au mois de janvier 2001. Une convention entre le ministère de la défense et le gouvernement de la Polynésie française prévoit la formation du personnel de la capacité territoriale à l'EPSHOM.

Il faut cependant préciser que pour certains travaux d'hydrographie intérieure nécessitant des moyens importants, le SHOM pourra être sollicité par le Territoire. Deux conventions onéreuses ont ainsi été signées en 1999 pour l'exécution par la MOP de travaux d'hydrographie à Tahaa (Iles de la Société) et Fakarava (Tuamotu).

Concernant le second point (augmentation de la part de l'hydrographie océanique), il convient dès maintenant de réfléchir à la pertinence d'installer un sondeur hydrographique multifaisceaux grands fonds à bord du BH *Arago*. En effet,

on prévoit que les principaux travaux d'hydrographie générale en zone côtière à la charge du SHOM seront achevés à échéance de 3 à 5 ans. En corollaire, le taux d'emploi du BH *Arago* en zone hauturière est appelé à croître, et l'adaptation à ce type de missions doit être envisagée.

Il faut cependant souligner que le SHOM garde une responsabilité dans le domaine de l'hydrographie côtière puisque le levé des passes principales et des chenaux d'accès aux villages principaux reste de sa responsabilité.

Ces dernières années, la MOP a réalisé peu de levés d'hydrographie militaire en Polynésie, cependant les discussions avec le commandant de la marine ont permis de mettre en évidence des besoins de levés de plageage. Ces levés seront réalisés en 2000 voire dès le deuxième semestre de 1999.

### 1.3. MOYENS

La nouvelle chaîne d'acquisition et de traitement de données Aqidoc-Tradoc est opérationnelle à la MOP/UHP depuis le mois d'octobre 1998. La mise en place de cette nouvelle chaîne a permis de réformer progressivement les calculateurs utilisés avec l'ancienne chaîne. Au 31 juillet 1999, la rédaction de tous les levés réalisés avec l'ancienne chaîne était achevée.

Les locaux hydrographiques à bord de l'*Arago* et les locaux à terre de l'UHP ont été adaptés pour recevoir le nouveau système d'acquisition et de traitement de données dans de bonnes conditions.

Une extension des locaux de direction de l'UHP à tout l'étage du bâtiment de Bir Hakeim a permis de créer une salle de traitement informatique, nécessaire pour accueillir les stations de travail, et deux bureaux dont l'un destiné à l'ingénieur électronicien qui sera affecté à l'UHP au mois d'août 1999.

Enfin, et ce n'est pas le fait le moins marquant, l'UHP a été reliée à Internet au mois de janvier 1998 et dispose depuis de deux adresses de courrier électronique facilitant grandement la communication avec le SHOM et l'EPSHOM en particulier.

## 2. ACTIVITÉ - PRINCIPAUX TRAVAUX

L'activité au deuxième semestre de 1997 et au premier semestre de 1998 fut essentiellement dédiée à l'achèvement du levé d'hydrographie générale entrepris en 1986 aux Iles Marquises et au levé d'un chenal de navigation dans le lagon de Rangiroa entrepris à la demande du Territoire pour développer la navigation des paquebots de croisière dans cet atoll.

Au deuxième semestre de 1998 et au premier semestre de 1999 une part importante de l'activité s'est déroulée dans l'archipel des Tuamotu pour la définition de la ligne de base et la réalisation de levés d'hydrographie générale (levé de la passe principale et du chenal d'accès au mouillage principal). Un travail de mise à jour de l'hydrographie des voies recommandées des îles de la Société a débuté.

Par ailleurs, des travaux d'hydrographie furent effectués à Rurutu ainsi que des travaux de géodésie et de spatiopréparation sur l'ensemble des îles Australes du Nord.

La connaissance de la ligne de base de la Polynésie française a fortement progressé.

Les éléments "terrain" nécessaires à la définition de la ligne de base des Marquises, des îles de la Société (sauf Manuae), des îles Australes du Nord, et des Tuamotu du Nord (jusqu'à Paraoa moins quelques îles éparses) ont été recueillis.

Tous les objectifs assignés par les programmes annuels de 1997 et 1998 ont été atteints. Au 31 juillet 1999, les objectifs assignés pour l'année 1999 étaient atteints à 95 % (exécution des travaux à la mer et sur le terrain).

Les planches en pages 9-16, 9-17, 9-65 et 9-67 donnent respectivement sous forme synoptique :

- les travaux de géodésie et de spatiopréparation réalisés entre août 1997 et juillet 1999 pour la connaissance de la ligne de base ;
- l'état de la connaissance de la ligne de base au 31 juillet 1999 ;
- les levés réalisés (hors spatiopréparations) entre août 1997 et juillet 1999.

## 2.1. ILES MARQUISES

Le levé d'hydrographie générale de grande envergure entrepris aux Marquises en 1986 a été achevé en 1998.

Les principaux travaux ont concerné :

- l'achèvement du levé hauturier du nord des Iles Marquises (à Eiao – banc Clark) ;
- la recherche d'une sonde douteuse entre les îles de Eiao et Hatutaa ;
- la recherche d'une sonde douteuse à proximité de la pointe Mautau à Hiva Oa ;
- la topographie d'un morceau de trait de côte à Tahuata ;
- la spatiopréparation de l'île de Fatu Huku ;
- le levé de la baie de Vaituha à Eiao ;
- la spatiopréparation du banc Clark et du banc en partie émergé de Motu One (calage du modèle bathymétrique) ;
- la revue photographique des côtes des îles Marquises ;
- la topographie du rocher Thomasset.

## 2.2. ARCHIPEL DES TUAMOTU

### 2.2.1 Travaux de géodésie et de spatiopréparation

17 atolls ont été rattachés au système géodésique de référence de la Polynésie française (RGPF) et ont fait l'objet des travaux de spatiopréparation et 8 atolls déjà spatiopréparés dans des systèmes locaux ont été rattachés au RGPF. De plus à l'occasion de certains travaux de spatiopréparation, le levé bathymétrique des approches de l'atoll concerné a pu être effectué ; ce fut le cas à Nengonengo, Tauere, Ravahere, Marokau, Hikueru, Rekareka, Nihiru, Reitoru et Tekokota. Une synthèse des travaux effectués sur chaque atoll est fournie en deuxième partie de ce rapport et une synthèse des travaux de spatiopréparation réalisés sur tout le Territoire est donnée en page 10-16.

### 2.2.2 Rangiroa

Le levé du chenal de navigation de la Passe de Tiputa au Lagon Bleu entrepris à la demande du Territoire a été achevé. Il a permis de mettre en évidence la possibilité pour un navire de fort tirant d'eau de naviguer jusqu'à une zone de mouillage située à proximité du lagon bleu.

Le levé des approches de Rangiroa réalisé en 1994 a été complété du levé des approches de la passe de Tiputa (passe principale).

En outre et suite à une demande du Service de la Mer et de l'Aquaculture, le levé d'un chenal de navigation entre les passes de Tiputa et d'Avatoru, non inscrit au programme d'activité, a été entrepris (levé d'opportunité).

### 2.2.3 Amanu

Levée de la passe Fafameru au village d'Ikitake et spatiopréparation de l'atoll.

### 2.2.4 Fakarava

Levée de la passe Garuae au village de Rotoava et revue du balisage de la passe Garuae à la passe de Temakohua.

### 2.2.5 Tahanea

Levée de la passe Teavatapu au village de Kari Karina et spatiopréparation de l'atoll.

### 2.2.6 Katiu (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Levée de la passe Pakata au quai de Hitianau.

### 2.2.7 Makemo (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Levée de la passe Arikitamiro au village de Pouheva.

### 2.2.8 Motutunga (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Levée de la passe Motu Tunga et spatiopréparation de l'atoll.

### 2.2.9 Mururoa-Fangataufa

Revue des amers et du balisage profondément modifiés à la suite du démantèlement des installations de la DIRCEN.

### 2.2.10 Toau

Rédaction du levé de la passe Otugi au village de Maragai et à une zone de mouillage située au sud de la passe.

### 2.2.11 Raroia

Rédaction du levé de la passe Ngaruae au village de Ngarumaova.

## 2.3. ILES AUSTRALES

### 2.3.1. Raivavae (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

### 2.3.2. Rimatara (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

### 2.3.3. Maria (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

#### 2.3.4. Tubuai

Achèvement du levé du chenal des passes Te Ara Moana et Rotea au quai de Mataura. Spatiopréparation.

#### 2.3.5. Rurutu (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Levé de la baie de Moerai et spatiopréparation de l'île. 50 % du levé de la baie d'Avera.

### 2.4. ILES DE LA SOCIÉTÉ

#### 2.4.1. Tupai

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

#### 2.4.2. Motu One

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

Levé large des approches de l'atoll.

#### 2.4.3. Maupihaa

Rattachement au RGPF et spatiopréparation.

Levé large des approches de l'atoll.

#### 2.4.4. Manuae

Rattachement au RGPF. Levé large des approches de l'atoll.

#### 2.4.5. Tetiaroa

Levé d'une zone de reconnaissance aux abords de Tetiaroa pour le repérage d'une zone de mouillage.

#### 2.4.6. Huahine (rédaction en cours au 31 juillet 1999)

Levé de la passe Farerea et d'un chenal de navigation jusqu'au village de Maroe.

Levé de la passe Avapehi à la passe Avamoa, au quai de Fare et à la baie de Haavai.

Spatiopréparation de l'île.

#### 2.4.7. Raiatea

Levé de la passe Teavapiti à Uturoa.

Spatiopréparation.

#### 2.4.8. Tahaa

Levé de la passe de Paipai à la baie de Hurepiti.

Spatiopréparation.

#### 2.4.9. Bora bora

Levé de contrôle de la passe de Teavanui.

#### 2.4.10. Maupiti

Spatiopréparation, topographie du nouveau quai de Petei.

#### 2.4.11. Tahiti - Port de Papeete

Levé de contrôle de la passe de Papeete au profit du port autonome.

#### 2.4.12. Tahiti - Taravao

Complément au levé du chenal d'accès au port de Faratea - Taravao.

Levé d'une zone de mouillage en baie de Taravao.

### 2.5. LEVÉS OCÉANIQUES

Les transits vers les îles Marquises et vers les Australes ont été mis à profit pour effectuer des relevés bathymétriques dans le cadre de la Gebco.

### 2.6. CONCOURS APPORTÉS PAR LA MOP À DES ORGANISMES EXTÉRIEURS

#### 2.6.1. Météo France

A deux reprises, au mois de novembre 1997 puis au mois de septembre 1998, la MOP a apporté son concours à Météo France en mouillant des bouées SVP (2 en 1997, 3 en 1998) dans le nord des Tuamotu à l'occasion de transits vers les îles Marquises.

#### 2.6.2. Zepolyf

Le programme Zepolyf (pour Zone Economique de Polynésie Française) a pour objectif de contribuer au développement économique du Territoire en inventoriant les ressources de la ZEE dans les domaines de la pêche et des ressources minérales. Il contient un volet de description de la bathymétrie de la zone et s'intéresse notamment aux monts sous-marins.

Soutenu financièrement par l'Etat (ministère en charge de l'outre-mer et ministère en charge de la recherche) et par le gouvernement du Territoire de la Polynésie française (ministère de la mer et ministère de la recherche) le programme regroupe des partenaires des services territoriaux de Polynésie française (service des ressources marines, service de l'énergie et des mines et direction des affaires foncières) et des organismes de recherche de l'Etat présents sur le Territoire (Ifremer, IRD, université de Polynésie française et SHOM).

Dans le cadre du programme Zepolyf, l'UHP a :

- effectué le traitement des données de courant enregistrées sur l'*Atalante* lors de la campagne réalisée en 1996 au sud des îles sous le Vent (Société) ;
- mis en place et maintenu un système de localisation GPS différentiel HF au profit de la campagne Zepolyf de juillet 1999 ;
- participé à la campagne Zepolyf du mois de juillet 1999 aux Australes à bord du navire océanographique de l'Ifremer l'*Atalante*.

#### 2.6.3. Territoire de Polynésie français

##### *Capacité hydrographique territoriale*

L'UHP a apporté son assistance au Territoire pour la création d'une capacité hydrographique territoriale. Cette capacité qui aura la charge de l'hydrographie des eaux intérieures sera opérationnelle au mois de janvier 2001.

Une convention entre le gouvernement du Territoire et le ministère de la défense a été mise en place afin de fixer les modalités de l'assistance du SHOM pour le recrutement de deux fonctionnaires territoriaux et leur formation dans le cadre du cours de brevet supérieur d'hydrographe à l'EPSHOM.

L'UHP a ainsi proposé et corrigé l'épreuve technique du concours de recrutement et participé au jury du concours au mois de juillet 1999.

### Travaux sous convention au profit du Territoire

Deux conventions onéreuses entre le ministère de la défense et le gouvernement du Territoire concernant des travaux demandés par le Territoire ont été préparées et signées. Ces conventions portent sur des travaux d'hydrographie des eaux intérieures à Tahaa (Iles de la Société) et Fakarava (Tuamotu).

Les travaux à Tahaa concernent la mise à jour de l'hydrographie du lagon afin de permettre la "circumnavigation" des paquebots de croisière. Ils étaient programmés au deuxième semestre de 1999.

## 3. ORGANISATION

Au mois de juin 1997, la notion d'échelon regroupant l'unité hydrographique et le bâtiment hydrographique avait été supprimée.

Cette modification visait essentiellement à clarifier les relations entre les unités rattachées à la MOP (2 BH et 2 unités hydrographiques). Il faut souligner qu'en la matière l'objectif n'a pas été atteint puisque de façon évidente les problèmes éventuels d'organisation ne pouvaient être que la conséquence de la dispersion géographique de la mission regroupant 4 unités dispersées sur deux sites et artificiellement regroupées dans une même mission.

La création de deux missions séparées organisées suivant le schéma qui a fait ses preuves en métropole eût été beaucoup plus naturelle. Elle n'aurait pas interdit la synergie entre les deux entités qui, de toute façon, est toujours restée faible en raison de l'éloignement géographique.

Il faut néanmoins noter qu'aucun blocage structurel n'a perturbé le fonctionnement de la MOP en Polynésie en raison du bon climat qui a été maintenu entre directeur technique et commandants successifs.

L'organisation évoluera à nouveau à court terme pour tenir compte du départ du BH *Laplace* de Nouméa et du maintien d'une base hydrographique réduite en Nouvelle-Calédonie. En pratique, cette réorganisation n'a pas de conséquences en Polynésie.

## 4. PERSONNEL

Le plan d'armement de la MOP/UHP a évolué de la façon suivante au cours de la période :

Plan d'armement	au 1/9/1997	au 1/9/1998	prévu au 4/8/1999	prévu au 1/1/2000
Nombre	21	20*	21**	21***

\* non renouvellement du poste d'aspirant grandes écoles, remplacement de l'officier de marine chef du service général par un IETA hydrographe ;

\*\* arrivée programmée d'un IETA électronicien ;

\*\*\* 21 éléments résultant d'une augmentation des effectifs due au regroupement à Tahiti de la MOP compensée par les conséquences de la professionnalisation.

Il faut noter à titre de comparaison que pour des missions équivalentes le plan d'armement de l'unité hydrographique de Nouvelle-Calédonie est de 23 personnes dont 3 ingénieurs.

Le plan d'armement a été globalement honoré à l'exception de la période du mois d'octobre 1998 au mois de janvier 1999 durant laquelle la mission a eu un déficit d'un élément en raison du départ en retraite anticipé d'un officier marinier hydrographe admis à un concours de la fonction publique.

Le plan d'armement est bien adapté et permet, en situation courante, de maintenir l'équilibre entre les travaux à la mer et la rédaction, et d'assurer correctement la maintenance des matériels.

Il faut noter cependant que tout déficit même transitoire en personnel hydrographe se paye par un retard des travaux de rédaction.

Par ailleurs en 1998, la formation de 6 semaines puis la phase de prise en main consécutives à la mise en place de la nouvelle chaîne d'acquisition et de traitement de données hydrographiques (Aqidoc-Tradoc) a pénalisé pour le court terme le rendement de la rédaction.

Pour ce qui concerne l'*Arago*, la faiblesse du plan d'armement des BH2 outre-mer est un problème déjà connu. Il faut souligner qu'en Polynésie la pression sur le personnel est accrue par les possibilités réduites de mouillage sur la plus grande partie des zones de travaux.

Ce point est souligné avec constance dans les rapports de fin de commandement.

Enfin, des difficultés sont à attendre concernant le personnel du service général de l'UHP dans la phase transitoire entre la diminution du flux des appelés, déjà sensible en 1999, et le nouveau régime professionnalisé. Ainsi au mois d'août 1999, l'UHP avait un déficit de 2 personnels appelés dont le remplacement n'était pas annoncé avant le mois d'octobre.

## 5. MOYENS

### 5.1. MOYENS PROPRES DE LA MOP

L'*Arago* est le bâtiment hydrographique affecté en Polynésie française depuis la fin de 1991, il est évidemment le moyen essentiel pour l'hydrographie.

Le bâtiment n'a eu aucune indisponibilité accidentelle durant la période. Des avaries à l'impact mineur sur le bon déroulement de l'activité ont ponctué les missions (radar au mois

d'octobre 1997, compresseur de plongée au mois de mai 1998, osmoseur de février à avril 1999, guindeau au mois de juin 1999) mais ne les ont jamais perturbées. L'IPER initialement programmée au mois de décembre 1997 a finalement, pour des raisons budgétaires, été effectuée de juillet à septembre 1998.

Pour ce qui concerne les locaux techniques, elle fut l'occasion de la refonte (avec la participation très active de l'UHP) du PC scientifique et des salles de traitement pour permettre d'accueillir dans de bonnes conditions la chaîne Aqidoc-Tradoc installée au mois de septembre 1998.



L'*Arago* au mouillage en baie de Taiohae (Nuku Hiva — Marquises).



Le PC Scientifique de l'*Arago* remis « dans le sens de la marche » à l'occasion de la refonte effectuée pour accueillir le système Aqidoc.

Par ailleurs, des bers adaptés à la coralline livrée par l'EPSHOM au mois de décembre 1997 furent mis en place durant l'IPER.

Une centrale d'attitude TSS-DMS 05 permettant de mesurer le pilonnement du bâtiment pour la compensation des mesures des sondeurs bathymétriques a été adjointe à la centrale Heco 10 (qui n'est plus opérationnelle).

#### *Les vedettes hydrographiques*

Les vedettes hydrographiques ont un âge avancé, leur état justifie un remplacement urgent.

Les vedettes n'ont certes pas connu d'avarie majeure mais une lente dégradation des performances.

En particulier, l'électricité des vedettes hydrographiques est une source récurrente de problèmes en raison de défauts d'isolement.

Les alternateurs furent les organes les plus touchés par les pannes.

Lors de la PEI effectuée au mois de janvier 1998, l'ensemble du réseau électrique et le plan de massage furent contrôlés mais les bienfaits de ce type d'interventions se dégradent très vite dans le temps.

Par ailleurs, il faut noter que la portée pratique des sondeurs bathymétriques Deso 20 dépasse désormais rarement 100 m sur les fortes pentes (l'isolement des bases sondeurs a été contrôlé et jugé bon par la DCN, des investigations plus pous-

sées nécessiteront une IPER). Ce point est pénalisant car compte tenu des pentes fortes que l'on rencontre à l'abord des atolls l'isobathe de 100 m est trop proche de la côte pour assurer un recouvrement avec le levé effectué par le bâtiment plus au large.

Très sollicitées, les vedettes hydrographiques ont toujours pu être maintenues en ordre de marche à force d'interventions voire parfois de réparations de fortune. Le point de rupture n'est cependant pas loin.

#### *La drome*

La drome de l'UHP se compose de 3 corallines et d'une embarcation pneumatique à fond rigide 10 places.

Toute la drome a été remplacée pendant la période suivant le calendrier ci-après :

- Une grosse coralline de 5,45 m de long dédiée aux sondages portuaires a été livrée par l'EPSHOM au mois de décembre 1997. Cette embarcation a été équipée d'un moteur de 75 CV. Les structures de cette embarcation ont dû être renforcées par la DCN au mois de mars 1999. Cette embarcation conçue pour un usage portuaire est d'un emploi très limité en Polynésie. En deux ans, elle n'a jamais été utilisée ;
- Deux corallines "de transport et de logistique" de 4,50 m de long ont été livrées par la marine aux mois de mai et septembre 1998 en remplacement de trois petites corallines déclassées.



Les corallines "logistique" reçues en 1998 sont très bien adaptées à leur emploi à la MOP : transport de matériel et de personnel.

Ces corallines achetées localement donnent entière satisfaction. Il faut noter cependant qu'elles nécessitent un moteur de 40 CV. En conséquence, une adaptation du plan d'équipement en moteurs hors-bord a été demandée afin de remplacer les moteurs de 20 CV par des moteurs de 40 CV ;

- Une embarcation pneumatique à fond rigide d'occasion en bon état a été fournie par l'atelier militaire de la base navale de Papeete au mois de janvier 1999 en remplacement d'une embarcation équivalente déclassée.

#### Véhicules

Deux véhicules sont mis à la disposition de la MOP en Polynésie :

- un fourgon Renault Trafic en bon état ;
- une Peugeot 405 Break en mauvais état dont le remplacement doit être envisagé à court terme.

La dotation est satisfaisante et constitue néanmoins la dotation minimale pour assurer les liaisons entre les différents sites de la MOP (ateliers situés à Motu Uta, locaux de direction situés au centre ville à Bir Hakeim).

### 5.2. MOYENS EXTÉRIEURS

La mission a bénéficié de concours des bâtiments de type P 400 *La Railleuse* et *La Tapageuse* pour des missions de spatiopréparation et de géodésie dans les Tuamotu (20 jours en 1998, 12 jours en 1999).

La mission a bénéficié de concours d'hélicoptère Super Puma de l'escadron de transport outre-mer (ETOM) pour des opérations de géodésie dans les îles de la Société et dans les Tuamotu (2 missions de 9 et 11 heures en 97, 1 mission de 11 heures en 1998, 1 mission de 11 heures en 1999) et du concours d'un avion de transport CASA pour un vol logistique entre Tubuai et Papeete (embarquement de matériel et de personnel de la MOP sur un vol programmé pour un autre organisme).

Par ailleurs, l'UHP a participé à la campagne de l'*Atalante* aux Australes du 6 juillet au 9 août 1999. Les données hydrographiques collectées à cette occasion seront adressées à l'EPSHOM après dépouillement.

### 5.3. EMPLOI DES MOYENS

Le tableau ci-après donne une synthèse de l'emploi des différents moyens consacrés à l'hydrographie.

Moyen	D'août 1997 à décembre 1997	1998	De janvier 1999 à juillet 1999
<i>Arago</i>	79 j	112 j	72 j
P400		20 j	12 j
Super Puma	20 h	11 h	11 h
<i>Atalante</i>			34 j

Pour une période de 24 mois comprenant une IPER, la norme (tacite en Polynésie française) est de 265 jours d'hydrographie (150 jours pour une année sans IPER, au prorata de l'IPER pour une année avec IPER).

Le niveau d'emploi de l'*Arago* pour des travaux d'hydrographie fut donc excellent puisque les 263 jours d'hydrographie effectués représentent 99 % du maximum permis par la norme.

## 6. LOCAUX A TERRE

La MOP en Polynésie dispose de locaux très fonctionnels répartis sur deux sites :

- au centre ville les locaux de direction dans l'immeuble Bir Hakeim mitoyen de la résidence du commandant de la marine en Polynésie ;
- sur la presqu'île de Motu-Uta, l'atelier mécanique et charpentage et le laboratoire d'électronique.

En raison des difficultés de circulation à Papeete, la dispersion géographique des locaux consomme beaucoup de temps essentiellement pour le personnel du service logistique.

#### Travaux effectués par la DMTP

La façade de l'immeuble Bir Hakeim a été refaite aux mois de juin/juillet 1999.

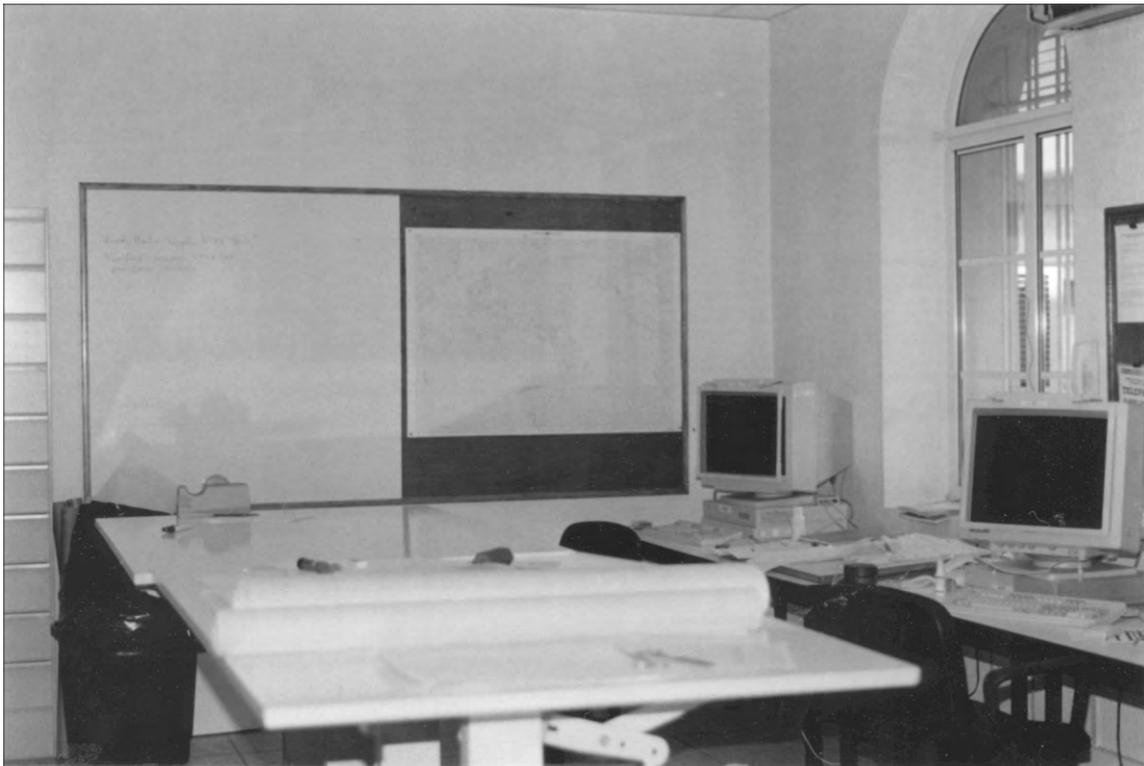
Afin d'accompagner d'une part l'évolution programmée du plan d'armement (avec notamment l'arrivée d'un ingénieur supplémentaire) et d'autre part la mise en place de la chaîne de traitement informatique Aqidoc-Tradoc, les locaux de direction ont été agrandis.

Les locaux anciennement occupés par le service OCI/DC transféré à la base navale de Fare Ute ont été attribués par le COMAR à la MOP au mois de novembre 1998.

Ces locaux avaient été demandés afin de permettre la création d'une salle de traitement informatique. Un bureau réservé pour l'IETA électronicien et un bureau "étude" ont en outre pu être créés.

Quelques aménagements demandés concernant notamment la mise en place d'un réseau informatique et téléphonie dans tout le bâtiment et des travaux limités de maçonnerie devraient débiter au mois d'août 1999.

Par ailleurs, l'extension de la surface occupée par les ateliers a été demandée afin de disposer d'une aire couverte pour le stationnement des corallines. La demande n'avait pas encore été examinée au mois de juillet 1999.



Salle de traitement informatique  
(locaux occupés auparavant par le service OCI/DC).



Salle de traitement informatique. Quelques aménagements sont programmés en 1999 pour la mise en place notamment d'un réseau informatique et téléphonie.

## 7. ÉQUIPEMENTS

### 7.1. CHAÎNE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DE DONNÉES HYDROGRAPHIQUES AQIDOC-TRADOC

La chaîne Aqidoc-Tradoc version 4.0 est entrée en service à la MOP Papeete au mois d'octobre 1998.

Le système Hydroport a été mis en place sur l'*Arago*, le système Aqived sur les VH8.

Le système Tradoc a lui été déployé sur l'*Arago* et dans la salle de traitement informatique de Bir Hakeim.

Tous les levés postérieurs à octobre 1998 ont été réalisés avec Aqidoc et rédigés avec Tradoc.

La rédaction de tous les levés antérieurs à octobre 1998 effectués avec l'ancienne chaîne Hytraï a été achevée.

La plupart des hydrographes affectés à l'UHP au moment de la mise en place de la nouvelle chaîne n'en avaient pas l'expérience.

L'installation du système qui s'est avérée plus difficile que prévu a fortement réduit le temps à consacrer par les équipes de l'EPSHOM à la formation du personnel.

L'apprentissage s'est par conséquent fait en autodidacte avec le soutien à distance de l'EPSHOM. Il faut noter que le manque de finition de la chaîne dans certains domaines (impossibilité de générer des fichiers de données numériques au format EPSHOM, imperfection des documents graphiques édités...), et aussi parfois l'ignorance des hydrographes la mettant en œuvre, a nui au rendement de la rédaction.

La chaîne Aqidoc-Tradoc a par contre marqué un net progrès dans les possibilités d'exploitation expéditive des levés en mission à bord du BH. L'édition d'un bleu bathymétrie brut à bord est désormais la pratique courante.

### 7.2. RADIOLOCALISATION

A l'exception du levé de contrôle de la passe du port de Papeete pour lequel la localisation été assurée au moyen du système Axyle, tous les levés effectués ont eu recours à la localisation GPS en mode naturel ou différentiel.

La souplesse d'emploi et la précision du GPS en mode différentiel sont très adaptées pour les levés en Polynésie française.

L'UHP dispose de deux stations différentielles, une station NDS 100 UHF et une station NDS 200 HF.

Par ailleurs, une station transportable préparée par l'EPSHOM fut mise en œuvre aux Australes par l'UHP pendant la campagne Zepolyf de l'*Atalante* au mois de juillet 1999.

### 7.3. GÉODÉSIE

Les travaux de géodésie ont été effectués au moyen des récepteurs GPS de géodésie Ashtech.

En 1997, le plan d'équipement insuffisant de l'UHP en récepteurs Ashtech M et Z 12 (alors que la MOP en Polynésie est probablement la mission qui effectue le plus de travaux de géodésie) fut tout d'abord compensé par le prêt d'un récepteur Z12 par l'UHNC pendant 4 mois en 1998 avant la livraison de 2 récepteurs Z12 neufs par l'EPSHOM au mois de janvier 1999.

L'UHP dispose désormais de 5 récepteurs (dont en moyenne un en panne) : 3 récepteurs de type M12 et 2 récepteurs de type Z12 (plus performants notamment pour l'emploi en mode cinématique).

L'attribution d'un récepteur Z12 supplémentaire doit être envisagée à court terme.

Un récepteur GPS portable de type Magellan color track approvisionné au mois de janvier 1999 est couramment utilisé pour la recherche des bornes anciennes. La position fournie permet de cerner la position à 100 m près ; une recherche circonscrite dans un rayon de 50 m et aidée par les repères naturels figurant sur les feuillets photographiques de fiches géodésiques peut alors être effectuée.

### 7.4. OCÉANOGRAPHIE

#### 7.4.1. Bathycélérimètre

Depuis le mois de septembre 1997, la MOP en Polynésie ne disposait plus de bathycélérimètre (le bathycélérimètre Suber SLS 22 en avarie a été renvoyé à l'EPSHOM).

Un bathycélérimètre de type SV 510 fut reçu au mois de juin 1999.

#### 7.4.2. Marée

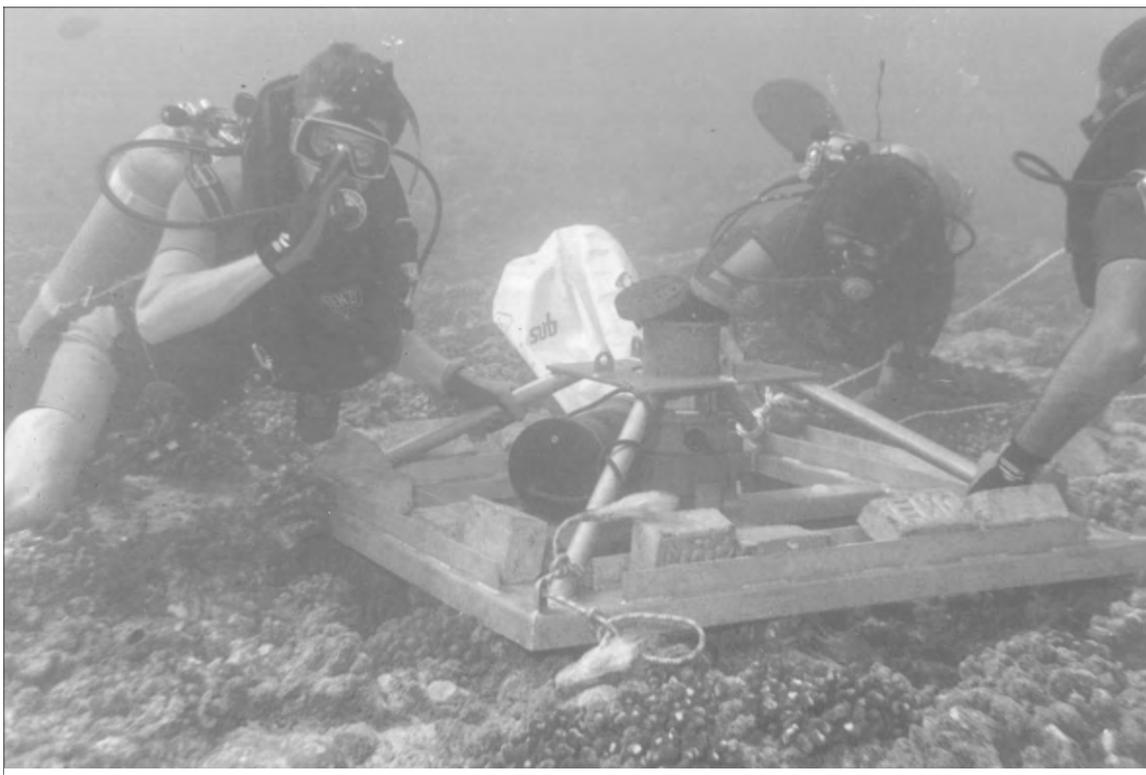
L'UHP dispose de 4 marégraphes de type Suber SLS 23. Ces marégraphes fonctionnent globalement bien. Cependant, par prudence, lorsque le nombre d'observations le permet, deux marégraphes sont mis en place pour chaque observatoire. La dotation est toutefois un peu trop faible dans la plupart des cas, car l'établissement de zéros hydrographiques sur les atolls mobilise des marégraphes pendant des périodes longues.

L'observatoire permanent de Matavai est vétuste. Il devrait être remplacé par le marégraphe côtier numérique de l'université d'Hawaï à la maintenance duquel la MOP devrait participer.

Une réunion avec le responsable technique de l'Université d'Hawaï était programmée au mois de septembre 1999 pour fixer les modalités de l'intervention de la MOP.

#### 7.4.3. Courant

L'UHP dispose de 3 courantomètres à rotor de type Suber SLS21 et d'un courantomètre autonome Doppler petits fonds Nortek. L'attribution d'un courantomètre Doppler est une grande satisfaction, ce matériel est en effet très adapté pour la mesure des courants forts fréquents dans les passes et permet en outre d'effectuer des mesures de courant dans les eaux resserrées sans engager la colonne d'eau en raison de son principe de mesure à distance.



Le courantomètre Doppler autonome dans sa cage conçue par la MOP et réalisée par la DCN Papeete.

## 7.5. BUREAUTIQUE

Le parc d'ordinateurs de type PC a été remis à niveau en 1998 par la livraison de 4 PC, et 1 imprimante couleur HP690C.

Un appareil photographique numérique a été reçu au mois de juillet 1999, cet appareil permettra de vérifier en mission et en temps peu différé, c'est-à-dire avant de quitter la zone de travail, que les prises de vue ont bien été acquises.

## 7.6. SONDEURS

### *Sondeurs verticaux*

L'UHP dispose de trois sondeurs bifréquence (33 kHz, 210 kHz) de type Deso 20, dont l'un avec carte grands fonds et carte compensateur de houle.

Cette dotation est insuffisante en raison du taux de panne élevé de ces appareils et du manque de pièces de rechange disponibles localement à la DCN (un sondeur complet en pool pour toute la marine basée en Polynésie).

Deux bases hors-bords DESO 10 sont utilisées pour les sondages au moyen des corallines.

L'UHP dispose de 2 sondeurs grands fonds Raythéon 12 kHz complets. Les enregistreurs LSR sont usés mais ont, fort heureusement, été remplacés par des enregistreurs Ultra au mois de juillet 1999.

Deux sondeurs à main de type Hondex fonctionnant à la fréquence 200 kHz sont utilisés pour des levés expéditifs (calage de modèles bathymétriques Spot).

Enfin, des profondimètres sont utilisés par les plongeurs pour effectuer des cotations lors des travaux de recherche.

### *Sondeurs latéraux*

La mission dispose de 3 sondeurs latéraux Edgerton 260 TH pour trois porteurs (le BH et les deux VH). Cette dotation n'offre aucune redondance, or les délais d'intervention et de réparation de la DCN sont très longs (parfois 6 mois ou plus lorsque les pièces doivent être commandées aux Etats-Unis). Pour ce type de matériels, il conviendrait de porter la dotation à 4 ensembles.

## 8. MÉTHODES, DÉVELOPPEMENTS

### 8.1. GÉODÉSIE, SPATIOPRÉPARATION

#### *Géodésie*

L'emploi des techniques de la géodésie spatiale a largement prévalu. Le rapport de synthèse sur la campagne Doris publié par l'EPSHOM dresse un bilan provisoire des îles et atolls rattachés au Réseau Géodésique de référence de la Polynésie Française (RGPF) depuis la mise en place du réseau de référence (RRPF constitué de 13 bornes Doris implantées sur tout le territoire de Polynésie française).

Pour la classification du réseau, les règles de redondance des observations ont dans la mesure du possible été appliquées. Néanmoins, force est de constater que, sans le recours à l'hélicoptère, la multiplication des sites d'observation sur des triangles de dimension typique 100 km n'a pas toujours été possible.

Un certain nombre de rattachements d'îles et atolls ont par conséquent été faits par observation d'une simple base. Cependant, dans tous les cas, la fiche géodésique indique précisément les observations effectuées et la précision absolue du point dans le RGPF est indiquée ainsi que le cas échéant la précision relative lorsqu'un réseau local a été constitué.

Sur le plan de la rédaction la plus grande rigueur a été apportée dans l'archivage des données brutes et des fiches de station des sessions effectuées. Cependant considérant que la simple fourniture de ces éléments ne permet pas à un tiers de refaire des calculs, une fiche de synthèse a été rédigée systématiquement. Cette fiche qui décrit les opérations effectuées, les éventuels problèmes rencontrés et donne les principaux résultats obtenus est systématiquement jointe aux données brutes sous forme numérique (fichier Word).

Une consigne technique (n° 1/98 MOP/UHP) décrit précisément les traitements à effectuer et les documents à générer et à archiver après une session de géodésie.

Une structure d'archivage a été mise en place sur une station de travail et l'architecture réseau permet d'accéder facilement aux données archivées.

On peut ainsi considérer qu'au delà du simple résultat figurant sur la fiche géodésique, la donnée archivée est un véritable capital d'information géodésique dont on peut rejouer les calculs (utilisation d'éphémérides plus précises, compensation globale d'un réseau...).

La fiche en 3<sup>e</sup> partie présente l'architecture de l'archivage des données de géodésie et des prototypes de documents.

#### *Spatiopréparation*

Suite à la livraison de deux récepteurs de géodésie Ashtech Z12 au mois de janvier 1999, les opérations de spatiopréparation sur le terrain ont fait une large place aux relevés topographiques de précision submétrique effectués en mode trajectographie (DGPS cinématique).

Ce procédé remplace avantageusement le procédé par identification et positionnement de pixels.

En effet, l'identification des pixels est souvent hasardeuse pour diverses raisons :

- qualité variable des zooms ;
- écart de date important entre la scène à interpréter et les travaux sur le terrain avec le risque de modification de l'environnement (déplacement des bancs de sable, déplacement de la végétation...) ;
- interprétation des fausses couleurs délicate ;
- enfin bien souvent, on ne dispose pas au moment des travaux sur le terrain des zooms Spot.

Le procédé par topographie du trait de côte outre sa fiabilité supérieure présente l'avantage d'être **universel**. Ne s'appuyant pas sur une notion de pixel, il ne préjuge pas en effet de l'image à recalcr (Spot, photo aérienne, topographie laser...) et peut par conséquent être utilisé pour diverses applications.

La fiche en 3<sup>e</sup> partie présente un exemple de topographie commentée dans la perspective d'une exploitation en imagerie.

## 8.2. COURANTOLOGIE

L'approvisionnement à l'UHP d'un courantomètre Doppler petits fonds a marqué un net progrès.

Le courantomètre Doppler n'est pas limité technologiquement dans la mesure des courants forts (ce qui n'est pas le cas des courantomètres à rotor Suber SLS21 limités à des courants de 8 nd). De plus son principe de mesure à distance présente l'intérêt de permettre son installation sur le fond là où les courants sont les plus faibles et là où l'appareil est par conséquent le moins exposé. Enfin, ce principe de mesure présente l'avantage de ne pas engager la colonne d'eau par une ligne de mouillage.

Les dossiers d'observations de courant au moyen du courantomètre Doppler ont été rédigés classiquement, les planches ont simplement été éditées pour plusieurs couches à différentes immersions.

Il est évident cependant que la donnée numérique (jointe au dossier de courant) permet de faire des exploitations beaucoup plus riches.

## 8.3. ETUDE DU GÉOÏDE

A l'occasion du levé du chenal de la passe de Tiputa au Lagon Bleu effectué à Rangiroa (Tuamotu), une étude de la concordance entre 3 observatoires de marée rattachés au RGPF situés respectivement sur le bord nord de l'atoll à Tiputa, au milieu de l'atoll sur le motu Paio et sur le bord sud de l'atoll au Lagon Bleu avait permis de mettre en évidence la différence d'altitude RGPF importante du niveau moyen sur ces sites.

Afin de confirmer et de préciser ces observations, l'altimétrie de la trace Tiputa-Motu Paio-Lagon Bleu a été observée au moyen d'un relevé en DGPS cinématique.

La déformation importante du géoïde a ainsi pu être mesurée et restituée dans le système RGPF (voir 3<sup>e</sup> partie).

Une fiche technique (n° 142 MOP/UHP/NP du 25 août 1998) décrit les résultats de l'étude.

## 8.4. LOGICIEL DE GESTION DE L'ACTIVITÉ

Saisissant l'occasion de la réforme de l'instruction sur la rédaction des comptes rendus périodiques d'activité (CPA) intervenue en 1998, un logiciel de gestion de l'activité a été développé par l'IETA Samy Youssef. Le logiciel O-Gast – Outil pour la Gestion de l'Activité et le Suivi des Travaux d'hydrographie- permet de saisir les unités d'œuvre du personnel, de les affecter à différentes tâches, de saisir les états du matériel et l'avancement de la rédaction, de comparer des objectifs et des réalisations et enfin de générer tous les tableaux nécessaires à l'élaboration du CPA.

Ce logiciel est utilisé de façon opérationnelle à l'UHP depuis le mois d'avril 1999. La fiche en 3<sup>e</sup> partie décrit sommairement les fonctionnalités de ce logiciel.

## 8.5. EMPLOI DU SONAL

Sur la base des courbes de performance établies par le rapport d'étude de l'EPSHOM n° 7/90, un simulateur des performances du sonal (à l'état de prototype) a été développé

sous Excel. L'utilisation de ce simulateur a permis de fixer une doctrine d'emploi du sonal moins schématique que le principe de double insonification. Un exemple de résultat de simulation et la doctrine d'emploi sont donnés en 3<sup>e</sup> partie de ce rapport.

Le choix des paramètres d'inclinaison des bases, d'espace-ment entre les profils et de portée du sonal lors de la préparation des levés étaient effectués en utilisant ces résultats.

## **9. PERSPECTIVE CONCERNANT L'ACTIVITÉ HYDROGRAPHIQUE EN POLYNÉSIE FRANÇAISE**

A la lumière des réflexions menées pour l'établissement du plan triennal des levés hydrographiques en Polynésie française il apparaît qu'au terme du prochain plan, l'essentiel des travaux d'hydrographie générale en zone côtière présentant un intérêt pour le développement de la Polynésie sera très avancé.

Le plan a été établi en considérant que l'hydrographie de la passe principale et du chenal d'accès au village principal pour chaque île ou atoll ressort de l'hydrographie générale et donc de la responsabilité du SHOM.

On peut prévoir que la part des levés océaniques deviendra à échéance de 3 à 4 ans la part prépondérante de l'activité de la MOP en Polynésie française. Or, les équipements actuels de l'*Arago* n'en font pas un bâtiment adapté pour ce

type de levés. Si le besoin du développement de l'hydrographie océanique de la Polynésie est confirmé, il faudra alors envisager l'équipement du BH *Arago* d'un sondeur multifaisceaux grands fonds.

La capacité hydrographique territoriale aura quant à elle la charge de la maintenance et du développement de l'hydrographie des eaux intérieures.

Par ailleurs dans le domaine de l'hydrographie militaire, les demandes de levé de plageage faites par le commandant de la marine en Polynésie pour 2000 laissent envisager une augmentation de l'activité de la MOP dans ce domaine.

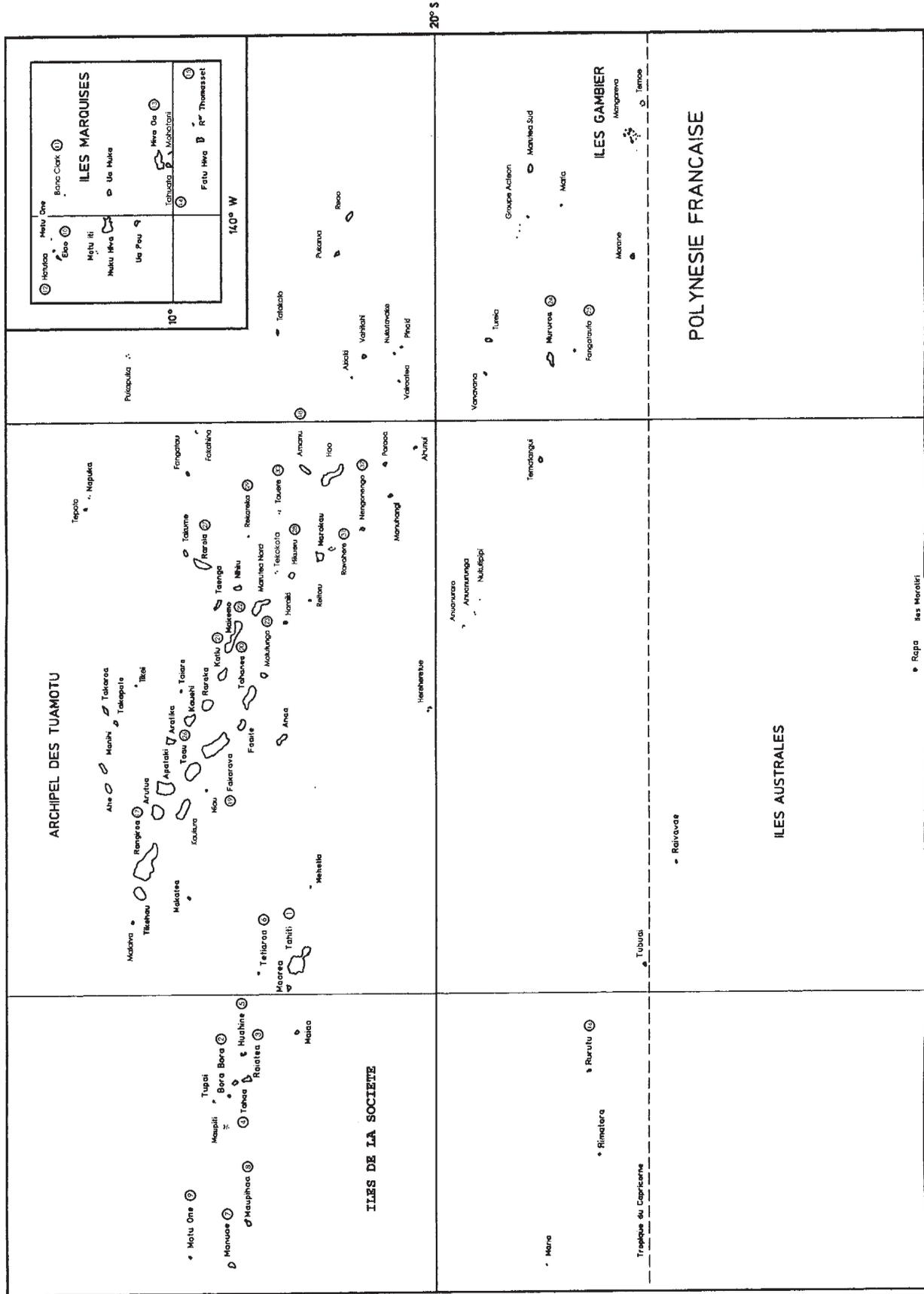
## **10. VISITE D'AUTORITÉS, COMMUNICATION**

Au mois de novembre 1998, peu après sa prise de fonction, ALPACI a visité l'*Arago* et l'UHP à l'occasion d'un levé réalisé à Rangiroa. Les différents aspects du travail de la MOP furent démontrés à cette occasion : géodésie, levé vedettes, levé bâtiment.

Les articles de presse publiés entre le mois d'août 1997 et le mois de juillet 1999 concernant la MOP sont rassemblés en 4<sup>e</sup> partie.

## LEVÉS RÉALISÉS D'AOÛT 1997 A JUILLET 1999

SOCIETE		AUSTRALES	
1	Tahiti :	16	Rurutu : Levé de la baie de Moerai
2	Bora Bora :		Levé des approches large
3	Raiatea :		
4	Tahaa :		
5	Huahine :		
	Levé de la passe Avapehi à la passe Avamoa au quai de Fare et à la baie de Haavai		
6	Tetiaroa :	17	Rangiroa : Levé d'un chenal de Tiputa au Lagon Bleu
7	Manuae :		Levé d'un chenal d'Avatoru à Tiputa
8	Maupihaa :	18	Amanu : Levé des approches de la passe de Tiputa
9	Motu-One :	19	Fakarava : Levé de la passe Fafameru au village d'Ikitake
		20	Tahanea : Levé de la passe Garuae au village de Rotoava
		21	Katiu : Levé de la passe Teavatapu au village de Kari Karina
		22	Makemo : Levé de la passe Pakaka au quai Hitianau
		23	Motutunga : Levé de la passe Arikitamiro au village de Pouhave
		24	Mururoa : Levé de la passe Motu Tunga
		25	Fangataufa : Revue d'amers et de balisage
		26	Toau : Revue d'amers et de balisage
		27	Raroia : Levé de la passe Otugi au village de Maragai
		28	Hikueru : Levé de la passe Ngaruae au village de Ngarumaov
		29	Rekareka : Levé des approches
		30	Tauere : Levé des approches
		31	Ravahere : Levé des approches
		32	Nengonengo : Levé des approches
<b>MARQUISES</b>			
10	Eiao :		Levé de la baie de Vaituha
11	Arc Eiao banc Clark :		Levé large et levé des bancs
12	Eiao Hatutaa :		Recherche d'une sonde douteuse dans le détroit entre Eiao et Hatutaa
13	Hiva Oa :		Recherche d'une sonde douteuse à proximité de la pointe Mautau
14	Tahuata :		Topographie du trait de côte de la pointe Matatevai au cap Motave
15	Thomasset :		Topographie du rocher Thomasset



Levés réalisés d'août 1997 à juillet 1999.

## 2<sup>e</sup> Partie

### Développements, méthodes et études

	Page
<b>1. DOCTRINE D'EMPLOI DU SONDEUR LATÉRAL (SONAL) A LA MOP POLYNÉSIE .....</b>	<b>9-20</b>
1.1 Généralités .....	9-20
1.2 Étude effectuée .....	9-20
1.3 Tableau de fonctionnement .....	9-21
<b>2. ÉTUDE DU GÉOÏDE A RANGIROA .....</b>	<b>9-22</b>
<b>3. UTILISATION DE LA TRAJECTROGRAPHIE DGPS CINÉMATIQUE POUR LA SPATIOPRÉPARATION .....</b>	<b>9-23</b>
3.1 Présentation.....	9-23
3.2 Recommandations pratiques.....	9-23
<b>4. OUTIL INFORMATIQUE POUR LA GESTION DE L'ACTIVITÉ EN MISSION HYDROGRAPHIQUE.....</b>	<b>9-25</b>
4.1 Introduction .....	9-25
4.2 Les fonctionnalités de O-GAST.....	9-25
4.3 Une base de données centralisée.....	9-25
4.4 La saisie des données.....	9-25
4.5 L'exploitation des informations .....	9-25
4.6 Un outil évolutif .....	9-25
4.7 Documentation associée .....	9-26
4.8 Conclusion .....	9-26
<b>5. TRAITEMENT ET ARCHIVAGE DES MESURES DE GÉODÉSIE EFFECTUÉES A L'AIDE DE RÉCEPTEURS ASHTECH.....</b>	<b>9-27</b>
5.1 Introduction .....	9-27
5.2 Les documents produits .....	9-27
5.2.1 Les documents et données terrain .....	9-27
5.2.2 Les documents de calcul .....	9-27
5.2.3 La fiche synthèse .....	9-27
5.2.4 Les documents de rédaction .....	9-27
5.3 L'archivage des données et des documents .....	9-27
5.3.1 Classement géographique .....	9-27
5.3.2 Classement thématique .....	9-27
5.3.3 Classement par travaux géodésiques .....	9-27
5.4 Conclusion .....	9-28
<b>ANNEXE A .....</b>	<b>9-29</b>
<b>ANNEXE B .....</b>	<b>9-30</b>
<b>ANNEXE C .....</b>	<b>9-32</b>

# 1. DOCTRINE D'EMPLOI DU SONAL A LA MOP POLYNÉSIE

## 1.1 GÉNÉRALITÉS

Le document de référence concernant les performances du sonal est le rapport d'étude EPSHOM n° 7/90. Ce rapport établit la courbe donnant la probabilité théorique de détection du sonal en fonction de l'angle d'incidence du rayon acoustique.

A partir des performances théoriques du sonal, des scénarios de levé garantissant "l'insonification totale d'une zone" sont élaborés. Ces scénarios sont des combinaisons de différents paramètres : espacement entre profils, inclinaison des transducteurs du poisson remorqué, portée sélectionnée et vitesse du porteur.

L'idée communément admise, qui relève en fait plus du moyen mnémotechnique, est qu'il est nécessaire d'assurer la double insonification pour obtenir la garantie de détecter toute obstruction (dans les limites de la résolution du sonal toutefois soit 0,75 % de la portée pour une fréquence de 100 kHz).

Afin de préciser cette notion un simulateur a été développé. Ce simulateur est utile a priori pour établir un plan de levé garantissant la détection complète des obstructions (dans les limites de la résolution du sonal) ou a posteriori pour vérifier ce que garantit un levé.

## 1.2 ÉTUDE EFFECTUÉE

Le simulateur développé au moyen du progiciel Excel est très simple ; il consiste à mettre en situation les courbes de détection du sonal (dont la forme dépend de l'inclinaison des transducteurs, de la portée et de l'altitude du poisson) en les écartant de l'espacement entre les profils du levé. Dans la fenêtre graphique, on superpose les courbes de détection

des profils adjacents à la zone d'intérêt et les courbes des profils "extérieurs" à la zone d'intérêt (les notions de profils adjacent et extérieur apparaissent sur le schéma ci-après).

Pour toute simulation, on fixe les paramètres suivants de façon interactive (voir l'exemple de résultat du simulateur ci-après) :

- paramètres concernant le sonal (cases jaunes) : inclinaison des transducteurs et portée ;
- paramètres concernant le levé et la navigation (cases vertes) : espacement entre profils, altitude du poisson au-dessus du fond.

Un exemple de résultat de simulation est présenté ci-après. Sur l'exemple, les paramètres choisis sont :

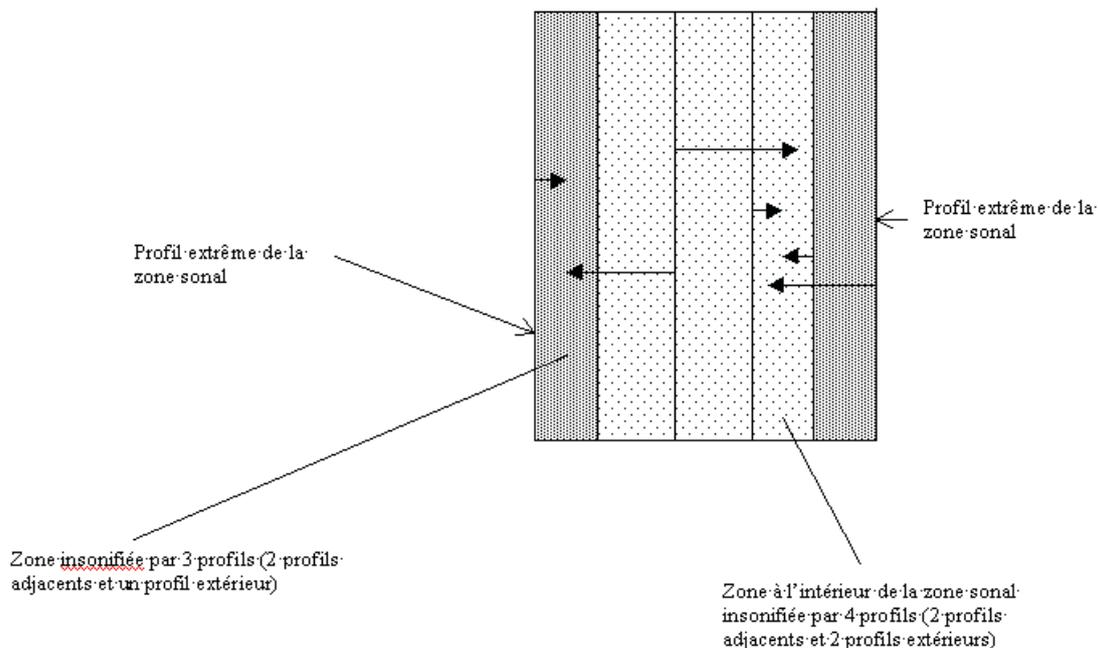
- pour le réglage du sonal (cases jaunes) de 20° d'inclinaison et 150 m de portée ;
- pour les paramètres navigation (cases vertes) espacement inter-profils 100 m et altitude du poisson au-dessus du fond 29 m.

En abscisse, on peut lire la distance latérale. En ordonnée, la probabilité de détection. La probabilité de détection résultante lorsque plusieurs profils participent à la détection s'obtient en prenant en chaque point la détection maximale offerte.

Le seuil de détection garanti par le sonal au moyen de l'ensemble des profils ou d'une partie des profils seulement se déduit du graphique.

Si la zone d'intérêt se trouve en bordure de la zone de levé sonal, on ne dispose que de 3 profils pour assurer la détection (un seul profil extérieur, voir le premier schéma) alors que si la zone d'intérêt est au milieu du levé on dispose de 4 profils pour assurer la détection (2 profils adjacents et 2 profils extérieurs).

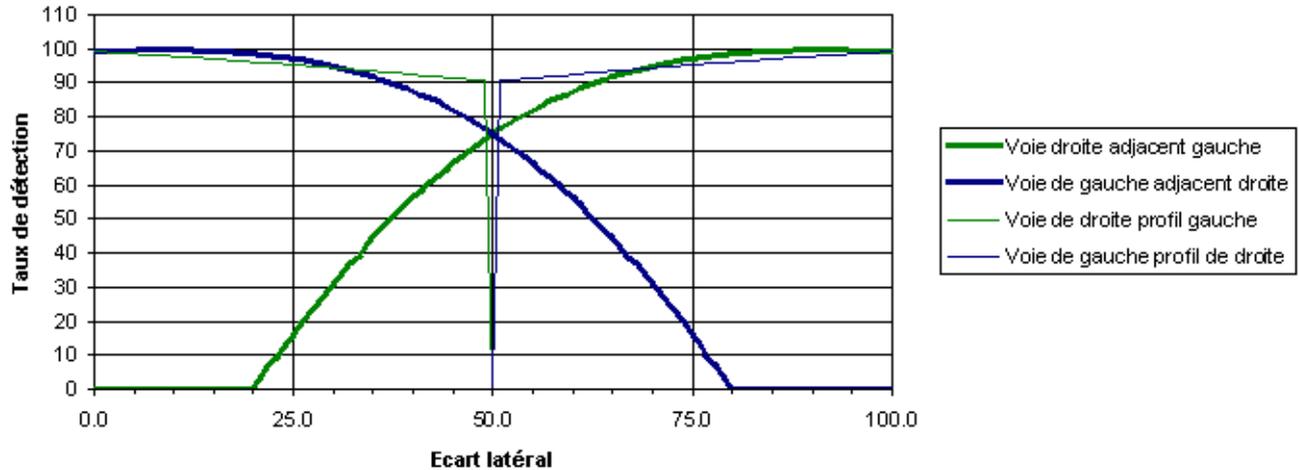
Ainsi avec les paramètres choisis sur l'exemple, on constate que les profils adjacents qui assurent la double insonification de la zone offrent une probabilité de détection inférieure à 80 % au milieu de la zone entre 2 profils, alors que les profils extérieurs permettent d'obtenir une détection de l'ordre de 90 %.



Profils participant à la détection, notion de profil adjacent et de profil extérieur.

Réglages sonal		Navigation	
Angle	20	Interprofil	100
Portée	150	Altitude Poisson	35

### Détection en fonction de la distance latérale



Profils participant à la détection, notion de profil adjacent et de profil extérieur.

### 1.3 TABLEAU DE FONCTIONNEMENT

Des séries de simulations ont été effectuées afin de définir un tableau de fonctionnement du sonal. Les entrées du tableau sont les réglages sonal (portée, inclinaison des bases et espacement entre profils), pour chaque combinaison en entrée on lit dans le tableau le créneau d'altitude du poisson au-dessus du fond à respecter pour une détection complète.

On distingue deux cas :

1. Détection par les profils adjacents uniquement (qui correspond au cas pratique où on s'intéresse à la détection sur les bords d'un levé sonal- voir schéma ci-dessus) ;
2. Détection par les profils adjacents et extérieurs (qui correspond au cas où l'on s'intéresserait à la détection au milieu d'une zone sonal).

Espacement interprofils	Portée	Base	Créneau altitude dét. par prof. adjcts.	Créneau altitude dét. par prof. adjcts.et ext.	Résolution
20	50	10°	2-3	2-10	0.4
20	50	20°	-	8-16	0.4
25	50	10°	2-4	2-12	0.4
25	50	20°	-	9-20	0.4
35	50	10°	3-6	3-6	0.4
35	50	20°	9-10	9-10	0.4
35	75	10°	3-6	3-11	0.6
35	75	20°	9-10	9-10+13-28	0.6
50	75	10°	4-9	4-16	0.6
50	75	20°	12-14	12-14+18-27	0.6
50	100	10°	4-9	4-25	0.8
50	100	20°	12-14	12-14+18-40	0.8
75	100	10°	5-13	5-13	0.8
75	100	20°	17-21	17-21	0.8
75	150	10°	5-13	5-38	1.1
75	150	20°	18-20	18-20+27-61	1.1
100	150	10°	7-18	7-35	1.1
100	150	20°	23-29	23-29+35-55	1.1

## 2. ÉTUDE DU GÉOÏDE A RANGIROA

**RÉFÉRENCE** : Lettre n° 142 MOP/UHP/NP du 25 août 1998.

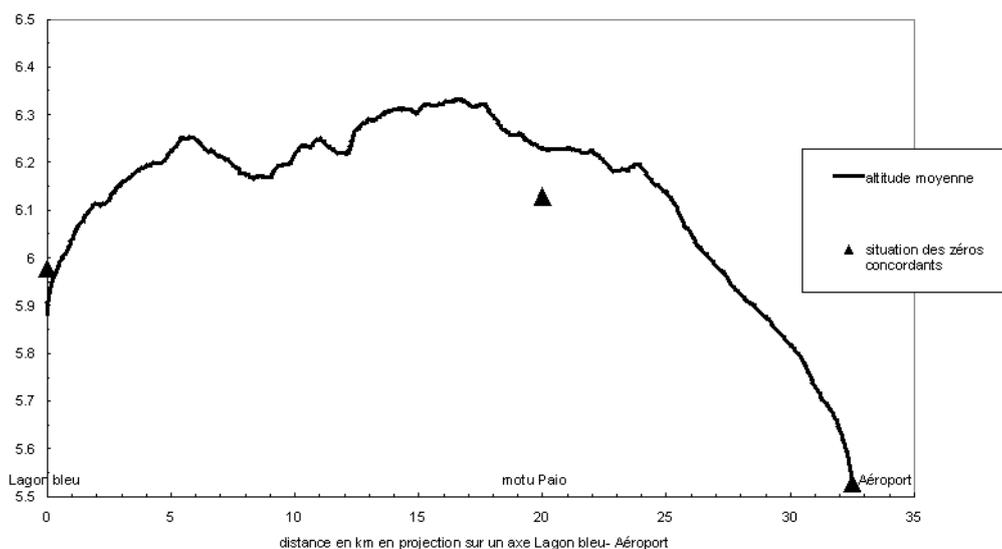
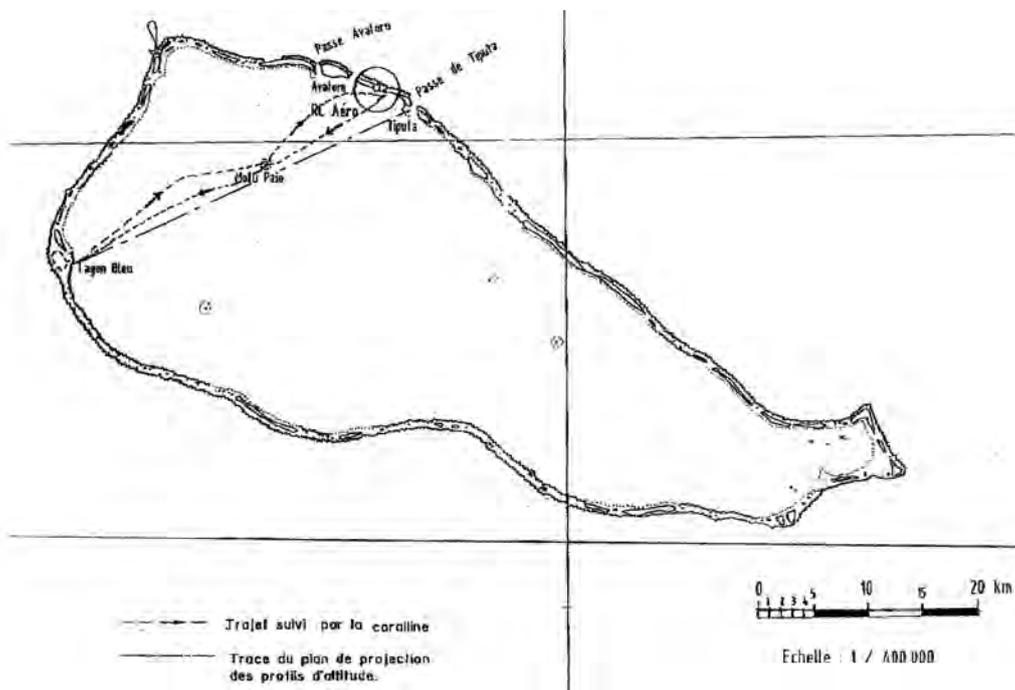
Lors du levé bathymétrique d'un chenal entre la passe de Tiputa et le Lagon Bleu à Rangiroa (Tuamotu), la mise en place de marégraphes "nivelés" dans le système WGS84 a permis de mettre en évidence la variation importante de l'altitude du niveau moyen entre les bords de l'atoll et le milieu du lagon.

L'étude en référence examine différentes hypothèses pour expliquer cette déformation et conclut qu'elle a pour origine la déformation du géoïde à Rangiroa (le mont sous-marin portant l'atoll étant la cause de cette déformation).

Afin de préciser la topographie du géoïde, l'altitude de la surface du lagon, assimilée à une équipotentielle de pesanteur, a été relevée sur la trace Tiputa - Lagon Bleu.

L'observation effectuée met en évidence la déformation importante de la surface dans le référentiel WGS84 et présentant une dénivellation de l'ordre de 0,80 m entre le milieu du lagon (aux abords du motu Paio) et le bord (passe de Tiputa) (voir graphique ci-après).

La technique utilisée (GPS différentiel en mode cinématique) et l'organisation (installation matérielle...) pour effectuer le relevé sont décrites dans l'étude en référence.



Forme approchée du géoïde dans le lagon de Rangiroa (altitudes relatives dans le système WGS-84).

### 3. UTILISATION DE LA TRAJECTOGRAPHIE DGPS CINÉMATIQUE POUR LA SPATIOPRÉPARATION

#### 3.1 PRÉSENTATION

Pour effectuer le calage géographique des images Spot, on effectue généralement le positionnement de pixels caractéristiques repérés sur le terrain au moyen de zooms de l'image. Cependant, cette méthode se heurte à plusieurs types de difficultés :

- Identification du pixel : elle est délicate car l'environnement change, les bancs de sable se déplacent, la végétation peut être fortement modifiée lors du passage de cyclones... En conséquence, les images de référence à caler géographiquement sont des images d'archive souvent anciennes (5 à 10 ans) susceptibles d'être assez éloignées de la réalité. Les pixels qui sont de petites structures (20x20m) sont particulièrement sensibles aux modifications de l'environnement ;
- La qualité des zooms est variable : l'analyse comparée de plusieurs zooms extraits d'images différentes met en évidence la difficulté à mettre en place une correspondance couleur/nature valable pour toutes les images. Par ailleurs, certains zooms sont de très bonne qualité graphique alors que d'autres ont une qualité d'impression médiocre (photocopie couleur, variété des imprimantes utilisées pour produire les zooms ?) ;
- Absence de zoom : les travaux de spatio-préparation sont souvent des travaux d'opportunité. On ne dispose pas alors de l'image Spot et on doit repérer a priori ce qui est susceptible de constituer un pixel remarquable ;
- Dispersion des pixels remarquables : la dispersion des pixels (pour la qualité du calage il est nécessaire de positionner plusieurs pixels) constitue une difficulté logistique indéniable. Les matériels de géodésie sont lourds (même si leur poids diminue au gré des améliorations technologiques).

Afin de pallier ces inconvénients, une technique alternative (ou complémentaire) a été régulièrement mise en œuvre : la trajectographie de structures remarquables en DGPS cinématique. Cette technique consiste à effectuer la topographie de structures au moyen de récepteurs de géodésie Ashtech utilisés en mode cinématique (récepteurs Z12 de préférence en raison de la plus grande rapidité de ces récepteurs à lever les ambiguïtés par rapport aux récepteurs de type M12). Le recours à cette technique est plus performant au regard des inconvénients cités ci-dessus pour les raisons suivantes :

- Les structures topographiées sont des "macro-structures", par exemple le tour d'un motu, ou quelques kilomètres d'une limite végétation/sable. L'incidence des modifications de l'environnement sur ces structures est nettement moins pénalisante ;
- On n'a pas à se préoccuper de la qualité du zoom Spot. Les dispositions pratiques consistent à trajectographier des structures aussi grandes que possible, pour minimiser l'impact du changement de l'environnement, et à choisir une structure pas trop linéaire car la structure doit permettre de caler l'image suivant deux axes (il est cependant toujours possible de trajectographier deux structures linéaires d'orientations différentes, deux Hoas

ou passes par exemple). Pour identifier de telles structures, le zoom Spot n'est pas nécessaire ;

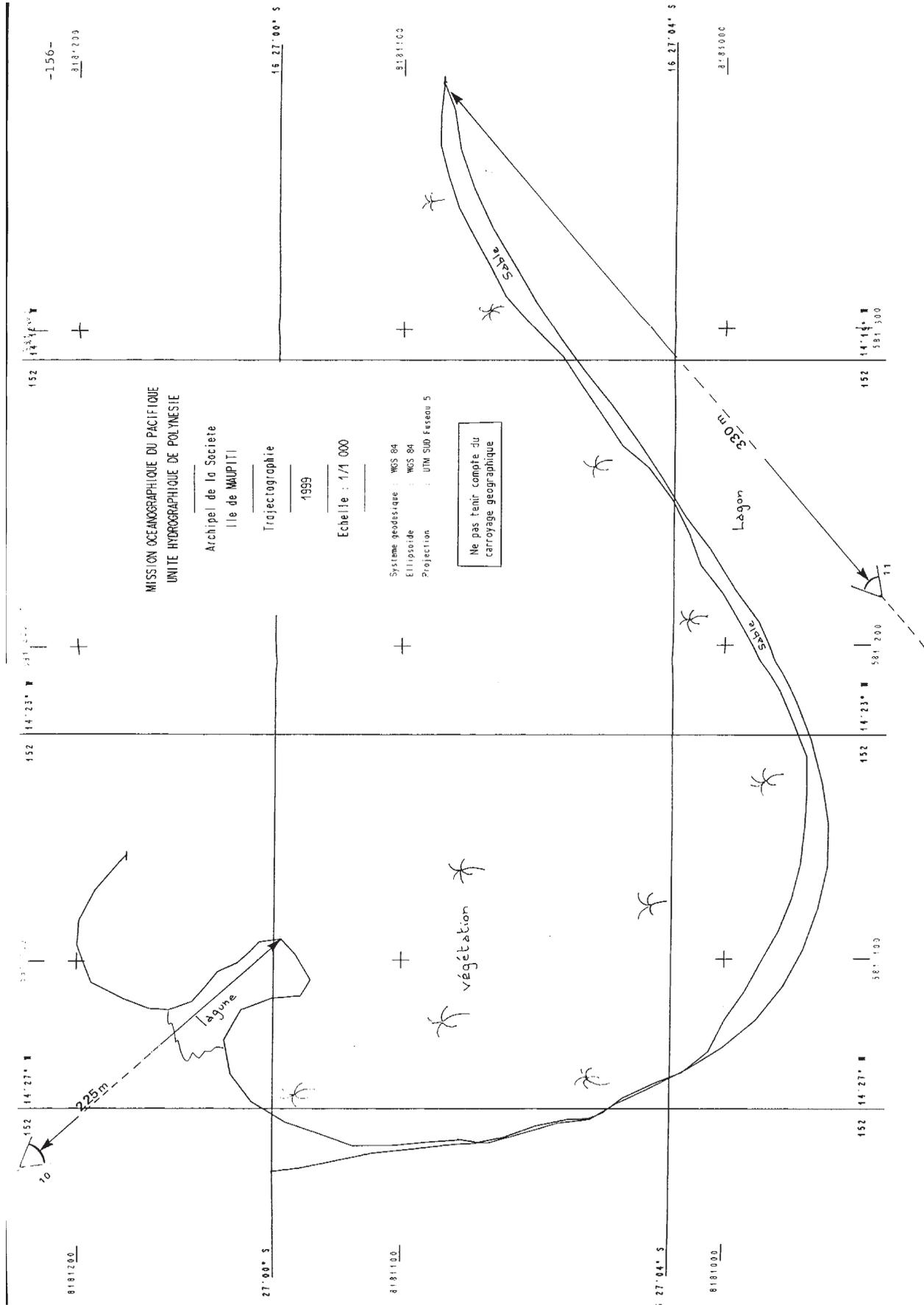
- Les travaux peuvent généralement être entrepris directement au départ de la station géodésique de référence ce qui simplifie la logistique. La seule contrainte, mais elle est impérative, est de s'assurer que l'on peut disposer d'un trajet à ciel ouvert de façon à ne pas interrompre la réception des signaux des satellites, synonyme d'échec en mode DGPS cinématique (ou du moins de nécessité de réinitialiser les ambiguïtés).

Enfin, et c'est le point le plus fondamental, la trajectographie de structures remarquables présente l'immense avantage sur la technique "pixel" d'être beaucoup plus **universelle**. En effet, alors que le positionnement de pixels est très orienté sur le calage d'une image Spot, la trajectographie ne préjuge pas du type d'image à caler : image Spot, photographie aérienne, image laser... Le résultat obtenu est une topographie de précision décimétrique permettant une rédaction à des échelles jusqu'à 1/500.

#### 3.2 RECOMMANDATIONS PRATIQUES

Quatre opérateurs sont nécessaires pour effectuer un travail de topographie cinématique. Un porteur d'antenne, un porteur de récepteur et de batterie, un dessinateur renseignant la fiche de relevé, un photographe.

Un exemple de relevé topographique est joint. Les photographies sont repérées sur la minute de topographie (ces photographies ne sont pas jointes à la présente fiche), elles permettent en complément des commentaires de préciser la nature des sols, la nature et la densité de la végétation...



## 4. OUTIL INFORMATIQUE POUR LA GESTION DE L'ACTIVITÉ EN MISSION HYDROGRAPHIQUE

### 4.1 INTRODUCTION

Le management d'une mission hydrographique nécessite la connaissance et l'utilisation de diverses informations concernant l'activité, les moyens et le personnel. Qu'il s'agisse de l'avancement des levés, du déroulement des missions sur le terrain ou du personnel, il est utile de pouvoir accéder aisément à des informations à jour. Il est également utile de pouvoir effectuer rapidement une synthèse de ces informations, que ce soit pour évaluer les coûts, détecter les écarts par rapport aux prévisions ou rédiger un compte-rendu périodique d'activité.

Pour répondre à ces besoins, un outil informatique, baptisé O-GAST (Outil pour la Gestion de l'Activité et le Suivi des Travaux), a été développé à l'UHP fin 1998 par l'IETA Samy Youssef.

### 4.2 LES FONCTIONNALITÉS DE O-GAST

O-GAST a pour objectif principal de suivre l'activité de l'UHP : avancement des chantiers et coûts en unités d'œuvre. Permettant de saisir des données de manière continue, sûre et aisée, il donne accès à tout instant à un ensemble d'informations à jour sur :

- la définition et l'avancement des travaux (hydrographiques ou autres) ;
- l'exécution des missions à la mer ou sur le terrain ;
- le matériel détenu, son état et sa situation.

### 4.3 UNE BASE DE DONNÉES CENTRALISÉE

Centralisant la saisie de diverses informations dans une même base de données, O-GAST évite les saisies multiples. Par exemple, saisir les données sur une mission Arago permet à la fois de stocker les UO pour les différents levés effectués lors de la mission, mais également les jours d'embarquement.

La base de données se trouve sur un disque du réseau interne de l'unité, et peut être accessible de tout PC équipé de Microsoft Access.

### 4.4 LA SAISIE DES DONNÉES

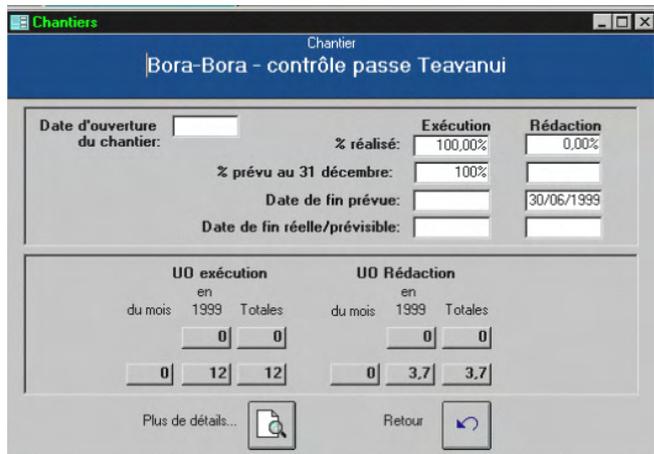
La saisie et la consultation des données se fait par l'intermédiaire de formulaires élaborés. Chaque formulaire est adapté à un type d'information. La saisie est simplifiée par des menus déroulants, et fiabilisée par des règles de validation. L'utilisation de menus et de formulaires personnalisés permet une prise en main très rapide. Les accès aux données en écriture sont limités en fonction de l'utilisateur connecté à la base.



### 4.5 L'EXPLOITATION DES INFORMATIONS

O-GAST permet, grâce à des requêtes prédéfinies accessibles à l'aide de boutons, d'obtenir et d'imprimer instantanément les différents états devant figurer chaque mois dans le CPA (avancement des travaux, utilisation des moyens, etc.). Toutes les données étant par ailleurs archivées dans la base, des états différentiels peuvent être obtenus sur des périodes variables, afin de réaliser diverses analyses sur les différents aspects de l'activité (coûts en UO, fiabilité des prévisions, ...).

Les formulaires de saisie et consultation permettent d'obtenir en ligne les informations concernant les levés, les missions, ou le matériel.



### 4.6 UN OUTIL ÉVOLUTIF

O-GAST a été développé à l'aide de Microsoft Access. Des tables et des requêtes peuvent être modifiées et créées aisément, que ce soit pour établir des statistiques sur la production, ou gérer de nouveaux thèmes comme l'activité des hydrographes plongeurs ou les crédits, ceci sans perdre les données saisies au cours des mois précédents. L'interface peut également être modifiée selon les exigences des utilisateurs, sans remettre en cause les données. Access assure la compatibilité avec la plupart des systèmes de gestion de base de données.

#### **4.7 DOCUMENTATION ASSOCIÉE**

Un manuel utilisateur permet une prise en main rapide de O-GAST. La tenue à jour de la base est répartie entre les différentes fonctions de la mission (avancement des levés pour le chef de la salle de dessin, tenue à jour des informations sur le matériel par le chef du service logistique). Une procédure pour la gestion, la planification et le suivi de l'activité de l'UHP formalise l'utilisation de O-GAST.

#### **4.8 CONCLUSION**

Utilisé depuis 7 mois à l'UHP, O-GAST a permis à la fois de réduire la charge que représente la rédaction des comptes-rendus périodiques d'activité, et d'éviter les erreurs de saisie et de report d'informations.

Parallèlement, il constitue, pour le directeur technique, le chef du service hydrographie et le chef de la salle de dessin, à la fois un tableau de bord et une source de documentation sur les travaux hydrographiques.

Des extensions des domaines traités par O-GAST ont pu être facilement réalisées depuis sa création, et d'autres peuvent être envisagées : gestion de la documentation et du courrier (c'est déjà le cas pour les instructions techniques concernant les levés), gestion de l'activité plongée, etc.

## 5. TRAITEMENT ET ARCHIVAGE DES MESURES DE GÉODÉSIE EFFECTUÉES A L'AIDE DE RÉCEPTEURS ASHTECH

### 5.1 INTRODUCTION

Le GPS est largement utilisé par la MOP en Polynésie, pour les travaux suivants :

- rattachement d'îles et d'atolls au RGPF ;
- contrôle et établissement de réseaux locaux ;
- spatiopréparation ;
- positionnement d'amers et de balisage ;
- topographie.

Si des documents définitifs sont rédigés, archivés sous forme papier et transmis au SHOM, le coût que représentent les mesures sur le terrain incite à s'assurer que les données brutes pourront être réutilisées dans le futur, si l'intérêt ou le besoin s'en faisait sentir (reprises de traitements avec des éphémérides précises, compensation de réseaux...). A cet effet, des procédures de traitement et d'archivage ont été formalisées afin d'assurer :

- l'accessibilité aux données et aux résultats ;
- la sécurité des informations ;
- l'existence d'une documentation explicitant les mesures, les calculs et les résultats.

La documentation archivée doit permettre la reprise ou la critique des calculs.

### 5.2 LES DOCUMENTS PRODUITS

#### 5.2.1 Les documents et données terrain

Lors des observations, des fiches de stations sont renseignées sur chaque site. Une fiche de station contient des données sur le site observé, l'appareil utilisé, les paramètres d'acquisition et la météo. Les fiches de stations sont saisies et archivées sous forme numérique. Un exemple de fiche de station est joint en annexe A.

A l'issue des observations, les données des récepteurs sont archivées sur un PC. Lorsque la capacité des récepteurs le permet (soit dans la quasi-totalité des cas), les données sont conservées sur les récepteurs jusqu'à l'achèvement du traitement.

#### 5.2.2 Les documents de calcul

Les calculs des bases et de trajectographie (GPS différentiel en mode cinématique) sont réalisés en général à l'aide du logiciel PRISM.

##### *Calcul des bases*

Les fichiers ASCII des bases sont imprimés et contrôlés.

##### *Compensation*

Lorsqu'on dispose d'un triangle composé de bases longues (supérieures à 15 km en pratique), on contrôle l'erreur de fermeture et on réalise une compensation à l'aide du logiciel geolab. Le listage du calcul et le tracé du réseau sont imprimés.

##### *Calculs cinématiques*

Le fichier des résultats est importé dans Microsoft Excel et la trajectoire est représentée dans un graphique Excel.

#### 5.2.3 La fiche de synthèse

A l'issue des calculs, une fiche de synthèse est rédigée. L'objectif de la fiche de synthèse est de regrouper les éléments nécessaires à l'exploitation des travaux (en général, rédaction de la fiche géodésique) mais aussi de permettre l'exploitation ultérieure des résultats par une personne n'ayant pas participé aux mesures.

La fiche de synthèse décrit :

- les objectifs des travaux ;
- les sites observés ;
- les paramètres adoptés pour les mesures ;
- les logiciels utilisés pour les calculs, les paramètres utilisés ;
- les éventuels rattachements optiques ;
- les résultats définitifs et les précisions estimées.

Un exemplaire de fiche de synthèse est joint en annexe B.

#### 5.2.4 Les documents de rédaction

Les documents de rédaction sont, suivant le type de travaux :

- les fiches géodésiques ;
- les dossiers de spatiopréparation ;
- les minutes de topographie ;
- les dossiers de revue d'amers ou de balisage.

### 5.3 L'ARCHIVAGE DES DONNÉES ET DES DOCUMENTS

Les documents de rédaction sont archivés sous forme papier. Les données brutes, les fiches de station, les fichiers de calcul (calcul des bases et de l'éventuelle compensation) et les fiches de synthèse sont archivés sous forme numérique dans le répertoire <stockage\_donnees> d'un disque dur réseau sauvegardé quotidiennement.

#### 5.3.1 Classement géographique

Sous <stockage\_donnees> figurent des répertoires portant le nom des archipels de Polynésie française. Chacun de ces répertoires contient des données relatives à la zone concernée.

#### 5.3.2 Classement thématique

Sous chaque répertoire <archipel> figure un répertoire <geodesie>.

#### 5.3.3 Classement par travaux géodésiques

Dans chaque répertoire <geodesie> figurent les sous-répertoires relatifs aux travaux de géodésie proprement dits. Ces sous-répertoires contiennent les données brutes, les fichiers de calculs essentiels, les fiches d'observation et la fiche de synthèse.

L'annexe C montre la structure d'archivage appliquée à des exemples types de travaux géodésiques.

## 5.4 CONCLUSION

La quantité importante de travaux réalisés avec les récepteurs Ashtech à l'UHP a rapidement fait ressentir le besoin de méthodes pour le traitement et l'archivage des mesures. La structure d'archivage mise en place assure à la fois la pérennité des données et un accès aisé à celles-ci. L'expérience montre que la rédaction des fiches de synthèse est essentielle à la qualité du traitement.

## ANNEXE A

## FICHE DE STATION GPS N° /MOP/UHP

Mission	MOP/UHP	Opérateur	Fortin
Date UTC	24/03/99		

Pays-Région	Société	Ile	Bora Bora
Nom de la Station	Bitte sur un quai en baie de Faanui (fiche 351 16 629)		
Repère	Centre de la bitte		

Type de récepteur	M12	Rayon d'antenne	0,1318
N° du récepteur		N° d'antenne	

Nom du fichier	SAT1		N° de session		1
Rec. Intvl.	10s	Min.# SVL	4	Elev. Mask	10°
Heure de début (UTC)	03:27		Heure de fin (UTC)		04:48

Hauteur d'antenne (mesures effectuées dans les encoches de l'antenne)			
Début de station		Fin de station	
Repère	Mesure	Repère	Mesure
H	1,490	H	1,490
E	1,490	E	1,490
C	1,490	C	1,490

## Observations météorologiques

N°Baromètre		N°Psychro		
Heure UTC				
T°sèche (°C)				
T°humide (°C)				
Pression corrigée (mb)				
T°Sèche adoptée		T°Humide adoptée		Pression adoptée

Observations, croquis, rattachements...

## ANNEXE B

FICHE DE SYNTHÈSE DE TRAVAUX GEODESIQUES							Fiche n° ../99
Mission	MOP/UHP	Date des travaux	18/05/1999	Levé	-	Région	Tuamotu nord

## 1. OBJECTIFS DES TRAVAUX

Les travaux avaient pour objectif le rattachement des atolls de Takaroa et Takapoto au RGPF.

## 2. RÉSULTATS

Coordonnées adoptées

Système géodésique : **RGPF**

Site (Sites connus en italique)	Latitude ddd°mm'ss,ssss" Longitude ddd°mm'ss,ssss" Altitude (m)	Précision relative (2 écart-types) Horizontale/ Verticale	Précision absolue (2 écart-types) Horizontale / Verticale
<i>Apataki borne DORIS</i>	15° 34' 04.5712" S 146° 24' 47.5993" W 2.461	- -	0,2 0,2
Takapoto borne Mairie	14° 42' 18.71111" S 145° 15' 0.21912" W 0.430	< 2 cm < 1 cm	0,2 0,2
Takaroa borne Citerne	14° 28' 29.29501" S 145° 02' 14.20411" W 2.455	< 2 cm < 1 cm	0,2 0,2

## 3. LISTE DES SITES D'OBSERVATION

N°	Nom du site	Type de repère <i>Douille SHOM, non matérialisé, etc</i>	Nom du fichier <i>Nom de fichier ASHTECH</i>
1	Apataki borne DORIS	Douille hémisphérique DORIS	APAV
2	Takapoto borne Mairie	Tube PVC	MAI1
3	Takaroa borne Citerne	Douille MOP89	TAKA

#### 4. CROQUIS DU RÉSEAU

Indiquer dans la colonne de gauche les numéros de sites avec la cadence d'acquisition pour chacun, dans la 1<sup>ère</sup> ligne les numéros des sites. Indiquer en intersection les durées d'observations communes et les distances approximatives entre deux sites (en km).

	<b>2</b>	<b>3</b> 20s
<b>1</b> 20 s	<b>436'</b> 150 km	<b>253'</b> 200 km
<b>2</b> 20 s		<b>253'</b> 30 km

#### 5. COMMENTAIRES

Erreurs de fermeture avant compensation :

Horizontale : 4,5 cm ;

Verticale : 1,2 cm.

#### 6. CALCULS

##### 6.1. Calcul des bases

Logiciel utilisé : PRISM

BASE : Toutes les bases			
Type de calcul :	<input type="text" value="Statique"/>	Inclinaison mini :	<input type="text" value="25°"/>
Fréquence utilisée :	<input type="text" value="L1C"/>	Nb max d'itérations :	<input type="text" value="7"/>
Ambiguités fixées :	<input type="text" value="Non"/>	Météo :	<input type="text" value="Observée"/>

##### 6.2. Compensation

Logiciel utilisé : GEOLAB

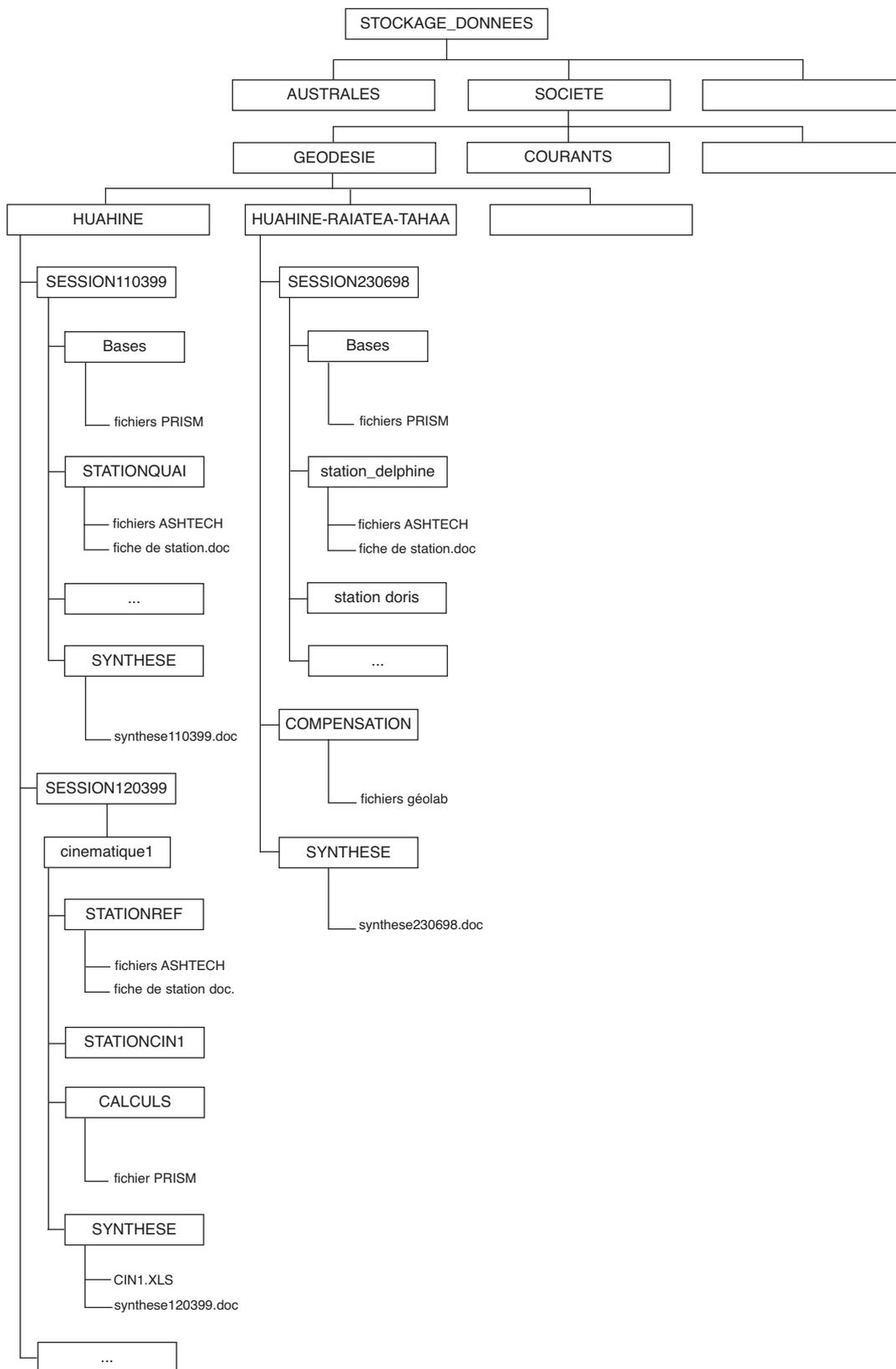
Ellipsoïde : WGS84

##### 6.3. Transformations

**Indiquer les étapes de conversion des coordonnées**

Les coordonnées de Apataki ont été converties de WGS84 vers ITRF92 pour effectuer tous les calculs.

ANNEXE C



## 3<sup>e</sup> Partie

	Page
<b>LISTE DES RAPPORTS PARTICULIERS</b> (entre août 1997 et juillet 1999) .....	<b>9-34</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>9-36</b>
<b>25 PLANCHES DESCRIPTIVES DES LEVÉS</b> .....	<b>9-37</b>

## LISTE DES RAPPORTS PARTICULIERS

entre août 1997 et juillet 1999

### AUSTRALES

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
30/09/98	160 MOP/UHP/NP	Levé du chenal d'accès au port de Mataura à Tubuai (Australes)	6

### MARQUISES

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
31/10/97	202 MOP/UHP/NP	Recherche d'un affleurant à proximité de la pointe Mautau au nord d'Hiva Oa (Iles Marquises)	2
08/12/97	234 MOP/UHP/NP	Topographie du trait de côte de la pointe Matatevai au cap Moteve à l'est de Tahuata (Iles Marquises)	3
20/03/98	62 MOP/UHP/NP	Levé de la baie de Vaituha à Eiao, archipel des Marquises	5
11/05/98	78 MOP/UHP/NP	Spatio-préparation du récif de Fatu Huku (archipel des Marquises)	4
12/07/99	112 MOP/UHP/NP	Marquises, levé bathymétrique de l'arc Eiao - banc Clark, dossier de vues de côtes de l'ensemble des îles.	1

### SOCIÉTÉ

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
05/01/98	MOP/UHP/NP	Levé d'une zone de mouillage en baie de Taravao (Tahiti)	25
05/01/98	2 MOP/UHP/NP	Levé de complément au levé 95-47 (accès au port de Faratea-Taravao (Tahiti))	25
16/03/98	51 MOP/UHP/NP	Recherche d'une zone de mouillage à Tetiaroa (Iles du Vent)	20
17/03/98	54 MOP/UHP/NP	Levé large et spatio-préparation de l'atoll de Maupihaa (Iles sous le Vent)	18
08/12/98	205 MOP/UHP/NP	Levé de la passe d'entrée dans le port autonome de Papeete	24
07/05/99	63 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie, de spatio-préparation et de bathymétrie dans les îles sous le vent (archipel de la Société) à Tupai, Motu One (Bellinghausen) et Huahine	17
14/06/99	89 MOP/UHP/NP	Tahaa (Iles de la Société). Levé de la passe Paipai à la baie Hurepiti.	22
14/06/99	90 MOP/UHP/NP	Raiatea (Iles de la Société). Levé de la passe Teavapiti à Uturoa	21

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
17/06/99	92 MOP/UHP/NP	Manuae (île de la Société), travaux de géodésie et levé des approches de l'atoll	19
29/06/99	101 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie et de spatiopréparation à Maupiti (Iles sous le Vent)	/
30/07/99	125 MOP/UHP/NP	Bora Bora (Iles de la Société), levé de la passe Teavanui	23

## TUAMOTU

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
18/06/98	110 MOP/UHP/NP	Travaux hydrographiques à Toau - Archipel des Tuamotu	15
30/07/98	134 MOP/UHP/NP	Rattachement au RGPF et spatiopréparation des atolls de Nihiru et Reitoru (Tuamotu) Levé large des atolls de Nihiru, Tekokota et Reitoru.	8 et 9
15/10/98	161 MOP/UHP/NP	Travaux hydrographiques à Raroia (Tuamotu)	16
29/01/99	20 MOP/UHP/DR	Levé du chenal de Tiputa au lagon bleu à Rangiroa (Tuamotu)	10
07/05/99	60 MOP/UHP/NP	Revue des amers et du balisage à Mururoa (Tuamotu)	/
07/05/99	61 MOP/UHP/NP	Revue des amers et du balisage à Fangataufa (Tuamotu)	/
28/05/99	82 MOP/UHP/NP	Amanu (Tuamotu), levé de la passe Fafameru au mouillage d'Ikitake, spatiopréparation	12
23/06/99	94 MOP/UHP/NP	Additif au rapport particulier n° 82 MOP/UHP/NP	/
01/07/99	103 MOP/UHP/NP	Levé d'un chenal de navigation entre la passe d'Avatoru et le quai Ohutu à Rangiroa (Tuamotu) Levé des approches de la passe de Tiputa à Rangiroa	11
30/06/99	102 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie, de spatiopréparation et de bathymétrie à Tekokota, Rekareka, Hikueru (Tuamotu)	8
15/07/99	104 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie, de spatiopréparation et de bathymétrie à Tauere, Ravahere, Nengonengo (Tuamotu)	7
30/07/99	105 MOP/UHP/NP	Spatopréparation et levé large Tahanéa	/
30/07/99	105 MOP/UHP/NP	Tahanea (Tuamotu), levé de la passe Teavatapu au village de Kari Karina	14
09/07/99	106 MOP/UHP/NP	Fakarava - Levé de la passe de Garuae au village de Rotoava	13
12/07/99	110 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie à Ahe, Manihi, Takaroa, Takapoto, Kaukura et Arutua (Tuamotu)	/
20/07/99	115 MOP/UHP/NP	Travaux de géodésie, de spatiopréparation et de bathymétrie à Manuhangi et Paraoa (Tuamotu)	/
20/07/99	116 MOP/UHP/NP	Spatopréparation de Taiaro (Tuamotu)	

## DIVERS

DATE	N° rapport particulier	Objet	Planche n°
18/08/97	141 MOP/UHP/NP	Sondage GEBCO et recherche de monts sous-marins	/

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉS

ALPACI	: Amiral, commandant les forces maritimes du Pacifique
Aqidoc-Tradoc	: Acquisition de données océanographiques - Traitement de données océanographiques
BH2	: Bâtiment hydrographique de 2 <sup>e</sup> classe côtier
CC	: Capitaine de corvette
COMAR	: Commandant de la marine et de l'aéronautique en Polynésie
CPA	: Compte rendu périodique d'activités
DCN	: Direction des constructions navales
DMTP	: Direction mixte des travaux de Polynésie
EPSHOM	: Etablissement principal du service hydrographique et océanographique de la marine
ETOM	: Escadron de transport outre-mer
GEBCO	: General Bathymetric Chart of the Oceans
GPS	: Global Positioning System
IETA	: Ingénieur des études et techniques d'armement
IFREMER	: Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IPA	: Ingénieur principal de l'armement
IPER	: Indisponibilité périodique pour entretien et réparation
IRD	: Institut de recherche et de développement
LV	: Lieutenant de vaisseau
MOP	: Mission océanographique du Pacifique
OCI/DC	: Ouvrages cartes et instruments / Documents centralisés
O-GAST	: Outil pour la gestion de l'activité et le suivi des travaux d'hydrographie
PC	: Personal Computer
PEI	: Période d'entretien intermédiaire
RGPF	: Réseau Géodésique de référence de la Polynésie Française
RRPF	: Réseau de Référence de la Polynésie Française
SHOM	: Service hydrographique et océanographique de la marine
UHP	: Unité Hydrographique de Polynésie
ZEE	: Zone Economique Exclusive
ZEPOLYF	: Zone Economique de Polynésie Française

## APPENDICE

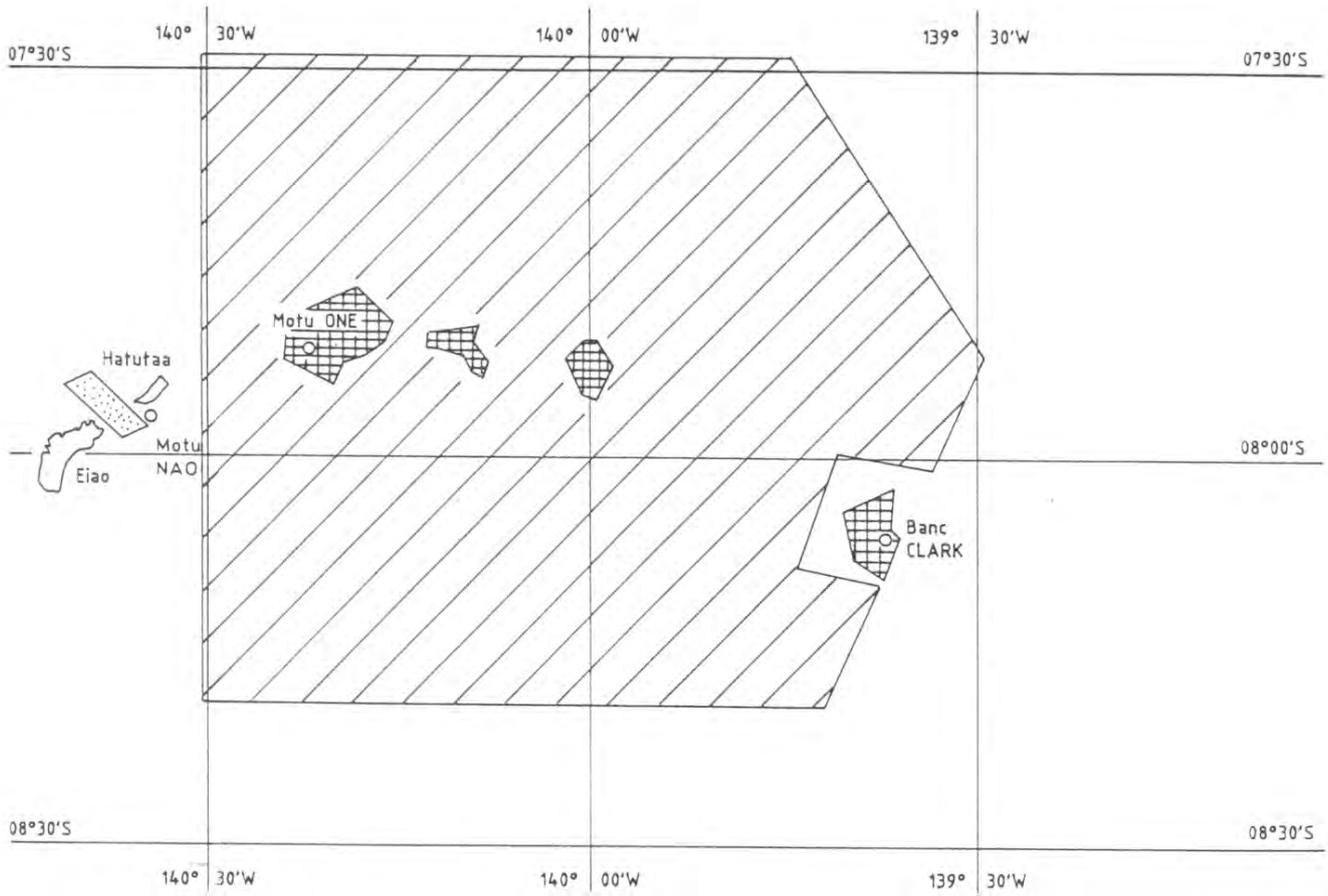
<b>Planche n° 1</b>	Iles Marquises Levé large arc Eiao - banc Clark Recherche d'une sonde douteuse entre Eiao et Hautaa	RP n° 112 MOP/UHP/NP du 12 juillet 1999
<b>Planche n° 2</b>	Iles Marquises Hiva Oa Recherche d'un affleurant au nord de la pointe Mautau	RP n° 202 MOP/UHP/NP du 31 octobre 1997
<b>Planche n° 3</b>	Iles Marquises Tahuata Topographie du trait de côte de la pointe Matatevai au cap Moteve	RP n° 234 MOP/UHP/NP du 8 décembre 1997
<b>Planche n° 4</b>	Iles Marquises Fatu Huku Spatiopréparation	RP n° 78 MOP/UHP/NP du 11 mai 1998
<b>Planche n° 5</b>	Iles Marquises Eiao Baie de Vaituha	RP n° 62 MOP/UHP/NP du 20 mars 1998
<b>Planche n° 6</b>	Iles Australes Tubuait Chenal de Mataura	RP n° 160 MOP/UHP/NP du 30 septembre 1998
<b>Planche n° 7</b>	Archipel des Tuamotu Tauere-Nego - Nego-Marokau-Ravahere Levé des approches	RP n° 104 MOP/UHP/NP du 15 juillet 1999
<b>Planche n° 8</b>	Archipel des Tuamotu Hikueru - Tekokota - Rehareka Levé des approches	RP n° 102 MOP/UHP/NP du 30 juin 1998 RP n° 134 MOP/UHP/NP du 30 juillet 1998
<b>Planche n° 9</b>	Archipel des Tuamotu Nihiru - Reitoru Levé des approches	RP n° 134 MOP/UHP/NP du 30 juillet 1998
<b>Planche n° 9 bis</b>	Archipel des Tuamotu Rangiroa Chenal de Tiputa au Lagon Bleu	RP n° 20 MOP/UHP/-- du 29 janvier 1999
<b>Planche n° 10</b>	Archipel des Tuamotu Rangiroa Chenal des Goélettes Approche de la passe de Tiputa	RP n° 103 MOP/UHP/NP du 1 <sup>er</sup> juillet 1999
<b>Planche n° 11</b>	Archipel des Tuamotu Amanu De la passe Fafameru au mouillage d'Ikitake	RP n° 82 MOP/UHP/NP du 28 mai 1999
<b>Planche n° 12</b>	Archipel des Tuamotu Fakarava De la passe Garuae au mouillage Rotoava	RP n° 106 MOP/UHP/NP du 9 juillet 1999
<b>Planche n° 13</b>	Archipel des Tuamotu Tahanea De la passe Teavatapu au mouillage de Kari Karina	RP n° 105 MOP/UHP/NP du 30 juillet 1999

Planche n° 14	Archipel des Tuamotu Toau De la passe Otugi à Maragai Levé des approches	RP n° 110 MOP/UHP/NP du 18 juin 1998
Planche n° 15	Archipel des Tuamotu Raroia Levé de la passe Ngarue au village de Ngaromaova - Levé des approches	RP n° 161 MOP/UHP/NP du 15 octobre 1998
Planche n° 16	Iles de la Société Motu One Levé des approches	RP n° 63 MOP/UHP/NP du 7 mai 1999
Planche n° 17	Iles de la Société Maupihaa Levé des approches - Spatiopréparation	RP n° 54 MOP/UHP/NP du 17 mars 1998
Planche n° 18	Iles de la Société Manuae Levé des approches	RP n° 92 MOP/UHP/NP du 17 juin 1999
Planche n° 19	Iles de la Société Tetiaroa Levé des approches	RP n° 51 MOP/UHP/NP du 16 mars 1998
Planche n° 20	Iles de la Société Raiatea De la passe Teavapiti à Uturoa	RP n° 90 MOP/UHP/NP du 14 juin 1999
Planche n° 21	Iles de la Société Tahaa De la passe Paipai à la baie Hurepiti	RP n° 89 MOP/UHP/NP du 14 juin 1999
Planche n° 22	Iles de la Société Bora Bora Levé de la passe Teavanui	RP n° 125 MOP/UHP/NP du 30 juillet 1998
Planche n° 23	Iles de la Société Passe du port de Tahiti	RP n° 101 MOP/UHP/NP du 29 juin 1999
Planche n° 24	Iles de la Société Tahiti Port de Taravao	RP n° 1 MOP/UHP/NP du 5 janvier 1998 RP n° 2 MOP/UHP/NP du 5 janvier 1998

Planche n° 1

Iles Marquises

Levé large arc Eiao - banc Clark  
Recherche d'une sonde douteuse entre Eiao et Hautaa



-  1/200 000
-  1/50 000
-  1/10 000

Planche n° 2

Iles Marquises

Hiva Oa

Recherche d'un affleurant au nord de la pointe Mautau

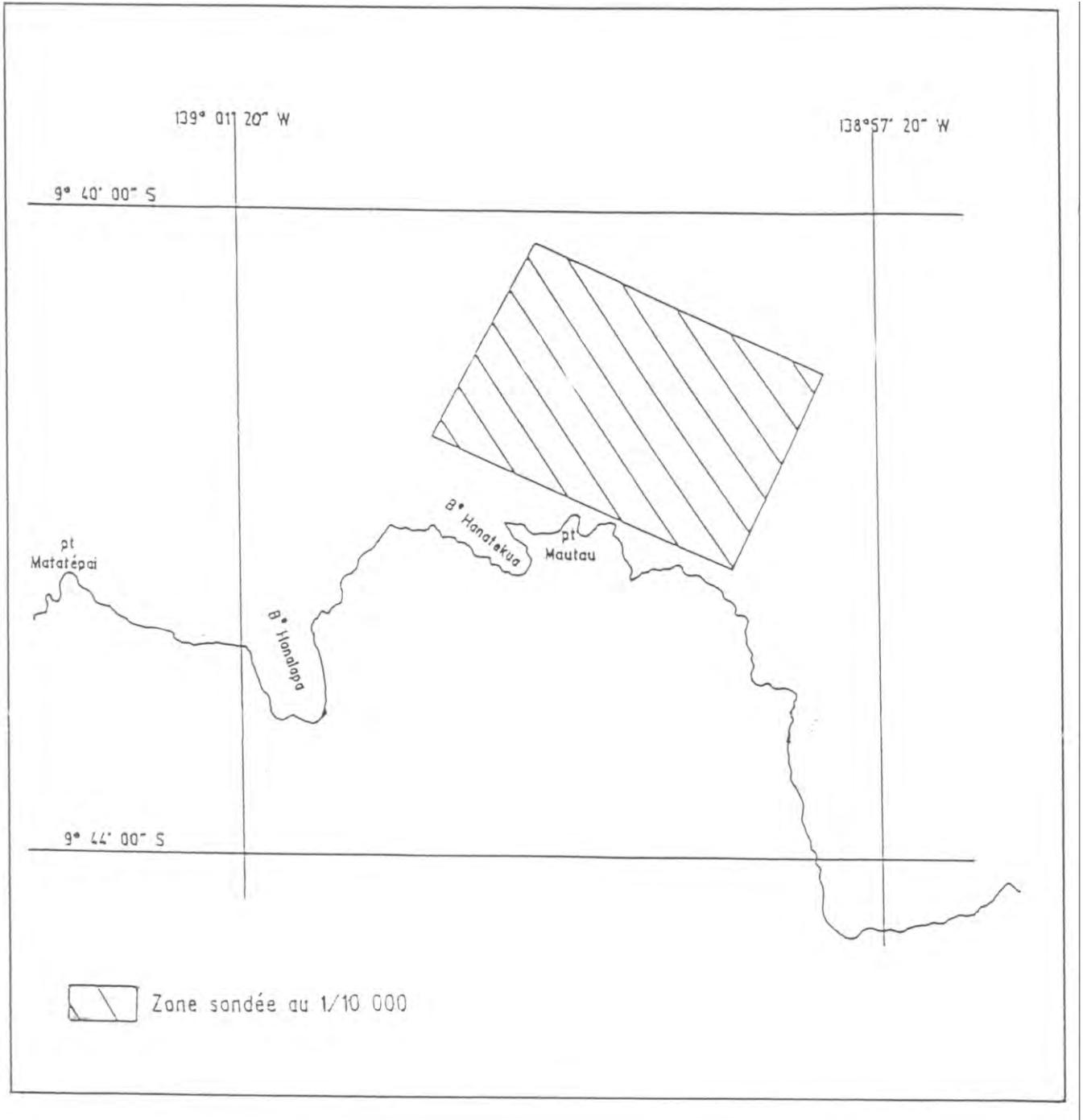


Planche n° 3

Iles Marquises

Tahuata

Topographie du trait de côte de la pointe Matatevai au cap Moteve

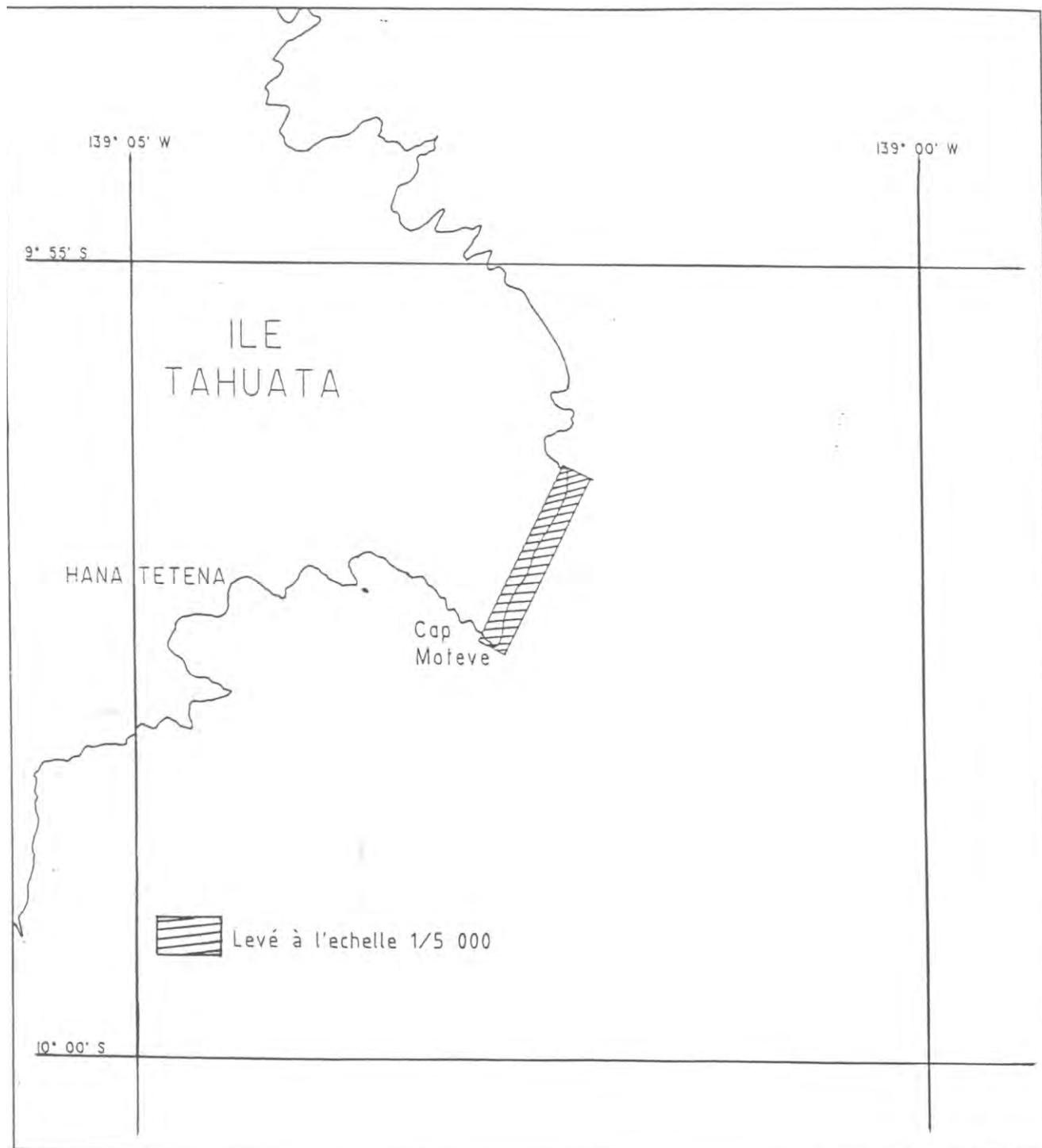


Planche n° 4

**Iles Marquises**

Fatu Huku  
Spatiopréparation

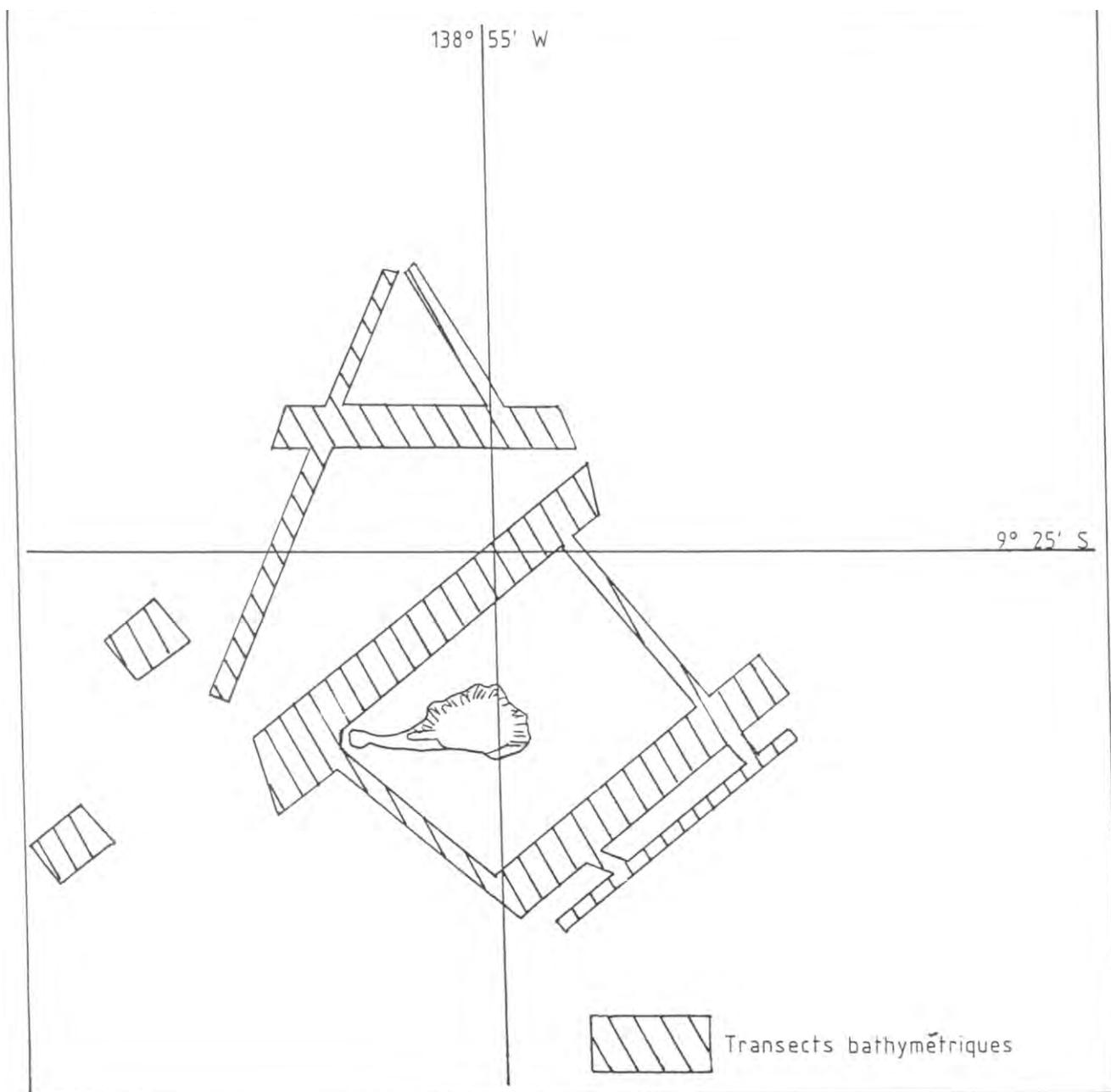
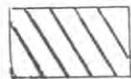


Planche n° 5

**Iles Marquises**

Eiao  
Baie de Vaituha

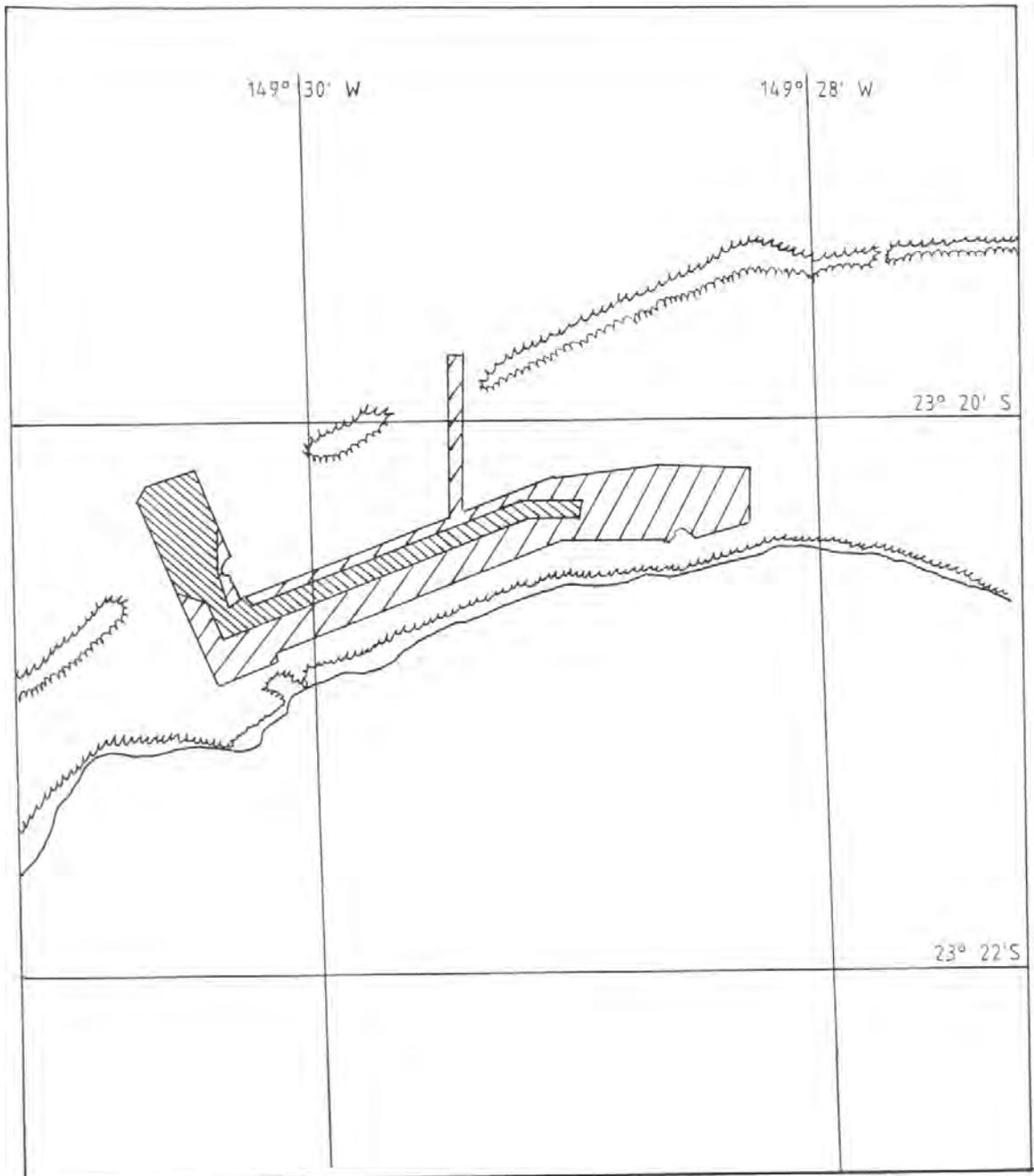


Levé à l'échelle 1/5 000

Planche n° 6

Iles Australes

Tubuai  
Chenal de Matura



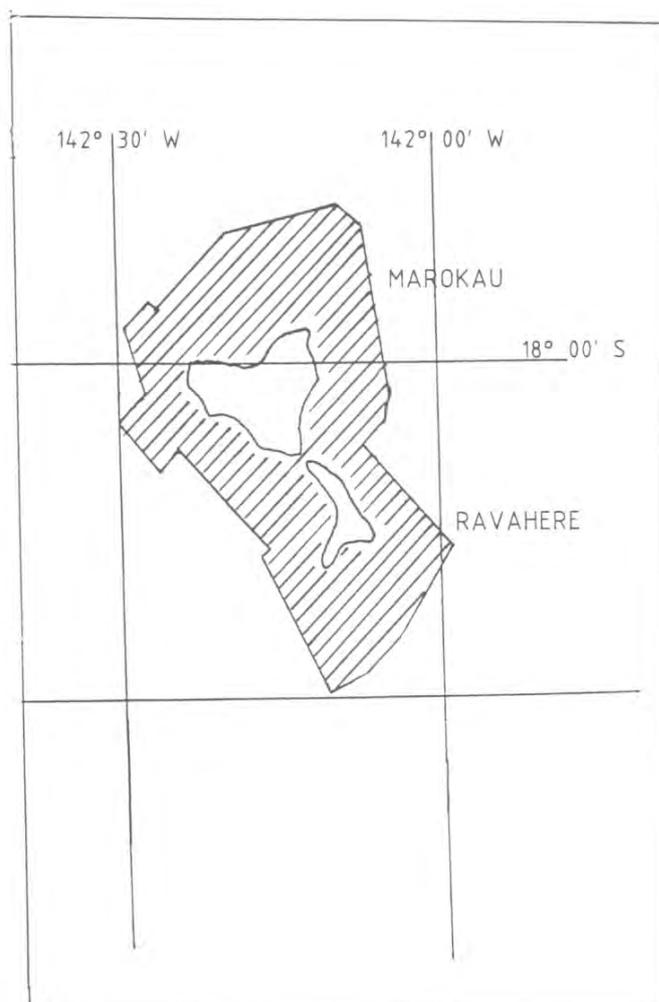
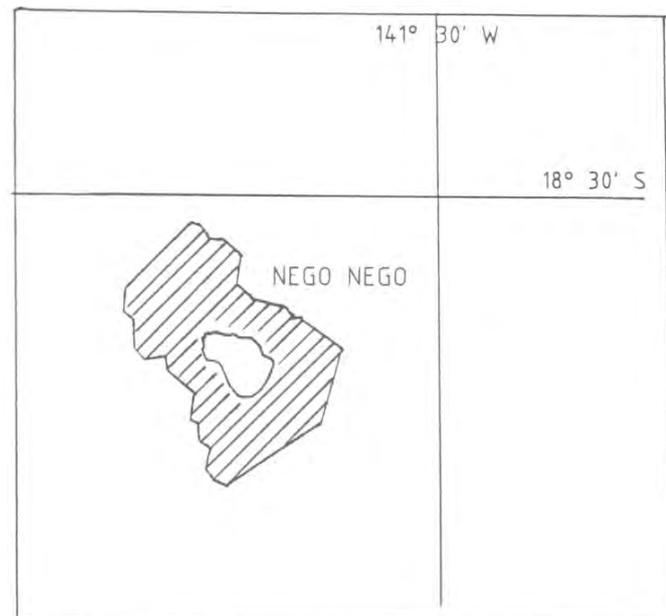
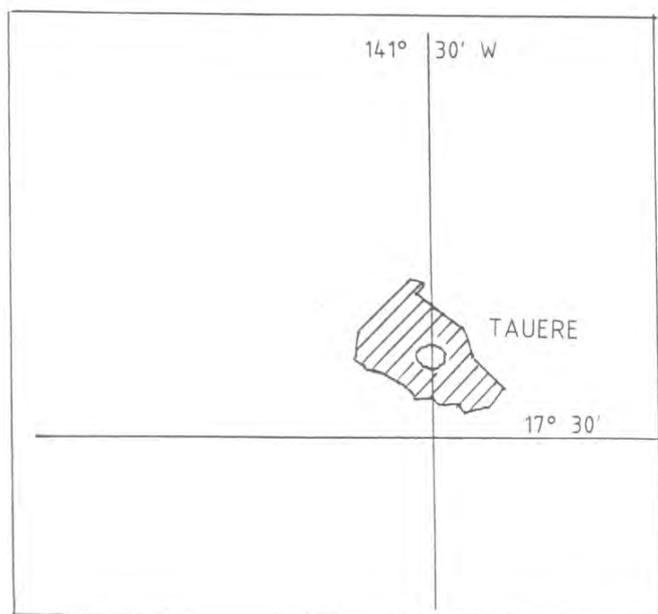
 Levé à l'échelle 1/1 000 et 1/2 000  
Zone complètement insoufflée

 Levé à l'échelle 1/1 000 et 1/2 000

Planche n° 7

Archipel des Tuamotu

Tauere-Nego - Nego-Marokau-Ravahere  
Levé des approches

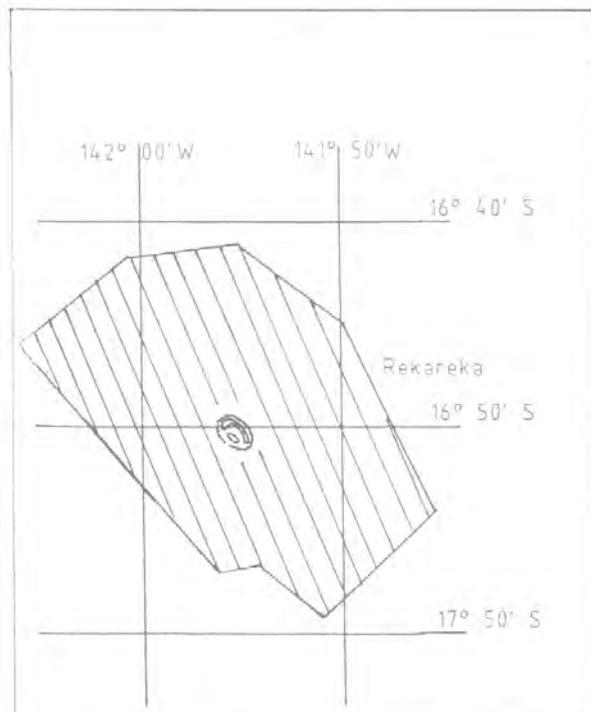
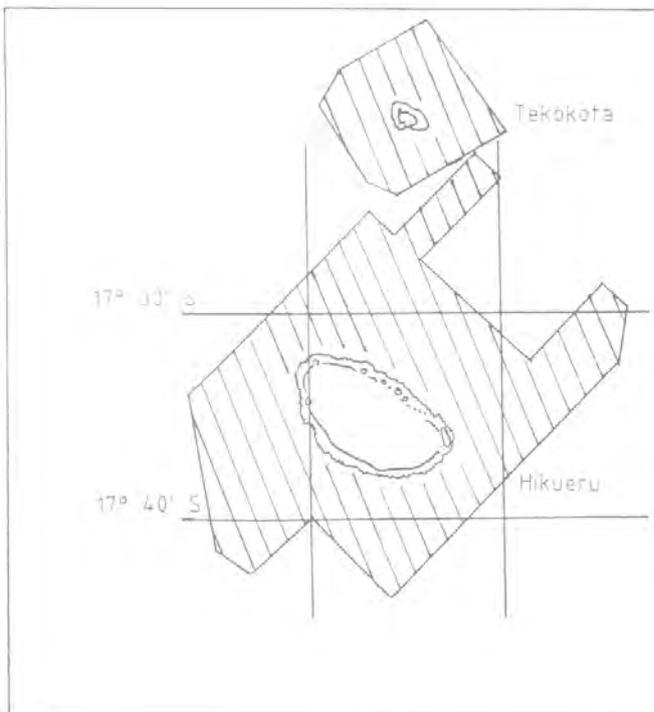
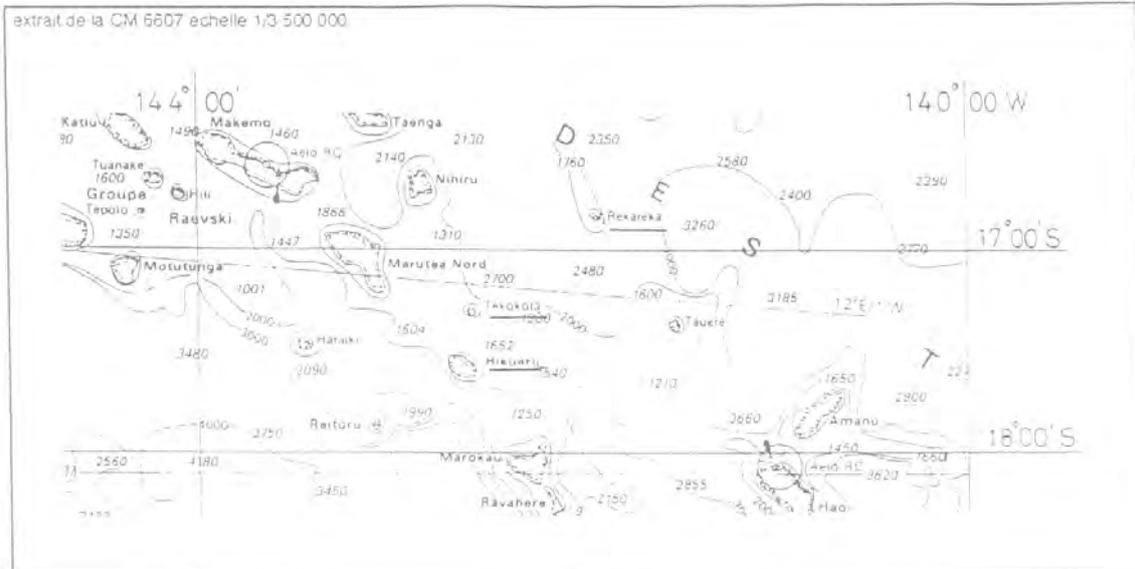


 Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 8

Archipel des Tuamotu

Hikueru - Tekokota - Rekareka  
Levé des approches

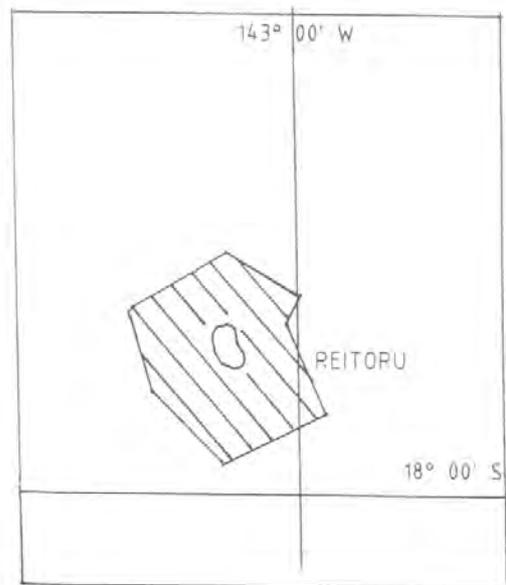
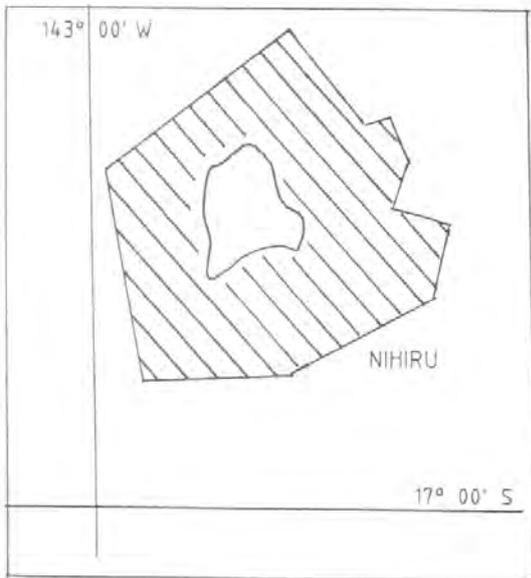
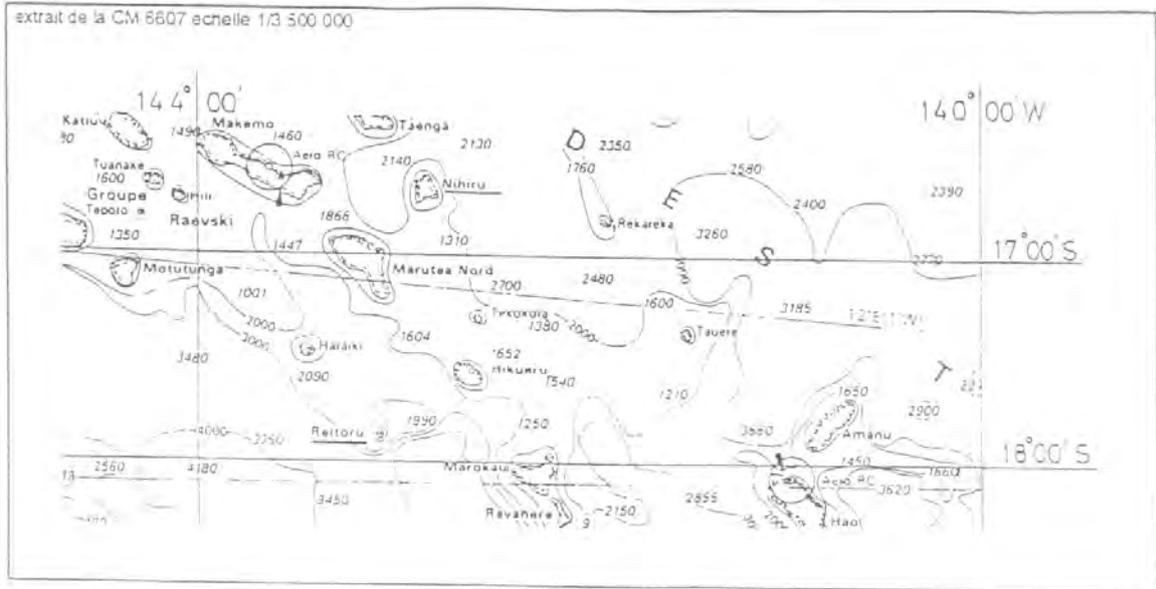


 Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 9

Archipel des Tuamotu

Nihiru - Reitoru  
Levé des approches



 Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 9 bis

Archipel des Tuamotu

Rangiroa  
Chenal de Tiputa au Lagon bleu

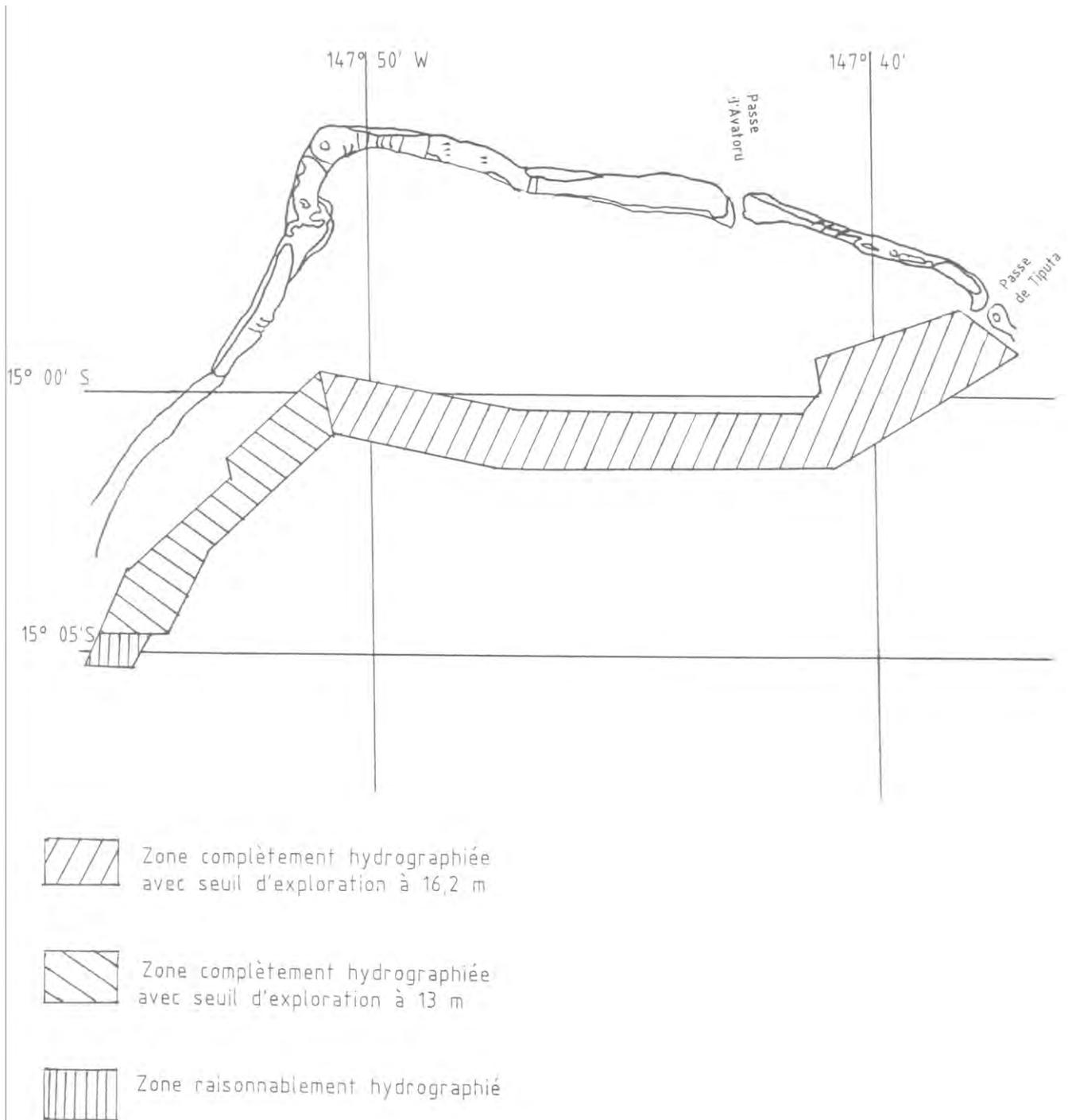


Planche n° 10

Archipel des Tuamotu

Rangiroa  
Chenal des Goélettes  
Approche de la passe de Tiputa

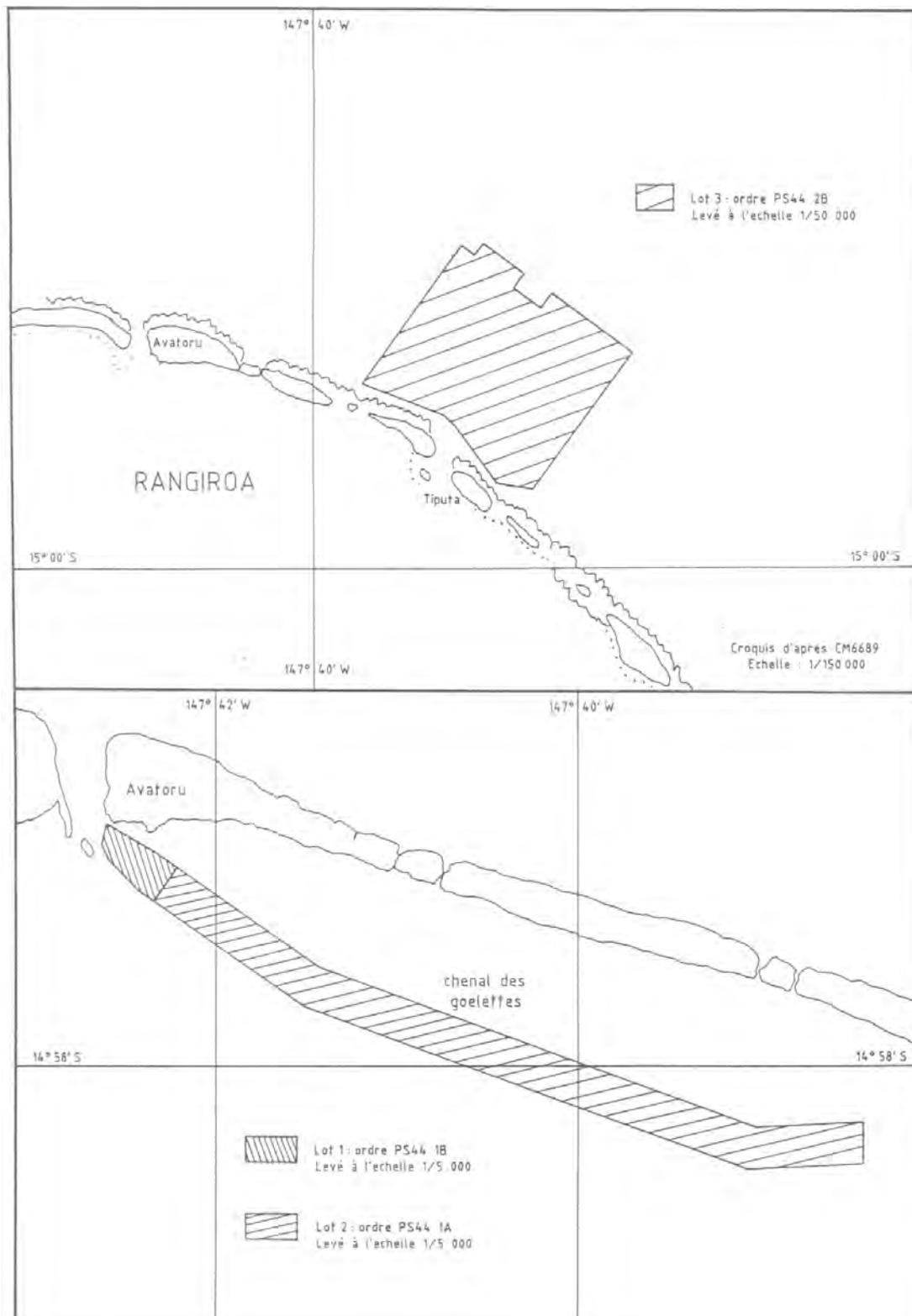
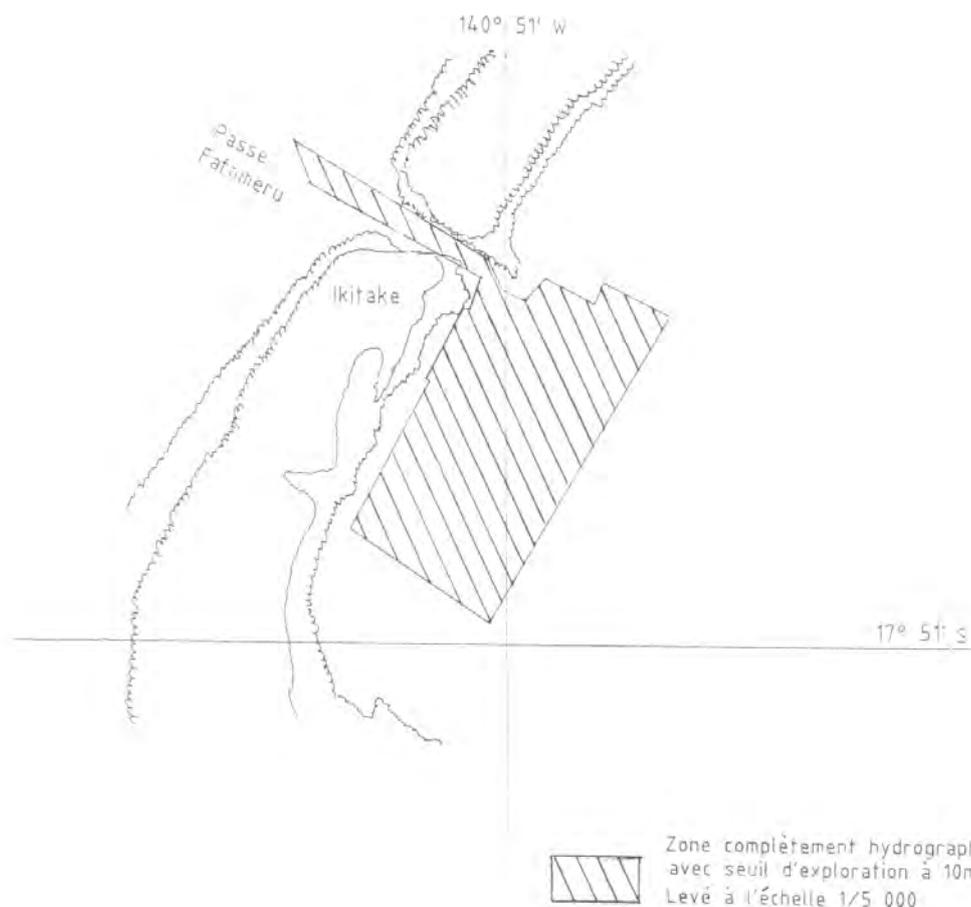
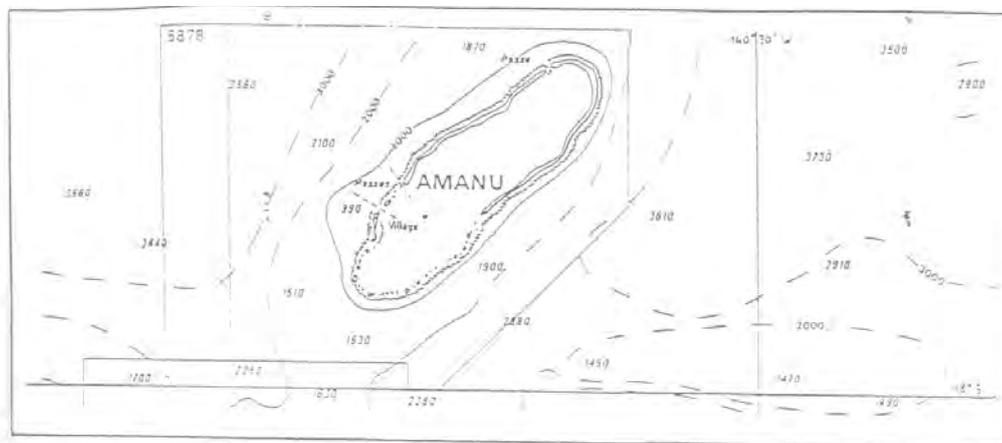


Planche n° 11

Archipel des Tuamotu

Amanu

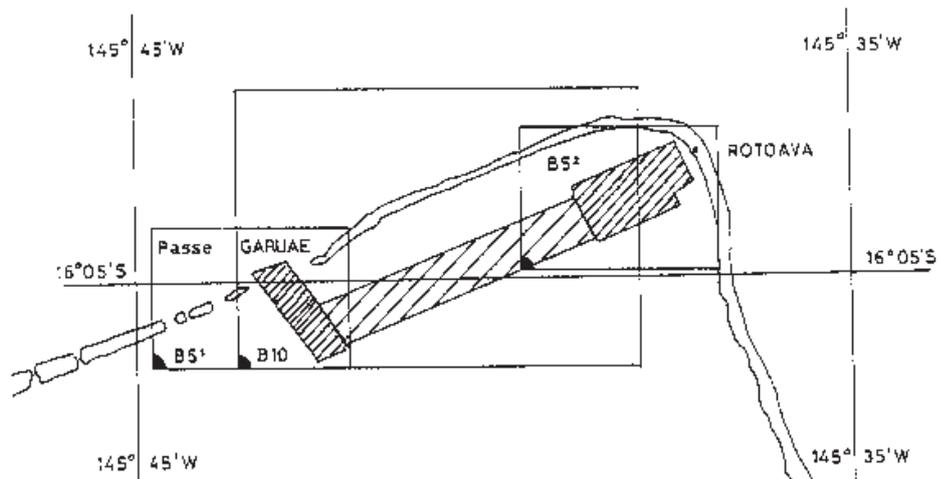
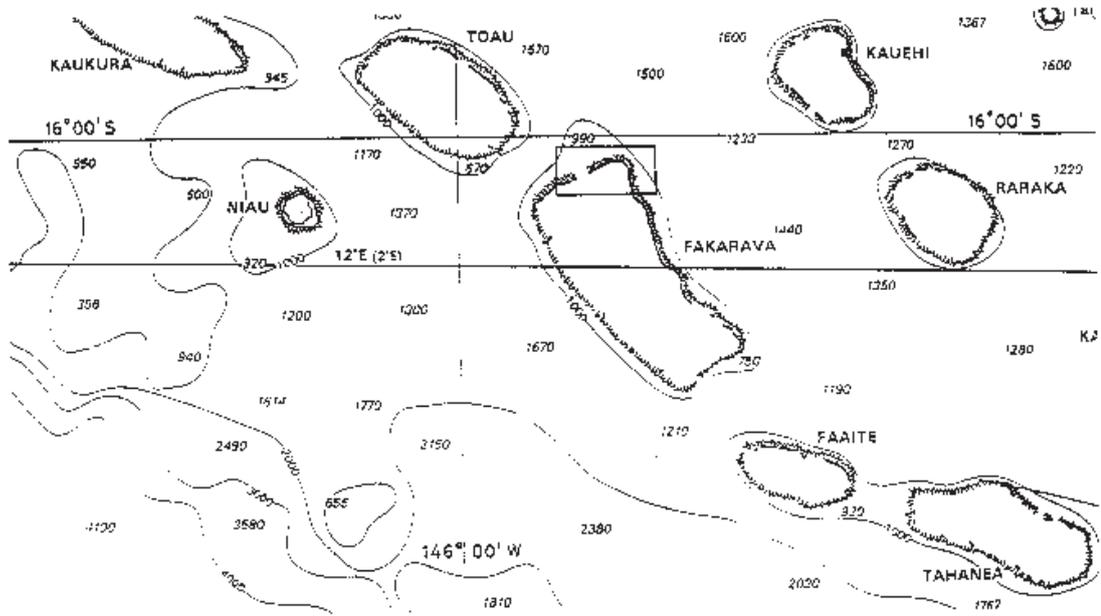
De la passe Fafameru au mouillage d'Ikitake



Archipel des Tuamotu

Fakarava

De la passe Garuae au mouillage Rotoava



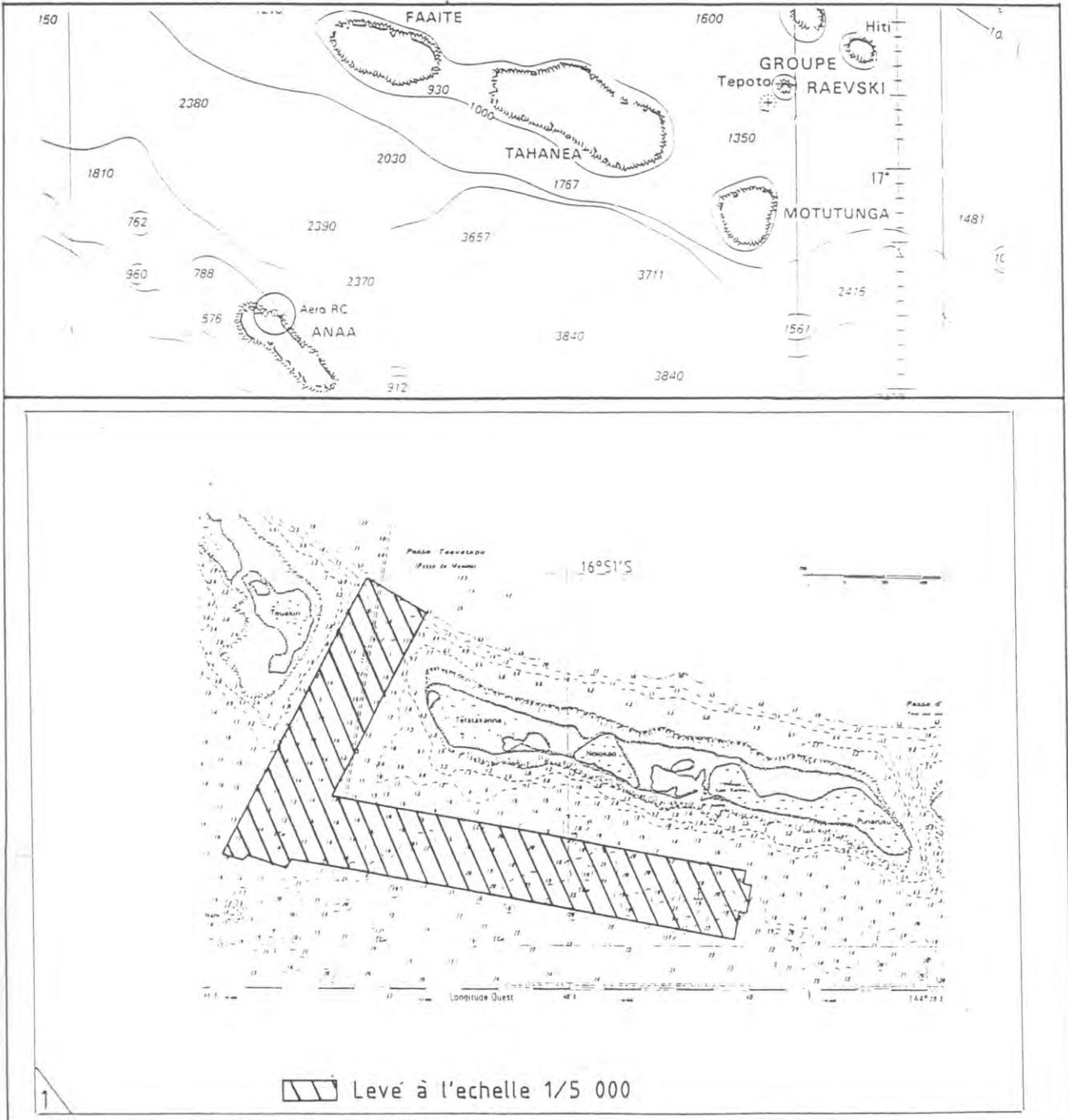
 Levé à l'échelle 1/10 000

 Levé à l'échelle 1/5 000

Archipel des Tuamotu

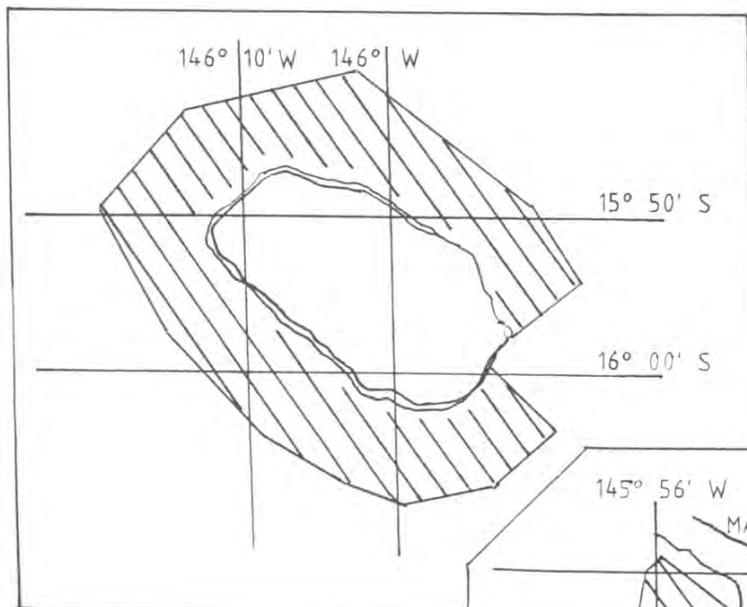
Tahanea

De la passe Teavatapu au mouillage de Kari Karina

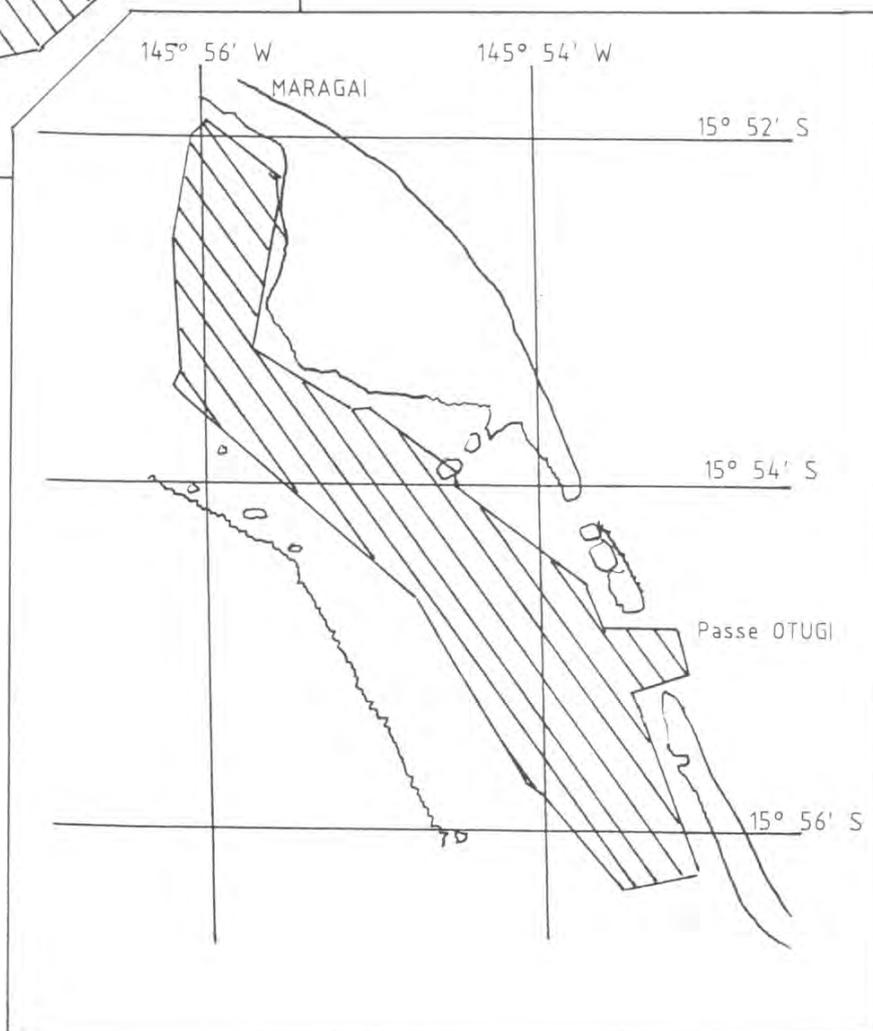


**Archipel des Tuamotu**

Toau  
De la passe Otugi à Maragai  
Levé des approches



 Echelle 1/200 000



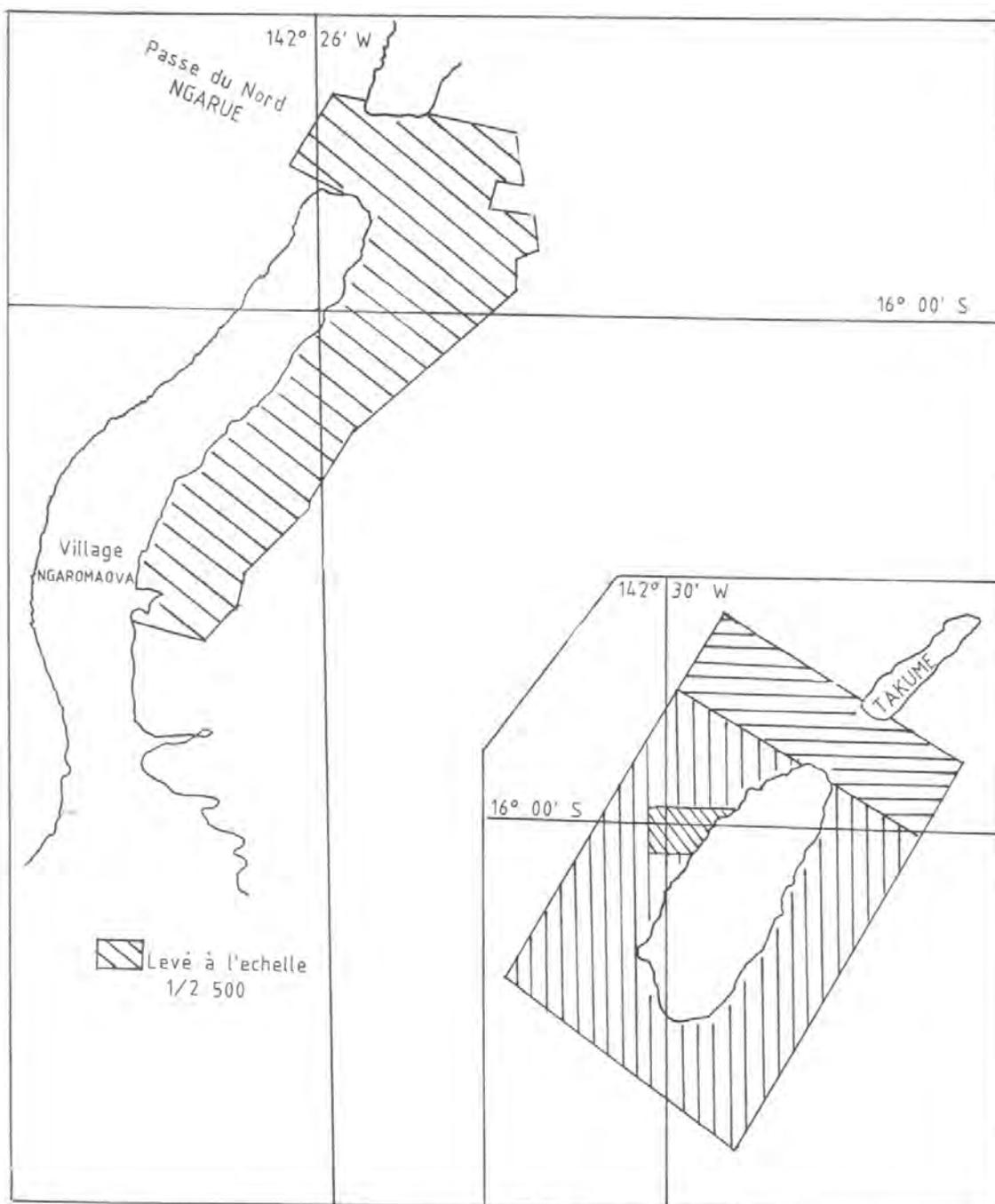
 Echelle 1/2 000 à 1/5 000

Archipel des Tuamotu

Raroia

Levé de la passe Ngarue au village de Ngaromaova

Levé des approches



 Levé à l'échelle 1/200 000

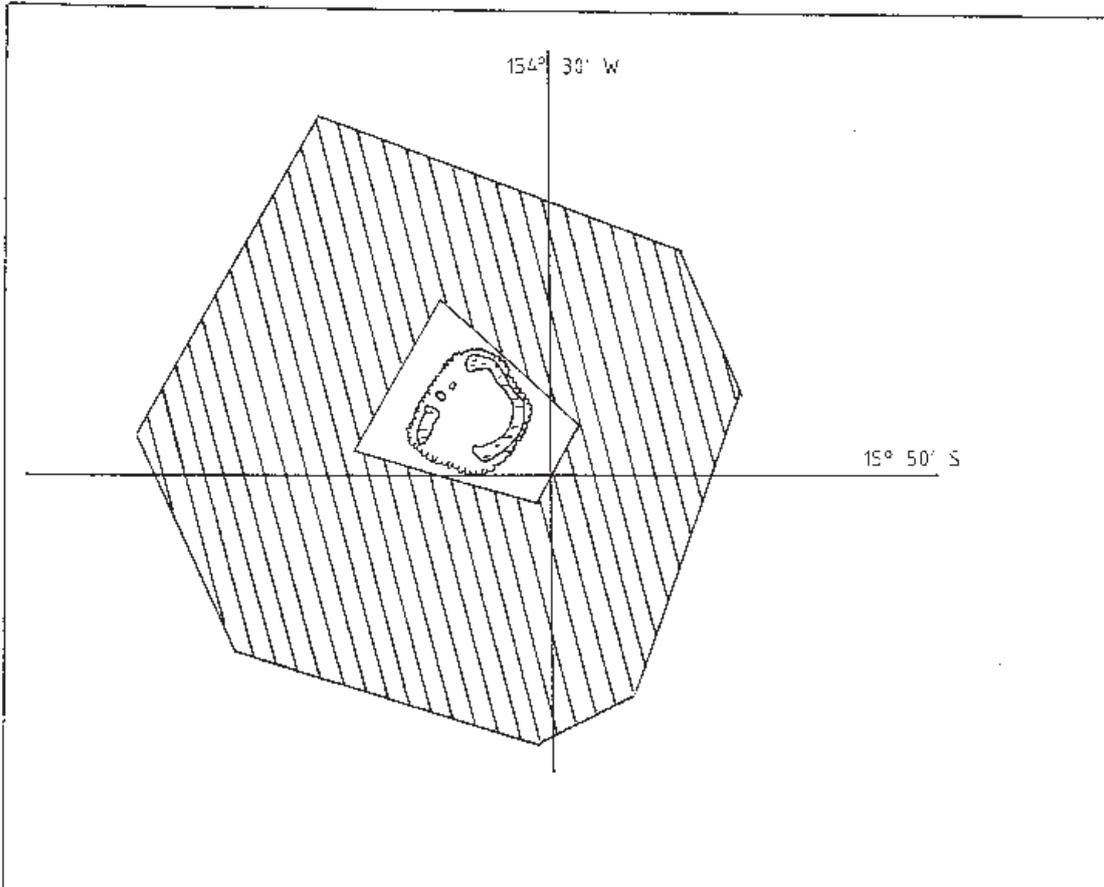
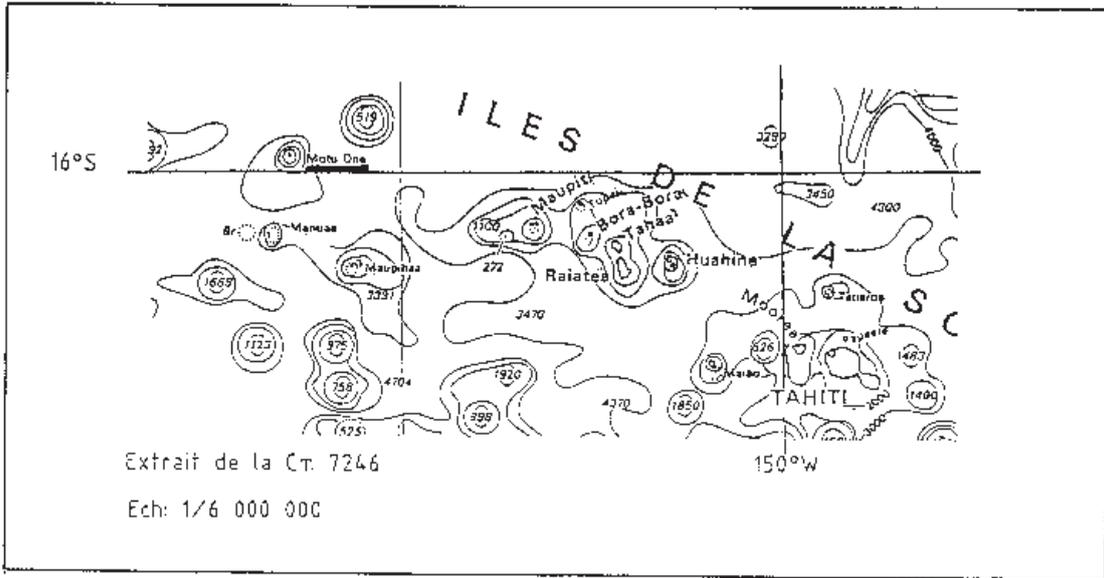
 Levé à l'échelle 1/100 000

 Levé à l'échelle 1/10 000

Planche n° 16

Iles de la Société

Motu One  
Levé des approches



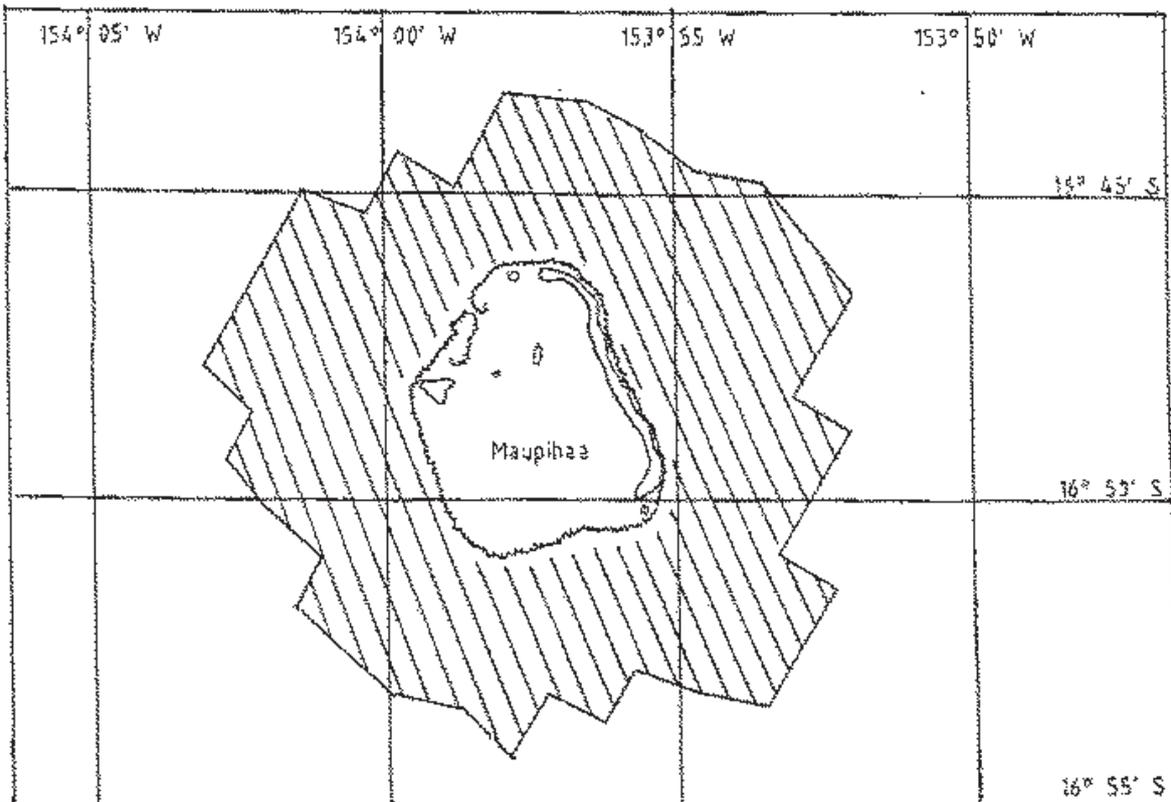
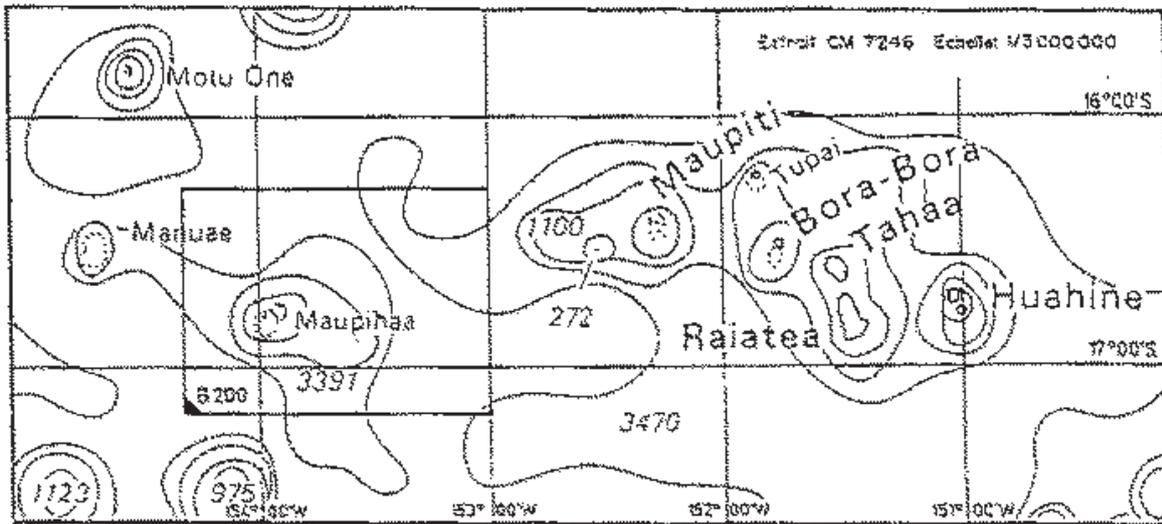
Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 17

Iles de la Société

Maupihaa

Levé des approches - Spatiopréparation

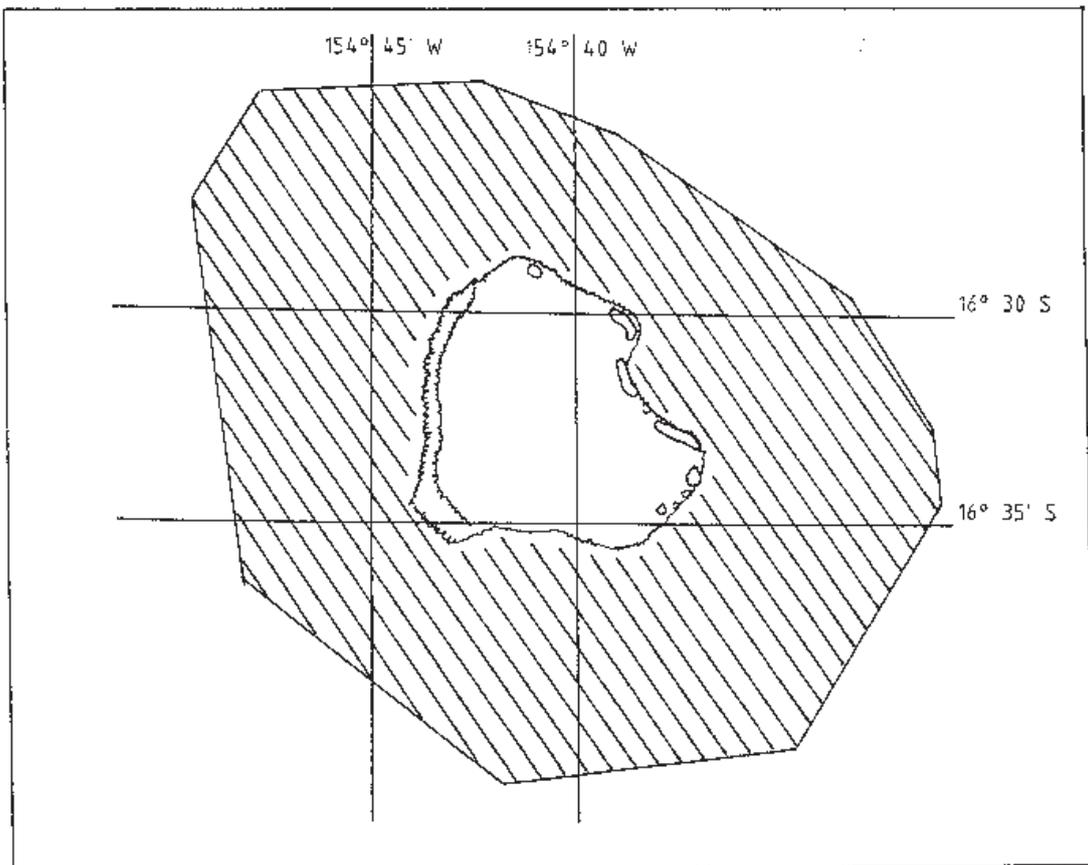
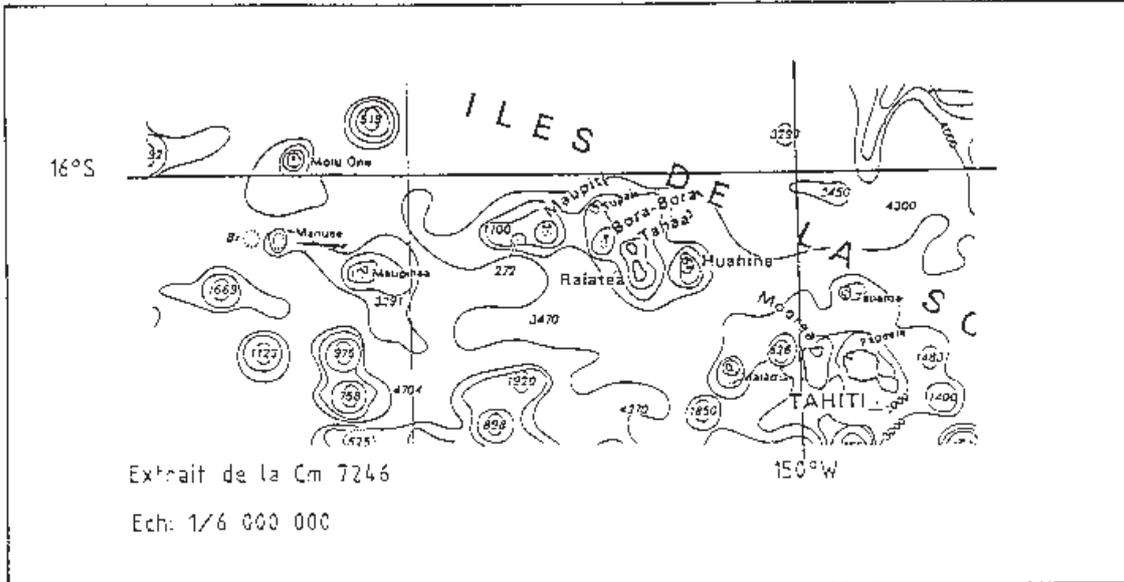


Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 18

Iles de la Société

Manuae  
Levé des approches



Levé à l'échelle 1/200 000

Planche n° 19

Iles de la Société

Tetiaroa  
Levé des approches

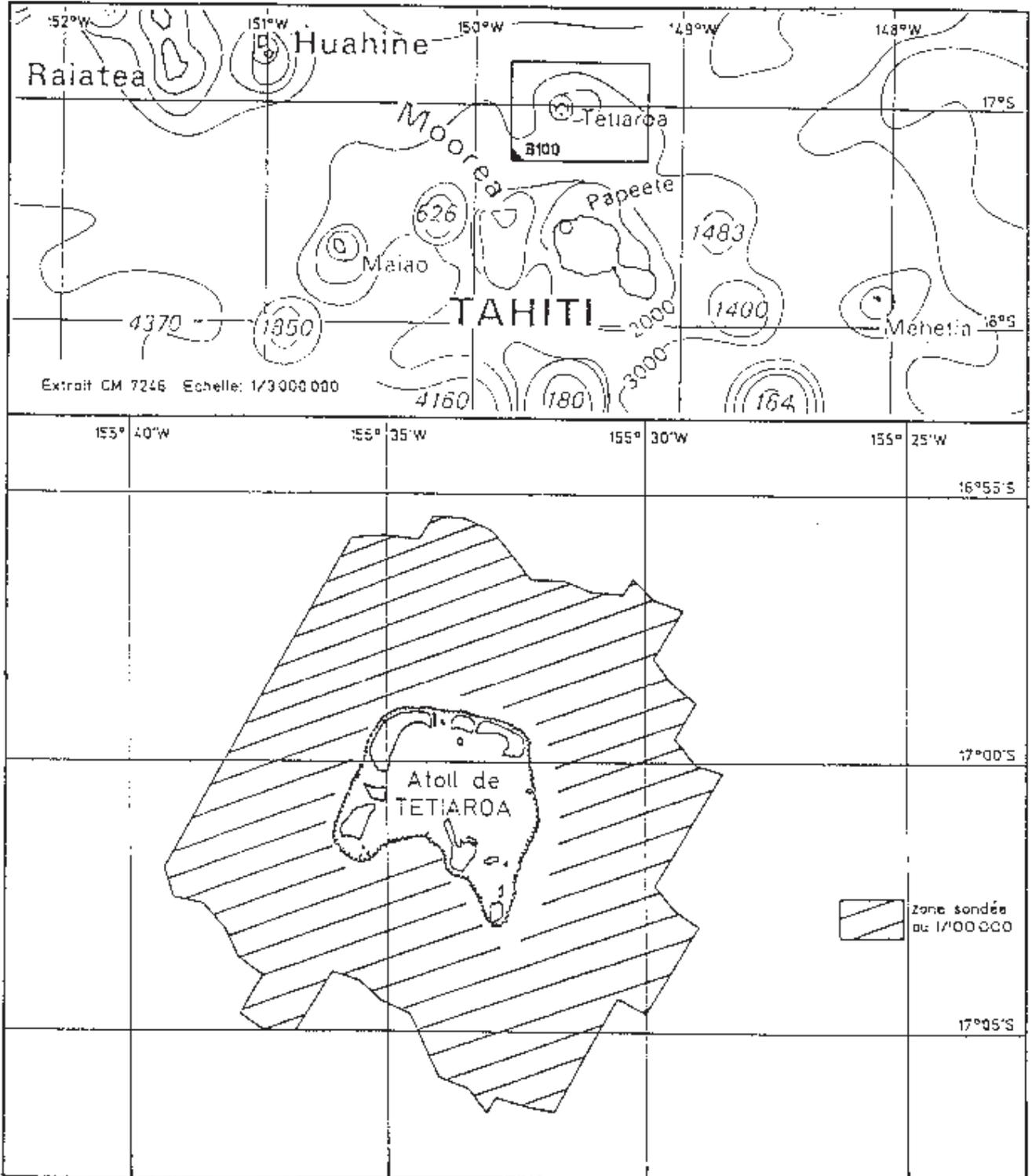


Planche n° 20

Iles de la Société

Raiatea  
De la passe Teavapiti à Uturoa

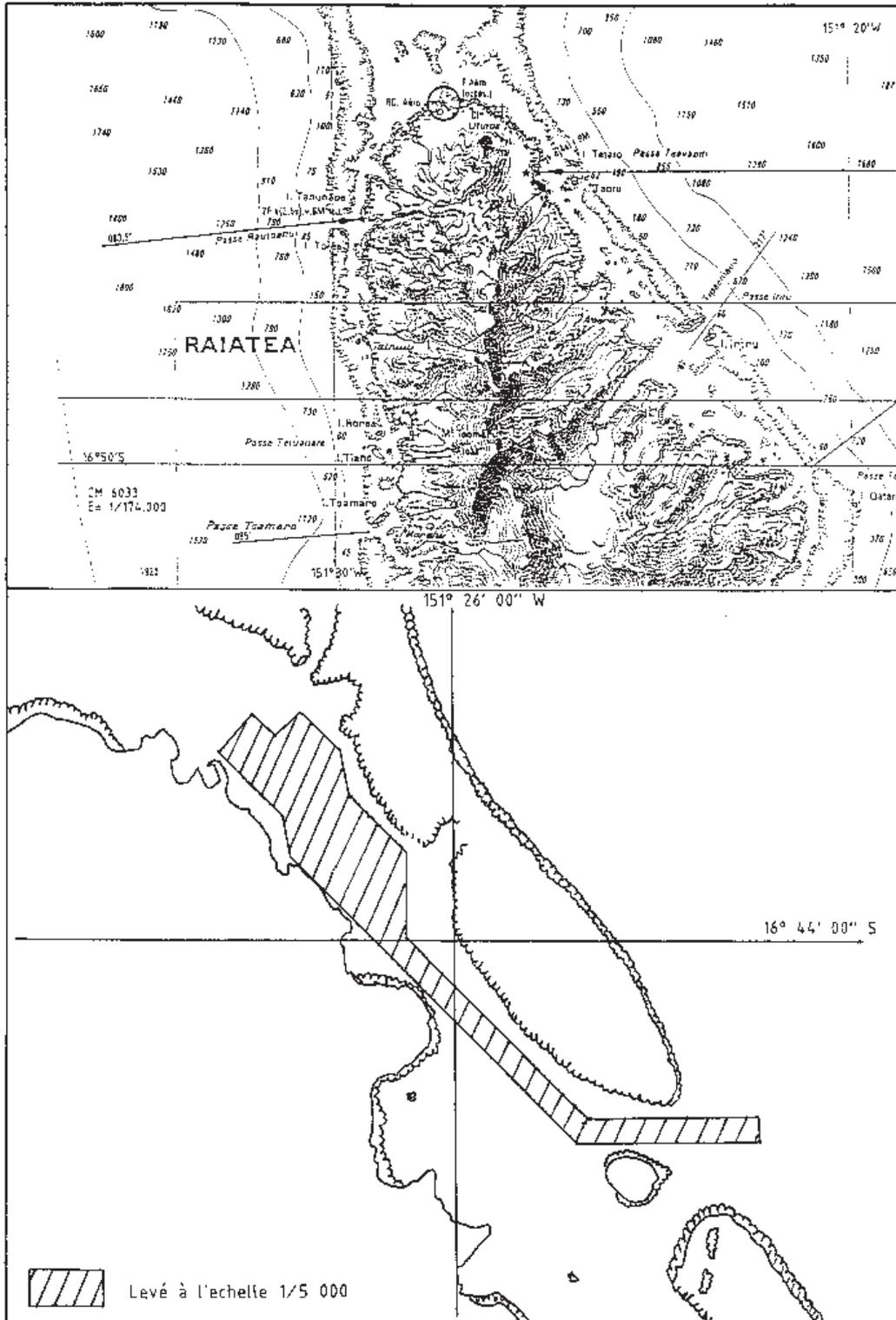


Planche n° 21

Iles de la Société

Tahaa

De la passe Paipai à la baie Hurepiti

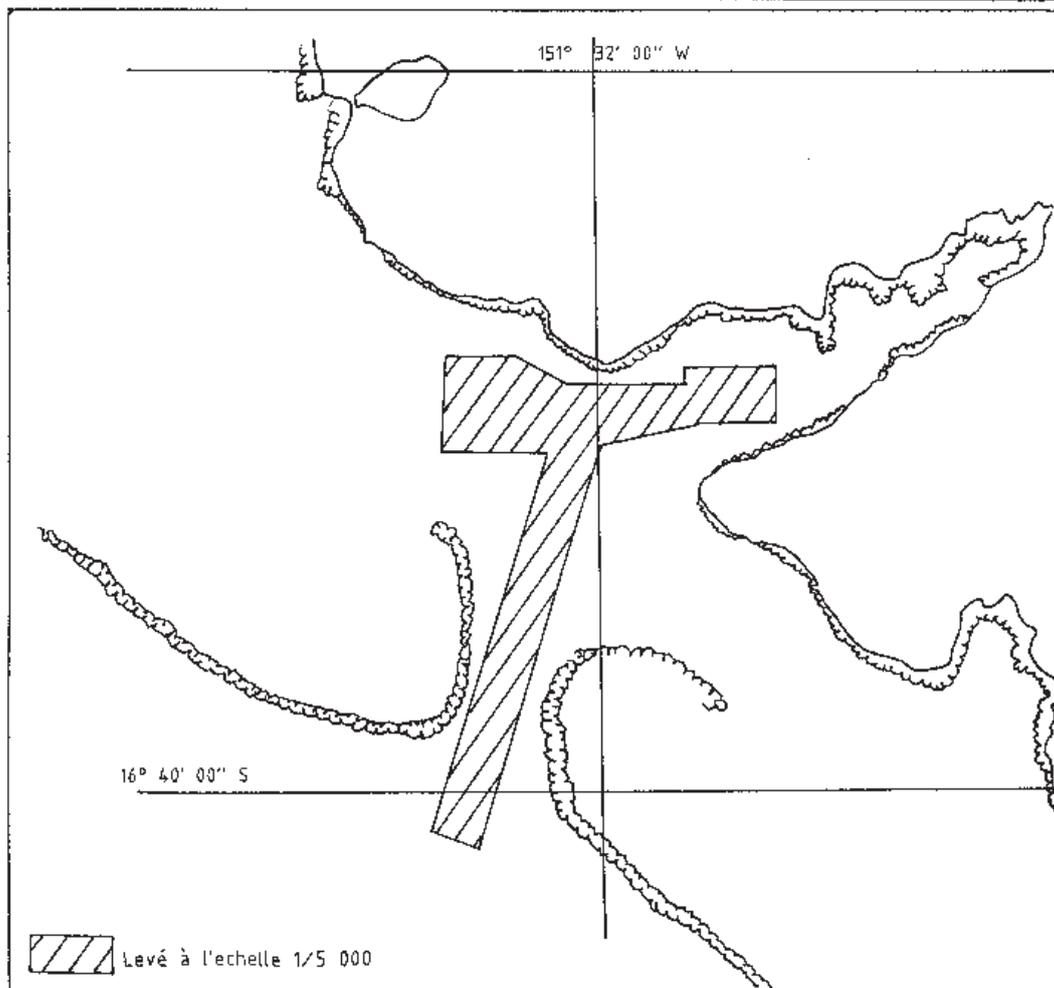
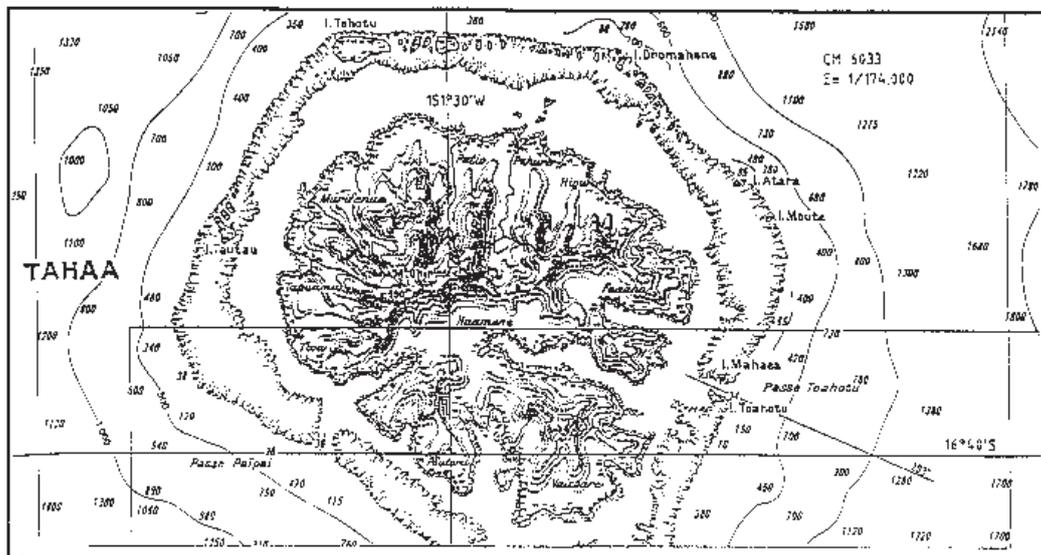


Planche n° 22

Iles de la Société

Bora Bora  
Levé de la passe Teavanui

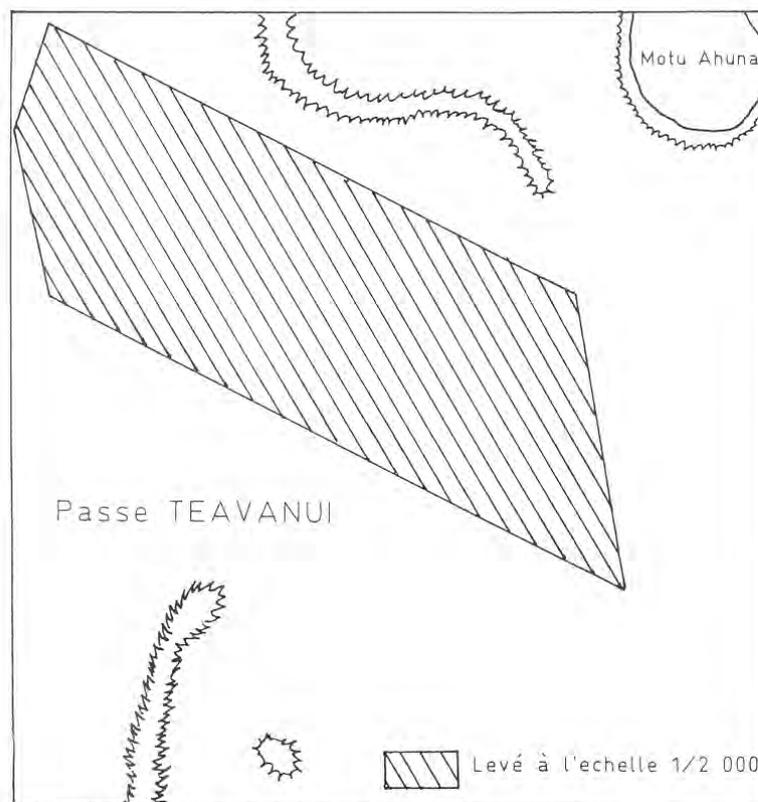
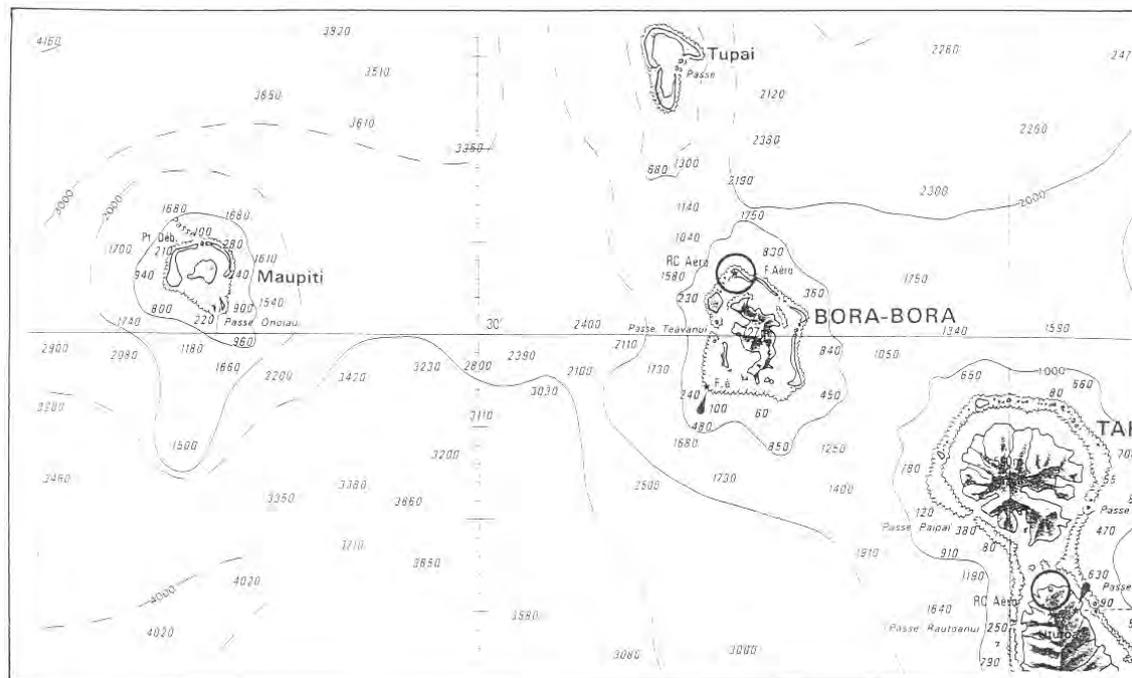
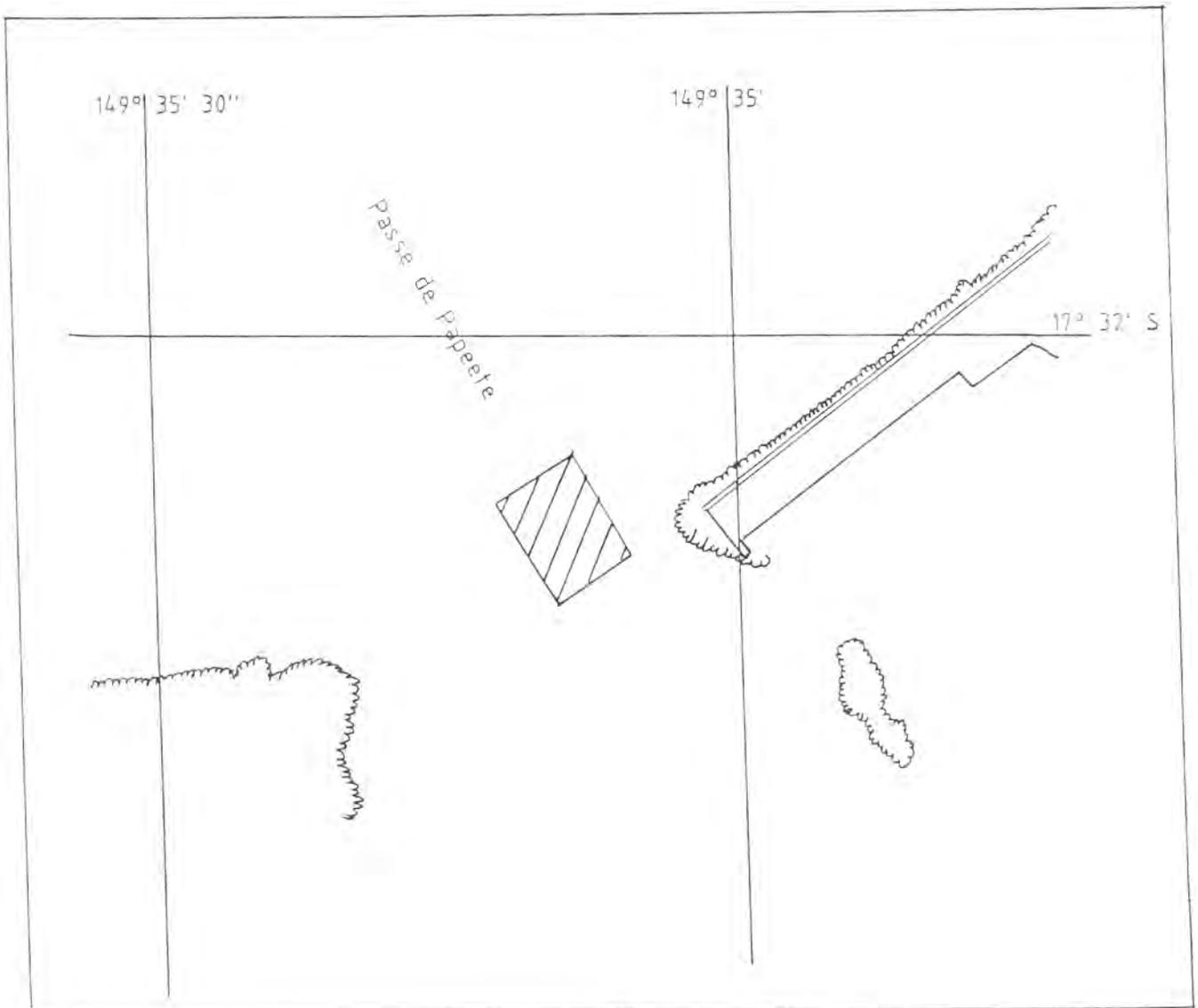


Planche n° 23

Iles de la Société

Passé du port de Tahiti

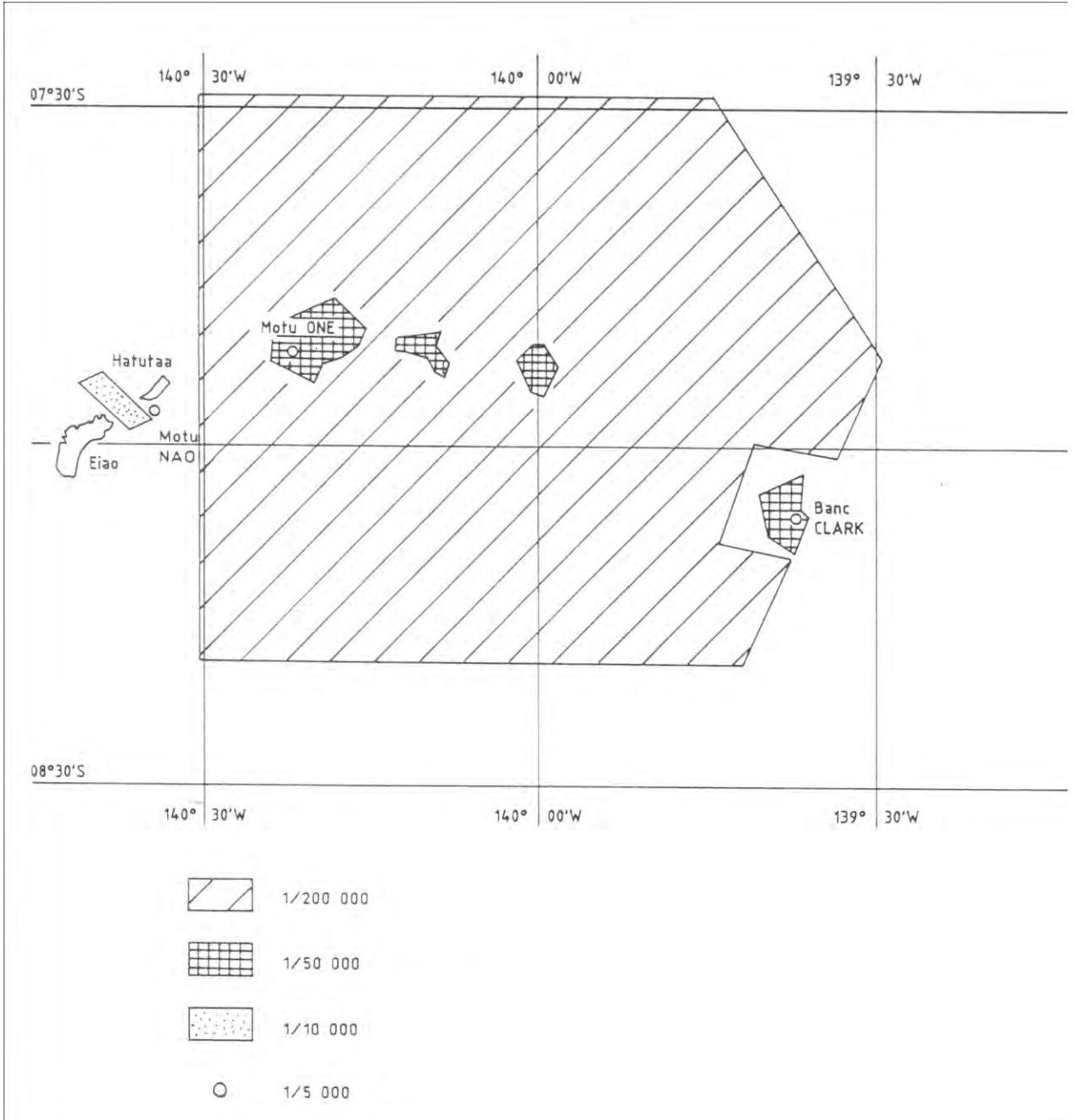


Zone complètement hydrographiée  
rédigée à l'échelle 1/2 000

Planche n° 24

Iles de la Société

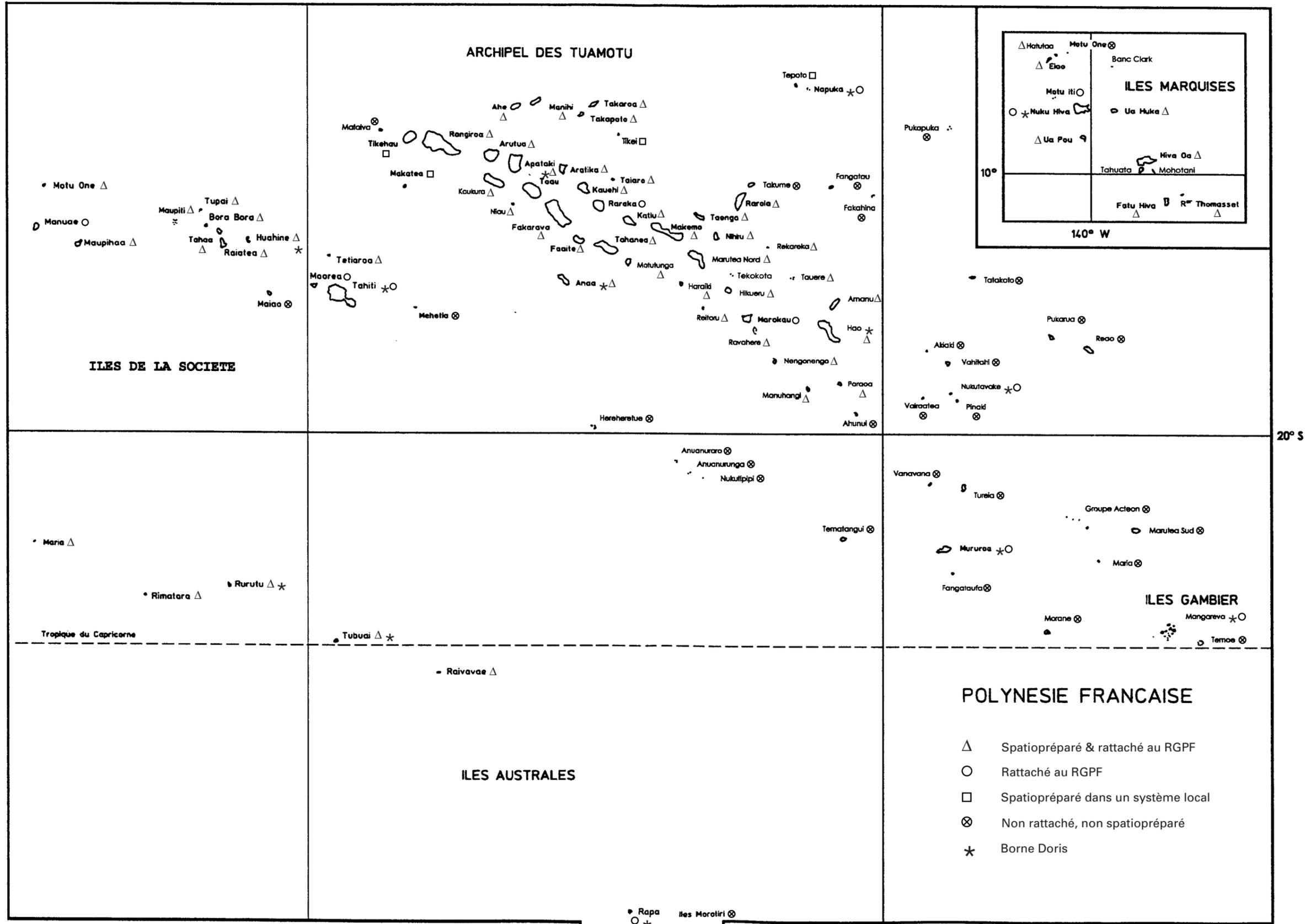
Tahit  
Port de Taravao



Imprimerie de l'Établissement Principal  
du Service Hydrographique  
et Océanographique de la Marine  
BP 30316 — 29603 Brest Cedex  
Décembre 2002

Dépôt légal quatrième trimestre 2002  
Numéro d'éditeur : 2513





## Sommaire

### Première partie

Biographie de l'IGA Jean-François Bonnot (1938 - 2000),  
par l'IGA (2S) A. COMOLET-TIRMAN

Biographie de M. Henri Lacombe (1913 -2000),  
par l'IGA (2S) J. BOURGOUIN

GOGP (Golfe d'Oman, Golfe Persique)  
Une campagne d'océanographie du SHOM,  
par Y. CAMUS

Campagne GOGP-99 :  
levés hydrologiques par bouées aérolargables,  
par L. HUBIN

Niveaux caractéristiques et coefficients de marée,  
par B. SIMON

Faisabilité opérationnelle de l'inversion géoacoustique par milieux équivalents :  
principe et application aux données INTIMATE 96,  
par X. DEMOULIN

Détermination de la zone d'insonification d'un sondeur multifaisceau  
par propagation de fronts,  
par N. DEBESE

### Deuxième partie

Mission océanographique de la Méditerranée  
(août 1991 - septembre 1994),  
par G. BESSERO

Mission océanographique du Pacifique en Polynésie  
(avril 1997 - août 1999),  
par L. KERLEGUER

ANNALES HYDROGRAPHIQUES 771



ISBN 2-11-088327-8