

# Annales Hydrographiques



6<sup>e</sup> série - Vol. 8  
n° 777



2011



777 - ZTL

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

## TABLE DES MATIÈRES

Pages

### Première partie

Éditorial par <i>B. FRACHON</i> .....	1-1
Extrait de l'instruction n° 863/SGMer du 20 avril 2010 relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant.....	2-1
Évolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM par <i>N. POFFA</i> et l'équipe du projet RONIM....	3-1
Réseau de marégraphes dans le Pacifique par <i>S. LANNUZEL</i> .....	4-1
Observation du tsunami trans-pacifique du 11 mars 2011 par le marégraphe de Nuku-Hiva aux îles Marquises en Polynésie française.....	5-1
La coordination nationale de l'observation de la mer par <i>N. POUVREAU</i> .....	6-1
Contribution de la mesure du niveau de la mer au fonctionnement d'un centre d'alerte tsunami pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale (CENATL).....	7-1
Refonte de la base des données in situ du niveau de la mer « Tide DataBase (TDB) » par <i>R. CREACH</i> et l'équipe du projet INFRAGEOS-Marée.....	8-1
Zéro hydrographique : vers une détermination globale par <i>G. WOPPELMANN, S. ALLAIN, P. BAHUREL, S. LANNUZEL</i> et <i>B. SIMON</i> .....	9-1
Creation of vertical reference surfaces at sea using altimetry and GPS by <i>L. PINEAU-GUILLOU</i> and <i>L. DORST</i> .....	10-1
Caractérisation des niveaux marins et modélisation des surcotes pendant la tempête Xynthia par <i>L. PINEAU-GUILLOU, C. LATHUILIERE, R. MAGNE, S. LOUAZEL, D. CORMAN</i> et <i>C. PERHERIN</i> .....	11-1
Niveaux marins extrêmes de pleine et basse mer en Manche et Atlantique par <i>L. PINEAU-GUILLOU</i> et <i>C. PERHERIN</i> .....	12-1
Observation et prévision des seiches sur la côte atlantique française par <i>F. ARDHUIN, E. DEVAUX</i> et <i>L. PINEAU-GUILLOU</i> .....	13-1
La montée du niveau des océans par marégraphie et géodésie spatiale : contributions françaises à une problématique mondiale par <i>G. WOPPELMANN, L. TESTUT</i> et <i>R. CREACH</i> .....	14-1
La rénovation de la gamme des produits de marée du SHOM : une adaptation aux nouveaux besoins et aux moyens de communication modernes par <i>N. WEBER</i> .....	15-1

### Deuxième partie

Mission océanographique du Pacifique (5 mai 1980 – 1 <sup>er</sup> octobre 1982) par l' <i>IPA</i> (hydrographe) <i>P. SOUQUIERE</i> .....	16-1
Travaux hydrographiques en Antarctique, mer Dumont d'Urville et Terre Adélie (étés australs 98-99 et 99-2000) par l' <i>IEF D. BENETEAU</i> .....	17-1
Groupe océanographique du Pacifique (5 août 2008 – 6 août 2010) par l' <i>IPETA S. LANNUZEL</i> .....	18-1

Toute correspondance relative à cette publication, et notamment à l'insertion d'articles, doit être adressée au Service hydrographique et océanographique de la marine, CS 92803 - 29228 BREST CEDEX 2.

Les idées exprimées dans les articles sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement le point de vue du Service hydrographique et océanographique de la marine.

Les annales hydrographiques sont téléchargeables gratuitement sur le site internet du SHOM ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)).

# **PREMIÈRE PARTIE**



## ÉDITORIAL

J'ai le plaisir de vous faire découvrir ce nouveau numéro des *Annales Hydrographiques* consacré à l'observation et à l'étude du niveau de la mer, et plus particulièrement aux applications de la marégraphie. Sans être exhaustif, ce numéro illustre des travaux récents du SHOM, souvent conduits en partenariat avec d'autres acteurs et le soutien de différents ministères (défense, écologie, intérieur).

Dans le domaine du niveau de la mer, les besoins auxquels le SHOM répond ne se limitent pas à l'hydrographie (prédictions de marée nécessaires aux navigateurs, traitement des levés bathymétriques), et concernent aussi la maîtrise de l'environnement dans le cadre du soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral, dont :

- l'action de l'État en mer, notamment pour la protection et la sécurité des personnes et des biens avec par exemple la mise en place de réseaux d'alerte multirisques (tsunamis, submersions marines, ...)
- l'aide à la décision pour les acteurs des politiques publiques (développement durable, gestion des zones côtières, aménagement du littoral).

Le lecteur pourra ainsi trouver des articles en lien avec des événements récents comme la submersion marine catastrophique que la France a subi en 2010 sous l'effet de la tempête Xynthia ou le tsunami trans-Pacifique du 11 mars 2011. Les préoccupations liées au climat y sont aussi abordées au travers des besoins d'observations continues et très précises des variations du niveau moyen de la mer.

Pour répondre à ces enjeux, le SHOM est amené à conduire, seul ou en partenariat avec d'autres organismes publics, un ensemble d'activités innovantes allant de l'amont avec des travaux de recherche à l'aval avec la diffusion de produits et services grand public ou spécialisés.

Des activités de recherche du SHOM ont récemment pu être illustrées dans deux articles des *Annales Hydrographiques* n° 775 de 2010, l'un consacré aux axes de la recherche au SHOM et l'autre à la modélisation de la circulation océanique et celle de la marée notamment en zone côtière.

Ce numéro apporte d'autres éclairages au travers d'articles dédiés aux développements instrumentaux, dont ceux nécessités par l'importance nouvelle accordée à l'acquisition de données en temps réel pour les systèmes d'alerte aux tsunamis. Les conditions d'implantation et de maintenance des marégraphes dont les niveaux de référence sont désormais rattachés à des systèmes géodésiques mondiaux y sont présentées. La coordination nécessaire à l'exploitation de ces marégraphes mis en réseau est précisée pour sa composante nationale. Toutes ces données, qu'il faut contrôler et qualifier, peuvent être exploitées en temps réel ou en temps différé pour différentes applications, nécessitant le développement et la maîtrise de nouvelles bases de données avec leurs métadonnées associées.

Parmi les utilisateurs de ces données se trouvent les chercheurs intéressés par l'amélioration des modèles de prédiction de marée, l'étude des seiches, par la modélisation des surcotes ou les estimations de récurrence de niveaux extrêmes, par exemple. Plusieurs articles sont consacrés à ces thèmes.

Ne sont évidemment pas oubliés les navigateurs pour lesquels le SHOM a, depuis 2006, entrepris de rénover sa gamme de produits de marée par leur adaptation aux nouveaux besoins en tenant compte des moyens actuels de communication.

Toutes ces activités sont menées dans un cadre institutionnel récemment précisé par une instruction du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et la gestion et la diffusion des données résultant. Un extrait de cette instruction d'avril 2010 sous timbre du secrétariat général de la mer est fourni en début d'ouvrage.

Les articles de ce numéro sont aussi l'occasion d'illustrer le savoir faire et la motivation des hommes et des femmes du SHOM, sans oublier ceux de ses très nombreux partenaires, à qui ces annales sont aussi destinées.

Bonne lecture de ces annales désormais téléchargeables gratuitement sur le site Internet du SHOM ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)) afin d'être accessibles au plus grand nombre.

Ingénieur général de l'armement Bruno Frachon  
directeur général du SHOM

## EDITORIAL

It gives me great pleasure to introduce you to this new edition of the *Annales Hydrographiques* dedicated to the observation and study of the sea level and, more particularly, to the applications of tidal measurement. Though not exhaustive, this edition illustrates some of SHOM's recent work, often carried out in partnership with other bodies involved in the field and with the support of various ministries (Defence, Ecology and the Interior).

In the sea level field, the requirements met by SHOM are not limited solely to hydrography (tidal predictions needed by navigators and processing of bathymetric surveys) but also concern the understanding of the environment within the framework of supporting public maritime and littoral policies, including:

- government action at sea, notably for the protection and safety of persons and property with, for example, the setting up of multi-risk alert networks (tsunamis, surges etc.);
- assistance with decision-making for public policy makers (sustainable development, management of coastal areas and littoral development).

The reader will find articles on recent events such as the catastrophic flooding suffered by France in 2010 due to the effects of hurricane Xynthia or the trans-Pacific tsunami on 11 March 2011. Climate-related concerns are also addressed through the need for continuous and very precise observations of variations in sea level.

In order to meet these challenges, SHOM is involved, alone or in partnership with other public bodies, in a range of innovative activities, both upstream, through research work, and downstream, through the distribution of products and services for the general public or for specialist use.

Some of SHOM's research activities were recently illustrated in two articles in *Annales Hydrographiques* No. 775 in 2010, one dedicated to SHOM's research fields and the other to the modelling of ocean circulation and tides, particularly in coastal areas.

This edition also features articles on developments in instrumentation, including developments in the acquisition of real-time data for tsunami warning systems. Information is presented on the conditions for installing and maintaining tide gauges, whose reference levels are now linked to the world geodetic system. Details are given of the national component of the coordination needed in order to use these networked tide gauges. All these data, which have to be checked and qualified, can be exploited in real-time or non-real-time for different applications, requiring the development and control of new data bases and their associated metadata.

Among the users of these data are researchers interested, for example, in the improvement of tidal prediction models, the study of seiches, the modelling of positive and negative surges or the estimation of the recurrence of extreme sea levels. Several articles are dedicated to these topics.

To be sure, this edition has not forgotten navigators for whom, since 2006, SHOM has been upgrading its range of tidal products by adapting them to new requirements and today's electronic communication methods.

All these activities are carried out within an institutional framework, recently laid down in an instruction of the Prime Minister, relating to the observation of the sea level and the management and distribution of the resulting data. An excerpt from this instruction, issued in April 2010 under the auspices of the General Secretariat for the Sea, is given at the beginning of the current issue.

The articles in this edition also represent an opportunity to illustrate the know-how and motivation of the SHOM's men and women, as well as its many partners, for whom these *Annales Hydrographiques* are also dedicated.

I hope you enjoy reading this edition, which can now be downloaded free of charge on SHOM's Internet site ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)) in order to be accessible to as wide an audience as possible.

Ingénieur général de l'armement Bruno Frachon  
Director General of SHOM

# Extrait de l'instruction N° 863/SGMER du 20 avril 2010 relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et la diffusion des données en résultant



PREMIER MINISTRE

## Secrétariat Général de la Mer

Le Secrétaire général Paris, le 20 avril 2010

N° 863/SGMER

### Instruction relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et la diffusion des données en résultant

Références : voir annexe I

Pièces jointes : deux annexes

La présente instruction a pour objet de rappeler les enjeux associés à la connaissance du niveau de la mer et de ses évolutions, de décrire le phénomène observé, et de fixer de façon générale les modalités d'acquisition, de qualification, de transmission, de gestion, d'archivage et de diffusion des données résultant des observations *in situ* effectuées par de nombreux acteurs.

Elle ne concerne pas les observations collectées par les moyens de télédétection aérienne ou satellitaire.

Elle définit le dispositif assurant la connaissance du niveau de la mer par la désignation d'un référent, de son mandat et de ses fonctions. Ce dispositif rationalise ainsi les activités nationales en matière d'observation du niveau de la mer.

#### Préambule :

La connaissance du niveau de la mer en général et du niveau moyen en particulier, ainsi que l'analyse de ses évolutions, à différentes échelles de temps, font partie des paramètres de suivi du changement climatique. Elles répondent aussi à des besoins de surveillance nécessaires aux pouvoirs publics pour la prévention des risques, la protection des populations,

la sécurité de la navigation, la planification stratégique des activités et l'aménagement durable des espaces littoraux.

#### 1 - Description des phénomènes observés et des usages qui y sont liés

1.1 - Le niveau de la mer au sens de la présente instruction est la hauteur de la mer par rapport à une référence verticale connue. Ses variations résultent de la conjonction de plusieurs phénomènes d'origines diverses, notamment :

- l'attraction des astres sur la mer ou marée astronomique ;
- les effets météorologiques tels que le vent et la pression atmosphérique ;
- les déplacements créés par les séismes et les mouvements de terrain ;
- le changement climatique (à travers les variations volumiques des océans dues à la dilatation thermique et aux apports d'eau).

1.2 - La marégraphie est le nom de la discipline qui a pour objet la mesure *in situ* de ce niveau, mot utilisé par commodité et pour ne pas s'éloigner de l'usage, car les phénomènes étudiés ne relèvent pas exclusivement de la marée astronomique.

Les instruments de mesure *in situ* associés sont appelés des marégraphes. Ils sont le complément indispensable aux mesures de niveau marin réalisées à partir des satellites océanographiques. Au large ou à la côte, ces instruments mesurent des paramètres annexes (pression atmosphérique, vent, masse volumique de l'eau ...) indissociables de la mesure du niveau de la mer et nécessaires à son interprétation et sa validation. Les données de nivellement des repères de marée font aussi partie de la mesure marégraphique. Enfin, des systèmes de mesure de géodésie spatiale et de gravimétrie peuvent être co-localisés avec les marégraphes afin de donner une référence absolue aux mesures du niveau de la mer.

1.3 - L'utilisation des observations marégraphiques est multiple. Ces dernières contribuent notamment :

- à l'anticipation et à la gestion des risques concernant le littoral :

- par la contribution à l'évaluation des aléas (y compris tsunamis) et de la vulnérabilité associée des territoires ;
- par la contribution à l'évaluation de la hausse globale du niveau moyen des mers et des autres effets de changement climatique et de leurs impacts ;
- par la mise en place de réseaux d'alerte multirisques capables de transmettre en temps réel des informations relatives au niveau de la mer (cas des tsunamis et des ondes de tempêtes, par exemple) ;
- par la modélisation des surcotes-décotes ;
- par la participation au dispositif de vigilance littorale aux aléas maritimes d'origine météorologique (fortes vagues à la côte et submersions marines) ;

- par l'établissement d'une typologie des risques et des menaces et analyse de leurs conséquences et les modalités de gestion des crises qui s'y rapportent ;
  - par la mise en commun des ressources au service de la planification, de la préparation et de la conduite opérationnelle, dans le cadre de l'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC) ;
- à la sécurité de la navigation :
- pour les prédictions de marée officielles réalisées par le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) ;
  - pour la correction des sondages réalisés lors des levés bathymétriques afin de rapporter les profondeurs mesurées au zéro hydrographique, (défini au voisinage du niveau des plus basses mers astronomiques) ;
  - pour la réalisation des références verticales, en combinaison avec d'autres sources de données (altimétrie, nivellement, ...) ;
- à la sécurité portuaire (information en temps réel à l'entrée des ports, par exemple) ;
- à la planification stratégique des activités en mer et sur le littoral et notamment :
- à l'aménagement des zones côtières ;
  - à la délimitation du domaine public maritime ;
  - à la définition des références altimétriques maritimes et du zéro hydrographique en particulier ;
- aux études météo-océanographiques et climatiques :
- à la validation des produits relevant de l'océanographie opérationnelle hauturière et côtière ;
  - à la calibration des altimètres embarqués sur satellite ;
  - aux études de l'évolution du niveau moyen des mers ;
  - aux études probabilistes sur les niveaux extrêmes ;
  - comme contribution à l'évaluation de l'aléa tsunami.
- à l'expertise dans le cadre des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

#### 1.4 - Définitions :

- L'« observation *in situ* » ou mesure correspond à la valeur physique de l'observation.
- Les métadonnées correspondent à l'ensemble des informations complémentaires et indispensables à l'exploitation de cette donnée. Elles doivent préciser notamment les éléments permettant de localiser, dater et qualifier l'« observation *in situ* ».
- L'observation correspond à l'observation *in situ* complétée des métadonnées.

## 2 - Désignation et rôle du référent national pour le « niveau de la mer »

**Le SHOM est désigné référent national pour le « niveau de la mer ».** En tant que référent national, il assure les fonctions suivantes :

- coordination de la collecte des observations du niveau de la mer réalisées par l'ensemble des organismes, établissements et services publics et relevant d'autorités publiques (cf. annexe II) ;
- gestion et archivage en temps différé des observations collectées ;

- définition des réseaux d'observation du niveau de la mer et notamment de leur architecture ainsi que leurs spécifications pour tout nouveau déploiement ;
- définition et promotion des moyens de transmission opérationnels adaptés ;
- coordination de la diffusion en temps réel et en temps différé des observations en assurant les conditions d'accessibilité et d'utilisation conformément aux dispositions en vigueur relatives à l'information du public ;
- contrôle de conformité des observations qu'il reçoit au regard des normes en vigueur ;
- définition, diffusion, promotion et suivi des normes nationales et internationales ;
- contribution à la représentation de la France dans les organisations d'observation internationales et communautaires, en liaison avec les autres acteurs du domaine.

Il prend à cet effet toutes les dispositions appropriées pour assurer ses fonctions en liaison avec notamment les ministères concernés.

Il rend compte annuellement de son activité de référent national au Secrétaire général de la mer, en charge de l'évaluation de la politique maritime.

## 3 - Responsabilités et obligations des différents organismes, établissements et services assurant ou disposant d'observations du niveau de la mer

Tout organisme, établissement et service, notamment ceux cités en annexe II, procédant ou faisant procéder à des mesures ou disposant d'observations du niveau de la mer collectées dans les zones sous juridiction nationale ainsi qu'en haute mer, est tenu de les communiquer au référent national avec l'ensemble des éléments prescrits par le référent notamment à des fins de contrôle.

Tout organisme, établissement ou service, collectant ou faisant collecter ou disposant d'observations du niveau de la mer doit respecter dans la mesure du possible les normes en vigueur et les consignes particulières du référent national pour l'acquisition, la qualification et la transmission des données et la cohérence des jeux de données. Il reste responsable de la validation et de l'estimation de la qualité *a priori* des informations transmises. Il est également encouragé à mettre dans le format *ad hoc* les données anciennes dont il pourrait disposer et à les communiquer au référent national pour compléter les bases existantes.

La propriété intellectuelle des observations reste acquise aux producteurs de données. Elle est mentionnée par tous les utilisateurs de ces informations.

Pour le Premier Ministre,  
et par délégation,  
le Secrétaire général de la mer



Jean-François TALLEC

## ANNEXE I : Principaux textes de référence

Directive 2007/2/CE du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE) (transposition en cours) ;

Loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 portant diverses mesures d'amélioration des relations entre l'administration et le public et diverses dispositions d'ordre administratif, social et fiscal, notamment son titre 1<sup>er</sup> relatif à la liberté d'accès aux documents administratifs et à la réutilisation des informations publiques ;

Loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile ;

Code des assurances, notamment ses articles L. 111-5, L. 122-7, L. 125-1 à L. 125-6 et A. 125-1 et suivants ;

Code de la défense, notamment ses articles R3416-1 et suivants (décret n° 2007-800 du 11 mai 2007 portant création, organisation et fonctionnement de l'établissement public administratif SHOM) ;

Code de la recherche, notamment son article L. 251-1 ;

Décret n° 95-1232 du 22 novembre 1995 relatif au comité interministériel de la mer et au secrétariat général de la mer ;

Décret n° 2004-112 du 6 février 2004 relatif à l'organisation de l'action de l'Etat en mer ;

Décret n° 2005-99 du 8 février 2005 portant création du Conseil national de sécurité civile ;

Décret n° 2005-1157 du 13 septembre 2005 relatif au plan ORSEC et pris pour application de l'article 14 de la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile ;

Décret n° 2005-1514 du 6 décembre 2005 relatif à l'organisation outre-mer de l'action de l'Etat en mer ;

Décret n° 2006-272 du 3 mars 2006 modifiant le décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi no 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics ;

Décret n° 2008-5 du 2 janvier 2008 portant application de l'article L. 563-5 du code de l'environnement et relatif à la communication de données intéressant la sécurité des personnes et des biens dans le cadre de la prévention des risques naturels majeurs ;

Instruction du Premier n°228 SG Mer du 03 mai 2002 relatif au recueil et à la diffusion de l'information nautique ;

Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides n°14, Manual on sea level measurement and interpretation, Volume I-IV, UNESCO (JCOMM Technical Report No. 31, WMO/TD. N° 1339);

Intergovernmental Oceanographic Commission, Oceanographic data exchange policy, Resolution IOC-XXII-6 adopted during IOC twenty-second session (2003);

International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Working Group on *Data Management, Guidelines for Water Level Data (revised May 2006)*.

## ANNEXE II

### Principaux intervenants

Les principaux acteurs dans l'acquisition, la qualification et la transmission des observations du niveau de la mer au référent national sont notamment :

- les autorités maritimes et portuaires ;
- les services centraux et déconcentrés de l'Etat ayant compétence en mer et sur le domaine public maritime ;
- les collectivités territoriales ou leurs groupements ;
- les organismes publics de recherche et établissements publics ayant une activité dans le domaine de l'environnement marin ;
- les établissements d'enseignement supérieur impliqués dans les sciences marines ;
- les représentants de l'Initiative française pour les récifs coralliens (IFRECOR).



# ÉVOLUTION INSTRUMENTALE DES MARÉGRAPHES DU RÉSEAU RONIM

par Noé Poffa <sup>(1)</sup> et l'équipe projet RONIM <sup>(a)</sup>

## RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet RONIM (réseau d'observation du niveau des mers), le SHOM met en place et maintient en condition opérationnelle un réseau moderne de marégraphes, dans les ports principaux de France métropolitaine et d'outre-mer.

Depuis quelques années, les marégraphes de ce réseau sont également associés à des programmes d'alerte liés aux risques environnementaux de l'évolution du niveau de la mer. Les contraintes opérationnelles du réseau ont donc évolué engendrant notamment une modernisation du matériel d'acquisition et de transmission des données des sites d'observatoires de marée.

Cet article présente les évolutions instrumentales majeures des marégraphes opérés par le SHOM au sein du réseau RONIM. Il traite dans un premier temps de la technologie des capteurs de niveau employés par les marégraphes pour ensuite décrire plus précisément le type de données produites.

La dernière partie couvre les systèmes de transmission utilisés, axe majeur de l'évolution récente des marégraphes côtiers numériques.

## ABSTRACT

*Within its RONIM project, the SHOM operates and maintains in operational conditions a state-of-the-art network of tide gauges located in harbours around metropolitan France and in overseas French territories.*

*Since a few years, those tide gauges are also part of alert programmes linked to the environmental risks of sea-level rising. The operational constraints of this network have thus risen and the tide gauges data acquisition and transmission systems have been upgraded.*

*This paper describes the major instrumental evolution of tide gauges operated by SHOM within the RONIM network. The tide gauges sea-level sensors technology is firstly reviewed to then describe more precisely the type of data produced.*

*The second part of the paper covers the data transmission systems which are one of the main recent development in coastal numeric tide gauges.*

<sup>(1)</sup> Agent sous contrat département ingénierie des équipements scientifiques (IES)  
division des moyens généraux et spécifiques (MGS) de la direction des opérations (DO)  
SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France (Mél : noe.poffa@shom.fr)

<sup>(a)</sup> Equipe projet RONIM : IETA R. Créach, IEF J.C. Kerinec, OE B. Croguennoc, OE C. Kervella, TMD V. Goirand, TMD R. Le Gall, ASC T. Lenglard, IDEF B. Tréguier



## 1. PRÉSENTATION

### 1.1 Introduction

Depuis 1992 avec le lancement du projet de réseau d'observation du niveau des mers (RONIM), le SHOM installe, modernise et densifie son réseau de marégraphes côtiers numériques (MCN). Cette modernisation, liée à la fois aux avancées technologiques dans le domaine des capteurs de niveau et des outils de transmission de données, s'est effectuée en plusieurs étapes.

Les marégraphes du réseau RONIM visent à produire des séries de mesures continues, pérennes et précises. Les données acquises par les marégraphes (hauteur d'eau et pression atmosphérique) sont exploitées par le SHOM et mises à disposition d'autres organismes. Elles répondent ainsi à de nombreux besoins [1] tels que la prédiction de la marée, l'étude de l'évolution du niveau moyen des océans, l'étude statistique des surcotes et décotes et des niveaux extrêmes ou encore la calibration des radars altimètres embarqués sur satellite.

Depuis la mise en place du RONIM, l'intérêt pour les mesures marégraphiques est allé croissant. C'est ainsi que le SHOM a vu ces dernières années son expertise associée à de nombreux programmes à la fois d'observation du niveau des mers (GLOSS<sup>1</sup>, ESEAS<sup>2</sup>, SONEL<sup>3</sup>), de prévision (PREVIMER<sup>4</sup>) et d'alerte lié au risque tsunami dans plusieurs bassins océaniques, océan Indien (CNATOI<sup>5</sup>), Caraïbes (TSUAREG<sup>6</sup>), Pacifique<sup>7</sup> et enfin Méditerranée et Atlantique nord-est (CRATANEM<sup>8</sup>).

C'est particulièrement sur cette nouvelle problématique d'alerte opérationnelle que s'est basée l'évolution instrumentale récente des MCN.

En outre, face à l'intérêt multiple de ces mesures, le secrétariat général de la mer (SGM) a approuvé l'instruction « relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant », qui formellement confie au SHOM le rôle de référent du domaine [2]. Le SHOM est ainsi invité à partager ses pratiques instrumentales et notamment de moyens de transmission opérationnels.

### 1.2 État du réseau RONIM en 2011

Au lancement du projet RONIM, le SHOM opérait cinq marégraphes permanents basés sur des technologies à flotteur dont le marégraphe historique de l'observatoire de La Penfeld à Brest.

<sup>1</sup> Global *Sea Level* Observing System

<sup>2</sup> European *SEA level* Service

<sup>3</sup> Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales

<sup>4</sup> Projet d'océanographie côtière opérationnelle

<sup>5</sup> Centre National d'Alerte aux Tsunamis dans l'Océan Indien

<sup>6</sup> Tsunami Alerte Régionale

<sup>7</sup> Article de S. Lannuzel publié dans ces annales

<sup>8</sup> Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis en Atlantique Nord Est et Méditerranée

Au mois d'avril 2011, le nombre de ces observatoires instrumentés par le SHOM et opérés en partenariat avec différents organismes (ports, CCI, IGN...) se porte à 38 MCN, dont 31 sont situés en métropole et à Monaco (Fig.1), six en outre-mer (Martinique, Guadeloupe, Guyane française, La Réunion, Mayotte, et Nouvelle-Calédonie) et un à Madagascar, en partenariat avec Météo-France et la direction de la météorologie de Madagascar (projet CNATOI). 31 de ces sites sont équipés d'une liaison temps réel par Internet et sept autres, liés au projet CRATANEM, sont équipés de la liaison satellite à cadence de transmission de 6 min.

Par ailleurs, trois des marégraphes de l'océan Indien (Mayotte, La Réunion et Madagascar) sont équipés de la transmission satellite à la cadence de 15 min.

Cinq nouveaux sites en métropole sont prévus pour être instrumentés à l'échéance 2012 (l'île de Groix, l'île d'Aix, Port Férréol, la Figueirette et l'île Rousse).

Le réseau RONIM sera donc à cette date composé de 41 MCN équipés de la dernière technologie de mesure de niveau radar et de transmission de données en temps réel.

## 2. ÉVOLUTION DES MARÉGRAPHES

L'évolution des observatoires de marée permanents a suivi à la fois l'évolution de la technologie des capteurs et celle du type de données requis par les utilisateurs.

Le choix de la technologie radar pour la mesure du niveau d'eau s'est fait au détriment des systèmes à flotteur, à pression ou à ultrasons pour des raisons de précision et de stabilité de la mesure, de facilité d'installation et du peu d'entretien nécessaire [3].

Enfin, l'abandon progressif pour certains sites des puits de tranquillisation a été rendu possible par l'intégration des télémètres radar en air libre. Il se justifie également par la nécessité non plus de mesurer seulement la marée ou le niveau moyen, mais aussi des phénomènes de plus haute fréquence, comme les ondes de tempêtes ou tsunamis, pour lesquels les puits de tranquillisation traditionnels peuvent être moins adaptés.

### 2.1 Technologie radar

La mesure de niveau par onde radar, développée à l'origine pour des mesures de niveau de produits pétroliers, existe depuis les années 70.

Au début très coûteuse, cette technologie se démocratise vers la fin des années 80 pour être aujourd'hui universellement répandue, notamment dans toutes les industries de process (chimie, pharmaceutique, agro-alimentaire..), de production d'énergie (raffineries, centrales nucléaires..) ou de traitement des eaux.

De nombreux fabricants d'instrumentation industrielle proposent sur le marché des capteurs de niveau radars de technologies et performances diverses.

On distingue plusieurs principes de mesure, avec ou sans contact avec l'interface du produit mesuré.

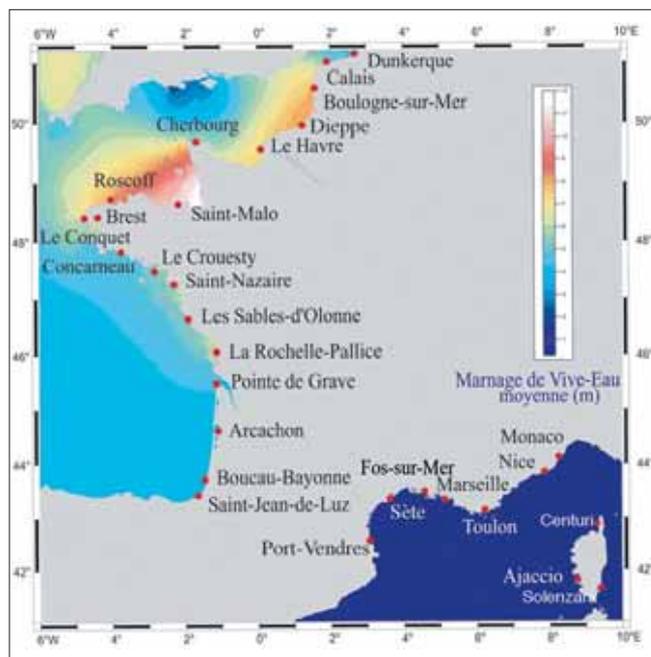


Fig.1 : MCN RONIM situés en France métropolitaine

Le radar à onde pulsé, popularisé notamment par le constructeur Vega [4], fonctionne sur le principe d'une mesure directe du temps de propagation de la micro-onde émise par l'instrument et réfléchi par la surface de l'eau.

Le radar FMCW pour *Frequency Modulated Continuous Wave* ou onde continue à fréquence modulée, se base sur un principe de balayage de fréquence. On ne mesure plus ici un intervalle de temps mais une différence de fréquence directement reliée à la distance entre le capteur et la surface mesurée. Cette technique nécessitant une puissance de calcul supérieure n'a été introduite que plus tardivement dans les capteurs de niveau industriels.

Enfin la technique TDR pour *Time Domain Reflectometry* est similaire au radar pulsé mais ici l'onde se déplace le long d'un câble conducteur. C'est donc une méthode intrusive à l'opposé des deux précédentes qui ne demandent aucun contact avec le produit mesuré.

Les capteurs radars de la marque Krohne choisis par le SHOM pour équiper ses marégraphes ont été sélectionnés pour leur précision et leur robustesse ainsi que pour leur capacités à fonctionner dans diverses configurations sur des surfaces plus ou moins agitées.

L'ancienne génération des BM100 (TDR) et BM70 (FMCW) est progressivement remplacée par les Optiflex 1300C (TDR) et Optiwave 7300C (FMCW) [5]. Ces derniers modèles présentent en effet l'avantage d'une consommation électrique moindre (de l'ordre de 4mA au lieu de 500mA) adaptée à des sites autonomes pendant plusieurs jours de fonctionnement continu sur batterie. Cette nouvelle génération de capteurs offre également une plus grande précision de mesure de surfaces agitées grâce à une

fréquence d'émission de l'onde radar plus élevée (autour de 26 GHz pour l'Optiwave contre 10 GHz pour le BM70) et une facilité d'installation optimisée par une taille et un poids réduits. La haute fréquence de fonctionnement de l'Optiwave associée à une antenne adéquate permet, en outre, de concentrer le signal émis dans un cône d'émission restreint (de l'ordre de 4° d'ouverture) facilitant ainsi l'installation de ce dispositif dans des zones contenant des obstructions (puits, bords de quais..).

Le choix de la technologie Krohne par le SHOM s'est également justifié par la nécessité de pouvoir maîtriser la calibration de tous les paramètres de l'instrument, chaque site marégraphique étant unique.

En effet, malgré un souci de standardisation, il est impossible de répéter exactement deux fois la même installation, chaque site possédant ses propres particularités du fait de l'infrastructure en place (le plus souvent réalisée par les partenaires locaux) et de la situation du site choisi (hauteur de marnage, type de puits, port plus ou moins abrité de la houle, etc...). Dans ces conditions, il est essentiel d'avoir une parfaite maîtrise de la mesure qui peut être perturbée par des échos parasites, des déviations électro-magnétiques du signal dues par exemple à des masses de fer environnantes ou encore une atténuation de la propagation de l'onde [6].

Les capteurs Krohne ont l'avantage d'être entièrement paramétrables et d'éventuelles corrections peuvent être directement appliquées sur la mesure. Par ailleurs, comme la plupart des instruments industriels, ils utilisent le protocole de communication numérique HART qui permet une calibration ou un diagnostic à distance. Ce protocole intégré à la centrale d'acquisition de mesures et pris en charge dans le logiciel de supervision des marégraphes au SHOM permet notamment d'intervenir à distance sur les capteurs en cas de panne.

Ce type de communication numérique rend également possible la mise en place d'une liaison hertzienne sécurisée avec le capteur, ceci permet donc l'installation légère de marégraphes autonomes sur panneaux solaires dans des lieux difficilement accessibles par réseau filaire.

Ce type d'installation est par exemple mis en œuvre sur le site de l'île d'Aix où il est nécessaire de faire une installation d'encombrement minimale sur une jetée isolée servant à l'accostage des bateaux.

## 2.2 La mesure radar en air libre

A la différence des systèmes à ultrasons, le radar n'est pas influencé par le vent où la température extérieure et ne nécessite donc pas d'abri ou de compensation en température uniquement réalisable en puits de tranquillisation. Par ailleurs l'évolution des radars eux-mêmes, par les avancées en traitement du signal et des gammes de fréquence utilisées, permet dorénavant de mesurer avec précision la position de la surface de l'eau même si celle-ci est fortement agitée.

Depuis 2009, le SHOM a donc étudié la possibilité de s'affranchir des puits de tranquillisation en plaçant des télémètres radars à l'air libre en mesure directe au dessus de

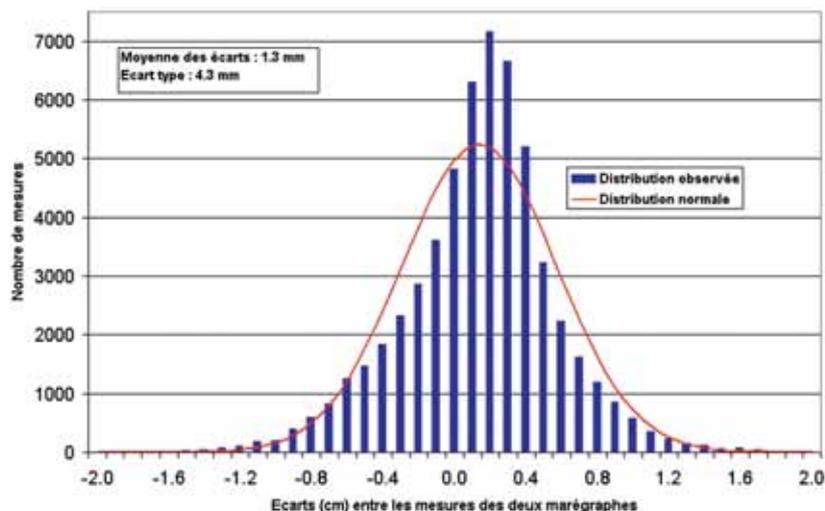


Fig.2 : Différences BM100-Optiwave (1 an de données)

l'eau. Ce type d'installation est déjà utilisé par de nombreux observatoires de marée à travers le monde (Norvège, Royaume Uni, Espagne...) ainsi qu'en France par certains ports français (Bordeaux). Dans le cadre de cette étude, un capteur Optiwave a été placé à l'air libre à l'extérieur du puits de La Penfeld à Brest. La comparaison des données de ce capteur avec celles issues du capteur de référence BM100 situé à l'intérieur du puits a permis de valider cette installation et de rendre ce système opérationnel.

Sur une année complète de mesures entre novembre 2009 et novembre 2010, les écarts observés entre les deux marégraphes sont en effet relativement faibles compte-tenu des incertitudes en jeu. Sur 365 jours complets de mesure (mesures moyennées sur 2 min toutes les 10 min.), 97,2 % des écarts observés entre les deux marégraphes sont en effet inférieurs ou égal au centimètre. Les 2,8 % restants sont inférieurs à 2,6 cm et l'écart type calculé sur la totalité de ces écarts est de 4,3 mm (Fig.2).

Ceci paraît être un excellent résultat dans la mesure où plusieurs paramètres sont susceptibles de justifier des écarts plus ou moins importants indépendamment des capteurs utilisés.

Premièrement, la hauteur d'eau à l'intérieur du puits de tranquillisation n'est pas sous certaines conditions forcément la même qu'à l'extérieur, le puits agit en effet comme un filtre dont la fonction de transfert dépend des courants, de la pression atmosphérique, etc.. [1]. Néanmoins les résultats de séries de mesure à la sonde lumineuse (mesure de référence), effectuées simultanément à l'intérieur et en dehors du puits les 20 et 21 janvier 2011 tendent à prouver que la différence de niveau due à cette fonction de transfert est minimale (par beau temps).

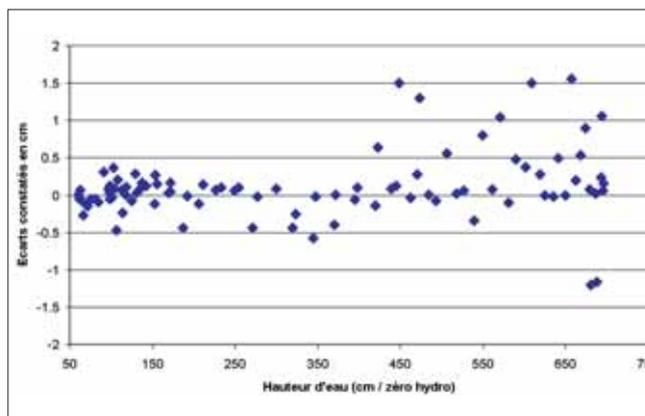


Fig.3 : Différences observées entre la hauteur d'eau à l'intérieur et à l'extérieur du puits de Brest - Penfeld

On observe en effet que les différences entre les hauteurs d'eau mesurées à l'intérieur et à l'extérieur du puits sur un cycle complet de marée sont minimales. La dispersion des écarts est plus importante à marée haute en raison d'une surface plus agitée à l'extérieur rendant la mesure sonde lumineuse plus aléatoire mais la moyenne des écarts reste très proche de 0 (Fig.3). Malgré cela deux jours de mesures ne sont pas forcément représentatifs des variétés de conditions à plus long terme.

Une erreur instrumentale importante concerne également l'heure associée à chaque mesure. En effet les deux systèmes possèdent des horloges internes distinctes dont la remise à l'heure périodique n'empêchait pas des dérives pouvant parfois atteindre plusieurs dizaines de secondes. Or, à mi-marée à Brest, lors de forts coefficients, il est aisé d'atteindre plusieurs centimètres de marnage sur des laps de temps bien inférieurs à la minute. Ce problème est

désormais résolu par la remise à l'heure automatique des centrales d'acquisition utilisées par le SHOM qui rend impossible des dérives d'horloge supérieures à cinq secondes. Néanmoins, sur certains des écarts observés, il est clair que cette dérive d'horloge est à mettre en cause.

Enfin, malgré l'intégration sur deux minutes des séries de mesures, l'incertitude sur la détermination du niveau d'eau reste plus grande à l'extérieur lorsque la surface est agitée, on observe en effet des écarts types plus importants sur la mesure extérieure qu'intérieure.

### 2.3 Exemples d'implantations

Sur les bases des résultats de ce site test, le SHOM a pu déployer dans le cadre de RONIM des marégraphes basés sur des capteurs à l'air libre sur les sites de Calais et Boulogne-sur-Mer (Fig.4). Ces installations se justifiaient notamment pour des raisons d'envasement récurrents de ces deux sites qui rendaient complexe l'utilisation de puits de tranquillisation. Dans un contexte où les interventions de nettoyage ne peuvent être garanties par les partenaires, la technique de mesure à l'air libre résout en effet le problème.

Hormis l'avantage économique certain que représentent de telles installations s'affranchissant de la construction et de l'entretien d'un puits et de son infrastructure, le marégraphe à l'air libre est particulièrement intéressant dans le cadre de systèmes d'alerte.

Les nouvelles applications demandées aux marégraphes et évoquées précédemment, exigent la possibilité de mesurer certains mouvements très dynamiques de la surface de la mer comme un retrait ou une élévation rapide lié à une onde de tsunami.



Fig.4 : Vue de situation du marégraphe de Boulogne-sur-Mer où la distance à mesurer peut dépasser 12 m

Or, s'il est difficile d'appréhender précisément les problèmes que poserait la mesure d'un tel phénomène dans un puits de tranquillisation [7], le principe de mesure en air libre permet de s'affranchir d'éventuels retards ou filtrages liés au puits. C'est pour cette raison que les nouveaux marégraphes déployés par le SHOM dans le cadre du réseau d'alerte CRATANEM utilisent des capteurs en air libre fixés sur potence (Fig. 5).



Fig.5 : Capteur Optiwave sur potence à Solenzara

### 2.4 Données recueillies

L'acquisition des mesures de niveau brutes par le radar, est réalisée par une centrale qui effectue un traitement de la mesure avant de l'archiver. Ce traitement consiste en l'application de coefficients d'étalonnage servant à corriger d'éventuelles erreurs de pente ou d'offset de la mesure. Ces coefficients de correction, spécifiques à chaque site, sont calculés lors d'un étalonnage selon les procédures en vigueur au SHOM [3][9].

La centrale d'acquisition effectue également un filtrage numérique du bruit de houle ou de clapot par moyennage d'une série continue de mesures. Dans le cas des MCN, le temps d'intégration utilisé pour la moyenne est défini à deux minutes (soit 120 mesures à raison d'une acquisition par seconde) à cadence de 10 minutes (période d'archivage). Ce principe de mesure moyennée sur 2 minutes toutes les 10 minutes a été défini au SHOM pour tous les marégraphes utilisés dans des sites portuaires pour l'analyse des marées et le calcul des niveaux moyens [8][9].

Le temps d'intégration requis sera plus important pour des mesures effectuées au large des côtes, donc plus bruitée par la houle (4 minutes d'intégration pour les marégraphes plongeurs en pleine mer).

En ce qui concerne les données utilisées dans le cadre d'une problématique d'alerte, il est nécessaire d'avoir des cadences d'intégration et d'archivage bien inférieures afin de pouvoir saisir un événement plus haute-fréquence. Les règles de l'échantillonnage définissent en effet une période maximum d'échantillonnage inférieure de moitié à la période du phénomène mesuré (théorème de Shannon). On considère en marégraphie qu'il faut que cette période d'échantillonnage soit très inférieure afin de reproduire correctement les oscillations mesurées. Ainsi pour des périodes de seiches d'environ 5 minutes comme on peut l'observer à Groix, on pourra par exemple définir un temps d'intégration d'une minute (soit 5 fois inférieur) afin d'étudier correctement le phénomène [8].

Les standards d'acquisition de mesures généralement admis pour la prévention du risque tsunami par des centres d'alertes nationaux et régionaux recommandent un moyennage sur 15 secondes des données de hauteur d'eau [10][11]. Le système de transmission mis en place par le

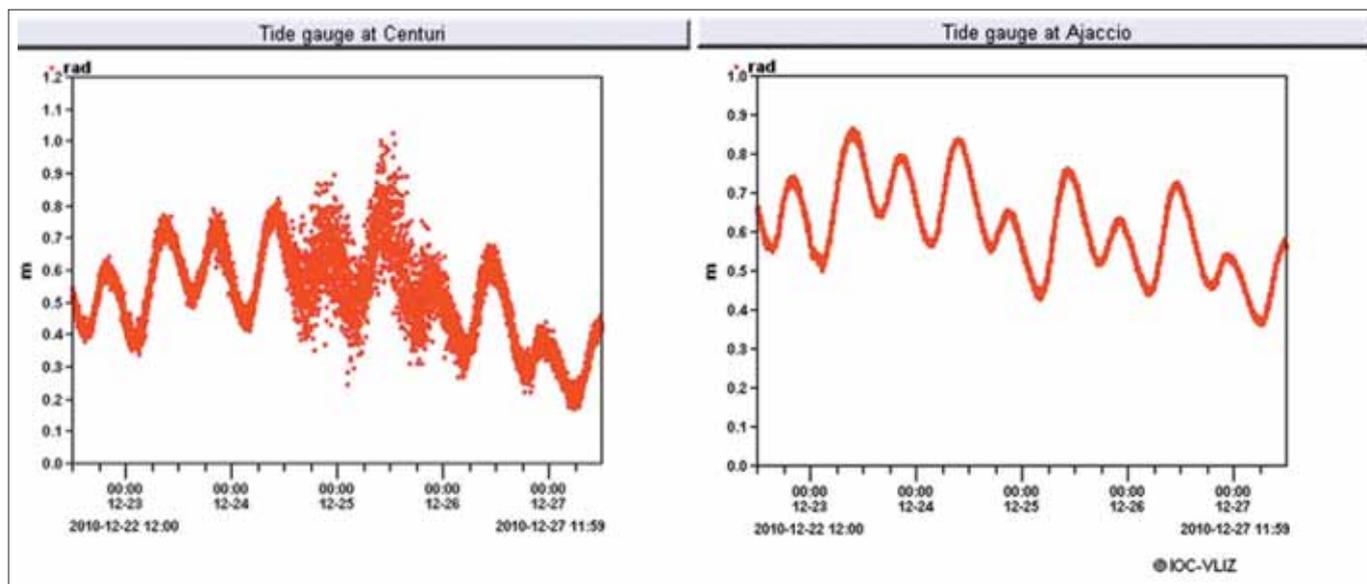


Fig.6 : Comparaison des données temps réel à Centuri et Ajaccio pour la période du 22 au 27/12/2010

SHOM sur ses marégraphes satisfait donc ces exigences en diffusant en temps réel une donnée à la minute moyennée sur 15 secondes.

Parallèlement à cette transmission quasi-instantanée, les mesures moyennées sur deux minutes sont sauvegardées sur la carte mémoire de la centrale d'acquisition du marégraphe (capacité de stockage supérieure à une année de mesures) et transmises toutes les semaines au SHOM.

Les MCN répondent ainsi à un double besoin qu'on pourrait résumer en la production de mesures filtrées pour les applications traditionnelles et de mesures « brutes » pour les applications d'alerte.

Ces mesures « brutes » ou du moins peu filtrées, le sont d'autant moins si le capteur du marégraphe est à l'air libre. La différence entre les marégraphe situés à l'intérieur et hors du puits de tranquillisation à Brest n'est à première vue pas flagrante vu la situation très abritée de l'observatoire et le fort marnage. Elle est en revanche beaucoup plus évidente sur les sites de Méditerranée du fait du faible marnage qui rend la dispersion des mesures plus visible. Les graphes de la figure 6 illustrent la différence entre une mesure en puits de tranquillisation (Ajaccio) et une mesure à l'air libre (Centuri). Ces deux marégraphes sont comparables dans la mesure où ils sont tous deux placés dans des ports pénétrés par la houle d'ouest et où, dans de mauvaises conditions météorologiques, la surface de l'eau au niveau du marégraphe peut être très agitée.

A la vue de ces deux séries de données « temps réel », il est clair que la dispersion des mesures est bien plus importante à Centuri qu'à Ajaccio. On remarque notamment que lors de la période du 24 au 25 décembre 2010 où une forte houle d'ouest frappait tout le littoral ouest de la Corse, les mesures effectuées à Centuri sont extrêmement dispersées allant jusqu'à plus de 40 cm de différence entre deux mesures consécutives (1 minute d'écart) contre à peine 1 cm à Ajaccio. Si on considère sur cette même période non plus les données moyennées à 15 secondes mais à 2 minutes, on

obtient alors une courbe beaucoup plus lissée mais dont les mesures présentent tout de même des écarts types d'environ 10 cm sur les deux minutes d'intégration (contre moins d'un demi centimètre à Ajaccio).

Ces considérations illustrent l'intérêt et les limites des durées d'intégration choisies et des implantations des marégraphes à l'air libre ou en puits de tranquillisation.

En offrant deux types de données, les marégraphes RONIM peuvent répondre à de multiples besoins par la diffusion en temps réel des données brutes et l'archivage sécurisé de données moyennées.

La technique de mesure en air libre mise en place depuis 2009 présente avantages et inconvénients. S'il est incontestable qu'elle ne permet pas un lissage des courbes de marée aussi « propre » que pour les installations en puits de tranquillisation, cette technique reste cependant très intéressante. Les données par temps calme sont entièrement valides puisque chaque marégraphe est étalonné et vérifie les exigences des stations GLOSS définissant un niveau de précision requis inférieur au cm pour des mesures individuelles de hauteur d'eau [12].

Particulièrement adaptés aux problématiques d'alerte, les marégraphes installés en air libre présentent en outre les avantages non négligeables d'un faible coût et d'une plus grande facilité de mise en œuvre [13].

Début 2011, 4 MCN du réseau RONIM rendent opérationnelle cette technique en Manche et en Méditerranée.

### 3. TRANSMISSION EN « TEMPS RÉEL » DES DONNÉES DES MARÉGRAPHES

Depuis 2006 et l'installation d'une liaison temps réel par internet des données du marégraphe de Brest, le SHOM équipe progressivement tous les sites RONIM. Les données transitant par Internet sont redistribuées par le SHOM vers

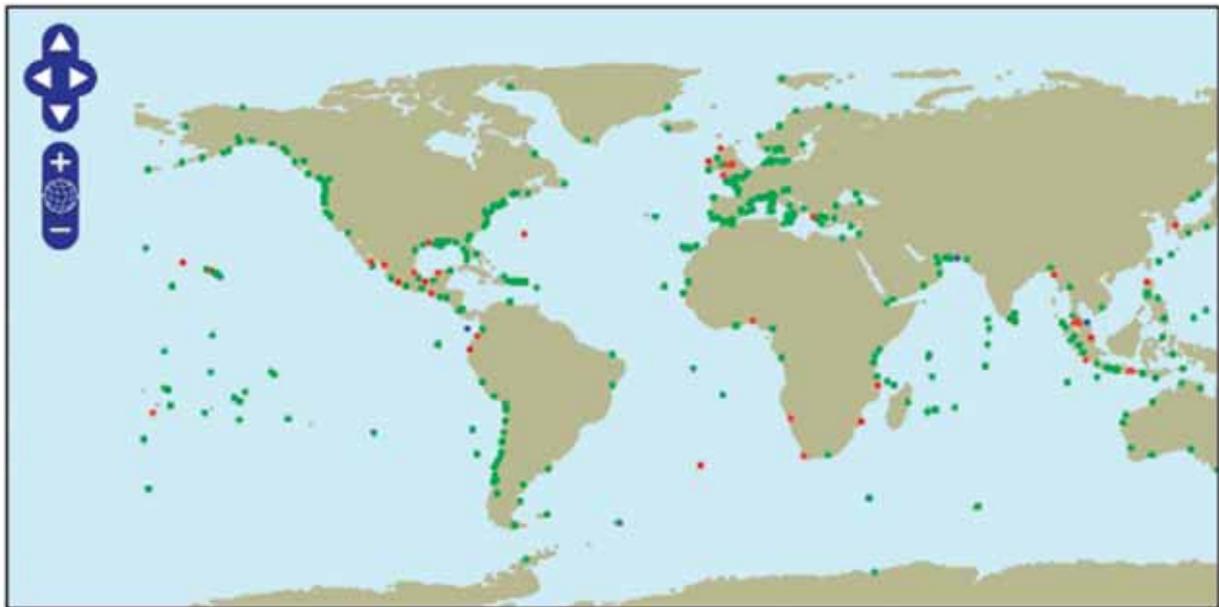


Fig.7 : Planisphère des marégraphes du portail internet de l'IOC « Sea Level Station monitoring Facility »

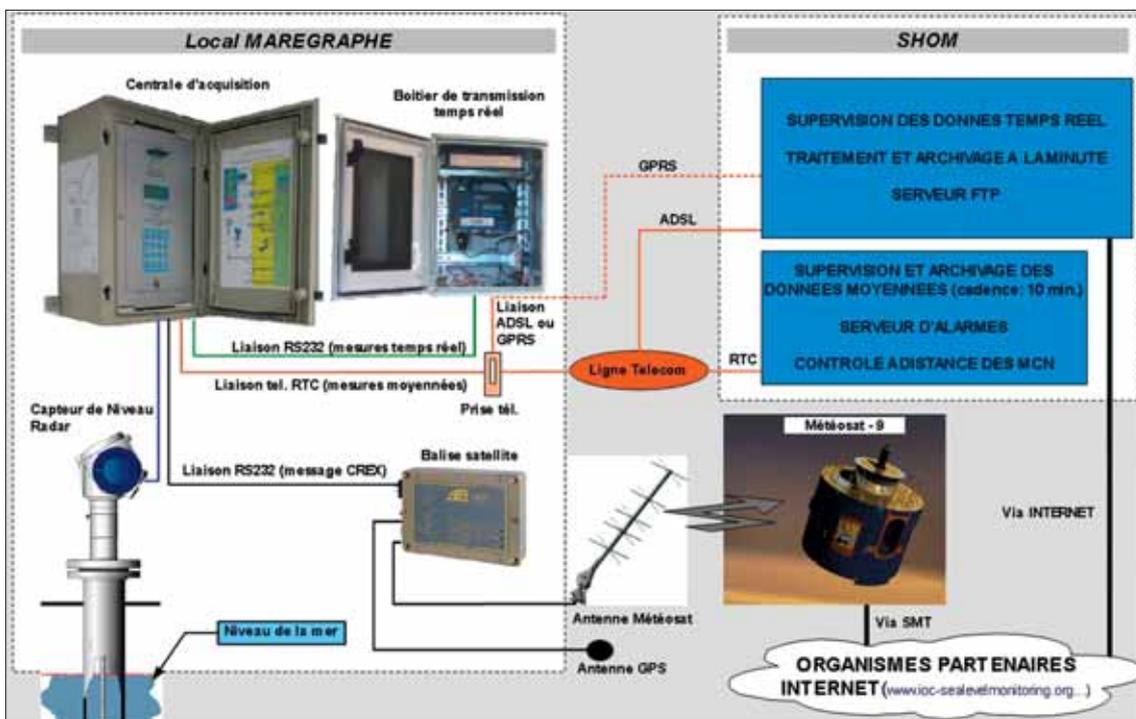


Fig.8 : Schéma de principe des connexions des MCN

divers portails tel celui global de l'IOC<sup>1</sup> (Fig.7) pour le contrôle des marégraphes temps réel des programmes GLOSS et d'alerte tsunami<sup>2</sup> ou bien le portail français PREVIMER<sup>3</sup>.

Les données temps réel sont également ouvertes aux centres d'alertes aux tsunamis comme dans le cas du CRATANEM coordonné par le CEA pour le territoire français.

Par ailleurs, en plus de la liaison internet, les marégraphes faisant partie des réseaux d'alerte aux tsunamis sont équipés d'une deuxième liaison par le satellite géostationnaire Météosat-9 de l'organisation européenne EUMETSAT. Les données transitant par Météosat sont redistribuées par EUMETSAT sur le système mondial de télécommunication (SMT) de l'organisation météorologique mondiale (OMM) et sont ainsi disséminés vers les organismes accrédités (Fig. 8).

Le chapitre suivant décrit plus précisément l'instrumentation et les protocoles utilisés pour la réalisation de la transmission en temps réel des mesures marégraphiques.

<sup>1</sup> Intergovernmental Oceanographic Commission

<sup>2</sup> <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>

<sup>3</sup> <http://www.previmer.org/>

### 3.1 Transmission par les réseaux ADSL / GPRS

Les centrales d'acquisition de mesures développées par la société ELTA sur spécifications du SHOM disposent d'une sortie temps réel de la donnée qui transmet sous forme numérique la valeur de hauteur d'eau. Celle-ci est la distance mesurée par le capteur de niveau et corrigée par le calculateur de la centrale pour être ramenée à une hauteur relative au zéro hydrographique local.

La donnée de hauteur d'eau est diffusée chaque seconde et agrémentée d'une mesure de pression atmosphérique par heure. Elle se présente comme une chaîne de caractères ASCII donnant pour chaque mesure la date, l'heure, la hauteur d'eau, un code de validité de la mesure et le cas échéant un code d'alarme.

Les chaînes de caractères ci-après illustrent par exemple une série de mesures.

```
20101217 150000 +0543.8 cm 0
20101217 150001 +0544.0 cm 0
20101217 150002 +0544.1 cm 0
```

C'est cette donnée à la seconde qui est transmise au SHOM par internet, soit par ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) sur le réseau téléphonique classique, soit par GPRS (*General Packet Radio System*) sur les réseaux mobiles. Le choix de la transmission terrestre ou mobile se fait en fonction des réseaux disponibles sur site et des avantages locaux de l'une ou l'autre possibilité. En général le GPRS est utilisé sur les sites les plus isolés non-éligibles à l'ADSL.

Actuellement dix des 27 sites RONIM équipés le sont par GPRS, les autres passent par l'ADSL, soit en transitant par

le réseau du port partenaire soit par abonnement direct chez un fournisseur d'accès.

Les protocoles de télécommunications TCP (*Transmission Control Protocol*) ou UDP (*User Datagram Protocol*) sont utilisés pour la transmission des données. Le protocole TCP est de préférence utilisé sur les connexions ADSL; le serveur de collecte du SHOM initie alors une session de dialogue durant laquelle il va demander les données au marégraphe. Lorsqu'il fonctionne en mode UDP, le marégraphe envoie les données sans attendre de réponse. Le mode UDP ne nécessite ainsi pas de communication dans les deux sens; c'est pourquoi il est utilisé dans des cas spécifiques, par exemple en GPRS ou dans certains ports si les données transitent par leur réseau interne.

Par ailleurs, dans le cadre du projet CRATANEM, les données des marégraphes qui seront transmises directement au CEA (coordinateur du centre d'alerte en France) seront cryptées et passeront par des liaisons VPN (Réseau Privé Virtuel). Afin de satisfaire ces exigences, le SHOM utilise des routeurs ADSL et GPRS de type industriel (commercialisés par la société Westermo) associés à des convertisseurs Série-Ethernet de la marque Moxa qui, connectés à la sortie temps réel de la centrale d'acquisition, permettent aux données d'être transmises avec les paramètres de sécurité requis.

La donnée à la seconde qui arrive par internet au SHOM est ensuite traitée par un logiciel d'acquisition afin d'être archivée et rediffusée.

Comme l'illustre le synoptique de la Figure 9, le traitement en temps réel des données permet notamment un contrôle instantané des mesures afin de détecter d'éventuelles anomalies (caractères aberrants, pics, valeurs constantes, absence de données...).

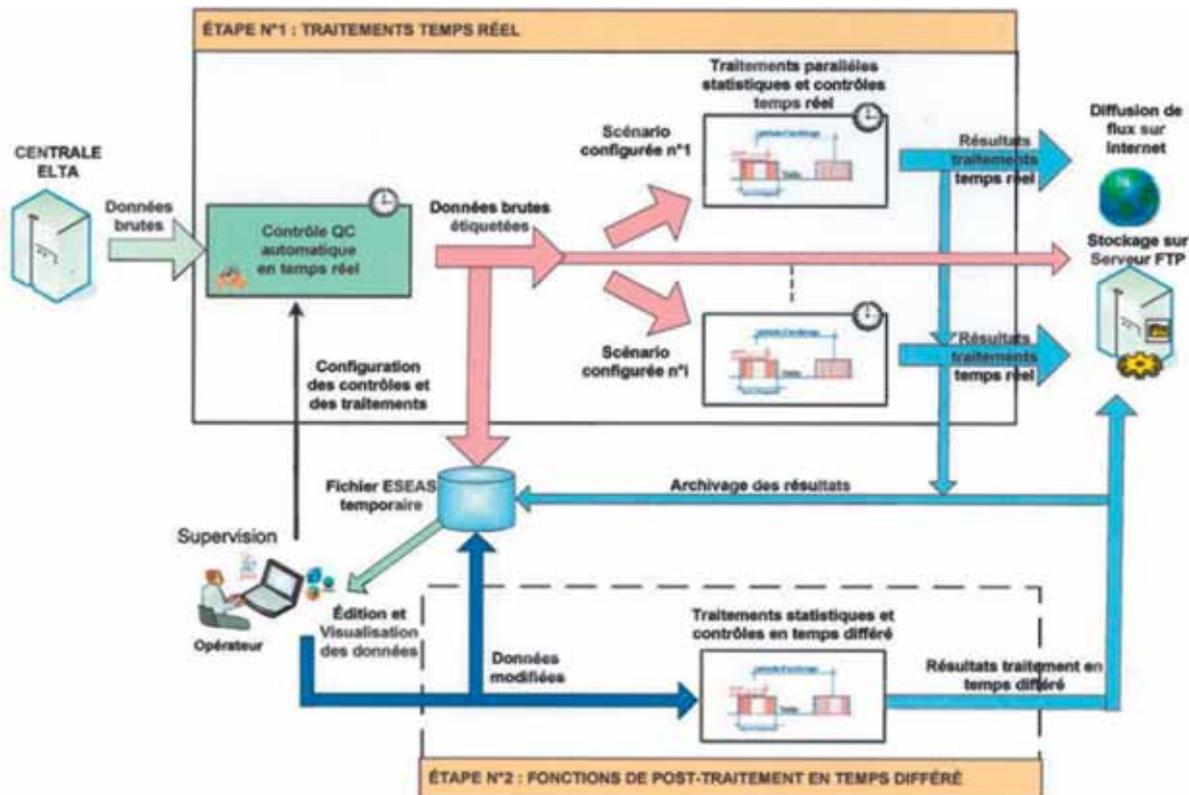


Fig. 9 : Cinématique des traitements des données réalisés par le logiciel temps réel

La donnée brute arrivant à chaque seconde, c'est également à ce stade que va être effectué l'intégration et le traitement des mesures moyennées. Cette étape consiste en une intégration sur 15 secondes telle qu'énoncée au chapitre précédent, puis à un deuxième contrôle qualité qui prend notamment en compte les calculs de surcotes et décotes établies d'après les prédictions de marée du SHOM. A l'issue de l'ensemble de ces traitements automatiques, les données produites moyennées sur 15 secondes, sont diffusées sous forme de flux sur Internet et les résultats des traitements sont déposés sur un serveur au SHOM.

Le site Internet du projet PREVIMER (Fig.10) développé sur une collaboration SHOM – Ifremer – Météo-France permet par exemple de visualiser les mesures temps réels des MCN comparées aux prévisions de hauteur d'eau calculées par les modèles PREVIMER.

### 3.2 Transmission par satellite

La redondance des observations des marégraphes nécessaire aux systèmes d'alerte est assurée par une seconde transmission « temps réel » des données. On emploie ici le terme de DCP (*Data Collection Platform*) comme terminologie pour désigner les marégraphes transmettant leurs données par le biais des DCS (*Data Collection System*). Les DCS sont actuellement opérés dans le monde par les satellites géostationnaires Météosat (EUMETSAT – Europe), GOES (NOAA – États -

Unis), GMS (Agence Météorologique Japonaise) Fen Yung (Administration Météorologique Chinoise) et GOMS (Roshydromet – Russie). Fen Yung et GOMS n'étant actuellement pas pourvoyeurs de services, ils sont remplacés par le satellite Météosat pour l'océan indien. La couverture globale est ainsi assurée (Fig.11 page suivant).

Les marégraphes RONIM associées au CNATOI et au CRATANEM sont donc sous la couverture du satellite Météosat-9 situé à 0° de longitude. EUMETSAT réceptionne les messages du satellite sur sa station au sol d'Usingen et les rediffuse ensuite sur le système mondial de télécommunication (SMT).

De même que pour les données temps réel transmises via internet, les mesures transmises par satellite sont des moyennes sur 15 secondes effectuées à chaque minute par la centrale d'acquisition du marégraphe.

L'association des marégraphes à un réseau d'alerte nécessite une cadence de transmission des données en accord avec le temps de réaction demandé par le système d'alerte. Dans le cas d'une alerte Tsunami, ce temps de réaction dépend de la vitesse de propagation de l'onde de tsunami, de la proximité des zones sismogènes et de la taille du bassin océanique considéré [10].

En fonction également des possibilités de transmission offertes par le DCS, les cadences de transmission ont été

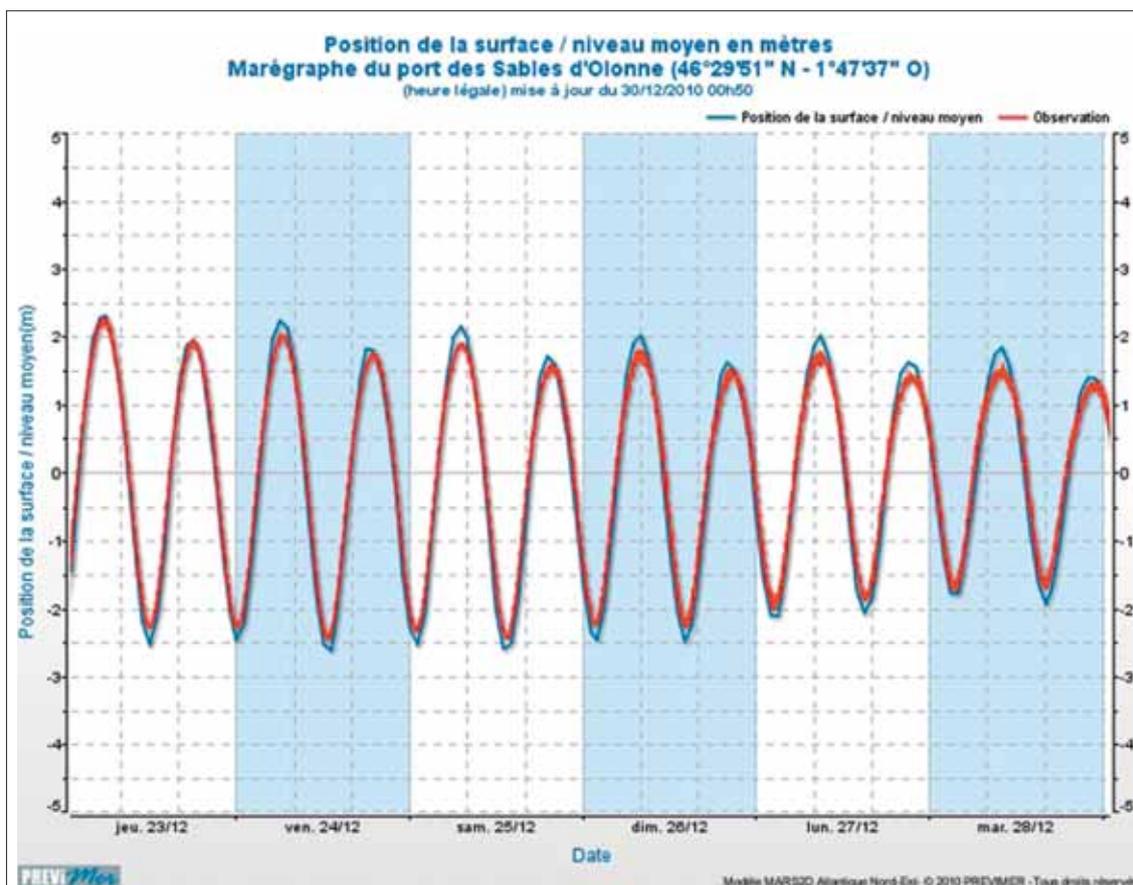


Fig.10 : Exemple de données PREVIMER

fixées à 15 minutes pour les marégraphes de l'océan Indien et à 6 minutes pour les stations du réseau CRATANEM. La cadence de transmission à 6 minutes acquise par le SHOM auprès d'EUMETSAT en 2009 a été jugée acceptable par le CEA et est donc en cours d'implémentation sur les 10 stations prévues en France métropolitaine.

### 3.2.1 Format des messages transmis sur le SMT

Afin de pouvoir être routés par EUMETSAT sur le SMT, les messages transmis par les DCP doivent adhérer au formats, structures et procédures définies par l'OMM. Les messages diffusés sur le GTS se composent de trois parties distinctes : l'en-tête, l'identifiant et le message contenant les données.

Sur conseil de Météo-France et de l'Australian Bureau of Meteorology [14] et en suivant les recommandations éditées par l'OMM, le SHOM a donc fixé ces paramètres afin de produire des messages valides et interprétables par tous les organismes concernés.

L'en-tête du message employé pour le routage sur le SMT doit être de la forme générique « TTAAii CCCC ». Le code définit le type de donnée et leurs origines géographiques et CCCC le centre d'origine des bulletins. Dans le cas de données marégraphiques, le code SZ définissant des données de surface du niveau de la mer a été adopté. On utilisera le localisateur FR01 ou IO01 selon que les marégraphes sont situés en France métropolitaine (FR01) où dans l'océan Indien (IO01). Le centre d'origine des messages est dans tous les cas EUMETSAT. Le paramètre CCCC est donc exclusivement fixé à « EUMS ». L'en tête se termine ensuite par 6 caractères définissant la date et l'heure de compilation du bulletin.

L'identifiant est un code hexadécimal donné pour chaque DCP par EUMETSAT

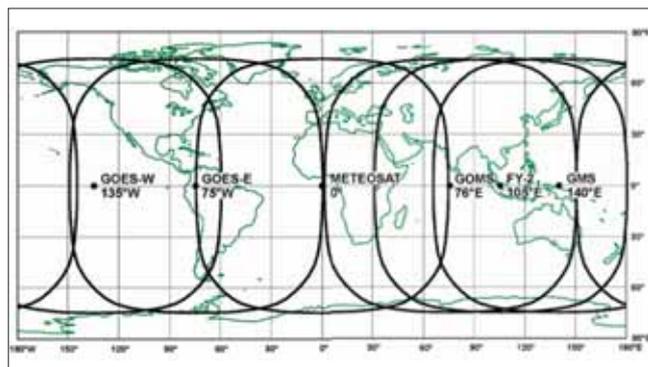


Fig.11 : Couverture satellite du DCS

Le message contenant les données de hauteur d'eau est ensuite codé en CREX (*Character form for the Representation and EXchange of meteorological data*). Ce type de codage est avec le BUFR (*Binary Universal Form for the Representation of meteorological data*) le seul codage de données d'observations météorologiques reconnu universellement et recommandé par l'OMM pour ses applications présentes et futures. Ces codes font appel à des tables clairement définies par l'OMM [15] et le CREX présente l'avantage d'être interprété directement par un humain (contrairement au BUFR qui est un code binaire).

L'exemple de message suivant présente ce codage tel qu'il est actuellement employé pour transmettre les données des marégraphes :

```

CREX++
T000103 A001 D01021 D06019 R01015 B22038++
-1278194 04525889 FR030 2010 10 02 23 57 //// 11 07 00 01
01943 01941 01937 01931 01933 01929 01926 01921 01919 01914 01914
01906 01899 01898 01898++
7777 (Fig. 12)
  
```



Fig. 12 : Format et codage d'un message transmis sur le SMT

### 3.2.2 Instrumentation des sites MCN

La mise en place de la transmission satellitaire sur les marégraphes du SHOM a donné lieu à une évolution spécifique des centrales d'acquisition Marelda. Le codage des hauteurs d'eau en CREX et l'association à la centrale d'un transmetteur satellite fabriqué par la société OTT (OTT HDR) a ainsi été rendu possible. La balise de transmission satellite, synchronisé par GPS, émet sur la bande de fréquence allouée par EUMETSAT via une antenne d'émission de type Yagi (Fig. 13).

Le retour d'expérience du SHOM sur ce système de transmission montre sa fiabilité et on estime à environ 95% le taux de réussite de la transmission des messages de hauteur d'eau mesurée [16]. Une redondance des données contenues dans le message peut également être envisagée afin de s'affranchir de la majeure partie des pertes liées à la transmission.

La photographie de la figure 14 illustre l'intégration du système complet d'acquisition et de transmission des données.

Les principaux éléments sont :

- la centrale d'acquisition Marelda ;
- son alimentation sécurisée et son modem RTC ;
- le convertisseur Ethernet et le routeur ADSL / GPRS ;
- le transmetteur satellite OTT HDR ;
- un chargeur et 2 batteries de 48 et 80AH.

La totalité de ces éléments peut s'assembler dans un coffret étanche d'1 mètre par 1 mètre afin d'être implanté sur tout site sans nécessité de local dédié.

La connexion vers une ligne téléphonique est nécessaire pour la transmission des alarmes et le téléchargement des données moyennées vers le SHOM. L'armoire est également reliée au secteur et dispose d'une autonomie minimum de 3 jours sur batteries en cas de coupure. Une autonomie totale sur panneaux solaire est également envisageable.



Fig.13 : Antenne de transmission vers Météosat-9 installée sur le site du MCN de Dzaoudzi (Mayotte)



Fig.14 : Intégration du système MCN

### 4. RÉFÉRENCES

[1] B. Simon, 2007 : « La marée océanique côtière », Institut Océanographique, Collection Synthèses, Paris, 433 pp.

[2] Instruction du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant (n° 863/SGMER du 20 avril 2010) : [http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir\\_31210.pdf](http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf)

[3] R. Leroy « Apport des télémètres radar en hydrographie et évaluation de leurs performances ». *Annales Hydrographiques* (Vol.5, n° 774, 2009).

[4] P. Devine, « Radar Level Measurement – The users Guide, Vega Controls », 2000.

[5] Gamme de produits Niveaumétrie -KROHNE- 09/2010 - 4000305502 - BR Level R02 fr : [www.krohne.com/html/dlc/CA\\_OVERVIEW\\_LEVEL\\_fr\\_100916.pdf](http://www.krohne.com/html/dlc/CA_OVERVIEW_LEVEL_fr_100916.pdf)

[6] RAP2010-012 (interne SHOM) : « Rapport des installations et étalonnages des marégraphes du réseau RONIM en 2009 ».

[7] Y. Namegaya et al., « In situ Measurements of Tide Gauge Response and Corrections of Tsunami Waveforms from the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 », *Pure appl. Geophys.* 166 (2009) 97–116.

[8] H. Dolou, Rapport d'étude n°11/86 (n° 451 EPSHOM/E/OC/NP du 20/11/86) : « Recommandations concernant le choix des périodes d'échantillonnages et durées d'intégration des courantomètres et marégraphes Suber ».

[9] R. Créach : « Mesures marégraphiques », Guide GU2008-056 (interne SHOM), Version : 2.1, Dernière modification le 20/10/2010.

[10] Intergovernmental Oceanographic Commission *Technical Series* 73, « Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas », NEAMTWS Implementation Plan Version 3.3, October 2008.

[11] IOC Training Course Report N° 91, Paris, 30 June 2008, « Summary of the IOC-GLOSS-PRSN Caribbean Training Course for Operators of Sea Level Stations ».

[12] IOC (2006). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*, IV: An Update to 2006 : [http://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/manual\\_14\\_final\\_21\\_09\\_06.pdf](http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/manual_14_final_21_09_06.pdf)

[13] Belén Martín Míguez, Ronan Le Roy, Guy Wöppelmann, « The Use of Radar Tide Gauges to Measure Variations in Sea Level along the French Coast » *Journal of Coastal Research* 24 4C 61–68 West Palm Beach, Florida July 2008.

[14] Kelvin Wong, Australian Bureau of Meteorology, « A brief description of the CREX sea level bulletins to be issued by the Australian Bureau of Meteorology on GTS » with effect from 18 December 2006.

[15] WMO « International Codes, with information on the migration to TDCF » : <http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes.html>

[16] Fiche N° 475 DO/MGS/NP du 22/07/2010 (interne SHOM) : « Validation de la transmission à cadence de 6 min via Météosat dans le cadre du projet CRATANEM ».

# RÉSEAU DE MARÉGRAPHES DANS LE PACIFIQUE

par Serge Lannuzel (1)

## RÉSUMÉ

Ces dernières années encore, de nombreux séismes ont déclenché des tsunamis dans le Pacifique. Aussi, l'État veille à améliorer le dispositif d'alerte et de surveillance du risque tsunami qui reste prégnant dans la région (prévention des populations, organisation de l'alerte, installation de sirènes et de marégraphes).

Sollicité par les services de l'État, le Service hydrographique et océanographique de la marine a été chargé d'installer en Nouvelle-Calédonie, à Wallis et Futuna, ainsi qu'en Polynésie française des marégraphes dont les données sont transmises en temps réel aux centres d'alerte tsunami dans le Pacifique.

Cet article rend compte de l'avancement des opérations menées par le SHOM entre 2007 et 2010 : reconnaissance de sites, spécifications des stations marégraphiques et des abris, installations après standardisation des travaux à réaliser, définition des travaux de maintien en condition opérationnelle (MCO). Les installations seront poursuivies au-delà de cette période.

Le financement du MCO du réseau de marégraphes pour l'entretien et la confirmation métrologique des équipements installés restait à finaliser fin 2010. Ces systèmes s'insèrent pleinement dans le dispositif global de sécurité civile et de prévention des risques, y compris pour les autres États du Pacifique.

## ABSTRACT

*Many earthquakes have triggered tsunamis in the Pacific in recent years. Accordingly, France seeks to improve the tsunami warning and monitoring system because that risk remains prominent in the Pacific region (alert organization, installation of sirens and tide gauges).*

*As requested by French administrations, the French Hydrographic and Oceanographic Service (SHOM) has been responsible for the installation of tide gauges in New Caledonia, Wallis and Futuna, and French Polynesia. Data from these tide gauges is transmitted in real time to tsunami warning centers in the Pacific.*

*This report describes how the operations conducted by SHOM have progressed from 2007 to the end of 2010 : surveying of sites, specification of tide stations and shelters, installations following standard procedures, definition of a maintenance program. Tide gauges facilities will continue to be installed after 2010.*

*Such investments should be sustained by setting up the maintenance of the tide gauges network, in order to maintain and check installed equipments, which are fully inserted in the global system of civil protection and risk prevention, including other Pacific nations.*

(1) Ingénieur principal des études et techniques de l'armement (IPETA)  
Division « Plans » de la direction de la stratégie, de la planification et des relations extérieurs (DSPRE)  
SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France  
(Mél : serge.lannuzel@shom.fr)



## 1. PRÉSENTATION

### 1.1 Introduction

Le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) observe depuis plusieurs dizaines d'années le niveau de la mer dans le Pacifique, d'abord pour ramener les levés bathymétriques à une référence stable, le zéro hydrographique ou zéro des cartes marines<sup>1</sup>, ensuite pour prédire la marée ou définir des niveaux de références (plus basses mers astronomiques et plus hautes mers astronomiques notamment). A ce titre, le SHOM a régulièrement installé de nombreux observatoires de marée, souvent de manière temporaire mais aussi parfois de façon permanente. Par ailleurs, le SHOM est responsable de la mise en place du zéro hydrographique comme référence altimétrique pour les hauteurs d'eau, et exploite toute donnée de marée au titre de référent national (instruction n° 863 SGMER du 20 avril 2010<sup>2</sup>) : connaissance générale de la marée, détermination des constantes harmoniques et des niveaux extrêmes, prédiction de marée.

Depuis 2007, le SHOM est sollicité par les services de l'État pour l'installation d'un réseau de stations de surveillance du niveau de la mer dans les collectivités françaises du Pacifique destiné à contribuer au système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique.

Cet article<sup>3</sup> décrit la mise en place de ce réseau jusque fin 2010 dans le cadre de la mission de soutien du SHOM aux politiques publiques maritimes et du littoral, notamment dans le cadre de la protection des biens et des personnes à l'ala tsunami. Il rappelle le contexte du développement de ce réseau de marégraphes et présente quelques exemples d'opérations menées par le SHOM : reconnaissances de sites et installations de stations de mesure du niveau de la mer.

### 1.2 Cadre de développement d'un réseau de marégraphes

*Pour disposer d'informations détaillées sur l'évaluation et la prévention du risque tsunami sur les côtes françaises, le lecteur pourra se référer au rapport 2007-117 du sénateur Courteau<sup>4</sup>.*

Le risque avéré lié aux tsunamis avait conduit, dès 1946, à la création d'un centre d'alerte aux tsunamis aux États-Unis, puis au Japon en 1952. La commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations

Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), créée en 1960, décidait ensuite de s'appuyer sur le centre d'alerte américain de Hawaii pour disposer d'un centre d'alerte opérationnel pour tous les États du Pacifique, dénommé Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) en 1968.

La France dispose aussi d'un centre national d'alerte aux tsunamis en Polynésie française au sein du laboratoire de géophysique du commissariat à l'énergie atomique (CEA/LDG), coordonné avec le PTWC.

Les séismes récents de la période 2000-2010 ont encore démontré l'intérêt de la prévention du risque tsunami : le séisme de magnitude 8,8 du 1<sup>er</sup> mars 2010 au Chili a généré une vague de 4 m à Atuana, une vague d'au moins 1,5 m à Nuku-Hiva dans l'archipel des Marquises et d'environ 1,5 m au Japon. D'autres séismes comme ceux aux îles Samoa le 30 septembre 2009 ou aux îles Salomon le 1<sup>er</sup> avril 2007, rappellent périodiquement que les îles du Pacifique, et en particulier les territoires français du Pacifique, sont sous la menace d'un tsunami. Sans dispositif d'alerte (principalement des sismomètres) et de surveillance du risque (de préférence des marégraphes mesurant en continu le niveau de la mer), ces séismes pourraient causer des pertes humaines comme ce fut le cas à Sumatra en décembre 2004 (plus de 168 000 morts).

En conséquence, la France décidait en 2007 de renforcer les moyens consacrés à la prévention de ce risque, notamment en installant des sirènes pour prévenir les populations de l'imminence du tsunami, mais également des marégraphes pour mesurer à tout moment le niveau de la mer.

En 2007, le SHOM opérait un seul marégraphe permanent dans le Pacifique, installé à Nouméa sur le site de son antenne en Nouvelle-Calédonie, en baie de Numbo. Ce marégraphe côtier numérique (MCN), acquis par le SHOM et intégré au réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM), avait été installé en 2005 pour remplacer un marégraphe à flotteur en fin de vie et permettre la poursuite de l'observation continue de la marée à Nouméa depuis 1967. Ce MCN a également pris la relève d'un marégraphe de l'université d'Hawaii dédié principalement à la détection de l'ala tsunami en Nouvelle-Calédonie. De l'autre côté du Pacifique, en Polynésie française, les États-Unis avaient déployé trois marégraphes : à Papeete sur l'île de Tahiti, sur l'île de Nuku-Hiva dans l'archipel des Marquises et sur l'île de Mangareva aux Gambier. Le CEA avait également installé un marégraphe à Hiva-Oa.

En 2007, la délégation générale pour l'outre-mer (DéGéOM), en charge de la coordination ministérielle pour les collectivités d'outre-mer (COM), a ainsi sollicité le SHOM pour installer et maintenir un réseau de marégraphes permanents dans les COM du Pacifique. Ces installations ont été menées en concertation avec les autorités locales, notamment le Haut-commissariat de la République (HCR), le CEA/LDG et l'université de Polynésie française (UPF) en Polynésie, les services de l'administration supérieure à Wallis et Futuna, le HCR et le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie en Nouvelle-Calédonie. Les principaux financeurs du projet sont la DéGéOM, le secrétariat permanent pour le Pacifique

<sup>1</sup> Voir l'article « Zéro hydrographique : vers une détermination globale » dans ces annales.

<sup>2</sup> Voir [http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir\\_31210.pdf](http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf)

<sup>3</sup> Pour un complément d'informations, le lecteur pourra se référer au rapport d'étude n° 001/2010 qui traite dans le détail du réseau de marégraphes dans le Pacifique (disponible sur le site du SHOM [www.shom.fr](http://www.shom.fr)).

<sup>4</sup> Voir <http://www.senat.fr/rap/r07-117/r07-117.html>

(SPP) relevant du ministère des affaires étrangères, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, l'UPF et le SHOM.

Au fur et à mesure, les données des stations ont été mises à disposition de tous sur le site de la COI.

### 1.3 Sites à équiper

En Nouvelle-Calédonie, les sites retenus étaient Hienghène, Touho, Thio, Ouinné, Ouvéa, Lifou et Maré.

A Wallis et Futuna, il était prévu d'installer un marégraphe sur chaque île, à Mata Utu et à Leava.

En Polynésie française, les sites de Tubuaï (Australes), Rangiroa (Tuamotu), Huahine (La Société), Vairao (Tahiti), Rikitea (Gambier), Makemo (Tuamotu), Rurutu (Australes), Ua-Pou (Marquises) et Bora-Bora (îles de la Société) avaient été retenus pour disposer de deux sites par archipels et compléter le réseau initial composé de Papeete (Tahiti), Nuku-Hiva, Hiva-Oa (Marquises) et Mangareva<sup>5</sup> (Gambier).



En bleu, les stations françaises avec en gras les stations installées fin 2010

### 1.4 Solutions technologiques possibles

La mise en place d'une station permanente de mesure du niveau de la mer nécessite d'envisager deux objectifs, la surveillance de l'aléa tsunami et le suivi du niveau moyen de la mer, afin de les satisfaire si possible simultanément.

L'aspect **aléa tsunami** requiert principalement robustesse et intégrité des mesures. Il est nécessaire de réaliser alors une double mesure relative issue de capteurs radar et barométrique afin d'assurer une redondance. Une transmission quasi temps réel est nécessaire. Pour le système de détection et d'alerte aux populations, les mesures sont principalement utilisées pour la connaissance du phénomène (réponse de la frange littorale à des ondes de tempête ou à un tsunami) et pour la levée de l'alerte. L'alerte est déclenchée grâce aux mesures de sismographes qui détectent le séisme à l'origine de tsunamis.

<sup>5</sup> Le marégraphe existant à Mangareva dans l'archipel des Gambier est installé dans un parc à poissons dont le niveau ne descend pas en dessous d'une certaine cote, et qui ne peut donc pas mesurer les basses mers et encore moins les retraits lors d'un tsunami.

L'aspect **niveau moyen** requiert fiabilité et justesse des mesures. Seul le radar peut donc délivrer des données pertinentes. Ces mesures doivent être en permanence géoréférencées dans un référentiel global (de type ITRF, International Terrestrial Reference Frame, selon les recommandations internationales) : il est alors indispensable d'y associer un capteur GPS permanent de qualité, continuellement en fonction, permettant de détecter une évolution de la structure terrestre (sommairement pour savoir si l'île s'enfonce ou si le niveau moyen de la mer monte).

La station idéale (cf. figure 1 ci-dessous) est ainsi composée d'une unité d'acquisition, de capteurs radar et barométrique, d'un capteur GPS de précision, d'un émetteur de données et d'un réseau énergétique en partie autonome, le tout intégré dans un local robuste et non vulnérable (en particulier aux actes de détérioration volontaires ou involontaires). Des compromis sont possibles selon les sites.

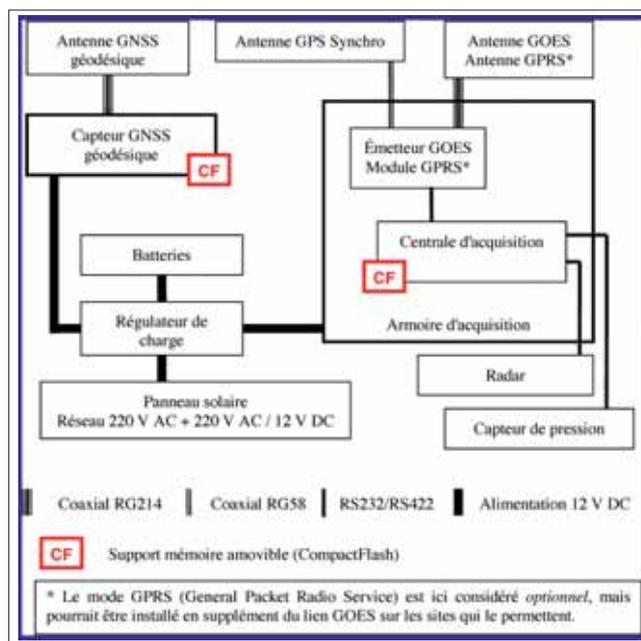


Figure 1 – Exemple d'architecture d'une station de surveillance du niveau de la mer

Afin de standardiser les stations de suivi du niveau de la mer, le SHOM a établi des spécifications techniques et a défini les caractéristiques de l'abri pour installer cette station. Ces éléments sont disponibles dans le rapport d'étude du SHOM n° 001/2010.

### 1.5 Définition des opérations de suivi et de maintenance du réseau

En juillet 2008, le SHOM a détaillé les opérations de suivi et de maintenance nécessaires du réseau, sur la base de ce que le SHOM effectue pour les marégraphe du réseau RONIM :

- contrôle exhaustif de la station de mesure du niveau de la mer au minimum tous les trois ans :
  - vérification des repères géodésiques et de nivellement, et installation de nouveaux repères autant que de besoin,
  - rattachement par GPS des repères d'une empreinte géodésique locale,

- nivellement orthométrique complet de tous les repères de l'observatoire de marée,
- calage du marégraphe par rapport au zéro hydrographique à la sonde lumineuse ou à l'échelle de marée,
- vérification métrologique du marégraphe (test de Van de Castele),
- mise à jour de la fiche d'observatoire de marée (cote des repères, photographies, plans de l'observatoire...),
- réunion avec les autorités locales,
- compte-rendu des opérations réalisées ;
- contrôle semestriel des instruments :
  - mesures à la sonde lumineuse ou à l'échelle de marée au moins autour d'une basse mer et d'une pleine mer, destinées à détecter au plus tôt une anomalie potentielle et à s'assurer que l'observatoire de marée est en état et que ses mesures sont fiables et justes,
  - entretien général des interfaces :
    - graissage des fixations mécaniques,
    - tests des câbles électriques,
    - entretien des connexions électriques,
    - contrôles des supports mécaniques,
    - nettoyage des panneaux solaires,
    - changement des batteries... ;
  - nettoyage de l'échelle de marée et du capteur barométrique,
  - mise à jour des logiciels des équipements,
  - mise à jour des configurations et des paramétrages des équipements,
  - formatage des mémoires après sauvegarde des données (internes et supports amovibles),
  - test de bon fonctionnement après une relance complète de la station,
  - rencontre avec les autorités locales,
  - compte-rendu des opérations réalisées ;
- intervention en cas de panne, de catastrophes naturelles ou de nécessité de retour de l'équipement chez le fournisseur ;
- contrôle, analyse, validation, archivage et mise à disposition des données ;
- traitements particuliers au profit des collectivités d'outre-mer (prédictions, calcul des surcotes, détermination des niveaux extrêmes...) ;
- gestion du réseau marégraphe et assistance à maîtrise d'ouvrage.

Ces opérations sont conformes aux recommandations internationales de l'UNESCO, de la NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) aux États-Unis ou du NTFA (National Tidal Facility Australia) en Australie. L'UNESCO/COI recommande d'effectuer cette tâche tous les ans pour le réseau GLOSS (Global Sea Level Observing System), et éventuellement plus souvent selon la structure géologique du site (conseil du Permanent Service for Mean Sea Level). Le service national océanographique de la NOAA (NOAA/NOS) exécute ces tâches au plus tous les six mois et lors d'orages violents, d'ouragans ou de séismes (spécifications du NOAA/NOS pour l'installation, l'entretien et le retrait de stations de mesure du niveau de la mer). Le NTFA effectue une opération complète de maintenance au plus tous les 18 mois pour les systèmes installés hors de l'Australie.

Des actions ponctuelles peuvent de plus être nécessaires, essentiellement pour récupérer les données et intervenir sur un dysfonctionnement. Il est donc important d'avoir en stock une station complète de rechange pour chaque bassin. Un programme de remplacement des batteries doit être prévu. Enfin, il est important de rappeler que la durée de vie de tels équipements n'excède pas 10 ou 15 ans, en particulier dans des environnements tropicaux humides et salins. Le remplacement des équipements sera donc à anticiper. Le cycle de maintenance pourra affiner cette espérance qui dépend des sites.

## 1.6 Travaux réalisés par le SHOM

Pour uniformiser les travaux d'installation à réaliser, des instructions techniques destinées aux agents du SHOM dans le Pacifique au sein du groupe océanographique du Pacifique (GOP) ont été rédigées : elles ont été systématiquement mises en œuvre lors des opérations d'intégration des stations de mesure du niveau de la mer.

La suite de cet article illustre, par quelques exemples choisis dans chaque bassin, les travaux réalisés par le GOP dans le Pacifique pour bâtir le réseau de marégraphe :

- reconnaissances pour établir la solution à installer et pour appréhender l'environnement de la station du niveau de la mer ;
- installations qui ont concrétisé la mise en œuvre du réseau.

Les opérations de maintenance indispensables à l'entretien de ce réseau sur le long terme sont seulement évoquées.

## 2. RÉSEAU DE NOUVELLE-CALÉDONIE

En Nouvelle-Calédonie, le GOP a procédé à la reconnaissance de sites :

- d'abord en avril 2009 pour une visite rapide des sites de Hienghène, Touho et Thio ;
- en novembre 2009 à Maré et Lifou ;
- en juillet 2010 à Ouinné et Thio ;
- en septembre 2010 à Touho et Hienghène.

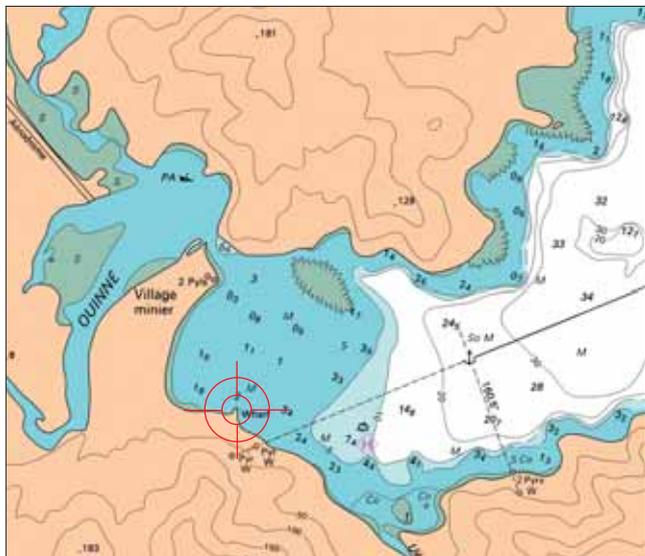
Chaque reconnaissance a fait l'objet d'un compte-rendu détaillé et les actions correspondantes ont été initiées :

- demande d'autorisation auprès de la mairie,
- demande d'implantation sur le domaine public maritime auprès de la province concernée,
- acquisition des équipements et éléments d'intégration,
- lancement de la construction des abris,
- demande d'identifiants aux gestionnaires des satellites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) du système mondial de transmission (SMT) de l'organisation météorologique mondiale à savoir : la NOAA pour la Polynésie française et la JMA (Japan Meteorological Agency) pour la Nouvelle-Calédonie et Wallis et Futuna.

### 2.1 Ouinné : reconnaissance en juillet 2010

Ouinné est une baie encaissée, peu protégée à l'est. Elle dessert une mine. Ce site n'est accessible que par rotation aérienne (rotations organisées directement par la société

minière Georges Montagnat : SMGM) : aucune route terrestre n'est ouverte jusqu'à la baie de Ouinné. Aucune dégradation volontaire n'est donc envisagée ; aussi, l'abri habituellement requis pour protéger la station marégraphique n'est pas indispensable et une installation légère (type mâtereau) est possible. Après reconnaissance, le wharf de transbordement a été retenu pour l'installation d'une station marégraphique comme indiqué ci-dessous.



Site du wharf sur un extrait de la carte marine 7073



Wharf de transbordement

Le site du wharf de transbordement offre les avantages suivants :

- la hauteur d'eau y est suffisante quelque soit la marée ;
- supportant des camions de plusieurs centaines de tonnes, cette structure est particulièrement stable ;
- remontés sur la tour de guet, les aériens de la station marégraphique seront parfaitement dégagés ;
- la partie inférieure et intérieure du wharf offre la possibilité d'écarter le radar de l'enrochement, tout en offrant une sécurité complète vis-à-vis des barges qui accostent du côté extérieur.

La centrale d'acquisition placée sous le wharf sera protégée du soleil et des intempéries. Son coffret étanche sera tourné dos au vent dominant. Concernant les aériens, la guérite permettra une fixation sans masquage du panneau solaire et de l'antenne Yagi d'émission vers un satellite GOES.



Position possible du radar sur le wharf de transbordement



Guérite pour installer l'antenne Yagi et les panneaux solaires

### 3. RÉSEAU DE WALLIS ET FUTUNA

Les spécifications du réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami à Wallis et Futuna prévoyaient une station pour Wallis et une autre pour Futuna. Une mission de reconnaissance du GOP, accompagnée du chef du service des phares et balises de Wallis et Futuna, s'est rendue à Wallis et à Futuna du 11 au 13 novembre 2009. Lors

des visites protocolaires dans les royaumes de Alo et de Sigave à Futuna, le SHOM a rappelé l'importance de ce projet pour la sécurité des biens et des populations. Les chefferies ont donné leur accord à l'installation de l'équipement. A l'issue de cette reconnaissance, il a été décidé d'installer une station marégraphique à Léava sur l'île de Futuna dès que possible, et à Mata Utu sur l'île de Wallis après la fin des travaux d'extension de la plateforme portuaire (fin 2011 *a priori*). Un abri a été construit à Léava début 2011 et les équipements scientifiques ont été achetés en 2010. Le financement a été assuré par le SPP.

#### 4. RÉSEAU DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

Ce territoire était, en 2007, équipé de quatre stations de suivi du niveau des mers. La direction de la défense et de la protection civile (DDPC) avait alors jugé indispensable de densifier le réseau pour *in fine* disposer de deux stations par archipels permettant de détecter et suivre un tsunami d'où qu'il vienne comme ce fut le cas lors des séismes au Chili en 2010 et 1995, aux Samoa en 2009, au Pérou en 1996... Le GOP a donc procédé :

- à la reconnaissance de sites à Bora-Bora en octobre 2009, à Vairao sur l'île de Tahiti en décembre 2009, aux Gambier en février 2010, à Makemo en octobre 2010 ;
- à l'installation de stations du niveau de la mer à Tubuaï en décembre 2008, à Rangiroa en février 2009, à Nuku-Hiva en juin 2009, à Huahine en avril 2010 ;
- à des opérations de maintenance à Tubuaï en janvier et juillet 2010, notamment à la suite du cyclone Oli et de dégradations volontaires de l'antenne de transmission satellite, et à Rangiroa en avril 2010 ;
- à une maintenance externe de la station installée à Papeete par l'université de Hawaïi afin de disposer d'une connaissance (vérification métrologique, nivellement, rédaction d'une fiche d'observatoire de marée).

Ces opérations ont fortement mobilisé les équipes du GOP depuis 2008 : préparation des travaux (achats, organisation logistique), exécution des travaux sur le terrain nécessitant souvent une capacité d'adaptation, capitalisation des interventions (compte-rendu vers les autres partenaires, gestion de configuration du système...) et gouvernance du réseau.

L'exploitation des données est assurée dans le temps essentiellement par l'UPF (niveau moyen) et le CEA/LDG (tsunami) en lien avec le PTWC. La suite de l'article illustre la phase d'installation de stations à Rangiroa et à Huahine.

##### 4.1 Rangiroa : installation en février 2009

La mission d'installation de la station du niveau de la mer à Rangiroa a eu lieu du 23 février au 3 mars 2009, suivie le 13 juillet 2009 de l'installation du capteur de pression dont l'acquisition n'avait pas été prévue initialement. Cette station concourt à deux objectifs :

- réseau de détection et d'alerte aux aléas tsunamis, en particulier en terme de « calibration » du site (besoin de la DDPC) ;
- étude du niveau moyen de la mer à long terme (besoin de l'UPF).

Pour réduire la vulnérabilité de l'abri, du barbelé a été installé autour du toit en accord avec les autorités locales. Chaque équipement du système est décrit par la suite.

Les deux photos ci-dessous présentent une vue générale de la station en juillet 2009 :



Abri avec les équipements de la station et radar installé

#### 4.1.1 Description du système

Un radar Vega est intégré sur un support réalisé par le SHOM. Il est protégé par un dôme. La valeur mesurée entre son zéro instrumental et la surface de l'eau est transmise à la centrale d'acquisition. Ce capteur est positionné verticalement à l'aide d'une bulle et a été nivelé pour déterminer précisément la cote de son zéro instrumental par rapport au zéro hydrographique.

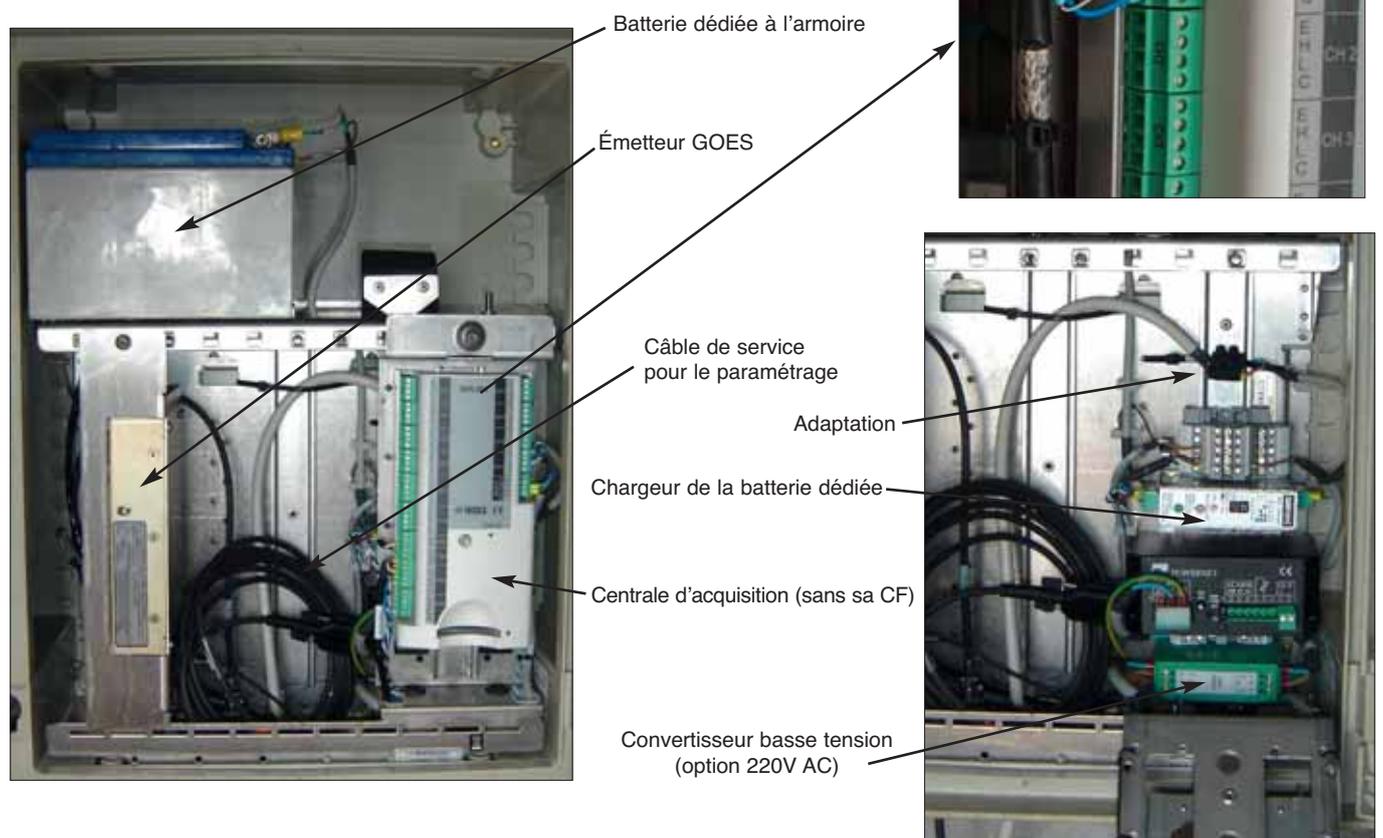
Un capteur barométrique Keller est intégré à l'intérieur d'un tube rigide en PVC fixé en son extrémité (cf. photo ci-dessous) :



Marégraphe à pression

Ce tube est ensuite fixé au quai permettant un démontage simple pour le nettoyage du capteur lors de la visite périodique. Ce capteur est compensé de la pression atmosphérique par un capillaire. Ce capteur a été installé en juillet 2009. Il assure une redondance du capteur radar.

Les 3 vues en bas de page présentent l'intérieur de la centrale d'acquisition. Le capteur radar et le capteur de pression sont connectés à la centrale qui assure l'acquisition des données et prépare la transmission des données au module GOES. Une adaptation électrique a été réalisée afin de pouvoir alimenter l'armoire par une basse tension extérieure (batteries externes alimentées par panneau solaire) en maintenant la capacité d'alimenter l'armoire par une tension extérieure de 220 V. L'armoire possède sa propre batterie rechargée, permettant un isolement de l'armoire vis-à-vis du réseau basse tension de la station. La centrale d'acquisition se paramètre à l'aide du câble de service et d'un PC. La station émet en temps réel les données de hauteur d'eau vers un satellite géostationnaire du SMT. La station stocke aussi en local les données des 1 000 derniers



jours. La configuration actuelle prévoit un message toutes les 60 minutes<sup>6</sup> (à heure ronde) avec les 30 dernières mesures effectuées toutes les 2 minutes.

Il n'y a pas de redondance des données transmises. Cette diffusion occuperait alors 20 secondes, contre 15 secondes allouées par la NOAA. Une demande d'extension sera donc réalisée pour avoir soit une fenêtre de 30 secondes toutes les heures, ou alors une fenêtre de 15 secondes au minimum toutes les 30 minutes.

L'antenne Yagi est pointée vers le satellite GOES 135 W. Cet équipement possède également un récepteur GPS intégré dont le rôle est de permettre une synchronisation, opération effectuée une fois par jour, 5 minutes après le changement de date UTC (soit 14:05 heure locale).

Un capteur GNSS Leica de haute précision exploite simultanément les signaux des satellites GPS et GLONASS (système russe de positionnement par satellites équivalent au GPS américain). Le capteur possède une batterie interne, qui n'est pas rechargée, permettant d'isoler l'équipement pour une durée (ou plusieurs cumulées) maximale de 5 heures. La figure ci-après montre une vue générale du capteur intégré :

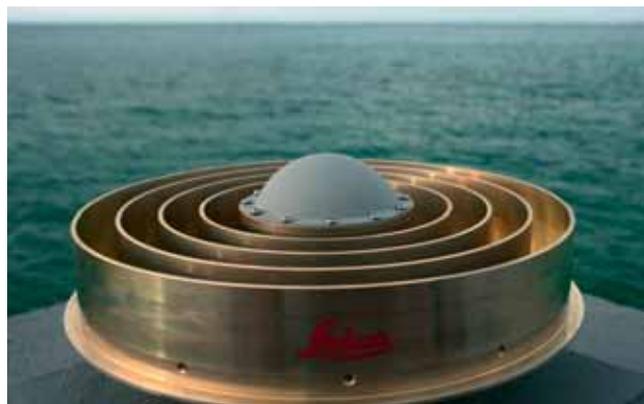


\* Global Navigational Satellite System

Ce capteur doit être paramétré à l'aide d'un PC par une connexion Ethernet. Raccordé à Internet, il serait possible de le configurer ainsi que d'en récupérer les données quotidiennement. Cette évolution majeure serait également envisageable pour la centrale d'acquisition Vaisala, remplaçant alors le canal GOES ou assurant une redondance de transmission. Pour l'heure, les données GNSS sont stockées sur le support amovible CF de 1 Go : dans les conditions actuelles, l'autonomie est supérieure à 500 jours, nécessitant l'intervention d'un technicien compétent au moins tous les ans.

<sup>6</sup> L'accès au réseau du SMT est contraint. Le gestionnaire (ici la NOAA) décide de la cadence de transmission des données. Le représentant français à l'UNESCO/COI fait valoir le besoin d'une cadence plus élevée. Si cela est accepté, le système pourra s'y adapter après modification du paramétrage. Pour ses stations de mesure du niveau de la mer, la NOAA dispose d'une cadence d'émission toutes les 5 minutes.

L'antenne GNSS Leica est de type Choke Ring.



Antenne GPS

Cette antenne réduit très fortement les multi-trajets. L'intégration du support de l'antenne a été réalisée très précisément. Un support a été scellé à l'aide de mortier chimique bi-composant dans le pilier GPS du local. Ce support a été mis en place à l'aide d'une croix de Malte, assurant ainsi son horizontalité. L'antenne est orientée vers le Nord.

Une évolution de la station pourrait être de l'équiper d'un capteur de précipitation de manière à exploiter les données GPS. La centrale d'acquisition peut gérer d'autres senseurs (capteurs météorologiques, capteurs hydrologiques...), et cette information pourrait être utile dans le futur.

La station est équipée d'un réseau basse tension 12 V, composé d'un panneau solaire, d'un régulateur de charge et d'une batterie dédiée. Il répond à un besoin énergétique de 200 Wh/j. Dans les conditions d'emploi, le module photovoltaïque recharge en 3 heures la consommation intervenue dans la nuit. Un régulateur de charge optimise le rendement, notamment en début et fin de journée.

Le réseau, basse tension, installé à Rangiroa est présenté page suivante :

#### 4.1.2 Confirmations métrologiques du système

En plus de la recette du système, des vérifications métrologiques ont été réalisées afin de s'assurer de l'intégrité des équipements. Ces opérations devront être conduites lors des contrôles périodiques.

#### Recette du système

La recette du système s'est déroulée à Papeete à proximité des locaux du GOP en Polynésie française. La configuration a ainsi pu être validée avant l'installation. Les résultats principaux sont :

- la mesure et le calcul cohérents de hauteurs d'eau rapportées à un niveau de référence (zéro hydrographique dans le cas présent) ;
- la robustesse du système face aux coupures d'alimentation et recharge de la batterie interne ;
- la mise à l'heure UTC quotidienne du système ;
- l'enregistrement daté de toutes les données et la récupération des données stockées ;
- l'émission des données vers GOES et leur adressage vers le PTWC et le CEA/LDG ;
- l'enregistrement des données GNSS.

Tous ces tests devront être réalisés pour chaque station.



Régulateur électronique de charge

Arrivée module photovoltaïque

Diffusion basse tension

Échange avec le bloc batterie

Panneau solaire orienté au nord et incliné de 20°



La batterie spécifique solaire (116 Ah) isolée du sol

Le besoin « 5 jours » a été retenu, une seule batterie a donc été intégrée

## Confirmation métrologique des mesures de hauteurs d'eau

La confirmation métrologique a consisté en deux tests de Van de Casteele, l'un à Papeete, l'autre *in situ* à Rangiroa, tous deux effectués avec une échelle de marée. Dans les deux cas, un nivellement orthométrique des repères fondamentaux de l'observatoire de marée a été préalablement réalisé.

A Papeete, le système témoigne d'une excellente justesse et présente une très bonne fidélité. L'écart type de 10 mm cumule les incertitudes des deux « marégraphes » (radar et échelle de marée). En considérant les erreurs aléatoires (hypothèse validée par la distribution observée), indépendantes et égales entre elles, on obtient un écart-type pour le radar de 7 mm, et probablement mieux compte tenu de la difficulté de réaliser des mesures au centimètre sur l'échelle de marée. Dans tous les cas, ce système est conforme aux exigences du programme mondial GLOSS. Cet équipement ne présente aucune erreur systématique décelable sur le diagramme de Van de Casteele établi lors de cette confirmation.

A Rangiroa, le biais moyen observé entre mesures radar et mesures à l'échelle de marée est de 4 mm avec un écart-type de 11 mm. En considérant les erreurs de l'échelle et du capteur radar indépendantes et égales entre elles, on obtient une incertitude de 8 mm pour un biais de 2 mm, ce qui respecte également les exigences de GLOSS. Cette estimation est un majorant, les lectures échelle étant assurément entachées d'erreurs plus conséquentes. Le rattachement orthométrique réalisé à Rangiroa a ainsi été confirmé.

## Confirmation métrologique des mesures GNSS

Cette confirmation a essentiellement consisté en une validation des équipements installés, à Papeete et *in situ*. Il était important de détecter un éventuel dysfonctionnement des équipements installés : la justesse et la fidélité du capteur ont été analysées. Aucun biais significatif n'a été observé. Sur le point de référence à Papeete, la solution obtenue par ce capteur sur plusieurs jours est cohérente à 2 mm près avec le point moyen obtenu à l'aide d'autres capteurs. Compte tenu de la méthodologie retenue, ce résultat valide donc largement le besoin : le capteur mis en service ne présente pas de défaut de justesse.

Enfin, en analysant la fidélité lors de l'installation à Rangiroa, c'est-à-dire en comparant la solution cinématique à 1 s à la solution statique considérée comme référence, on obtient de très bons résultats également

<b>Biais</b>	-1,5 mm
<b>Écart-type</b>	1,8 cm
<b>Erreur maximale</b>	8 cm

Ces résultats témoignent d'une très bonne fidélité du récepteur GNSS : il fonctionne nominalement et les données GNSS recueillies sont intégrées et de très bonne qualité.

### 4.1.3 Premiers résultats

La station marégraphique a été installée : capteur radar, capteur de pression, centrale d'acquisition, antenne et récepteur GPS, antenne Yagi, panneaux solaires, réseau électrique, échelle de marée, repères de nivellement, douilles géodésiques.

L'ensemble des repères constituant la station d'observation a fait l'objet d'un nivellement orthométrique.

Afin de qualifier le site de la station, une empreinte géodésique a été initialisée (détermination précise par GNSS de la position de points autour de l'observatoire de marée et jusqu'à une dizaine de kilomètres). Cette empreinte a pour objectif de modéliser d'une manière locale et relative les différents points. Elle doit en particulier rattacher le site de la station de mesure du niveau de la mer, par construction sur le littoral, à des points « stables » de l'environnement. L'évolution de l'empreinte permettra de détecter les défauts de stationnarité de l'observatoire. Tout affaissement accidentel pourra être décelé.

Une vérification métrologique (test de Van de Casteele) a été réalisée.

Une fiche d'observatoire de marée a été rédigée. Des fiches géodésiques ont été rédigées pour décrire tous les points stationnés.

Un compte rendu détaillé précisant toutes ces opérations a été publié.

### 4.1.4 Évolutions et maintien en conditions opérationnelles de la station

Le système installé à Rangiroa répond aux besoins exprimés. En outre, il satisfait les exigences imposées dans ce domaine par le programme mondial GLOSS. Néanmoins, des évolutions peuvent d'ores et déjà être envisagées, notamment afin de pallier les latences d'obtention des données (et le risque associé d'en perdre) et la vulnérabilité potentielle aux actes de malveillance (et l'indisponibilité associée).

- Les trois principaux points perfectibles pourraient donc être :
- l'alimentation par une ligne 220 V : le panneau solaire ne serait alors plus critique ;
  - le raccord de la station au réseau Internet : les données GNSS pourraient être récupérées quotidiennement, et les données radar ne seraient plus diffusées par GOES, ce qui conduirait à ne plus utiliser l'antenne GOES, également très vulnérable. Par ailleurs, le paramétrage et le monitoring de la station complète pourraient être assurés depuis n'importe quel ordinateur raccordé à Internet ;
  - l'émission des données marégraphiques par un modem GPRS à la place du canal GOES.

Dans tous les cas, une visite de contrôle périodique doit être réalisée selon les indications définies au §1.5.

Cette seconde installation réalisée nominalement par le SHOM dans le Pacifique, après la station marégraphique de Tubuaï en décembre 2008, ne doit pas faire oublier que des difficultés techniques ou climatiques peuvent survenir (intempéries, pannes...).

## 4.2 Huahine : installation en avril 2010

### 4.2.1 Présentation

- La station installée au quai Haamene à Huahine vise à :
- mieux connaître la marée sur zone ;
  - participer au réseau de détection de l'aléa tsunami.

L'objectif d'étude à long terme du niveau de la mer a dû être provisoirement écarté sur ce site car de nombreux travaux d'aménagements du quai Fare étaient toujours susceptibles d'y être menés à l'époque de l'installation. En conséquence, la construction d'un abri et l'association d'un GPS de précision ont, à cette époque, été abandonnées sur ce site où une intégration « légère » (sur mâtereau et sans capteur radar) a été retenue. La photo ci-contre présente une vue générale de la station.

#### 4.2.2 Description du système

Le quai de Haamene est situé face à la passe d'Avamoa, dans une baie étroite et peu profonde : les interlocuteurs rencontrés localement ont confirmé l'intérêt de ce site qui a rendu visible le tsunami de septembre 2009 (Samoa). Située à proximité de l'embouchure d'une rivière, sur la rive opposée aux installations de la direction de l'équipement, la portion de quai retenue pour l'installation n'est presque jamais utilisée car située à l'extérieur de la darse protectrice formée par les quais (si ce n'est annuellement lors de la compétition de pirogues « Va'a Hawaiiiki Nui », où la concentration d'embarcations devient alors phénoménale).

Cette configuration à l'embouchure d'une rivière présage quelques difficultés :

- en cas de très fortes pluies, fréquentes en saison cyclonique, le niveau de la rivière peut monter de manière significative (plus de 30 cm selon les témoignages recueillis). Cet effet sera certainement moindre à l'extrémité de quai retenu, mais il conviendra de l'étudier si des mesures aberrantes étaient trouvées ;
- des troncs d'arbres sont régulièrement charriés dans la baie par la rivière : ceci constitue un risque réel pour l'intégrité du capteur de pression immergé même si des précautions ont été prises ;
- bien qu'il soit de construction récente, ce quai a une tendance visible à l'enfoncement, ce qui laisse supposer une relative instabilité des fonds au niveau de cette embouchure de rivière ;
- enfin, le mélange d'eau douce de rivière et d'eau de mer salée pourrait perturber les mesures délivrées par le capteur de pression.

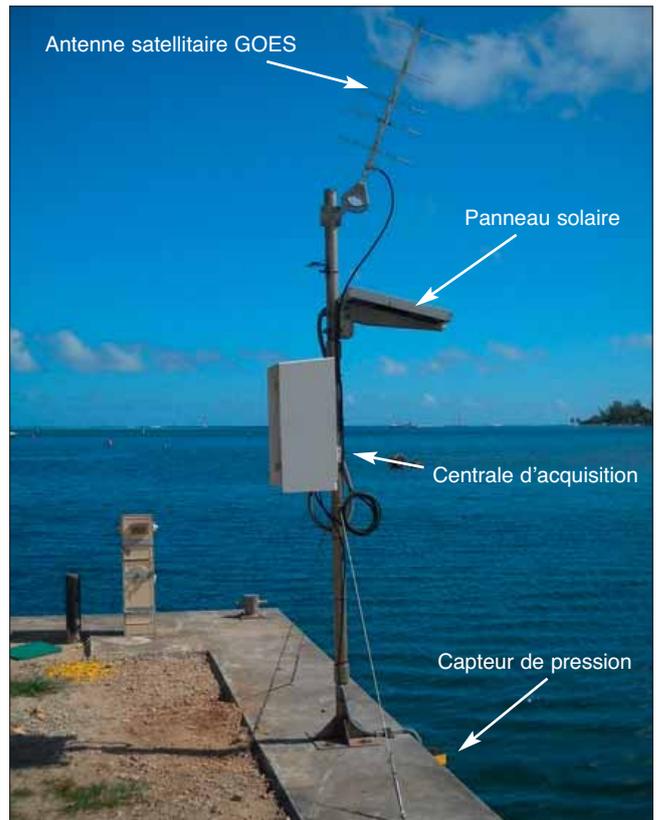
La station marégraphique comporte (photo ci-contre) :

- des éléments fixés sur un mâtereau : une centrale d'acquisition, une antenne Yagi pour l'émission vers un satellite géostationnaire du SMT, une antenne GPS pour la synchronisation de la centrale, un panneau solaire ;
- un capteur de pression immergé sur lest.

Le mâtereau en inox a été rallongé à 3,30 m afin de relever l'antenne Yagi et le panneau solaire. Pour renforcer la structure, des haubans ont été ajoutés. Pour l'embase du mâtereau et les haubans, seules des fixations dans le béton de la poutre de couronnement du quai ont été employées (la soupe de corail constituant le quai étant impropre à cette fixation).

Le capteur de pression est relié à la centrale d'acquisition par un câble de 5 m de long, qui présente la particularité de contenir un capillaire (pour la compensation de la pression atmosphérique) sensible au pincement. Ce dernier a été protégé :

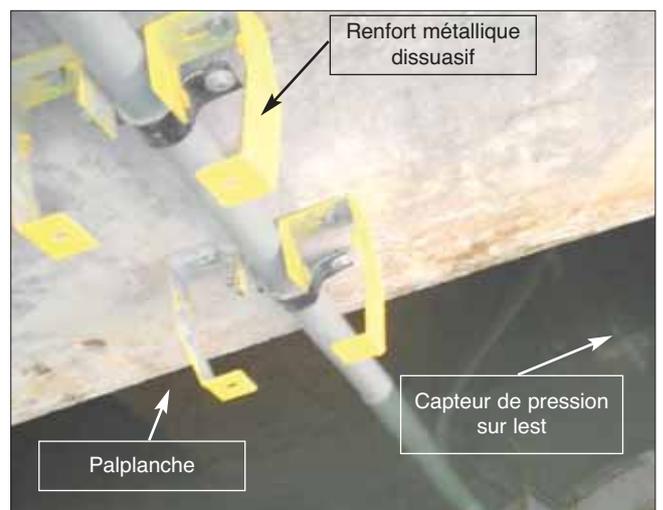
- par une gaine en PVC souple ;



- par un tube rigide en PVC supplémentaire (diamètre 40 mm) le long du quai ;
- par des renforts métalliques dissuasifs pour éviter que des embarcations ne viennent s'amarrer sur cette portion de quai (photo ci-dessous).

Le capteur de pression repose sur un lest :

- protégé de tout objet dérivant dans la rivière par un renforcement des palplanches ;
- posé sur fonds rocheux, pour limiter le phénomène d'enfoncement présent dans les fonds vaseux de cette embouchure de rivière.



La station marégraphique comporte également une échelle de marée située près de la cale dans la darse Haamene : elle a été installée pour que son zéro corresponde au zéro hydrographique (cf. première photo page suivante).

Pour réduire la possibilité d'extraction de l'échelle de marée de son support, des cales en bois sacrificielles ont été utilisées.

A destination du public, une plaque d'information a été visée sur la porte du coffret de la centrale d'acquisition. Les données de cette station ont été rendues disponibles depuis le 11 mai 2010 (cf. seconde photo ci-dessous).



#### 4.2.3 Retour d'expérience

Le système installé à Huahine répond aux besoins exprimés par le CEA/LDG et la DDPC, et satisfait les exigences imposées dans ce domaine par le programme mondial GLOSS. Néanmoins, **le SHOM maintient sa recommandation d'installation sur un abri au quai de Fare dès que les travaux d'aménagement de ce quai seront finalisés.** Cette évolution permettrait d'ailleurs de rendre cette station apte à l'étude du niveau de la mer à long terme.

# OBSERVATIONS DU TSUNAMI TRANS-PACIFIQUE DU 11 MARS 2011 PAR LE MARÉGRAPHE DE NUKU-HIVA AUX ÎLES MARQUISES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

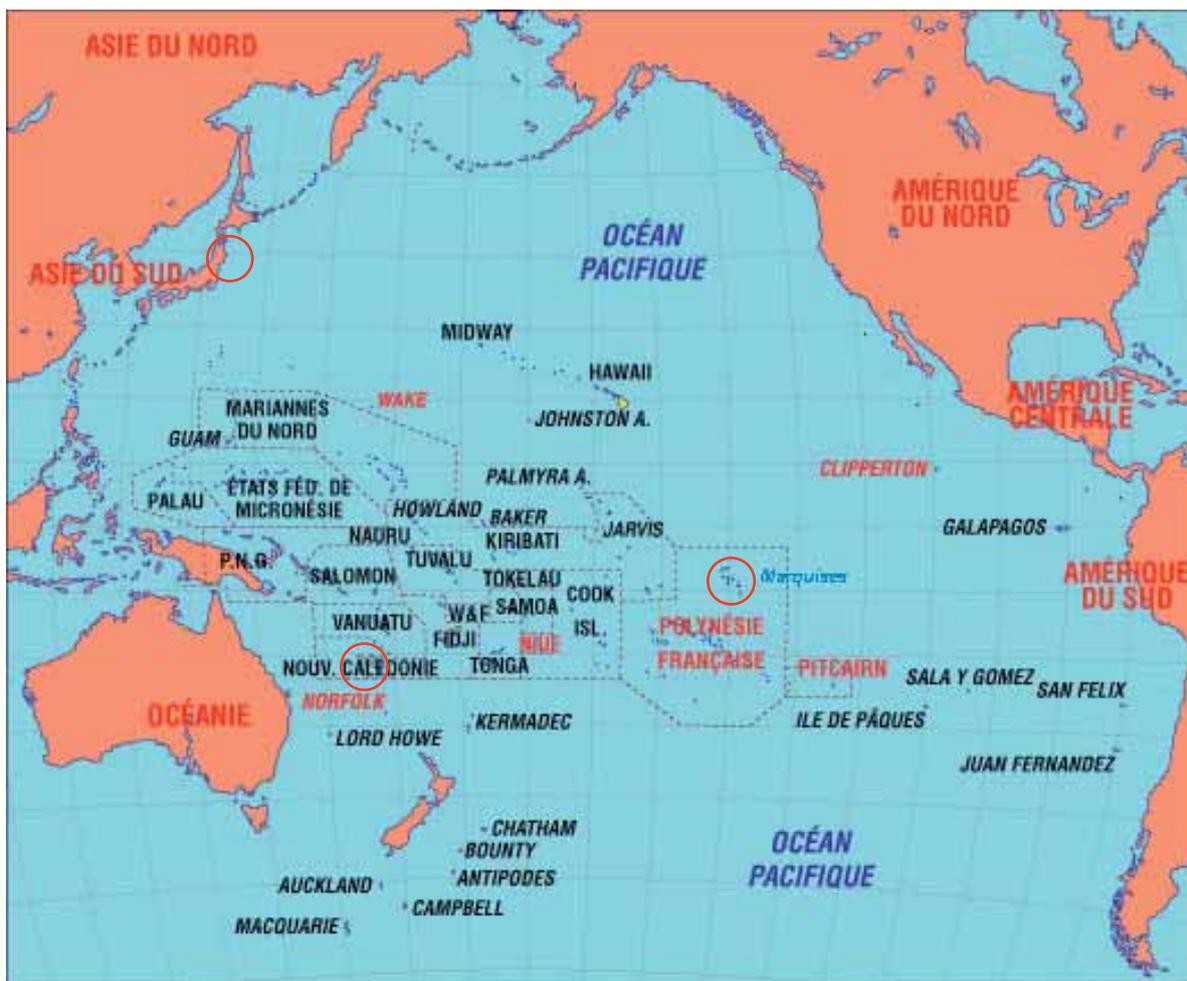
## RÉSUMÉ

A la suite du séisme de magnitude Mw 8,9 qui s'est produit le 11 mars 2011 à 5h46 TU près de la côte de Honshu au Japon, le tsunami qui a traversé le Pacifique a été observé en temps réel par les marégraphes implantés en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française. Les observations recueillies par le marégraphe de Nuku-Hiva aux îles Marquise en Polynésie Française sont présentées.

## ABSTRACT

*Following the earthquake of magnitude Mw 8.9 that occurred on March 11<sup>th</sup> 2011 at 5h46 TU near the coast of Honshu in Japan, the tsunami that crossed the Pacific Ocean has been observed in real time by tide gauges in New-Caledonia and French Polynesia. The observations collected with the tide gauge of Nuku-Hiva in the Marquesas Islands in French Polynesia are presented.*



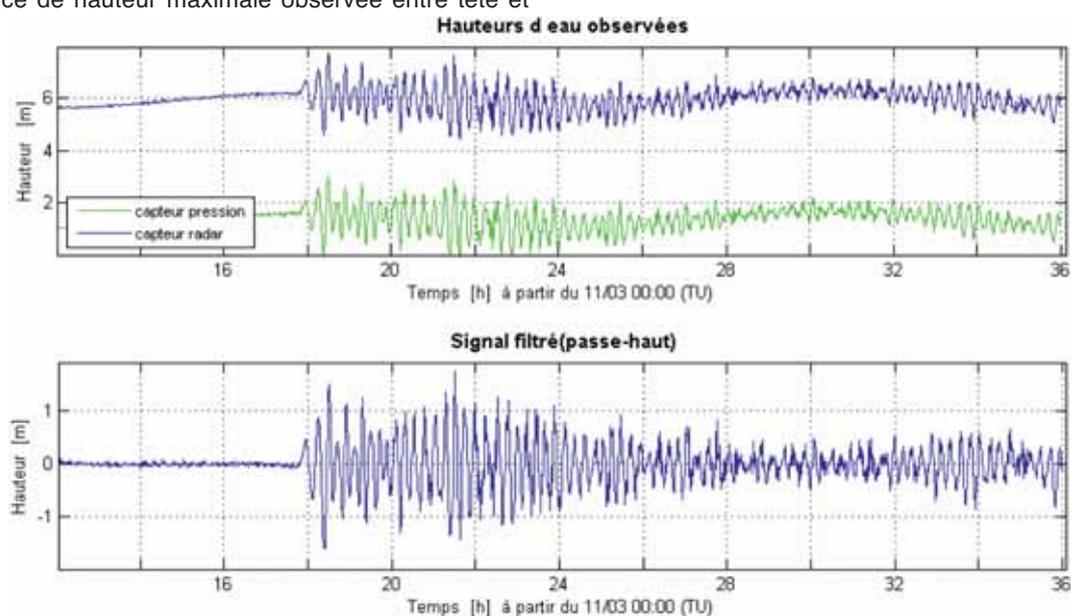


Une amplitude maximale de 1,5 m a été observée aux Marquises par les marégraphes de Nuku-Hiva (graphique ci-dessous) et de Hiva-Oa.

L'arrivée du tsunami à Nuku-Hiva a été observée à 17h49 (TU) avec une première vague d'amplitude 0,5 m. L'amplitude maximale observée de 1,5 m correspond à la troisième vague. La différence de hauteur maximale observée entre tête et

creux de vague a été de 2,5 m. Les périodes des vagues étaient comprises entre 13,5 et 15 minutes.

L'absence de récif corallien et le relief sous-marin de faible pente de ces sites des Marquises expliquent ce niveau d'amplitude non atteint pour d'autres marégraphes aux configurations différentes comme à Tahiti ou en Nouvelle-Calédonie.



Données du marégraphe de l'UHSLC (University of Hawaii Sea Level Center) à Nuku-Hiva (îles Marquises)

# LA COORDINATION NATIONALE DE L'OBSERVATION DU NIVEAU DE LA MER

par Nicolas Pouvreau,

Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM),  
13 rue du Chatellier, CS 92803, 29288 Brest cedex 2, France.  
([nicolas.pouvreau@shom.fr](mailto:nicolas.pouvreau@shom.fr))

## RÉSUMÉ :

Le livre bleu « Stratégie nationale pour la mer et les océans » (CIMER, 2009) annoncé par le Président de la République en juillet 2009 a été adopté lors du comité inter-ministériel de la mer, par le Premier ministre en décembre 2009<sup>1</sup>. Ce document mentionne la constitution d'un réseau de référents nationaux en charge de la coordination du recueil des connaissances par les organismes publics et de leur mise à disposition.

Dans ce cadre, une instruction du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et la diffusion des données en résultant<sup>2</sup> a été signée par le Secrétaire général de la mer (SGMer) en avril 2010. Cette instruction désigne le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) comme le référent national pour l'observation *in situ* du niveau de la mer.

Cette fonction vise à coordonner les efforts des services nationaux réalisant l'acquisition de données du niveau de la mer, dans un contexte où l'accès à ces données vise à répondre à des enjeux nationaux et internationaux, comme les programmes sur le suivi des évolutions du niveau des mers (GLOSS) ou l'émergence des systèmes opérationnels de prévention des risques par rapport aux submersions marines ou aux tsunamis. Cette responsabilité conduit entre autres à s'intéresser au recueil et à l'archivage de l'ensemble des données de hauteur d'eau collectées et à leur diffusion au travers d'un portail unique : REFMAR (pour réseaux de référence des observations marégraphiques) hébergé depuis décembre 2010 à l'adresse <http://refmar.shom.fr>.

## ABSTRACT :

*The Blue Book "A national strategy for the sea and oceans" (CIMER, 2009) announced by the "Président de la République" in July 2009 was adopted at the inter-ministerial committee of the sea, by the "Premier ministre" in December 2009. This document mentions the establishment of a network of national referents in charge of coordinating the collection of knowledge by public bodies and their provisions of putting it the disposal.*

*In this context, a statement of the "Premier ministre" concerning the observation of sea level and the management and dissemination of the resulting data was signed by the "Secrétaire général de la mer (SGMer)" in April 2010. This statement appoints the "Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM)" as the national reference for the *in situ* sea level observation.*

*This function consists to coordinate the efforts of national services performing data acquisition from sea level, in a context where access to such data is to respond to national and international issues, such as programs on the Global Sea Level Observing System (GLOSS) or the emergence of operational systems for the prevention of risks in relation to coastal flooding or tsunami. This responsibility leads among others to get involved in collecting and classifying all water level datas as well as disseminating them through a single portal: REFMAR (for tidal observation reference networks) since December, 2010 hosted at <http://refmar.shom.fr>.*

<sup>1</sup> [http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2009-12-08-Livre\\_bleu.pdf](http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2009-12-08-Livre_bleu.pdf)

<sup>2</sup> [http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir\\_31210.pdf](http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf)



## 1. INTRODUCTION

La mesure des hauteurs d'eau le long du littoral satisfait de multiples besoins, pour de nombreux utilisateurs et à différentes échelles de temps : sécurité de la navigation, élaboration des cartes marines, calcul de références altimétriques maritimes, amélioration des prédictions de marée et des modèles hydrodynamiques, calibration des radars altimètres embarqués sur satellite, gestion intégrée des zones côtières, aménagement et dimensionnement d'ouvrages par l'étude statistique des surcotes/décotes et des niveaux extrêmes, étude de l'évolution du niveau moyen des mers, etc. Des besoins opérationnels sont apparus récemment, dont la légitimité a été rappelée lors d'événements notables (séisme du 26 décembre 2004 dans l'océan Indien ayant engendré un tsunami frappant notamment l'Indonésie, les côtes du Sri Lanka et du sud de l'Inde, ainsi que l'ouest de la Thaïlande et causant la mort de plus de 200 000 personnes, tempête Xynthia dans la nuit du 27 au 28 février 2010 qui par la conjonction de vents violents et de fortes marées au moment de la pleine mer a donné lieu à une onde de tempête qui a occasionné d'importantes inondations principalement en Charente-Maritime et en Vendée, etc.) et il apparaît désormais indispensable d'établir les réseaux d'observation utiles pour prévenir de futures submersions marines ayant pour cause des tsunamis, des ondes de tempêtes, de fortes vagues ; et comprendre dans quelle mesure ces phénomènes pourraient être renforcés dans l'avenir par le changement climatique.

Le rôle de référent vise à rendre les observations du niveau de la mer exploitables et utilisables pour le plus grand nombre d'applications, dans le respect de critères définis par les programmes internationaux de l'OHI<sup>3</sup>, de l'OMM<sup>4</sup> ou de la COI<sup>5</sup>, dont le programme Global Sea Level Observing System (GLOSS) par exemple. De plus, le référent doit avoir un rôle de conseil auprès des organismes partenaires afin de répondre au plus grand nombre des recommandations permettant de contribuer efficacement aux différents systèmes et programmes, comme l'utilisation de marégraphes numériques précis ayant une cadence d'acquisition élevée, la maintenance et les contrôles des marégraphes, la vérification de la stabilité locale par nivellement géométrique et par la surveillance géodésique, etc. Cette coordination s'intègre dans le projet des réseaux de référence des observations marégraphiques (SHOM) (figure n°1 ci-dessous).

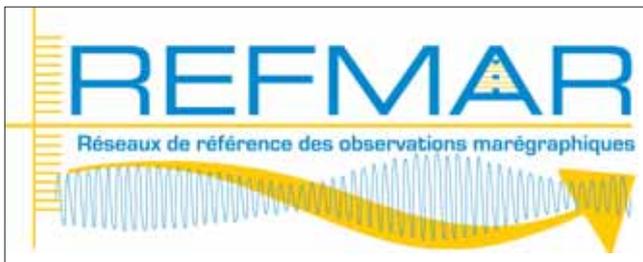


Figure 1. Logo de REFMAR (réseaux de référence des observations marégraphiques)

<sup>3</sup> OHI : Organisation Hydrographique Internationale

<sup>4</sup> OMM : Organisation Météorologique Mondiale

<sup>5</sup> COI : Commission Océanographique Intergouvernementale

Cet article, reprend des extraits de la communication écrite pour les XI<sup>es</sup> journées nationales du génie côtier et civil aux Sables-d'Olonne (Pouvreau, 2010 [1]) en l'actualisant. Il a pour objet de dresser un bref rappel sur les mesures du niveau de la mer (section 2), d'expliquer le rôle du référent national sur cette thématique (section 3) et enfin de présenter le portail d'accès aux données (section 4).

## 2. OBSERVATIONS DU NIVEAU DE LA MER

Le niveau de la mer, au sens de l'instruction, est la hauteur de la mer mesurée *in situ* par un marégraphe par rapport à une référence verticale connue. Ses variations résultent de la conjonction de plusieurs phénomènes d'origines diverses, notamment :

- l'attraction des astres sur la mer ;
- les effets météorologiques tels que le vent et la pression atmosphérique ;
- les déplacements créés par les séismes et les mouvements de terrain ;
- le changement climatique.

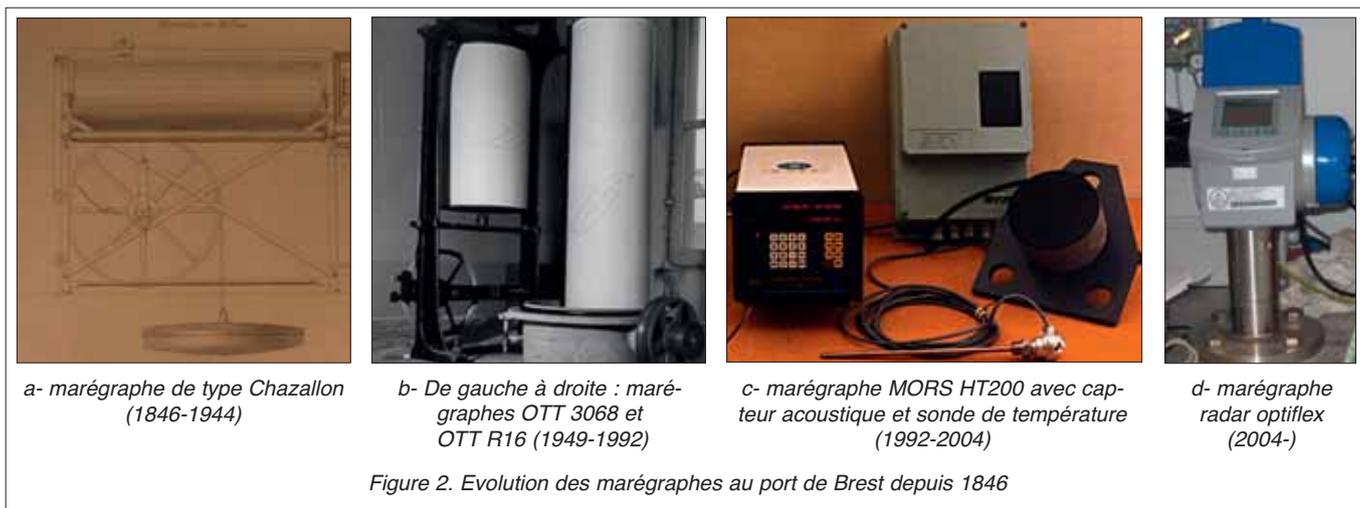
C'est en France et plus particulièrement à Brest que les premières mesures systématiques du niveau de la mer sont réalisées depuis 1679. Elles sont l'œuvre des astronomes Philippe de La Hire et Jean Picard. Au 18<sup>e</sup> siècle, sur des demandes insistantes d'astronomes de l'Académie royale des sciences, les hauteurs d'eau sont observées grâce au concours et à l'abnégation d'observateurs locaux. Elles sont directement lues sur des échelles de marée (Pouvreau 2008 [2]).

L'ingénieur hydrographe Chazallon, pour le compte du nouveau service des marées, du Dépôt des cartes et plans de la marine, met en place dès la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle le premier réseau d'observatoires automatiques du niveau de la mer sur les côtes françaises (Pouvreau, 2008 [3]) (voir tableau 1). Pour ce faire, il est aidé par l'apparition des premiers marégraphes à flotteur (voir figure 2.a page suivante) dont il est à l'origine en France. L'édification de réseau a pour but l'étude, l'analyse et la prédiction de la marée afin de garantir, avec les annuaires de marée et les cartes marines, la sécurité de navigation le long des côtes de France.

En parallèle à l'édification de ce réseau géré par le Service hydrographique dépendant du ministère de la marine, se mettent en place d'autres observatoires dépendant du ministère des travaux publics pour les besoins de leurs missions (voir tableau 1). En effet les services des ponts et chaussées et de nivellement général de France (NGF) exploitent aussi ce type de données pour gérer les voies navigables, quantifier les crues et déterminer des niveaux d'alerte, étudier les installations portuaires et les constructions d'ouvrages côtiers, déterminer le niveau moyen de la mer pour définir l'altitude de référence en France (observatoire de Marseille), etc.

L'observation s'est ainsi poursuivie aux cours des 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles grâce aux marégraphes analogiques à flotteur mais sans réelles avancées technologiques.

Alors que la qualité des observations issues des marégraphes à flotteur vieillissants se dégradait et était réalisée



indépendamment dans chaque port (voir figure 2.b), en interaction avec les acteurs portuaires (DDE, grands ports maritimes), le SHOM initia dès 1992 en France la mise en place de marégraphes côtiers numériques (MCN). A cette date, les technologies de mesures employées ont été successivement la mesure de tirant d'air par des capteurs acoustique (figure 2.c) puis par des télémètres radar (figure 2.d).

Jusqu'alors, les marégraphes mesuraient la hauteur d'eau à l'intérieur d'un puits de tranquillisation, système permettant d'atténuer les oscillations hautes fréquences liées à la houle et au clapot notamment.

Depuis 2009, un nouveau marégraphe radar, en phase de test, est installé hors du puits de tranquillisation à l'observatoire de Brest. Pour plus d'information, voir l'article « Évolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM » (Poffa, 2011 [4]) publié dans ces annales.

Cette mise en place de marégraphes numériques répondait en premier lieu aux besoins d'exploiter des mesures du niveau marin continues et justes afin de produire des prédictions de marée précises dans les ports et d'améliorer la réduction des sondages bathymétriques. Aujourd'hui, le réseau d'observatoires du niveau des mers (RONIM) compte 36 marégraphes<sup>6</sup>.

Pour autant, l'exemple de RONIM est loin d'être unique. De nombreux organismes publics sont aussi producteurs de données du niveau marin comme les services de prévision des crues, les grands ports maritimes, etc. afin de répondre à leurs besoins spécifiques. Aujourd'hui, la mesure du niveau de la mer trouve de très nombreuses applications. Malheureusement, cette importante production de données n'est pas toujours partagée, ni même connue par les autres organismes alors que la mutualisation des observations permettrait de les utiliser pour un champ élargi d'applications.

### 3. LE RÔLE DE RÉFÉRENT

La mise en place d'un rôle de référent est la somme d'une demande forte émanant de la communauté scientifique et le souhait indiqué dans le livre bleu « Stratégie nationale pour la mer et les océans » (CIMER, 2009 [7]) de la mise en place d'un réseau de référents nationaux en charge de la coordination du recueil des connaissances par les organismes publics et de leur mise à disposition. Le présent chapitre revient sur la genèse de la coordination et sur ces rôles.

#### 3.1 Genèse et enjeux de la coordination

La fin du 20<sup>e</sup> siècle voit émerger un besoin accru en observations précises du niveau de la mer destiné à satisfaire de nouvelles applications et études comme : la calibration des radars altimètres des satellites (Topex - Poséidon, ERS, Jason 1, Jason 2, futur Jason 3 dont le lancement est prévu en 2013, etc.), la calibration et validation des modèles hydrodynamiques côtiers, l'étude statistique des surcotes et des décotes et le calcul des niveaux extrêmes pour les dispositifs de prévention des risques, l'accessibilité en temps réel des hauteurs de la mer pour les systèmes d'alertes aux tsunamis ou pour les prévisions à court terme de l'environnement côtier, les études liées à l'évolution du niveau marin et à l'aménagement du littoral, etc.

Ainsi, les données produites par l'ensemble des marégraphes français se trouvent donc à la croisée de nombreuses et diverses applications comme l'illustre la figure 3 en page suivante.

Aujourd'hui, trois réseaux structurés produisent et diffusent une majorité des mesures recueillies dans les eaux françaises et répondent à une utilisation multi applications des mesures du niveau de la mer. Il s'agit de RONIM, du réseau d'observation subantarctique et antarctique du niveau de la mer<sup>7</sup> (ROSAME) où les données sont contrôlées et exploitées au laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS) et d'un réseau de stations de surveillance du niveau de la mer en Polynésie française.

<sup>6</sup> [http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_oceano/maree/maree14.htm](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/maree14.htm)

<sup>7</sup> <http://www.legos.obs-mip.fr/observations/rosame/>

Port	Période de fonctionnement (*)	Autorité de référence (**)	Réseau RONIM
Dunkerque	1865 – 1899	PeC	Depuis le 09/1996
Calais	1891 – 1899	PeC	Depuis le 10/1998
Boulogne-sur-mer	1876 – ?	PeC	Depuis le 12/2000
Le Havre	1850 – 1920	SdM	Depuis le 08/1993
	1920 – 1934	PeC	
Cherbourg	1846 – 1920	SdM	Depuis le 03/1994 Saint-
Malo (Saint-Servan)	1850 – 1917	SdM	Depuis le 09/2003
Heaux de Brehat	1889 – 1896	PeC (P. et B.)	
Brest	1846 –	SdM	Depuis le 02/1993
Saint-Nazaire	1863 – 1920	SdM	Depuis le 01/2007
	1920 – 1934	PeC	
Rochefort	1860 – 1918	SdM	
Fort-Enet	1859 – 1973	SdM	
Fort Boyard	1873 - 1909	SdM	
La Rochelle	1863 – 1874	SdM	Depuis le 04/1997
Cordouan	1905 – 1934	PeC (P et B.)	
Arcachon	1877 – ?	PeC	Depuis le 06/2000
Bayonne (Le Boucau)	1899 – 1934	PeC	Depuis le 06/1999
Saint-Jean-de-Luz (Socoa)	1875 – 1920	SdM	Depuis le 05/2004
Sète	1857 – ?	PeC	Depuis le 11/2007
Marseille	1885 –	NGF	Depuis le 06/1998
Toulon	1844 – 1861	SdM	Depuis le 03/1998
Nice	1882 – ?	PeC	Depuis le 03/1998

Tableau 1. Inventaire des premiers marégraphes français d'après Lallemand & Prévot (1927) [5] et Courtier (1934) [6] et appartenance éventuelle des ports au réseau RONIM. (\*) Il est probable que les marégraphes du Havre, de Saint-Nazaire, de Cordouan et du Boucau ont continué à fonctionner après 1934 date de publication du rapport de Courtier ; (\*\*) SdM : Service des Marées, PeC : Ponts et Chaussées, PeC (P et B.) : Ponts et Chaussées, service des Phares et Balises ; NGF : Nivellement Général de France.

Ce dernier réseau est développé en partenariat entre les acteurs scientifiques concernés de Polynésie (université de Polynésie française (UPF), SHOM, commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)) et les autorités.

Trois stations américaines sont déployées en Polynésie française (Papeete, Rikitea et Nuku-Hiva) au profit du système d'alerte aux tsunamis. Il répond tout particulièrement :

- au besoin de contribuer au système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique par des mesures de hauteurs d'eau diffusées en temps réel ;
- à la surveillance des variations à long terme du niveau moyen de la mer, qui nécessite alors une surveillance géodésique des sites d'observation.

Enfin il existe aussi les réseaux portuaires des grands ports maritimes dans les estuaires, quelques stations des services de prévisions des crues en domaine maritime et des réseaux émergents aux Antilles ou en Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna.

La coordination de l'observation du niveau de la mer en France trouve naturellement sa genèse dans l'intérêt croissant de ce type de données mais aussi dans le fait qu'il n'est pas toujours facile de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les organismes qui possèdent des mesures ?

- Quels sont les organismes qui réalisent actuellement des observations ?
- Où se trouvent les données ?
- Quels sont leurs protocoles de mesure ? Quel est le type de mesures ? Quels sont les lieux et les périodes de mesures des séries de données ? Quel est le type d'instrument qui a été utilisé pour acquérir les hauteurs ? Comment les observations ont-elles été obtenues ? Quels sont les critères de contrôles utilisés ? Quelle est la précision des mesures ?

Devant l'enjeu de ces questions, plusieurs acteurs impliqués dans l'observation du niveau de la mer se sont rassemblés, en juillet 2005. Cette rencontre a montré qu'il apparaissait nécessaire de coordonner les activités inhérentes à l'observation du niveau de la mer. Faisant suite à une succession de demandes (recommandations de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Courteau, 2007 [8]) et par le secrétariat général de la mer (SGMer, 2008), rencontres des producteurs et utilisateurs de données, etc. La coordination a été actée dans l'instruction n° 863/SGMER du 20 avril 2010 [9] confiant ce rôle au SHOM. Des moyens liés à l'exercice de cette coordination lui ont été donnés jusqu'en 2013 dans le cadre du projet de centre régional d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée (CRATANEM).

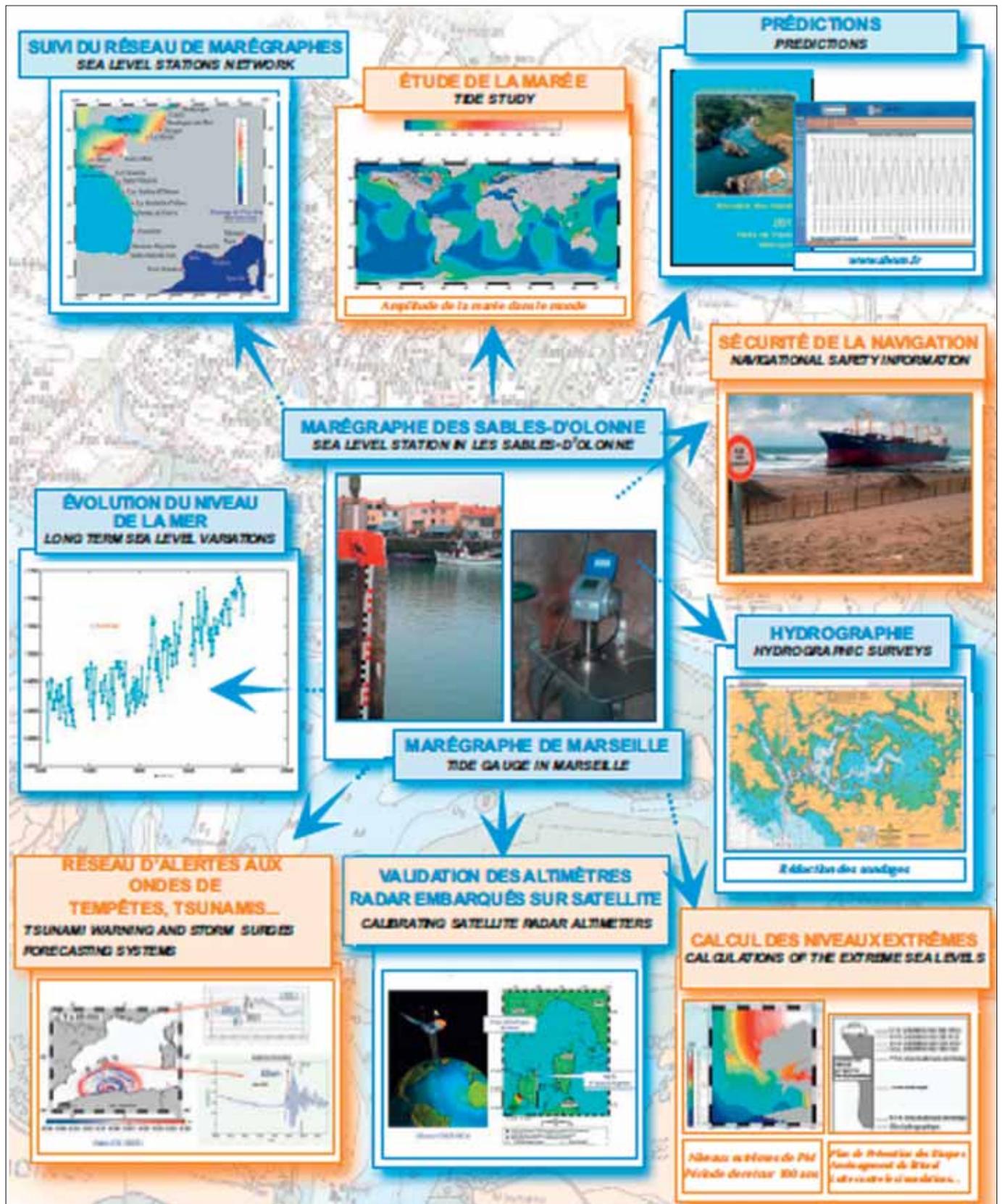


Figure 3. La mesure du niveau de la mer et ses applications  
(source : [http://refmar.shom.fr/IMG/pdf/poster\\_applications\\_shom.pdf](http://refmar.shom.fr/IMG/pdf/poster_applications_shom.pdf))

### 3.2 Rôles de REFMAR

Devant la multitude des mesures du niveau marin, il est particulièrement souhaitable de disposer d'une base de données et d'une interface unique permettant de centraliser, et mettre les données à la disposition de tous les utilisateurs intéressés, mais pas seulement. Les autres attributions confiées sont :

- la coordination de la collecte des observations du niveau de la mer réalisées par l'ensemble des organismes, établissements et services publics relevant d'autorités publiques ;
- la gestion et l'archivage en temps différé des observations collectées ;
- la définition des réseaux d'observation du niveau de la mer et notamment de leur architecture ainsi que leurs spécifications liées aux nouveaux déploiements ;
- la définition et la promotion des moyens de transmission opérationnels adaptés ;
- la coordination de la diffusion en temps réel et en temps différé des observations en assurant les conditions d'accessibilité et d'utilisation conformément aux dispositions en vigueur relatives à l'information du public à travers un portail Internet dédié à la coordination ;
- la définition, la diffusion, la promotion et le suivi des normes nationales et internationales ;
- le contrôle de conformité des observations reçues au regard des normes en vigueur.

### 3.3 Compétence géographique

Le rôle de la coordination s'étend sur toutes les zones sous juridiction nationale (figure n°4) c'est-à-dire en France métropolitaine et l'outre-mer.

## 4. PORTAIL D'ACCÈS AUX DONNÉES

Un des objectifs donné à la coordination est le développement d'un guichet unique des observations du niveau de la mer. Pour ce faire, un portail diffusant les hauteurs d'eau ainsi

que les indications connexes a été mis en place, s'appuyant sur l'infrastructure déjà existante au SHOM en terme de base de données du niveau marin et de l'expérience du projet système d'observation du niveau des eaux littorales (SONEL).

### 4.1 Archivage des données marégraphiques : TDB

La base de données marégraphiques bénéficie de l'infrastructure déjà existante au SHOM et s'appuie sur son expérience en termes de stockage, contrôle, gestion et exploitation de l'information assurant ainsi sa traçabilité. Cette base (Tide DataBase - TDB) a été refondue dans le cadre de la mise en place d'une infrastructure géospatiale, système global de gestion de l'information marégraphique, de la donnée recueillie à l'archivage (Chersoft, 2010 [10]).

Elle répond également aux exigences internationales en matière d'archivage de données marégraphiques. TDB permet la collecte, l'évaluation, l'organisation, le traitement, l'édition et l'archivage des hauteurs provenant des marégraphes à différents pas de temps ainsi que leurs références verticales (ICES, 2006 [11]).

L'interface permet de visualiser les hauteurs d'eau, d'analyser les données mais autorise aussi des traitements spécifiques dans le respect des recommandations internationales comme l'analyse harmonique de la marée (Simon, 2007 [12]), la dérive temporelle instrumentale, la recherche des hauteurs aberrantes, les filtrages de données, etc.

TDB contient aussi les métadonnées issues des fiches d'observatoire de marée comme la description des marégraphes utilisés, les références verticales utilisées, l'antenne GPS associée, etc.

Le lecteur intéressé pourra se reporter à l'article relatif à la « Refonte de la base de données *in situ* du niveau de la mer Tide DataBase (TDB) » (Créach et Texier, 2011 [13]) publié dans ces annales.

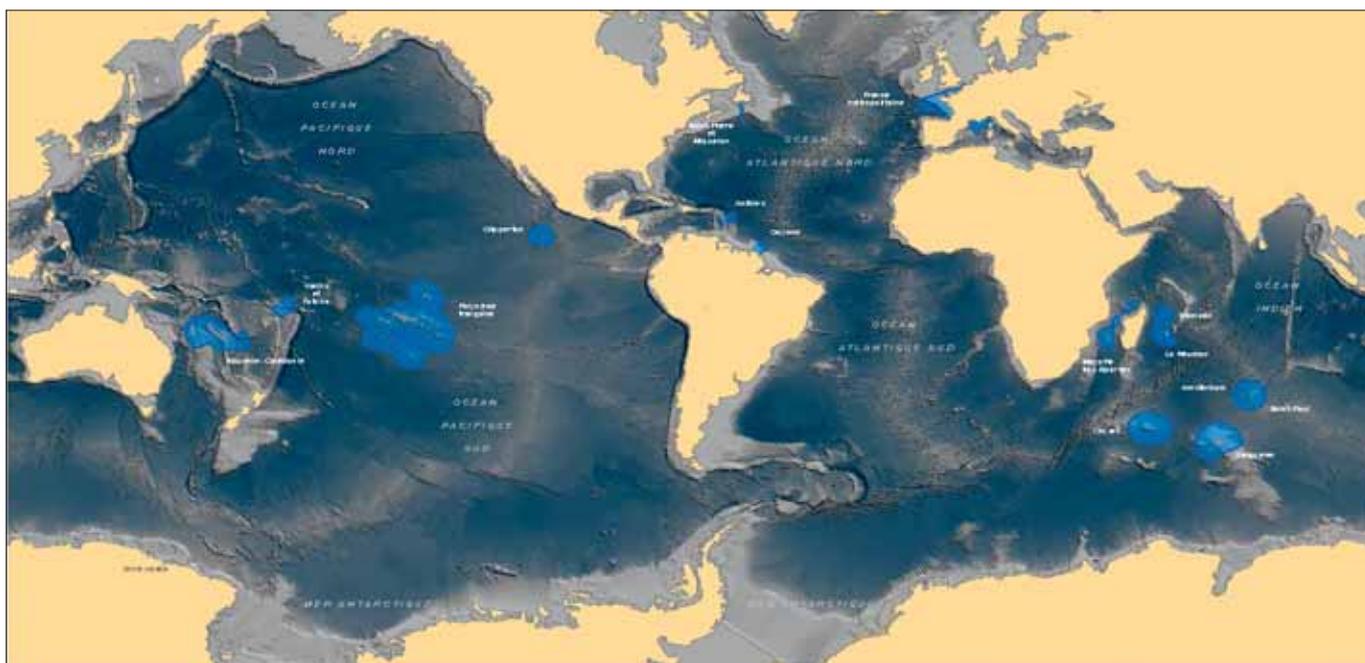


Figure 4. Zones de compétence de la coordination (source : SHOM\_GEBCO)

## 4.2 Portail REFMAR

### 4.2.1 Origine du portail REFMAR

Le SHOM et l'IGN ont initié en 1999 le projet SONEL, rejoints en cela par l'université de La Rochelle (ULR) et le LEGOS. L'objectif d'origine de SONEL (<http://www.sonel.org>) était la diffusion dans un portail unique et pour la recherche, des observations du niveau marin à la côte enregistrées par des marégraphes permanents en France et ce conjointement avec des données issues des techniques spatiales de positionnement précis (GPS, DORIS pour détermination d'orbite et de radiopositionnement intégrés par satellite, etc.). Cette synergie entre les deux types de mesures permet de s'assurer de la stabilité géodésique du socle sur lequel reposent les marégraphes<sup>8</sup>.

Le service national de diffusion des observations du niveau marin a été migré en 2010 de l'université de La Rochelle vers le SHOM. Le service REFMAR (<http://refmar.shom.fr>) mis en place par le SHOM est ainsi directement transposé des développements réalisés par SONEL depuis 2008 et préfigure les futurs services associés au rôle de référent.

La composante scientifique de SONEL a été conservée et son nouveau périmètre a été décrit dans un dossier soumis à l'appel d'offre systèmes d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement (SOERE) de l'alliance pour l'environnement (Allenvi) du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Le portail SONEL évolue ainsi vers un système d'observation des variations du niveau de la mer à long terme pour la recherche concentrant données de niveaux moyens associées aux informations GPS nécessaires à leur exploitation.

### 4.2.2 Portail REFMAR

Le site Internet REFMAR est ouvert depuis le 8 décembre 2010 (figure 5). Il met à disposition les données à cadence d'acquisition brutes ou validées des réseaux RONIM, ROSAME et celui de Polynésie (université de Polynésie française – SHOM) via le serveur ftp de REFMAR, après inscription et acceptation de la politique de diffusion du site<sup>9</sup>.

Les observatoires français équipés de moyens de transmission en temps réel diffusent les hauteurs d'eau sur le portail Internet (<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/map.php>) de la COI « Sea level station monitoring facility » (figure 6 *in fine*).

Actuellement, les données brutes de 29 stations du réseau RONIM (Calais, Boulogne, Dieppe, Le Havre, Cherbourg, Saint-Malo, Roscoff, Le Conquet, Brest, Concarneau, Le Crouesty, Saint-Nazaire, Sables-d'Olonne, La Rochelle, Port Bloc, Arcachon, Port-Vendres, Fos-sur-Mer, Marseille,

Toulon, Nice, Monaco, Ajaccio, Solenzara, Centuri, Pointe des Galets, Dzaoudzi, Nouméa-Numbo et Tomasina à Madagascar), 1 station du réseau ROSAME (Kerguelen), 2 marégraphes en Nouvelle-Calédonie (Hienghene, Ouinné) et 8 marégraphes en Polynésie française (Hiva-Oa, Huahine, Nuku-Hiva, Papeete, Rangiroa, Rikitea, Tubuaï, Vairoa), y sont consultables. De plus, l'institut de physique du globe (IPG) de Paris dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis y diffuse les observations de son marégraphe installé à La Désirade (Guadeloupe).

### 4.2.3 Évolution future du portail REFMAR

Le SHOM a spécifié un futur portail marégraphique dont la réalisation a été confiée à une société de services en ingénierie informatique. Ce portail actualisé, va s'appuyer sur le volet marégraphique et le contenu ftp proposé sur le portail initial mais en l'élargissant avec la diffusion des données en temps réel.

Il pourra diffuser les informations transmises par les organismes contributeurs après que ces données aient été validées par les producteurs et contrôlées par le référent.

Il informera sur les mesures disponibles en France. Les valeurs de surcotes/décotes, différence entre les observations et les prédictions de marée pourraient aussi y être visualisées. Chaque organisme partenaire pourra insérer des informations sur les appareils dont il a la charge afin d'informer la communauté des utilisateurs de toute nouvelle pertinente.

## 5. CONCLUSIONS

Les nombreux et nouveaux enjeux qui entourent les observations de hauteurs d'eau (voir section 3.1) montrent clairement le besoin d'une coordination, fédératrice des activités marégraphiques comme l'explique Woodworth *et al.* (2009) [14].

L'option choisie pour REFMAR s'appuie sur la mise en réseau des acteurs nationaux de l'observation du niveau des mers, autour d'un organisme référent en charge de promouvoir les standards de mesure et de mettre en place les structures permettant d'accueillir les données, de les porter à un niveau de validation qualifiée et de les mettre à disposition au travers d'un guichet unique. Cette approche vise à permettre avant tout la mutualisation de ces données au profit du plus grand nombre afin de :

- coordonner la mise en place des réseaux de marégraphes en France au profit des diverses applications (systèmes d'alerte aux tsunamis et aux ondes de tempête, prévisions des niveaux de la mer et des surcotes/décotes, hydrographie, études environnementales, climatologie...) répondant aux critères définis par les programmes internationaux, dont GLOSS, et pouvant servir ainsi pour le plus grand nombre d'applications possibles ;
- centraliser les mesures de hauteurs d'eau acquises ou restaurées par les organismes dans une base de données commune avec une normalisation et une standardisation et de développer un guichet unique des observations de hauteurs d'eau.

<sup>8</sup> <http://www.sonel.org/-Objectif-et-motivation-de-SONEL-.html>

<sup>9</sup> (<http://refmar.shom.fr/spip.php?article64>)

## 6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COI (2006) : « Manual on Sea-Level Measurement and Interpretation ». *Volume 4 - An update to 2006*. manuels et guides, n°14, 80p.

[1] Pouvreau N. (2010) : « Vers une coordination de l'observation du niveau de la mer en France ». XI<sup>e</sup> journées nationales génie civil – génie côtier, 2-24 juin 2010, Sables-d'Olonne, pp.539-548, DOI:10.4150/jngcgc.2010.063-P. URL : [http://www.paralia.fr/jngcgc/11\\_63\\_pouvreau.pdf](http://www.paralia.fr/jngcgc/11_63_pouvreau.pdf)

[2] Pouvreau N. (2008) : « Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest ». Thèse, université de La Rochelle, 466p. URL : <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/36/60/PDF/ThesePOUVREAU.pdf>

[3] Pouvreau N. (2008) : « Chazallon, père du premier réseau marégraphique en France ». *La lettre de RONIM*, n°6, 9pp. URL : [http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_oceano/maree/lettre\\_RONIM\\_2008.pdf](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/lettre_RONIM_2008.pdf)

[4] Poffa N. (2011) : « Évolution des marégraphes du réseau RONIM » (*Annales Hydrographiques 777*).

[5] Lallemand C., Prévot E. (1927) : « Le nivellement général de la France de 1878 à 1926 ». Exposé préliminaire, procès-verbaux, documents administratifs, comptes rendus des travaux du service. Paris, Imprimerie Nationale, 664p.

[6] Courtier A. (1934) : « Données numériques concernant les marées des côtes de France ». *Publication SHOM n°14-1016*, 71p.

[7] CIMER (2009) : « Livre bleu - Stratégie nationale pour la mer et les océans », 41p.

URL : [http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2009-12-08\\_-\\_Livre\\_bleu.pdf](http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2009-12-08_-_Livre_bleu.pdf)

[8] Courteau R. (2007) : « Tsunamis sur les côtes françaises : un risque certain, une impréparation manifeste ». *Rapport n° 488 Assemblée Nationale – n°117 Sénat*. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 168p.

[9] SGMer (2010). Instruction permanente du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant (n° 863/SGMER du 20 avril 2010).

URL : [http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir\\_31210.pdf](http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf)

[10] Chersoft (2010). TdB : Tide Data Management Software by Chersoft LTD.

URL: [http://www.chersoft.co.uk/products\\_tdb.htm](http://www.chersoft.co.uk/products_tdb.htm)

[11] ICES (2006) : « *WGMDM Guidelines for Water Level Data* », 7p.

[12] Simon B. (2007) : « La marée océanique côtière ». Collection Synthèse. Institut océanographique éditeur, 434p.

[13] Créach R., Texier C., (2011) : « Refonte de la base des données in situ du niveau de la mer Tide DataBase (TDB) » (*Annales Hydrographiques 777*).

[14] Woodworth P.L., Rickards L.J., Pérez B. (2009) : « A survey of European sea level infrastructure ». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, pp 927-934.

Figure 5. Page d'accueil du portail REFMAR (le 17/01/2011)

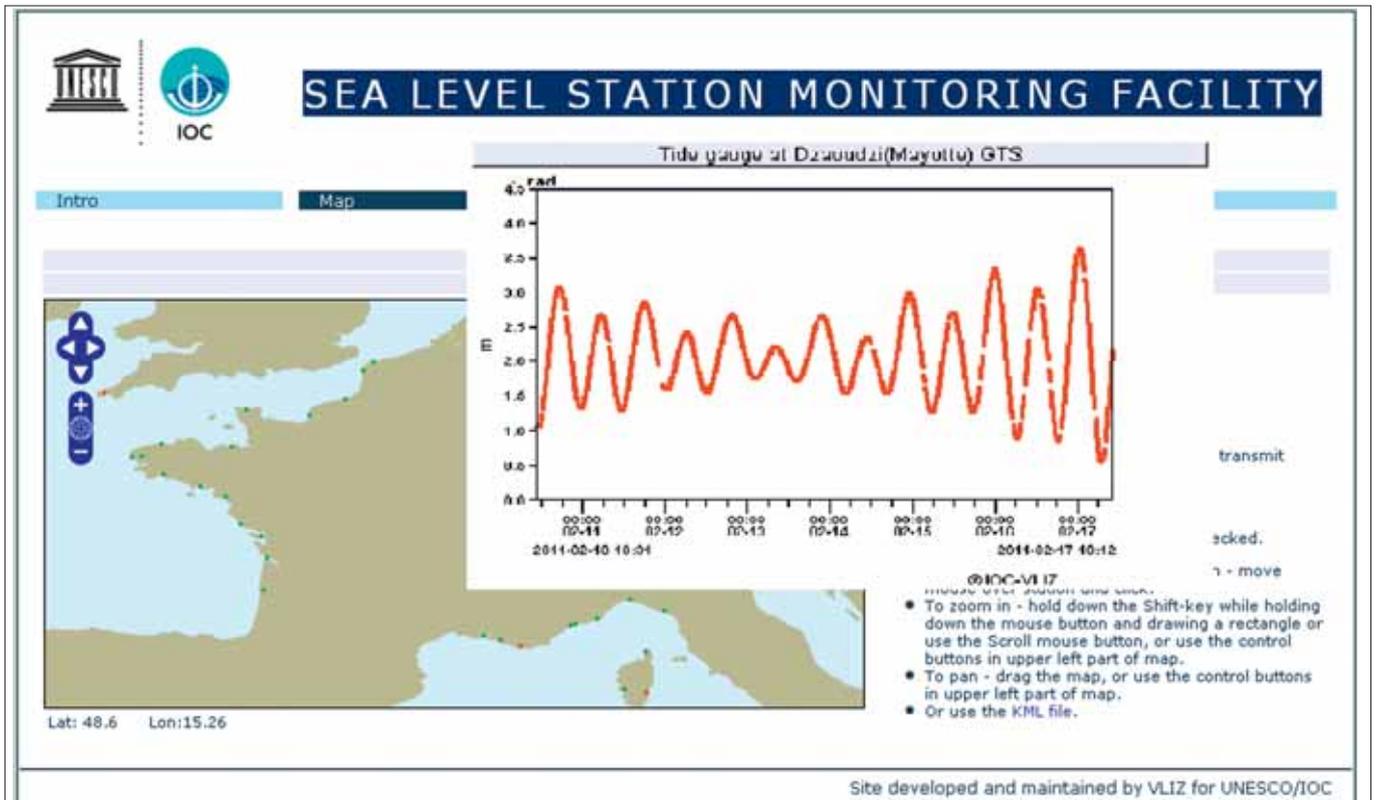


Figure 6. Extrait du portail COI temps réel des observations du niveau de la mer. Le marégramme est tiré du port de Dzaoudzi (Mayotte) du 13 au 15 février 2011). URL : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/map.php>

# CONTRIBUTION DE LA MESURE DU NIVEAU DE LA MER AU FONCTIONNEMENT D'UN CENTRE D'ALERTE AUX TSUNAMIS POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE (CENALT)

Texte rédigé à partir du dossier de communication : CENALT du 1<sup>er</sup> octobre 2010 (MIOMCTI, MEDDTL, CEA, CNRS/INSU, SHOM) et complété par une description plus détaillée, à jour en mai 2011, des observatoires de marée installés et gérés par le SHOM

## RÉSUMÉ :

En partenariat avec le **Service hydrographique et océanographique de la marine** et le **Centre national de la recherche scientifique, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives** a été chargé par les **ministères de l'intérieur et du développement durable** de créer et d'exploiter à l'horizon 2012, un système d'alerte qui aura pour missions de :

- détecter un événement sismique précurseur de tsunami ;
- déterminer les paramètres physiques du tsunami ;
- alerter les autorités nationales et locales en charge de la protection de la population ;
- informer les autorités des pays riverains de la Méditerranée occidentale (vocation régionale).

Le système nécessite de réceptionner des données en temps réel dont celles de stations de mesure de niveau de la mer le long des côtes au moyen de marégraphes.

## ABSTRACT

*In partnership with the **national hydrographic and oceanographic service** and the **national center for scientific research**, the **alternative energies and atomic energy commission** was given by the **ministry of interior and the ministry for ecology and sustainable development**, the responsibility for creating and running by 2012 and alert system that will be responsible for:*

- detecting a seismic event precursor of a tsunami;*
- determining the physical parameters of the tsunami;*
- alerting the national and local authorities in charge of protecting the population;*
- informing the authorities of countries bordering the western Mediterranean (regional focus).*

*The system needs to receive data in real time including sea level measurements along the coast with tide gauges.*



## 1. INTRODUCTION

À la suite du tsunami de Sumatra du 26 décembre 2004 et de la conférence mondiale sur la prévention des catastrophes en janvier 2005 à Kobe (Japon) la commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO a été chargée par la communauté internationale de mettre en place un système d'alerte aux tsunamis dans chacun des bassins océaniques concernés.

La direction de la sécurité civile, du ministère de l'intérieur, de l'outre-mer, des collectivités territoriales et de l'immigration (MIOMCTI/DSC), est chargée de la politique de protection des populations, de la prévention des risques civils de toute nature et de la planification des mesures de sécurité civile. La constitution d'un système d'alerte précoce de la population pour un risque naturel, tel que le tsunami, représente une des actions prioritaires de la sécurité civile.

La direction générale de la prévention des risques du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (MEDDTL/DGPR) conduit une politique de prévention des risques naturels qui porte notamment sur les risques de tsunamis. Sont entreprises, dans l'ensemble des bassins océaniques, des actions de connaissance, d'information et de mise en œuvre de système d'alerte auxquelles le ministère apporte sa contribution.

Sur une zone s'étendant de l'Atlantique nord-est à la Méditerranée occidentale, en partenariat avec le **Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM)** et le **Centre national de la recherche scientifique (CNRS)**, le **Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et aux énergies alternatives** a été chargé par les ministères de l'intérieur et du développement durable de créer et d'exploiter à l'horizon 2012, un système d'alerte qui aura pour missions de :

- détecter un événement sismique précurseur de tsunami ;
- déterminer les paramètres physiques du tsunami ;
- alerter les autorités nationales et locales en charge de la protection de la population ;
- informer les autorités des pays riverains de la Méditerranée occidentale (vocation régionale).

Armé 24h/24 et 7j/7 par des spécialistes en analyse de données relatives aux séismes et aux tsunamis, ce centre a comme objectif opérationnel de diffuser dans les 15 minutes suivant des événements sismiques laissant supposer un risque de tsunami, un message d'alerte aux autorités françaises et un message d'information aux autres centres d'alerte nationaux et régionaux de la Méditerranée.

Situé à Bruyères-le-Châtel dans le département de l'Essonne, le centre reçoit, en temps réel, les informations émanant des stations sismiques (caractéristiques du séisme) et des stations de mesure du niveau de la mer (analyse des vagues du tsunami au large et sur les côtes) situées sur le pourtour méditerranéen.

## 2. LA FORMATION DES TSUNAMIS

Dans la majorité des cas, les tsunamis sont la conséquence de séismes sous-marins ou côtiers.

### 2.1 Qu'est-ce qu'un séisme ?

L'écorce terrestre n'est pas homogène. Elle est constituée d'une douzaine de plaques épaisses d'une centaine de kilomètres. Ces plaques se déplacent de quelques centimètres par an en se frottant les unes contre les autres. C'est ce mouvement, appelé **tectonique des plaques**, qui donne lieu à la dérive des continents. Ces déplacements provoquent la déformation de la croûte terrestre et l'accumulation de tensions dans la roche dont la libération provoque des séismes. Un séisme est la libération brutale de ces contraintes en une rupture brusque du terrain (de quelques millimètres à plusieurs dizaines de mètres) le long d'une faille. Ce déplacement s'accompagne de vibrations appelées ondes sismiques. Dans le cas du séisme de Sumatra de 2004, à l'origine du tsunami dévastateur, c'est une faille de plus de 1 200 km de long qui a rompu.

En mesurant les amplitudes des ondes sismiques, les sismologues déterminent l'énergie libérée lors de la secousse ou la magnitude du séisme. La plus grande valeur de magnitude

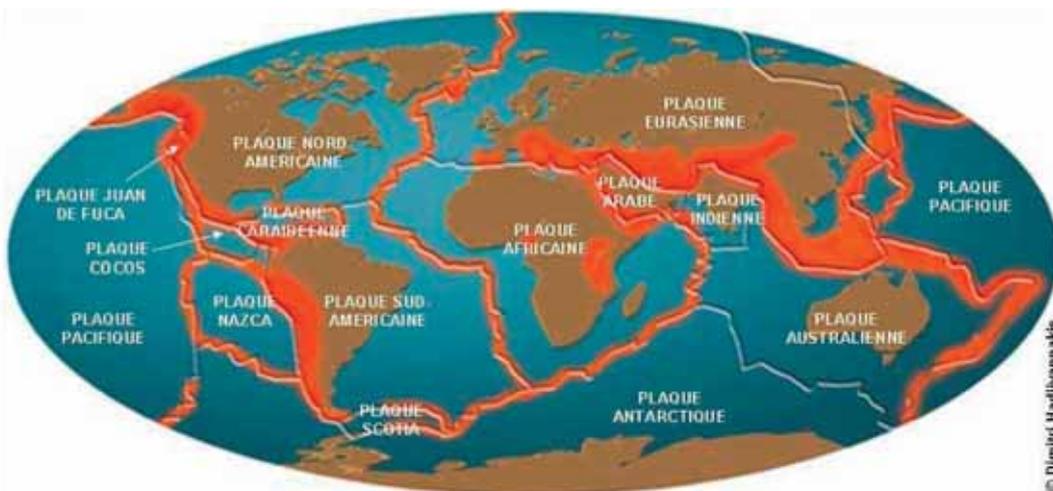


Figure 1 : La tectonique des plaques. La partie superficielle du globe est constituée d'une mosaïque de plaques lithosphériques mobiles qui frottent les unes contre les autres, provoquant des séismes

connue à ce jour correspond au séisme du Chili de 1960, dont la magnitude est estimée à 9,5. La magnitude<sup>1</sup> est une échelle logarithmique : le passage d'une magnitude M à une magnitude M+1 correspond à une énergie sismique libérée 30 fois supérieure.

## 2.2 Qu'est-ce qu'un tsunami ?

Un séisme sous-marin ou côtier se produisant à faible profondeur (moins de 50 km de profondeur) et possédant une magnitude d'au moins 6,5 est susceptible de créer un tsunami.

L'amplitude du tsunami généré augmente avec la magnitude du séisme. A partir d'une magnitude 8, le séisme peut générer un tsunami potentiellement dévastateur au niveau d'une mer ou d'un bassin océanique.

Le mouvement brusque du fond de la mer dû au séisme provoque une déformation de la surface de l'eau. Le retour à l'équilibre, sous l'effet de la force de gravité, propage une série de vagues dans l'océan. La longueur d'onde caractéristique de ces vagues (distance de crête à crête) peut atteindre une dimension colossale de plusieurs dizaines à quelques centaines de km, pour une hauteur au large dépassant exceptionnellement quelques dizaines de cm (figures 1 à 4).

Ces vagues traversent les océans en perdant peu d'énergie. Elles subissent des accélérations et décélérations en fonction de la profondeur du fond marin.

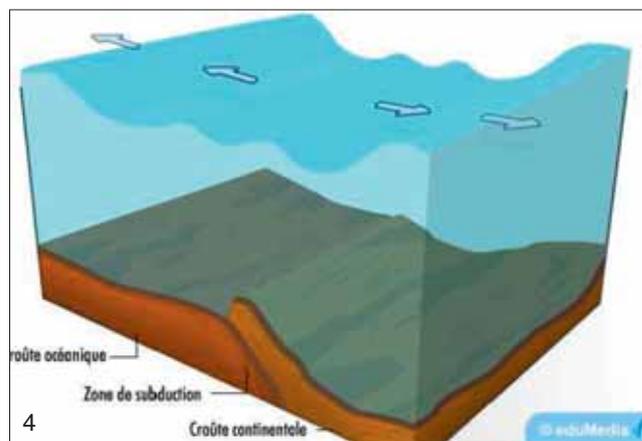
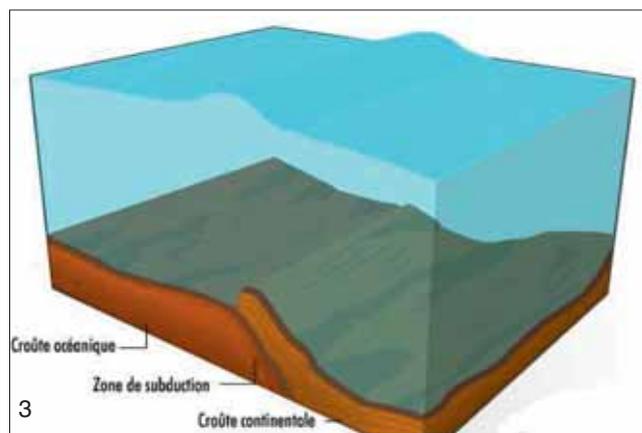
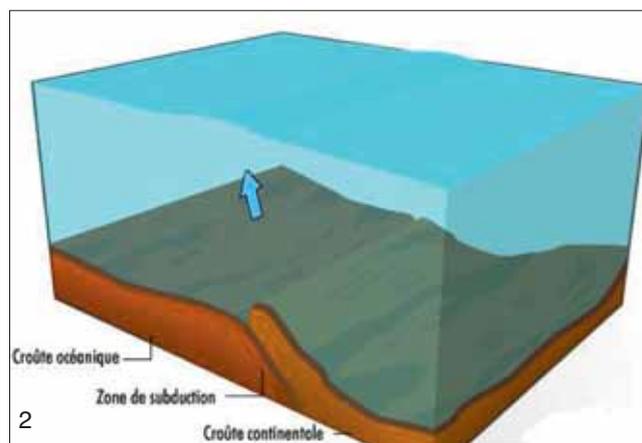
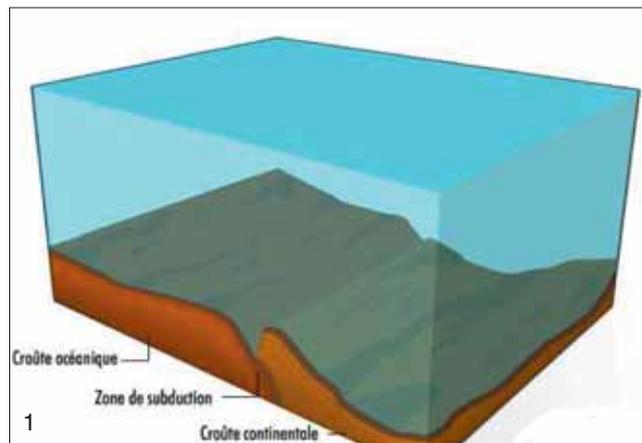
En haute mer, elles peuvent se déplacer à des vitesses de 500 à 1 000 km/h. Mais près des côtes, la profondeur d'eau diminuant, la vitesse de la vague diminue jusqu'à quelques dizaines de km/h. L'énergie se conservant et la longueur des vagues diminuant, la hauteur de celles-ci augmente : une vague de moins d'un mètre de hauteur au large peut ainsi grandir pour atteindre plus d'une dizaine de mètres de hauteur sur la ligne du rivage (figures 5 à 8).

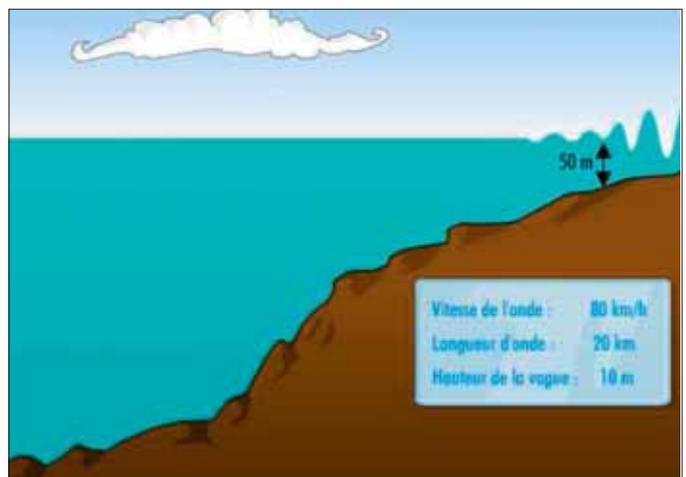
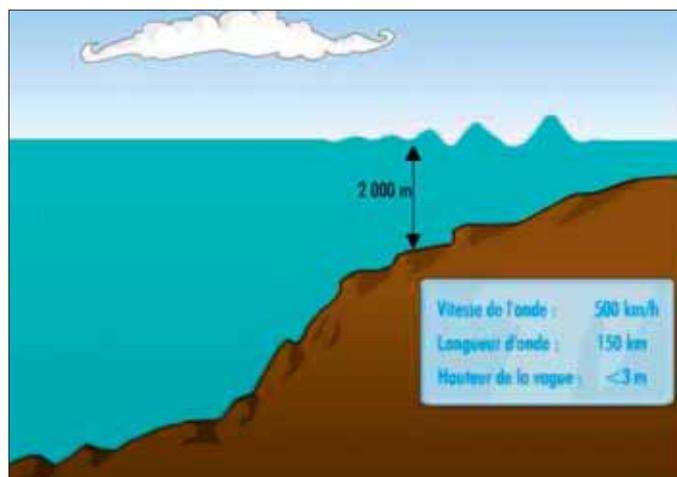
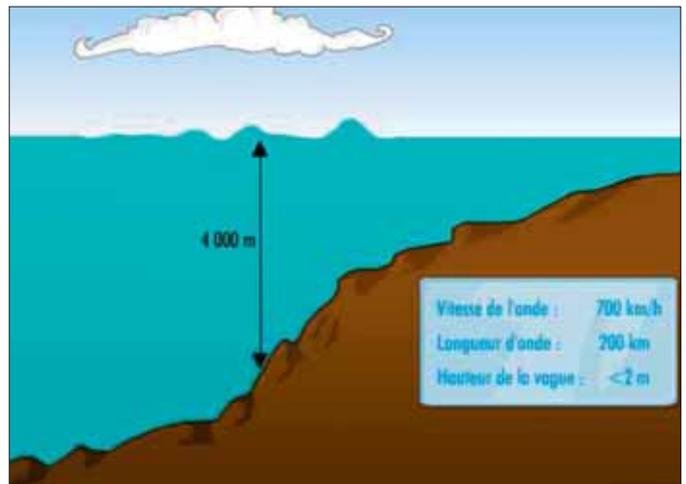
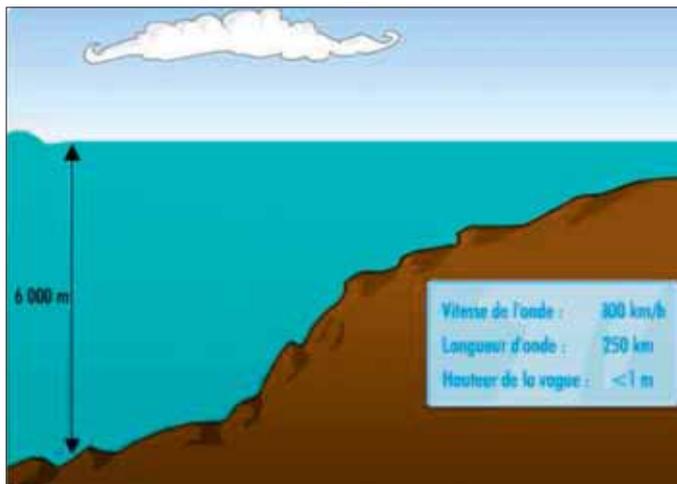
Un tsunami est constitué de plusieurs vagues qui vont inonder en général toutes les 10 à 30 minutes, pendant parfois plusieurs heures. La première vague n'est souvent pas la plus importante. Une chute rapide du niveau de la mer ou le retrait rapide de la mer, sont des signes naturels avant-coureurs de l'arrivée imminente de vagues de tsunami.

## 2.3 Quels sont les effets d'un tsunami

Lorsque le tsunami arrive près des côtes, la longueur d'onde de chaque vague diminue fortement mais atteint encore plusieurs kilomètres. En conséquence, le volume d'eau qui déborde et inonde le littoral est très important, même si la hauteur de la vague ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres. En cas d'inondation modérée, la montée rapide des eaux entraîne de nombreux objets situés en bord de mer qui peuvent être très dangereux. Au reflux, ces vagues emportent tous les véhicules et les personnes. Et dès que leur hauteur dépasse plusieurs mètres, elles inondent en détruisant tout sur leur passage, y compris les bâtiments.

<sup>1</sup> La magnitude de Richter, établie en Californie en 1935, a été définie initialement pour quantifier la taille des séismes locaux. Aujourd'hui, pour estimer la taille des très forts séismes enregistrés sur toute la planète, les sismologues préfèrent utiliser d'autres types de magnitude comme, par exemple, Mw.





### 3. LE RISQUE TSUNAMI POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

L'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale ont été concernés par plusieurs tsunamis (carte 1). Les zones sismiques tsunamigènes (ayant généré des tsunamis) sont situées essentiellement à la frontière entre les plaques africaines et eurasiatiques.

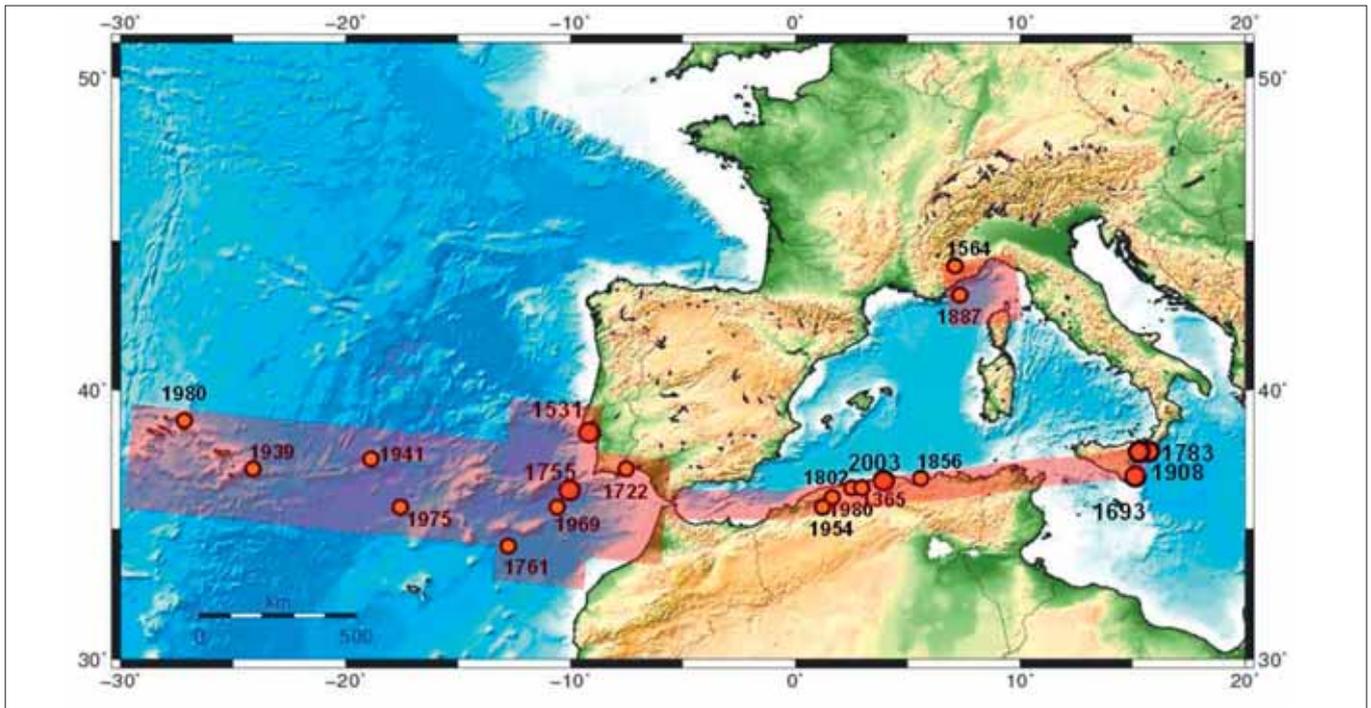
Dans l'Atlantique nord-est, une dizaine de séismes tsunamigènes ont été catalogués, essentiellement dans le golfe de Cadix, dont 2 événements particulièrement catastrophiques en 1531 et 1755.

En Méditerranée occidentale, 8 séismes ont induit des tsunamis recensés, dont deux en mer Ligure en 1564 et 1887 et un au large de l'Algérie en 2003, pour le plus récent. En Sicile, à la limite de la zone surveillée par le centre d'alerte, de très nombreux séismes ont été à l'origine de tsunamis, dont 3 majeurs entre 1693 et 1908.

#### **Quelques repères**

##### **Les tsunamis en Atlantique nord-est et Méditerranée :**

- les grands séismes tsunamigènes (> 30 000 victimes) depuis le XVIIIème siècle : Lisbonne (1755), Messine (1908) ;
- le dernier tsunami (> 200 bateaux endommagés) : Boumerdès (Algérie 2003) ;
- depuis le début du XXème siècle, une centaine de tsunamis ont été observés en Méditerranée et dans les mers qui y sont reliées (mer de Marmara et mer Noire), soit 10 % du total des tsunamis observés sur la planète.



Carte 1 : Principaux séismes tsunamigènes en Atlantique nord-est et Méditerranée occidentale (les bandeaux rouges correspondent aux zones sismiques tsunamigènes) © CEA

#### 4. CENTRE D'ALERTE AUX TSUNAMIS POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE (CENALT)

Le centre, où une permanence 24h/24 et 7j/7 sera assurée par des spécialistes en analyse de données sismologiques et de tsunamis, sera implanté au centre du CEA de Bruyères-le-Châtel, où s'opère également la surveillance sismique du territoire métropolitain.

Le centre d'alerte a pour objectifs opérationnels de :

- diffuser, dans les 15 minutes suivant les événements sismiques potentiellement tsunamigènes, un message d'alerte aux autorités françaises et un message d'information aux autres centres d'alerte nationaux et régionaux étrangers de la Méditerranée ;
- diffuser des messages de confirmation (ou d'infirmer) de l'occurrence d'un tsunami, qui préciseront le cas échéant, les heures d'arrivée, et les amplitudes estimées au large des côtes. Le délai de diffusion dépendra de la disponibilité des données marégraphiques.

Le centre d'alerte bénéficiera de la solide expérience acquise par le CEA en Polynésie française, où ce dernier exploite, dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique, le centre polynésien de prévention des tsunamis.

##### 4.1 La gouvernance internationale

La création du centre d'alerte aux tsunamis s'inscrit dans une dynamique de gouvernance internationale. En effet, le tsunami de Sumatra, en 2004, a marqué un tournant au niveau mondial : la communauté internationale décide de mettre en place des systèmes d'alerte aux tsunamis dans l'ensemble des bassins océaniques, alors qu'auparavant, seul l'océan Pacifique disposait d'un tel système depuis 1968. L'UNESCO, organisme de l'ONU mandaté pour coordonner la mise en

place de ces systèmes, a ainsi créé le groupe intergouvernemental de coordination (GIC) du système d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique nord-est, la Méditerranée et les mers connectées (mer de Marmara et mer Noire). Ce groupe se réunit tous les ans et a mis en place des groupes de travail et des équipes spéciales pour mener à bien son programme. La France contribue très activement à ce programme.



Le centre d'alerte aux séismes du CEA, à Bruyères-le-Châtel, Crédits photos © C. Dupont/CEA

##### 4.2 La gouvernance nationale

Consécutivement à la décision de la commission océanographique intergouvernementale de mettre en place dans chaque bassin océanique des centres d'alerte tsunami, la France s'est engagée, lors des sessions du GIC de Lisbonne (2007) et d'Athènes (2008), à développer un centre national d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée, avec une vocation régionale pour la Méditerranée occidentale. Cet engagement est une réponse aux préconisations exprimées par monsieur le sénateur Rolland Courteau dans le rapport

de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques du 7 décembre 2007. En mars 2009, la direction de la sécurité civile et la direction de la prévention des risques ont adressé officiellement au CEA leur demande de création d'exploitation du centre d'alerte aux tsunamis, en coopération et avec les moyens et les compétences du SHOM et du CNRS-INSU.

### 4.3 L'alerte aux tsunamis : une analyse en trois temps

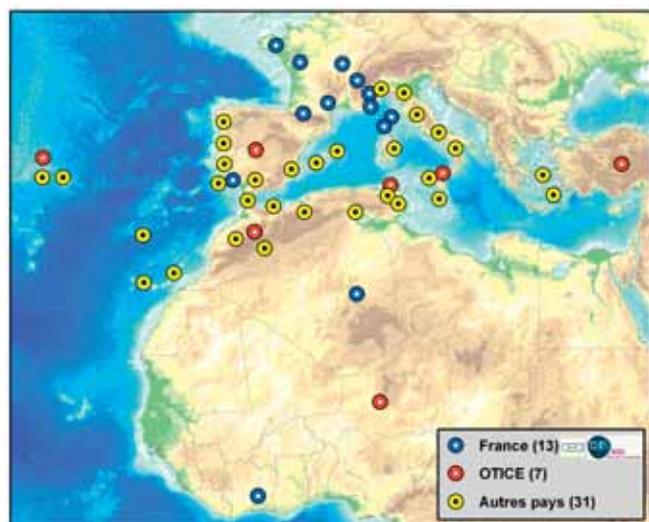
#### 4.3.1 La réception des données en temps réel

Le centre d'alerte aux tsunamis recevra les données en temps réel, par transmission satellitaire et par liaison informatique haut débit en provenance des réseaux de mesures. Ces données seront recueillies au moyen de deux types d'outils, tous deux nécessaires à la détection de formation de tsunamis :

- les stations sismiques (carte 2), qui enregistrent les ondes sismiques à partir desquelles sont déterminées la localisation des épicentres, les magnitudes et les autres caractéristiques des séismes.

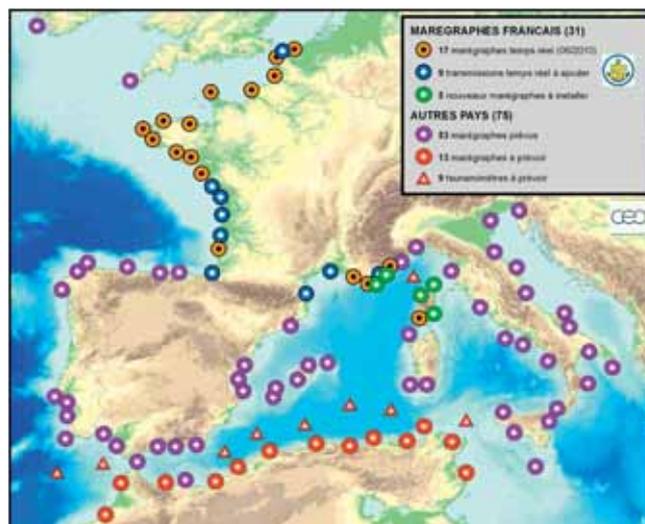


Crédits photos © CEA ; Didier Brunel © CNRS ;



Carte 2 : Réseau des stations sismiques pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale. (Octobre 2010) © CEA

- les stations de mesure du niveau de la mer (carte 3), qui enregistrent les vagues du tsunami le long des côtes (au moyen de marégraphes) ou au large (au moyen de tsunamimètres).



Carte 3 : Réseau des stations marégraphiques pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale. (Octobre 2010) © CEA

Pour optimiser le réseau Atlantique nord-est et Méditerranée occidentale, il sera nécessaire de procéder à certaines modernisations et à installer d'autres stations. Plusieurs pays se sont engagés à compléter leurs réseaux et à transmettre les données en temps réel. En supplément, il faudra implanter et maintenir un réseau de mesure du niveau de la mer le long des zones côtières sismiquement actives, telles que celles de l'Algérie, du Maroc et de la Tunisie (carte 3).

Sur les côtes françaises, le réseau de stations de mesure du niveau de la mer sera complété et les données transmises en temps réel, cette mission revenant au SHOM.

Le CNRS-INSU contribue au projet en donnant au centre d'alerte un accès préférentiel aux données sismologiques de 5 stations sismologiques appartenant aux réseaux RESIF et GEOSCOPE.

Le CEA, qui met à disposition des données de ses propres stations, prend en charge la mise en place d'une transmission satellitaire de ces données vers le centre d'alerte.

4.3.1.1 Contribution spécifique du SHOM, en France métropolitaine, aux observations du niveau de la mer pour la détection des tsunamis.

Ce chapitre complète le dossier de communication CENALT du 1<sup>er</sup> octobre 2010 en apportant des précisions sur le réseau d'observations du niveau de la mer sous la responsabilité du SHOM.

Les informations fournies sont celles disponibles en mai 2011. La contribution du SHOM implique :

- des développements instrumentaux (voir article de N. Poffa « Evolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM » de ces annales) ;
- l'appui de la coordination nationale des observations du niveau de la mer (voir article de N. Pouvreau de ces annales) ;
- l'installation et le maintien en condition opérationnelle de marégraphes et de systèmes de transmission de données au profit du CENALT.

La mise en place du CENALT et les besoins associés de détection de tsunamis en Méditerranée ont conduit à envisager l'extension du réseau de 5 marégraphes (voir Carte 3) correspondant à des sites permettant de compléter la couverture

existante afin d'observer tout éventuel tsunami en provenance de la mer Ligure, mer Tyrrhénienne ou du nord de l'Algérie et de la nécessité de le détecter au plus tôt.

Trois marégraphes supplémentaires sont ainsi installés par le SHOM en Corse et deux sur la côte continentale en Provence-Alpes-Côte d'Azur, ils sont situés à :

- Solenzara (Corse), installé en octobre 2010 ;
- port de Centuri (Corse), installé en octobre 2010 ;
- île Rousse (Corse), installé en mai 2011 ;
- La Figueirette (commune de Théoule-sur-Mer), installé en mai 2011 ;
- Port Ferréol (commune de Roquebrune-sur-Argens), prévu avant mai 2012.

Dans le cadre du projet CRATANEM, 31 marégraphes du réseau RONIM en métropole transmettront d'ici mai 2012 les données de hauteurs d'eau au CENALT via Internet au travers de connexion ADSL ou GPRS. Une redondance au moyen d'un système robuste de transmission satellite est assurée via les satellites météorologiques Meteosat pour 10 stations marégraphiques, principalement localisées en Méditerranée (9 stations).

Les stations marégraphiques équipées de transmissions satellites ont été choisies en fonction des temps d'arrivée de tsunamis modélisés sur les côtes de métropole : en Atlantique pour une source sismique au sud-ouest du Portugal et en Méditerranée pour une source sismique au nord de l'Algérie. Concernant la Méditerranée, les marégraphes retenus prennent aussi en compte la détection des événements en mer Ligure et en mer Tyrrhénienne.

Ainsi les marégraphes disposant d'une transmission satellite redondante sont :

- en Atlantique, le marégraphe de Socoa (Saint-Jean-de-Luz).
- en Méditerranée, les 5 nouveaux marégraphes à instrumenter dans le cadre du projet (Solenzara, île Rousse, Centuri, Les Issambres - Port Ferréol, Théoule-sur-Mer - La Figueirette) ainsi que Nice, Toulon, Ajaccio et Port-Vendres (voir photos pages suivantes).

### Le rôle des marégraphes

La détection du tsunami s'effectue à travers des instruments de mesure. Le réseau de sismomètres permet de localiser l'épicentre et le foyer d'un tremblement de terre et de mesurer sa magnitude afin de déterminer si ce dernier peut provoquer un tsunami. Dans l'affirmative, les données des marégraphes (et des éventuels tsunamimètres) permettent de valider ou d'infirmer la présence d'un tsunami et d'affiner les informations concernant son amplitude. La détection rapide d'un tsunami exige donc non seulement des réseaux d'instruments de mesure en nombre suffisant, mais également des réseaux dotés de moyens de communication perfectionnés qui autorisent la transmission des données en temps réel. Quant au centre d'alerte, il doit avoir accès à ces données, mais aussi être capable de les traiter et de les analyser, ce qui implique une veille 24h/24, 7 jours/7.

**Un marégraphe** est un instrument qui mesure le niveau de la mer à un point donné. Dans la mesure où ils sont localisés sur le rivage, ils ne peuvent pas servir à l'anticipation d'un tsunami dans la zone où ils sont localisés. Pour autant, leur utilité est double. D'une part, ils font partie du dispositif d'alerte en fournissant de précieuses informations pour les pays limitrophes ou les régions/îles voisines, ainsi qu'aux services de sécurité civile qui peuvent déclencher immédiatement les secours en cas de détection de fortes vagues. D'autre part, les données mesurées (ampleur des vagues, nombre de vagues, heure d'arrivée) sont utilisées dans la reconstitution du phénomène et dans les modèles de simulation.



*Sites instrumentés d'une transmission satellite :  
Antenne satellite sur la poissonnerie de Centuri (à gauche) Antenne satellite dans le port de Solenzara (à droite)*



*Sites instrumentés d'une transmission satellite :  
Antenne satellite dans la darse d'Aspretto à Ajaccio (à gauche) à Toulon (à droite)*



*Antenne satellite à Nice*



*Centrale d'acquisition, transmissions temps réel et batteries à Solenzara*



*Télémetre radar sur sa potence dans le port de Centuri*

#### 4.3.2 La caractérisation du séisme et du tsunami

En moins de 15 minutes suivant les événements sismiques potentiellement tsunamigènes, les analystes du centre caractériseront les séismes et les tsunamis et diffuseront des messages d'alerte aux autorités françaises et des messages d'information aux autres centres d'alerte des pays riverains de la Méditerranée occidentale. Pour ce faire, ils s'appuieront sur les réseaux de surveillance sismique (carte 2), sur leur connaissance de l'activité sismique de la région surveillée 24h/24, et sur des logiciels experts spécialement développés pour ce centre. En cas de très fort séisme, les heures d'arrivée calculées et les niveaux d'alerte seront ajoutés aux messages.

#### 4.3.3 La mesure du temps d'arrivée et de l'amplitude du tsunami le long des côtes

Lorsque le réseau de mesure du niveau de la mer sera pleinement opérationnel (carte 3), les analystes diffuseront, dans



*Télémetre radar sur sa potence dans le port de Solenzara*

un délai de 35 minutes après le séisme, des messages de confirmation (ou d'infirmité) de l'occurrence d'un tsunami, qui préciseront pour certains sites le long de la côte les paramètres des tsunamis enregistrés, dont les heures d'arrivée et les amplitudes mesurées.

Des bases de données opérationnelles de séismes et de tsunamis, des bases de résultats de modélisation numérique de scénarios ainsi que des outils de modélisation automatiques des tsunamis permettant de caractériser les hauteurs au large équiperont le centre.

#### 4.4 L'alerte de la population

En cohérence avec le déploiement du centre d'alerte, le système français d'alerte et d'information de la population (SAIP) va être étendu pour prendre en compte le risque tsunami. Il permettra à terme d'acheminer l'alerte vers les populations directement exposées (riverains et touristes) par un système de sirènes dédié et/ou tout autre moyen adapté à la diffusion de masse de l'alerte.

Ce projet de modernisation du SAIP sera de plus accompagné par des volets de sensibilisation de la population et de diffusion des bons comportements à adopter lors de l'arrivée d'un tsunami sur la côte.

### 5. RÉFÉRENCES

Organismes partenaires (octobre 2010) :



MIOMCT



MEEDDM



énergie atomique • énergies alternatives

CEA



CNRS/INSU



SHOM



Sirène du SAIP (Crédits photo DSC)



Signal de danger de tsunami (ISO)

#### Contact :

cenalt@cea.fr

#### Sur le web :

- Site du centre : Site en construction
- Interministériel : <http://www.risques.gouv.fr>
- Ministère de l'Intérieur : <http://www.interieur.gouv.fr>
- Ministère de l'Écologie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr>  
<http://www.planseisme.fr>  
<http://www.tsunamis.fr>  
<http://www.prim.net>
- CEA : <http://www.cea.fr>  
<http://www-dase.cea.fr>
- SHOM : <http://www.shom.fr>
- CNRS-INSU : <http://www.insu.cnrs.fr>  
<http://www.resif.fr>  
<http://geoazur.oca.eu>  
<http://geoscope.ipgp.jussieu.fr>
- UNESCO/COI : <http://www.ioc.unesco.org>  
<http://ioc3.unesco.org/itic>

# REFONTE DE LA BASE DES DONNÉES *IN SITU* DU NIVEAU DE LA MER « TIDE DATABASE (TDB) »

par Ronan Créach<sup>(1)</sup> et l'équipe projet INFRAGEOS-Marée<sup>(a)</sup>

## RÉSUMÉ

Un système dénommé « Tide DataBase (TDB) » a été mis en place au SHOM pour archiver, traiter et rendre accessible les mesures *in situ* du niveau de la mer et les métadonnées associées, telles que les références verticales, les repères de marée, les instruments, les photographies, etc. TDB permet une génération immédiate des hauteurs horaires, des niveaux moyens (journaliers, mensuels, annuels) et des surcotes/décotes.

L'ensemble des données existantes de hauteurs d'eau a été migré dans la nouvelle base.

Toutes les fiches d'observatoire de marée des ports y sont aussi disponibles.

TDB fournit les outils de gestion de flux et de visualisation nécessaires à la production de mesure de hauteurs d'eau qualifiées. Un mécanisme de gestion de processus métier permet à de nombreux utilisateurs de se coordonner et de valider leur travail.

TDB a été réalisé autour d'une base de données Oracle et est accessible à un grand nombre d'utilisateurs au travers du logiciel client CARIS HPD (Hydrographic Production Database), qui permet un accès cartographique à la localisation des ports. TDB est capable de gérer l'ensemble des observatoires de marée existant pour l'intégralité des périodes pendant lesquelles des mesures ont été réalisées.

De nombreuses données peuvent être rapidement parcourues et évaluées. Les anomalies (pics, valeurs constantes, discontinuités) peuvent être éditées au travers de la visualisation graphique.

## ABSTRACT

*TDB (Tide DataBase) is a system for recording, editing and publishing sea level data. It supports the collection, processing and access to sea level of data and meta data such as vertical datum information, benchmarks, instrument details, photographs and so on.*

*Hourly height series, surges, daily, monthly and annual mean sea level can easily be generated.*

*Existing sea level data were migrated into TDB. All the Tide Station Record Sheets for any port are readily available for inspection.*

*TDB provides all the workflow and visualisation tools necessary to produce Quality Assured sea level data. A workflow mechanism allows multiple users to coordinate and control their work.*

*TDB is built on an Oracle database and fully supports access by multiple users through CARIS HPD (Hydrographic Production Database) client software which displays the locations of ports graphically on any shoreline or chart. It is capable of managing a global data set for the complete time span over which sea level data has been collected.*

*Large amounts (years) of data can be rapidly scanned and assessed. Anomalies in the data (spikes, flats, discontinuities) can be edited through graph display.*

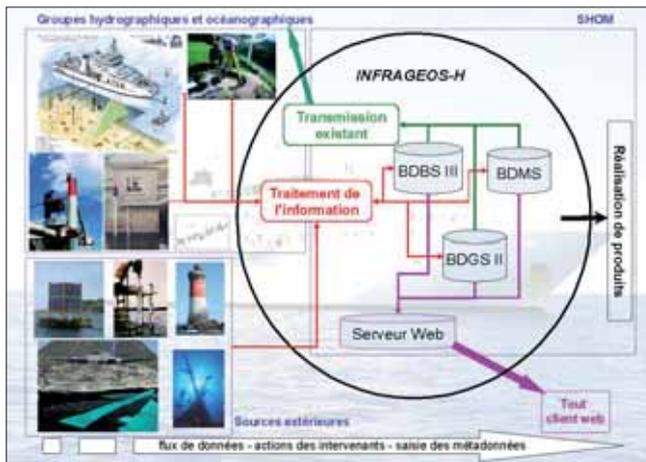
<sup>(1)</sup> Ingénieur des études et techniques de l'armement, cellule hydrodynamique côtière, direction des Opérations (DO) SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France  
(Mél : [ronan.creach@shom.fr](mailto:ronan.creach@shom.fr))

<sup>(a)</sup> Équipe projet INFRAGEOS-Marée : Caroline Texier, Ronan Le Gall, Eric Sicot, Mikaël Le Brun et Pascal Le Dû

# 1. PRÉSENTATION

## 1.1 Un projet de rénovation

Le besoin de rénovation de l'archivage et de la gestion des mesures de hauteurs d'eau au SHOM a été exprimé dès mi-2005 dans le cadre d'un projet thématique sur la marée. Cette tâche a ensuite été intégrée à un projet plus vaste de réalisation d'une infrastructure de données géospatiales baptisé projet INFRAGEOS-H. INFRAGEOS-H intègre ainsi les projets de rénovation de la base de données bathymétriques, de la base de données générales (balisage, amers, épaves, obstructions, zones réglementées...) et enfin de la base des données marégraphiques. Le projet a donné lieu à une étude de faisabilité début 2007 (IGN, 2007).

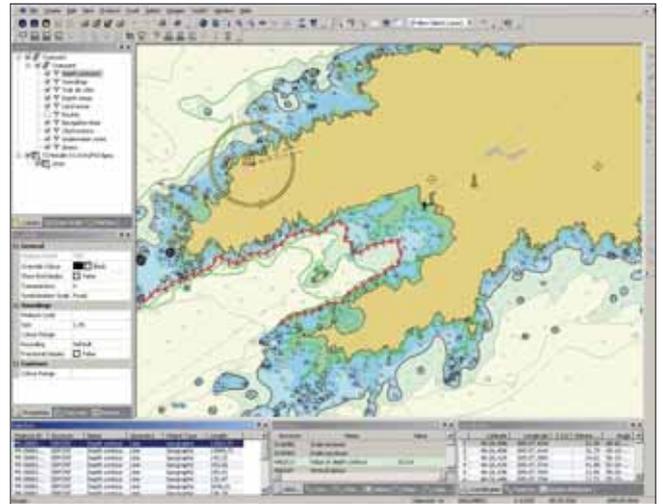


Principe de l'infrastructure géospatiale INFRAGEOS

Pour cette infrastructure commune, le SHOM a retenu fin 2007 une solution de la société canadienne CARIS<sup>1</sup> spécialisée dans les logiciels géomatiques pour l'hydrographie. Le module Source Editor de la suite logicielle Hydrographic Production Database (HPD) est ainsi utilisé au SHOM pour de nombreuses applications. Concernant la marée, il permet l'affichage cartographique et la visualisation des couches géographiques nécessaires pour parcourir les données marégraphiques (trait de côte, zones de marée, cartes marines, limites des modèles de marée, etc.).

Un développement spécifique restait nécessaire pour la création du module de stockage, de gestion, de visualisation et de traitement des mesures marégraphiques interfacé avec le système d'information géographique CARIS HPD Source Editor. Le développement de ce module a été confié à la société anglaise Chersoft Ltd et baptisé TideDataBase (TDB).

Les travaux de refonte spécifiques au volet niveau de la mer ont alors démarré en février 2008 et se sont achevés début 2010 par l'admission du système suite à la migration de l'existant. Le nouveau système remplace donc les anciens outils de gestion et d'archivage et contient toutes leurs informations, notamment l'ensemble des mesures de hauteurs d'eau et données auxiliaires qui étaient disponibles sous la forme de fi-



Éléments de cartographie (trait de côte, aides à la navigation, ...) pour la zone d'Ouessant avec Caris HPD Source Editor

chiers numériques constitués depuis les années 70 (marégrammes historiques numérisés, données brutes des marégraphes, données horaires validées, pression atmosphérique, etc.), la base Oracle précédente développée dès 1993 et qui contenait les métadonnées des campagnes de mesure et les informations sur les repères de marée (SYSECA, 1993) et enfin toutes les fiches d'observatoire de marée sous forme numérique.

## 1.2 État du projet de refonte en 2011

L'outil Tide DataBase permet depuis sa mise en service une gestion intégrée et efficace du patrimoine que constituent les séries de hauteurs d'eau historiques numérisées (Gouriou, 2008). TDB accueille aussi les données produites par le réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) du SHOM, et les données issues des campagnes des groupes hydrographiques. La base est aussi désormais mise en œuvre pour les données recueillies dans le cadre de l'instruction relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et la diffusion des données en résultant (SGMer, 2010).

Le déploiement de l'outil s'achèvera en 2011 au SHOM avec une mise en œuvre dans les groupes hydrographiques, qui permettra le déroulement intégré du processus métier complet, allant de la rédaction à la validation des travaux marégraphiques au travers du nouvel outil.

Une dernière étape du projet consistera à la publication des métadonnées de cette base sur Internet pour les zones sous juridiction nationale, dans le cadre particulier de la directive INSPIRE, le portail REFMAR<sup>2</sup> assurant par ailleurs la diffusion des données issues des marégraphes permanents français.

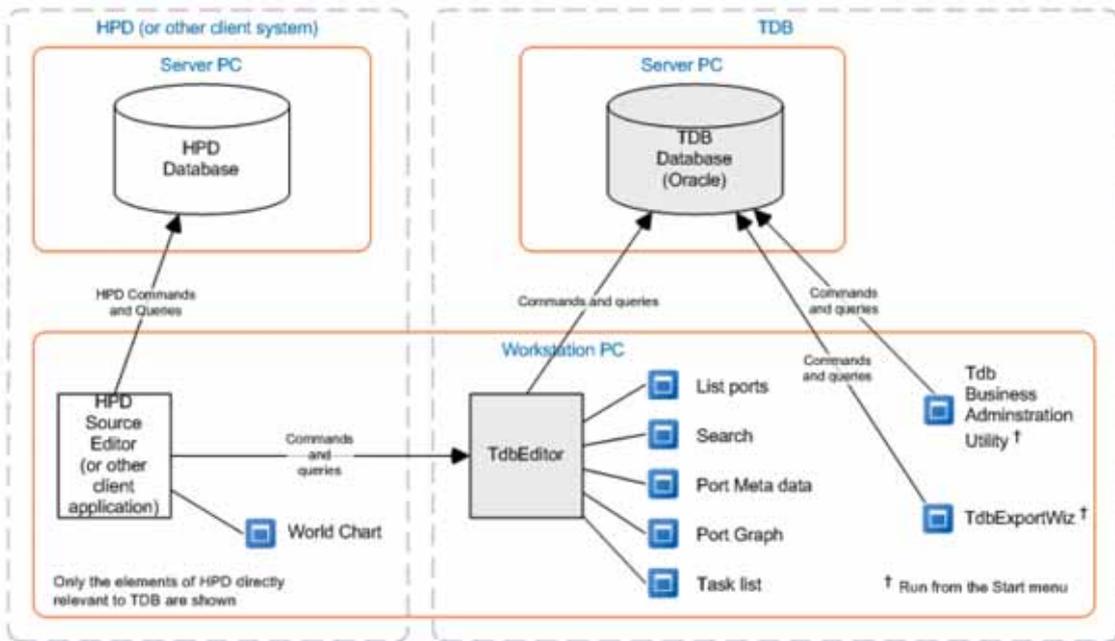
## 2. ARCHITECTURE DU SYSTÈME

### 2.1 Architecture logicielle

Le client lourd Tide DataBase est conçu de façon à être interopérable avec un système d'information géographique

<sup>1</sup> <http://www.caris.com/>

<sup>2</sup> <http://www.refmar.shom.fr/>



Architecture du système (schéma Chersoft)

(SIG) tel que le logiciel CARIS HPD Source Editor utilisé dans le projet d'infrastructure géospatiale du SHOM.

Le client lourd CARIS HPD assure une interface avec Tide DataBase et propose une couche marégraphique comprenant les observatoires de marée et leurs métadonnées. Les principales fonctions d'édition et de visualisation de Tide DataBase peuvent alors être appelées depuis ce SIG.

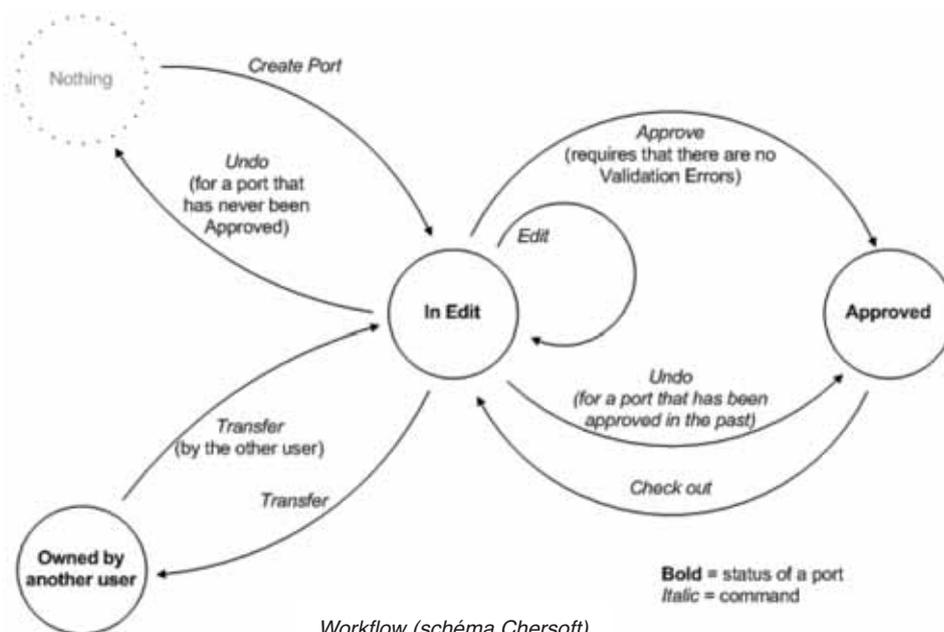
Les modules d'administration (TDB Business Administration Utility) et d'export des données (TDB Export Wizard) sont deux applicatifs indépendants du logiciel de SIG.

Tide DataBase archive toutes les informations et données relatives aux observatoires de marée dans une base de données Oracle.

La gestion des données accompagnées des métadonnées au moyen de cette unique base de données garantit ainsi l'intégrité des données et facilite la sauvegarde de l'ensemble.

## 2.2 Workflow et publication

Les tâches réalisées par les différents intervenants dans la base de données comprennent l'archivage et la saisie des métadonnées, le traitement et la validation, puis le contrôle et l'approbation. Ces travaux sont réalisés par les entités du SHOM impliquées au travers d'un processus métier (workflow), qui assure que seule la donnée validée et approuvée est disponible à l'ensemble des utilisateurs.



Workflow (schéma Chersoft)

Le processus présente le fonctionnement suivant :

- chaque observatoire de marée en modification n'est éditable que par un seul utilisateur ;
- un utilisateur peut transférer un observatoire de marée vers un autre utilisateur ou l'approuver si ses droits le lui permettent ;
- les utilisateurs sont informés des observatoires en modification et de l'éditeur possédant et modifiant l'observatoire ;
- chaque utilisateur possède une liste de tâche avec les ports en édition qu'il possède ;
- une nouvelle version d'un observatoire de marée ne devient accessible aux autres utilisateurs que lorsqu'elle est approuvée par un utilisateur ayant les droits nécessaires. Un observatoire peut être approuvé dès lors que les renseignements fournis sont compatibles avec les règles internes de validation du système ; ces règles constituent un ensemble de tests d'intégrité des informations disponibles auxquelles sont attribuées par l'administrateur deux niveaux de gravité : l'avertissement et l'erreur. Seule l'erreur interdit l'approbation ;
- toutes les campagnes de mesures successives d'un observatoire de marée doivent être rédigées et validées, pour que l'observatoire complet puisse être approuvé ;
- dès lors que l'observatoire n'est pas approuvé, l'éditeur peut revenir à la dernière version approuvée et annuler ainsi le travail de modification entrepris.

### 2.3 Droits

Les droits sont administrés dans une interface spécifique et configurés pour chaque utilisateur.

Les droits disponibles à l'attribution sont : la consultation, l'édition, la finalisation d'une campagne de mesure, l'approbation d'un observatoire de marée, l'export des données de la base ou encore l'administration du système.

Name	Viewer	Editor	Freezer	Approver	Export	Administrat...
LEBACH	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
BLISSAULT	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
LENEU	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-
VERMOREL	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-
APPELANT W...	Yes	Yes	Yes	Yes	-	-
PEREZ NEW	Yes	Yes	Yes	-	-	-
MULLERMAN	Yes	Yes	-	-	Yes	-
MORVAN	Yes	Yes	-	-	Yes	-
PEREIRA	Yes	Yes	-	-	Yes	-
FRANCK S.	Yes	Yes	-	-	Yes	-
ANTHONY TRU...	Yes	Yes	-	-	-	-
CHAMBERT	Yes	-	-	-	Yes	-
PERVIN	Yes	-	-	-	Yes	-
LE...	Yes	-	-	-	-	-

Gestion des droits

### 2.4 Outil de recherche textuelle

En complément de l'interface cartographique, un menu spécifique permet de réaliser un certain nombre de requêtes prédéfinies sur la base de données, en particulier pour la recherche d'observatoire de marée, d'une campagne de mesure, d'instruments, etc.

### 2.5 Données archivées et gérées par le système

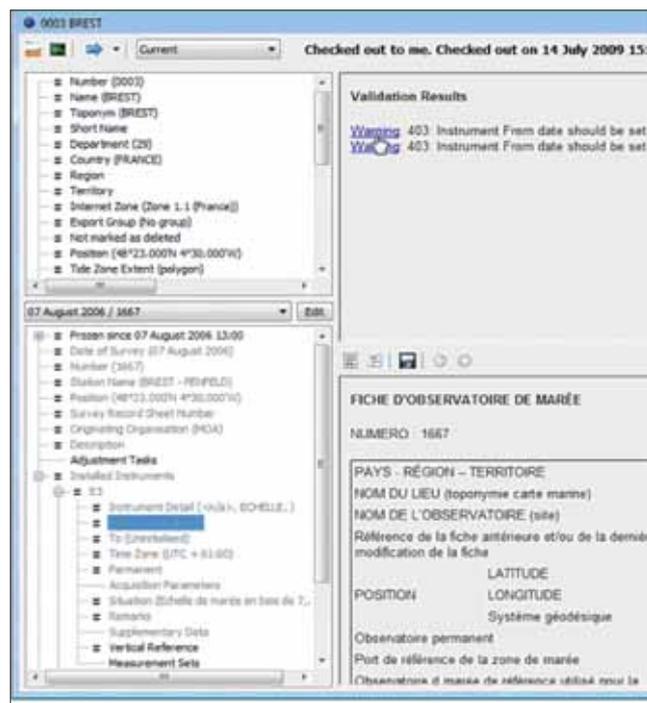
La gestion traditionnelle des données de hauteurs d'eau a été implémentée dans Tide DataBase, cette gestion s'articule au-

tour de la notion d'observatoire de marée, sur lequel se succèdent les campagnes de mesures, comprenant chacune un ou plusieurs marégraphes. Des mesures marégraphiques réalisées à des endroits proches peuvent ainsi être archivées au sein d'un même observatoire de marée en fonction de la similitude des marées sur les deux sites.

Tide DataBase associe chaque série de données de la base avec un instrument de mesure. De plus, Tide DataBase associe aussi chaque série de données avec une campagne de mesure. La campagne de mesure correspond traditionnellement à la rédaction d'une fiche d'observatoire de marée ou d'un document externe au SHOM équivalent et représente un état instantané de l'observatoire de marée. Cet état correspond généralement lors de nouvelles mesures, à la mise à jour des informations sur l'instrument ainsi qu'à la réalisation de nouveaux travaux géodésiques.

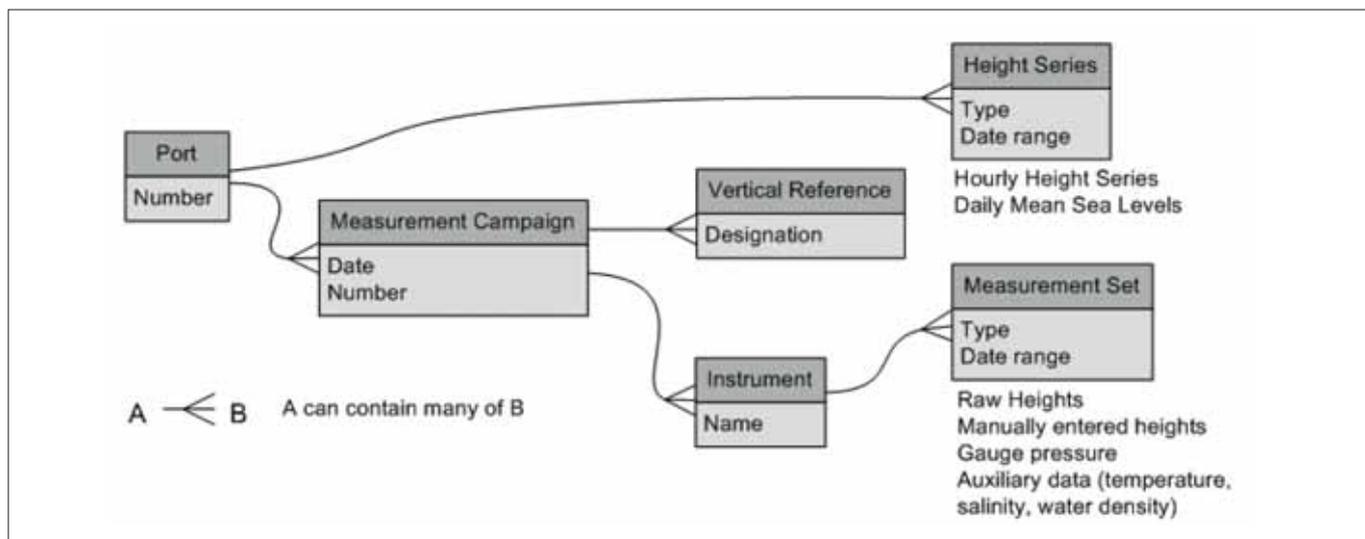
Indépendamment des campagnes de mesures qui contiennent les données à cadence d'acquisition, Tide DataBase gère pour chaque observatoire de marée, une série unique, validée et cohérente de hauteurs horaires nécessaire aux analyses de la marée et permettant les calculs des séries de niveaux moyens de l'observatoire (journaliers, mensuels et annuels).

Tide DataBase archive tout d'abord l'ensemble des données liées à un observatoire de marée, parmi lesquelles :



Vue des métadonnées d'un observatoire et de sa dernière campagne

- une série cohérente de hauteurs horaires ;
- une série de niveaux moyens journaliers, mensuels et annuels ;
- éventuellement les prédictions de marée (permet alors les calculs de surcotes) ;
- un lien permettant l'accès au fichier de constante harmonique en vigueur ;
- les métadonnées de l'observatoire de marée ;
- la documentation éventuelle (rapports, etc) au format pdf.



Données stockée par TDB (schéma Chersoft)

Au sein de chaque observatoire de marée, Tide DataBase archive les données liées à une campagne de mesure, parmi lesquelles :

- les données de hauteurs d'eau à cadence d'acquisition ;
- les données de hauteurs d'eau à cadence d'acquisition issues d'un capteur auxiliaire ;
- les données de contrôles à l'échelle ou à la sonde lumineuse ;
- les données de pressions atmosphériques ;
- les données de pression (capteur immergé) ;
- les valeurs de température, salinité et masse volumique de l'eau de mer ;
- l'identification et la description des repères de marée et de leurs côtes dans les systèmes de références altimétriques maritimes et terrestres ainsi que par rapport à un ellipsoïde mondial ;
- les systèmes de références (situation du zéro de réduction des sondes, du zéro hydrographique, du système altimétrique terrestre, ...) ;
- les métadonnées de la campagne ;
- les photographies des repères et instruments ;
- les images associées (schéma des dénivelées obtenues par nivellement, plan de localisation, etc.) ;
- la documentation éventuelle (rapports, etc.) au format pdf.

### 3. FONCTIONNALITÉS DE TIDE DATABASE

Les principales fonctionnalités de Tide DataBase sont :

- l'archivage et la validation des résultats de campagnes de mesures marégraphiques incluant les données instrumentales et les informations géodésiques associées,
- la validation des données de hauteurs d'eau en relation avec les données annexes, les données antérieures et les données acquises simultanément à proximité,
- la consultation et la mise à disposition de ces informations.

#### 3.1 Importation de données

Le logiciel permet d'importer les données issues de formats divers, par exemple :

- hauteurs horaires SHOM ;

- hauteurs horaires University of Hawaii Sea Level Center ;
- XML SHOM (issu du logiciel de traitement Timica Marée) ;
- fichiers issus du superviseur RONIM de la société ELTA ;
- etc.

Au delà de ces formats prédéfinis le logiciel gère l'import de données issues de fichiers textes génériques organisés en colonnes, contenant a minima un groupe date heure et une valeur en laissant le soin à l'utilisateur d'identifier les colonnes à importer, le système horaire et les unités.

#### 3.2 Visualisation des métadonnées

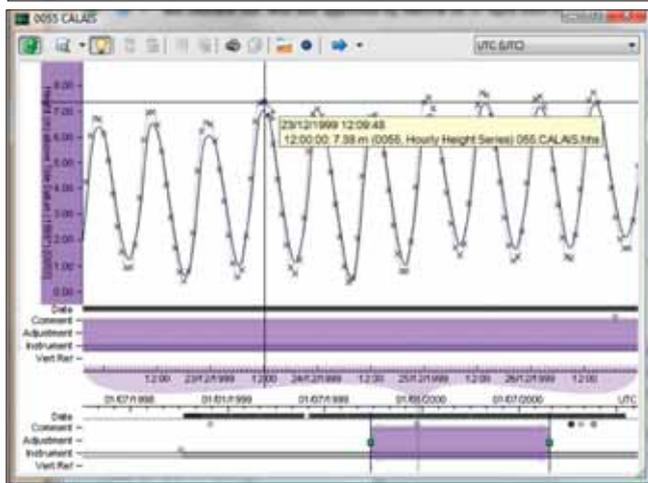
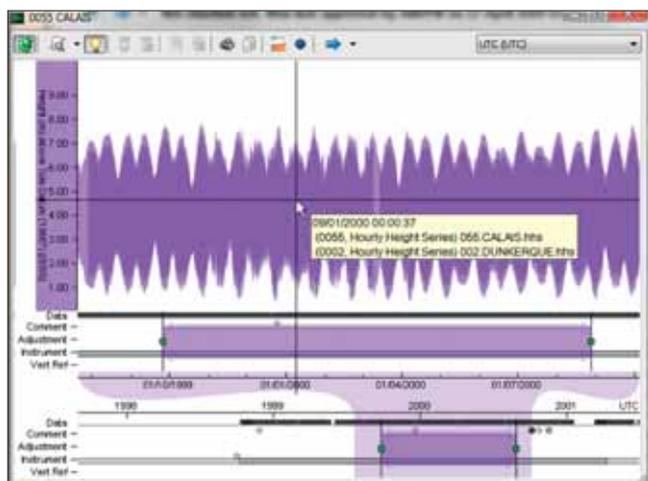
Les métadonnées des campagnes (nivellements, références verticales, instruments) sont triées et visualisées selon différentes vues au choix de l'utilisateur. La fiche d'observatoire de marée constituant le standard du SHOM figure parmi ces vues possibles. Des liens hypertextes dans ces présentations renvoient vers la donnée de la base et facilite l'accès à la donnée pour éventuellement pouvoir la modifier.

Cette visualisation structurée du contenu de la base au moyen de pages de consultation proposant la structure d'une fiche d'observatoire de marée ou des présentations thématiques (niveaux de références, campagnes, etc.) facilite le contrôle des saisies, le suivi de la cohérence des informations géodésiques et l'exploitation des mesures.

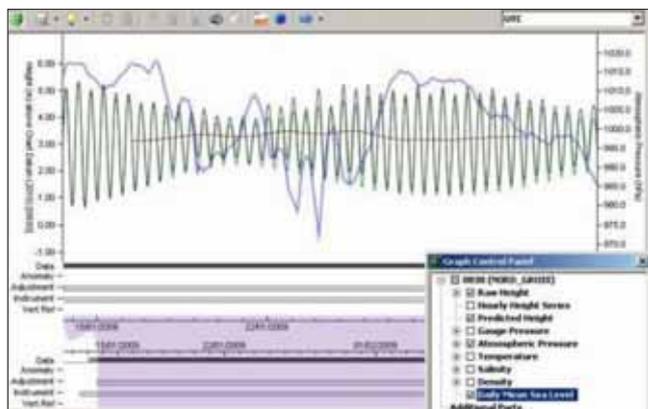
#### 3.3 Visualisation des données

Les données peuvent être visualisées à la fois sous la forme de tracés graphiques et de tableaux. Les fichiers bruts tels qu'ils ont été importés dans la base sont aussi visualisables sous forme de texte.

Tide DataBase indique visuellement en dessous des données les périodes pour lesquelles des correctifs sont appliqués aux données.



Exemple de visualisation d'un nombre plus ou moins important de données



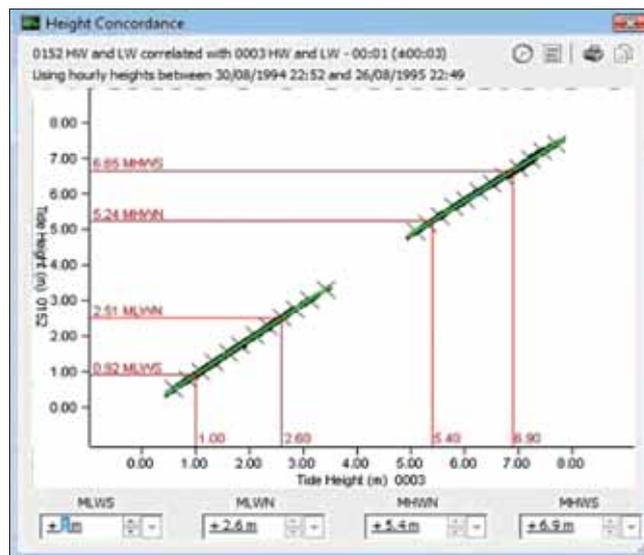
Exemple de différents types de données : données brutes, niveaux moyens journaliers, pressions atmosphériques, prédictions de marée

### 3.4 Outils de traitement des données

La version originale des données est conservée dans la base et n'est jamais modifiée. Des ajustements archivés dans la base de données s'appliquent aux mesures, sans modifier la données originale. L'ensemble des ajustements qui s'appliquent sur un jeu de données peut être listé et les périodes couvertes par des ajustements apparaissent lors de la visualisation graphique..

Parmi les actions pouvant être réalisées sur un bloc de données, figurent notamment l'ajout de commentaire, la correction d'un décalage temporel ou vertical, des dérives linéaires en temps ou hauteurs, la suppression de données, le filtrage de pics, l'insertion de valeurs, etc.

Les outils traditionnels pour l'exploitation des mesures du niveau de la mer sont implémentées dans TDB, par exemple la génération de hauteurs horaires, le calcul des niveaux moyens journaliers par le filtre de Demerliac (Simon, 2007), la concordance en hauteur et en heure, le tracé de diagramme de Van de Casteele (Martin Miguez, 2008), les calculs des surcotes et décotes, etc.



Concordance en hauteur

Le programme d'analyse harmonique et de prédiction de marée MAS (Simon, 2007), demeure un élément indépendant de la base de données, néanmoins la compatibilité avec les entrées/sorties de MAS a été assurée dans Tide DataBase au moyen du module d'export.

### 3.5 Exportation de données

Un logiciel client particulier (TDB Export Wizard) permet l'export sous forme de fichiers aux formats génériques mais aussi spécifiques de données de tous les types de mesures disponibles dans la base, mais uniquement pour la dernière version approuvée de l'observatoire de marée.

Le système génère aussi à partir des éléments renseignés de la base de données (champs textuels, photographies, schémas, etc) une fiche d'observatoire de marée au format OpenOffice.org Writer.

## 4. CONCLUSION

Tide DataBase permet de répondre à un besoin initial résolu axé sur la problématique de gestion interne des données de marégraphes (IGN, 2007).

Dans ce cadre, Tide DataBase présente des avantages notables pour les processus métier du SHOM. Par exemple Tide DataBase permet à un utilisateur d'accéder à la dernière ver-

sion validée d'un observatoire de marée ou de l'exporter, indépendamment des modifications en cours. Il permet aussi de garantir la réversibilité de tous les traitements appliqués aux données, en conservant intacte la donnée originale en base et en permettant l'association exhaustive des documents ou commentaires nécessaires. Tide DataBase comprend de plus un « workflow » permettant aux différents acteurs du processus de réaliser les tâches d'édition et de validation des campagnes de mesures. Enfin Tide DataBase intègre un ensemble d'outils métiers de visualisation, de manipulation, et de calcul permettant à l'utilisateur une exploitation des données en base.

Au delà de la base de données, la solution CARIS offre la perspective d'une publication des métadonnées de cette base pour les zones sous juridiction française au moyen d'un outil du type CARIS Spatial Fusion Enterprise<sup>®</sup>, conformément à la directive INSPIRE (CE, 2007).

La refonte de la base de données de niveau de la mer a permis de consolider l'intégrité des données et métadonnées existantes. Un gain d'efficacité dans la rédaction et la validation des campagnes est attendu, ainsi que pour le traitement du réseau permanent RONIM. Par ailleurs Tide DataBase offre la perspective d'améliorer la qualité des séries historiques stockées, grâce à une manipulation aisée des mesures et des outils de contrôle et de traitement intégrés, tout en offrant une meilleure traçabilité des actions conduites.

La cellule hydrodynamique côtière du SHOM poursuit la modernisation de ses bases de données et outils métiers dans le cadre du projet INFRAGEOS avec une prochaine étape qui vise à la refonte de la base de données des mesures de courantomètres ponctuels et profileurs et des tableaux de courants de marée.

## 5. RÉFÉRENCES

IGN. Étude de faisabilité : Étude INFRAGEOS, DT.TN/07.020 du 13/02/2007.

CARIS (2009). Hydrographic production database : HPD-TDB Interface guide, juin 2009, 16pp.

Chersoft (2009). TdB : Tide Data Management Software by CherSoft Ltd. [http://www.chersoft.co.uk/products\\_tdb.htm](http://www.chersoft.co.uk/products_tdb.htm)

Chersoft (2009). TdbEditor Guide, v10, 27 novembre 2009, 48pp.

Chersoft. (2010). TdB Manual, v4.1, 28 juillet 2010, 99pp.

SYSECA. Manuel utilisateur BDMCS, 27/05/1993, réf. 253-MAU-93-517 -1-C0011345, 311pp.

Gouriou T., Pouvreau N. et Wöppelmann G. (2008). « Mesures du niveau de la mer en France : un patrimoine historique à fort potentiel scientifique. L'exemple du littoral charentais ». Géologues, 158, pages 83-89.

SGMer. Instruction du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant (n° 863/SGMER du 20 avril 2010).

Simon B. « La marée océanique côtière ». collection Synthèses, 2007.

Martin Miguez B., L. Testut, G. Wöppelmann. « The Van de Castelee test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization ». Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies, Vol. 25, Nr. 7, pp. 1238–1244, 2008.

CE, Directive 2007/2/CE du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE) (transposition en cours).

[http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir\\_31210.pdf](http://www.circulaires.gouv.fr/pdf/2010/06/cir_31210.pdf)  
International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Working Group on Data Management, Guidelines for Water Level Data (revised May 2006), 7pp. <http://www.ices.dk>

SHOM. Guide utilisateur : Base de données des mesures de hauteurs d'eau - Tide DataBase (TDB), réf. GU2010-081, 83pp.

# ZÉRO HYDROGRAPHIQUE : VERS UNE DÉTERMINATION GLOBALE

par Guy Wöppelmann, Serge Allain, Pierre Bahurel, Serge Lannuzel et Bernard Simon <sup>(1)</sup>

## RÉSUMÉ

Cet article, paru initialement dans la revue XYZ n° 79 du 2<sup>e</sup> trimestre 1999, est inclus dans ces annales hydrographiques car il pose les principes de réduction des sondages bathymétriques sans l'observation classique de la marée, par l'utilisation exclusive d'un système de positionnement tridimensionnel précis. Il éclairera utilement d'autres articles présentés dans cet ouvrage.

La matérialisation du zéro hydrographique, encore appelé zéro des cartes marines, par rapport à l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre mondial et géocentrique y est abordée. Puis l'utilisation d'un modèle du zéro hydrographique pour la réduction des sondages bathymétriques est décrite en particulier au travers d'une expérimentation menée en 1998.

Depuis, le SHOM a poursuivi ses études sur ce sujet (projet BathyElli).

## ABSTRACT

*This article, first published in the journal XYZ No. 79, 2nd quarter of 1999, is included in this review because it establishes the principles of reduction of bathymetric data without tide observations but with the exclusive use of a three-dimensional precise positioning system. It will usefully inform other articles in this volume.*

*The materialization of the hydrographic datum, also known as chart datum, in a international terrestrial reference frame is discussed here. Then, the use of a chart datum model for the reduction of bathymetric surveys is described for instance through an experiment conducted in 1998.*

*Since, SHOM has continued his studies on this subject (BathyElli project).*

(1) En 1999, date de parution de cet article, l'ensemble des personnes ayant participé à sa rédaction était affecté au SHOM SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France



## 1. INTRODUCTION

Nous présentons dans cet article une référence verticale souvent peu connue des utilisateurs non avertis et familiers avec l'hydrographie : il s'agit du niveau de référence des cartes marines ou **zéro hydrographique**. C'est, en quelque sorte, l'équivalent en mer de la surface de référence des altitudes à terre portées sur les cartes de l'IGN ; tous les relevés bathymétriques y sont rapportés.

Le **zéro hydrographique** ou zéro des cartes marines est le niveau de référence à partir duquel sont comptées, positivement vers le nadir, les sondes portées sur les cartes marines et, positivement vers le zénith, les hauteurs de marée. Il est choisi en France comme **le niveau des plus basses mers astronomiques**. Il s'agit d'un niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement.

Le choix d'un zéro hydrographique au voisinage des plus basses mers est arbitraire, mais commode, car le marin est pratiquement toujours assuré de disposer d'au moins autant d'eau que ce qui est indiqué sur la carte. Ce choix est adopté depuis peu par les pays membres de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI), excepté le Japon, mais sa traduction dans les faits risque de prendre du temps, car de très nombreuses cartes sont à refaire. Il pose en outre un certain nombre de problèmes de réalisation pratique et d'accès, essentiellement d'ordre technologique. Aussi, le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) entreprend un examen critique du zéro hydrographique, et notamment des méthodes employées pour le déterminer. Ce travail s'effectue dans un contexte favorable, à la lumière des possibilités offertes par les techniques spatiales d'altimétrie radar (TOPEX/POSEIDON...) et de positionnement (GPS...).

L'article présente les motivations du sujet d'étude et passe en revue les techniques et les données qui sont a priori susceptibles de contribuer à résoudre les problèmes qui se posent. Nous décrivons ensuite l'état de l'art des méthodes traditionnelles employées pour déterminer le zéro hydrographique et pour réduire les sondages bathymétriques. Cette partie permet de mieux appréhender les problèmes.

Une nouvelle approche du problème de la détermination et de l'accès au zéro hydrographique est proposée. Elle met à contribution les techniques spatiales mentionnées ci-dessus. Nous présentons enfin les résultats d'un essai en rade de Brest qui a permis d'évaluer les capacités du GPS cinématique pour la réduction des sondages.

## 2. CONTEXTE ET MOTIVATIONS

Pourquoi entreprendre aujourd'hui un examen et un inventaire détaillés et critiques du zéro hydrographique, et en particulier des méthodes employées pour le déterminer ?

**a. Le besoin d'uniformiser et de supprimer la notion de zones de marée qui a pour origine une détermination historique et imparfaite du zéro hydrographique.**

Le zéro hydrographique est déterminé en pratique à partir des observations de marégraphie. Il est alors coté par rap-

port au repère principal du marégraphe. Une fois validée, la cote est adoptée définitivement, même si l'on s'aperçoit par la suite que, en raison de l'évolution du niveau des mers ou à cause d'une détermination initiale imprécise, elle ne correspond pas exactement au niveau des plus basses mers astronomiques. Afin de préserver la détermination du zéro, d'autres repères sont implantés à proximité du repère principal ou "fondamental". Ils sont rattachés les uns par rapport aux autres par nivellement. L'ensemble constitue les **repères de marée** de l'observatoire. Ils sont consignés dans une **fiche de marée** et ils matérialisent le zéro hydrographique. Dans la mesure du possible, ils sont également déterminés dans le système d'altitude du nivellement général, s'il existe.

Les zéros hydrographiques des ports français ont généralement été adoptés indépendamment les uns des autres à une époque où les moyens techniques ne permettaient pas une détermination précise du niveau des plus basses mers. Il en résulte que l'écart entre le zéro hydrographique et le niveau des plus basses mers peut varier entre deux zones de marée. Il est par exemple égal à 40 cm à Calais et nul à Dieppe.

Une **zone de marée** est définie par ses limites géographiques et un port de référence où le zéro hydrographique est déterminé. La détermination résulte à la fois de la tradition et d'observations de longue durée. Pour chaque port situé à l'intérieur de la zone, une relation de concordance permet de choisir un zéro hydrographique en accord avec celui du port de référence. Entre deux zones de marée adjacentes, des discontinuités peuvent exister. Elles ont cependant peu de conséquences pratiques pour la navigation car aussi bien les sondes portées sur les cartes que les hauteurs d'eau déduites de l'usage des "Annuaire des marées" sont données par rapport au zéro hydrographique. Ainsi, l'addition de la sonde et de la hauteur d'eau à un instant donné fournit la profondeur.

**b. Le problème de la réduction des sondages au large.**

La détermination du zéro hydrographique et, par suite, l'accès à celui-ci pour la réduction des relevés bathymétriques, est fondée sur la méthode de concordance entre le marégraphe d'un port de référence, le plus proche de la zone d'intérêt, et le marégraphe temporaire mouillé dans cette même zone pendant une période variable, généralement mensuelle.

Cette méthode donne des résultats satisfaisants dès lors que les données d'un port de référence sont disponibles à proximité de la zone de sondage pendant les opérations de sondage, de façon générale près de la côte. En revanche, des difficultés surviennent en s'éloignant au large et il est fréquent de constater des écarts de l'ordre de vingt centimètres entre deux opérations de sondage successives. L'origine de ces écarts réside en particulier dans la méthode d'accès au zéro hydrographique. En effet, la méthode de concordance suppose qu'il n'existe pas de pente de la surface moyenne de la mer entre le port de référence et le port temporaire. Or, de fait, nombreux sont les facteurs qui peuvent remettre en question la validité de cette hypothèse : les irrégularités du géoïde, la présence de courants permanents ou saisonniers, les effets stériques différentiels entre les deux ports, etc.

### c. Les nouveaux systèmes de navigation par satellites.

Les nouveaux systèmes spatiaux de navigation fournissent naturellement des positions dans un système de référence terrestre mondial et géocentrique. Le GPS, par exemple, fournit directement la hauteur, par rapport à l'ellipsoïde, d'un navire hydrographique convenablement équipé.

#### Quel système de référence adopté ?

Considérant les éléments exposés ci-dessus, l'Organisation Hydrographique Internationale propose d'adopter l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre comme référence verticale internationale, dans laquelle le zéro hydrographique sera exprimé. Le WGS84 a été mentionné, mais il soulève encore un certain nombre de commentaires et de polémiques.

Les qualités que l'on souhaite trouver dans le référentiel terrestre sont la précision, la stabilité et l'accessibilité. D'une part, le zéro hydrographique ne doit pas être remis en cause par des déterminations, ou des réalisations successives, du système de référence vertical choisi. D'autre part, l'accès doit être possible en tout point du globe et, si possible, indépendant du système spatial de positionnement.

Les progrès réalisés dans l'instrumentation et dans la modélisation des mesures et des corrections conduisent aujourd'hui à des réalisations de référentiels terrestres cohérents à environ 10 cm par les techniques de géodésie spatiale. Il s'agit principalement des techniques DORIS, GPS, SLR et VLBI, mais d'autres sont susceptibles de les rejoindre : PRARE, GLONASS. La précision du positionnement dans les repères géocentriques sous-jacents est toutefois meilleure, centimétrique, par exemple dans les ITRF successifs [Boucher et al, 1998]. Des erreurs de nature systématique sont responsables des écarts observés aujourd'hui entre les diverses réalisations, de l'ordre du décimètre. Elles sont actuellement modélisées par une similitude euclidienne à sept paramètres, qui est la forme générale de transformation entre deux repères orthonormés de l'espace affine euclidien. Une estimation précise de ces paramètres de transformation permet donc de se ramener de manière simple au repère choisi et de bénéficier de sa qualité intrinsèque.

La précision recherchée dans les sondes réduites au zéro hydrographique est meilleure que le décimètre. Aussi, le repère terrestre choisi doit avoir une qualité meilleure, centimétrique. Or, ces exigences ne semblent pas satisfaites par le WGS84, alors qu'elles le sont par l'ITRS. C'est principalement pour cela que l'association internationale de géodésie et l'Union Géodésique et Géophysique Internationale recommandent l'utilisation de l'ITRS à des fins scientifiques.

Dans le contexte décrit ici, le SHOM se propose d'étudier la définition et le rattachement du zéro hydrographique dans un référentiel terrestre, a priori l'ITRS, à travers l'une de ses réalisations ITRF, la meilleure au moment du choix, puis d'étudier l'accès à ce zéro hydrographique en vue d'exploiter les résultats dans la réduction des sondages bathymétriques.

Quelles sont les techniques et les données disponibles qui sont a priori susceptibles de contribuer à la problématique de la détermination et de l'accès au zéro hydrographique ?

**Les techniques de marégraphie.** Les marégraphes sont, nous l'avons vu, l'élément principal du processus employé

actuellement pour déterminer le zéro hydrographique et réduire les sondages bathymétriques. Ils fournissent typiquement des hauteurs d'eau horaires dans une référence locale définie par rapport à des repères matériels, les repères de marée, disposés au voisinage immédiat de l'observatoire. L'échantillonnage des mesures peut néanmoins être plus élevé, soit en réglant a priori les paramètres d'un marégraphe numérique, soit en numérisant a posteriori les **marégrammes** d'un marégraphe analogique, c'est-à-dire les courbes de marée enregistrées sur rouleau de papier.

**Les techniques de nivellement.** Le nivellement de précision, ou géométrique permet de déterminer les positions verticales relatives entre repères matériels. Il permet aussi de les rattacher au réseau national de nivellement. Les cotes des repères de marée sont ainsi obtenues et liées dans une même référence verticale.

**Les techniques de géodésie spatiale.** Les techniques GPS, DORIS, SLR ou VLBI sont à l'origine des réalisations actuelles de qualité du système de référence terrestre international (ITRS). Elles permettent de densifier le repère terrestre et, notamment, d'exprimer la position des repères de marée avec une précision a priori centimétrique par rapport à l'ellipsoïde.

**Les techniques d'altimétrie spatiale.** Les altimètres radar embarqués sur satellite, tels que ERS1, ERS2 ou TOPEX-POSEIDON, fournissent par construction des hauteurs d'eau dans un système de référence terrestre géocentrique. Des surfaces moyennes océaniques sont aujourd'hui produites dans le repère terrestre associé, c'est-à-dire par rapport à l'ellipsoïde.

**Les modèles de marée.** Une bonne connaissance des composantes de la marée en un lieu permet de calculer avec précision la relation entre le niveau moyen de la mer et le niveau des plus basses mers astronomiques, autrement dit le zéro hydrographique théorique.

Enfin, **les modèles de géoïde.** Les modèles de géoïde fournissent des hauteurs du géoïde par rapport à l'ellipsoïde d'un système de référence terrestre. Historiquement, le niveau de la mer a été utilisé pour définir le géoïde localement et établir l'origine des systèmes d'altitude des pays. Il faut savoir que cette approximation est toujours utilisée pour améliorer la qualité des modèles de géoïde en mer et réduire les erreurs systématiques de moyenne longueur d'onde que l'analyse des perturbations d'orbite des satellites actuels et la gravimétrie ne permettent pas de détecter. Une mission spatiale de satellite bas permettrait enfin de s'affranchir de ces erreurs de manière plus satisfaisante.

## 3. ÉTAT DE L'ART

### 3.1 Détermination du zéro hydrographique

Nous avons vu que le zéro hydrographique est situé au voisinage du niveau des plus basses mers astronomiques. Sa détermination passe par des observations de marégraphie et par l'analyse de celles-ci pour calculer les valeurs des différentes composantes de la marée au port d'observation. Ainsi, on déduit le niveau recherché des plus basses mers astronomiques et on le rapporte à un ensemble de repères

proches du marégraphe. Ces repères, dits de marée, et leurs cotes réalisent concrètement la référence du zéro hydrographique.

Les composantes de la marée sont d'autant mieux connues que l'analyse porte sur des observations continues qui couvrent une longue durée. L'idéal est d'avoir une série de 19 ans de mesures pour tenir compte de la modulation à longue période des composantes de la marée. Un an d'observation continue est considéré comme l'intervalle minimum pour obtenir des résultats suffisamment précis pour les besoins de la prédiction de marée à l'usage des navigateurs. On distingue ainsi :

- des **ports de référence**, équipés de marégraphes permanents ou ayant fait l'objet d'observations continues sur plusieurs années. Dans ces ports, la réalisation du zéro hydrographique est jugée satisfaisante, fidèle à la définition.
- et des **observatoires temporaires**. Ils présentent moins d'une année de mesures, la plupart du temps à peine un mois.

La durée d'observation des observatoires temporaires est insuffisante pour une détermination précise du niveau des plus basses mers astronomiques. Pour s'en convaincre, il suffit de se rappeler que le niveau des plus basses mers astronomiques est lié par définition au niveau moyen de la mer et de regarder une série temporelle de marégraphie de plusieurs années. Les fluctuations des niveaux moyens mensuels de la mer sont typiquement de plusieurs décimètres comme l'illustrent les graphiques de la figure 1, aussi bien en Méditerranée, à Marseille, que sur les côtes atlantiques, à Brest.

Le recours à la méthode de concordance avec un port de référence voisin, où le zéro hydrographique est correctement défini, est de ce fait indispensable. La concordance porte sur les basses mers mesurées dans les deux ports. Le zéro hydrographique du port secondaire est alors choisi de sorte que la droite de régression calculée par la méthode des moindres carrés passe par l'origine des coordonnées du port de référence. Ce zéro est ensuite coté par rapport à des repères matériels comme dans le port de référence.

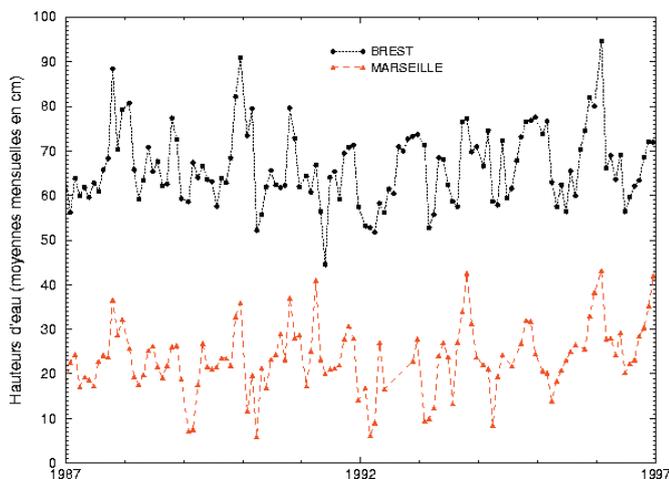


Figure 1 : Séries temporelles de niveaux moyens mensuels des marégraphes de Brest et de Marseille [1987-1997]. (Les origines sont décalées arbitrairement)

La plupart des zéros hydrographiques ont été établis dans le passé, à des dates différentes d'un port à l'autre, suivant les besoins de la navigation et avec les moyens disponibles au moment de la réalisation. Aussi, les hydrographes français, soucieux de la sécurité des navigateurs, et peut-être un peu méfiants des méthodes qu'ils appliquaient et/ou de leurs propres résultats, ont souvent pris une marge de sécurité et ont coté le zéro hydrographique en dessous des plus basses mers qu'ils avaient calculées. Par ailleurs, il convient de se rappeler que le niveau moyen de la mer varie dans l'espace et à long terme dans le temps. Certes les séries temporelles de moyennes annuelles montrent une variabilité moindre que les séries mensuelles sur une dizaine ou une vingtaine d'années, de l'ordre du décimètre, mais à plus long terme il n'est pas rare d'observer des variations de quelques décimètres.

Quelle que soit l'origine d'une réalisation imparfaite du zéro hydrographique, évolution du niveau moyen de la mer, mauvais choix de l'hydrographe, ou changement de régime des marées, celle-ci est maintenue sauf cas très exceptionnel où l'écart avec la définition théorique devient inacceptable, soit parce qu'il atteint à la sécurité des navigateurs, soit parce qu'il devient une entrave pour le commerce maritime. Les exemples récents de Saint-Nazaire et de Brest illustrent ces cas exceptionnels [SHOM, 1994].

### 3.2 Réduction des sondages bathymétriques

#### 3.2.1 Principes

Les navires hydro-océanographiques mesurent les profondeurs à l'aide de sondeurs acoustiques. Les mesures sont des mesures de temps de propagation aller-retour de l'onde sonore. Elles sont traduites en distance entre le sondeur et la topographie sous-marine en tenant compte, si possible, des variations de la célérité du son dans la colonne d'eau traversée par le faisceau, de l'inclinaison du faisceau et de l'attitude du bateau (roulis, tangage). Cette distance peut être rapportée au niveau instantané de la mer à l'instant de mesure en appliquant une correction de tirant d'eau, dite **accroupissement** du navire (effets de vitesse) sont pris en compte.

Les sondes portées sur les cartes marines ne sont cependant pas ramenées au niveau instantané de la mer pour des raisons évidentes : ce niveau varie avec le temps. Le navigateur ne pourrait pas exploiter directement l'information de la carte. Aussi, la mesure de profondeur est décomposée en deux parties ramenées à un niveau de référence plus stable, le zéro hydrographique. La partie fixe correspond à la sonde inscrite sur les cartes marines et la partie variable représente la hauteur d'eau à un instant donné par rapport au zéro hydrographique. Cette hauteur dépend en premier lieu de la marée. Plus rigoureusement, elle dépend aussi des effets météorologiques et climatiques. Un navigateur muni d'une carte marine et d'un annuaire des marées est donc en principe capable d'estimer la hauteur de la colonne d'eau présente sous son navire aux effets météo près.

#### 3.2.2 Réduction par marée observée

La hauteur d'eau mesurée en un port de référence s'exprime par rapport au zéro hydrographique, adopté et fixé par rap-

port à des repères matériels à une époque donnée. Nous pouvons distinguer dans cette hauteur les contributions de la marée et des effets météorologiques. La marée dépend de la date et du lieu. Toutefois, une simplification géographique est possible : à un instant donné, la marée est supposée identique sur une zone donnée, appelée **zone élémentaire de marée**, d'étendue assez variable, laissée à l'appréciation du directeur de la mission hydrographique. Cette hypothèse de travail en bathymétrie comprend implicitement les effets météorologiques. De plus, on suppose que la surface moyenne de la mer ne présente pas de pente. Les éventuels effets stériques différentiels, courants géostrophiques, ondulations du géoïde, upwellings, sont ignorés. Cette simplification est très raisonnable dans la zone élémentaire de marée. Ainsi, les relevés bathymétriques réalisés à proximité d'un port de référence sont réduits au zéro hydrographique en retranchant aux sondes les hauteurs d'eau observées au marégraphe du port de référence et en appliquant des corrections de tirant d'eau dynamique.

Dès lors que l'hypothèse de base est remise en question dans une zone côtière de relevé bathymétrique, un travail préalable important consiste :

- (a) à implanter un marégraphe temporaire à proximité de la zone de sondage, si possible dans un port ;
- (b) à construire un zéro hydrographique par concordance avec le port de référence voisin.

### 3.2.3 Réduction par modèle harmonique

Le mode opératoire décrit ci-dessus est parfois appliqué au large, à ceci près que l'on utilise des marégraphes immergés et qu'il n'est bien entendu pas possible de poser des repères de marée. L'accès ultérieur à cette référence de réduction des sondages est par conséquent difficile.

Hors des zones élémentaires de marée et loin des points de mesure, le processus de réduction des sondes passe par l'utilisation d'un modèle de marée. Celui-ci comprend les constantes harmoniques des composantes de la marée en un certain nombre de points. Lorsque le point coïncide avec un port de référence ou un observatoire temporaire, les valeurs des constantes sont identiques (elles ont servi en pratique à caler le modèle). Plus généralement, les constantes harmoniques de la marée sont obtenues en tout point par interpolation entre les points où elles sont connues. Elles permettent de prédire les hauteurs d'eau aux points de relevé bathymétrique.

La correction des sondages est ensuite affinée par le report des effets météorologiques et de l'écart entre le zéro hydrographique et le niveau des plus basses mers théoriques. Ces quantités sont estimées au port le plus proche de la zone d'intérêt. L'écart entre la marée prédite et la marée observée par le marégraphe est attribué aux effets météorologiques.

Il n'est pas rare d'observer des écarts de vingt centimètres entre deux campagnes de bathymétrie sur une même zone. De nombreuses sources d'incertitude affectent la correction de hauteur d'eau : outre les défauts du modèle de marée, des erreurs systématiques peuvent venir des quantités estimées au port et qui sont reportées au lieu de sondage. Tant

que le sondeur bathymétrique se trouve à proximité d'un port de référence, près de la côte, cette approche donne de bons résultats. Mais dès que la distance avec le port de référence augmente, les sources d'incertitude augmentent aussi. D'une part, les effets météorologiques ne sont plus vraiment identiques. D'autre part, le niveau moyen de la mer peut être différent d'une période de sondage à l'autre (effets saisonniers, climatiques, hydrodynamiques... cf. figure 1).

## 4. UTILISATION DES TECHNIQUES SPATIALES

### 4.1 Vers une surface globale du zéro hydrographique

L'idée est de déterminer et de fixer une fois pour toutes la position du zéro hydrographique en tout point par rapport à l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre mondial de qualité, tel que l'ITRS. Dès lors qu'une telle cartographie de la surface du zéro hydrographique est disponible, le problème de la réduction des sondages se simplifie à l'utilisation d'une technique de positionnement spatiale précise dans le référentiel terrestre en question, a priori la même technique qui sert au positionnement horizontal des traces du sondeur. Aujourd'hui les méthodes de positionnement privilégiées sont fondées sur le traitement des mesures GPS, mais l'approche est indépendante et rien n'exclut des nouveaux systèmes de positionnement tels que GLONASS ou GNSS.

L'application de la nouvelle approche à la bathymétrie s'affranchit des problèmes de mouillage de marégraphe et des erreurs systématiques liées aux méthodes de transfert des effets météorologiques et des écarts entre zéro hydrographique et niveau des plus basses mers. Elle s'affranchit aussi de certains effets dynamiques du navire hydro-océanographique, sources additionnelles d'erreur systématique dans la réduction des sondes (cf. les essais en rade de Brest).

Pour des raisons purement technologiques, liées aux limites actuelles de l'altimétrie spatiale, la nouvelle approche distingue deux cas de figure suivant que l'on se trouve près de la côte ou pas. En effet, les altimètres radars sont mis en veille ou changent de mode à l'approche de la limite entre la mer et le continent. Le résultat est l'absence de mesures sur une bande côtière d'une dizaine, voire une vingtaine de kilomètres. Notons que toutes nos figures confondent la réalisation du zéro hydrographique avec le niveau des plus basses mers pour ne pas surcharger le dessin.

#### 4.1.1 Près de la côte

L'approche près de la côte est illustrée dans la figure 2. Elle consiste à déterminer la position des repères de marée où le zéro hydrographique est défini en utilisant par exemple le GPS en mode géodésique, voire en mode cinématique. La hauteur ellipsoïdale du zéro hydrographique est ainsi obtenue avec une précision centimétrique dans le référentiel terrestre souhaité, par rapport à l'ellipsoïde choisi.

L'approche pour réaliser le zéro hydrographique en mer, près de la côte, repose toujours sur la méthode de concordance et ses hypothèses. Les essais menés en rade de Brest montrent que le GPS remplace avec succès l'utilisation d'un marégraphe temporaire dans la zone de sondage bathymétrique.

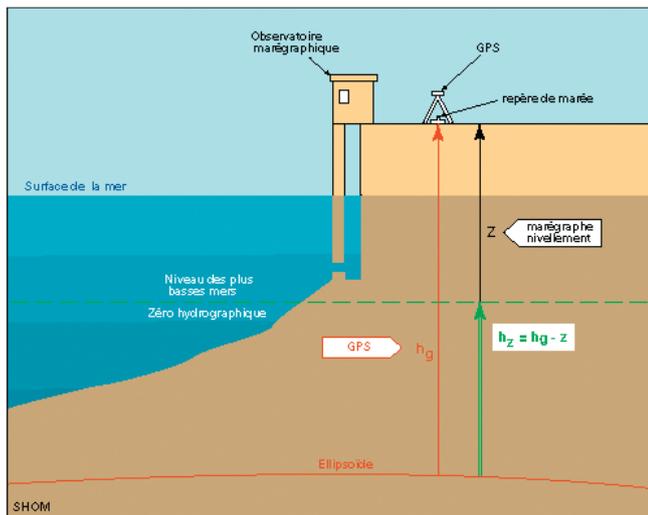


Figure 2 : Détermination du zéro hydrographique près de la côte par rapport à l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre en utilisant le GPS

Le zéro hydrographique est déterminé au port ou en mer indépendamment des relevés bathymétriques. Les résultats se présenteront a priori sous forme d'un maillage de points, matériels ou pas, où le zéro hydrographique sera exprimé et fixé par rapport à l'ellipsoïde. L'exploitation pour la réduction des sondages est décrite ci-après dans la section 2. Elle est commune à l'approche côtière ou au large, indépendante donc de la détermination du zéro hydrographique.

#### 4.1.2 Au large

L'idée pour déterminer et fixer le zéro hydrographique par rapport à l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre est de passer par la surface moyenne de la mer, connaissant par modèle de marée la relation entre le niveau des plus basses mers et le niveau moyen de la mer. Aujourd'hui, de nombreuses équipes dans le monde proposent de telles surfaces dérivées de l'exploitation des observations d'altimétrie spatiale. Le SHOM s'investit aussi dans l'étude de ces surfaces. Or, les observations d'altimétrie spatiale sont par construction exprimées par rapport à l'ellipsoïde d'un système de référence terrestre mondial, conséquence des techniques d'orbitographie du satellite.

La figure 3 décrit comment à partir d'une telle surface moyenne de la mer nous pouvons déterminer la surface du zéro hydrographique, plus précisément le niveau des plus basses mers astronomiques. Il vient la relation suivante, donnant la hauteur ellipsoïdale du zéro hydrographique en tout point de la mer :

$$h_z = (h_s - D) - Z$$

C'est le modèle de marée qui permet de passer du niveau moyen de la mer au niveau des plus basses mers (grandeur  $Z$ ). Il convient à ce stade de noter que, suivant le type de modèle utilisé, la relation est établie avec le géoïde ou avec le niveau moyen de la mer selon que le modèle inclut des facteurs hydrodynamiques ou pas. Mais l'approche reste

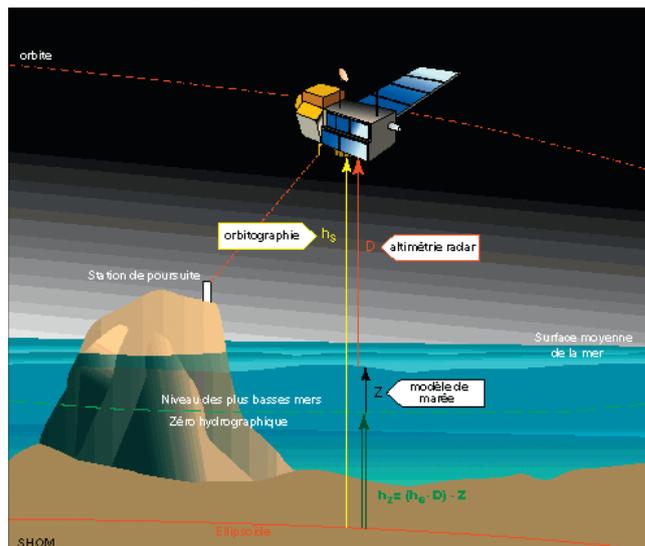


Figure 3 : Détermination d'une surface globale du zéro hydrographique par le biais de l'altimétrie spatiale

valable et le choix final de la surface intermédiaire pour arriver à notre fin est encore à étudier à la lumière des performances de chacune des options et des avantages que l'on pourrait en tirer pour la réduction des sondages bathymétriques. Rappelons toutefois que l'écart entre le géoïde et la surface de la mer provient principalement des effets dynamiques des courants marins, mais aussi des effets stériques dus à la température et à la salinité de l'eau.

L'objectif est aussi de choisir une réalisation du zéro hydrographique au large qui reste cohérente avec sa réalisation à terre afin d'éviter les discontinuités. La liaison entre les résultats au large et près de la côte peut se faire en prolongeant la surface moyenne de la mer par interpolation entre les points déterminés par altimétrie spatiale et ceux déterminés par marégraphie côtière et GPS. Il faut bien garder à l'esprit dans ce travail que la fonction de transfert entre le signal observé au large par altimétrie et celui qui est observé près de la côte par les marégraphes est loin d'être simple en général.

#### 4.2 Application à la bathymétrie

La motivation principale de ce qui précède est d'appliquer directement les méthodes GPS de positionnement aux relevés bathymétriques et d'obtenir avec une précision comparable, sinon meilleure, la hauteur des sondes par rapport à un niveau de référence, le zéro hydrographique, relié à l'ellipsoïde.

La figure 4 montre de façon schématique comment seront exploitées, dans la réduction des relevés bathymétriques, les données GPS et la surface du zéro hydrographique exprimée par rapport à l'ellipsoïde d'un référentiel terrestre. On en déduit la sonde réduite :

$$S_r = h_z - T$$

$$S_r = h_z - (h_g - C - S)$$

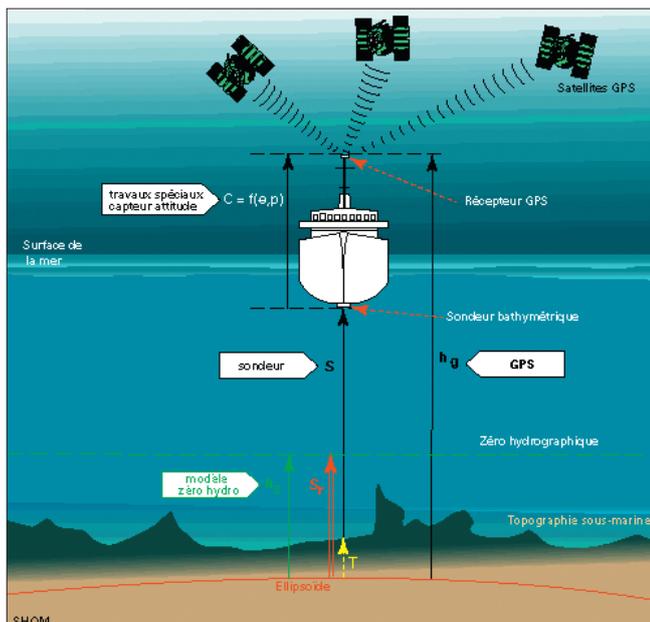


Figure 4 : Exploitation de la détermination du zéro hydrographique dans un référentiel terrestre pour la réduction des sondages par GPS

Le GPS et les capteurs d'attitude du navire permettent d'exprimer les sondes au-dessus de l'ellipsoïde du repère de référence terrestre souhaité. Il suffit alors de retrancher la hauteur du zéro hydrographique au point de la sonde, connue par ailleurs dans ce même repère terrestre.

## 5. EXPÉRIENCE EN RADE DE BREST

### 5.1 Description de l'expérience

La Mission Océanographique de l'Atlantique a procédé en avril 1998 à un essai du récepteur GPS ASHTECH Z12 en mode cinématique temps réel dans la rade de Brest. L'objectif était d'évaluer la possibilité de retrouver la marée à partir de la position verticale d'un porteur flottant localisé par GPS.

Les figures 5 et 6 décrivent le dispositif expérimental déployé en rade de Brest. Deux récepteurs GPS ASHTECH Z12, dotés d'une capacité temps réel, ont été utilisés :

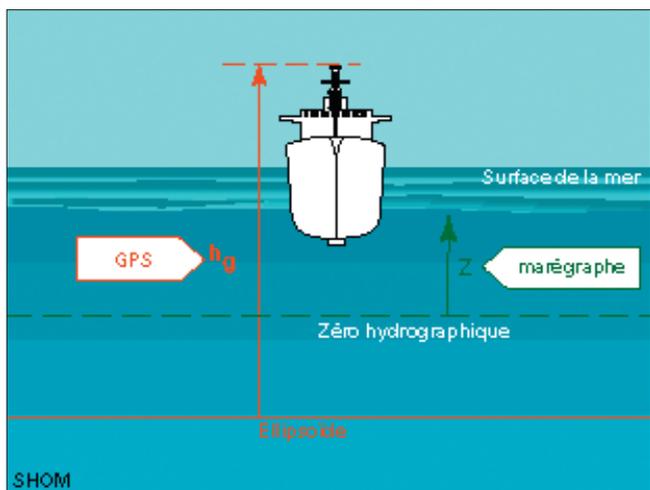


Figure 5 : Détermination du zéro hydrographique au-dessus de l'ellipsoïde par comparaison au marégraphe du port de référence

1. la station GPS de référence était installée dans le port de Brest,
2. le second GPS était à bord de la vedette, antenne sur le toit, avec une cadence d'acquisition de 1 seconde.

Une liaison radioélectrique assurait la transmission en temps réel des informations GPS, permettant un positionnement en mode cinématique avec une précision centimétrique par rapport à la station de référence. Pour l'expérience, la cadence d'acquisition du marégraphe côtier numérique (MCN) de Brest était réglée à un enregistrement toutes les 2 minutes.

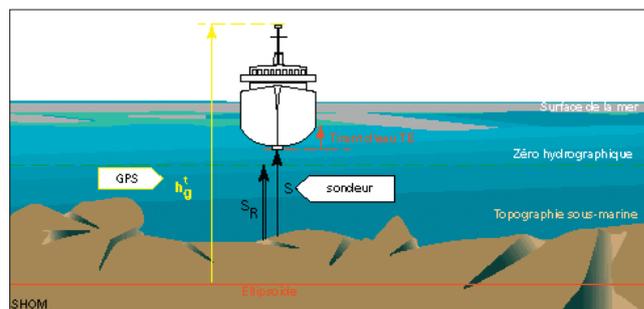


Figure 6 : Application à la réduction des sondages

### 5.2 Analyse des données

Les hauteurs ellipsoïdales déterminées par GPS sont rapportées à la même référence que les observations de marée en comparant à tout instant les différences de leurs résultats respectifs :

$$C_{\phi} = h_g - Z$$

Un écart de 2,147 m a été trouvé avec une précision meilleure que 2 cm. Ce résultat a été adopté pour recalibrer les observations GPS. Nous obtenons ensuite la correction de hauteur d'eau par GPS à tout instant au-dessus du zéro hydrographique :

$$Z_g^t = h_g^t - C_{\phi}$$

Les sondes réduites sont alors obtenues à partir de la relation suivante :

$$S_r = S + TE - Z_g^t$$

La présence d'un bruit de l'ordre de 7 à 8 cm a conduit à lisser les hauteurs GPS sur deux minutes. Ce bruit a pour origine les mouvements de l'antenne : roulis, tangage, enfoncement dû à la vitesse de la vedette... La marée GPS lissée se présente moins régulière que la marée enregistrée par le MCN. L'analyse des données montre l'influence non négligeable de la vitesse et de l'accélération du porteur, en fonction desquelles la vedette a tendance à s'enfoncer plus ou moins.

Cet enfoncement bien réel de l'antenne GPS est également subi par le sondeur bathymétrique, montrant l'intérêt d'observer la hauteur par GPS. La détermination de la correction de marée par GPS cinématique permet également de com-

penser l'évolution du tirant d'eau du porteur. L'enfoncement observé dans le cadre de l'essai semble atteindre une dizaine de centimètres lorsque la vedette passe de 0 à 8 noeuds.

### 5.3 Résultats de l'essai

En mer, sur une zone géographique restreinte, dans le cas d'un levé portuaire par exemple, on peut considérer constante la différence entre le zéro hydrographique et l'ellipsoïde de révolution du référentiel terrestre.

La hauteur verticale mesurée par GPS cinématique à bord d'une vedette ne représente pas exactement la marée. Au bruit de mesure et aux mouvements de fréquence élevée de l'embarcation, que l'on peut fortement réduire par simple lissage, se superpose notamment l'enfoncement de la vedette en fonction de sa vitesse. Ainsi :

1. la précision de la marée par GPS, une fois réduite et lissée, est estimée à quatre centimètres. Elle est estimée par comparaison à celle des données du marégraphe.
2. la donnée du marégraphe n'intègre pas l'enfoncement de la vedette contrairement à la marée GPS. L'effet peut cependant atteindre la dizaine de centimètres et conduit à une erreur systématique des sondes.

Dans le cas d'un levé bathymétrique portuaire, restreint à une zone de faible étendue, l'utilisation du GPS par conditions de mer favorables semble très prometteuse pour la réduction des sondages. Elle a notamment l'avantage de prendre en compte l'enfoncement de la vedette hydrographique, en même temps que l'effet de la marée. La mise en oeuvre passe par un calage préalable de la hauteur de l'antenne GPS par rapport au zéro hydrographique. Il suffit pour cela de réaliser des observations simultanées au GPS et à l'échelle de marée. Le lissage des résultats GPS est par ailleurs nécessaire pour réduire le bruit de mesure.

Dans le cas d'un levé au large ou sur des zones étendues, l'utilisation du GPS nécessite la connaissance du décalage variable dans l'espace entre le zéro hydrographique et l'ellipsoïde : un modèle permettrait d'utiliser le GPS pour ramener les sondes au zéro hydrographique.

### 6. PERSPECTIVES

L'objet de cet article était de faire le point sur les problèmes actuels rencontrés en hydrographie dans la réduction des sondages bathymétriques à une référence verticale particulière, le zéro hydrographique, et de présenter les nouvelles possibilités techniques qui méritent d'être examinées. De nombreuses questions restent encore à étudier pour déterminer les performances des nouvelles approches et pour mettre en place les processus d'application pratique, mais les quelques résultats préalables sont encourageants.

La précision recherchée dans la réduction des sondages est meilleure que la dizaine de centimètres. Les zones d'intérêt premier pour le SHOM couvrent en gros la Manche, le sud de la Mer du Nord et le plateau continental à l'ouest des côtes de France jusqu'aux fonds de 200 m.

Le SHOM se propose d'étudier en partenariat avec le laboratoire LAREG de l'IGN l'utilisation du RGP (Réseau GPS

Permanent) afin de déterminer le zéro hydrographique dans l'ITRS en quelques ports de référence de France. Les résultats du projet pilote concernent quatre ou cinq stations en 1999, mais l'objectif est à terme d'appliquer la méthode à l'ensemble des ports de France. Ce projet s'appelle GITAM (GPS ITinérant Appliqué aux Marégraphes).

### 7. RÉFÉRENCES

**BOUCHER C., Z. ALTAMIMI and P. SILLARD [1998]** : "Results and Analysis of the ITRF96". IERS Technical Note 24, May 1998.

**MARCEAU G., B. MORSE, G. BOUCHARD, R. SANTERRE, D. Parrot et E. Roy [1996]** : "Application du GPS et l'approche On-The-Fly en temps réel pour les relevés bathymétriques". *Lighthouse*: Edition 53, spring 1996, pp. 15-20.

**NIMA [1997]** : "Department of Defense World Geodetic System 1984. Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems". NIMA Technical Report TR8350.2, Third Edition, 4 July 1997.

**OHI [1996]** : Rapport du groupe de travail de l'OHI sur les marées. Monaco, 22-25 avril 1996.

**SHOM [1994]** : *La lettre du S.H.O.M. aux navigateurs*, n°11, décembre 1994, pp.6-8.

**SHOM [1998]** : *Annales des marées* pour l'année 2000. Tome 1: Ports de référence.

**SIMON B. [1990]** : "Calcul de la marée au large pour la correction des sondages", *Revue Hydrographique Internationale*, Volume LXVII (2), juillet 1990.

**SIMON B. [2007]** : "Références de hauteur en hydrographie, *Annales Hydrographiques*, 6<sup>e</sup> série-Vol.4, N° 773.

**WELLS D., A. KLEUSBERG and P. VANICEK [1996]** : "A Seamless Vertical - Reference Surface". University of New Brunswick Tech. Report # 179, prepared for the Canadian Hydrographic Service, February 1996.

**WÖPPELMANN G. [1997]** : "Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale". Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris, soutenue le 23 juin 1997.

# CREATION OF VERTICAL REFERENCE SURFACES AT SEA USING ALTIMETRY AND GPS

by

L. Pineau-Guillou, French Hydrographic and Oceanographic Service, 13 rue du Chatellier, CS 92803 29228 Brest Cedex 2, France

and

L. Dorst, Hydrographic Service of the Royal Netherlands Navy, Van der Burchlaan 31, 2597 PC, The Hague, Netherlands

## **ABSTRACT**

*The creation of vertical reference surfaces at sea, related to a reference ellipsoid, is a necessary step to enable the use of GPS (Global Positioning System) for referencing depth measurements at sea. Several projects exist for specific parts of the oceans, resulting in surfaces that partly overlap. As an example, we will present the French BATHYELLI project in detail, followed by a comparison of results for the North Sea area.*

## **RÉSUMÉ**

La création des surfaces de référence verticale en mer, en particulier le zéro hydrographique par rapport à l'ellipsoïde, est une étape nécessaire pour permettre d'utiliser le GPS pour référencer les sondages hydrographiques, mais également pour connecter les références marines (zéro hydrographique) et terrestre (IGN69). Divers projets sont développés à travers le monde, et parfois les surfaces calculées se chevauchent. A titre d'exemple, l'article présente en détail le projet français BATHYELLI, suivi d'une comparaison des résultats obtenus par les différents services hydrographiques en Manche et Mer du Nord.



## 1. INTRODUCTION

The BATHYELLI project (for BATHYmetry referred to the ELLipsoid) is a set of models of reference surfaces at sea around the French coasts, and a computer program allowing for the transformation of data between one reference and another. The vertical reference surfaces included in this project are: Mean Sea Level (MSL) on the period of tide gauge measurements and on the period of spatial altimetry, Lowest Astronomical Tide level (LAT), Chart Datum (CD), ellipsoid, Land Datum (IGN69 in France) and geoid. In the BATHYELLI project, the surfaces MSL, LAT and CD have been computed with respect to the GRS80 ellipsoid.

The BATHYELLI project results will allow for Ellipsoidally Referenced Hydrographic Surveys (ERS) with GPS around the French coasts, avoiding tidal and meteorological corrections. It will also allow for the merging of land and sea, moving from a marine to a terrestrial reference. And, finally, it will allow for a comparison with similar surfaces realised by other countries.

## 2. TECHNICAL DEVELOPMENTS

### 2.1 Methodology

The methodology is based on Mean Sea Level computation; other surfaces (LAT, CD) are easily deduced by tidal modelling and the defined relations between LAT and CD.

The Mean Sea Level is obtained using several techniques (see Fig. 1) :

- spatial altimetry provides the Mean Sea Level far off the coasts. Close to the coasts, the Mean Sea Surface is not well calculated due to technical limitations. Because of excessive errors, these results cannot be used at less than 10 miles offshore ;
- tidal observations analysis provides Mean Sea Level on coastal sites. SHOM is responsible for the French Sea Level Observation Network, which includes 30 permanent tidal gauges along french metropolitan coasts, in addition to temporary tidal gauges ;

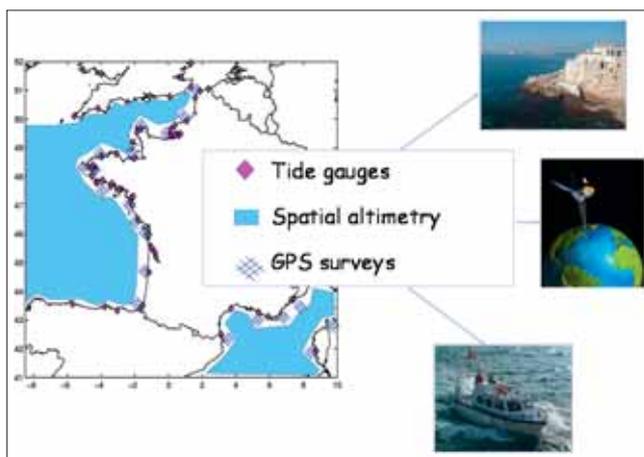


Fig. 1 Methodology to compute Mean Sea Level: interpolation of tide gauges, spatial altimetry and GPS data

- to fill the gap between altimetry and tide gauge data, SHOM has planned surveys to measure the Mean Sea Level with reference to the ellipsoid using kinematic GPS.

The data sets resulting from altimetry, GPS surveys and tide gauges have been interpolated in a joint study carried out by SHOM and a company called Noveltis, for computing Mean Sea Level with a high associated precision, calculated explicitly. The data sets have been merged by a least squares method with covariance functions; see Jan (2009).

### 2.2 Spatial Altimetry

The currently available Mean Sea Surface is not fully satisfying for hydrographers, because the global tidal model used is not precise enough, and the water levels are corrected for the inverse barometer effect. Therefore, an alternative surface has been computed, called Hydrographic Mean Sea Surface.

The differences between Hydrographic Mean Sea Surface and usual Mean Sea Surface are:

- the tidal model used is the SHOM tidal model, instead of a global model, showing differences up to 25 cm,
- the Hydrographic Mean Sea Surface does not coincide with the geoid,
- water levels are not corrected for the inverse barometer effect, for consistency with tide gauge processing; indeed, meteorological cyclic effects are a part of the tides, called radiational tide (contributing to harmonic constituents like  $S_a$ ,  $S_{sa}$  or  $S_1$ ).

The Hydrographic Mean Sea Surface, and associated precision, were computed in 2007 in a joint study carried out by SHOM, the Toulouse-based company CLS, and La Rochelle University, see Lefèvre and *al.* (2007). Altimetry data were processed between 1992 and 2005, from Topex/Poseidon, ERS1, ERS2 and GFO. The Hydrographic Mean Sea Surface is shown in Fig. 2.

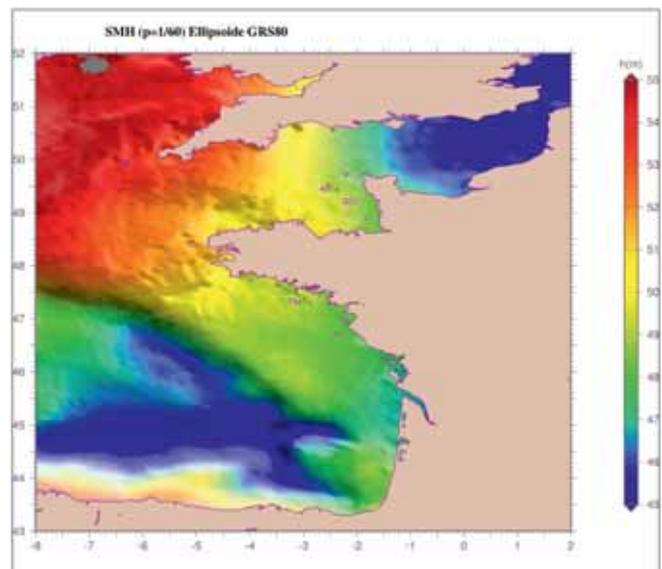


Fig. 2 Hydrographic Mean Sea Surface with respect to the GRS80 ellipsoid

### 2.3 GPS surveys

A GPS survey campaign has been run by SHOM in about 20 sites along the French coasts and is now complete. The surveys were planned between 2006 and 2008. The survey locations are shown in Fig. 3.

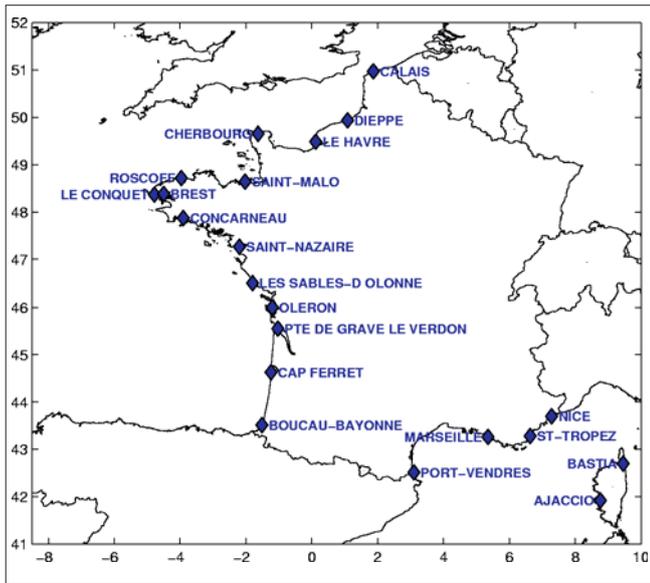


Fig. 3 2006 - 2008 GPS survey campaign locations

For each site:

- a precise determination of Chart Datum at the tide gauge (fixed mark nearby the tide gauge) is made using a long GPS acquisition (at least 24 hours, 48 hours recommended); this operation is very important to ensure a precise MSL referred to the ellipsoid at the tide gauge;
- a GPS reference station is installed as close as possible to the tide gauge;
- another GPS station is installed on board of a SHOM ship or launch (see Fig. 4), followed by a calibration procedure that allows for a precise computation of antenna height to take dynamic draught into account;
- the surveys are conducted using PPK differential GPS (centimetre accuracy); the survey generally extends about 15 nautical miles around the tide gauge and takes about 3 days; an example of a GPS survey is shown on Fig. 5;
- GPS data and attitude data are registered during the surveys.

The survey procedure is described in more detail in Pineau-Guillou and Dupont (2007).



Fig. 4 SHOM ships and launches for GPS survey campaign



Fig. 5 GPS survey around Brest

The GPS data are post-processed, filtered, corrected for ship motions (pitch, roll and yaw), antenna height, surges, and the tides in order to compute the Mean Sea Surface related to the ellipsoid. An example of the processed GPS data is presented in Fig. 6.

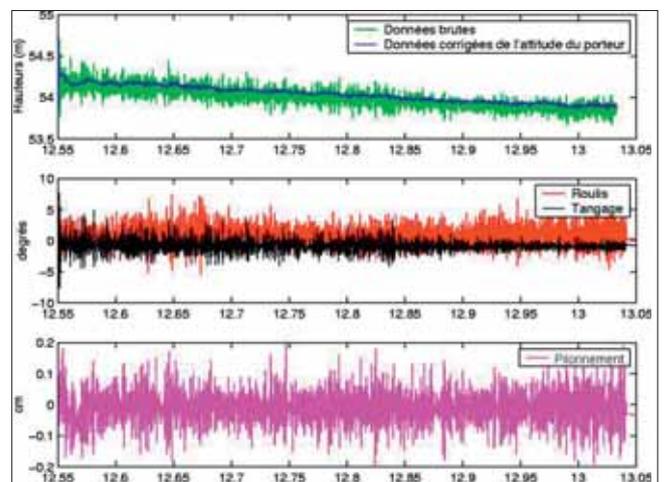


Fig. 6 Example of processed GPS data

The accuracy of each survey is evaluated:

- the “consistency” of the survey is the difference between the MSL at tide gauge and the MSL determined by GPS nearby the tide gauge. This difference must be at the centimeter level, it ensures that the antenna height has been correctly computed;
- the “precision” of the survey is the averaged difference (and its associated standard deviation) at the track intersections.

It is important to correct the data for ship motions during the survey. Attitude data are systematically recorded by a motion sensor. GPS data are corrected using ship motions, only when it is more appropriate than filtering (default method). Even if meteorological conditions are very good, the average roll and pitch of a vessel are not always zero. For example, they can reach 3 or 4 degrees. Not taking into account attitude data in such a case can cause a 15 cm bias in the results.

The antenna height must be calculated very precisely above the instantaneous sea level. This height depends on the vessel speed, as it modifies the draught of the vessel. Different tests show a draught variation of about 1 cm per knot, even at low speeds.

The survey must be conducted at a constant speed and the antenna height must be determined at this very speed.

The reference station must be positioned nearby the tide gauge in order to avoid a bias between MSL computed by GPS and MSL at tide gauge. Generally, the reference station is installed on the tide mark, where the ellipsoidal height has been precisely determined in ITRS.

### 3. RESULTS

#### 3.1 GPS surveys

An example of Mean Sea Level surface from GPS around Bastia is shown in Fig. 7. MSL varies from 47.3 to 48.5 metres. The survey “precision” is 3 cm, with a standard deviation of 2 cm, which is really satisfying. The survey “consis-

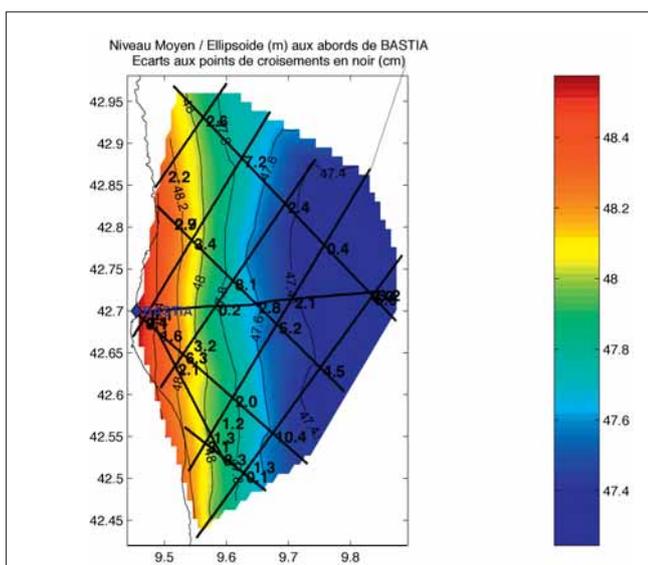


Fig. 7: Mean Sea Level related to ellipsoid around Bastia, France

“consistency” is better than 1 cm, which ensures that antenna height was correctly computed.

The MSL-variation is larger than 1 metre on 15 nautical miles, and this variation is nonlinear. This confirms that GPS surveys will really help the interpolation between tide gauges and altimetry.

The values of precision, consistency, and survey period for all the surveys are shown in Table 1.

**Table 1:** Survey locations, precision (cm), consistency (cm) and period.

Location	Precision Mean / Std (cm)	Consistency (cm)	Period
Bastia	3,0 / 2,4	<1	May 16 – 18, 2007
Le Havre	8,4 / 6,8	3,7	May 21 – 23, 2007
Saint-Malo	7,6 / 6,6	<1	July 17 – 18, 2007
Marseille	4,7 / 3,7	1	July 23 – 25, 2007
Brest	2,5 / 1,8	3	July 9 – 11, 2007
Sables d’Olonne	6,2 / 3,7	9	Sept. 20 – 23, 2007
Saint-Nazaire	6,8 / 2,9	2	Sept. 18 – 19, 2007
Oléron	6,8 / 4,7	1,5	June 6 – 8, 2007
Port-Vendres	8,0 / 4,6	3	Oct. 25 – 27, 2007
Concarneau	6,3 / 3,5	11 (for 5 Nm)	Sept. 17 – 19, 2007
Bayonne	3,0 / 1,8	Not computed	July 13 – 17, 2006
Cap Ferret	5,6 / 4,9	Not computed	Feb. 23 – 24, 2008
Pointe de Grave 2007	5,0 / 0,4	7,4	Sept. 27 – 28, 2007
Pointe de Grave 2008	11,5 / 9,6	Not computed	Feb. 15 – 21, 2008
Dieppe	4,3 / 3,1	<1	May 25 - 26, 2007
Roscoff	4,0 / 4,0	1	Nov. 09 – 11, 2007
Cherbourg	8,9 / 5,2	6,3	Nov. 03 – 08, 2007
Saint-Tropez	5,5 / 4,2	<1	Oct. 08 – 11, 2007
Le Conquet	6,2 / 4,1	2	Nov. 11 – 13, 2007 June 30 – July 2008
Mean	6,6 / 4,6	2,9	

### 3.2 Vertical reference surfaces

The data have been interpolated on a finite element grid, see Jan (2009). The LAT surface, which is seamless, is shown in Fig. 8. CD, which is not seamless, and its associated error are shown in Fig. 9 and Fig. 10.

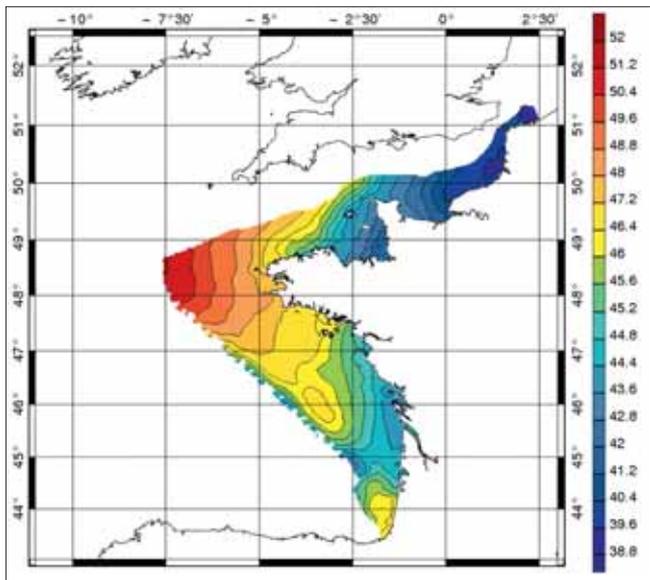


Fig. 8 LAT referred to ellipsoid (m)

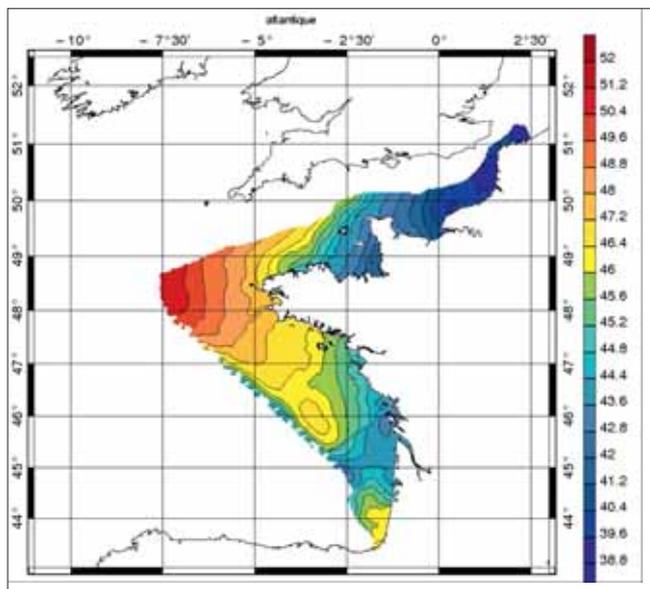


Fig. 9 Chart Datum referred to ellipsoid (m)

### 3.3 Comparison with results in the North Sea area

The Tidal Working Group of the IHO (International Hydrographic Organization) North Sea Hydrographic Committee (NSHC) took the initiative to evaluate differences between the overlapping projects for the North Sea region. The result, constructed by the Hydrographic Service of the Royal Netherlands Navy, is a set of merged surfaces, to be used as a common LAT-level, MSL, and Chart Datum, see NSHC Tidal Working Group (2010) and Dorst and *al.* (2010).

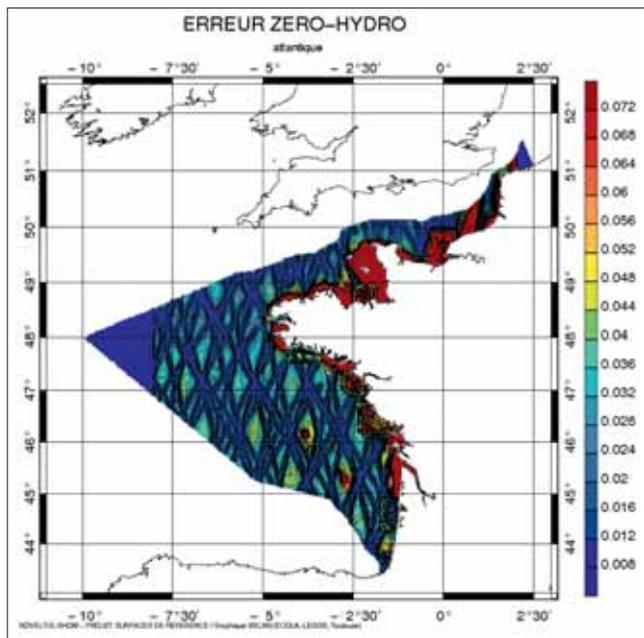


Fig. 10 Error associated to Chart Datum computation (m)

Data sets referred to the ellipsoid collected from Belgium, Germany, France, Netherlands and UK have been interpolated to a grid of 0.02° for both Easting and Northing. Denmark and Norway only have data available at specific coastal locations.

MSL, LAT and Chart Datum referred to the ellipsoid are shown in Fig. 11, Fig. 12, and Fig. 13.

At maritime boundaries, differences for MSL and LAT are less than 0.6; for Chart Datum, differences are less than 0.8 m.

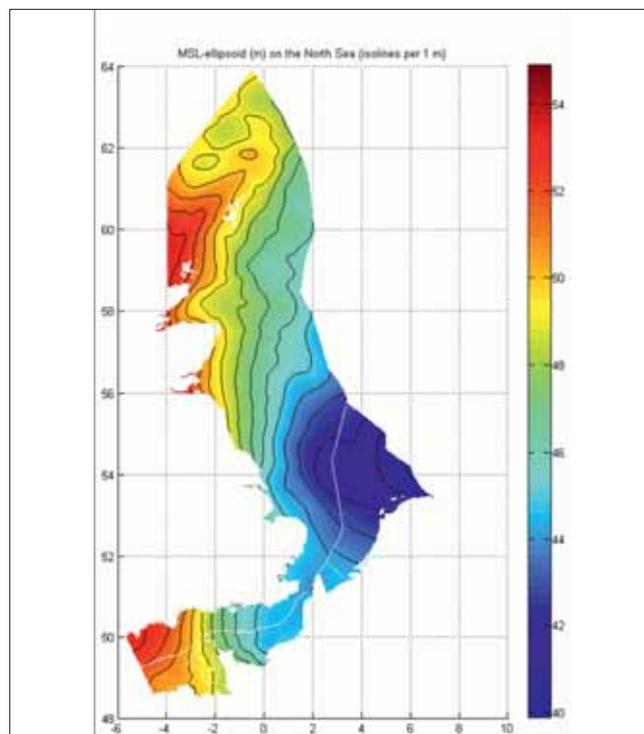


Fig. 11 MSL surface in relation to the ellipsoid, including one metre isolines in black and maritime boundaries in white

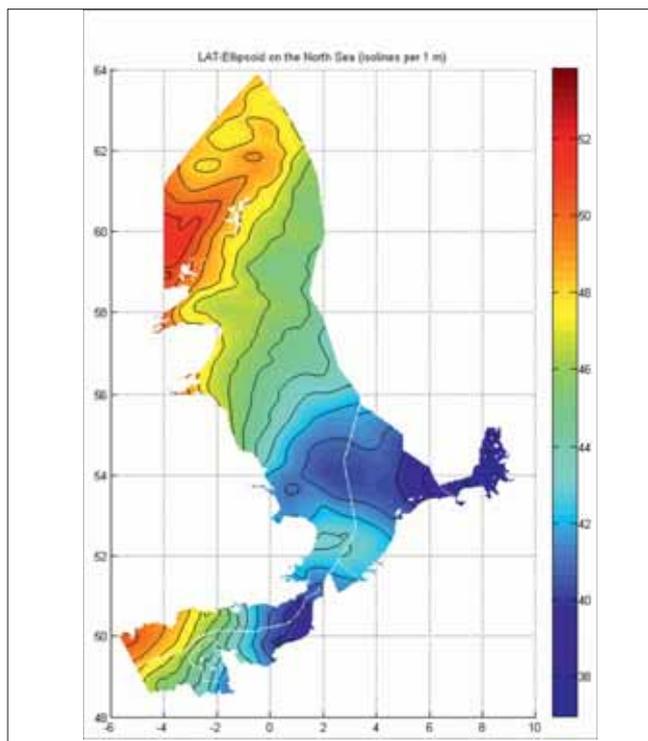


Fig. 12 LAT surface in relation to the ellipsoid, including one metre isolines in black and maritime boundaries in white

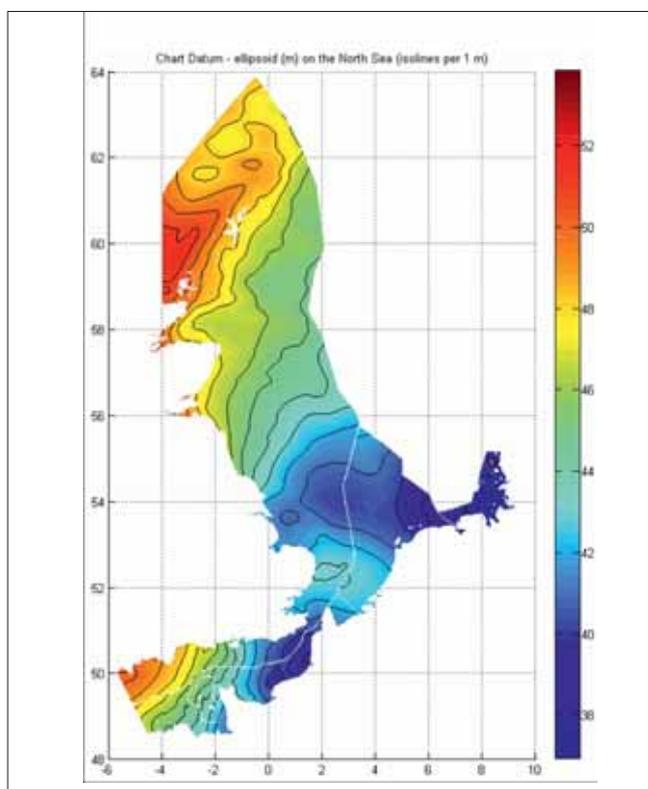


Fig. 13 Chart Datum surface in relation to the ellipsoid, including one metre isolines in black and maritime boundaries in white

#### 4. CONCLUSION

As a result of the BATHYELLI project, reference surfaces have become available since 2009, for studies only, not yet for “operational” purpose (Ellipsoidally Referenced Hydrographic Surveys).

The next step is the improvement and validation of these reference surfaces (addition of 7 GPS surveys, validation by a comparison of a classical survey and a GPS survey in different areas). The next version should be an “operational” product.

A computer program that allows users to change easily from one vertical reference to another, is planned.

At the end of the project, SHOM plans to realize Ellipsoidally Referenced Hydrographic Surveys.

#### REFERENCES

**Dorst L., Slobbe C., Klees R., Verlaan M., Ligteringen T.** (2010). “Unifying vertical reference surfaces in the North Sea: an overview of developments”. *Proceedings of Hydro 2010*.

**Jan G.** (2009). “Détermination des surfaces de référence pour l’hydrographie ». *Noveltis Report for SHOM*.

**Lefèvre F., Schaeffer P., Wöppelman G.** (2007). “Etude et fourniture de données nécessaires au calcul d’une surface moyenne océanique issue de l’altimétrie spatiale – Rapport Final”. *CLS Report for SHOM*.

**NSHC Tidal Working Group** (2010). “Merging and comparison of reference surfaces for the North Sea area, *Annex D to the report of the 17th meeting of the NSHC-TWG to the 29th NSHC Conference*, available at <http://www.iho.int>.

**Pineau-Guillou L., Dupont Y.** (2007). “Guide technique pour la réalisation des levés BATHYELLI”. *SHOM Report GU2007-020*.

# CARACTÉRISATION DES NIVEAUX MARINS ET MODÉLISATION DES SURCOTES PENDANT LA TEMPÊTE XYNTHIA

par Lucia Pineau-Guillou <sup>1</sup>, Cyril Lathuilière <sup>1</sup>, Rudy Magne <sup>1</sup>, Stéphanie Louazel <sup>1</sup>, David Corman <sup>1</sup>, Céline Perherin <sup>2</sup>

## RÉSUMÉ

Dans la nuit du 27 au 28 février 2010, la tempête Xynthia a traversé la France, engendrant des dégâts considérables. Les observations de niveau de la mer et de houle disponibles au SHOM ont été analysées pour caractériser l'événement.

L'analyse des mesures marégraphiques, ainsi que l'exploitation des niveaux extrêmes calculés statistiquement, ont permis d'estimer les périodes de retour des niveaux marins atteints pendant cet événement, sur l'ensemble des côtes de la Manche et de l'Atlantique.

Les surcotes à La Rochelle ont été modélisées en prenant en compte les phénomènes la générant (pression atmosphérique, vent et vagues). L'élévation du niveau moyen due aux vagues ou « wave set-up » a ainsi été modélisée et prise en compte. Les simulations ont été réalisées à partir des codes WAVEWATCH III et HYCOM. Les surcotes modélisées du 20 février au 1<sup>er</sup> mars 2010 à La Rochelle ont été comparées aux surcotes mesurées par le marégraphe sur la même période, pour évaluer leur précision.

## ABSTRACT

*In 2010, during the night from February 27th to 28th, Xynthia storm crossed France and caused major damages. Sea level and sea states measurements available at SHOM (French Hydrographic and Oceanographic Service) were analysed to characterize the event.*

*Sea levels return periods during the storm along the Atlantic and the Channel French coasts were estimated thanks to sea level measurements analysis and statistically computed extreme sea levels.*

*Surges in La Rochelle were modelled taking into account phenomena generating the surges (atmospheric pressure, wind and waves). Thus, sea level rise due to waves, the wave set-up, was modelled. Simulations were computed by WAVEWATCH III and HYCOM. The modelled surges from February the 20th to March the 1st have been compared to observed surges in La Rochelle during the same period in order to evaluate their accuracy.*

<sup>1</sup> Service hydrographique et océanographique de la Marine, 13 rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest Cedex 2, France.

<sup>2</sup> Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales, Technopôle Brest Iroise, BP5, F-28280 Plouzané, France.



## 1. INTRODUCTION

La tempête Xynthia a traversé la France la nuit du 27 au 28 février 2010, engendrant la submersion marine exceptionnelle de certaines zones côtières. L'objectif de cette étude est d'une part d'estimer les périodes de retour des niveaux marins observés sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique pendant cet événement, et d'autre part de modéliser les surcotes autour de La Rochelle en prenant en compte le « wave set-up » et de les comparer aux mesures disponibles pour évaluer leur précision.

## 2. ANALYSE DES OBSERVATIONS

### 2.1 Analyse des observations marégraphiques

Les hauteurs d'eau acquises par les 18 marégraphes du réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) en Manche et Atlantique ont été analysées. La tempête a généré des surcotes importantes. La concomitance entre la tempête, l'instant de la pleine mer, et une vive-eau de coefficient de marée 102, expliquent que les niveaux atteints soient aussi importants. Les hauteurs de pleine mer ainsi que les surcotes de pleine mer mesurées (différence entre la hauteur de pleine mer observée et la hauteur de pleine mer prédite) sont synthétisées dans le tableau 1.

A la Rochelle, la surcote de pleine mer (1,53 m) est particulièrement importante (figure 1). Cette surcote n'a jamais été observée depuis l'installation du marégraphe (1997). Elle est supérieure à la surcote de pleine mer maximale observée à Brest (142 cm, enregistrée lors de la tempête du 15 octobre 1987), où l'on dispose de plus de 150 ans de mesures.

Le niveau maximum atteint est de 8,01 m par rapport au zéro hydrographique (soit 4,51 m NGF), il n'avait également jamais été observé depuis l'installation de ce marégraphe. A titre de comparaison, le niveau atteint à La Rochelle lors de la tempête de 1999 était de 6,76 m par rapport au zéro hydrographique (soit 3,26 m NGF). Les périodes de retour ont été estimées à partir des statistiques de niveaux extrêmes. Pour 13 marégraphes, ces statistiques sont issues de l'analyse des graphes du produit commun SHOM-CETMEF (Simon, 2008). Pour 4 des marégraphes ne figurant pas dans cette étude (Concarneau, Saint-Nazaire, Arcachon et Bayonne), elles ont été calculées. Enfin, pour le marégraphe du Crouesty, aucun calcul n'a pu être fait, car la durée des enregistrements est trop courte (marégraphe installé en 2002).

L'estimation des périodes de retour est délicate au-delà de 100 ans. En effet, comme présenté sur l'exemple de la figure 2 du graphe de répartition des surcotes à Brest, quelques événements extrêmes correspondent à des événements atypiques, appelés « horsains » dont la valeur s'éloigne de la courbe issue de l'analyse statistique des données disponibles sur le site d'observation. Le terme « horsain » désigne une donnée qui se distingue par sa valeur significativement différente de celles des autres données de l'échantillon concerné. La prise en compte des horsains nécessite des études complémentaires, encore à mener, pour définir l'approche statistique la plus adaptée. Aussi, il n'a volontairement pas été estimé de valeur numérique précise de la période de retour lorsque que celle-ci est estimée supérieure à 100 ans.

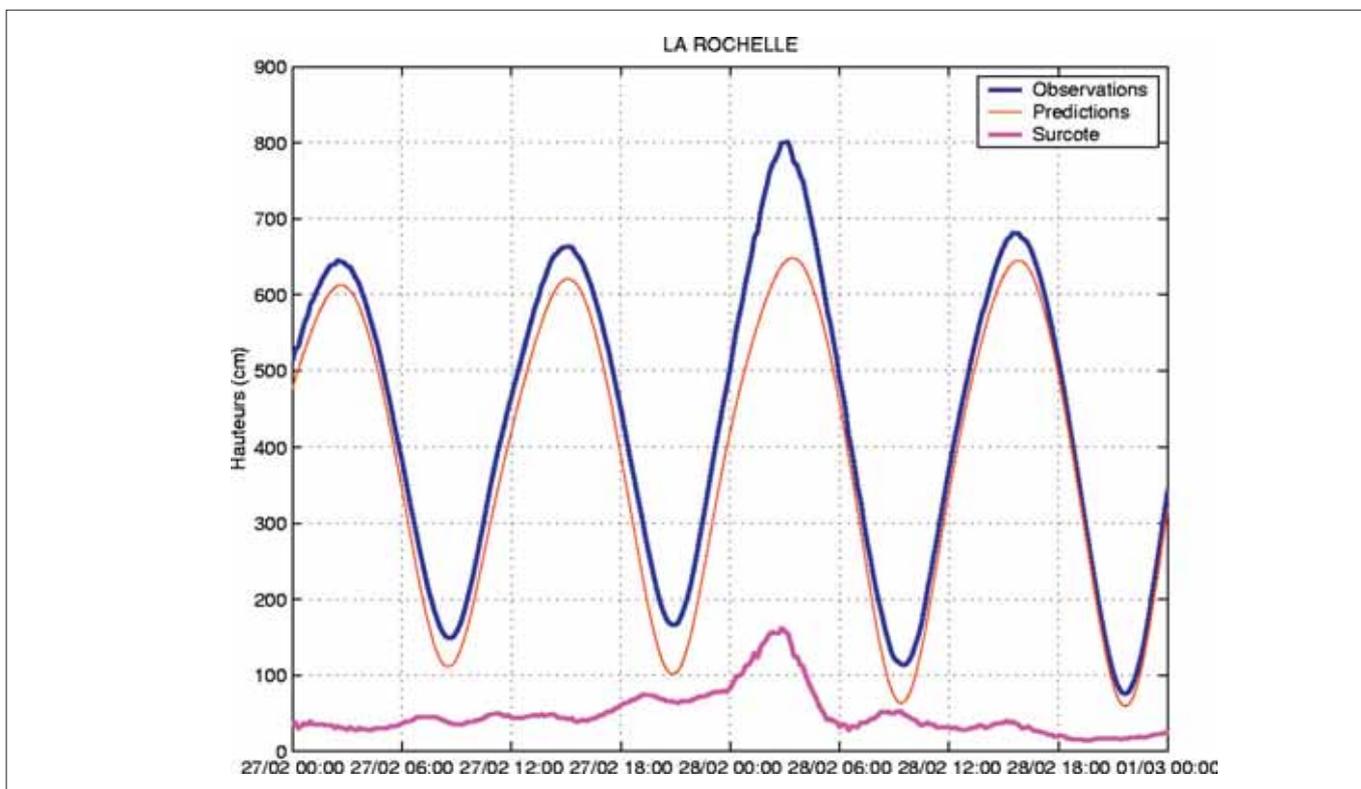


Figure 1. Hauteurs d'eau observées, hauteurs d'eau prédites, et surcotes instantanées à La Rochelle, lors du passage de la tempête Xynthia. Les hauteurs prédites sont les valeurs officielles du SHOM évaluées par la méthode d'analyse harmonique

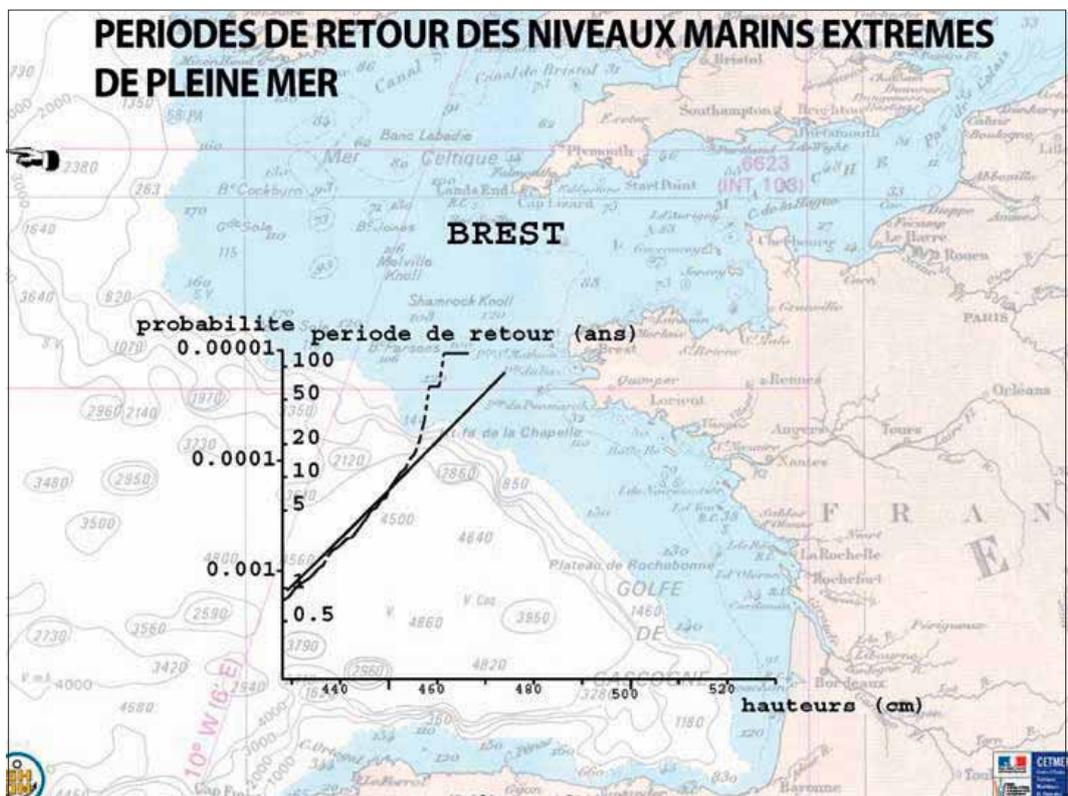
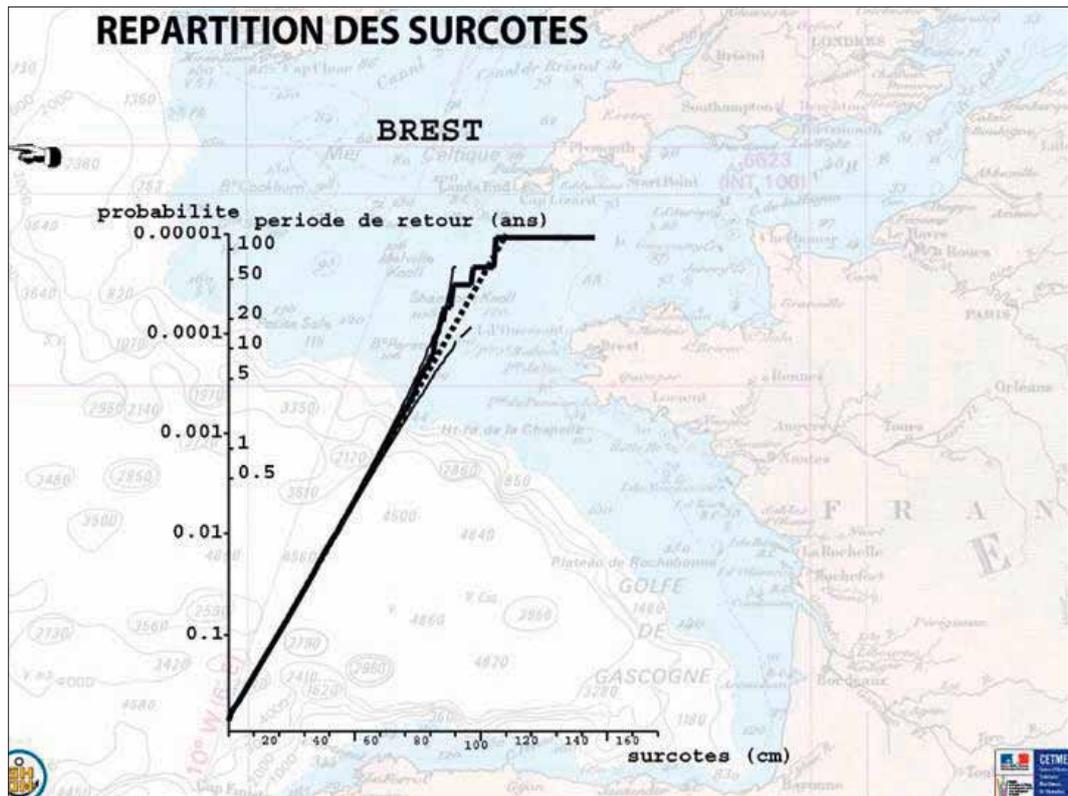


Figure 2. Répartition des surcotes et périodes de retour des niveaux extrêmes de pleine mer à Brest (Simon, 2008)

Le tableau 1 et la figure 3 synthétisent les estimations des périodes de retour associées aux surcotes et aux hauteurs de pleine mer observées.

La zone la plus touchée s'étend de Saint-Nazaire à La Rochelle, avec des périodes de retour de hauteur de pleine mer supérieures à 100 ans. Les sites de la pointe de Grave et Arcachon ont également enregistré des hauteurs de pleine mer exceptionnelles, de périodes de retour comprises entre 20 et 50 ans.

## 2.2 Analyse de l'état de mer

Depuis le 2 janvier 2010, le SHOM mesure la houle aux abords de l'île d'Oléron (45° 50,5'N - 01° 48,8'W) au moyen d'une bouée directionnelle (figure 4).

L'événement est caractérisé par une évolution très rapide de la houle. En trois heures, la hauteur des vagues passe de moins de 3 m à 7,5 m (figure 5). La direction et la période (figure 5) évoluent également très vite, passant respectivement du Sud à l'Ouest-sud-ouest et de 5 s à 9 s sur ces 3 heures. Le maximum d'énergie est atteint entre 03h00 et 06h00 UT avec des hauteurs significatives supérieures à 7 m et des périodes supérieures à 8 s.

A titre de comparaison, les hauteurs observées dans la nuit du 27 au 28 février 2010 sont du même ordre de grandeur que celles prévues par les modèles de vagues du SHOM pendant les tempêtes de décembre 2007 ou mars 2008.

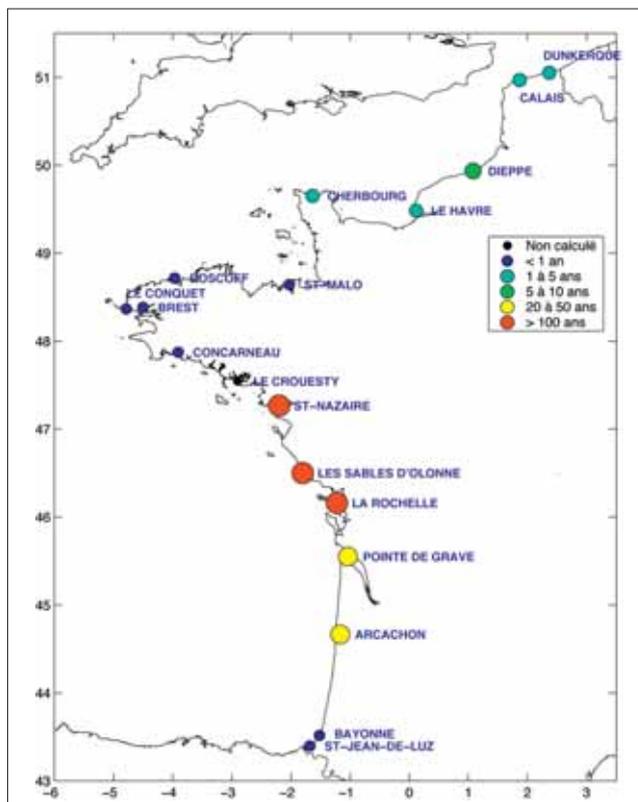


Figure 3. Estimation des périodes de retour associées aux hauteurs de pleine mer observées lors du passage de la tempête Xynthia

Marégraphe	Surcote de pleine mer observée	Période de retour associée à la surcote de pleine mer observée	Hauteur de pleine mer observée	Période de retour associée à la hauteur de pleine mer observée	Niveau des plus hautes mers astronomiques	Cote du zéro IGN69 par rapport au zéro hydrographique
Dunkerque	0,80 m	~ 1 an	6,90 m	1 à 5 ans	6,48 m	2,693 m
Calais	0,70 m	1 à 5 ans	8,05 m	1 à 5 ans	7,86 m	3,459 m
Dieppe	1,05 m	20 à 50 ans	10,47 m	5 à 10 ans	10,11 m	4,448 m
Le Havre	0,87 m	1 à 5 ans	8,84 m	1 à 5 ans	8,42 m	4,378 m
Cherbourg	0,57 m	1 à 5 ans	7,14 m	1 à 5 ans	7,04 m	3,285 m
Saint-Malo	0,88 m	~ 20 ans	13,18 m	< 1 an	13,47 m	6,289 m
Roscoff	0,53 m	< 1 an	9,63 m	< 1 an	9,76 m	4,764 m
Le Conquet	0,51 m	< 1 an	7,63 m	< 1 an	7,69 m	3,502 m
Brest	0,53 m	< 1 an	7,89 m	< 1 an	7,93 m	3,636 m
Concarneau	0,63 m	5 à 10 ans	5,90 m	< 1 an	5,63 m	2,534 m
Le Croesty	0,89 m	Non calculée	6,58 m	Non calculée	6,01 m	2,850 m
Saint-Nazaire	1,16 m	20 à 50 ans	7,34 m	> 100 ans	6,59 m	3,159 m
Sables d'Olonne	/	/	> 6,89 m	> 100 ans	5,93 m	2,831 m
La Rochelle	1,53 m	> 100 ans	8,01 m	> 100 ans	6,86 m	3,504 m
Pointe de Grave	0,98 m	10 à 20 ans	6,57 m	20 à 50 ans	5,96 m	2,831 m
Arcachon	0,90 m	5 à 10 ans	5,46 m	20 à 50 ans	4,86 m	1,980 m
Bayonne	0,38 m	< 1 an	4,92 m	< 1 an	4,84 m	2,143 m
St Jean de Luz	0,38 m	< 1 an	4,96 m	< 1 an	4,90 m	2,175 m

Tableau 1. Périodes de retour associées aux surcotes et aux hauteurs de pleine mer observées (les hauteurs sont rapportées au zéro hydrographique)

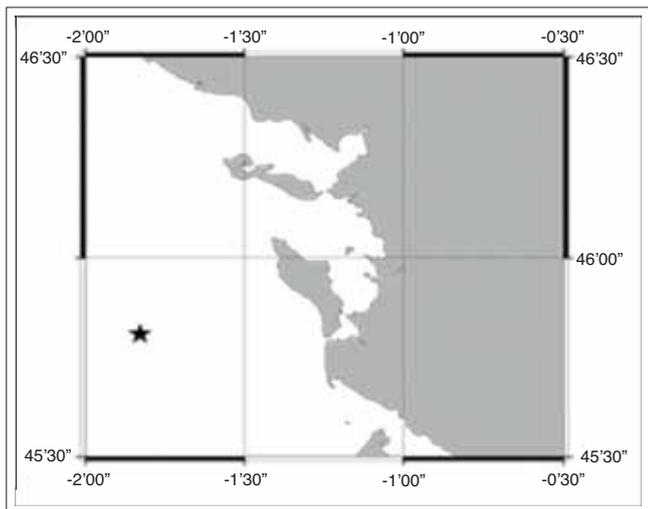


Figure 4. Situation de la bouée directionnelle du SHOM (étoile).

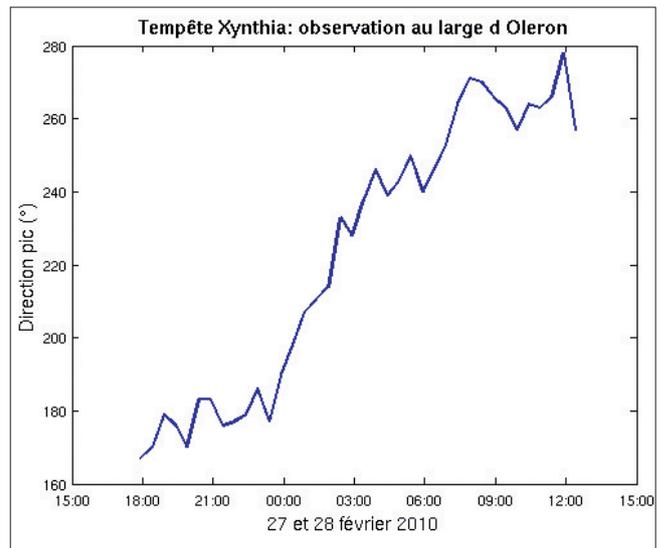
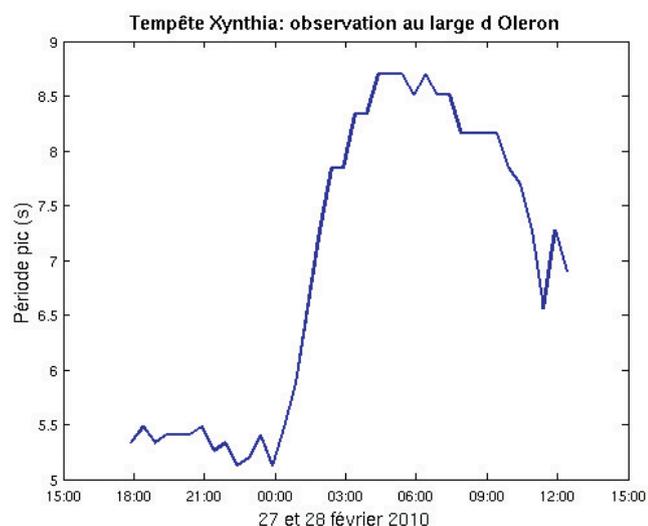
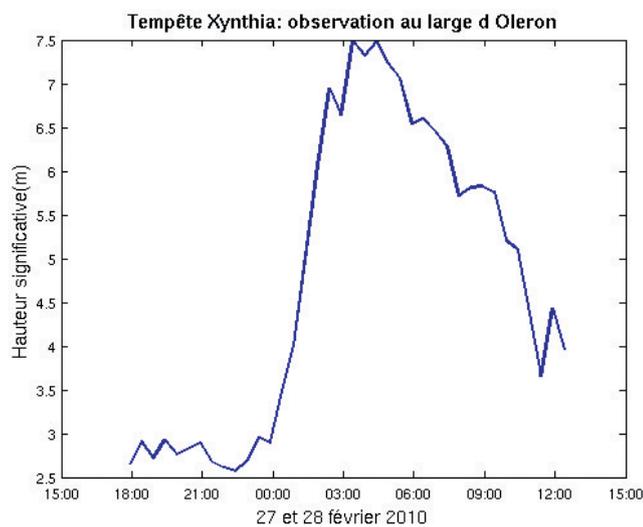


Figure 5. Hauteur significative, période, direction et pic de la houle mesurées au large d'Oleron pendant la tempête Xynthia



### 3. MODÉLISATION DE L'HYDRODYNAMIQUE MARINE PENDANT LA TEMPÊTE XYNTHIA

#### 3.1 Modèle de circulation océanique HYCOM

Le modèle de circulation océanique HYCOM est développé en partie par le SHOM (Morel *et al.*, 2008), membre du consortium de développement, piloté par l'université de Miami. Le modèle de la Manche et du golfe de Gascogne, de résolution spatiale 3 km, s'étend de 15°W à 2°E et de 43°N à 51°N. Dans les résultats présentés, les données de vent, fournies par Météo France, sont issues du centre européen de prévision (CEP) et intégrées avec une résolution temporelle de 3 heures et une résolution spatiale de 0,25°.

L'effet des vagues et de la pression atmosphérique sur les niveaux de la mer n'est pas inclus dans HYCOM. Une simulation HYCOM a été réalisée sans prendre en compte la marée, elle comprend donc les effets de la tension de vent sur l'océan ainsi que les variations éventuelles de la hauteur d'eau dues à la circulation générale de l'océan (tourbillons, ondes côtières, etc, ...). Le processus dominant étant le vent, cette surcote est appelée par la suite « surcote due au vent » (figure 6). Elle atteint environ 50 cm au niveau de la Vendée à 03h00 UT du matin le 28 février.

#### 3.2 Modèle de vagues WAVEWATCH III

Le modèle de vagues WAVEWATCH III est un modèle développé par la NOAA (Tolman, 2009). Le SHOM participe aux évolutions, développements et validations de ce modèle en collaboration avec la NOAA et l'Ifremer.

Le modèle WAVEWATCH III permet de calculer l'évolution de l'énergie de la houle sur un domaine. A partir de ces paramètres, il est possible de calculer une surélévation du niveau moyen due aux vagues (« wave set-up »). Les calculs présentés correspondent au maximum géographique des surcotes (à la côte après le déferlement). Cependant, ces cal-

culs ne prennent pas en compte le niveau maximal instantané (« run-up ») qui est lié au déferlement individuel de chaque vague et très dépendant de la pente locale de plage. La configuration utilisée (figure 7) est un modèle à 2 minutes de résolution sur la façade atlantique française avec des forçages (vent de surface) du centre européen de prévision à 0,25° de résolution spatiale et 3 heures de résolution temporelle. Les données modélisées (vagues) issues de ce domaine ont pu être validées grâce aux observations au large d'Oléron (figure 5).

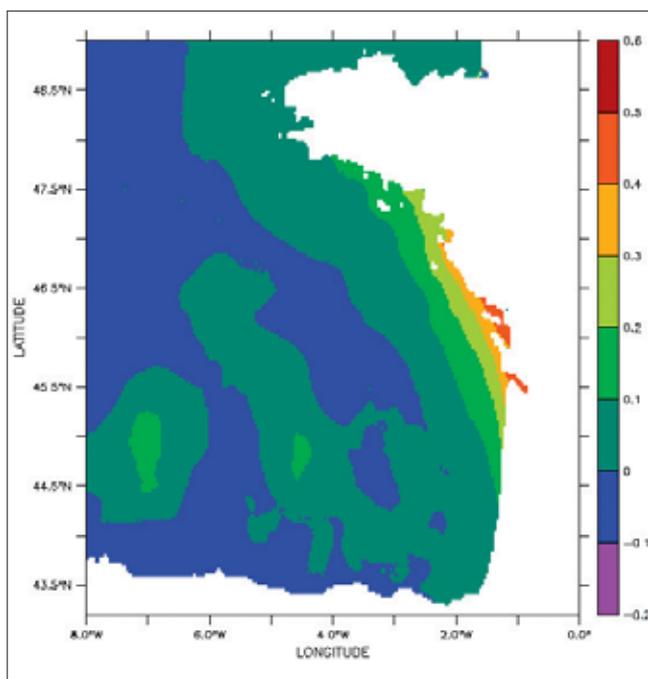


Figure 6. Surcote due au vent issue de HYCOM le 28 février à 2h UT

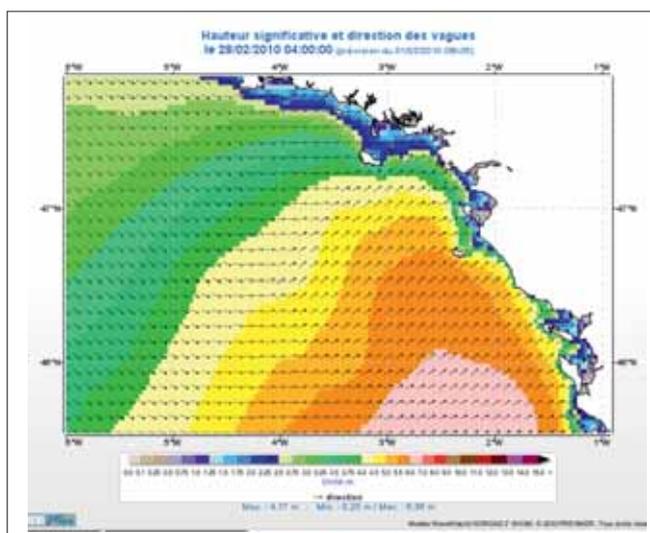


Figure 7. Hauteurs et directions des vagues le 28 février à 4h UT+1 autour de La Rochelle (PREVIMER, site web)

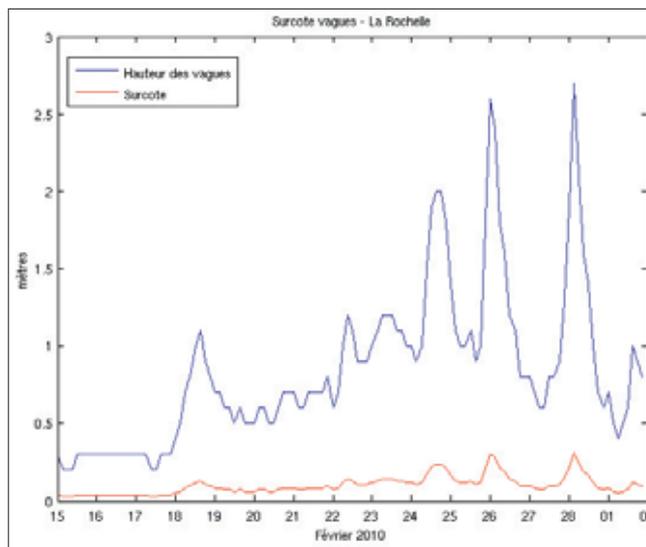


Figure 8. Hauteur des vagues et surcote due aux vagues (wave set-up) à La Rochelle en février 2010

La figure 8 présente les prévisions de surcotes dues aux vagues (courbe rouge) associées aux hauteurs de vagues déferlantes (courbe bleue) devant La Rochelle entre mi et fin février 2010.

#### Modélisation des surcotes totales

Les différentes contributions élémentaires aux surcotes totales ont été calculées à La Rochelle :

- surcote due à la pression atmosphérique, qui est évaluée à partir de la correction dite de « baromètre inverse » ;
- surcote due au vent, qui est calculée à partir de la simulation HYCOM ;
- surcote due aux vagues, qui est calculée à partir de WAVEWATCH III.

La surcote totale modélisée a été comparée à la surcote mesurée au niveau du marégraphe de la Rochelle. Les résultats obtenus (figure 9) sont encourageants, il n'existe pas de biais significatif entre les courbes. La haute fréquence au niveau des mesures vient du fait qu'elles sont acquises toutes les 10 minutes, alors que pour le modèle, les données de vent et le « wave set-up » ne sont obtenus que toutes les 3 heures. L'ensemble des événements est bien représenté. Cependant, le « pic » du 28 février est sous-estimé, avec une surcote instantanée maximale de 1,3 m alors que la valeur mesurée atteint 1,6 m. Ceci pourrait probablement être amélioré en augmentant la fréquence des forçages du vent (3 heures actuellement) et la résolution spatiale (3 km pour cette maquette).

Une étude de sensibilité a permis de mettre en évidence l'impact significatif de la résolution spatio-temporelle des données de vent sur l'amplitude de la surcote (surcote due au vent de 25 cm au lieu de 65 cm, en cas de dégradation de la résolution spatio-temporelle).

#### 4. CONCLUSION

L'analyse des données SHOM a permis d'estimer les périodes de retour associées aux niveaux de pleine mer

observés pendant la tempête Xynthia sur l'ensemble des côtes de la Manche et de l'Atlantique. Les niveaux de pleine mer extrêmes observés entre Saint-Nazaire et La Rochelle, de période de retour supérieure à 100 ans, sont dus à la concomitance entre la tempête, l'instant de la pleine mer, et une marée de vive-eau de coefficient important.

La modélisation de la tempête a permis d'obtenir des surcotes de précision satisfaisante grâce à l'exploitation conjointe des modèles HYCOM et WAVEWATCH III. Les tempêtes étant des phénomènes aléatoires non prédictibles, la modélisation reste un outil incontournable pour permettre la prévision.

## 5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Morel Y., Baraille R., Pichon A.** (2008). « *Time splitting and linear stability of the slow part of the barotropic component* ». Ocean Modelling, Vol. 23, pp 73-81.  
PREVIMER (site web): <http://www.previmer.org/>

**Simon B.** (2008). « *Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer en Manche et Atlantique* ». CD-Rom, Produit commun SHOM-CETMEF.

**Tolman H.L.** (2009). « *User manual and system documentation of WAVEWATCH III™ version 3.14* ». NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note \*276\*, 194 pp + Appendices. Disponible en ligne sur : URL [http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB\\_276.pdf](http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf)

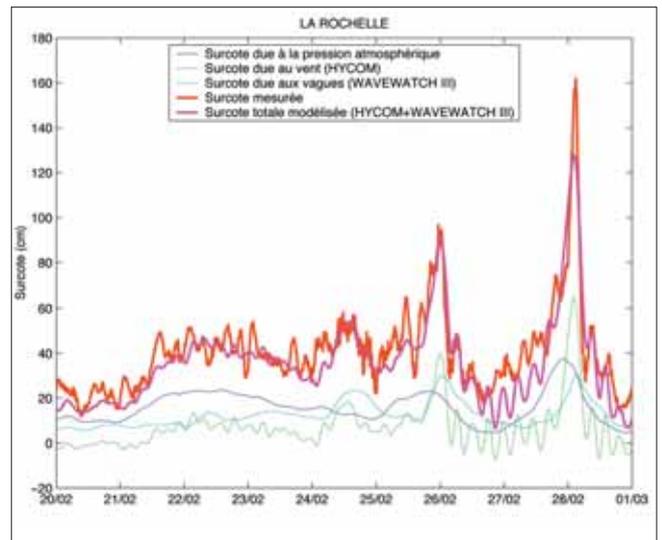


Figure 9. Surcotes modélisées et mesurées au niveau de La Rochelle en février 2010

# NIVEAUX MARINS EXTRÊMES DE PLEINE ET BASSE MER EN MANCHE ET ATLANTIQUE

par Lucia Pineau-Guillou<sup>1</sup>, Céline Perherin<sup>2</sup>

## RÉSUMÉ

La connaissance des niveaux marins extrêmes est primordiale pour les études portant sur les risques littoraux et pour tout aménagement littoral ou portuaire. Le produit « Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer Manche et Atlantique » (CETMEF-SHOM, 2008) présentait les résultats de traitements statistiques des niveaux marins et les cartes des niveaux marins extrêmes de pleine mer pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans aux abords des côtes françaises Manche et Atlantique.

En 2010, cette étude a été étendue aux basses mers. Les niveaux extrêmes de pleine mer ont été calculés en prenant en compte des données de plus longue durée (5 années supplémentaires) par rapport à l'étude précédente. Un modèle numérique des niveaux extrêmes de pleine et basse mers sur une grille régulière sur les côtes françaises Manche et Atlantique a été produit. Les cartes des niveaux extrêmes de pleine et basse mers pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans ont été fournies.

Les limites de la méthode utilisée ont été analysées, en particulier un certain nombre d'améliorations est envisagé comme l'analyse comparative de différentes méthodes statistiques, la prise en compte des surcotes dues au vagues ou encore l'analyse de la problématique des horsains.

## ABSTRACT

*The knowledge of extreme sea levels is of the most importance for the studies dealing with coastal hazards and all coastal and port developments. The study "Statistics of extreme sea levels of the English Channel and the Atlantic Ocean" (CETMEF-SHOM, 2008) presented the results of statistical sea levels treatments and maps of high tide extreme sea levels, for return periods of 10, 20, 50 and 100 years along the French coasts of the English Channel and the Atlantic Ocean.*

*In 2010, this study was extended to low tide levels. High tide extreme sea levels have been computed taking into account a longer data time series (5 years more). A numerical model of high and low tide extreme sea levels has been computed along the French coasts of the English Channel and the Atlantic Ocean. Maps of high and low tide extreme sea levels, for return periods of 10, 20, 50 and 100 years, have been produced.*

*The limitations of the method have been studied; some improvements must be developed as comparative analysis of different statistical methods, taking into account wave set-up and also "outlier" analysis (statistical anomalies).*

<sup>1</sup>Service hydrographique et océanographique de la marine, 13 rue du Chatellier - CS92803 - 29228 Brest Cedex 2 - France  
Tel : 02 98 14 99 36  
lucia.pineau-guillou@shom.fr

<sup>2</sup>Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales, Technopôle Brest Iroise - BP5 - F-28280 Plouzané - France  
Tel : 02 98 05 76 53  
Celine.Perherin@developpement-durable.gouv.fr



## 1. INTRODUCTION

L'étude consiste dans le calcul des niveaux marins extrêmes à partir de l'ensemble des données marégraphiques disponibles au SHOM, jusqu'en novembre 2009. La méthodologie est identique à celle décrite dans le cédérom commun SHOM-CETMEF de l'année 2008 sur les niveaux extrêmes (CETMEF-SHOM, 2008). L'objectif est d'une part d'actualiser les études précédentes sur les niveaux extrêmes de pleine mer (Simon, 1994) et (Simon, 2008), et d'autre part, de calculer les niveaux extrêmes de basse mer.

Les niveaux extrêmes sont calculés pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, et cartographiés par rapport à l'IGN69 sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique.

Le présent article présente la méthodologie utilisée, les résultats obtenus et les améliorations envisagées. Une attention particulière a été portée à la description des sources d'incertitude et des limitations associées à cette étude.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1 Données marégraphiques

Les données des marégraphes du SHOM sont enregistrées toutes les 10 minutes, avec un pas d'intégration de 2 minutes. 36 marégraphes permanents sont installés à la date du 1<sup>er</sup> novembre 2010 (Figure 1), dont 6 dans les territoires d'outre-mer, un en Principauté de Monaco et un dans le port de Toamasina (Madagascar). En complément, les données des marégraphes temporaires du SHOM (marégraphes immergés sur des périodes courtes) ont également été exploitées.

Les résultats présentés dans cette étude sont basés sur l'analyse des **données horaires** des marégraphes du SHOM (permanents et temporaires), calculées à partir de l'interpolation des données à 10 minutes. Les surcotes/décotes mentionnées sont les **surcotes/décotes de pleine ou basse mer**, calculées en retranchant à la hauteur de pleine mer observée, la hauteur de pleine (ou basse) mer prédite.

### 2.2 Calcul des niveaux extrêmes aux ports de référence

Les ports de référence sont les ports pour lesquels plus de 10 années de mesures sont disponibles. 17 ports de référence sont retenus pour la cartographie des niveaux (Figure 5).

La méthodologie est identique aux précédentes études (Simon, 1994) et (Simon, 2008). Les densités de probabilité des hauteurs de pleine et basse mer sont calculées à partir des prédictions réalisées sur 18 ans à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1992. Les surcotes et décotes sont ajustées à la loi de Gumbel ; le seuil appliqué est de 20 cm pour les surcotes et 40 cm pour les décotes. Les périodes de retour des niveaux extrêmes sont calculées par convolution entre la loi de probabilité des hauteurs de pleine/basse mer prédites et la loi de répartition des surcotes/décotes. Les différents graphes obtenus à Brest sont présentés Figure 3.

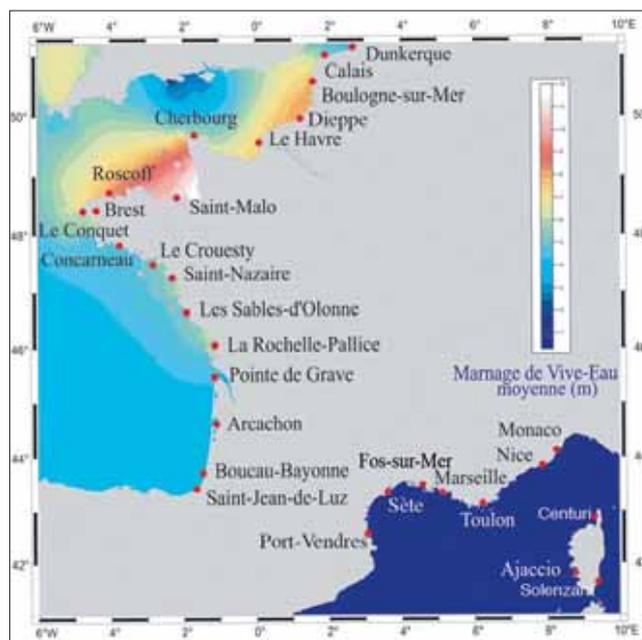


Figure 1. Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM) du SHOM

([http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_oceano/maree/maree14.htm](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/maree14.htm))

### 2.3 Calcul des niveaux extrêmes aux points secondaires

Les points secondaires disposent de mesures de courte durée. Seuls les points secondaires d'une durée minimale de un mois, et disposant de mesures simultanées avec le port de référence le plus proche ont été retenus. La répartition géographique de ces points est présentée Figure 2.

Les corrélations entre les surcotes au port de référence et au point secondaire permettent d'estimer la fonction de répartition des surcotes au point secondaire. Le calcul des périodes de retour des niveaux extrêmes est similaire au calcul effectué au port de référence.

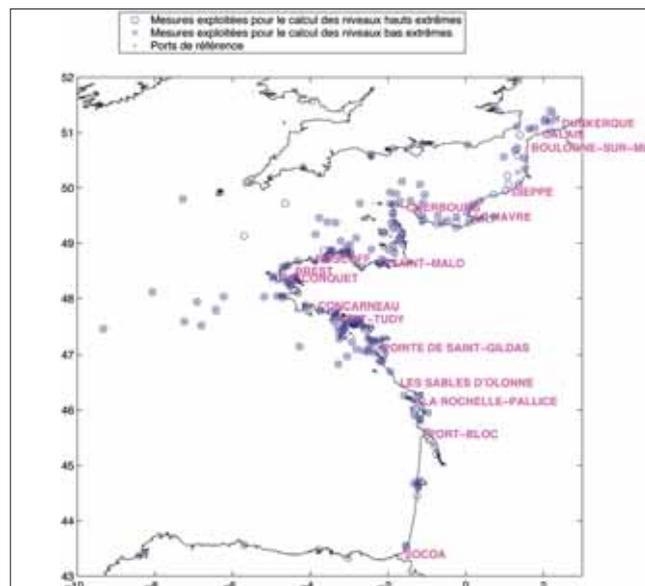


Figure 2. Mesures de hauteurs d'eau aux points secondaires exploitées pour l'interpolation spatiale

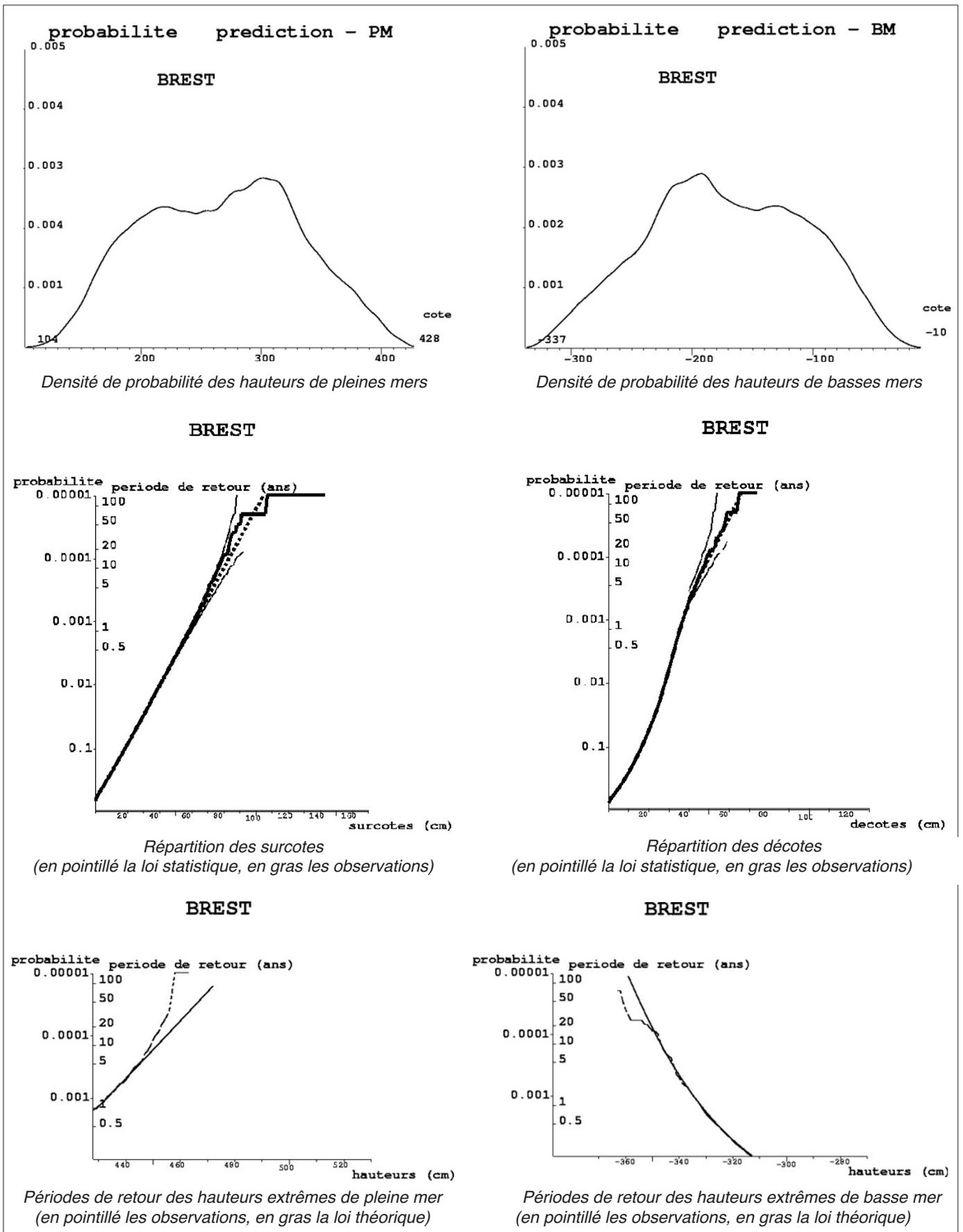


Figure 3. Statistiques des niveaux extrêmes à Brest

## 2.4 Interpolation des données

L'interpolation des données est effectuée à partir de la méthode de la plaque mince (Duchon, 1976), en passant exactement par chaque point de mesure. Les données sont interpolées sur une grille en différences finies, à pas constant de 1 minute. La grille est présentée Figure 4.

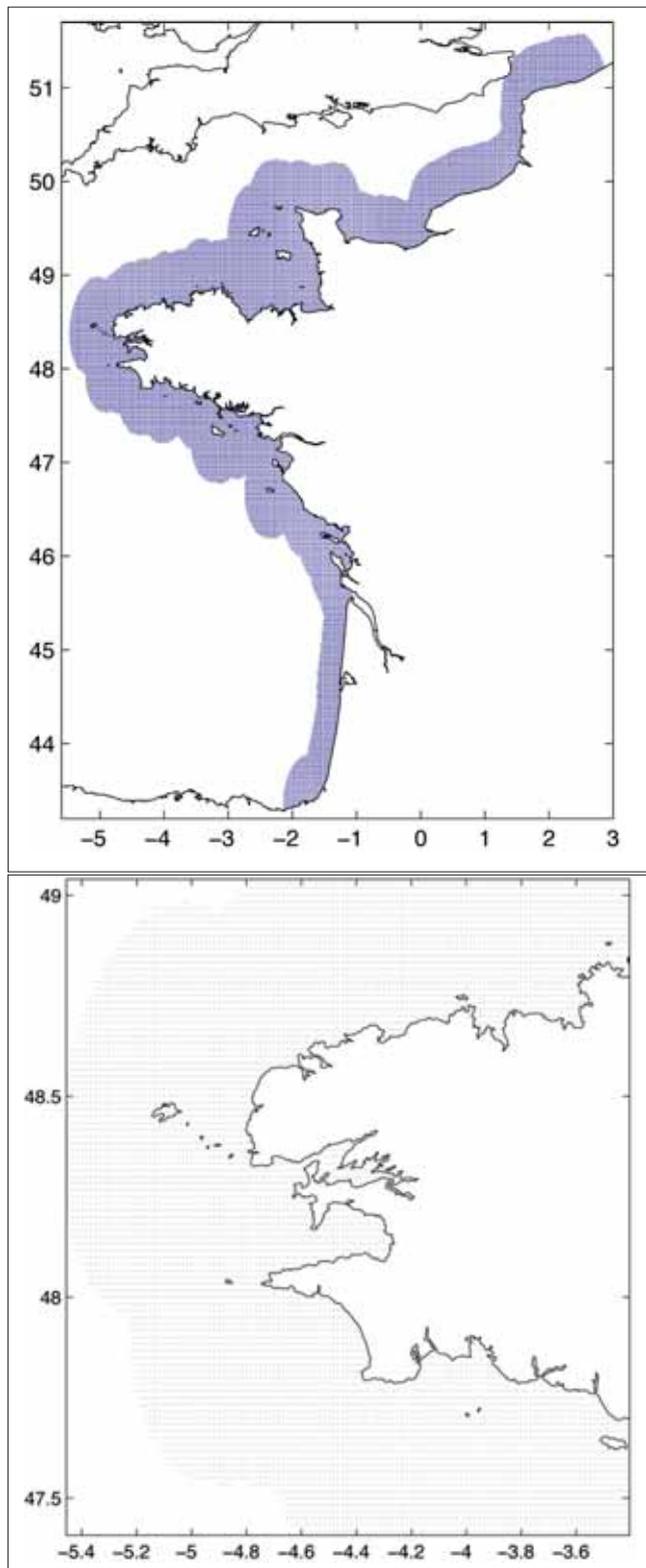


Figure 4. Grille de pas 1 minute

## 3. RÉSULTATS

### 3.1 Ports de référence

Les 17 ports de référence retenus sont présentés Figure 5. Les durées d'observations aux ports de référence sont récapitulées dans le tableau 1. La durée utile correspond à la durée d'observation sans lacune. Les valeurs numériques des niveaux extrêmes de pleine mer et basse mer ont été calculées pour les périodes de retours de 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

### 3.2 Cartes des niveaux extrêmes

Les cartes de niveaux extrêmes de pleine et basse mer de période de retour 10 ans en Manche et Atlantique sont présentées Figure 6. Des cartes de niveaux extrêmes de pleine et basse mer pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans ont été réalisées.

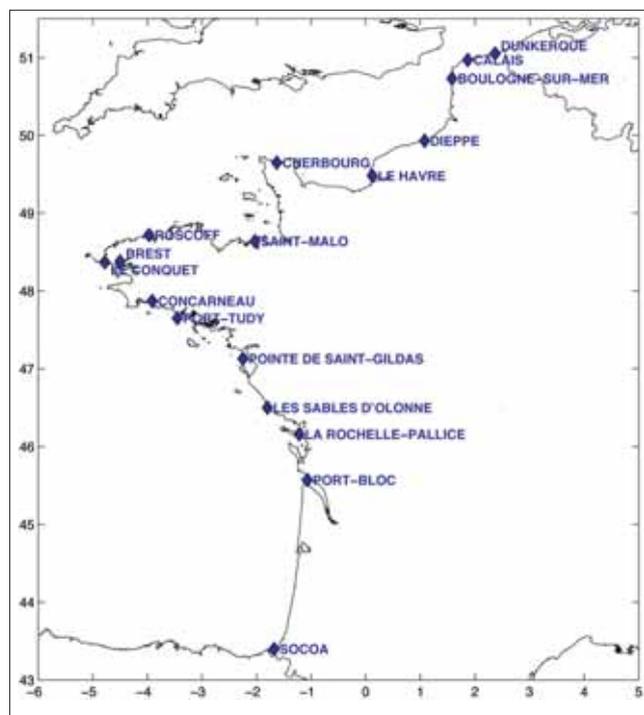


Figure 5. Ports de référence

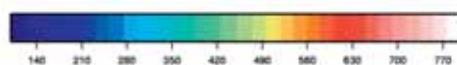
### 3.3 Étude de sensibilité

#### 3.3.1 Seuil pour les surcotes

Pour l'ajustement statistique des surcotes, le seuil retenu pour les surcotes est de 20 cm. A Brest, différentes valeurs de surcotes minimales ont été testées : 20, 30, 40 et 50 cm. Cette étude de sensibilité montre que les valeurs extrêmes sont relativement peu sensibles au seuil choisi. Pour un seuil variant de 20 à 60 cm, les variations restent inférieures à 1 cm pour les niveaux centennaux.

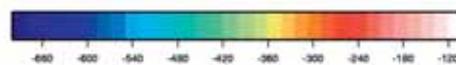
**Tableau 1 : Durée d'observation aux ports de référence**

Port de référence	Début	Fin	Durée utile	Lacunes
Dunkerque	07/06/1956	24/11/2009	41,0 ans	23,3 %
Calais	23/04/1985	17/06/2008	13,3 ans	42,6 %
Boulogne-sur-mer	08/09/1973	06/08/2007	20,8 ans	38,6 %
Dieppe	01/01/1954	25/11/2009	37,7 ans	32,5 %
Le Havre	18/09/1971	24/11/2009	35,4 ans	7,4 %
Cherbourg	26/06/1974	24/11/2009	33,7 ans	4,8 %
Saint-Malo	09/06/1986	24/11/2009	15,4 ans	34,3 %
Roscoff	01/01/1992	24/11/2009	16,9 ans	5,7 %
Le Conquet	22/12/1970	24/11/2009	37,3 ans	4,2 %
Brest	04/01/1846	24/11/2009	147,8 ans	9,8 %
Concarneau	29/06/1999	24/11/2009	10,0 ans	3,5 %
Port-Tudy	11/08/1966	29/12/2008	33,6 ans	20,7 %
Pointe de Saint-Gildas	07/06/1962	14/07/2005	24,8 ans	42,5 %
Les Sables d'Olonne	06/07/1965	24/11/2009	19,8 ans	55,4 %
La Rochelle	19/05/1941	24/11/2009	25,9 ans	62,2 %
Port-Bloc (Pointe de Grave)	19/04/1959	07/12/2009	21,9 ans	56,7 %
Socoa (St Jean de Luz)	21/11/1942	24/11/2009	37,5 ans	44,0 %



10 ans

cm



10 ans

cm

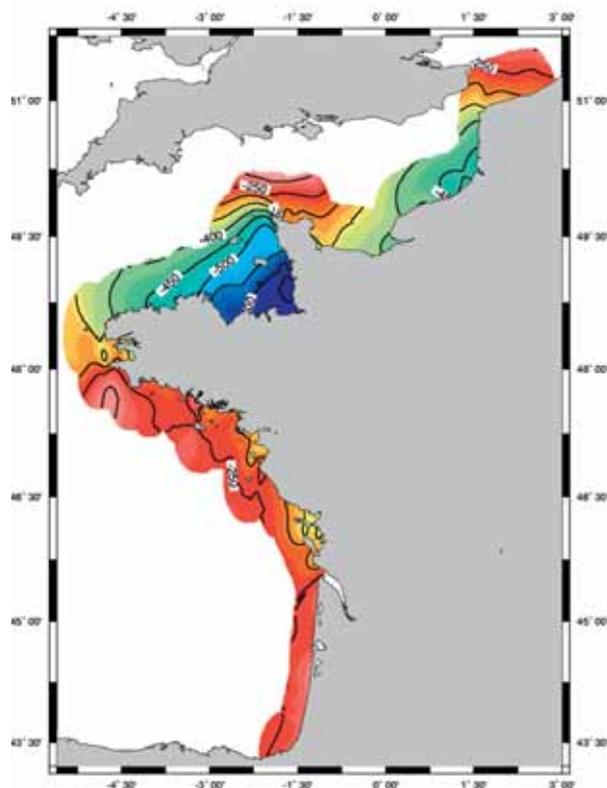
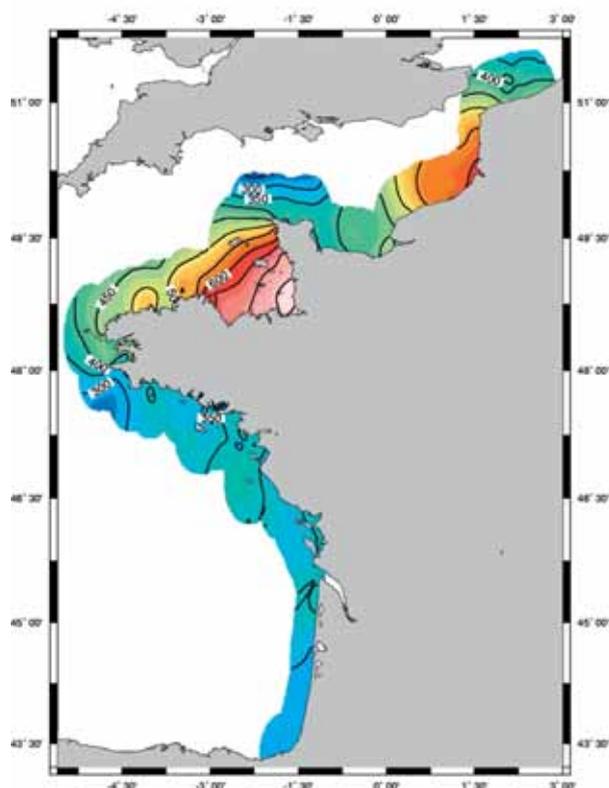


Figure 6. Niveaux extrêmes de pleine mer et basse mer de période de retour 10 ans en Manche et Atlantique

### 3.3.2.3 Durée des données

L'influence de la durée de l'échantillon de données a été réalisée à Brest en analysant un échantillon de durée variable : 10, 20, 50, 100 et 148 ans. Une durée de 10, 20, 50, 100 et 148 ans est associée à des niveaux centennaux respectivement de 469, 472, 472, 472 et 470 ans. Les variations restent inférieures à **2 cm**. On note en particulier que l'échantillon de 10 ans donne des niveaux extrêmes équivalents aux niveaux de référence à 1 cm près, alors que la tempête de 1987 n'est pas incluse (échantillon de données du 1/11/1999 au 24/11/2009).

Le fait de pouvoir calculer les niveaux centennaux à partir de 10 ans de données vient d'une part de la méthode de convolution, mais aussi du fait que, sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique, la partie prédictible est bien plus importante que la partie surcotes/décotes vu l'amplitude de la marée, elle représente couramment plus de 90 % du signal ; hors la loi de répartition des hauteurs prédites est parfaitement connue. La validité des méthodes statistiques basées sur quelques dizaines d'années pour établir des périodes de retour centennales est cependant régulièrement remise en cause (Pedreros *et al.*, 2010) et (Bersani *et al.*, 2010).

### 3.3.2 Influence des événements historiques

Les données du 19 mai 1941 au 30 août 2010 (26,6 ans utile) ont été traitées à La Rochelle, en incluant ou pas la tempête Xynthia. Le fait d'inclure ou pas la tempête Xynthia entraîne une variation de **3 cm** sur le niveau centennal : il est estimé à 389 cm en prenant en compte la tempête Xynthia, 386 cm sans la prendre en compte.

Les données du 4 janvier 1846 au 24 novembre 2009 (147,8 ans utile) ont été traitées à Brest, en incluant ou pas la tempête de 1987. Le fait d'inclure ou pas la tempête de 1987 entraîne une variation de **1 cm** sur le niveau centennal : il est estimé à 470 cm en prenant en compte la tempête de 1987, 469 cm sans la prendre en compte. Il est probable que cet événement historique soit peu influent car l'échantillon est de durée suffisamment importante : 148 ans, alors qu'il n'y a que 26 ans à La Rochelle.

### 3.4 Sources d'incertitude

Les résultats présentés dans le cadre de cette étude présentent plusieurs incertitudes liées à :

- la qualité des données, aussi bien la qualité des observations que celle des prédictions. Concernant les observations, les erreurs peuvent provenir de problèmes instrumentaux (dérives en particulier), d'envasement des puits de tranquillisation des marégraphes, de numérisation des marégrammes... Concernant les prédictions, la qualité des constantes harmoniques dépend de la durée de l'observation, elles sont constamment améliorées au SHOM ;
- la durée des échantillons de données, l'ajout de plusieurs années de données impacte les résultats ;
- le choix des seuils et des lois statistiques utilisées pour ajuster la distribution des surcotes ;
- le manque de mesures dans certaines zones, comme par exemple le golfe de Gascogne (Figure 3) : l'absence de mesures au large implique que la cartographie est basée sur des extrapolations, dont la précision est faible ;

- la dépendance entre marée et surcote, bien que l'étude réalisée en 1994 (Simon, 1994) tende à prouver une indépendance entre marée et surcotes en dehors des zones estuariennes ;
- les horsains : il s'agit d'événements atypiques, dont la valeur s'éloigne de la courbe théorique, issue de l'analyse statistique des données disponibles sur le site d'observation ;
- la méthodologie d'interpolation spatiale.

### 3.5 Limitations

Outre les incertitudes rappelées dans le paragraphe précédent, les résultats de cette étude ne sont pas valables en zone estuarienne (car l'hypothèse de l'indépendance marée et surcotes n'est plus vraie) et dans le bassin d'Arcachon.

De plus, certains phénomènes ne sont pas toujours pris en compte au niveau des marégraphes comme le « wave set-up », le « run-up » ou encore les seiches. Le « wave set-up », ou surcote due aux vagues, correspond à l'augmentation du niveau moyen de la mer dû au déferlement des vagues. Il peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. Le « run-up » correspond au niveau maximal atteint par le jet de rive (swash), c'est-à-dire le flux et reflux des vagues. Il n'est pas mesuré par les marégraphes, les données étant généralement intégrées sur 2 minutes. Ce niveau peut dépasser 1 mètre. Les seiches sont filtrées au niveau des marégraphes, car les données exploitées sont des données horaires, alors que la période des seiches est de l'ordre de quelques minutes. Pour autant, leur amplitude est loin d'être négligeable, elle peut atteindre jusqu'à 1,70 m à Port-Tudy, sur l'île de Groix (Devaux, 2009).

Les niveaux maximums instantanés atteints en zone très littorale peuvent donc dépasser largement les niveaux cartographiés, en particulier à cause des seiches, du « wave set-up » et du « run-up ».

### 3.6 Différences par rapport à la version précédente

Les résultats obtenus diffèrent des précédentes versions (Simon, 1994) et (Simon, 2008) pour les raisons suivantes :

- données de plus longue durée,
- nombre de ports de référence plus important,
- méthode d'interpolation spatiale différente,
- évolution du niveau de la mer (le niveau moyen des prédictions est celui calculé à la fin de la période de mesures, donc en 2009),
- mise à jour des constantes harmoniques.

## 4. AMÉLIORATIONS ENVISAGÉES

Un certain nombre d'améliorations sont à prévoir pour le calcul des niveaux extrêmes.

- Qualification des résultats :
  - calcul des intervalles de confiance sur les surcotes et les niveaux d'eau,
  - prise en compte de l'incertitude liée à la qualité de la donnée,
  - estimation de l'erreur en fonction de la durée des séries,
  - méthodologie à définir pour permettre la cartographie de la précision des résultats .
- Amélioration des méthodes :

- analyse comparative de différentes lois d'ajustement,
- amélioration des méthodes d'interpolation spatiale des données,
- analyse et amélioration de la prise en compte des hors-sains,
- analyse de la dépendance marée/surcotes,
- analyse de l'impact de la reconstitution de données, dans le cas de défaillance des instruments (en particulier la prise en compte de résultats de modèles numériques).
- Prise en compte de phénomènes physiques :
  - estimation de l'effet de la surcote liée aux vagues (wave set-up),
  - estimation de l'impact des seiches,
  - étude de l'impact du changement climatique.
- Extension géographique :
  - zones estuariennes,
  - méditerranée,
  - DOM-COM.

L'extension géographique de cette étude implique une révision complète de la méthodologie actuelle, car la méthode développée tire profit de la prépondérance de la marée par rapport aux surcotes, ce qui n'est pas le cas en Méditerranée ou dans les DOM-COM. De plus, dans les DOM-COM, une méthodologie particulière doit être appliquée sur les séries de données du fait des événements cycloniques. Enfin, dans les zones estuariennes, la méthode actuelle ne peut être appliquée car elle est basée sur l'indépendance de la marée et des surcotes, ce qui n'est plus vérifiée.

## 5. CONCLUSIONS

Cette étude a permis d'actualiser les études précédentes sur les niveaux extrêmes de pleine mer (Simon, 1994) et (Simon, 2008) et de cartographier, avec une méthodologie identique, les niveaux extrêmes de basse mer sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique. Les niveaux extrêmes ont été calculés pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, et cartographiés par rapport à l'IGN69 sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique.

L'étude de sensibilité tend à montrer que la méthode employée permet en se basant sur des données d'observations de courte durée (10 ans) d'estimer des niveaux centennaux avec une précision raisonnable par rapport à un échantillon de plus longue durée : en effet, une variation de la durée des données de 10 à 148 ans à Brest a une influence inférieure à 2 cm sur le calcul des niveaux centennaux. Il apparaît également que la prise en compte d'un seul événement historique a une influence limitée sur les résultats ; en effet, la prise en compte de la tempête du 15 octobre 1987 à Brest ou de la tempête Xynthia à La Rochelle entraîne des variations sur le calcul du niveau centennal respectivement de 1 et 3 cm.

L'analyse des résultats a montré la nécessité de développements supplémentaires :

- pour mieux qualifier les résultats,
- pour améliorer la méthodologie,
- pour estimer l'impact des vagues et des seiches,
- pour prendre en compte le changement climatique,
- pour étendre géographiquement cette étude (zones estuariennes, Méditerranée, DOM-COM).

L'extension géographique de cette étude implique une révision complète de la méthodologie actuelle.

## 6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Bersani C., Dumas P., Rouzeau M., Gérard F., Gondran O., Helias A., Martin X., Puech P., Fleury B., Greff M., Bougere R., Trepos Y.**, (2010), « *Tempête Xynthia - Retour d'expérience, évaluation et propositions d'action – Tome I : Rapport* », Rapport du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, Mai 2010  
<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000293/>

**CETMEF**, (2001), « *Recommandations pour le calcul aux états-limites des Ouvrages en Site Aquatique* », Cédérom ROSA 2000  
<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/portuaire/rosa-2000.html>

**CETMEF-SHOM**, (2008), « *Statistiques des niveaux marins extrêmes de pleine mer Manche et Atlantique (2008)* », Cédérom commun SHOM-CETMEF

**Devaux E.**, (2009), « *Analyse des seiches à partir de l'exploitation de données marégraphiques – Exploitation graphique, analyse séquentielle et recherche d'éléments déclencheurs* », Rapport ENTPE-SHOM, Juin 2009

**Duchon J.**, (1976), « *Interpolation des fonctions de deux variables suivant le principe de la flexion des plaques minces* », Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle, série analyse numérique, vol.10, n°12, décembre 1976, pp 5-12

**Lafon F.**, (2009), « *Refonte de la Règle Fondamentale de Sécurité relative au risque d'inondation externe* », Guide méthodologique de caractérisation des niveaux hauts extrêmes de la mer. Guide EDF, Contributeurs SHOM/CETMEF/EDF.

**Pineau-Guillou L., Lathuilière C., Magne R., Louazel S., Corman D., Perherin C.**, (2010), « *Caractérisation des niveaux marins extrêmes et modélisation des surcotes pendant la tempête Xynthia* », Actes des XIèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil  
[http://www.paralia.fr/jngcgc/11\\_73\\_pineau.pdf](http://www.paralia.fr/jngcgc/11_73_pineau.pdf)

**Pedreras R., Garcin R., Krienn Y., Monfort Climent D., Murgica J., François B.**, (2010), « *Tempête Xynthia : compte-rendu de mission préliminaire* », Rapport BRGM/RP-58261-FR, Mars 2010.

**Simon B.**, (1994), « *Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France* », Rapport d'étude SHOM n° 001/94.

**Simon B.**, (2007), « *La marée océanique côtière* », Editions de l'Institut Océanographique, 433 pages.

**Simon B.**, (2008), « *Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution* », Extrait du cédérom (CETMEF-SHOM, 2008).

# OBSERVATION ET PRÉVISION DES SEICHES SUR LA CÔTE ATLANTIQUE FRANÇAISE

par Fabrice Arduin<sup>1</sup>, Emmanuel Devaux<sup>2</sup> et Lucia Pineau-Guillou<sup>3</sup>

## RÉSUMÉ

Les seiches posent parfois problème pour la sécurité de la navigation, et peuvent entraver le bon fonctionnement des ports. Après un recensement des mesures analogiques ou numériques des marégraphes de ports français des côtes de l'Atlantique et de la Manche en 2007, le signal de seiche a été isolé. L'analyse fréquentielle a permis d'estimer les périodes propres à chaque port.

L'analyse des causes possibles des seiches indique que, pour des seiches de périodes relativement courtes, comme à Port-Tudy avec 4 à 5 minutes, l'état de la mer est la cause dominante des seiches via l'excitation d'ondes infragravitaires à l'extérieur du port.

Ainsi, la hauteur significative des ondes infragravitaires ( $H_{IG}$ ) au sud de l'île de Groix est un indicateur fiable de la hauteur de la seiche (corrélation 0,87) et prévisible plusieurs jours en avance, grâce aux prévisions de spectres d'état de la mer.

## ABSTRACT

*Seiches may pose problems for the safety of navigation and can prevent proper operation of ports. Following the identification of digital and analog tide measurements of French ports on the Atlantic coast and the Channel, seiche signals were isolated. The frequency analysis was used to estimate the natural periods of each port.*

*Analysis of possible causes of seiches indicates that for short periods, as in Port-Tudy with 4 to 5 minutes, sea state is the dominant cause of seiches through infragravity wave excitation outside the port.*

*Significant infragravity wave height ( $H_{IG}$ ) in the south of Ile de Groix is thus a reliable indicator of seiches height (correlation 0.87) and is predictable, days in advance, through the forecast of sea state spectrum.*

<sup>1</sup> IFREMER, Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané, France. ([arduin@ifremer.fr](mailto:arduin@ifremer.fr))

<sup>2</sup> CETE de l'Ouest, DIE/Groupe environnement, Man, rue René Viviani BP 46223, 44262 Nantes Cedex 2, France. ([emmanuel.devaux@developpement-durable.gouv.fr](mailto:emmanuel.devaux@developpement-durable.gouv.fr))

<sup>3</sup> SHOM, 13 rue du Chatellier, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2, France. ([lucia.pineau-guillou@shom.fr](mailto:lucia.pineau-guillou@shom.fr))



## 1. INTRODUCTION

Les seiches ou modes de bassin, sont des ondes stationnaires dans un bassin fermé ou semi fermé. Elles se manifestent par des oscillations de la hauteur d'eau, dont l'amplitude et la période varient selon la configuration du bassin. Leur amplitude est très variable dans le temps. Tous les lacs et ports ont des mouvements de seiche, dont les périodes sont caractéristiques de la forme des bassins (étendue et profondeur). Toutefois la seiche passe généralement inaperçue du fait de sa faible amplitude. Les grands ports ont des périodes de résonance de plusieurs dizaines de minutes, périodes auxquelles le forçage est généralement associé aux variations de pression atmosphérique (De Jong et al. 2003). Les petits ports ont des périodes de résonance qui sont généralement inférieures à la dizaine de minutes, dans une bande de fréquence où les groupes de vagues génèrent un important signal infragravitaire. Okihiro et al. (1993) ont montré que la hauteur de la seiche pouvait atteindre 20 à 30 fois l'amplitude des ondes longues à l'entrée du port. Dans ces cas, l'agitation est maximale en présence de forts états de mer au large, avec une amplitude qui augmente avec la période de la houle : ainsi des seiches importantes peuvent survenir sans vent mais avec des houles de très grande période. D'autres situations océanographiques plus complexes peuvent aussi causer de fortes seiches (Giese & Chapman, 2001).

Des seiches de hauteur notable (quelques dizaines de centimètres) se produisent à Brest, Le Conquet ou encore Cherbourg. Les seiches les plus importantes en France sont observées à Port-Tudy (île de Groix), où elles peuvent atteindre presque 2 mètres. Le CETMEF a réalisé en 2007 une enquête auprès des ports, avec l'appui du CETE Méditerranée, afin d'évaluer l'importance pratique du phénomène. Il en est ressorti que les problèmes les plus importants sont associés au déclenchement intempestif de la manœuvre automatique des portes d'écluse à Cherbourg, et aux problèmes de tenue à quai des navires du fait des vitesses associées à la seiche ; c'est le cas à Bayonne et à Port-Tudy. Dans ce dernier port, la seiche, qui peut atteindre 1,8 m de hauteur, engendre des courants violents, pouvant dépasser 8 nœuds. Ainsi, le port est fermé à partir d'une hauteur de 1 m, ce qui arrive plusieurs fois par an.

La gêne ou les dégâts occasionnés dans les ports français, ont donc motivé notre travail. Nous avons d'abord caractérisé les seiches puis cherché à déterminer leur cause. Ainsi, les mesures marégraphiques de l'année 2007 ont été analysées en relation avec les différents phénomènes susceptibles de générer les seiches. Ensuite, au vu de la forte corrélation entre les seiches observées et l'agitation infragravitaire générée par la houle, nous avons étudié la prévisibilité du phénomène, en particulier dans le cas de Port-Tudy.

## 2. ANALYSE DES SIGNAUX DE SEICHE OBSERVÉS EN 2007

Devaux (2009) a analysé les données des marégraphes du SHOM de Brest, Cherbourg et Port-Tudy. Alors que les deux premiers sont numériques, ce qui facilite grandement le traitement, ce dernier est un marégraphe mécanique, enregist-

rant les hauteurs d'eau sur papier. C'est le dernier marégraphe mécanique du réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) du SHOM, conservé justement pour permettre d'enregistrer les seiches, quand les premiers marégraphes numériques avaient une période d'acquisition de 10 minutes. Il sera prochainement remplacé par un marégraphe numérique côtier (MCN).

Une méthode similaire est appliquée pour les enregistrements numériques : la hauteur de seiche est définie comme la différence entre le niveau maximal et le minimal sur une durée d'une heure, une fois enlevée la prédiction de marée.

A partir de ces signaux, nous avons étudié leur contenu fréquentiel par une analyse spectrale (figure 1). A Port-Tudy, la seiche présente un pic assez large autour de  $13,6 \text{ h}^{-1} = 0,0038 \text{ Hz}$  (période de 4,4 minutes), couvrant une bande de fréquence de 0,001 Hz environ. Les oscillations de fréquence  $300 \text{ h}^{-1}$  à  $450 \text{ h}^{-1}$  (périodes 8 à 12 s) sont causées par la houle qui est tout de même bien filtrée par le port et le système de mesure. Une analyse similaire donne, dans le cas de Brest, des périodes de seiche de 7,5 min, 22 min, 85 min et 230 min, pour Cherbourg 11min, 20 min et 37,5 min, pour Dieppe 17 min et pour Le Conquet 4,5 min et 15 min.

Les séries temporelles de hauteur de seiche sur l'ensemble des ports présentent de fortes similitudes, comme le montre la figure 2. Certains pics de seiche se retrouvent dans les quatre ports étudiés, avec des décalages de quelques heures seulement. Toutefois, la relation n'est pas systématique : en particulier le 21 février ( $x = 54$ ), aucune seiche notable n'est observée à Cherbourg, contrairement aux autres ports. Il apparaît donc probable que les causes des seiches sont généralement homogènes spatialement, avec des exceptions pour certains événements. La corrélation entre deux séries temporelles ne dépasse pas 0,5 pour toute l'année 2007 (Devaux, 2009), et les corrélations les plus faibles sont obtenues entre Cherbourg et les autres ports.

## 3. CAUSES PROBABLES DES SEICHES

Au vu des études précédentes d'Okihiro et al. (1993) et de De Jong et al. (2003), on peut penser que les états de mer, le vent ou la pression atmosphérique, sont la cause des seiches observées sur les côtes françaises. Le vent, la pression et les états de mer étant eux-mêmes corrélés, il n'est pas toujours aisé d'exclure l'un ou l'autre des facteurs. Toutefois, l'examen des pressions mesurées à Lann Bihoué et des vitesses du vent mesurées à Groix par Météo France montre que la pression locale ou sa variation n'est pas significativement corrélée avec l'amplitude de la seiche à Port-Tudy. La vitesse du vent n'est pas un bon indicateur de la présence de seiches importantes, et la corrélation est typiquement inférieure à 0,5. Par contre, on peut noter que les fortes seiches à Port-Tudy ( $H > 0,3 \text{ m}$ ) se produisent généralement pour des vents de secteur sud-ouest, avec des azimuts compris entre 210 et 250°.

En absence de mesures d'état de mer au large de Port-Tudy, nous utiliserons ici les résultats des modèles de vagues développés au SHOM, tels que mis en œuvre dans le cadre de

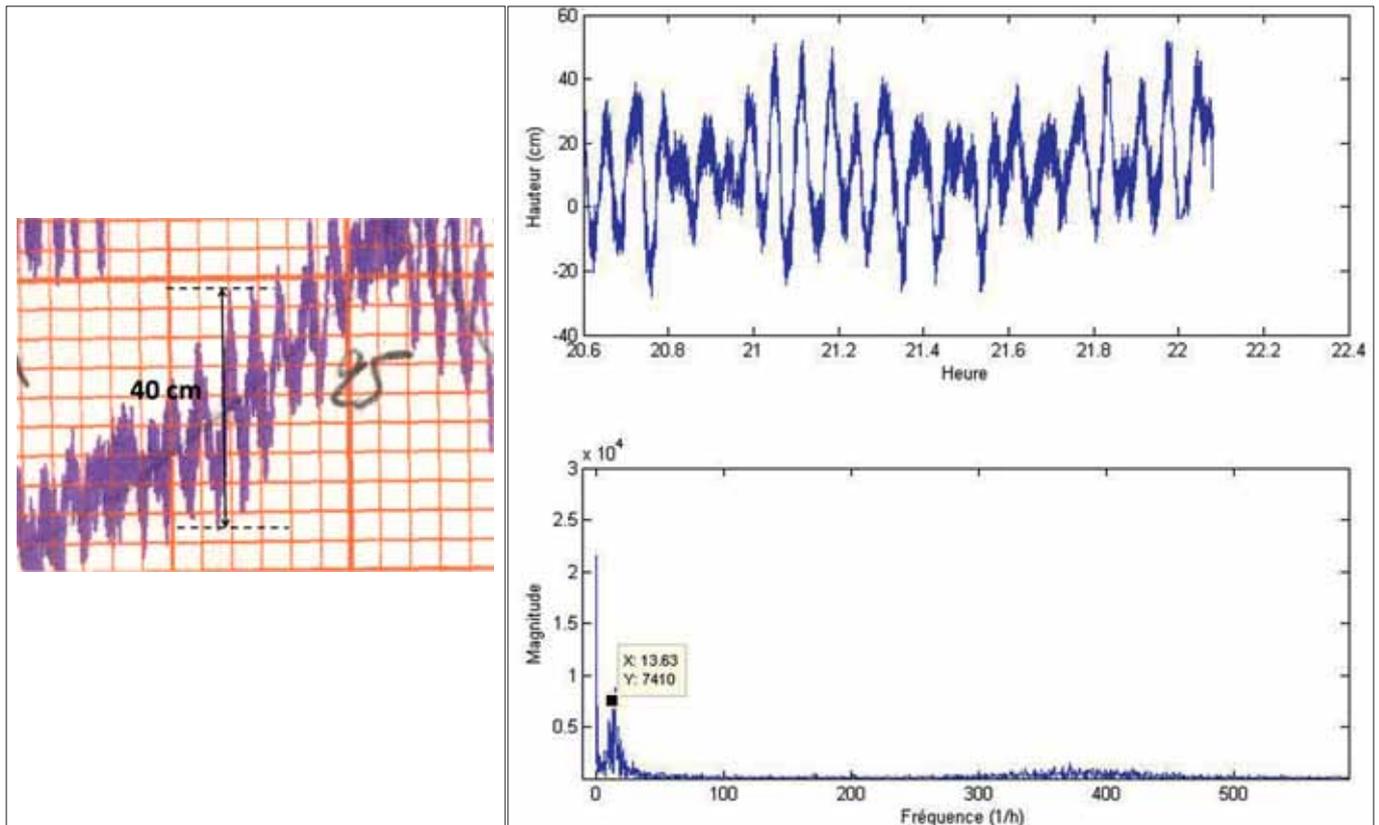


Figure 1. A gauche : illustration de l'estimation de la hauteur de seiche à Port-Tudy (cas du 25 février 2007).  
A droite : Signal (en haut) et spectre (en bas) de seiche (Port-Tudy, 10 mars 2008)

PREVIMER, avec un dernier zoom utilisant un maillage à base triangulaire couvrant toute la Bretagne (figure 3). Ces modèles sont les plus précis à l'heure actuelle. La très bonne qualité des paramètres intégraux au large des côtes françaises (erreurs moyennes quadratiques inférieures à 9 % et 8 % des observations pour  $H_s$  et  $T_{m0,2}$  moyennés sur trois heures à la bouée Brittany-62163), permet d'espérer une estimation correcte des ondes longues forcées. Nous utiliserons ici une série temporelle de spectres d'état de mer calculés pour un point au sud de l'île de Groix, par 28 m de fond (figure 3). L'état de la mer est généralement bien corrélé avec le vent local, sauf en présence de houle de longue période qui a pu être générée par une tempête très lointaine. L'analyse des seiches en été, saison où les houles longues dominent plus fréquemment l'état de la mer, montre sans ambiguïté que les seiches de Port-Tudy sont liées à la l'état de la mer. Ainsi la seiche du 1<sup>er</sup> juillet 2007, qui atteint 30 cm en milieu de journée, se produit au moment de l'arrivée d'une houle longue de période pic 16 s et de hauteur 1,8 m, alors que le vent local est modéré (10 m/s), de secteur sud-ouest. Le 5 août 2007, une houle de période pic 18 s et de hauteur 0,4 m arrive en même temps qu'apparaît une seiche de 20 cm. Dans ce cas, le vent est faible et orienté au sud-est.

En effet, l'état de la mer est souvent associé au vent local et les plus fortes vagues dans le secteur entre Lorient et Groix sont justement obtenues pour des directions des vagues (et donc généralement du vent) proche de 220°. En fait la corrélation est plus forte entre la direction des vagues et la hauteur de seiche qu'entre la direction du vent et la hauteur de seiche.

#### 4. PRÉDICTION QUANTITATIVE DE LA HAUTEUR DES SEICHES À PORT-TUDY

Il est bien connu que les vagues génèrent des ondes longues (Munk, 1949), aussi appelées « ondes infragravitaires ». Ces ondes sont forcées par les groupes de vagues, avec une forte amplification à la côte. Au forçage local, s'ajoutent des ondes libres, généralement issues des ondes forcées mais libérées lors du déferlement à la côte (Herbers, 1994). Des modèles relativement simples permettent de capturer les principaux traits de cette évolution (Reniers et al. 2002). Ces ondes longues couvrent le domaine de fréquence de 0,001 à 0,05 Hz, et sont donc susceptibles d'exciter les modes de bassin des ports, ce qui peut expliquer les seiches (Okiihiro et al. 1993). Il est donc logique de chercher une relation entre la hauteur des seiches et l'amplitude des ondes longues de fréquences proches des seiches observées. Par ailleurs, l'amplitude du signal infragravitaire peut être reliée à des paramètres simples de l'état de la mer. Ainsi, pour un jeu de données regroupant un grand nombre de plages différentes, Stockdon et al. (2006) ont obtenu une bonne corrélation entre l'amplitude des ondes infragravitaires à la côte et un indice de hauteur  $H_n = \sqrt{g H_s} T_{m0,-1}$ , où  $H_s$  et  $T_{m0,-1}$  sont, respectivement, la hauteur significative et la période moyenne (pondérée par le flux d'énergie) au large de la zone de déferlement. Puisque les spectres d'état de mer  $E(f, \theta)$  sont archivés toutes les trois heures, nous avons pris la moyenne quadratique des hauteurs de seiche sur un intervalle de trois heures. Une hauteur significative infragravitaire  $H_{IG}$ , est obtenue en intégrant deux fois la variance de l'élévation de surface des ondes forcées dans la bande de fréquence

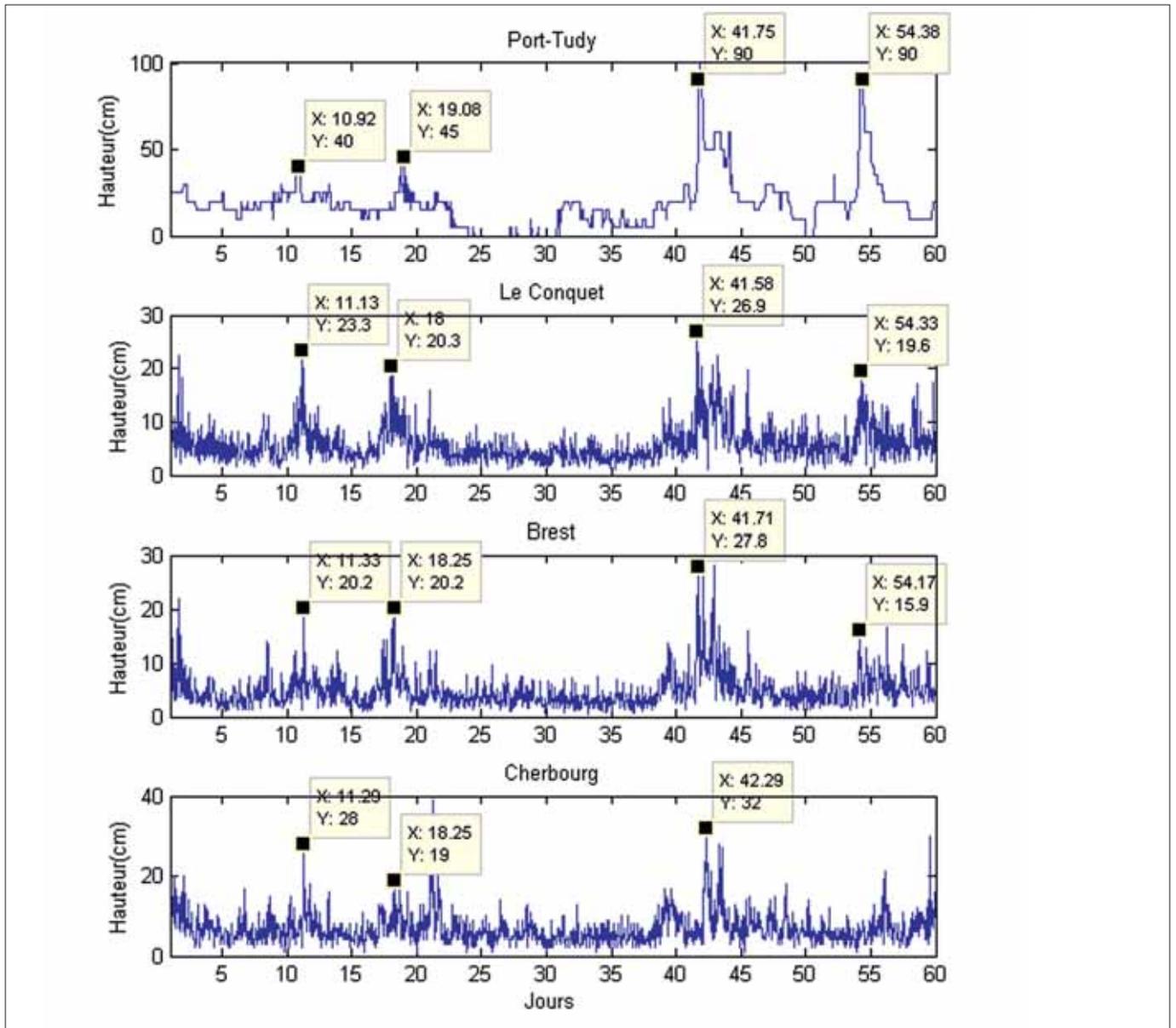


Figure 2. Comparaison des hauteurs de seiche entre Port-Tudy, Le Conquet, Brest et Cherbourg de janvier à février 2007

0,003-0,005 Hz, pour laquelle la seiche est observée à Port-Tudy. Le calcul est réalisé avec le coefficient de couplage  $T(f_1, f_2, \theta)$ , qui donne la densité spectrale de la variance de l'élévation de la surface, dans la bande infragravitaire :

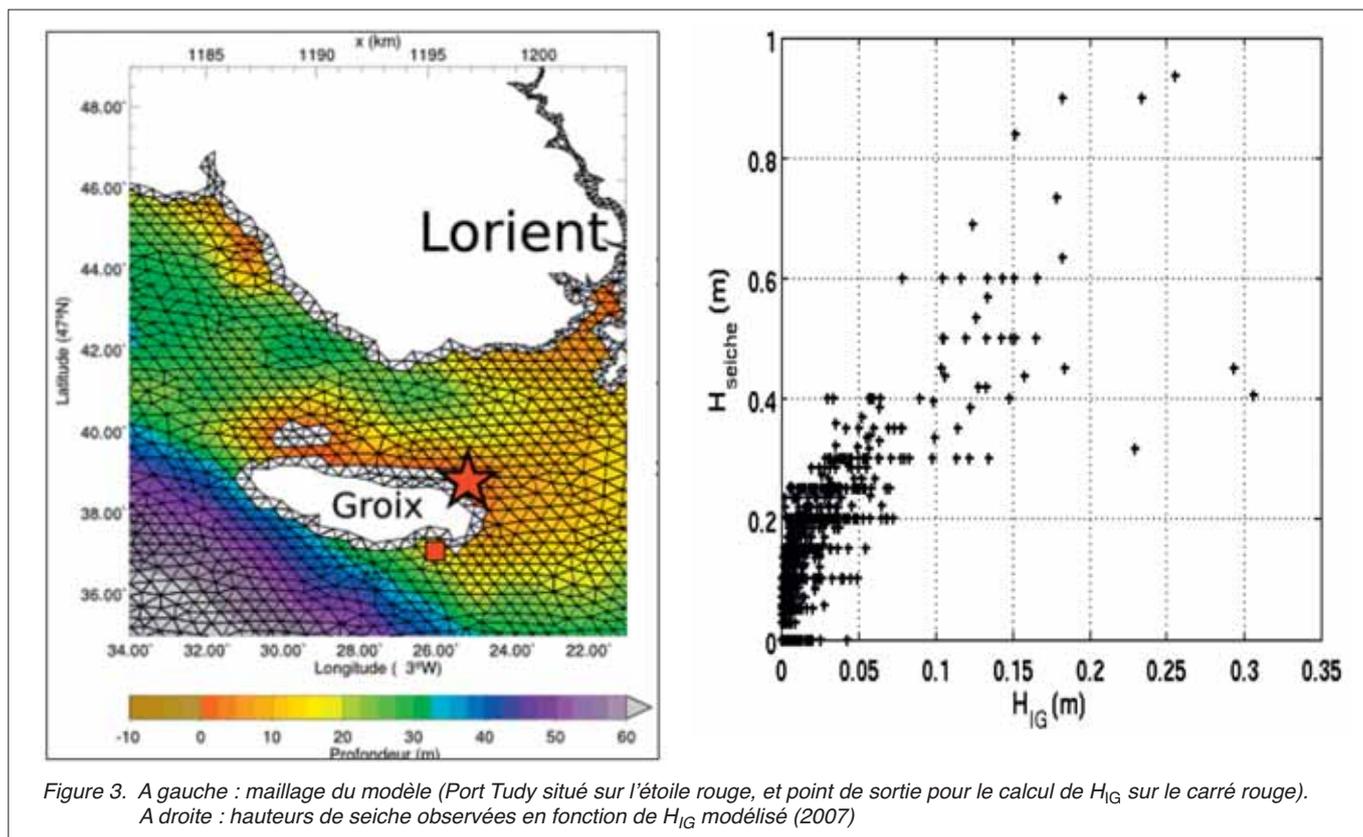
$$E_{2d}(f) = 2 \iiint T^2(f' + f, -f, \theta - \theta') E(f' + f, \theta) E(f', \theta') df' d\theta d\theta' \quad (1);$$

où  $E(f, \theta)$  est la densité spectro-angulaire d'énergie des modes linéaires des vagues. Le coefficient de couplage  $T$  est égal à la moitié du coefficient  $K$  donné par Forristall (2000) et se déduit simplement des formules données par Hasselmann (1962).

Du fait de la discrétisation relativement grossière de  $E(f, \theta)$  dans le modèle, le calcul pratique de (1) demande de faire des hypothèses sur la variation du spectre à l'intérieur des intervalles de discrétisation. Nous avons pris  $E(f, \theta)$  constant sur chaque élément spectral, et défini la hauteur significative infragravitaire forcée, comme :

$$H_{IG} = 4 \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} E_{2d}(f) df} \quad (2);$$

avec  $f_1=0,003$  et  $f_2=0,005$  Hz qui encadrent la bande de fréquence de la seiche de Port-Tudy. La figure 3 montre la variation de la hauteur de seiche observée avec ce paramètre  $H_{IG}$  estimé pour le point de sortie du modèle d'état de mer. Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson est de 0,87 entre les deux séries temporelles si on ne garde que les seiches de plus de 10 cm.



Pour l'année 2007, cela représente 1 099 échantillons de 3 heures de durée, soit 38 % des cas.

Le paramètre  $H_{IG}$  peut donc être utilisé pour prévoir l'amplitude de la seiche. On remarque que toutes les seiches de plus de 0,5 m de hauteur - entraînant une gêne importante pour le fonctionnement du port - se sont produites pour  $H_{IG} > 8\text{cm}$  (24 cas en 2007). Si l'on devait utiliser une relation prédictive linéaire du type  $H_{\text{seiche}} = 3,8 H_{IG}$  pour prévoir le dépassement du seuil  $H_{\text{seiche}} = 0,5\text{ m}$ , cela aurait abouti à huit événements manqués sur 24, et 8 fausses alarmes. Toutefois, la hauteur de seiche minimale lors d'une fausse alarme aurait été de 30 cm, soit une seiche assez importante pour perturber l'activité portuaire. Par ailleurs, on peut noter que la hauteur de seiche varie plutôt comme la racine carrée de  $H_{IG}$ . Cela peut se comprendre assez simplement. Nous avons estimé  $H_{IG}$  à une profondeur fixe de 20 m, toujours située au large de la zone de déferlement. Or, plus la hauteur des vagues est faible, plus elles vont déferler à des profondeurs plus faibles, là où les ondes longues forcées sont libérées et où la hauteur des vagues est plus importante. Cet effet pourrait expliquer une amplification relativement plus importante des petites valeurs de  $H_{IG}$ .

Il apparaît ainsi possible de prévoir la hauteur de seiche plusieurs jours à l'avance, sur la base de cette relation constatée entre l'état de la mer modélisé et la hauteur de seiche observée. Par ailleurs, il est intéressant de noter que l'indice de hauteur suggéré par Stockdon et al. (2006),  $H_n = \sqrt{g H_s} T_{m0,-1}$  est bien corrélé avec la hauteur de seiche ( $r = 0,77$ ). Ce paramètre est facile à calculer à partir de paramètres qui sont bien prévus, jusqu'à 4 jours à l'avance, en particulier dans l'Atlantique nord-est.

## 5. CONCLUSIONS

L'analyse des hauteurs et périodes de seiche à Port-Tudy, Brest et Cherbourg a montré que le phénomène présente des caractéristiques propres à chaque port, en particulier en terme de périodes, mais que les seiches apparaissent souvent à peu près simultanément dans ces trois ports. L'analyse des causes probables de ces seiches montre que, dans le cas de Port-Tudy, l'état de la mer, via la génération d'ondes longues (infragravitaires) est probablement la cause unique de ces seiches dont les périodes sont proches de 4 minutes.

Pour les seiches de périodes supérieures à 10 minutes à Brest, Le Conquet et Cherbourg, les corrélations sont plus faibles, entre 0,40 et 0,51. Il est possible que d'autres causes se combinent à l'état de la mer, ou que la modélisation des états de mer ne soit pas de qualité suffisante pour prévoir cette partie du spectre des ondes longues.

## 6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**De Jong M.P.C., Holthuijsen L.H., Battjes J.A. (2003)** : « Generation of seiches by cold fronts over the southern North Sea ». *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, 3117, 10 p.

**Devaux E. (2009)** : « Analyse des seiches à partir de l'exploitation de données marégraphiques ». Rapport de projet de fin d'étude, ENTPE, Vaulx en Velin.

**Forristall G.Z. (2000)** : « Wave crest distributions: observations and second-order theory ». *Journal of Physical Oceanography*, vol. 30, pp 1931–1943.

**Giese G.S., Chapman D.C.** (2001) : « Evidence of near-surface density stratification as a factor in extreme seiche events at Ciutadella harbor, Menorca Island ». Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium Ocean Wave Measurement and Analysis, pp 1615-1624, ASCE.

**Hasselmann H.** (1962) : « On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum, part 1: general theory ». *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 12, pp 481–501.

**Herbers T.H.C.** (1994) : « Infragravity-frequency (0.005-0.05 Hz) motions on the shelf, part I, forced waves ». *Journal of Physical Oceanography*, vol. 24, pp 917–927.

**Munk W.** (1949) : « Surf beat ». *Eos Trans. AGU*, vol. 30, pp 849–854.

**Okiihiro M., Guza R.T., Seymour R.J.** (1993) : « Excitation of Seiche Observed in a Small Harbor ». *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, pp 18201–18211.

**Reniers A.J.H.M., Van Dongeren A.R., Battjes J.A., Thornton E.B.** (2002) : « Linear modeling of infragravity waves during DELILAH ». *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, 3137, 18 p.

**Stockdon H.F., Holman R.A., Howd P.A., Sallenger A.H.** (2006) : « Empirical parameterization of setup, swash, and run-up ». *Coastal Engineering*, vol. 53, pp 573–588.

# LA MONTÉE DU NIVEAU DES OCÉANS PAR MARÉGRAPHIE ET GÉODÉSIE SPATIALE : CONTRIBUTIONS FRANÇAISES À UNE PROBLÉMATIQUE MONDIALE

par Guy Wöppelmann <sup>(1)</sup>, Laurent Testut <sup>(2)</sup> et Ronan Créach <sup>(3)</sup>

## RÉSUMÉ

Les marégraphes enregistrent les variations de la hauteur du niveau de la mer par rapport à une référence locale attachée au socle sur lequel ils reposent à la côte. L'information contenue dans leurs enregistrements va donc bien au-delà du seul phénomène de la marée océanique. Ce constat explique l'intérêt porté à cette observation par de nombreuses communautés. Aujourd'hui, les marégraphes constituent la seule source d'observation directe disponible sur plusieurs décennies, voire centaines d'années, qui apporte une information précieuse pour décrire et comprendre les variations passées du niveau des océans, en particulier dans le contexte de réchauffement climatique planétaire. Dans cet article nous abordons l'estimation de la montée du niveau des océans sur le dernier siècle et les difficultés associées à cette estimation, en particulier liées à la question des mouvements verticaux du sol présents également dans les enregistrements marégraphiques. Une revue actualisée des différentes approches pour prendre en compte ces mouvements est proposée en soulignant les contributions françaises marquantes dans ce domaine et les dispositifs d'observation qui se mettent en place, en particulier le service d'observation SONEL (<http://www.sonel.org>), dont la composante géodésique GPS est appelée à jouer un rôle international.

## ABSTRACT

*Tide gauges measure sea level relative to a local reference point attached to the land upon which the gauges are grounded at the coast. Therefore, the information contained in the tide gauge records goes beyond the only ocean tide phenomenon. This explains the wide range of interest expressed by various communities for that type of observations. Today, tide gauges represent the only direct observation source of sea-level data available over decades to centuries, which provide invaluable information to describe and understand past sea level changes of the oceans, in particular within the context of global warming. In this paper, we examine the question of global sea level rise estimation over the past century and the difficulties raised by vertical land movements also present in the tide gauge records. An updated review of the different approaches to deal with these movements is provided, underlying the French contributions into this field and the observing infrastructures which are developed, in particular the SONEL observing service, whose geodetic GPS component is expected to play an international role.*

(1) Université de la Rochelle - CNRS, UMR 6250 LIENSs, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France. (Email : gwoppelm@univ-lr.fr)

(2) LEGOS, 14 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France. (Email : laurent.testut@legos.obs-mip.fr)

(3) SHOM, 13 rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest Cedex 2, France. (Email : creach@shom.fr)



## 1. INTRODUCTION

Les marégraphes enregistrent les variations de la hauteur du niveau de la mer par rapport à une référence locale attachée au socle sur lequel ils reposent à la côte. L'information contenue dans leurs enregistrements va bien au-delà du seul phénomène de la marée océanique. A ce titre, il convient de chercher l'étymologie du terme marégraphe dans le latin « mare » (mer) et le grec « graphein » (écrire). Quant à la définition proposée dans Simon (2007) : « Par son étymologie, le terme de marégraphie se rapporte à la description du phénomène de marée et aux instruments qui, par leurs mesures, en ont permis une meilleure connaissance », elle mérite d'être étendue aux autres phénomènes qui affectent le niveau de la mer, en particulier, les effets météorologiques de la pression atmosphérique ou du vent, les ondes de tempête, les tsunamis, les effets de couplage entre l'atmosphère et l'océan tel que le phénomène El Niño ou l'oscillation Nord Atlantique, les effets stériques dus aux changements de température ou de salinité, mais aussi les variations à long terme dues aux changements climatiques (fonte des glaces continentales, en particulier). Ce constat explique l'intérêt porté à cette observation par de nombreuses communautés : astronomes, hydrographes, géographes, géophysiciens, océanographes et climatologues.

Aujourd'hui, les marégraphes constituent la seule source d'observations directes disponible sur plusieurs décennies, voire centaines d'années, qui apporte une information précieuse pour décrire et comprendre les variations passées du niveau des océans. Les observations précises à partir des satellites sont relativement récentes (1992, Topex/Poseidon) et jugées de durée trop courte par certains pour déterminer une tendance séculaire ou une accélération significative du niveau des océans liée au réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre. Dans cet article nous examinons la question des variations générales et à long terme du niveau de la mer observées directement par l'Homme, depuis parfois près de trois cents ans (Pouvreau 2008), même si le cas de Brest est un cas tout à fait exceptionnel (Cartwright 1999). Dans cet article nous abordons plus particulièrement l'estimation de la montée du niveau des océans sur le dernier siècle et les difficultés associées à cette estimation, en particulier liées à la prise en compte des mouvements verticaux du sol présents dans les enregistrements marégraphiques.

## 2. LE CONTEXTE

### 2.1 « L'énigme du niveau de la mer » (W. Munk)

Selon les synthèses du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le niveau général de la mer s'est élevé de 10 à 25 centimètres au cours des cent dernières années avec une valeur centrale préférée correspondant à un taux moyen de  $1,8 \pm 0,5$  mm/an (Bindoff *et al.* 2007). Dans le troisième rapport du GIEC, le bilan entre la somme des contributions climatiques à cette élévation et l'estimation faite à partir des observations directes fait apparaître un facteur deux, 0,7 mm/an *versus* 1,5 mm/an, respectivement. Munk (2002) soulève ainsi la question inquiétante de notre capacité à prévoir le futur si nous ne sommes pas capables d'expliquer le passé récent. Depuis, si ce facteur semble réduit dans le quatrième rapport du GIEC

(Bindoff *et al.* 2007), l'écart entre les deux valeurs reste de 0,7 mm/an (1,1 mm/an *versus* 1,8 mm/an). De nombreuses études ont été menées depuis ce quatrième rapport pour tenter de réduire les incertitudes dans la perspective de mieux prévoir les variations du niveau de la mer, et par suite mieux anticiper leurs conséquences, et mieux s'adapter aux changements à venir ou, du moins, moins mal.

### 2.2 Problématique et enjeux

D'où viennent les valeurs de 1,5 ou 1,8 mm/an de montée du niveau des océans sur le dernier siècle rapportées ci-dessus ? A partir de quelles données sont-elles issues ? Le dispositif de mesure disponible est-il bien adapté ? Comment sont analysées les observations ? N'y aurait-il pas des erreurs systématiques dans le dispositif de mesure ou dans les méthodes d'analyse qui expliqueraient les écarts observés entre les résultats des différentes études ? Quelles sont les limites et les difficultés associées à ces déterminations ? Et au prix de quelles hypothèses sont-elles obtenues ?

Par ailleurs, la surface des océans est sous la surveillance précise des altimètres radars embarqués sur satellite depuis le lancement du satellite franco-américain Topex/poseidon en 1992, puis de ces successeurs, la série Jason. Des hauteurs d'eau à quelques centimètres près sont obtenues de manière continue par rapport au centre des masses de la Terre. Les satellites équipés d'altimètres radar ont révolutionné l'océanographie en permettant enfin l'accès à l'océan du large, autrement plus difficile à observer par les mesures *in situ* des marégraphes, avec une couverture spatiale dense et une répétition des traces au sol régulière. L'analyse de ces mesures fait l'objet de nombreuses études qui indiquent une élévation du niveau des océans de quelque  $3,3 \pm 0,4$  mm/an depuis 1993 (e.g., Cazenave & Llovel 2010). Dans quelle mesure cette valeur est-elle anormale ? Peut-on la relier à un changement climatique planétaire ? N'est-elle pas le résultat d'une oscillation incomplètement observée ? Que montrent les observations passées à plus long terme ?

Enfin, il est important de remarquer que si la détermination de la tendance du niveau global des océans se révèle un indicateur climatique important permettant de valider les modèles de réchauffement climatique et d'améliorer leurs prédictions, la question de son intérêt pratique se pose dans l'anticipation des conséquences, l'évaluation des risques et la définition de stratégies d'adaptation. Alors que le GIEC a jusqu'à présent surtout porté son attention sur l'estimation d'indicateurs de changement climatique à l'échelle planétaire (température moyenne de l'atmosphère, taux de dioxyde de carbone atmosphérique, niveau moyen des océans...), l'intérêt scientifique, économique et social se trouve dans les variations locales du niveau marin, lesquelles pourront s'écarter notablement de la moyenne globale. Les variations spatiales des tendances du niveau de la mer sont désormais reconnues. Les processus à l'origine de ces variations sont multiples : (i) dilatation thermique des couches superficielles des océans (e.g., Ishii *et al.* 2006) ; (ii) fonte des glaces continentales et effets gravitationnels associés à la redistribution des masses d'eau (e.g., Mitrovica *et al.* 2009) ; (iii) redistribution des champs de pression atmosphérique (e.g., Woodworth *et al.* 2010) ; (iv) mouvements verticaux du sol à la côte (e.g., Wöppelmann *et al.* 2007).

Ces questions relèvent d'une problématique vaste qui peut encore se décliner en de nombreuses questions particulières et techniques. Elles font l'objet de discussion dans la communauté scientifique, et de nombreux travaux sont en cours (Church *et al.* 2010). Nous présentons dans cet article une revue actualisée des résultats obtenus dans l'estimation de l'évolution récente du niveau des océans sur le dernier siècle à partir de l'analyse des mesures marégraphiques en soulignant la contribution des mesures GPS géodésiques localisées avec les marégraphes.

### 3. LES DIFFÉRENTES APPROCHES

#### 3.1 Une hypothèse très critiquée

La mesure du niveau de la mer réalisée par un marégraphe à la côte est une mesure relative du niveau de la mer par rapport au socle sur lequel repose le marégraphe (Figure 1). Tout mouvement du support du marégraphe, par exemple une subsidence due à un processus de sédimentation ou bien à un tassement de la structure sur laquelle il s'appuie, se traduit dans l'enregistrement comme une élévation du niveau de la mer observé sans qu'il n'y ait pour autant lieu de l'interpréter comme une élévation du niveau de l'eau due à la fonte des glaces.

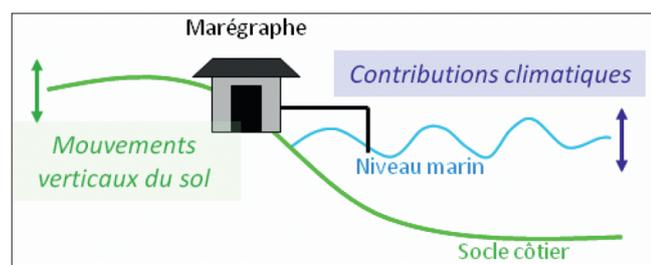


Figure 1 : La grandeur relative du niveau de la mer par rapport à la côte observée par un marégraphe.

Les processus géophysiques à l'origine de ces mouvements verticaux du sol sont nombreux (e.g., Emery & Aubrey 1991). Ils peuvent masquer le signal climatique associé à la fonte des glaces continentales et à la dilatation thermique des masses d'eau océaniques, qui sont deux indicateurs significatifs d'un réchauffement climatique planétaire, ou bien introduire une erreur systématique dans leur estimation.

Jusqu'au milieu des années 1980, l'approche pour estimer la montée du niveau des océans était d'analyser les séries temporelles marégraphiques de plus de dix ans et de supposer que les mouvements verticaux des marégraphes se compenseraient dans la moyenne, plus ou moins sophistiquée selon les auteurs (e.g., Gornitz *et al.* 1982). Cette hypothèse a soulevé de très nombreuses critiques (e.g., Barnett 1984 ; Pirazzoli 1986), d'autant plus importantes que le nombre de séries temporelles effectivement utiles dans un tel exercice s'avère considérablement réduit en raison des oscillations du niveau marin aux échelles interannuelles et décennales liées en particulier aux couplages entre l'atmosphère et les océans. Cette variabilité temporelle est difficile à caractériser et à modéliser, conduisant à ne retenir que les séries temporelles longues, typiquement de plus de quarante ans pour dégager des tendances séculaires (e.g., Douglas 1991). Par ailleurs, de nombreux géologues considèrent que les pro-

cessus de subsidence sont plus fréquents à la côte (e.g., Emery & Aubrey, 1991), et il ne suffirait pas d'écartier les sites connus pour être affectés par des forts mouvements verticaux. Au niveau de précision recherché, rien ne peut vraiment être considéré stable à la surface de la Terre.

#### 3.2 La modélisation

Dès lors deux approches vont se mettre en place. La première consiste à modéliser les processus à l'origine des mouvements verticaux du sol, de façon à les prédire et à les corriger dans les enregistrements marégraphiques. Elle est toujours employée (e.g., Prandi *et al.* 2009). Malheureusement, seul l'ajustement glacio-isostatique (GIA) ou rebond postglaciaire dispose de modèles suffisamment élaborés pour apporter des résultats avec une précision suffisante pour être utiles dans l'application considérée (e.g., Peltier & Tushingham 1989). En effet, pour être utile la détermination de ces mouvements doit se faire avec une précision d'une fraction du signal recherché, qui est de l'ordre de quelques millimètres par an. A ce niveau de précision, les modèles de GIA présentent des limites qui sont associées aux incertitudes dans la connaissance des paramètres du modèle de Terre, par exemple le profil de viscosité dans le manteau ou bien l'épaisseur de la lithosphère, mais aussi dans l'histoire de déglaciation. De nombreuses études mettent en évidence des problèmes régionaux lors de comparaisons entre modèles de GIA (e.g., Woodworth 2003) ou avec des données indépendantes (e.g., Bouin & Wöppelmann 2010). Par ailleurs, la question reste posée pour les nombreux autres processus à l'origine de mouvements verticaux du sol pour lesquels il n'existe pas de modèles de qualité suffisante (e.g., Church *et al.* 2010).

#### 3.3 La géodésie spatiale

L'alternative aux modèles est la mesure des mouvements verticaux des marégraphes dans un repère terrestre géocentrique stable et précis. Mais au niveau de précision requis par l'application, inférieur au millimètre par an, le souhait est plus facile à formuler qu'à réaliser : près de vingt ans de progrès seront en effet nécessaires entre l'idée que la géodésie spatiale pourrait apporter une solution (Carter *et al.* 1989) et les premiers résultats effectifs obtenus à l'échelle globale (Wöppelmann *et al.* 2007). Une limite importante est le repère géocentrique, dont il faudrait définir et réaliser les paramètres physiques, origine et échelle, à mieux que 0,1 mm/an et 0,01 ppb/an, respectivement (1 ppb, partie par billion, étant équivalent à quelques 6 mm à la surface de la Terre). La meilleure réalisation d'un repère géocentrique stable et précis, l'ITRF (e.g., Altamimi *et al.* 2007), reste encore le facteur limitant dans cette application exigeante en termes de métrologie (Collilieux & Wöppelmann 2011).

Parmi les techniques de géodésie spatiale le GPS s'est rapidement imposé en raison de la qualité de ses résultats, de son utilisation pratique et des coûts relativement raisonnables du matériel. D'abord déployé en mode campagne de quelques jours à quelques semaines (e.g., Ashkenazi *et al.* 1993 ; Zerbini *et al.* 1996), l'installation de stations permanentes est apparue rapidement indispensable pour espérer détecter des signaux aussi ténus sur la composante verticale du positionnement (Neilan *et al.* 1998). De plus, tout chan-

gement de matériel, antenne ou récepteur, voire logiciel interne, peut entraîner des sauts dans les séries de positions, et par conséquent des biais dans l'estimation des vitesses GPS (e.g., Bruyninx 2004). A défaut de s'en affranchir, une observation continue offre la possibilité de les détecter, de les comprendre, voire de les corriger ou de les prendre en compte dans le processus d'estimation des vitesses.

Un autre point qui s'est révélé critique est l'analyse des mesures GPS en réseau de stations global. Cette dimension globale est indispensable dans le recalcul des orbites des satellites GPS, mais aussi dans une réalisation optimale du repère géocentrique. L'étude de cas réalisée par Legrand *et al.* (2010) sur le réseau européen montre des erreurs systématiques de plusieurs millimètres par an dans la composante verticale entre un traitement continental et un traitement global des mesures GPS. Les vitesses des solutions GPS régionales sont à considérer avec beaucoup de prudence dans l'interprétation de processus géophysiques de quelques millimètres par an sur la composante verticale.

A cet aspect global du traitement des mesures GPS s'est ajouté l'importance de réanalyser de manière cohérente l'ensemble des mesures GPS, passées et présentes, en appliquant rigoureusement la même stratégie (modèles, corrections, paramétrisation). L'objectif est de réduire les erreurs systématiques dans les produits GPS (coordonnées de station en particulier) induites par les changements dans un élément de la stratégie de traitement (Steigenberger *et al.* 2006). Une réanalyse complète des mesures GPS est nécessaire dès lors que l'utilisation d'un nouveau modèle ou d'une correction est reconnue pertinente. Le corollaire est le besoin de disposer de capacités de calcul adaptées au retraitement, en un temps raisonnable, de plus de dix ans de mesures de plusieurs centaines de stations GPS réparties mondialement, mais aussi de disposer d'un centre de données performant capable de gérer efficacement l'ensemble des observations et des informations contextuelles sur la manière dont les mesures sont acquises (matériel...).

Pour relever ces défis, des infrastructures de recherche et d'observation se sont développées de l'échelle internationale à l'échelle locale. A l'échelle internationale, les activités sont structurées depuis 1994 autour du service international IGS (Dow *et al.* 2009, <http://igs.org>) dont il est intéressant de noter l'évolution du sigle. Il a d'abord signifié : « *International GPS Service for geodynamics* », avant que le terme « *for geodynamics* » ne soit retiré, et que finalement « GPS » soit remplacé par GNSS. Cette évolution dans la désignation de l'IGS reflète l'évolution des champs d'application du système GPS, d'une part, et l'arrivée de nouvelles constellations de satellites, russe et européenne en particulier, d'autre part. C'est dans ce cadre international qu'est placé le projet TIGA (*GPS Tide GAUGE benchmark monitoring*) démarré en 2001. Ce projet a l'ambition de répondre aux besoins géodésiques décrits dans cet article et adressés formellement à l'IGS (Neilan *et al.* 1998) par la communauté scientifique du niveau de la mer organisée autour du programme mondial d'observation du niveau de la mer GLOSS de la commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Unesco (Merrifield *et al.* 2009). Six centres d'analyses GPS participent au projet TIGA de l'IGS (Schoene *et al.* 2009), dont celui du consortium ULR décrit ci-après.

A l'échelle locale, des infrastructures de calcul importantes sont donc nécessaires pour réanalyser l'ensemble des mesures GPS dès qu'un élément de la stratégie d'analyse est modifié. A titre d'exemple, la puissance de calcul du centre d'analyses GPS du consortium ULR, dont nous présentons des résultats dans la section suivante, a considérablement évolué depuis 2008 avec l'acquisition d'un cluster Linux qui comprend aujourd'hui 392 cœurs de calcul. Il a permis de réduire de un an à trois semaines le traitement de dix ans de mesures d'un réseau global de quelque 300 stations GPS, ouvrant ainsi des possibilités d'expérimentation considérables. Cette évolution était aussi indispensable pour rester compétitifs dans le domaine très dynamique du spatial où les connaissances et méthodes progressent rapidement. Précisons enfin que le consortium ULR réunit aujourd'hui des chercheurs de l'IGN France, de l'IGN Espagne et du laboratoire LIENSs (CNRS – Université de la Rochelle). Il est connu dans l'IGS sous le nom de centre d'analyses ULR, car l'initiative vient de l'université de la Rochelle et l'infrastructure informatique matérielle et logicielle sur laquelle il s'appuie y est implantée.

## 4. LES SOLUTIONS GPS

### 4.1 Premiers résultats

Le centre d'analyses ULR fait figure de précurseur en France dans le traitement des mesures GPS en réseau global de plusieurs centaines de stations, et au niveau international dans la publication des premiers résultats à l'échelle globale pour la correction des mouvements verticaux des marégraphes (Wöppelmann *et al.* 2007). Quatre générations de solutions GPS se sont succédées dans le centre ULR. Chacune est caractérisée par le réseau de stations analysé (nombre de stations, géométrie des réseaux), par la période des mesures couverte (de plus en plus longue), par le repère terrestre dans lequel elle est exprimée (réalisation de l'ITRF), et par le choix des modèles, des corrections, de la paramétrisation et de la stratégie de combinaison et d'ajustement.

Une stratégie en réseau global avec des contraintes très lâches sur les positions des stations et sur les orbites, qui sont également ajustées, a prévalu dès l'origine du centre d'analyses ULR. Le principe sous-jacent est la réanalyse complète de l'ensemble des mesures dès lors qu'un élément de la stratégie est changé, et cela sans attendre la fin des traitements lorsque les capacités de calcul étaient limitées. Le traitement des observations GPS est en effet particulièrement complexe pour déterminer les mouvements verticaux tenus du sol sur lequel reposent les marégraphes (mouvements de l'ordre du mm/an). La définition de la stratégie de calcul doit se faire avec soin. Elle doit prendre en compte tous les effets qui peuvent avoir un impact millimétrique sur la composante verticale du positionnement par GPS et les modéliser. Cette composante est particulièrement sensible : une modélisation incorrecte, par exemple, du retard des signaux dans l'atmosphère, des variations de centre de phase des antennes ou des effets de charge de l'océan ou de l'atmosphère, de même qu'une réalisation imparfaite du repère terrestre, une mauvaise géométrie du réseau de stations, des incohérences dans les modèles de force appliqués aux satellites, ou encore dans les orbites des satellites avec

le repère terrestre, se propagent de manière complexe, difficile à évaluer, dans la composante verticale des positions GPS, augmentant ainsi le niveau et la nature du bruit. Il s'ensuit des corrélations spatiales et des corrélations temporelles dans les séries de position, avec des biais potentiels importants dans les vitesses et dans les incertitudes estimées.

Les logiciels utilisés dans les calculs de l'ULR sont GAMIT/GLOBK (Herring *et al.* 2008) et CATREF (Altamimi *et al.* 2007) pour le traitement des mesures GPS, d'une part, et la combinaison des solutions journalières, hebdomadaires et long terme, d'autre part. Les détails sont dans les publications associées, par ordre de solution, qui n'est pas celui de parution des articles en raison des délais des journaux : Wöppelmann *et al.* (2008a ; 2007 ; 2009) et Santamaria-Gomez *et al.* (2011). Les deux dernières solutions, désignées par ULR3 et ULR4 dans la table 1 (Wöppelmann *et al.* 2009 ; Santamaria-Gomez *et al.* 2011), prennent en compte la nature du bruit dans les séries temporelles de positions GPS avec le logiciel CATS (Williams 2008). Il permet d'estimer avec rigueur les erreurs sur les vitesses GPS selon le type de bruit et son niveau.

L'étude détaillée de Santamaria-Gomez *et al.* (2011) confirme la dominante de bruit de scintillation remarquée par d'autres études et explore différentes sources possibles à l'origine de ce bruit.

## 4.2 Application aux marégraphes

La figure 2 montre les performances des résultats GPS obtenus par le centre d'analyses ULR dans l'application visée de détermination des mouvements verticaux aux marégraphes pour les séparer des contributions climatiques dans les enregistrements marégraphiques. Les graphiques de droite illustrent la qualité de la correction GPS de la dernière solution ULR par rapport à celle du modèle ICE5G (VM2) de Peltier (2004) dans deux régions différentes.

Même dans une région dominée par l'effet du GIA, les vitesses GPS de la dernière solution ULR4 (Santamaria-Gomez *et al.* 2011) réduisent mieux la dispersion des tendances linéaires des séries de moyennes annuelles des marégraphes que les prédictions du modèle de GIA de Peltier (2004), prédictions qui sont encore très largement utilisées aujourd'hui (e.g., Prandi *et al.* 2009). Dans une région éloignée des zones autrefois couvertes par les calottes de glace du dernier maximum glaciaire (bas de la figure 2), les prédictions du modèle de Peltier (2004) sont pratiquement sans effet significatif, alors que les vitesses GPS capturent bien la dispersion observée dans le panel de gauche en réduisant l'écart-type des vitesses (RMS) de 2,0 à 0,2 mm/an.

Toutes les régions ne donnent pas des résultats aussi spectaculaires. Mais, de manière générale, le bilan est clairement

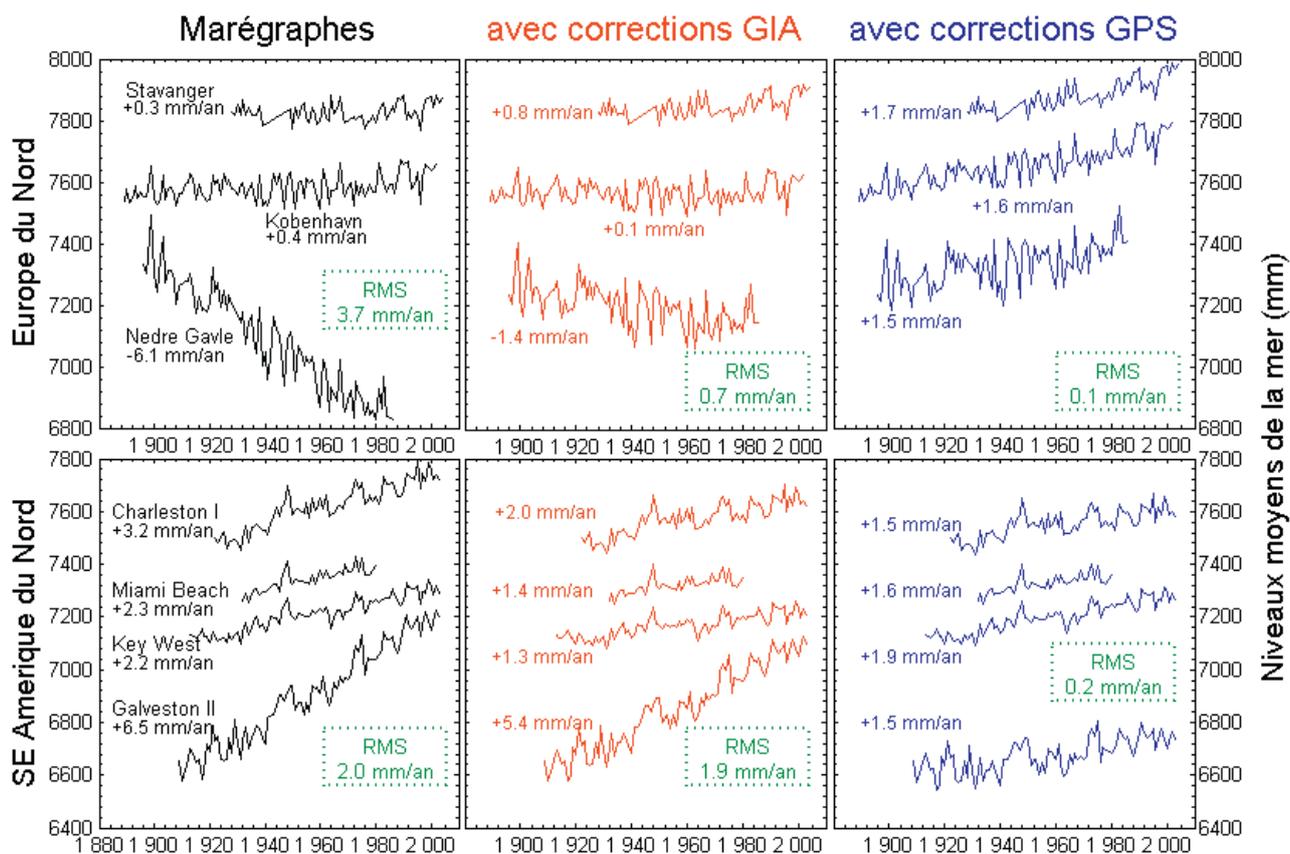


Figure 2 : Séries temporelles de valeurs moyennes annuelles issues de l'analyse des marégraphes : (gauche) sans corrections ; (milieu) corrigées des prédictions du modèle ICE5G (VM2) de Peltier (2004) ; et (droite) corrigées des résultats GPS de l'ULR exprimés dans le repère géocentrique ITRF2005 ; (haut) en Europe du Nord et (bas) Sud-est de l'Amérique du Nord. (Les unités sont en mm ; les RMS sont des écart-types des vitesses).

	TG	TG-GIA	TG+GPS (mm/an)			
Solution	-	Peltier (2004) ICE-5G VM4	ULR1 ITRF2000 1999.0-2005.7	ULR2 ITRF2000 1997.0-2006.9	ULR3 ITRF2005 1997.0-2006.9	ULR4 ITRF2005 1996.0-2009.0
Dispersion individuelles	2.05	1.49	1.15	1.06	0.98	0.59
Dispersion régionales	1.37	0.98	0.91	0.83	0.60	0.55
Élévation du niveau des océans		1.83 ± 0.21	1.31 ± 0.30	1.38 ± 0.28	1.61 ± 0.19	1.34 ± 0.12

Table 1 : Résultats des marégraphes (TG) sélectionnés suivant les critères de Douglas (2001) et corrigés ou pas des mouvements verticaux du sol, soit par le modèle GIA de Peltier (2004), soit par les vitesses GPS des quatre solutions produites par le consortium ULR (voir texte). Les unités sont en mm/an.

en faveur des corrections du champ de vitesses GPS du consortium ULR. La table 1 montre l'apport des solutions ULR au fur et à mesure des progrès réalisés dans l'analyse des mesures GPS en termes de réduction dans la dispersion des tendances linéaires individuelles des marégraphes (1<sup>ère</sup> ligne) et des moyennes régionales de ces tendances (2<sup>ème</sup> ligne). Les groupements en régions, de même que les critères de sélection des séries marégraphiques, suivent ceux de Douglas (2001).

A titre de comparaison, les deux premières colonnes donnent les dispersions des tendances sans correction et avec la correction du modèle de Peltier (2004).

L'objectif de l'exercice était de montrer que les analyses des mesures GPS en réseau de stations global menées avec soin et avec rigueur, en particulier dans la cohérence des modèles de corrections appliquées, et dans la stabilité de la réalisation du repère terrestre, ont atteint la maturité suffisante pour apporter des corrections aux tendances des marégraphes au moins aussi pertinentes que les prédictions issues des modèles GIA d'ajustement glacio-isostatiques. Il s'agissait aussi de stimuler la communauté et d'encourager l'installation de stations GPS aux marégraphes. Car l'exercice reste démonstratif. Le nombre de stations utilisées est limité : 27 stations marégraphe – GPS regroupées en dix régions. Ces nombres coïncident (par hasard) avec le nombre de stations utilisées par Douglas (2001), même si leur répartition géographique n'est pas identique.

La dernière ligne de la table 1 correspond à l'estimation de l'élévation du niveau des océans obtenue à partir de la moyenne des tendances régionales suivant l'approche de Douglas (2001). Il est intéressant de remarquer que, malgré des stations et des régions différentes, l'estimation corrigée du GIA correspond à la valeur publiée dans Douglas (2001), à savoir de  $1,84 \pm 0,35$  mm/an. Cette remarque tend à montrer la robustesse de son approche, même si le propos n'est pas de la discuter ici.

Alors que les travaux de Domingues *et al.* (2008) relevaient la somme des contributions climatiques publiée par le GIEC (Bindoff *et al.* 2007) de 1,1 mm/an à 1,5 mm/an, ceux du consortium ULR réduisent la valeur issue des observations

de 1,8 mm/an à 1,3 mm/an (table 1, cf. l'énigme de Munk, section 2). Dans la table 1, les estimations de montée du niveau des océans obtenues à partir des différentes solutions GPS de l'ULR sont tout juste cohérentes dans les barres d'erreur fournies. Ces barres d'erreur ne tiennent pas compte des incertitudes associées à la réalisation du repère géocentrique. Collilieux & Wöppelmann (2011) montrent que leur prise en compte augmente la barre d'erreur de 0,2 à 0,7 mm/an dans le cas de la solution ULR3 étudiée par les auteurs, avec un géocentre connu à 1 mm/an près et un facteur d'échelle connu à 0,5 mm/an près.

Ces résultats soulignent que la limite principale se trouve aujourd'hui dans la réalisation du repère géocentrique. Des progrès sont donc attendus dans ce domaine de la géodésie. Deux hypothèses de travail dans l'approche GPS doivent être relevées dans cette application. La première est de supposer qu'il n'y a pas de mouvement local différentiel entre l'antenne GPS et le marégraphe. Cette hypothèse souligne l'importance d'inclure dans les rattachements des repères de marégraphe celui de l'antenne GPS pour s'en affranchir. Malheureusement, cela n'est souvent pas réalisé par les opérateurs des marégraphes, ou bien l'information est difficile d'accès.

La deuxième hypothèse est que le mouvement observé aujourd'hui par GPS peut être extrapolé dans le passé. La figure 3 inspirée de Douglas (2001) apporte une évidence indirecte de la linéarité des mouvements du sol aux marégraphes en calculant le terme quadratique de leurs séries temporelles. Elle montre que le terme quadratique de l'ajustement par moindres carrés n'est pas significativement différent de zéro dans la grande majorité des séries temporelles considérées de plus de 60 ans, suggérant que les processus océaniques ou épirogéniques sont linéaires en bonne première approximation. Il convient cependant de rester prudent devant cette hypothèse.

#### 4.3 L'énigme de Brest et de Newlyn

Les séries chronologiques des marégraphes de Brest (France) et de Newlyn (Royaume-Uni) sont parmi les plus longues au monde disponibles au PSMML (Woodworth & Player 2003). Elles ont de ce fait été analysées en détail

dans de nombreuses études. La continuité de la série de Brest a été remise en question récemment. Douglas (2008) observe un écart systématique de l'ordre de 20 mm avant la destruction du marégraphe de Brest en 1944 en comparant la série à celle de Newlyn après ajustement des données des deux séries sur la période post-destruction de 1944 à nos jours.

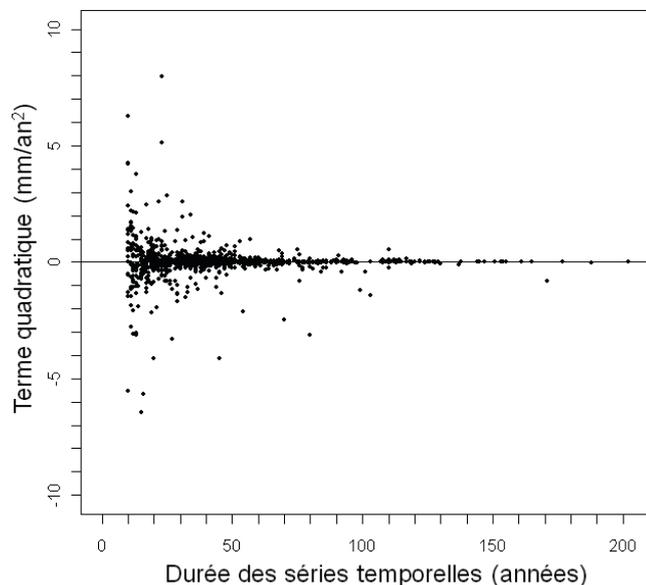


Figure 3 : Terme quadratique (accélération) des séries temporelles des marégraphes de la catégorie RLR du service international PSMSL (Woodworth & Player 2003) ; accès à la banque de données en janvier 2011 (communication personnelle M. Gravelle).

La figure 4 illustre l'approche de Douglas (2008), aisément reproductible. Elle s'appuie donc sur l'hypothèse que le signal océanique de basse fréquence est commun en raison de la proximité géographique des stations (210 km).

En supposant un problème dans la continuité de la référence des observations de Brest, Douglas (2008) les corrige de l'écart observé, et prétend ainsi résoudre la question de la différence des tendances linéaires des deux marégraphes sur le siècle passé, qui sont jugées significativement différentes, de 1,3 mm/an et 1,7 mm/an, respectivement à Brest et à Newlyn. Les barres d'erreur de la régression linéaire sont de l'ordre de 0,1 mm/an dans les deux cas.

Le travail publié dans Wöppelmann *et al.* (2008b) conclut cependant à la stabilité locale des deux repères principaux du marégraphe ayant survécu plus de cent ans. Cette conclusion s'appuie sur l'examen détaillé de six opérations de nivellement exécutées de part et d'autre de la destruction du marégraphe, entre 1889 et 1996. Les bombardements de 1944 ne peuvent donc être la cause d'un déplacement des repères, ni de la ville, jusque vingt kilomètres vers l'Est (distance couverte par l'étude de stabilité des repères de nivellement). Les repères ayant survécu, la référence des observations a également survécu, et l'installation d'un nouveau marégraphe avec des nouveaux repères a pu s'appuyer dessus. Un travail semblable de stabilité locale a été réalisé pour Newlyn par les collègues anglais avec des conclusions identiques (communication personnelle, S. Holgate).

Quelle est alors l'origine de la différence dans les tendances du niveau de la mer observées à Brest et à Newlyn ? L'énigme reste entière aujourd'hui. L'hypothèse d'un mouvement vertical différent est écartée pour l'instant. D'une part, les prédictions du modèle de GIA de Peltier (2004) donnent une valeur semblable de subsidence de l'ordre de -0,3 mm/an. D'autre part, les vitesses verticales GPS de la solution ULR4 (Santamaria-Gomez *et al.* 2011) indiquent également une subsidence semblable aux deux stations mais de l'ordre de l'ordre de -0,6 mm/an sur dix ans de mesures GPS démarrées vers la fin 1998 dans les deux cas.

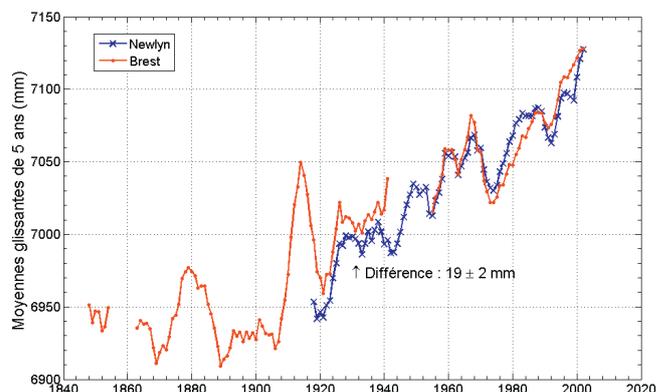


Figure 4 : Séries chronologiques de niveau de la mer des marégraphes de Brest (France) et de Newlyn (Newlyn) filtrées (moyenne glissante de cinq ans) et décalées arbitrairement de façon à ajuster les deux séries sur la période après 1944.

## 5. LE SERVICE D'OBSERVATION SONEL

Observer pour comprendre est une activité indispensable en sciences de la Terre (BDL 2009). La connaissance des variations climatiques du niveau de la mer n'échappe pas à cette logique qui vise à réduire les incertitudes et à développer des outils et des modèles utiles pour mieux décrire l'évolution passée et future, et par suite mieux anticiper les conséquences de cette évolution, et mieux s'adapter. La communauté internationale se structure dans ce domaine autour du programme mondial GLOSS de la COI/Unesco (section 3) initié en 1985 (Merrifield *et al.* 2009). En France, l'infrastructure SONEL (figure 5) se met en place avec des premières observations de marégraphes fournies à la communauté scientifique sur Internet en 2003. Développé par ses membres fondateurs, le SHOM et les laboratoires LEGOS et LIENSs, SONEL est labellisé depuis janvier 2011 par l'institut national des sciences de l'univers (INSU) du CNRS comme service d'observation.

SONEL vise à acquérir, traiter, archiver et distribuer des données du niveau marin observées par marégraphes (français) pour apporter des éléments objectifs de grande qualité métrologique par rapport à la côte et dans un repère géocentrique le plus stable et précis. L'infrastructure informatique de collectes, d'archivage, de gestion (base de données) et de diffusion se développe et se précise au fur et à mesure des moyens et des ressources, encore trop modestes malgré une reconnaissance récente comme service d'observation de l'INSU/CNRS.

SONEL est actuellement alimenté en observations marégraphiques par deux partenaires responsables de réseaux fran-

çais, le SHOM et le LEGOS, et en mesures GPS par plusieurs dizaines de partenaires responsables de réseaux structurés au sein du service international IGS, en particulier à travers le projet TIGA (Schoene *et al.* 2009). La composante marégraphique devrait se développer désormais dans un contexte favorable à l'extension des organismes producteurs d'observations marégraphiques qui est apporté par l'instruction permanente du Premier ministre du 20 avril 2010 (SGMER 2010). A ce titre, le SHOM met en place REFMAR (<http://refmar.shom.fr>) où les utilisateurs trouveront les mesures (brutes en temps réel, et contrôlées en temps différé) des marégraphes installés sur territoire français (Pouvreau 2010).

SONEL constitue ainsi un système distribué de données hétérogènes mais bien intégrées (figure 5), permettant aux utilisateurs un accès rapide et aisé aux différentes données grâce aux possibilités offertes par les technologies de communication Internet ([www.sonel.org](http://www.sonel.org)). Il s'appuie sur une excellence scientifique et technique reconnues de chacun des partenaires membres fondateurs : le SHOM pour la marégraphie ; le laboratoire LIENSs pour l'analyse des mesures GPS aux marégraphes ; le LEGOS pour la marégraphie en conditions extrêmes, en particulier. Cette

synergie de compétences et d'objectifs apporte des éléments solides de garantie d'aboutir à un dispositif d'observation et d'expérimentation performant et utile sur le long terme.

A travers SONEL, les utilisateurs peuvent facilement remonter à la source des mesures (marégraphiques ou géodésiques) pour mener leur propre analyse critique de celles-ci, ou bien exploiter les produits proposés. La figure 6 illustre une analyse réalisée à partir des moyennes annuelles de Brest disponibles sur SONEL. Celles-ci ont été calculées à partir de moyennes journalières issues du filtre de Doodson (d'autres filtres numériques sont proposés au choix de l'utilisateur, par exemple le filtre de Démerliac) en suivant rigoureusement les règles du PSMSL dans la prise en compte des lacunes de mesures, condition impérative d'ailleurs pour contribuer à cette banque de données internationale (Woodworth & Player 2003). Dans cet exemple d'utilisation, nous avons appliqué un filtrage par moyenne glissante aux valeurs annuelles (courbe lissée). Ce traitement souligne la variabilité basse fréquence qui peut introduire des erreurs systématiques dans le calcul d'une tendance linéaire à long terme sur une période courte. Par exemple, sur la période 1991-2009, la tendance est de 3,3 mm/an, en accord remarquable avec les résultats d'altimétrie satellitale (Cazenave &

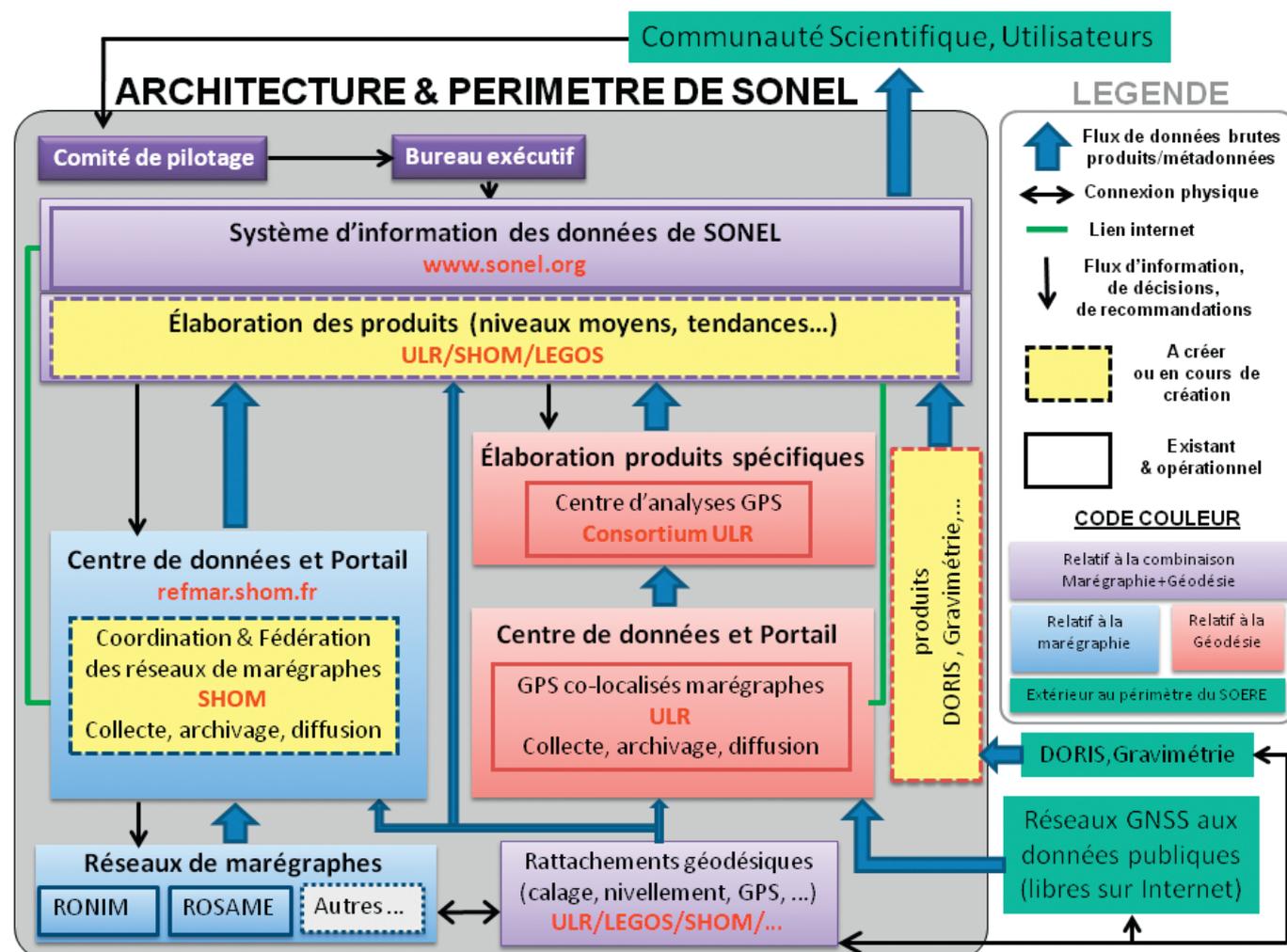


Figure 5 : Infrastructure d'observation SONEL. En traits pleins apparaissent les éléments existants et en développement, en pointillés ceux qui sont à construire ou en construction mais non opérationnels encore.

Llovel 2010). Mais elle est de 3,4 mm/an sur une même durée dans la période 1867-1885, et elle est de signe contraire (-3,0 mm/an) dans la période 1879-1897. D'où le débat sur l'origine de la montée du niveau des océans observée par les satellites, et l'importance des services d'observations *in situ* tels que SONEL.

De manière générale, il convient d'avoir une démarche critique sur les données utilisées. La précision et l'exactitude des mesures ne sont jamais acquises une fois pour toutes : un effort continu d'analyse et de contrôle des erreurs et des biais est indispensable. En particulier, l'évolution des techniques d'observation et des connaissances obligent à une révision critique et régulière des outils employés pour l'observation (Martin Miguez *et al.* 2008a). Des étalonnages et des comparaisons des produits et des données d'origines différentes sont essentiels, garantie de qualité et gage d'une utilisation ultérieure (Martin Miguez *et al.* 2008b). A ce titre, l'expérience récente avec les altimètres radar embarqués à bord des satellites est très instructive (Mitchum 1998). La détection des dérives instrumentales de l'ordre du millimètre par an s'est faite grâce à l'existence d'un réseau dense et bien contrôlé de marégraphes, soulignant l'importance de la démarche de comparaison et l'existence de dispositifs d'observation indépendants de nature différente.

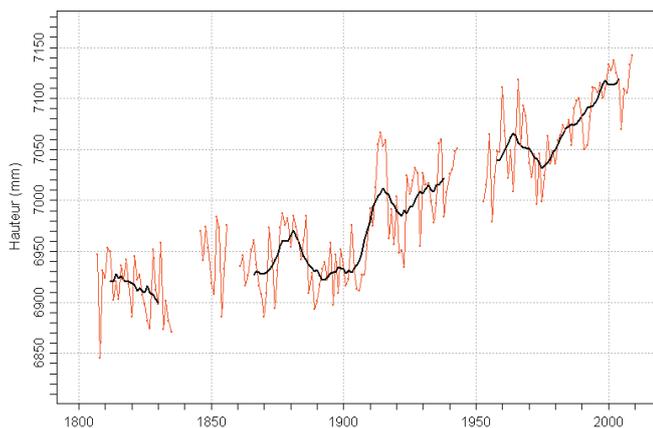


Figure 6 : Série de moyennes annuelles du marégraphe de Brest obtenues du service SONEL et auxquelles un filtrage par moyenne glissante de dix ans est appliqué (courbe lissée). L'origine des hauteurs est arbitraire.

Enfin, d'aucuns auront compris au cours de cet article que la composante GPS appliquée à la problématique de détection des variations climatiques enregistrées par les marégraphes a par nécessité une dimension mondiale (calcul de l'orbite des satellites GPS et réalisation du repère géocentrique avec une qualité suffisante). Elle comprend un centre de données et un centre d'analyses dans SONEL (figure 5). Le centre de données rassemble aujourd'hui les mesures GPS de près de 500 stations permanentes réparties dans le monde. Il s'agit de stations en co-localisation avec un marégraphe ou de stations dites de référence pour la réalisation du repère terrestre. Certaines remontent au début des années 1990 et le nombre de fichiers journaliers de mesures disponibles au format d'échange RINEX dépasse aujourd'hui le nombre de 1,5 millions. La reconnaissance acquise par cette composante mondiale de SONEL fait qu'elle est aujourd'hui sollicitée par le programme mondial GLOSS pour jouer un rôle à l'échelle internationale (communication personnelle, M. Merrifield).

## 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Si les résultats de la synergie de la marégraphie et de la géodésie spatiale sont encourageants, l'objectif constitue encore un défi pour la géodésie, car les contributions climatiques aux tendances du niveau de la mer enregistrées par les marégraphes sont (encore) ténues de l'ordre de 1 à 3 mm/an. Par ailleurs, la variabilité géographique des tendances du niveau de la mer fait désormais peu de doutes. Elle est prédite par les modèles de fonte des glaces continentales (e.g., Mitrovica *et al.* 2009) ou de dilatation thermique des océans (e.g., Ishii *et al.* 2006). Les résultats d'altimétrie radar embarquée sur satellite (Cazenave & Llovel 2010) observent effectivement une variabilité spatiale des tendances, mais sur une période courte de près de vingt ans. Leurs empreintes géographiques (*fingerprints*) ne correspondent pas à celles prédites par la fonte des glaces continentales. Par ailleurs, elles ne sont pas détectées par les observations *in situ* des marégraphes historiques (Douglas 2008).

Plusieurs explications peuvent être avancées, par exemple liées aux problèmes d'échantillonnage spatial des séries de marégraphie longues et aux mouvements verticaux des marégraphes. Les résultats présentés ici montrent que les séries corrigées par GPS des mouvements verticaux présentent une variabilité spatiale réduite (figure 2, table 1). Les simulations menées par Collilieux & Wöppelmann (2011) suggèrent une limite de l'ordre de 0,5 mm/an dans cette réduction liée en particulier aux limites actuelles dans la réalisation du repère géocentrique.

La question de la détection des empreintes géographiques liées à la fonte des glaces continentales est abordée par Douglas (2008) sans succès, mais l'auteur ne corrige que les mouvements des marégraphes liés à l'ajustement glacio-isostatique par des modèles de GIA qui comportent des erreurs associées, par exemple, aux incertitudes dans les paramètres de viscosité du manteau et dans l'historique de déglaciation (Bouin & Wöppelmann 2010). Qu'en est-il des autres mouvements du socle rocheux ? Qu'en sera-t-il avec le nouveau champ de vitesses GPS en cours d'extension par le consortium IUGG avec les avancées réalisées dans le cadre de la thèse de Santamaria-Gomez (2010) ? (Extension dans la durée des observations effectuées depuis janvier 2009, et dans le nombre de stations dont les observations sont désormais disponibles dans SONEL).

Dans les perspectives, l'importance du sauvetage et de la numérisation des observations historiques du niveau de la mer doit être soulignée. Il s'agit d'une source unique de données de niveau de la mer, d'autant plus que le patrimoine français s'avère important en nombre de stations et en volume de données (Pouvreau 2008), et qu'il témoigne d'un passé révolu sur lequel on ne peut plus revenir (pour mesurer) mais qu'il est intéressant d'étudier pour comprendre les fluctuations présentes du niveau de la mer. A titre d'exemple, mentionnons le travail récent réalisé dans l'océan Indien où des observations historiques de niveau de la mer effectuées à Saint-Paul lors du passage de Vénus devant le Soleil en 1874 ont été retrouvées et rattachées aux observations modernes pour aboutir à la conclusion surprenante que le niveau relatif de la mer n'a pratiquement pas changé en 135 ans

à cet endroit (Testut et al. 2010). Aussi étonnant que ce résultat puisse paraître, il confirme celui de Smithers & Woodroffe (2001) obtenu dans l'océan Indien à partir de l'analyse de coraux dans des micro-atolls. Ces auteurs concluaient à une élévation du niveau de la mer ne pouvant excéder 0,35 mm/an au cours du 20<sup>e</sup> siècle dans l'océan Indien à partir de l'analyse de leurs données.

Pour conclure sur les infrastructures d'observation, il est surprenant qu'une grandeur aussi fondamentale que le niveau de la mer reste négligée, surtout dans le contexte actuel de changement climatique et des efforts importants consacrés à cette observation à l'étranger et dans les programmes internationaux (Church et al. 2010). La mesure du niveau de la mer telle qu'elle est pratiquée par les marégraphes depuis parfois près de trois cent ans réunit tous les attributs d'une grandeur d'observatoire (BDL 2009). Une meilleure reconnaissance de SONEL par une labellisation d'ensemble de la structure, et par le soutien spécifique de certaines activités particulières via des moyens dédiés, apporteront une liaison, un cadre, une lisibilité, et une cohérence vis-à-vis de la problématique des variations à long terme du niveau de la mer qui font actuellement défaut à l'échelle nationale (au-delà de l'INSU et des laboratoires LEGOS et LIENSs), et nuisent à l'efficacité et (à terme) à l'image de la France dans les programmes internationaux relatifs à cette connaissance. Gageons que l'élan insufflé il y a quelques années par Christian Le Provost (1943-2004) dans ces dispositifs d'observation trouvera des résultats à la hauteur de ses espérances dans un avenir proche.

## AVERTISSEMENT

Les travaux présentés ici sont une synthèse actualisée de résultats publiés dans la littérature spécialisée par le premier auteur et al. (voir bibliographie), et présentée récemment à l'occasion de séminaires et d'exposés invités de colloque, avec parfois des actes, entre novembre 2010 et mars 2011.

## REMERCIEMENTS

Le premier auteur tient à remercier ses collègues partenaires dans l'aventure du consortium ULR (centre d'analyses de mesures GPS reconnu par le service international IGS), à savoir : M-N. Bouin, Z. Altamimi, A. Santamaria-Gomez, C. Letetrel, M. Guichard, P. Tiphaneau, X. Collilieux et M. Gravelle. Sont également remerciés B. Simon et C. Boucher à l'origine de l'idée de SONEL, mais également C. Le Visage, S. Allain et R. Le Roy au SHOM et N. Florsch, J-C. Maurin et J-C. Mercier à l'université de la Rochelle, pour la mise en œuvre pratique de SONEL, de même que tous les acteurs qui nous soutiennent et opérateurs qui l'alimentent en assurant le fonctionnement des stations à distance et sur le terrain. Enfin, la plupart des résultats présentés ici doivent beaucoup à l'enthousiasme et à l'élan insufflé par C. Le Provost (1943-2004), depuis le programme GLOSS dont il avait pris la direction en 2003 jusqu'à SONEL dont il a suivi et encouragé le développement.

## BIBLIOGRAPHIE

ALTAMIMI Z., COLLILIEUX X., LEGRAND J., GARAYT B., BOUCHER C. (2007). « ITRF2005: a new release of the

international terrestrial reference frame based on time series of station positions and earth orientation parameters ». *J. Geophys. Res.* (112: B09401).

ASHKENAZI V., BINGLEY R. & WHITMORE G. (1993). « Monitoring changes in mean-sea-level to millimetres using GPS ». *Geophys. Res. Lett.* (20: 1951-1954).

BARNETT T.P. (1984). « The estimation of global sea level change: a problem of uniqueness ». *J. Geophys. Res.* (89 (C5):7980-7988).

BDL (2009). « Les Observatoires. Observer la Terre ». Bureau des longitudes (BDL), Ed. Hermann, Paris.

BINDOFF N. et al. (2007). « *Observations: Oceanic climate and sea level* ». In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. S Solomon et al.), Cambridge University Press.

BOUIN M-N. & WÖPPELMANN G. (2010). « Land motion estimates from GPS at tide gauges: a geophysical evaluation ». *Geophys. J. Int.* (180: 193-209).

BRUYNINX C. (2004). « The EUREF Permanent Network: a multi-disciplinary network serving surveyors as well as scientists ». *Geoinformatics* (7: 32-35).

CARTER W.E., AUBREY D.G., BAKER T.F., BOUCHER C., LE PROVOST C., PUGH D.T., PELTIER W.R., ZUMBERGE M., RAPP R.H., SHUTZ R.E., EMERY K.O., ENFIELD D.B. (1989). « Geodetic fixing of tide gauge benchmarks ». *Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report*, WHOI-89-31.

CARTWRIGHT D.E. (1999). « Tides - a scientific history ». Cambridge University Press.

CAZENAVE A. & LLOVEL L. (2010). « Contemporary sea level rise ». *Ann. Rev. of Marine Science* (2: 145-173).

CHURCH J.A., WOODWORTH P.L., AARUP T. & WILSON W.S. (2010). « Understanding sea-level rise and variability ». Wiley-Blackwell.

COLLILIEUX X. & WÖPPELMANN G. (2011). « Global sea level rise and its relation to the terrestrial reference frame definition ». *J. of Geodesy* (85: 9-22).

DOMINGUES C.M., CHURCH J.A., WHITE N.J., GLECKER P.J., WIJFFELS S.E., BARKER P.M., & DUNN J.R. (2008). « Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise ». *Nature* (453: 1090-1093).

DOUGLAS B.C. (1991). « Global sea level rise ». *J. Geophys. Res.* (96 (C4): 6981-6992).

DOUGLAS B.C. (2001). « Sea level change in the era of the recording tide gauge ». In *Sea Level Rise : History and Consequences*, Int. Geophys. Ser., vol. 75: 37-64, chap.3, Academic Press, San Diego.

- DOUGLAS B.C. (2008). « Concerning evidence for fingerprints of glacial melting ». *Journal of Coastal Research* (24: 218-227).
- DOW J.M., NEILAN R.E. & RIZOS C. (2009). « The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems ». *J of Geodesy* (83:191-198).
- EMERY K.O. & AUBREY D.G. (1991). « Sea levels, land levels, and tide gauges ». Springer Verlag.
- ISHII M., KIMOTO M., SAKAMOTO K. & IWASAKI S.I. (2006). « Steric sea level changes estimated from historical ocean subsurface temperature and salinity analyses ». *Journal of Oceanography* (62: 155-170).
- GORNITZ V., LEBEDEFF S. & HANSEN J. (1982). « Global sea level trend in the past century ». *Science* (215: 1611-1614).
- HERRING T.A., KING R.W. & McCLUSKY S.C. (2008). « Introduction to GAMIT/GLOBK ». Report, Inst. of Technol, Cambridge, Massachussets.
- LEGRAND J., BERGEOT N., BRUYNINX C., WÖPPELMANN G., BOUIN M.N. & ALTAMIMI Z. (2010). « Impact of regional reference frame definition on geodynamic interpretations ». *Journal of Geodynamics* (49: 116-122).
- MARTIN MIGUEZ B., LE ROY R. & WÖPPELMANN G. (2008a). « Coastal sea level observation with radar tide gauges: recent experiences so far in France ». *Journal of Coastal Research* (24: 61-68).
- MARTIN MIGUEZ B., TESTUT L. & WÖPPELMANN G. (2008b). « The van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization ». *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology* (25 (7): 1238-1244).
- MERRIFIELD et al. (2009). « The Global Sea Level Observing System (GLOSS) ». In *OceanObs'09*, Ocean Information for society: sustaining the benefits, organizing the potential, Community White Papers, 21-25 September 2009, Venice, Italy.
- MITCHUM G. (1998). « Monitoring the stability of satellite altimeters with tide gauges ». *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology* (15: 721-730).
- MITROVICA J.X., GOMEZ N. & CLARK P.U. (2009). « The sea-level fingerprint of West Antarctic collapse ». *Science* (323: 753).
- MUNK W. (2002). « Twentieth century sea level: an enigma ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (99: 6550-6555).
- NEILAN R., VAN SCOY P.A., WOODWORTH P.L. (1998). « GPS and tide gauge benchmark monitoring, and GPS altimeter calibration ». *Proceedings of the workshop on methods for monitoring sea level*, IGS and PSMSL, Jet Propulsion Laboratory, 17-18 March 1997.
- PELTIER W.R. (2004). « Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: The ICE-5G (VM2) model and GRACE ». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* (32: 111-149).
- PELTIER W.R. & TUSHINGHAM A.M. (1989). « Global sea level rise and the greenhouse effect: Might they be connected? ». *Science* (244: 806-810).
- PIRAZZOLI P.A. (1986). « Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide gauge records ». *Journal of Coastal Research* (SI 1: 1-26).
- POUVREAU N. (2008). « Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest ». Thèse de doctorat de l'université de la Rochelle, soutenue le 26 septembre 2008.
- POUVREAU N. (2010). « Vers une coordination de l'observation du niveau de la mer en France ». Actes des XIe Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier, Sables d'Olonne, 22-25 juin 2010 (539-548).
- PRANDI P., CAZENAVE A. & BECKER M. (2009). « Is coastal mean sea level rising faster than the global mean? A comparison between tide gauges and satellite altimetry over 1993-2007 ». *Geophys. Res. Lett.* (36: L05602).
- SANTAMARIA-GOMEZ A. (2010). « Estimation des mouvements verticaux de l'écorce terrestre par GPS dans un repère géocentrique, dans le cadre du projet TIGA ». Thèse de doctorat de l'Observatoire de Paris, soutenue le 11 octobre 2010.
- SANTAMARIA-GOMEZ A., BOUIN M-N., COLLILIEUX X. & WÖPPELMANN G. (2011). « Correlated errors in GPS position time series: Implications for velocity estimates ». *J. Geophys. Res.* (116: B01405).
- SCHÖNE T., SCHÖN N. & THALLER D. (2009). « IGS Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project (TIGA): Scientific benefits ». *J. of Geodesy* (83: 249-261).
- SGMER (2010). « Instruction permanente du Premier ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant ». Secrétariat Général de la Mer, Nr. 863, 20 avril 2010.
- SIMON B. (2007). « La marée océanique ». Collection Synthèse de l'Institut Océanographique, Paris.
- SMITHERS S.G. & WOODROFFE C.D. (2001). « Coral microatolls and 20th century sea level in the Eastern Indian ocean ». *Earth Planet. Sci. Lett.* (191: 173-184).
- STEIGENBERGER P., ROTHACHER M., DIETRICH R., FRITSCHÉ M., RÜLKE A. & VEY S. (2006). « Reprocessing of a global GPS network ». *J. Geophys. Res.* (111: B05402).
- TESTUT L., MARTIN MIGUEZ B., WÖPPELMANN G., TIPHA-NEAU P., POUVREAU N., & KARPYTCHÉV M. (2010). « The sea level at Saint-Paul, Southern Indian Ocean, from 1874 to the present ». *J. Geophys. Res.* (115: C12028).

WILLIAMS S.D.P. (2008). « CATS: GPS coordinate time series analysis software ». *GPS Solutions* (12: 147-153).

WOODWORTH P.L. (2003). « Some comments on the long sea level records from the Northern Mediterranean ». *Journal of Coastal Research* (19: 212-217).

WOODWORTH P.L. & PLAYER R. (2003). « The permanent service for mean sea level: An update to the 21st century ». *Journal of Coastal Research* (19: 287-295).

WOODWORTH P.L., POUVREAU N. & WÖPPELMANN G. (2010). « The gyre circulation of the North Atlantic and sea level at Brest ». *Ocean Science* (6: 185-190).

WÖPPELMANN G., MARTIN MIGUEZ B., BOUIN M-N. & ALTAMIMI Z. (2007). « Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide »” *Global & Planetary Change* (57: 396-406).

WÖPPELMANN G., BOUIN M.N. & ALTAMIMI Z. (2008a). « Terrestrial reference frame implementation in global GPS analysis at ULR consortium ». *Physics & Chemistry of the Earth* (33: 217-224).

WÖPPELMANN G., POUVREAU N., COULOMB A., SIMON B. & WOODWORTH P. (2008b). « Tide gauge datum continuity at Brest since 1711: France's longest sea-level record ». *Geophys. Res. Lett.* (35: L22605).

WÖPPELMANN G., LETETREL C., SANTAMARIA A., BOUIN M-N., COLLILIEUX X., ALTAMIMI Z., WILLIAMS S.D.P. & MARTIN MIGUEZ B. (2009). « Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame ». *Geophysical Research Letters*, (36: L12607).

ZERBINI S. et al. (1996). « Sea level in the Mediterranean: a first step towards separation of crustal movements and absolute sea-level variations ». *Global & Planetary Change* (14: 1-48).



# LA RÉNOVATION DE LA GAMME DES PRODUITS DE MARÉE DU SHOM : UNE ADAPTATION AUX NOUVEAUX BESOINS ET AUX MOYENS DE COMMUNICATION MODERNES

par Nicolas Weber <sup>1</sup>

## RÉSUMÉ :

Depuis 1839, date de publication de son premier annuaire des marées, le service hydrographique et océanographique français diffuse de nombreuses informations liées à la marée sous de multiples formes (tables de marées, logiciels, ouvrages...).

Cet article expose les travaux de rénovation et de modernisation de la gamme des produits de marées engagés par le SHOM depuis 2006.

Ces travaux ont d'abord pour ambition de mieux prendre en compte les nouveaux besoins des usagers de la mer qu'ils soient des particuliers, des professionnels du secteur privé ou appartiennent à des organismes institutionnels. Ils prennent également en compte les nouvelles technologies et nouvelles pratiques associées (nouveaux moyens de communication dont la téléphonie mobile et l'Internet, l'informatique embarquée...).

## ABSTRACT:

*Since 1839, date of the publication of the first tide table, the French hydrographic and oceanographic office delivers various tide information in many forms (tide tables, software, books...).*

*This article describes the work engaged for updating tide products since 2006.*

*This work first aims to meet the new needs of users of the sea, individuals, professionals or personnel belonging to institutional organizations. This work takes also into account new technologies and new practices (web, mobile telephony, data processing, computers...).*

<sup>1</sup> Ingénieur d'étude et fabrication responsable des produits marée - courants  
Service hydrographique et océanographique de la marine 13, rue du Chatellier,  
CS92803, 29228 Brest Cedex 2, France  
(Email : nicolas.weber@shom.fr)



## 1. INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, l'offre des produits et services de marée du SHOM reposait principalement sur un pilier historique : les annuaires papier.

Devant la diversification de la clientèle, de ses besoins et l'apparition constante de nouveaux modes de diffusion et de communication, le SHOM s'est résolument engagé depuis 2006, à :

- améliorer et uniformiser les chaînes numériques de prédictions de marée ;
- rénover et élargir la gamme de produits de marée pour répondre aux nouveaux besoins ;
- adapter l'offre aux nouveaux modes de diffusions (Internet et médias mobiles) afin d'augmenter et faciliter l'accès aux prédictions pour les clients actuels et futurs.

Le SHOM s'est enfin vu récemment confier une nouvelle mission de soutien aux politiques publiques maritimes et littorales. De nouveaux produits plus spécifiques dédiés aux professionnels privés et aux organismes institutionnels ont ainsi dû être imaginés pour répondre à leurs sollicitations.

## 2. L'OFFRE CLASSIQUE SUR PAPIER

### 2.1 Les annuaires et calendriers de marée

Comme tous les services hydrographiques, la diffusion des prédictions de marée a d'abord été réalisée via des annuaires et des tables de marée en version papier. Ceux-ci étaient principalement destinés aux navigateurs (figure 1).

Héritiers de l'*Annuaire des marées des côtes de France*, publié pour la première fois en 1839 par l'ingénieur hydrographe Chazallon, les annuaires des marées du SHOM restent les ouvrages réglementaires et officiels des zones françaises. Ils fournissent les coefficients et les prédictions de pleines et basses mers pour les ports principaux :

- de la France métropolitaine (tome 1) ;
- de l'outre-mer français (des Antilles à la Base Dumont d'Urville en Terre Adélie) et des zones de responsabilité hydrographique de la France (Afrique de l'Ouest, Madagascar...) ou historiquement prédits (Viet-Nam...) (tome 2).

Pour étendre la diffusion de ces prédictions vers le grand public, le SHOM propose également depuis de nombreuses années des « calendriers de marée » destinés à être reproduits par des imprimeurs privés, dans des fascicules informatifs ou publicitaires, des ouvrages d'aide à la navigation, dans la presse... Avec une mise en page mensuelle, les informations de pleines et basses mers sont fournies en heure légale (c'est-à-dire en tenant compte des heures d'été et d'hiver) accompagnées du coefficient de marée.

Cette offre concernant les ports principaux de l'annuaire est étendue à une soixantaine de ports secondaires afin d'offrir un panel assez varié de localités réparties sur les côtes de France.

### 2.2 Les ouvrages de référence sur la marée

Le « savoir faire du SHOM » sans cesse amélioré par ses experts depuis près de 175 ans, est dispensé sous forme de cours théoriques et pratiques sur la marée dans plusieurs

écoles (école du SHOM, ENSTA Bretagne (ex ENSIETA), ...) ainsi qu'à travers de publications d'ouvrages à savoir (figure 2) :

- le guide de vulgarisation : « *La Marée* » de la collection des « Guides du SHOM » (édition 1997) qui répond aux questions que se pose tout navigateur, pêcheur ou simplement curieux sur le phénomène de la marée ;
- différents documents gratuitement téléchargeables sur le site Internet du SHOM mis à disposition des élèves et étudiants pour des travaux de recherche et qui abordent différentes thématiques de la marée, les techniques d'observation, le traitement, les méthodes de calcul des prédictions... ;
- un ouvrage scientifique et technique de référence édité en 2007 : « *La marée Océanique côtière* » qui présente les fondements de l'étude des marées océaniques et ses applications en zone côtière. Il s'adresse à un public averti et intéressé par les fondements physiques du phénomène (B. Simon - édition Institut Océanographique).

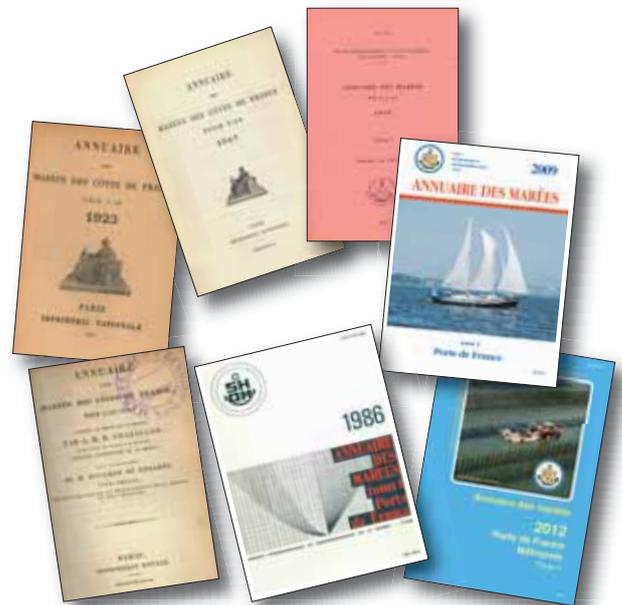


Figure 1 : Les annuaires des marées du SHOM de 1839 à 2012



Figure 2 : Ouvrages généraux sur la marée diffusés par le SHOM

### 3. LA TRANSITION VERS LE TOUT NUMÉRIQUE

Le développement de l'informatique embarquée ainsi que l'explosion des moyens de diffusion numérique de l'information suscitent de la part des navigateurs des besoins nouveaux. La fourniture de documents nautiques sous forme numérique constitue un enjeu non seulement pour la sécurité de la navigation mais aussi de façon générale pour les différents usagers de la mer. Il s'agit aussi d'un enjeu économique pour le SHOM. De nos jours, les prédictions de marées ne s'adressent plus uniquement aux navigateurs professionnels (marine marchande, pêche, marine nationale) et aux plaisanciers mais également aux sportifs pratiquant les sports de glisse (surf, planches à voile, kayaks...) ainsi qu'aux vacanciers et habitants du littoral<sup>1</sup> (pour des activités de pêche à pied, de plage et de randonnée côtière).

Les produits et services de prédictions de marée, principalement orientés vers un support papier ont ainsi dû être repensés. Ils le furent au travers du projet « HEMATITE » du SHOM (Homogénéisation, Evolution, Modernisation des produits de marée) lancé en 2006.

#### 3.1 Modernisation et fiabilisation des chaînes de production

Les données de prédictions de marée devaient avant tout répondre à de nouvelles exigences, à savoir :

- de disposer d'informations mieux structurées pour un traitement électronique ;
- de faciliter leurs implémentations dans des applications ;
- d'autoriser des diffusions multi-supports (écran, papier, portable, électronique...);
- de définir des formats de données normalisés pour de multiples usages permettant aussi bien de stocker, rechercher, échanger et diffuser ;
- de rationaliser les chaînes de traitement pour une meilleure maîtrise et satisfaire en particulier les besoins de traçabilité.

Le SHOM a ainsi entrepris la modernisation de ses chaînes de production et principalement les parties concernant la génération des produits de marée. Les prédictions sont ainsi désormais calculées par un noyau unique et maîtrisé, et archivées suivant un schéma XML spécifiquement développé.

**Remarque :** le format XML « *eXtensible Markup Language* », recommandé par le *World Wide Web Consortium (W3C)*, s'est imposé comme un standard incontournable dans le monde de l'informatique. Il est aussi bien utilisé pour stocker des documents que pour l'échange de données. L'intérêt de ce format texte est en grande partie dû à ses qualités (universalité et extensibilité, structuration forte sous forme d'arborescence, séparation stricte entre contenu et présentation, validation du document par rapport au modèle...).

De nombreuses technologies ont été développées autour du XML et permettent donc d'utiliser ce format pour facilement

<sup>1</sup> Cette partie du territoire français regroupe 6 millions de résidents (1 habitant sur 10 de la France) et attire des millions de touristes chaque année (En 2007, l'IFEN (Institut Français de l'ENVironnement) estimait la capacité d'accueil des résidences secondaires, hôtels et campings à environ sept millions de lits, permettant plus qu'un doublement de population en été (13 millions de personnes au total).

lire et extraire partiellement ou totalement les informations pour différentes utilisations.

#### 3.2 Modernisation des produits historiques

Grâce aux développements réalisés dans le cadre des projets du SHOM « HEMATITE » et « SPCO »<sup>2</sup>, les annuaires et les calendriers de marées sont dorénavant mis en page et générés automatiquement en quelques minutes aux formats PDF et XHTML (HT pour *Hyper Text*), à partir des données de prédictions en XML et d'un référentiel de données annexes (texte, tableaux, cartes d'illustrations). Ceci permet un net gain de productivité (la mise en page par un opérateur demandait au préalable environ 1 mois par ouvrage), mais également un gain en terme de sécurité en diminuant les interventions manuelles.

L'organisation des annuaires de marées a également été légèrement adaptée à partir de l'édition 2010 afin de regrouper dans un même chapitre toutes les informations liées à un port (les prédictions, les corrections du port rattaché, la cote du zéro hydrographique...). Ceci permettant une diffusion numérique « à la carte » des ports de l'ouvrage.

Il faut noter que le format PDF (*Portable Document Format*) utilisé ici est parfaitement adapté pour une diffusion numérique par téléchargement ou cd-rom mais est également un format pré-press de plus en plus courant. Ces ouvrages sont directement imprimés à partir des fichiers PDF par les moyens classiques d'impression ou par copieurs.

Un autre avantage du format PDF est qu'il préserve la mise en forme de tout document source, quelles que soient l'application et la plate-forme utilisées pour le lire. Ceci contribue à la préservation même des informations de marée qui y sont portées. Enfin, le PDF est normalisé (ISO 32000-1:2008) et est donc consultable sur de très nombreux appareils communicants (ordinateurs, PDA, smartphone...).

#### 3.3 Adaptation pour une reproduction numérique

Le format XML s'adapte parfaitement aux nouveaux besoins des clients du SHOM auxquels les précédents produits orientés vers la reproduction papier ne pouvaient plus répondre. Ainsi, les prédictions de marée sont-elles également directement délivrées au format XML aux clients et utilisées directement pour divers types de reproduction numérique :

- pages Internet et Internet Mobile ;
- panneau d'affichage (accès aux ports, horaires de passage...);
- ouvrages de compilation d'informations pour la navigation ;
- presse quotidienne (extraction de la marée du jour) ;
- application smartphone et tablettes tactiles (office du tourisme, collectivités locales...).

### 4. DES NOUVEAUX PRODUITS ADAPTÉS AUX BESOINS ACTUELS

Les pratiques actuelles de la navigation exploitent de plus en plus de l'électronique embarquée et des solutions informa-

<sup>2</sup> Systèmes de Production Cartes et Ouvrages. Projet de mise en place d'un système de production d'ouvrages numériques

tiques d'aide à la navigation. Les réglementations nationales se sont donc adaptées et permettent désormais l'emploi de produits numériques en remplacement de la documentation imprimée.

Dès 1983, à l'occasion du salon de la navigation de plaisance de Paris, le SHOM présentait au public un ouvrage nouveau : la « *Table des marées des grands ports du monde* » (TMGPM), permettant en quelques minutes, à l'aide d'une calculatrice programmable et sans autre document, de prédire pour toute date, la marée dans 855 ports répartis dans le monde.

En raison des performances limitées des calculatrices disponibles à cette époque, la précision ne pouvait cependant pas atteindre celle des annuaires.

#### 4.1 Logiciel de prédiction autonome : SHOMAR

Les moyens informatiques se développant, le SHOM, dès 1991, proposait une première version DOS (*Disk Operating System*) de son logiciel de calcul des prédictions de marée : SHOMAR. Inadapté aux nouveaux systèmes d'exploitation il fut retiré du service. Pour satisfaire la demande une nouvelle version toujours baptisée SHOMAR fut cependant développée et commercialisée en 2009.

Cette nouvelle version de SHOMAR utilise les mêmes programmes de calcul que ceux utilisés pour les autres produits et services de prédictions de marée du SHOM. Elle fournit des prédictions de marées officielles pour la navigation maritime pour les ports français de métropole et d'outre-mer. D'un point de vue réglementaire, SHOMAR équivaut aux annuaires officiels des marées publiés par le SHOM.

SHOMAR permet de calculer la marée dans les principaux ports du monde (1 080 sites proposés) dont près de 150 en France métropolitaine et près de 40 sur les côtes françaises d'outre-mer (figure 3).

Chaque site est facilement sélectionnable via des listes de zones géographiques et pays, ou directement par carte. 7 options de calcul sont proposées :

- la marée du jour : heures et hauteurs des pleines et basses mers du jour accompagnées du marégramme ;
- l'annuaire des marées avec heures et hauteurs des pleines et basses mers ;
- l'annuaire des marées avec heures des pleines et basses mers et coefficients ;
- la hauteur d'eau à une heure donnée ;
- le marégramme (représentation graphique de la marée) ;
- les heures pour lesquelles une hauteur d'eau est atteinte ;
- la hauteur d'eau à un pas de temps donné (60, 30 et 15 minutes).

Ce logiciel propose également deux solutions d'export en PDF et CSV (*Comma-Separated Value*) fichier texte tabulé, avec séparateur virgule pour une réutilisation des données calculées.

Chaque édition du logiciel SHOMAR est valable pendant deux ans. Ainsi, l'édition 2011-2012 permet de calculer des prédictions de marées jusqu'au 31 décembre 2012. Elle permet de réaliser des calculs dans le passé jusqu'au 01/01/1700 sans cependant tenir compte des variations du niveau moyen. De plus, SHOMAR est bilingue (français et anglais).

#### 4.2 E\_navigation et logiciels de navigation

De nombreux logiciels de navigation, homologués ECDIS<sup>3</sup> ou orientés vers la plaisance, possèdent des noyaux de calculs de prédictions de marée. Ces derniers peuvent être issus de codes sources gratuits utilisant des constantes harmoniques en nombre très réduit d'ondes, ou parfois trop anciennes et non mises à jour.

Le logiciel SHOMAR repose en revanche, comme les autres produits et services de marée du SHOM, sur un noyau de calcul unique et des constantes harmoniques millésimées, mises

<sup>3</sup> Acronyme anglais de Electronic Charts Display Information System correspondant à un système de visualisation des cartes électroniques et d'information.

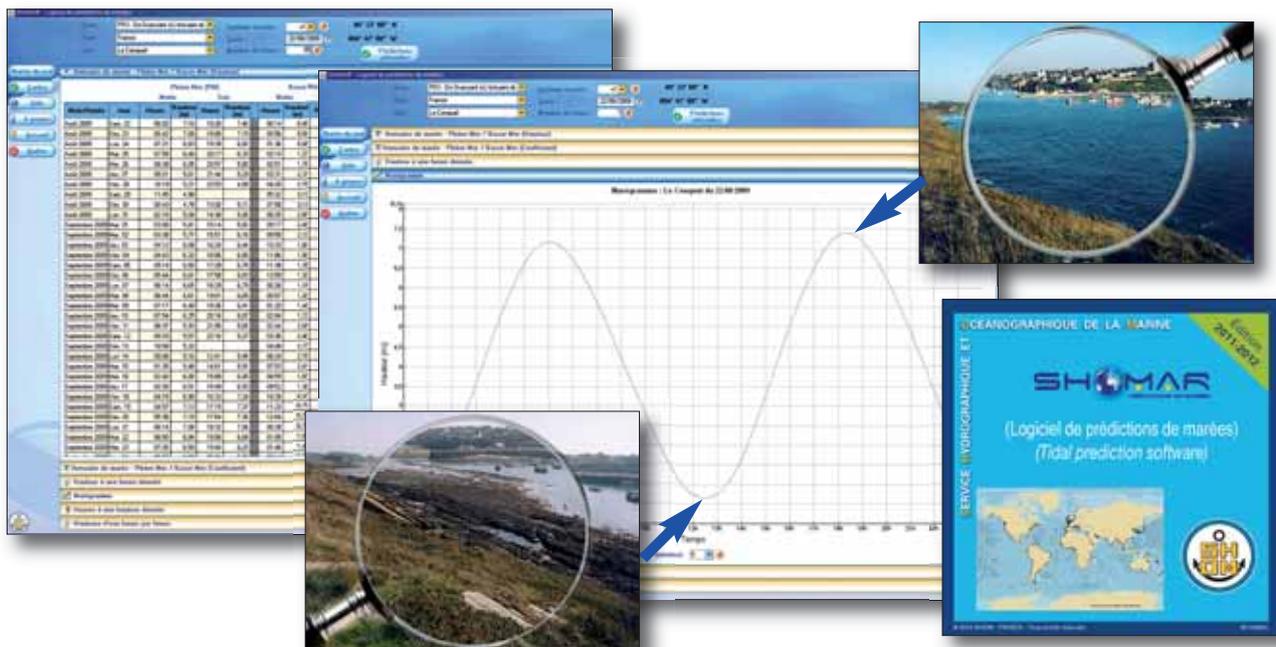


Figure 3 : Le logiciel SHOMAR

à jour annuellement et prenant en compte les informations d'amplitude et de phase pour 143 ondes. Les prédictions sont donc calculées avec une précision de quelques centimètres pour les hauteurs et de quelques minutes pour les heures. Il peut ainsi résulter de larges écarts entre les marées officielles diffusées par le SHOM et celles affichées par certains logiciels ; les différences pouvant atteindre pour certains d'entre eux, jusqu'à 1 heure et 1 m dans certains cas pour les côtes de France.

Afin de garantir aux navigateurs des prédictions de marées officielles et fiables, le SHOM propose aux industriels d'intégrer le noyau de calcul SHOMAR ainsi que les constantes harmoniques par lots millésimés dans les logiciels de navigation. Depuis 2010, le logiciel ScanNav propose ainsi à ses utilisateurs des prédictions de marée issue du noyau de calcul SHOMAR (figure 4).

### 4.3 Les nouveaux modes de diffusion à destination du grand public

#### 4.3.1 La diffusion de l'information par Internet

Afin d'assurer son rôle de service public et fournir un accès rapide et facile à l'information de marée (généralement limitée à une simple consultation des horaires) à l'ensemble des usagers de la mer, le SHOM se devait de suivre les évolutions technologiques des moyens de communication.

L'Internet offrant un moyen de diffusion idéal et l'accès au haut débit se démocratisant, dès 1996, le SHOM mis à disposition sur son site Internet ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)) un service gratuit de prédictions de marées pour plus de 1 000 sites répartis dans le monde entier. Il propose les mêmes fonctionnalités que SHOMAR.

Ce service est actualisé en 2011 afin d'enrichir le nombre de sites proposés et le rendre plus accessible et moderne. Il permet alors de visualiser des prédictions sur une durée de 7 jours au choix sur l'année en cours (figure 5).

#### 4.3.2 Les nouvelles technologies des médias mobiles

Plus récemment et parallèlement à l'expansion de l'accès à Internet, l'usage d'applications mobiles s'est considérablement développé<sup>4</sup>. L'arrivée des tablettes tactiles de deuxième génération devrait d'autre part offrir un nouveau débouché à ces applications mobiles.

Le type de clientèle concerné souhaite en effet avoir accès à une information de marée fiable rapidement et à tout endroit (plages, zone de pêche à pied, en balade...) à portée de main!

Le SHOM étudie actuellement le développement d'applications de prédictions de marée pour smartphones et tablettes tactiles de type iPhone et iPad ainsi que les produits utilisant le système d'exploitation Android

Ce nouveau service doit permettre de visualiser facilement et rapidement sous différentes formes (tableaux, graphiques...),

<sup>4</sup> Le nombre de clients équipés de mobiles de troisième génération (3G) ayant accès à l'internet mobile devrait atteindre 46 millions de personnes en France en 2012, selon l'Idate, contre 16 millions en 2009.

les prédictions de marée d'une année pour différents sites. Les prédictions de marée disponibles dans un premier temps concerneront les zones suivantes :

- Europe de l'Ouest : la France métropolitaine et ses alentours<sup>5</sup> immédiats (Irlande, Grande-Bretagne, Belgique, Hollande, Allemagne, Espagne, Portugal, Italie) ;
- Les territoires français d'outre-mer et leurs alentours.

### 5. LE SOUTIEN AUX POLITIQUES PUBLIQUES MARITIMES ET LITTORALES (PPML)

L'évolution institutionnelle du SHOM en Etablissement Public à caractère Administratif, a vu l'émergence d'une nouvelle mission de soutien et de fourniture d'information de marée pour de nouveaux clients professionnels (bureau d'étude en environnement, aménageurs portuaires, organismes d'états, ministères, collectivités locales...).

Face aux demandes croissantes, initialement fournies sous forme de prestations à façon, le SHOM met en place progressivement une nouvelle série de produits et services spécifiques.

#### 5.1 Prédictions en tout points

Bien que la répartition géographique des sites proposés dans SHOMAR couvre déjà les principaux ports et zones littorales du monde, ces prédictions même extrapolées peuvent ne pas être suffisantes en précision pour des applications de modélisation ou de réduction de sondages bathymétriques, dans certaines régions du monde où peu d'observations de marées sont disponibles, ou encore au large des côtes.

Basé sur le modèle de marée à l'échelle mondiale diffusé par le LEGOS (Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiale) et la base de données de constantes harmoniques du SHOM comptant près de 5 600 sites, le programme Marmonde permet pour n'importe quel point du globe, identifié par ses coordonnées géographiques de calculer les constantes harmoniques en ce point, par interpolation et en tenant compte du trait de côte et d'une pondération fonction de l'origine des données. Les résultats sont affectés d'un indice de confiance.

Il permet également de générer un modèle de marée local par

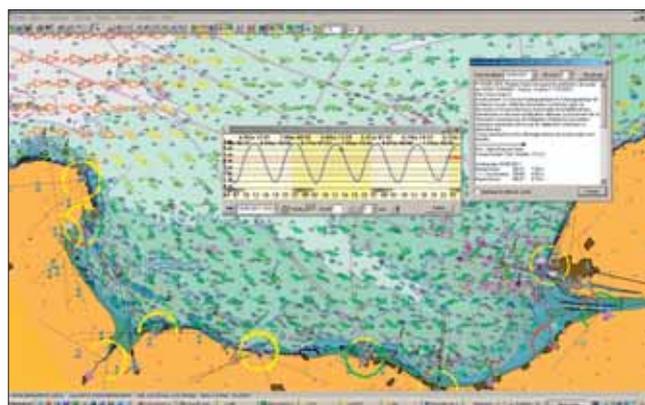


Figure 4 : Vue du Logiciel ScanNav montrant les courants de marée du SHOM sur un fond de carte électronique de type ENC<sup>6</sup> et la marée issue du noyau de calcul SHOMAR intégré.

<sup>5</sup> Le service ne peut être limité aux sites français. Notamment dans les zones frontalières ou d'outre-mer, où les utilisateurs voyagent dans les sites étrangers à proximité (exemple : golfe Normand-Breton — jersey...). Ainsi, la même mention que pour SHOMAR sur les « prédictions officielles » sera mise en place.

<sup>6</sup> Acronyme anglais de Electronic Navigational Chart correspondant à carte électronique de navigation.

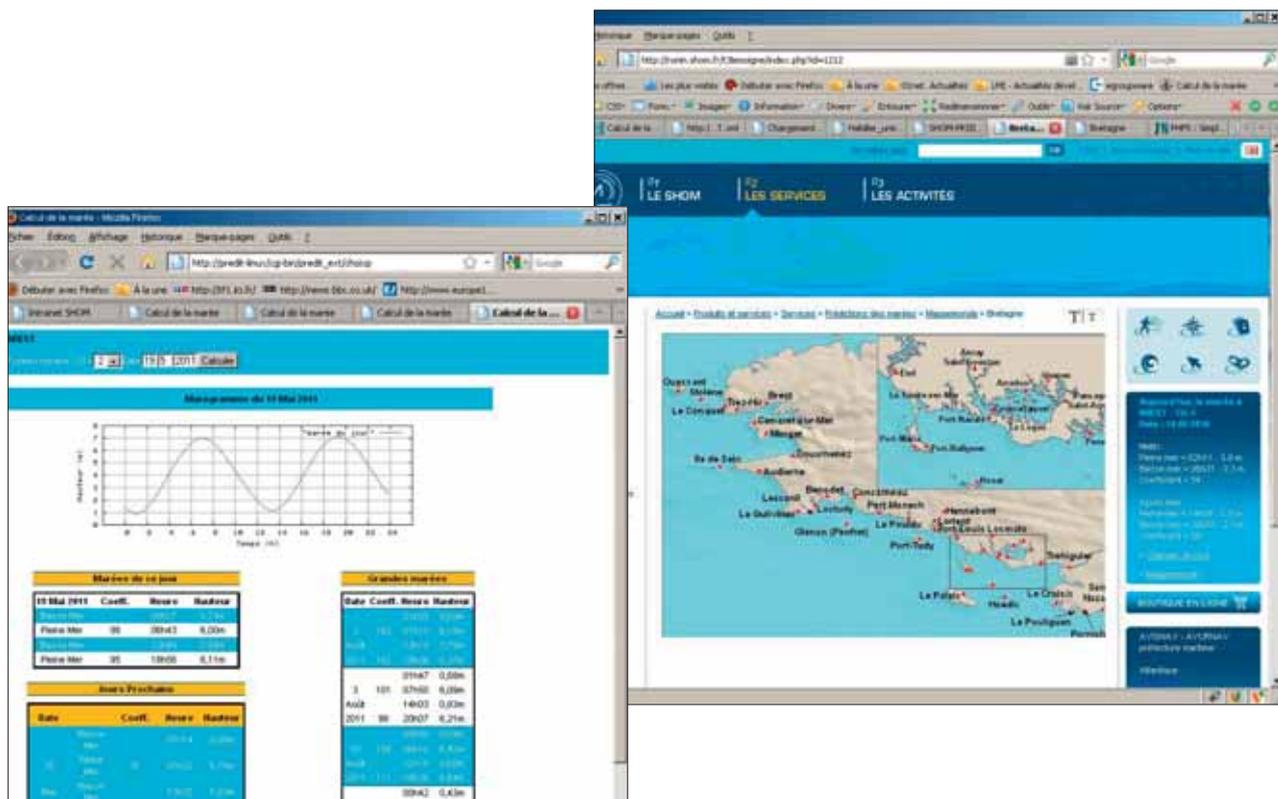


Figure 5 : Le service de prédiction de marée sur le site Internet du SHOM : la nouvelle version de 2011.

interpolation de l'ensemble ou partie des données de constantes harmoniques (figure 6).

Encore à l'état de développement scientifique, Marmonde doit prochainement (prévu en 2013) être industrialisé pour une utilisation opérationnelle. Parallèlement, les données de constantes harmoniques à l'échelle mondiale sont en cours de consolidation et d'actualisation par zone géographique permettant d'ores et déjà de créer des modèles de marée locaux.

Ce type de prédiction peut être actuellement réalisé, sur demande auprès du bureau prestation du SHOM ([bp@shom.fr](mailto:bp@shom.fr)).

### 5.2 Niveaux caractéristiques de la marée et cote du zéro hydrographique

En un lieu donné (dans les zones placées sous la responsabilité de la France), le zéro hydrographique est choisi de telle façon à être toujours voisin du niveau des plus basses mers astronomiques. Comme le zéro du nivellement terrestre, ce zéro hydrographique est défini par rapport à des repères matériels, disposés au voisinage immédiat des emplacements où ont été effectuées des observations de marée.

De façon à rendre disponible cette information, et conformément au décret N° 2006-272 du 3 mars 2006<sup>7</sup>, le SHOM diffuse sur son site Internet depuis 2008 le produit « Références Altimétriques Maritimes » (RAM). Celui-ci propose pour les sites où l'information est disponible :

- les cotes du zéro hydrographique : il s'agit ici de fournir la position du zéro hydrographique par rapport à un repère fon-

<sup>7</sup> Décret portant application de l'article 89 de la loi no 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics.

damental ainsi que la cote de ce dernier, par rapport à un référentiel altimétrique terrestre (par exemple IGN69 en France métropolitaine) et un ellipsoïde (GRS80). Ces informations sont primordiales pour les bureaux d'étude réalisant des levés hydrographiques afin d'utiliser le zéro hydrographique en vigueur. Elles permettent d'autre part de relier les zéros terrestre et marin, ce qui est indispensable notamment pour des aménagements portuaires, ou pour la détermination des limites du domaine public maritime ;

- les niveaux caractéristiques de la marée pour chaque port référencé : il s'agit de fournir les différents niveaux calculables de la marée (exemple : les niveaux des plus hautes et bases mers astronomiques, le niveau moyen ...). Ceux-ci sont particulièrement utiles aux géomètres, aux entreprises de travaux public, notamment lors de travaux maritimes où les hauteurs d'eau atteintes dans différentes conditions de marée permettront de calibrer les ouvrages ou structures ou de planifier des interventions en fonction de la marée ;
- les dates de mise à jour des constantes harmoniques : ceci permet d'indiquer aux clients ayant acquis des constantes harmoniques ou des prédictions de marée à long terme que celles-ci doivent être réactualisées.

### 5.3 Niveaux extrêmes

Le SHOM et le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales) se sont associés pour le calcul et la réalisation d'un produit sur les « statistiques des niveaux marins extrêmes »<sup>8</sup>. Celui-ci synthétise les résultats de traitements statistiques des niveaux marins extrêmes de pleines et

<sup>8</sup> Voir dans cette même annale l'article de Lucia Pineau-Guillou « Niveaux marins extrêmes de pleine et basse mer en Manche et Atlantique »

basses mers pour les périodes de retour 10, 20, 50 et 100 ans aux abords des côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique. Les données y sont fournies sous forme de graphiques et de cartes.

- pour l'établissement notamment des plans de prévention des risques littoraux.

#### 5.4 Prestations à façon

Les demandes spécifiques non couvertes par les produits catalogués sont honorées sous forme de prestations à façon (exemple : prédictions à long terme, prédictions dans le futur pour la planification d'évènements, prédictions à partir de constantes harmoniques spécialement générées...). Le point d'entrée de ces sollicitations est : bp@shom.fr.

Une version « professionnelle » du logiciel SHOMAR est actuellement à l'étude afin notamment d'y ajouter des fonctionnalités spécifiques et répondant à certains de ces besoins plus particuliers de prédictions.

#### 6. CONCLUSION

Grâce à ces développements initiés en 2006, le SHOM offre aujourd'hui un éventail très large de produits et services de marée fiables cohérents et adaptés aux besoins des différents usagers de la mer et utilisant de multiples vecteurs de communication, y compris les plus récents. Le SHOM poursuit néanmoins ses efforts pour répondre aux nouveaux besoins de ses clients en restant à leur écoute tout en suivant les évolutions des technologies et des usages dans les domaines de la navigation, du littoral, de la communication...

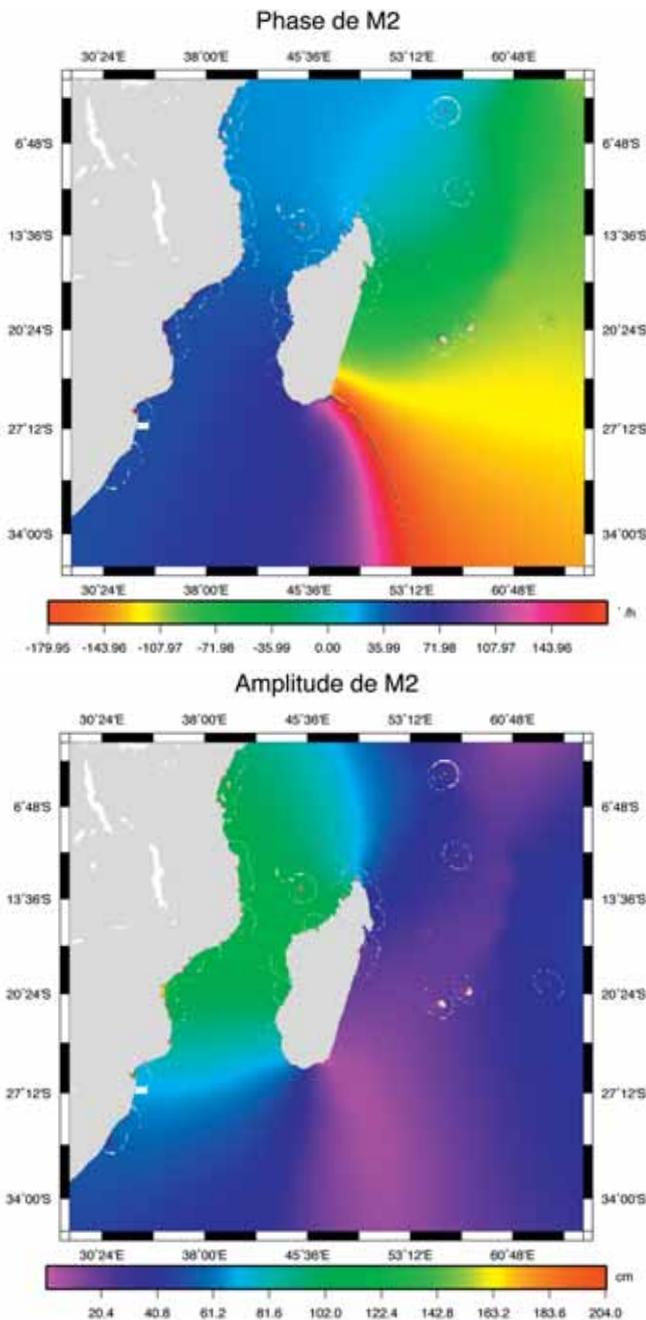


Figure 6 : Exemple de modèle de marée (amplitude et phase de l'onde M2<sup>9</sup>) aux alentours de Madagascar.

Ce produit est complémentaire des «Références Altimétriques Maritimes », et permet de répondre aux sollicitations :

- des préfetures ou des ministères lors de catastrophes naturelles (exemple : tempêtes Lothar en 1999 et Xynthia en 2010, sur les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique) ;
- lors d'études portant sur les risques littoraux ;
- pour tout aménagement littoral ou portuaire ;

<sup>9</sup> L'onde M2 est une des composantes principales de la marée avec S2, O1, K1 et correspond à la marée générée par la « Lune moyenne »

**DEUXIÈME PARTIE**

# MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

(5 mai 1980 – 1<sup>er</sup> octobre 1982)

par Patrick Souquière, ingénieur principal de l'armement (hydrographe), directeur de la MOP

## SOMMAIRE

<b>PREMIÈRE PARTIE – GÉNÉRALITÉS</b> .....	16-5
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	16-5
<b>2. MOYENS – ORGANISATION</b> .....	16-5
2.1 Personnel .....	16-5
2.2 Bâtiments.....	16-6
2.3 Autres moyens flottants .....	16-8
2.4 Véhicules .....	16-10
2.5 Locaux .....	16-10
2.6 Matériel.....	16-10
2.7 Moyens aériens .....	16-14
<b>3. ENVIRONNEMENT</b> .....	16-15
3.1 Le cadre naturel.....	16-15
3.2 Les relations extérieures .....	16-15
<b>DEUXIÈME PARTIE – MÉTHODES ET TECHNIQUES EMPLOYÉES</b> .....	16-16
<b>1. GÉODÉSIE</b> .....	16-16
1.1 Systèmes géodésiques utilisés .....	16-16
1.2 Méthodes usuelles.....	16-16
1.3 Bornage .....	16-16
<b>2. LOCALISATION À LA MER</b> .....	16-17
2.1 Travaux portuaires.....	16-17
2.2 Travaux de petite sonde à l'intérieur des lagons .....	16-17
2.3 Travaux au large des récifs barrières .....	16-17
2.4 Travaux océaniques .....	16-17
<b>3. MARÉE – NIVELLEMENT</b> .....	16-17
3.1 Observation de la marée .....	16-17
3.2 Exploitation .....	16-18
<b>4. LA MESURE DES PROFONDEURS ET LA RECHERCHE DES OBSTRUCTIONS</b> .....	16-18
4.1 Les sondages par petits fonds.....	16-18
4.2 La recherche des obstructions .....	16-18
4.3 Les sondages par grands fonds .....	16-20
<b>5. TOPOGRAPHIE</b> .....	16-20
5.1 Complètement d'un levé hydrographique.....	16-20
5.2 Levé des zones récifales étendues .....	16-20
<b>6. TOPONYMIE</b> .....	16-21
<b>7. COURANTOMÉTRIE</b> .....	16-21

<b>8.</b>	<b>MAGNÉTISME TERRESTRE</b> .....	16-22
<b>9.</b>	<b>NATURES DE FOND</b> .....	16-22
<b>10.</b>	<b>MESURES HYDROLOGIQUES</b> .....	16-22
	<b>TROISIÈME PARTIE – LEVÉS ET TRAVAUX</b> .....	16-23
	<b>GÉNÉRALITÉS</b> .....	16-24
<b>1.</b>	<b>CHAPITRE 1. De la Grande Terre à l’île des Pins</b> .....	16-24
1.1	Généralités .....	16-24
1.2	Géodésie – Localisation .....	16-24
1.3	Marée .....	16-24
1.4	Bathymétrie – Recherche d’obstruction.....	16-25
1.5	Topographie – Toponymie.....	16-25
1.6	Divers.....	16-25
1.7	Documents établis .....	16-25
<b>2.</b>	<b>CHAPITRE 2. De la baie de Nakety au mouillage d’Unia</b> .....	16-27
2.1	Généralités .....	16-27
2.2	Géodésie – Localisation .....	16-27
2.3	Bathymétrie .....	16-28
2.4	Marée .....	16-29
2.5	Courants .....	16-30
2.6	Natures de fond .....	16-30
2.7	Documents établis .....	16-30
<b>3.</b>	<b>CHAPITRE 3. De Koumac à la baie de Gomen</b> .....	16-31
3.1	Généralités .....	16-31
3.2	Géodésie – Localisation .....	16-31
3.3	Marée .....	16-31
3.4	Bathymétrie – Recherches d’obstructions .....	16-32
3.5	Topographie – Toponymie.....	16-34
3.6	Courantométrie .....	16-34
3.7	Magnétisme .....	16-34
3.8	Natures de fond .....	16-34
3.9	Mesures hydrologiques .....	16-34
3.10	Documents établis .....	16-35
<b>4.</b>	<b>CHAPITRE 4. Abords de Nouméa</b> .....	16-36
4.1	Voie d’accès à Nouméa depuis la passe de Dumbéa .....	16-36
4.2	Voie d’accès à Nouméa depuis la passe de Uitoé .....	16-37
4.3	Voie d’accès à Nouméa depuis l’entrée de la grande rade .....	16-38
4.4	Route à l’ouvert de la baie de Saint-Vincent.....	16-39
<b>5.</b>	<b>CHAPITRE 5. Port de Nouméa</b> .....	16-41
5.1	Levés dans la baie des Dames et la baie de Numbo .....	16-41
5.2	Levé du quai au long cours et du quai des remorqueurs .....	16-42
5.3	Levé du nouveau quai de pêche .....	16-42
<b>6.</b>	<b>CHAPITRE 6. Grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie</b> .....	16-43
6.1	Généralités .....	16-43
6.2	Géodésie .....	16-43
6.3	Levé de la route conduisant des passes du d’Estrées à Uala.....	16-43
6.4	Levé photographique aérien du grand lagon nord.....	16-46

<b>7.</b>	<b>CHAPITRE 7. Atoll d'Ouvéa</b> .....	16-49
7.1	Généralités .....	16-49
7.2	Géodésie .....	16-49
7.3	Bathymétrie – Recherches d'obstructions .....	16-51
7.4	Marée .....	16-52
7.5	Topographie .....	16-52
7.6	Documents établis .....	16-52
<b>8.</b>	<b>CHAPITRE 8. Îles Chesterfield, atolls Bampton et Bellona</b> .....	16-54
8.1	Généralités .....	16-54
8.2	Géodésie – Localisation .....	16-54
8.3	Marée .....	16-58
8.4	Recherches de hauts fonds .....	16-58
8.5	Topographie .....	16-58
8.6	Courantométrie .....	16-59
8.7	Magnétisme .....	16-59
8.8	Toponymie .....	16-61
8.9	Documents établis .....	16-62
<b>9.</b>	<b>CHAPITRE 9. Récifs d'Entrecasteaux, atolls de la Surprise et de Huon</b> .....	16-63
9.1	Généralités .....	16-63
9.2	Travaux aux abords de l'île de la Surprise .....	16-63
9.3	Travaux aux abords de l'île Le Leizour .....	16-65
9.4	Travaux aux abords de l'île Huon .....	16-66
<b>10.</b>	<b>CHAPITRE 10. ZEE de la Nouvelle-Calédonie</b> .....	16-69
10.1	Îles Hunter et Matthew .....	16-69
10.2	Île Walpole .....	16-69
10.3	Atoll de Beautemps-Beaupré .....	16-69
10.4	Récif Durand .....	16-69
10.5	Récifs de l'Astrolabe .....	16-70
10.6	Récif de la Gazelle .....	16-70
10.7	Récif Pétrie .....	16-70
10.8	Récifs Darling et brisants .....	16-70
10.9	Récifs Guilbert .....	16-71
10.10	Atoll du Portail .....	16-71
10.11	Récif Henri Miller .....	16-71
10.12	Coloration suspecte ou eau décolorée .....	16-71
<b>11.</b>	<b>CHAPITRE 11. Abords de Papeete</b> .....	16-72
11.1	Généralités .....	16-72
11.2	Géodésie – Localisation .....	16-72
11.3	Bathymétrie .....	16-73
11.4	Topographie .....	16-75
11.5	Documents établis .....	16-75
<b>12.</b>	<b>CHAPITRE 12. Île de Nuku-Hiva</b> .....	16-76
12.1	Levé dans la baie de Haopu .....	16-76
12.2	Levé aux abords du quai de Taiohae .....	16-78
<b>13.</b>	<b>CHAPITRE 13. Atoll de Tematangi</b> .....	16-80
13.1	Généralités .....	16-80
13.2	Géodésie .....	16-80
13.3	Marée .....	16-80
13.4	Topographie .....	16-81
13.5	Toponymie .....	16-81
13.6	Documents établis .....	16-81

<b>14. CHAPITRE 14. Îles Wallis et Futuna</b> .....	16-82
14.1 Généralités .....	16-82
14.2 Travaux à Mata Utu (île Uvéa).....	16-82
14.3 Travaux à Sigave (île Futuna) .....	16-82
<b>15. CHAPITRE 15. Petits travaux en Polynésie française</b> .....	16-84
15.1 Levé dans la zone aéroportuaire de l'atoll de Hao .....	16-84
15.2 Levés dans le port de Papeete .....	16-84
15.3 Quai au long cours .....	16-85
15.4 Marée .....	16-85
<b>ANNEXE : Toponymie nautique de l'île des Pins (Kunié)</b> .....	16-85
<b>1. Introduction et remerciements</b> .....	16-86
<b>2. Présentation des renseignements recueillis</b> .....	16-86
<b>3. Principaux résultats</b> .....	16-86
3.1 .....	16-86
3.2 .....	16-87
3.3 Passes de Gadji et de Uapan.....	16-87
Annexe 1 : Orthographe utilisée.....	16-88
Annexe 2 : Toponymie nautique de l'île des Pins et du lagon environnant .....	16-90
Annexe 3 : Extrait carte IGN.....	16-102
Annexe 4 : Extrait carte marine 1856 .....	16-106
Annexe 5 : Histoire et langage nakunié.....	16-109
Annexe 6 : Prononciation de la toponymie marine de l'île des Pins (Kunié) .....	16-110
Annexe 7 : Glossaire des mots nakuniés se rapportant à la carte marine et à la navigation .....	16-112
Annexe 8 : Sources bibliographiques .....	16-121

## PREMIÈRE PARTIE – GÉNÉRALITÉS

### 1. INTRODUCTION

La mission océanographique du Pacifique (MOP) a été constituée, en 1974, en regroupant à Nouméa les moyens dont disposaient à cette époque les missions hydrographiques de Polynésie française (MHPF) et de Nouvelle-Calédonie (MHNC).

Le présent rapport a trait à l'activité de la mission pendant la période comprise entre le 5 mai 1980 et le 1<sup>er</sup> octobre 1982, alors qu'elle était dirigée par l'ingénieur principal de l'armement (hydrographe) Souquière.

Cet ingénieur succédait à l'ingénieur en chef de l'armement (hydrographe) Cailliau ; il fut remplacé par l'ingénieur en chef de l'armement (hydrographe) Thouin.

La période considérée est caractérisée par un accroissement sensible et une modernisation des moyens de la MOP, par la très grande dispersion géographique de ses activités, notamment dans la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie, ainsi que par une certaine évolution des techniques mises en œuvre.

### 2. MOYENS – ORGANISATION

L'organisation<sup>1</sup> mise en place en 1976 par l'ingénieur en chef de l'armement (hydrographe) Bonnot et reconduite<sup>2</sup> par l'ingénieur en chef de l'armement (hydrographe) Cailliau fut conservée. Chaque bâtiment affecté à la mission recevait à titre permanent un complément de personnel, prélevé sur le plan d'armement de la MOP, ainsi qu'une dotation en matériel scientifique permettant d'effectuer toutes les opérations classiques d'un levé hydrographique.

Cette conception modulaire de l'organisation a continué à faire la preuve de son efficacité, même lorsque plusieurs bâtiments opéraient simultanément dans une même zone. Dans ce dernier cas, chaque bâtiment avait alors la responsabilité d'une tâche particulière, dans une zone délimitée, de façon à éviter toute possibilité d'interférence (présence simultanée sur un même site par exemple).

#### 2.1 Personnel

##### 2.1.1 Plan d'armement

Comme cela a déjà été indiqué par nos prédécesseurs, le plan d'armement propre à la MOP est bien équilibré et suffisamment étoffé. Il fut toujours honoré, si l'on excepte quelques retards dans le remplacement du personnel recruté. Ce plan d'armement est détaillé dans le tableau ci-après.

##### 2.1.2 Ingénieurs et officiers

Le directeur de la mission a été assisté par l'ingénieur principal de l'armement (hydrographe) Siess, qui fut remplacé au

<sup>1</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 – 10 mai 1978), *Annales Hydrographiques* n° 755, p. 70.

<sup>2</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 50.

mois de juillet 1981 par l'ingénieur de l'armement (hydrographe) Fourgassié, ainsi que par l'ingénieur des études et techniques d'armement Auffret, qui fut remplacé au mois de novembre 1981 par l'ingénieur de l'armement (hydrographe) Guével.

---

### PLAN D'ARMEMENT DE LA MISSION Océanographique du Pacifique

#### Officiers

1 Ingénieur en chef de l'armement  
2 Ingénieurs principaux de l'armement  
1 Ingénieur des études et techniques d'armement (électronicien)  
1 Enseigne de vaisseau de 1<sup>ère</sup> classe spécialisé (hydrographe)

#### Équipage

Hydrographe	3 Maîtres principaux (dont deux certifiés supérieurs) 5 Premiers maîtres 7 Maîtres
Manceuvrier	1 Maître (breveté supérieur) 2 Seconds maîtres (certifiés aide-hydrographe) 2 Quartiers-maîtres (certifiés plongeurs)
Timonier	1 Second maître 1 Quartier-maître 3 Matelots du contingent
Radio	1 Maître (breveté supérieur) 1 Matelot du contingent (RADEC)
Electricien	1 Second maître
Mécanicien	2 Seconds maîtres (MEMOT certifiés plongeurs) 1 Quartier-maître (MEMOT) 1 Matelot du contingent (aide dessinateur)
Secrétaire	1 Matelot du contingent
Conducteur	3 Matelots du contingent (COVEL) 2 Matelots du contingent (COPEL)
Sans spécialité	4 Matelots recrutés localement en Nouvelle-Calédonie

---

L'enseigne de vaisseau de 1<sup>ère</sup> classe spécialisé Olivier continua à diriger le service général de la mission jusqu'au mois de juin 1981, époque à laquelle il fut remplacé par le lieutenant de vaisseau spécialisé Antoni.

L'ingénieur des études et techniques d'armement (spécialité électronique) Mondot resta à la tête du service matériel jusqu'au mois de mars 1982, et fut remplacé par monsieur Quélen, technicien d'études et de fabrication (électronicien). Il convient de noter que, pour la première fois depuis la création de la MOP, le plan d'armement en ingénieurs et officiers

était scrupuleusement honoré, sans solution de continuité. Ceci facilita sans aucun doute l'organisation de travaux très dispersés, et permit également de banaliser rapidement, au sein de la mission, l'emploi de nouveaux matériels comme la mise en œuvre de nouvelles méthodes.

### 2.1.3 Officiers mariniers hydrographes

L'effectif de quinze officiers mariniers hydrographes prévu par le plan d'armement propre à la mission fut maintenu en permanence ; la répartition de ce personnel dans les différents grades a souvent varié mais, dans la pratique, le nombre des officiers mariniers supérieurs présents à la MOP a toujours dépassé de deux ou trois unités le chiffre réglementaire.

Le maître principal Bertin, puis le major Vittenet, ont occupé les fonctions de chef de la salle de dessin. Ils ont été secondés successivement par les maîtres principaux De Kersauson, Lécivain et Burban à bord de *L'Estafette* et par le premier maître Juhère, le maître principal Bénard et le premier maître Renou à bord de la *Boussole*.

### 2.1.4 Personnel du service général

Il est indispensable, pour la bonne marche de la mission, que ce personnel ait non seulement les capacités nécessaires pour exécuter les travaux qui sont de sa compétence, en fonction de sa spécialité, mais aussi les connaissances et le savoir-faire permettant de remplir des fonctions d'aide-hydrographe.

Chaque personne nouvellement affectée à la mission recevait donc une formation complémentaire et pouvait, au bout de quelques mois, obtenir le certificat d'aide-hydrographe.

Comme cela a déjà été indiqué par mon prédécesseur, la durée relativement courte des affectations des quartiers-maîtres et matelots engagés (15 mois), et surtout des matelots recrutés (10 mois), conduisait à maintenir une structure de formation permanente, occupant pratiquement à mi-temps un officier marinier hydrographe.

Parmi les matelots affectés à la mission, qui étaient recrutés localement sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie, nombreux furent ceux qui, ayant déjà une qualification ou, à défaut, un bon niveau de culture, rendirent d'excellents services.

### 2.1.5 Personnel civil

L'affectation à la MOP, au mois de mars 1982, du technicien d'études et de fabrication (électronicien) Quélen ne posa pas de problèmes particuliers, ni sur le plan administratif, en raison de l'existence d'une structure d'accueil à Nouméa dépendant du service des travaux immobiliers et maritimes, ni sur le plan de l'organisation interne de la mission, grâce à la présence d'un officier spécialisé qui reprit les attributions à caractère militaire de l'ingénieur.

## 2.2 Bâtiments

### 2.2.1 Généralités

Les trois mêmes bâtiments sont toujours affectés à la MOP depuis sa constitution en 1974 ; ce sont, du plus grand au plus petit :

- le bâtiment hydrographique de 1<sup>ère</sup> classe (BH1) *L'Estafette* (1 200 t)<sup>3</sup>,
- le bâtiment hydrographique de 2<sup>ème</sup> classe (BH2) *Boussole* (400 t),
- le bâtiment hydrographique de 2<sup>ème</sup> classe (BH2) *Corail* (75 t).



La flotte hydrographique à quai à la base maritime de Chaleix

Ils forment un ensemble, à première vue disparate, qui s'est révélé parfaitement adapté aux travaux qui furent confiés à la mission pendant la période considérée.

Les concours apportés occasionnellement à la MOP par les bâtiments stationnaires de la marine nationale, en Nouvelle-Calédonie comme en Polynésie française, ont permis la recherche d'un emploi optimal des moyens affectés à la mission. Parmi les concours apportés en Nouvelle-Calédonie on doit citer, outre les missions de transport effectuées par les patrouilleurs ou l'EDIC basés à Nouméa, les missions de reconnaissance dans la zone économique qui furent confiées au patrouilleur *La Dunkerquoise*, aux abords des îles Chesterfield au mois de juin 1980, puis au nord et à l'est de la Grande Terre au mois de janvier 1981. En Polynésie française, le patrouilleur *La Paimpolaise* fut mis à la disposition de la MOP du 19 mars au 5 avril 1981 pour effectuer des levés de détail dans l'archipel des îles Marquises.

### 2.2.2 Emploi des bâtiments

Le tableau ci-après indique de façon schématique les conditions d'emploi des bâtiments affectés à la mission entre le 1<sup>er</sup> mai 1980 et le 1<sup>er</sup> octobre 1982, soit sur une période de 29 mois incluant en particulier deux IPER<sup>4</sup> pour chaque bâtiment<sup>5</sup>.

La similitude des taux d'emploi en travaux hydrographiques relevés pour chaque bâtiment montre une très bonne adaptation des moyens aux tâches de la mission.

Le taux correspondant aux activités diverses reflète, quant à lui, le nombre des transits effectués entre Nouméa et Papeete par les bâtiments, trois pour le BH1 *L'Estafette* et deux seulement pour le BH2 *Boussole*, mais sur un seul moteur, ce qui explique le faible écart entre les chiffres indiqués.

<sup>3</sup> Déplacement moyen en tonnes.

<sup>4</sup> Indisponibilité périodique pour entretien et réparation.

<sup>5</sup> Moins pour le BH1 *L'Estafette* dont la seconde IPER avait débuté le 30 août 1982.

TAUX (%) <sup>6</sup>	<i>L'Estafette</i>	<i>Boussole</i>	<i>Corail</i>
Emploi en travaux hydrographiques	38,0 %	36,5 %	39,0 %
Activités diverses (escales de détente et transits entre Nouméa et Papeete en particulier)	5,7 %	4,9 %	0,2 %
Disponibilité à quai (Nouméa ou Papeete) <sup>7</sup>	21,7 % (0,0)	23,6 % (0,1)	23,7 % (1,7)
Indisponibilité (quelle que soit la cause)	34,6 %	35,0 %	37,1 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Le taux d'indisponibilité du BH2 *Corail*, relativement élevé pour ce petit bâtiment, est lié aux nombreux incidents qui ont perturbé le fonctionnement de la ligne d'arbre, et qui ont sans aucun doute un caractère chronique puisque deux ruptures de la ligne d'arbre se sont déjà produites sur ce bâtiment depuis son acquisition par la marine nationale en 1973.

### 2.2.3 Le BH1 *L'Estafette*

Ce bâtiment a été commandé successivement par le capitaine de corvette Boiselle, jusqu'au mois de février 1981, par le lieutenant de vaisseau puis capitaine de corvette Beau, jusqu'au mois d'août 1982, et enfin par le lieutenant de vaisseau Vibert.

Les ingénieurs des études et techniques d'armement élèves (branche hydrographie) Le Visage, puis Guillam, furent successivement affectés à bord pendant leur période d'instruction militaire.

La description complète de ce bâtiment, sister ship du BH1 *L'Espérance*, ayant déjà été publiée<sup>8</sup>, on ne mentionnera ci-dessous que les éléments nouveaux permettant d'actualiser, dans le cas du BH1 *L'Estafette*, la description des équipements et des aménagements qui a été faite par l'ICA Pasquay, ainsi que les conditions de leur emploi.



<sup>6</sup> Rapport entre le temps passé dans une situation donnée, comptabilisé en heures, et le temps d'affectation, soit 29 mois.

<sup>7</sup> Le nombre entre parenthèses précise l'incidence, sur le taux indiqué, de mauvaises conditions météorologiques interdisant toute activité hydrographique.

<sup>8</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 748, p. 117 et suivantes.

Parmi les équipements nouveaux on doit citer :

- un sondeur grands fonds Raytheon, opérationnel depuis le mois de juillet 1980, qui a remplacé l'ancien sondeur Kelvin Hugues MS 26K,
- une infrastructure fixe permettant l'installation d'un récepteur de satellites Transit JMR 4,
- un treuil électrique Klein, avec télécommande depuis le poste central scientifique, prévu pour la mise en œuvre du poisson remorqué du sonar latéral EGG Mark 1B en particulier. Cet équipement, reçu tardivement, n'a malheureusement pas pu être utilisé du fait des missions, essentiellement hauturières, qui ont ensuite été confiées au bâtiment,
- deux vedettes hydrographiques de 9 mètres (VH9)<sup>9</sup> qui ont remplacé les anciennes vedettes hydrographiques de 8,3 mètres dès le mois d'octobre 1980.

Beaucoup trop court, le tangon pour embarcations installé à tribord n'a pu être utilisé avec les vedettes de 9 mètres. Lorsque le bâtiment était au mouillage, les vedettes étaient amarrées à l'arrière, l'une derrière l'autre.

L'infrastructure prévue sur l'aire de travail milieu, pour recevoir un deuxième treuil d'hydrologie, s'est révélée, avec le temps, beaucoup plus dangereuse qu'utile ; elle a en conséquence été supprimée.

Le laboratoire d'hydrologie, qui occupe une situation privilégiée sur le pont principal, à proximité immédiate de la salle de dessin et du mâtereau d'hydrologie, fut très souvent utilisé pour le rangement du petit matériel d'hydrographie, allant du théodolite jusqu'au groupe électrogène portatif.

Les remarques faites par l'ICA Boulard<sup>10</sup> sur ce bâtiment restent d'actualité. La climatisation, par exemple, ébauchée dans quelques locaux, devait être étendue en 1982 au poste central scientifique et à la salle de dessin ; les travaux correspondants, bien qu'approuvés en temps utile, durent être encore reportés par suite d'un retard dans les études qui étaient confiées au port spécialisé.

L'excellente disponibilité de ce bâtiment pendant la période considérée<sup>11</sup> est très certainement due aux efforts qui ont été déployés à tous les niveaux pour son entretien. On peut, en conséquence, regretter que la faiblesse numérique de son plan d'armement, malgré le renfort du personnel de complément détaché par la MOP, puisse conduire à limiter le nombre<sup>12</sup> des activités hydrographiques menées simultanément depuis le bâtiment au mouillage.

### 2.2.4 Le BH2 *Boussole*

Ce bâtiment a été commandé successivement par le capitaine de corvette Souleau jusqu'au mois d'août 1980, par le lieutenant de vaisseau puis capitaine de corvette Masson jusqu'au mois de février 1982, et enfin par le lieutenant de vaisseau Tual.

<sup>9</sup> Voir *Annales Hydrographiques* n° 757, p. 101 et suivantes, pour la description des nouvelles vedettes hydrographiques VH9 et VH8 MP.

<sup>10</sup> Voir *Annales Hydrographiques* n° 754, p. 62 et suivantes.

<sup>11</sup> Près de 160 jours d'activité en rythme annuel, sans le supplément d'équipage attribué à certains bâtiments hydrographiques stationnés en métropole.

<sup>12</sup> Cette contrainte est surtout sensible quand les conditions météorologiques sont favorables.



Une description détaillée de ce bâtiment a déjà été publiée, et les conditions de son emploi dans le Pacifique ont été précisées<sup>13</sup>. On ne mentionnera donc ci-après que les éléments nouveaux permettant de mettre à jour les caractéristiques données par l'IA Chartier.

Parmi les installations nouvelles, il faut citer :

- un sondeur petits fonds Atlas Deso 10, installé depuis 1974, qui a remplacé le sondeur Kelvin Hugues MS 26F,
- un sondeur grands fonds Raytheon, identique à celui du BH1 *L'Estafette*, opérationnel depuis le mois de mars 1982. L'installation de ce sondeur a d'ailleurs imposé un réaménagement complet du poste central scientifique, avec la mise en place d'une armoire électronique standard qui permet de recevoir, au besoin simultanément, toute une panoplie de récepteurs de radiolocalisation (Transit, Trident, Toran ...),
- une infrastructure fixe permettant l'installation de récepteurs de radiolocalisation et en particulier d'un récepteur de satellites Transit JMR 4 (1980),
- un treuil manuel Klein, prévu pour la mise en œuvre du poisson remorqué du sonar latéral EGG Mark 1B en particulier (1980),
- deux vedettes hydrographiques de 8 mètres à coque plastique (VH8 MP) qui ont remplacé les anciennes vedettes de 8,3 mètres dès le mois de février 1980.

L'installation de trois couchettes superposées dans la salle de dessin, en 1976, permettait d'offrir au personnel de complément, détaché à bord en permanence par la MOP (soit huit personnes, dont un ingénieur), des conditions d'hébergement acceptables.

Comme pour le BH1 *L'Estafette*, on doit noter l'excellente disponibilité du bâtiment pendant la période considérée<sup>14</sup>, ainsi qu'une très bonne adaptation du plan d'armement aux activités hydrographiques conduites à partir du bâtiment au mouillage. Il est en effet arrivé fréquemment que trois embarcations soient mises en œuvre simultanément (deux vedettes hydrographiques en sondage et une embarcation légère en opérations de topographie) tandis que des opérations de routine se poursuivaient normalement en salle de dessin.

<sup>13</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 737, p. 229 et suivantes.

<sup>14</sup> Plus de 150 jours d'activité en rythme annuel.

## 2.2.5 Le BH2 *Corail*



Ce bâtiment a été commandé successivement par le premier maître puis maître principal hydrographe Penven jusqu'au mois de mars 1982, par le premier maître puis maître principal hydrographe Claudel jusqu'au mois d'avril 1982, et enfin par le maître principal hydrographe Bénard.

Le BH2 *Corail* a déjà été décrit par l'ICA Milard<sup>15</sup>. Parmi les équipements ou aménagements nouveaux il convient de citer :

- un radar Decca type RM 914 C qui a remplacé au mois de mars 1981 l'ancien équipement dont la maintenance devenait de plus en plus difficile,
- deux couchettes supplémentaires qui ont été installées à poste fixe dans la cale à matériel ; ceci permettait enfin de résoudre le problème du logement décent du personnel de complément détaché par la MOP.

Depuis 1980 le BH2 *Corail* bénéficie d'un régime d'entretien programmé avec une IPER annuelle d'une durée de six semaines, et trois ou quatre IE<sup>16</sup> d'une durée globale de dix semaines réparties entre deux IPER successives. Ceci n'a pas suffi à empêcher un certain nombre de petites indisponibilités accidentelles de perturber l'emploi de ce bâtiment, mais a, sans aucun doute, contribué à maintenir un état général satisfaisant, tout en permettant de poursuivre l'amélioration des conditions de vie à bord.

L'emploi en travaux hydrographiques du BH2 *Corail* pendant la période considérée (plus de 140 jours d'activité en rythme annuel) ne doit pas masquer le fait qu'il s'agit d'un petit bâtiment dont les qualités marines sont peu évidentes. C'est ainsi que les travaux hydrographiques qui lui ont été confiés sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie, comme les transits effectués hors lagon aux abords du canal de La Havannah, ont souvent du être interrompus à cause de l'état de la mer.

## 2.3 Autres moyens flottants

### 2.3.1 Vedettes hydrographiques de 9 mètres

La description de ces embarcations, ainsi que leurs conditions d'emploi, ont déjà été publiées ; on ne mentionnera donc, dans ce paragraphe, que quelques faits nouveaux qui viennent confirmer, ou compléter, ce qui a déjà été écrit.

<sup>15</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 749, p. 141.

<sup>16</sup> IPER : indisponibilité périodique pour entretien et réparation, IE : indisponibilité pour entretien.



VH9 amarrée à l'arrière de L'Estafette (atoll Bampton)

L'excellent comportement à la mer de ces vedettes a pu être éprouvé à plusieurs reprises dans le lagon calédonien, et sur la côte sud-est en particulier ; dans cette région, la mer devient rapidement très dure sous les effets conjugués d'un alizé assez fort et d'une houle du large qui n'est que peu ou pas atténuée par un récif barrière tout à la fois discontinu et assez profondément immergé. C'est ainsi que plus d'une fois le BH2 *Corail* a dû interrompre ses travaux à cause de l'état de la mer, tandis que les vedettes hydrographiques de 9 mètres du BH1 *L'Estafette* pouvaient continuer leur activité dans des conditions acceptables.

Deux échouages accidentels, survenus dans de mauvaises conditions de visibilité, l'un au lever du soleil dans un lagon inexploré, l'autre à proximité de la côte dans des eaux troubles, ont permis d'éprouver concrètement la robustesse de la coque et la bonne protection de ses appendices. Ces échouages n'ont en effet occasionné que quelques rayures sur les parties métalliques de la quille ou du gouvernail Kit-chen qui ont été en contact avec le corail. La résistance de la coque aux perforations, de même que la résistance à l'arrachement au niveau des chaumards, des bittes ou des taquets, reste cependant faible et a souvent nécessité des réparations qui sont heureusement à la portée des utilisateurs.

La fiabilité générale s'est révélée plutôt bonne, et même excellente comparée à celle des précédentes vedettes de 8,3 mètres dont l'âge moyen approchait vingt ans au moment de leur remplacement. Les incidents mineurs rencontrés n'ont en effet jamais immobilisé une embarcation plus de quelques heures.

La confiance qu'inspiraient ces vedettes hydrographiques était telle que l'on n'hésitait pas, quand c'était nécessaire, à les envoyer jusqu'à plusieurs dizaines de milles du bâtiment de soutien pour effectuer certains travaux. C'est ainsi que sur le plateau des îles Chesterfield une vedette, équipée d'un récepteur de satellites et d'un émetteur-récepteur HF BLU, a effectué un transit entre l'île Renard et l'île Loop en s'éloignant, hors de vue de terre, à plus de cinquante milles du BH1 *L'Estafette* au mouillage.

### 2.3.2 Vedettes hydrographiques de 8 mètres à coque plastique



VH8 armant la *Boussole*

Comme indiqué précédemment, la description de ces embarcations et de leurs conditions d'emploi ont déjà été publiées.

Les remarques faites ci-dessus à propos de la robustesse et de la fiabilité des vedettes hydrographiques de 9 mètres s'appliquent aux vedettes de 8 mètres à coque plastique, malgré la rupture accidentelle d'un tronçon de ligne d'arbre sur ces dernières, dont les causes n'ont pas été parfaitement élucidées (un palier intermédiaire a depuis été ajouté).

On peut noter, par exemple, qu'un même défaut de conception entraîne les mêmes incidents sur les deux types de vedette, à savoir une rupture fréquente de la courroie d'entraînement de l'alternateur attelé, fixé sur un bâti distinct de celui du moteur.

Le comportement à la mer de ces vedettes est assez proche de celui des anciennes vedettes de 8,3 mètres. La protection contre les intempéries dont bénéficie le personnel embarqué est sans doute satisfaisante, mais les mouvements de plateforme interdisent pratiquement toute activité dès que la hauteur des vagues dépasse un mètre.

### 2.3.3 Embarcations pneumatiques

Aussi bien à la MOP, qui possède en propre trois embarcations de ce type, qu'à bord des bâtiments principaux de la mission, les embarcations pneumatiques à quille rigide, dont la fragilité au contact du corail a été signalée avec constance par les utilisateurs, ont été remplacées peu à peu par des embarcations pneumatiques à coque rigide dont la durée de vie est nettement plus grande. Le transport et le stockage de ces embarcations, relativement lourdes et encombrantes, n'ont pas posé de problèmes particuliers.

### 2.3.4 Embarcations en alliage léger

Utilisées depuis plus de dix ans par les missions hydrographiques et océanographiques opérant dans les territoires français du Pacifique ces embarcations, d'environ quatre mètres de long, ont été adoptées par les bâtiments hydrographiques stationnés outre-mer et font maintenant partie de leur drome réglementaire.



*Départ au petit matin de l'équipe de guidage optique*

Les quatre embarcations de ce type attribuées à la MOP, de même que les quinze propulseurs hors-bord dont dispose la mission, ont été principalement utilisées pour renforcer la dotation des bâtiments.

Ces embarcations sont très robustes, et facilement réparables ; leur comportement en charge dans une mer formée n'est cependant pas toujours convaincant et justifie ainsi la présence des embarcations pneumatiques à coque rigide, sans doute moins robustes, mais beaucoup plus sûres dès que l'état de la mer se dégrade.

## 2.4 Véhicules

La MOP possédait jusqu'en 1982 les véhicules énumérés ci-dessous :

- deux Land Rover type 88 à moteur diesel,
- deux camionnettes Peugeot type 404 à moteur diesel,
- deux camions Saviem type TP 3 à moteur essence.

Un véhicule de liaison Peugeot type 204, à moteur essence, était par ailleurs mis à la disposition de la MOP de façon permanente par l'unité marine de Nouméa.

Les quatre premiers véhicules cités étaient parfaitement adaptés aux besoins de la mission, comme au réseau routier de la Nouvelle-Calédonie<sup>17</sup>.

Comme les années précédentes, les deux camions ont été peu utilisés, sans doute à cause d'une consommation excessive en carburant qui conduisait à restreindre leur emploi, mais aussi à cause de l'évolution de l'activité de la MOP qui réduisait le besoin en véhicules de ce type.

Un seul camion tout chemin, à moteur diesel, figure maintenant sur le plan d'armement en véhicules de la mission.

## 2.5 Locaux

Comme par le passé, la mission a pu disposer de nombreux locaux à usage de bureaux, ateliers et magasins dispersés dans l'enceinte de la base maritime de la pointe Chaleix. La construction d'un nouveau bâtiment, regroupant sur l'îlot Brun la plupart de ces locaux, avait été un moment envisagée

<sup>17</sup> Il convient de noter toutefois d'assez nombreuses ruptures de transmission sur les Land Rover qui n'ont jamais été utilisées en tout-terrain, mais seulement en tout chemin.

sérieusement mais, à la fin de 1982, le projet semblait enterré pour des raisons budgétaires.

Cela n'a pas empêché une évolution générale plutôt favorable, caractérisée par l'accroissement sensible de la surface des locaux couverts attribués à la MOP, et des locaux utilisés comme salle de dessin en particulier.

C'est ainsi qu'à partir du mois d'août 1982, la mission a pu disposer de deux salles de dessin distinctes, climatisées et très bien aménagées, comportant une vingtaine de postes de travail au total. La plus spacieuse de ces salles était équipée d'une table à dessin de grandes dimensions (10 m<sup>2</sup> environ) dont le besoin se faisait sentir depuis de nombreuses années.

Bien qu'une décision ait été prise en ce sens dès 1980, l'attribution d'un petit local fermé à Papeete n'était toujours pas effective le 1<sup>er</sup> octobre 1982. Sans être essentielle, la disponibilité d'un tel local facilite les interventions de la MOP en Polynésie quand elles se déroulent sans le soutien d'un bâtiment.

## 2.6 Matériel

Si l'on excepte les systèmes d'acquisition et de traitement automatique des données, la MOP disposait d'un matériel bien adapté, en quantité suffisante, dont la fiabilité, variable selon les équipements, était en général satisfaisante.

L'entretien de ce matériel, et sa réparation, était en pratique effectué par la mission qui faisait appel, le cas échéant, aux services techniques de l'unité marine de Nouméa, à la DCAN de Papeete, ou bien au constructeur par l'intermédiaire de l'établissement principal du service hydrographique et océanographique de la marine (EPSHOM). Cette dernière procédure s'est révélée intéressante sur le plan opérationnel chaque fois que l'EPSHOM a pu remplacer les équipements en avarie, sans attendre l'intervention du constructeur.

Quelques observations sur les principaux équipements utilisés sont rassemblées ci-dessous ; elles complètent le plus souvent celles déjà faites dans les rapports précédemment publiés qui concernent l'activité de la MOP.

### 2.6.1 Matériel de radiolocalisation

La MOP dispose, depuis sa constitution en 1974, d'une chaîne de radiolocalisation Toran type P10 dont la composition s'est progressivement étoffée, aussi bien au niveau des équipements, qu'au niveau des pièces de rechange et du matériel utilisé pour la maintenance, le contrôle et les réglages. Cette chaîne a été utilisée à trois reprises, en mode « X » (deux réseaux) pendant près de cinq mois, et en mode « Z » (un seul réseau) en deux occasions, dont une pendant plus de cinq mois.

On doit noter que, malgré le soin apporté aux révisions effectuées en laboratoire, aux normes très strictes retenues pour le choix des sites sur lesquels étaient implantés les émetteurs, et la présence de personnel qualifié à chaque étape de l'installation et de la mise en route, il a toujours fallu attendre plusieurs semaines, émaillées de nombreux incidents, avant d'obtenir un fonctionnement irréprochable.

Des équipements Trident III<sup>18</sup>, en nombre insuffisant pour répondre complètement aux besoins de la mission, ont été attribués à la MOP à partir du mois d'août 1981.

Ce matériel devait d'abord permettre de mener à bien une mission originale, le levé topographique d'un lagon inexploré en utilisant des photographies aériennes verticales prises à partir d'un aéronef localisé à l'aide du Trident. Malgré un calendrier serré (installation à bord de l'aéronef, essais en vol, puis mise en place de l'infrastructure au sol) qui n'a pas permis d'acquérir une connaissance approfondie du matériel, cette opération s'est déroulée dans d'assez bonnes conditions, entre le 15 octobre et le 20 novembre, sans incidents graves dans le fonctionnement des équipements Trident.

Au mois de février 1982, une grande partie du matériel était cependant hors d'usage, soit du fait d'avaries non élucidées, soit à cause de pannes à caractère aléatoire. Sans l'arrivée à Nouméa d'un technicien ayant une grande expérience du Trident, le matériel aurait dû être renvoyé en métropole pour être remis en état.

Il est apparu ainsi que ce matériel devait faire l'objet, en permanence, d'une maintenance préventive stricte conduisant à contrôler, et rétablir quand nécessaire, les caractéristiques nominales des circuits et sous-ensembles, déréglés après une certaine durée de fonctionnement ou bien du fait des fréquentes manipulations.



*Récepteur Trident III (en bas)*

L'alimentation en énergie électrique des émetteurs ou des balises de radiolocalisation a été faite, comme par le passé, à l'aide de batteries de grande capacité<sup>19</sup> qui étaient rechargées périodiquement par une équipe de gardiennage utilisant des groupes électrogènes portatifs.

L'installation d'émetteurs et de balises sur des pitons ou des crêtes rocheuses difficilement accessibles a conduit à plusieurs reprises à disposer les batteries et le groupe électrogène au niveau de la mer, en les reliant à l'émetteur par un câble électrique de forte section, dont la longueur a souvent dépassé cent mètres.

L'utilisation de balises Trident pour localiser un aéronef qui, par suite de diverses contraintes, ne pouvait effectuer qu'un

vol de trois ou quatre heures tous les deux jours, a montré qu'un système de charge autonome utilisant des cellules photovoltaïques, associé à un programmeur limitant les périodes de fonctionnement, était parfaitement viable en 1982, la technologie du moment étant déjà à même de garantir une confortable marge de sécurité.

## 2.6.2 Matériel de transmission

La dotation de la MOP en matériel de transmission comprenait trois types d'appareils correspondant chacun à un besoin précis explicité ci-après. Comme à l'accoutumée, ce matériel a bien fonctionné.

Les liaisons de sécurité entre le bâtiment principal et les embarcations de servitude (embarcations pneumatiques ou embarcations en alliage léger), utilisées en permanence pour les transports de matériel ou de personnel, étaient assurées avec des émetteurs-récepteurs UHF portatifs TRPP 11. Ces appareils étaient en outre employés pour assurer les liaisons entre les équipes de géodésie ou de topographie opérant simultanément, et servaient d'émetteurs récepteurs en secours pour les stations de localisation optique.

Les conditions dans lesquelles sont mis en œuvre ces appareils impliquent qu'ils soient étanches. Ce n'était pas le cas des TRPP 11 en service à la MOP et certains ont dû être déclassés par les services réparateurs après une immersion accidentelle, causée chaque fois par le chavirage d'une embarcation de servitude en alliage léger.

Les liaisons de sécurité entre le bâtiment principal et les vedettes hydrographiques, comme les liaisons opérationnelles entre les vedettes hydrographiques et les stations de localisation optique installées à terre, étaient assurées par des émetteurs-récepteurs UHF fixes TRVP 13 à bord des bâtiments et des vedettes, et par des émetteurs-récepteurs UHF portables TRPP 13 à terre.

Comme on peut le comprendre au vu du paragraphe précédent, il est intéressant que cette catégorie d'appareils soit compatible avec la précédente.

Par suite d'un éloignement trop important, ou bien à cause de la configuration de la côte, il arrive que les émetteurs-récepteurs UHF mentionnés ci-dessus ne permettent pas d'assurer une liaison de sécurité entre le bâtiment et les équipes isolées sur le terrain, qui assurent soit le gardiennage des stations de radiolocalisation, soit l'armement des stations de localisation optique.

Dans ces cas-là, on utilisait un émetteur-récepteur HF mobile TRMM 3 A, dont l'installation et la mise en œuvre occasionnent quelques servitudes.

## 2.6.3 Sondeurs et sonars ultrasonores

Quatre types d'appareils ont été utilisés pour effectuer soit des mesures de profondeur (sondeurs verticaux), soit des recherches d'obstructions (sonars latéraux).

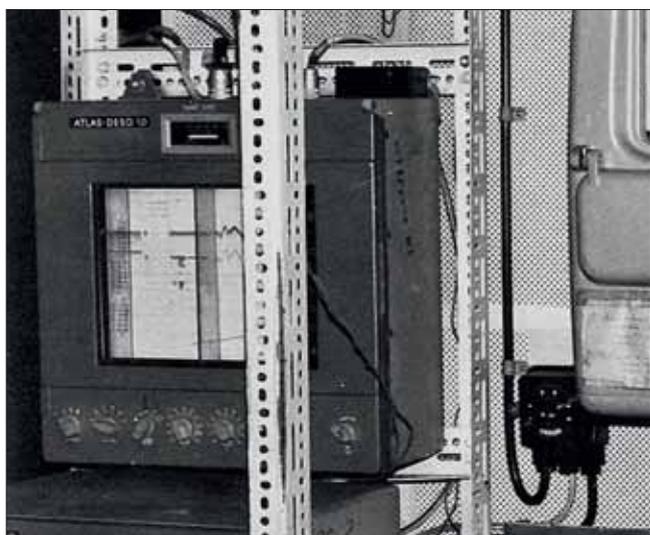
Pour la mesure des faibles profondeurs, on a utilisé le sondeur Atlas Deso 10 bifréquence qui est en service sur les bâ-

<sup>18</sup> Deux interrogateurs et six balises.

<sup>19</sup> On a souvent utilisé 8 batteries de 6 V et 190 Ah montées en série et parallèle pour obtenir 12 V.

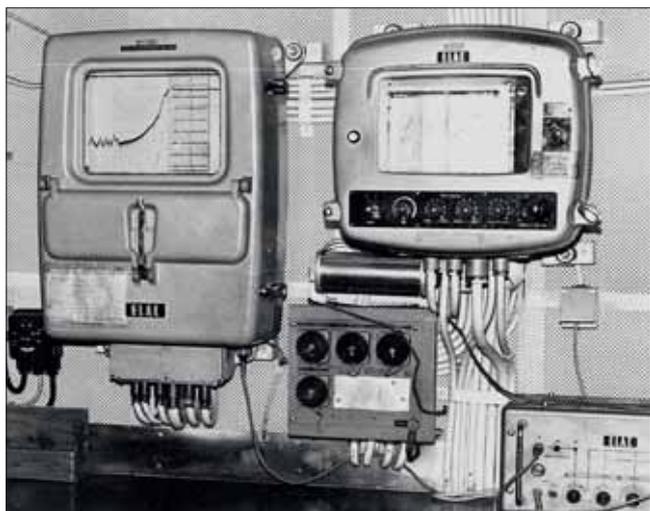
timents et les vedettes hydrographiques depuis plusieurs années. Les nombreuses qualités de ce sondeur, souvent citées, ont été appréciées. Sa robustesse, réelle, lui permet de résister de façon satisfaisante aux conditions d'emploi assez dures rencontrées à bord des vedettes ; il est en conséquence souhaitable, au moment du choix d'une nouvelle génération de sondeurs petits fonds, de ne pas sacrifier cette robustesse à une inutile compacité, ou à une illusoire sophistication.

Les performances obtenues ont toujours été satisfaisantes compte tenu de l'environnement. C'est ainsi que des profondeurs supérieures à 600 mètres ont pu être mesurées par le BH2 *Boussole* dans des fonds peu accidentés, et que des profondeurs voisines de 300 mètres ont pu être atteintes avec les équipements installés sur les vedettes hydrographiques, sur le tombant extérieur du récif barrière, lorsque la pente n'était pas trop importante.



*Sondeur Atlas Deso 10*

Jusqu'à ce qu'un sondeur grands fonds moderne soit installé sur chacun des bâtiments principaux de la mission, on a continué à utiliser les sondeurs Elac type Deneb spécial dont ils étaient équipés (photo ci-dessous).

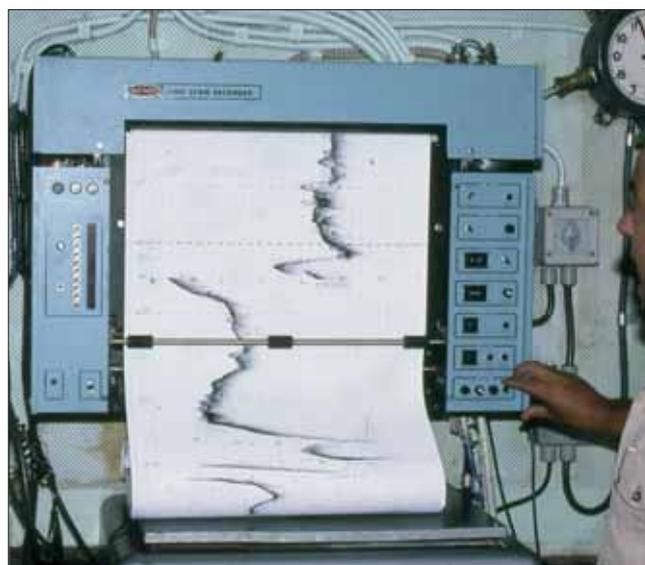


*Ensemble sondeur Elac type Deneb spécial*

On doit noter que les enregistreurs principaux (type Laz 17) fonctionnèrent correctement<sup>20</sup> ainsi que les bases de temps générant les marques de calibration (type Daz 2B). Les enregistreurs asservis (type Laz 32C), considérés comme irréparables, furent débarqués.

Les sondeurs grands fonds Raytheon dont ont été équipés successivement les BH1 *L'Estafette* et BH2 *Boussole* ont toujours parfaitement fonctionné, si l'on excepte la mise en route laborieuse du premier équipement installé en 1980.

Ces sondeurs fonctionnent sur deux fréquences, 12 et 34 kHz, en utilisant le même transducteur ; ceci permet de réduire sensiblement l'ouverture du pinceau d'émission lorsqu'on utilise la fréquence la plus élevée. Cette possibilité s'est révélée particulièrement intéressante lorsque la mission a effectué un levé à l'échelle 1/2 500 sur le tombant extérieur du récif barrière devant Papeete.



*Enregistreur sondeur grands fonds Raytheon*

Les performances obtenues ont toujours été satisfaisantes, avec des portées supérieures à 6 000 mètres sur la fréquence 12 kHz, et supérieures à 2 000 mètres sur la fréquence 34 kHz. On a cependant observé des pertes fugitives du fond sur cette dernière fréquence lorsque la pente du fond atteignait 60°.

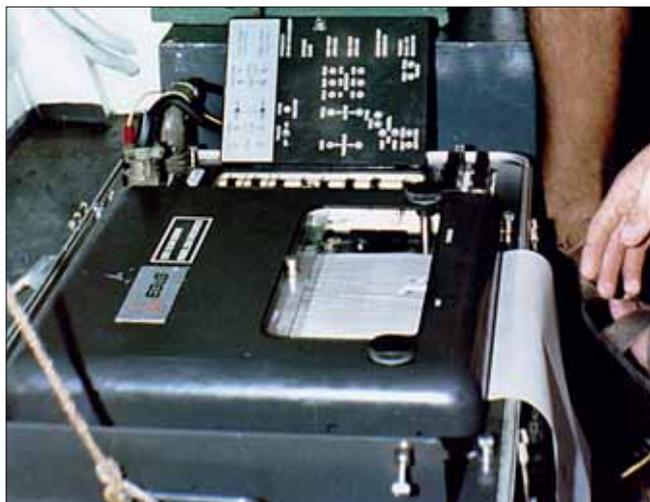
Les sonars latéraux remorqués Edgerton (type EGG Mark 1 B) dont disposait la mission furent souvent utilisés aussi bien à partir des bâtiments qu'à partir des vedettes hydrographiques.

Le fonctionnement des enregistreurs (photo ci-contre) fut en général satisfaisant, de même que le fonctionnement des transducteurs remorqués.

On doit cependant signaler la fragilité des câbles utilisés pour le remorquage. Ils furent en effet à l'origine de la plupart des incidents, et ceci bien que l'on n'ait jamais employé le « divergent »<sup>21</sup>, non seulement à cause des difficultés de mise en œuvre, mais aussi parce que son utilisation se traduit par une augmentation des contraintes subies par le câble.

<sup>20</sup> Celui installé sur le BH1 *L'Estafette* fut remplacé en 1980.

<sup>21</sup> Towing depressor.



*Enregistreur sonar latéral remorqué Edgerton*

Ces incidents étaient provoqués par la rupture d'un ou plusieurs conducteurs au niveau de la prise étanche reliant le câble au poisson renfermant les transducteurs. Cette rupture, imprévisible, se produisait au bout d'un temps variant de quelques heures à plusieurs jours, malgré les précautions prises pour éviter des vibrations intempestives du tronçon de câble libre au niveau de cette prise. Les réparations faites « avec les moyens du bord », insuffisamment étanches, pouvaient occasionner de nouveaux incidents.

Une modification au niveau de cette liaison électrique, entre le câble de remorquage et le poisson, paraît seule pouvoir résoudre ces problèmes qui se posent avec acuité.

#### 2.6.4 Matériel de géodésie

2.6.4.1 Les instruments de mesure optique dont a pu disposer la mission ont toujours donné satisfaction, malgré les conditions de manutention et de transport sévères qui leur étaient imposées. Les instruments les plus utilisés furent les théodolites Wild T2, T3 et T16.

Il faut signaler que l'on n'a pas su utiliser, faute de notice et d'expérience, les miroirs solaires que possédait la mission. Certaines visées à très grande distance, qui auraient pu justifier l'emploi de ces équipements, ont du être faites de nuit en utilisant des projecteurs, quand c'était raisonnablement possible, ou bien abandonnées au prix d'une certaine perte de précision.

2.6.4.2 Pour la mesure des distances, la MOP disposait de deux ensembles de telluromètres (un ensemble type MRA 3 qui n'a été utilisé que pour l'entraînement du personnel à son usage, et un ensemble type MRA 5 dont le fonctionnement a été globalement satisfaisant) ainsi qu'un géodimètre type Aga 14.

On doit noter que des précautions particulières ont du être prises dans l'emploi du telluromètre MRA 5 chaque fois qu'une mesure était faite au dessus de la mer, et que l'un des appareils au moins était à une certaine altitude au-dessus de la surface de la mer. Cette situation provoque en effet l'apparition d'interférences entre les ondes qui se propagent en ligne droite, entre les deux antennes, et celles qui se réflé-

chissent sur la surface de la mer<sup>22</sup>. Ces précautions, qui avaient pour but de supprimer l'influence des ondes réfléchies, consistaient généralement à déplacer les appareils en les abaissant et, si nécessaire, à édifier de petits murets en arrière desquels étaient disposés les appareils.

Au mois de mars 1981, la MOP a reçu un mât télescopique permettant de relever l'antenne d'un appareil type MRA 5 jusqu'à 15 mètres au-dessus du sol (photo ci-dessous).



*Mât télescopique supportant l'antenne du telluromètre (atoll Beautemps-Beaupré)*

Malgré un poids important, près d'une centaine de kilogrammes, la manutention à bord d'un bâtiment, le transport en embarcation et le débarquement sur une plage n'ont pas posé de problèmes particuliers<sup>23</sup> ; l'installation et le déploiement de ce mât télescopique peuvent, en outre, être effectués aisément par un personnel peu entraîné. Une fois érigé, ce mât peu être visé jusqu'à une quinzaine de kilomètres de distance.

<sup>22</sup> L'existence de telles interférences est certaine si l'aiguille indiquant la présence d'un signal fluctue lorsque la phase d'orientation est terminée. Les boutons de commande sont alors en position SPEAK (commande FUNCTION) et SIG (commande MONITOR).

<sup>23</sup> Ces opérations ont toujours été faites par beau temps.

Très léger et très facile à mettre en œuvre, le géodimètre Aga 14 a été fréquemment utilisé, pour les travaux géodésiques comme pour les travaux topographiques. Les plus grandes distances mesurées n'ont pas dépassé quatre kilomètres, ce qui est sensiblement la moitié de la portée maximale annoncée par le constructeur.

Bien que d'apparence fragile, ce matériel s'est révélé très fiable puisqu'une seule panne est à signaler sur une période approchant trois ans.

2.6.4.3 La reconnaissance des récifs, et surtout la localisation des terres émergées entourant la Nouvelle-Calédonie, ont conduit la mission à effectuer de nombreuses mesures Doppler, en route et au point fixe, en utilisant des récepteurs de satellites Transit JMR 4.



Récepteur de satellites Transit JMR 4

Suffisamment compacts pour être portables, ces récepteurs ont été utilisés indifféremment à bord des bâtiments, des vedettes hydrographiques, ou à terre dans des campements de fortune. L'emploi, dans ce dernier cas, d'une antenne spécifique dite « de terrain » a été rapidement abandonné par suite de son instabilité<sup>24</sup> et des problèmes causés par une mauvaise étanchéité au niveau du préamplificateur intégré.

Le fonctionnement et la fiabilité de ces appareils n'ont pas toujours été convaincants.

C'est ainsi que l'utilisation en mode « navigation » a rapidement fait apparaître des défauts inacceptables<sup>25</sup>, dus aux insuffisances du logiciel, qui a heureusement été modifié par la suite.

La fiabilité s'est révélée acceptable à bord des bâtiments, ou bien à terre, lorsque les appareils étaient alimentés en énergie électrique à partir d'une source stable<sup>26</sup>, et que la température ambiante restait modérée. De nombreux problèmes ont par contre été rencontrés sur les récepteurs qui ont été utilisés à bord des vedettes hydrographiques ou dans des campements à terre. Après une succession de petites anomalies de fonctionnement, gênant l'exploitation opérationnelle sans l'interrompre totalement, plusieurs appareils finirent par refuser tout service. Il faut noter que ces appareils étaient alimentés en énergie électrique à partir de batteries de grande capacité dont la tension, supérieure à 12 Volts au repos, descendait légèrement au-dessous de cette valeur dès que le récepteur était en fonction.

<sup>24</sup> Elle était fréquemment renversée par les oiseaux de mer, quand ce n'était pas par le vent.

<sup>25</sup> Validation de positions manifestement erronées, « oubli » du recalage de l'estime sur une position validée, destruction intempestive des tables d'alerte, décalages inopinés de l'horloge entre quelques secondes et deux minutes.

<sup>26</sup> L'alimentation stabilisée sur secteur fournie par le constructeur délivre 13,5 Volts.

Une fois effectuée l'initialisation correspondant au mode de fonctionnement choisi, l'exploitation de ce récepteur ne comporte aucune difficulté particulière.

## 2.7 Moyens aériens

### 2.7.1 Généralités

Comme par le passé, la MOP a pu utiliser divers moyens aériens, civils aussi bien que militaires, pour assurer les déplacements de son personnel ou de son matériel entre ses bases, principale à Nouméa, secondaire à Papeete ou annexe à Mururoa, et ses zones d'activité. Souvent indispensables dans la région du Pacifique, faute d'autres moyens pour assurer des missions de transport, les aéronefs ont en outre été utilisés avec succès pour remplir des missions plus spécifiquement hydrographiques. C'est ainsi qu'en Nouvelle-Calédonie la MOP a pu bénéficier du concours d'hélicoptères type Puma SA 330 et d'avions type Neptune P2H.

### 2.7.2 Hélicoptère

Un hélicoptère lourd Puma SA 330, appartenant à l'échelon de l'armée de l'air stationné en Nouvelle-Calédonie (ETOM 52), a été employé en quatre occasions pour mettre en place des stations radioélectriques ainsi que des signaux géodésiques sur des sommets très difficilement accessibles. Ces missions, qui s'apparentent à des missions de transport, ne sont mentionnées que parce qu'elles ont permis de mettre en évidence l'agilité insoupçonnée de ces très gros appareils.

### 2.7.3 Avion

Un avion de patrouille maritime Neptune P2H, de l'escadrille 9S stationnée à La Tontouta, a été utilisé à plusieurs reprises pour effectuer soit des reconnaissances à vue (récifs et terres émergées dans la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie), soit des photographies aériennes verticales.

Avec un nez entièrement vitré, une bonne aptitude à voler à faible altitude et à vitesse modérée au-dessus de la mer, sans même mentionner son autonomie et ses systèmes de détection, cet appareil s'est révélé, en l'absence d'hélicoptère léger embarqué sur les bâtiments, parfaitement adapté à la recherche à vue des récifs faiblement immergés.

Equipé d'une caméra Wild RC9 (mise à disposition par l'institut géographique national - IGN), qui remplaçait l'habituelle caméra Omera 31, le Neptune a d'autre part consacré un potentiel important en heures de vol à l'exécution de couvertures photographiques aériennes à axe vertical, sur le plateau des îles Chesterfield et sur le grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie en particulier. L'objectif super grand-angle, dont était dotée la caméra utilisée, a sans aucun doute considérablement réduit le nombre des images à exploiter, mais il a également réduit, et de façon très importante, les périodes favorables aux prises de vue qui sont fonction de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. Du fait de l'éloignement des zones d'opérations, la lenteur relative de cet aéronef s'est révélée cette fois être un handicap.

Un officier marinier hydrographe de la mission, formé à cet effet, était chargé de la mise en œuvre de la caméra Wild

RC9 de l'IGN qui fournissait les films et prenait en charge leur traitement. Généralement de bonne qualité, les épreuves obtenues n'avaient cependant ni la finesse dans les détails, ni la richesse dans les contrastes que l'on observe habituellement sur les clichés de l'IGN<sup>27</sup>.

### 3. ENVIRONNEMENT

Malgré la dispersion des activités de la mission pendant la période considérée, la Nouvelle-Calédonie est restée, comme par le passé, le cadre privilégié dans lequel s'est déroulée l'action de la MOP. C'est ainsi que les observations qui suivent ne concernent que les côtes de ce territoire.

Si le cadre naturel peut être considéré comme plutôt hostile (comparé à celui rencontré en métropole) pour les opérations hydrographiques, les relations avec les organismes civils et militaires, scientifiques et techniques, ou administratifs implantés sur le territoire ont toujours été très aisées, du fait de la présence ininterrompue, depuis plus de vingt ans, d'une mission du service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) dans cette région du Pacifique.

#### 3.1 Le cadre naturel

L'hostilité du cadre naturel se manifeste de plusieurs façons, qui ont d'ailleurs déjà été évoquées à plusieurs reprises dans les rapports précédemment publiés qui relatent l'activité de la MOP.

Tout d'abord les difficultés d'accès doivent être mentionnées. En dehors des baies, qui ont souvent été déjà hydrographiées car on y trouve un environnement plus favorable, et de rares lieux abrités, les mouvements entre la terre et les bâtiments, embarquements et débarquements en particulier, deviennent rapidement hasardeux à cause des vagues que l'on rencontre de façon presque permanente dans le lagon. Les voies de communication terrestres sont par ailleurs rares le long de la côte ; c'est ainsi que le relief, comme la végétation, gênent les déplacements des équipes chargées des travaux de géodésie et de l'installation de stations optique ou radioélectrique.

Ensuite, les dangers inconnus que peuvent receler les zones non hydrographiées, dans lesquelles opèrent les bâtiments, sont réels. Leurs mouvements sont ainsi souvent limités à l'intérieur de quelques zones a priori praticables, comme les mouillages fréquentés et les routes usuelles. Cette prudence est nécessaire tant que le levé bathymétrique n'est pas achevé ; elle reste souhaitable ensuite dans toutes les zones qui n'ont pas été draguées, ou explorées au sonar latéral.

L'expérience acquise dans certains lagons conduit à considérer l'apport des photographies aériennes comme une aide sans aucun doute nécessaire, mais certainement pas suffisante, en particulier lorsqu'elles sont en noir et blanc, pour garantir la sécurité de la navigation des bâtiments<sup>28</sup>.

Enfin, les conditions météorologiques qui règnent habituellement en Nouvelle-Calédonie, caractérisées par un alizé assez

fort, sont trop souvent gênantes. On doit observer cependant que cette gêne est plus facile à gérer dans le cas du levé hydrographique systématique d'une zone étendue. C'est ainsi que le levé de la côte sud-est de la Nouvelle-Calédonie a pu progresser de façon convenable, parce que le découpage en zones géographiques restreintes, mais homogènes sur le plan nautique, ainsi que le morcellement des tâches, ont permis à chaque bâtiment de choisir, parmi toutes celles programmées, l'activité la mieux adaptée aux conditions rencontrées.

#### 3.2 Les relations extérieures

Ce sujet a déjà été abordé<sup>29</sup>. On ne citera donc ci-dessous que les quelques faits nouveaux qui vinrent s'ajouter aux activités habituelles exposées avec précision par l'ICA Cailliau.

- Du 30 septembre au 3 octobre 1980, l'IPA Souquière a représenté le SHOM à un symposium sur l'hydrographie Laser organisé en Australie, à Salisbury puis Sydney, par le service hydrographique australien.
- Au mois d'octobre 1981, l'IPA Souquière a présenté une communication lors de la huitième conférence de l'association des ports du Pacifique insulaire qui se tenait à Nouméa.

<sup>27</sup> Ceci peut sans doute s'expliquer par l'inexpérience de l'opérateur et l'utilisation d'un objectif un peu particulier.

<sup>28</sup> Certains récifs affleurants, ou presque, ne sont pas visibles sur les photographies aériennes en noir et blanc à l'échelle 1/40 000 dont la mission a pu disposer, dans le lagon de l'île Huon et dans les îles Chesterfield notamment.

<sup>29</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 47.

## DEUXIÈME PARTIE – MÉTHODES ET TECHNIQUES EMPLOYÉES

Les méthodes et les techniques employées, aussi bien pour l'exécution des levés que pour l'exploitation des données recueillies, sont communes à la plupart des travaux effectués et font pour cette raison l'objet d'un chapitre particulier. Elles ne s'écartent pas notablement de celles qui ont été décrites dans les rapports précédents, sauf lorsque l'évolution des matériels utilisés, ou la finalité des travaux prescrits le justifiaient.

### 1. GÉODÉSIE

#### 1.1 Systèmes géodésiques utilisés

Les systèmes géodésiques préexistants ont été systématiquement utilisés, c'est-à-dire les systèmes géodésiques IGN 72 en Nouvelle-Calédonie et IGN 53-54 dans l'île de Tahiti, qui sont tout deux associés à la projection UTM définie sur l'ellipsoïde international.

L'utilisation de récepteurs de satellites Transit a néanmoins conduit à définir plusieurs systèmes géodésiques locaux, non rattachés entre eux, dans les dépendances de la Nouvelle-Calédonie. Chaque système local, établi pour les besoins d'un levé de détail, a été défini par :

- les coordonnées géographiques d'un point origine, repéré par une stèle matérialisant l'emplacement occupé par l'antenne du récepteur de satellites utilisé. Les coordonnées géographiques adoptées étaient déduites de celles calculées par le logiciel du récepteur JMR 4 (dans le système WGS 72),
- la mesure d'un azimut (azimut par l'heure) par observations au théodolite Wild T2 de plusieurs séries au moment du lever et du coucher du soleil,
- la mesure d'une distance, à l'aide du telluromètre MRA 5 le plus souvent,
- le système de projection UTM, défini sur l'ellipsoïde international ou, éventuellement, l'ellipsoïde associé au système WGS 72 (cas des îles Chesterfield).

#### 1.2 Méthodes usuelles

Pour les opérations effectuées à terre, on s'est efforcé de respecter les normes correspondant aux travaux du 3<sup>ème</sup> ordre de l'IGN pour l'extension ou le complètement des canevas géodésiques existants, et les normes correspondant aux travaux du 5<sup>ème</sup> ordre pour les déterminations complémentaires nécessaires aux seuls travaux hydrographiques.

Tous les calculs géodésiques ont été effectués à l'aide de calculatrices de poche programmables Hewlett Packard type HP 67.

Les mesures Doppler au point fixe, avec les récepteurs de satellites JMR 4, ont été faites systématiquement selon les modalités décrites ci-dessous :

- installation d'un campement, plus ou moins important selon la durée des observations, avec en particulier deux jeux de batteries 12 V 190 Ah et un groupe électrogène,
- installation d'une antenne de réception « navire » (type champignon) sur un piquet profondément enfoncé dans le sol, dépassant d'environ 1,50 mètre la surface du sol, sur un emplacement parfaitement dégagé,
- installation et branchement du récepteur JMR 4, avec son imprimante de terrain, l'initialisation ayant été faite au préalable à bord du bâtiment de soutien,

- un opérateur de quart en permanence devant le récepteur était chargé d'activer le récepteur quelques minutes avant l'heure prévue du passage d'un satellite, de contrôler le fonctionnement du récepteur et celui de l'enregistreur sur cassette pendant le passage, et de noter à la fin, sur le cahier de quart, la position obtenue et la valeur moyenne calculée,
- des observations météorologiques, température air sec, température air humide et pression atmosphérique étaient faites pendant chaque passage et les mesures notées au fur et à mesure,
- toutes les douze heures en moyenne les deux jeux de batterie étaient permutés (un jeu en charge, l'autre alimentant le récepteur),
- les coordonnées adoptées en définitive étaient déduites des valeurs calculées en temps différé en utilisant pour initialiser le calcul les valeurs issues du traitement en temps réel. Toutes les données validées par le microprocesseur du récepteur JMR 4 étaient prises en compte pour le calcul de la moyenne.

#### 1.3 Bornage

Tous les points nouveaux dont les coordonnées ont été déterminées par la MOP ont été matérialisés par un repère durable. Le soin apporté à la mise en place de ce repère était fonction du caractère plus ou moins exposé du site, et de l'importance supposée de ce repère pour l'avenir.

C'est ainsi que l'on s'est efforcé de construire des bornes profondément ancrées dans le sol, et au centre des îlots sablonneux car l'expérience montre que les bornes implantées trop près du bord disparaissent rapidement du fait de l'évolution de la topographie du rivage à chaque tempête<sup>30</sup>.

Les difficultés rencontrées pour trouver des matériaux sur les îlots sablonneux a rapidement conduit la mission à édifier des stèles à l'aide de parpaings, assemblés par quatre pour former un carré, et montés sur six ou sept rangs dont la moitié au moins étaient enterrés. Ce type de stèle a en particulier été utilisé pour matérialiser les emplacements occupés par les antennes des récepteurs de satellites Transit lors des campagnes de mesures Doppler (photo ci-dessous).



Construction d'une stèle autour du tube métallique supportant l'antenne du récepteur JMR 4

<sup>30</sup> Une borne installée en 1974 sur l'îlot Poum, aux abords de Paagoumène, a été retrouvée détruite sur le rivage. Une autre borne installée en 1969 sur l'îlot Deverd, au sud de Koumac, n'a pas été retrouvée, mais ses coordonnées la plaçaient dans l'eau à plusieurs mètres du rivage.

## 2. LOCALISATION À LA MER

### 2.1 Travaux portuaires

C'est l'ancien procédé dit de « la cordelle » qui a été le plus fréquemment utilisé pour les travaux à très grande échelle, 1/500 et plus. Pour les travaux à plus petite échelle, on a utilisé la méthode du radioguidage<sup>31</sup>.

### 2.2 Travaux de petite sonde à l'intérieur des lagons

C'est la méthode du radioguidage qui a été la plus fréquemment utilisée parce que, compte tenu des conditions météorologiques habituellement rencontrées dans le lagon, et du matériel dont disposait la mission, c'était la plus sûre.

La localisation radioélectrique à l'aide du Toran seul (deux lieux seulement) a également été utilisée, mais il serait plus exact de parler de localisation radioélectrique contrôlée par des moyens optiques car, dans ce cas, une station de localisation optique était toujours en place pour fournir un lieu de position supplémentaire, et accessoirement un contrôle de la stabilité des réseaux.

Les canevas établis par l'EPSHOM, très utiles pour la préparation des travaux, n'étaient pas toujours employés pour établir les minutes de construction. Comme dans le cas de la méthode du radioguidage, en effet, les positions étaient obtenues à l'aide de calculatrices de poche programmables HP 67 et reportées sur les minutes en s'aidant des coordonnées rectangulaires. Cette méthode, sans doute un peu plus lourde que la construction directement sur des canevas préparés à l'avance, présentait l'avantage d'une très grande souplesse dans le choix des positions occupées par les stations optiques.

Après la méthode du radioguidage pur, ce sont les méthodes mixtes, mêlant optique et radioélectrique, qui ont été les plus employées, en particulier lorsque la mission a commencé le levé régulier d'une zone, importante par sa superficie, où l'installation d'une chaîne Toran à deux lieux n'était pas possible du fait de sa géométrie ; la dotation en matériel Trident n'a jamais été suffisante pour équiper complètement chaque bâtiment (y compris les vedettes).

L'étalonnage des systèmes de localisation radioélectrique était, d'une manière générale, effectué dès l'installation ; la stabilité des réseaux était ensuite contrôlée de façon systématique à l'issue de chaque séance de sonde.

### 2.3 Travaux au large des récifs barrières

Si l'on excepte quelques travaux très particuliers à Tahiti, c'est une méthode mixte, Toran et optique, qui a été utilisée lors des sondages effectués au large des récifs barrières. Au-delà de la limite de visibilité des stations optiques, il a parfois été nécessaire d'adopter quelques positions estimées, sur la route définie par un lieu hyperbolique suivie par le bâtiment.

### 2.4 Travaux océaniques

Pratiquement tous les travaux océaniques effectués par les bâtiments principaux de la mission, explorations, recherches

<sup>31</sup> Ces deux méthodes sont décrites dans le rapport de mission de l'ICA Cailiau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 65.

et transits<sup>32</sup>, ont pu être faits avec un récepteur de satellites. C'est donc une méthode associant les données de l'estime et les coordonnées fournies par les récepteurs Transit JMR 4 qui a été utilisée pour la détermination des positions.

Les insuffisances déjà signalées du logiciel, et la variabilité des dérives observées entre les recalages successifs, font qu'il est peu vraisemblable que la précision obtenue au cours de ces travaux soit meilleure que 1 000 mètres.

## 3. MARÉE – NIVELLEMENT

### 3.1 Observation de la marée

Le contrôle des observatoires de marée permanents, dépendant du SHOM, qui fonctionnent dans les territoires français du Pacifique a continué à être effectué par la mission, de manière occasionnelle en Polynésie (cas des observatoires installés à Tahiti et Mururoa) et systématique en Nouvelle-Calédonie (observatoire de Nouméa).

La mission a également continué à assurer bénévolement le contrôle, l'entretien et la maintenance du marégraphe à enregistrement numérique installé en 1975 à Nouméa par l'université d'Honolulu<sup>33</sup> ; la fiabilité de cet appareil, de marque Fischer and Porter, s'est révélée satisfaisante.

De nombreux autres observatoires ont été utilisés dans les régions où a opéré la mission. Comme d'habitude ils ont été le plus souvent dressés le long des quais ou des wharfs existants ; en l'absence d'infrastructures adaptées, on a installé les marégraphes à flotteur OTT R16 sur des structures métalliques tubulaires type « Entrepose », selon la technique mise au point en 1976 par l'ICA Bonnot<sup>34</sup> (photo ci-dessous) et utilisée depuis. Ce type d'observatoire a surtout été utilisé pour des levés de détail de courte durée ; la simplicité de l'installation et la rapidité du montage s'ajoutent à la robustesse déjà signalée pour en faire un modèle d'observatoire de marée dans les régions coralliennes non encore aménagées.



Construction d'un observatoire de marée (île Le Leizour)

<sup>32</sup> A l'exception cependant de la plupart des transits entre Nouméa et Papeete.  
<sup>33</sup> Cet appareil est installé à côté de l'observatoire permanent dépendant du SHOM.

<sup>34</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 – 10 mai 1978), *Annales Hydrographiques* n° 755 p. 78.

Lorsque l'étendue des zones levées le justifiait, on a installé systématiquement plusieurs observatoires distants d'une dizaine de kilomètres environ. C'est ainsi que sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie, puis sur la côte est, trois observatoires et quelquefois plus ont souvent fonctionné en même temps. Ceci a permis de constater que sur chacune des côtes la marée variait très peu d'un point à un autre. Une observation analogue a déjà été faite par l'ICA Bonnot au sujet de la côte nord-ouest de la Nouvelle-Calédonie<sup>35</sup> ; d'après les mesures faites entre 1980 et 1982 sur la côte sud-est on peut également indiquer que la marée reste pratiquement inchangée entre la baie de Nakéty et Yaté.

Tout ceci confirme la vraisemblance des cartes cotidales publiées<sup>36</sup>.

### 3.2 Exploitation

Des concordances furent systématiquement effectuées entre les observatoires, pour déterminer les niveaux de référence utilisés pour la correction des sondages et définir les limites de validité de ces corrections.

Pour toutes les observations qui ne concernaient pas directement l'une des côtes est ou ouest de la Nouvelle-Calédonie on a toujours effectué deux concordances, l'une avec l'observatoire de Nouméa l'autre avec l'observatoire entretenu en permanence par la mission à Thio, sur la côte est.

Seuls les résultats les plus satisfaisants ont été retenus en définitive. C'est ainsi que l'on a constaté que les sites mentionnés ci-dessous devaient être de préférence inclus dans la zone de marée de Thio :

- Ouvéa, et vraisemblablement l'ensemble des îles Loyauté,
- Uala, sur la côte ouest de l'île Art (îles Belep),
- atoll de la Surprise.

## 4. LA MESURE DES PROFONDEURS ET LA RECHERCHE DES OBSTRUCTIONS

### 4.1 Les sondages par petits fonds

On ne considère ici que les profondeurs accessibles au sondeur Atlas Deso 10 fonctionnant en gamme A (0 - 280 mètres).

Pour ces sondages, les appareils furent réglés sur la vitesse réelle du son dans l'eau qui varie, en Nouvelle-Calédonie comme en Polynésie, entre 1 530 et 1 540 m/s. Des étalonnages à l'aide d'une barre métallique immergée à des profondeurs comprises entre 5 et 30 mètres étaient effectués deux fois par jour à bord des embarcations, moins souvent à bord des bâtiments.

Les profondeurs supérieures à 50 mètres ont reçu, à de rares exceptions près qui sont indiquées sur les minutes de bathymétrie, des corrections analogues à celles qui ont été appliquées aux profondeurs plus faibles, c'est-à-dire des corrections de marée et des corrections d'étalonnage quand ces dernières n'étaient pas nulles.

<sup>35</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 – 10 mai 1978), *Annales Hydrographiques* n° 755 p. 91.

<sup>36</sup> Voir par exemple C. Villain, *Annales Hydrographiques* n° 724 p. 269 et suivantes.

## 4.2 La recherche des obstructions

### 4.2.1 Généralités

Dresser une liste exhaustive de tous les relèvements de fond existant dans une région corallienne est un objectif qui, bien que très ambitieux, n'est pas inaccessible avec les techniques dont dispose l'hydrographe aujourd'hui. Mais, et principalement par manque de temps, ce sont généralement des objectifs plus modestes que l'on cherche à atteindre lors du levé hydrographique systématique d'une région pour laquelle aucun besoin particulier n'a été exprimé, et ne peut être pressenti.

En Nouvelle-Calédonie par exemple on s'est efforcé d'atteindre les objectifs suivants :

- l'amélioration de la connaissance bathymétrique générale,
- la sécurité de la navigation des bâtiments, en distinguant des zones dans lesquelles cette sécurité n'est pas garantie de la même façon.

### 4.2.2 Méthodologie

Le premier objectif est supposé atteint lorsque l'ensemble de la zone étudiée a fait l'objet d'un levé bathymétrique régulier en mettant en œuvre un sondeur vertical. La méthodologie retenue pour atteindre le second objectif est détaillée ci-après.

- *Le levé bathymétrique régulier*

La densité des sondages reste un élément primordial car plus elle est grande, plus grande est la probabilité de détection d'une structure dangereuse.

D'une manière générale on a donc le plus souvent retenu des normes d'espacement entre les profils du levé régulier plus contraignantes<sup>37</sup> que les normes habituelles, et choisi de préférence des réseaux de profils radioguidés qui, pour une norme donnée, permettent d'accroître la densité moyenne des sondages.

Les baies abritées et les mouillages fréquentés, les bancs ayant une certaine étendue ainsi que certaines passes peu profondes, ont en outre été, a priori, sondés sur des profils resserrés.

- *Les zones où l'hydrographie est incomplète*

Au vu des résultats obtenus, à l'issue de la première étape décrite ci-dessus, on a délimité les zones où la sécurité nautique pouvait, ou même devait être négligée, soit parce qu'elles ne présentaient intrinsèquement aucun intérêt pour la navigation<sup>38</sup>, soit parce que la densité des relèvements de fond qui y avaient été décelés, très importante, était susceptible d'entraîner des travaux d'une ampleur démesurée eu égard à leur intérêt sur le plan nautique.

A l'intérieur de ces zones, aucune recherche d'obstruction n'a en principe été faite ; les seuls dangers représentés sur les minutes, sans être cotés, sont ceux décelés sur les photographies aériennes.

- *Les zones où l'hydrographie est « classique »*

<sup>37</sup> L'espacement maximum choisi a priori était voisin de 80 mètres pour que l'espacement maximum réel ne dépasse pas 100 mètres compte tenu des erreurs de route acceptables.

<sup>38</sup> Il peut s'agir, par exemple, d'une barrière de corail immergée entre deux passes praticables et proches l'une de l'autre.

Sur les limites, ainsi qu'à l'extérieur des zones précédemment définies, des recherches d'obstruction ont été faites chaque fois que l'on disposait d'indices, relèvements de fond significatifs observés lors du levé bathymétrique régulier, taches suspectes apparaissant sur les photographies aériennes, ou hauts-fonds figurés sur les cartes anciennes.

Dans plusieurs cas les seuls indices disponibles pour justifier une recherche d'obstruction provenaient des anciennes cartes marines, ce qui illustre bien les faiblesses de l'hydrographie classique, malgré la densité des sondages relativement importante qui avait été retenue a priori.

#### - Les voies recommandées

Ce sont des routes de navigation le long desquelles on a effectué soit un dragage hydrographique, soit une recherche systématique des obstructions dangereuses. Leur tracé s'écarte généralement peu des routes traditionnelles représentées sur les cartes marines en service, et tient compte, chaque fois que nécessaire, des résultats obtenus à l'issue des travaux correspondant à l'étape précédente.

La recherche systématique des obstructions dangereuses à l'aide du sonar latéral a donné d'excellents résultats dès lors qu'il était possible, et c'est sans doute le cas le plus fréquent, de repérer et de sélectionner a priori sur les enregistrements les structures susceptibles d'être dangereuses. Une limite à l'emploi de cet instrument semble cependant apparaître dans les zones parsemées de petites obstructions de dimensions comparables ; il n'est alors plus possible de repérer et de sélectionner avec certitude celles qui sont les plus proches de la surface, en particulier dans les petits fonds lorsque la hauteur estimée des obstructions est du même ordre de grandeur que l'amplitude des variations du fond environnant. C'est parce que la mission s'est trouvée confrontée à un problème de cette nature qu'un dragage hydrographique a été ébauché aux abords de Koumac dans le chenal de l'Infernet<sup>39</sup>.

#### 4.2.3 Exécution et exploitation d'une recherche

Les recherches d'obstruction ont toujours été effectuées de façon classique, au sondeur vertical, en suivant des profils resserrés au voisinage de la position présumée de l'obstruction.

L'investigation, à l'aide de plongeurs, des obstructions détectées n'a été faite que très rarement, et chaque fois pour lever un doute sur la profondeur déduite des enregistrements au sondeur vertical, doute provoqué par l'existence d'échos « parasites » déjà signalée dans les rapports précédents. Il n'a pas paru possible, en effet, de distinguer, sur les enregistrements du sondeur Atlas Deso 10 (malgré les deux fréquences émises simultanément), les échos provoqués par des poissons et ceux correspondants à de véritables structures coralliennes.

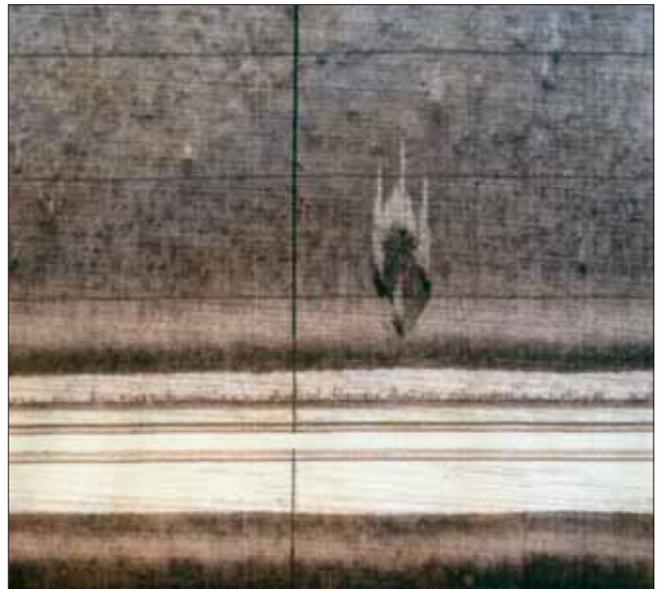
Sur les minutes d'écriture correspondant aux recherches d'obstruction, trois tronçons de profil de sonde ont en principe été reportés, qui correspondent aux deux profils délimitant l'étendue de la zone explorée, et au profil sur lequel la profondeur la plus faible a été obtenue.

<sup>39</sup> La persistance d'un alizé gênant pendant toute la durée du levé n'a permis d'effectuer qu'un seul passage alors que, suite à une croche, il en aurait fallu au moins deux.

#### 4.2.4 Exploitation des enregistrements obtenus au sonar latéral

Les normes actuellement retenues pour la mise en œuvre du sonar latéral paraissent bien convenir aux régions coralliennes, il est par contre irréaliste de vouloir procéder à l'investigation détaillée de la totalité des échos détectés, dès lors que leur densité avoisine une centaine au kilomètre carré.

Ce cas ayant été rencontré fréquemment, sur la côte sud-est de la Nouvelle-Calédonie en particulier où la profondeur moyenne du lagon est relativement importante, la notion d'écho a été remplacée par celle d'écho « caractéristique d'une obstruction dangereuse » qui conduisait à négliger toutes les obstructions de petites dimensions détectées dans des fonds importants, de même que, a fortiori, les échos non accompagnés par une ombre dont la hauteur au-dessus du fond ne pouvait être évaluée.



Enregistrement obtenu au sonar latéral (sonal)

L'exploitation des enregistrements obtenus au sonar latéral a ainsi été faite de la façon suivante :

- établissement, sur support transparent, d'une minute de construction particulière correspondant aux travaux effectués au sonar latéral, et ce à l'échelle des documents déjà établis pour le levé bathymétrique régulier,
- report sur ce document des positions des échos caractéristiques d'obstructions dangereuses avec une cote déduite de la hauteur de l'obstruction au-dessus du fond environnant, et de la profondeur moyenne à son emplacement, prise sur la minute de bathymétrie déjà établie,
- report sur cette minute particulière « sonar latéral » de tous les relèvements du fond enregistrés avec le sondeur vertical, qui était maintenu en fonction pendant l'exploration au sonar latéral,
- contrôle a posteriori de la validité du choix des échos caractéristiques par examen simultané de l'enregistrement obtenu au sonar latéral, d'une part, et de la minute de construction particulière « sonar latéral », superposée à la minute de bathymétrie correspondante, d'autre part<sup>40</sup>. Il était

<sup>40</sup> A ce stade on opère sur un tirage de la minute de bathymétrie sur lequel ont été reportés les résultats des recherches d'obstruction déjà faites, ainsi qu'une ébauche du tracé des isobathes.

facile de s'assurer, au cours de ce contrôle, que les obstructions déjà connues et investiguées étaient bien présentes sur les enregistrements,  
- sélection des obstructions à investiguer en fonction d'un plafond fixé a priori<sup>41</sup>.

### 4.3 Les sondages par grands fonds

Tous ces sondages ont été effectués en adoptant une vitesse de propagation du son dans l'eau de 1 500 m/s. L'immersion des transducteurs était considérée comme une constante sur chaque bâtiment et était ajoutée aux profondeurs mesurées. Aucun des instruments utilisés n'a été véritablement étalonné, et l'on s'est contenté de vérifier la cohérence des informations données par plusieurs sondeurs, y compris le sondeur petits fonds Atlas Deso 10 qui était, dans ce cas, réglé sur la vitesse de 1 500 m/s.

## 5. TOPOGRAPHIE

### 5.1 Complètement d'un levé hydrographique

A de rares exceptions près, la topographie de la partie terrestre des zones levées ayant déjà été effectuée par d'autres organismes, la mission a pu ne s'intéresser qu'à la topographie de la partie maritime.

Ces travaux ont été généralement menés de façon très classique, à l'aide de photographies aériennes prises soit par l'IGN (sur les abords du trait de côte), soit par l'aéronautique navale (cas des récifs au large).

Les coordonnées d'un certain nombre de points situés au voisinage immédiat du niveau de la mer, et identifiables à la fois sur le terrain et sur les photographies aériennes, étaient déterminées à l'aide de méthodes dérivées de celles employées en géodésie, ou bien de celles utilisées pour la localisation des embarcations en sondage. Ces points, et leurs coordonnées, servaient ensuite au redressement de la partie maritime de la photographie à l'aide d'une chambre claire.

Cette méthodologie a en particulier été employée sur les côtes de la Nouvelle-Calédonie, et a permis d'établir des minutes de topographie à une échelle de 1/20 000, proche de celle des photographies aériennes disponibles. La cohérence entre les minutes de topographie et les minutes de bathymétrie, établies à l'aide de méthodes différentes, était vérifiée en reportant systématiquement le dessin de la topographie sur des tirages des minutes de bathymétrie.

Seuls les récifs (ou les roches) découverts à marée basse, qui avaient un caractère remarquable dans leur environnement, ont été cotés. La distinction faite, dans la représentation des récifs, entre ceux qui émergent à marée basse et ceux qui sont toujours immergés, résulte le plus souvent d'une interprétation des photographies basée sur des observations ponctuelles.

### 5.2 Levé des zones récifales étendues

#### 5.2.1 Généralités

Dans les zones récifales étendues, qui sont le plus souvent inexplorées, la simple représentation des détails topographiques visibles<sup>42</sup> est de nature à faciliter la navigation. On peut même considérer, et c'est ce qu'ont fait récemment les hydrographes qui ont effectué des levés dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie, que l'établissement d'un tel document topographique est un préalable nécessaire au levé bathymétrique ; ce document peut d'ailleurs se révéler suffisant tant que rien ne vient justifier un véritable levé hydrographique.

#### 5.2.2 Exploitation des images Landsat

Il est admis que le traitement approprié des images enregistrées par les satellites Landsat permet d'obtenir une cartographie dont la précision est acceptable pour les échelles inférieures à 1/100 000. Une combinaison des signaux reçus dans différents canaux peut, en effet, donner des informations qualitatives sur les profondeurs, tant que celles-ci restent faibles. Il ne faut pas perdre de vue, cependant, la très faible résolution de ces images qui ne permet pas de détecter des structures de petites dimensions. C'est ainsi que des bancs faiblement immergés dont les dimensions horizontales atteignent 500 mètres constituent vraisemblablement la limite inférieure des structures décelables.

L'interprétation, en termes de topographie, des informations contenues dans une image Landsat reste délicate ; elle ne peut vraisemblablement être validée que lorsque plusieurs images de la zone concernée viennent la confirmer.

Pour améliorer la représentation de certaines zones récifales voisines de la Nouvelle-Calédonie sur les cartes marines, la mission disposait seulement d'épreuves photographiques en noir et blanc, à une échelle proche de 1/500 000, issues d'un traitement primaire des informations enregistrées à l'aide des canaux 4 et 6 du scanner multispectral embarqué sur les satellites Landsat. Les positions de quelques points de calage, identifiés de manière nécessairement grossière sur ces images à très petite échelle, ayant été déterminées à l'aide d'un récepteur de satellites embarqué à bord d'un bâtiment ou d'une embarcation, il a été relativement aisé d'établir des minutes de topographie à l'échelle 1/500 000 sur lesquelles étaient représentés les récifs affleurants, les bancs de sable découvrants, ainsi que les limites des zones de petits fonds environnants.

Malgré ses imperfections, un tel document offre un double intérêt ; d'abord il fige la forme et la position des récifs avec une précision largement supérieure à celle que requiert une navigation sûre, ensuite, et bien qu'il ne puisse apporter ailleurs de véritables garanties, il délimite des zones potentiellement dangereuses.

#### 5.2.3 Exploitation des photographies aériennes

La méthode classique, sommairement décrite en début de paragraphe 5.2, ne peut que difficilement être utilisée dans les

<sup>41</sup> On a le plus souvent choisi un plafond égal à 35 mètres.

<sup>42</sup> Il est fréquent que la transparence des eaux dans ces zones permette de « voir » jusqu'à une quinzaine de mètres de profondeur.

zones récifales étendues, pour au moins deux raisons, sans même aborder le problème de la détermination des positions des points de calage. D'abord, le nombre des points de calage nécessaires devient vite très important, ensuite les conditions de mer régnant habituellement dans ces zones, qui en Nouvelle-Calédonie sont exposées à des alizés forts et réguliers, rendent délicates, sinon dangereuses, les opérations de piquage<sup>43</sup>.

Seules restent envisageables des techniques expéditives sur un assemblage des photographies. De grands récifs barrières à peu près rectilignes ont pu être cartographiés de cette façon à partir d'un très petit nombre de points de calage dont les positions avaient été déterminées avec des vedettes hydrographiques équipées de récepteurs de satellites Transit. L'échelle des documents établis, voisine de celle des photographies disponibles, n'a pas en général de rapport direct avec leur véritable précision qui peut être bien plus faible que la simple précision graphique.

#### 5.2.4 Exploitation de photographies aériennes prises par un aéronef de position connue

L'ICA Bonnot avait pressenti l'intérêt d'une telle méthode et avait commencé des expérimentations partielles<sup>44</sup> en Nouvelle-Calédonie avec peu de moyens.

Une expérimentation en vraie grandeur a pu être faite en 1981, dans le grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie, avec un aéronef Neptune P2H équipé d'une caméra Wild RC 9 et d'une chaîne d'acquisition Trident. Les détails de cette expérience, qui a donné de bons résultats, font l'objet d'un chapitre séparé dans la troisième partie de ce rapport.

### 6. TOPONYMIE

Comme d'habitude, la toponymie a été portée sur les minutes de topographie établies. On a adopté de façon à peu près systématique les toponymes des cartes de l'IGN pour la partie terrestre et ceux figurant sur les anciennes cartes marines pour la partie maritime. On a ainsi pu constater qu'il existait souvent pour un même lieu plusieurs toponymes semblables, mais orthographiés différemment, sans qu'il soit possible de déterminer une référence indiscutable. Le tableau ci-dessous indique par exemple, pour trois toponymes d'une certaine importance de la région de Thio, sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie, les orthographes adoptées par trois organismes distincts :

	<b>Ilot</b>	<b>Presqu'île</b>	<b>Ile</b>
Carte marine (SHOM)	<b>NOUMBOUE</b>	<b>NEMMENI</b>	<b>NENOU</b>
Carte terrestre (IGN)	<b>NIOUMBOUA</b>	<b>NEUMENI</b>	<b>NEMOU</b>
Fichier historique (ORSTOM) <sup>45</sup>	<b>NEMBOUE</b>	<b>NENENIE</b>	<b>NENO</b>

<sup>43</sup> On baptise ainsi l'opération qui consiste à identifier sur le terrain un détail visible sur la photographie et à déterminer sa position dans le cas général.

<sup>44</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 – 10 mai 1978), *Annales Hydrographiques* n° 755 p. 157 et suivantes.

<sup>45</sup> Office pour la recherche scientifique et technique outre-mer.

Dans le cas de l'île des Pins, située au sud-est de la Nouvelle-Calédonie, les toponymes de la carte marine et ceux de la carte terrestre étaient si différents, et si imprécis quant au lieu désigné, qu'une enquête de toponymie détaillée a été jugée nécessaire. Les résultats de cette enquête, qui a été menée par l'ingénieur principal de l'armement (hydrographe) Siess, figurent en annexe.

### 7. COURANTOMÉTRIE

La détermination des courants de surface en comparant systématiquement les positions vraies et les positions estimées a été tentée sans succès, d'abord à l'occasion des sondages effectués sur le tombant extérieur des récifs barrières, ensuite lors des traversées océaniques bénéficiant d'une localisation par satellites Transit.

La faiblesse relative des courants rencontrés, ainsi que leur variabilité spatiale et temporelle, sont vraisemblablement à l'origine de ces échecs.

Toutes les mesures faites et exploitées par la mission ont donc été acquises avec des courantomètres à enregistrement photographique Mécaboliér. En fonction de certaines caractéristiques, qu'elles possèdent en commun, on peut classer les mesures effectuées en trois catégories :

- d'abord, les mesures de courant de sub-surface faites au point fixe à partir de mouillages autonomes. Les points de mesures correspondants ont été choisis à proximité immédiate des routes de navigation et dans les zones de mouillage. La durée des mesures était en principe de huit jours et correspondait approximativement à la durée de la présence sur zone d'un bâtiment de la mission. Les types de mouillage employés, qui n'avaient en général aucun caractère original, sont décrits dans les rapports précédents. On doit noter cependant que l'on a utilisé, chaque fois que c'était possible, le balisage flottant existant, en particulier au voisinage immédiat des passes, où des mesures n'ont été faites que lorsque ce balisage était présent. Des mouillages avec bouées de sub-surface et largueur acoustique ont été utilisés avec succès à plusieurs reprises ;
- ensuite les mesures faites directement à partir d'un bâtiment au mouillage. Elles concernent plus particulièrement les régions inhabitées, dépendant de la Nouvelle-Calédonie, où ont séjourné des bâtiments de la mission pendant des durées variables, mais généralement courtes. Un courantomètre était dans ce cas placé à cinq mètres sous la surface, suspendu à une perche qui le maintenait à cinq mètres environ du bord du bâtiment, pendant toute la durée du mouillage ;
- enfin les mesures faites à l'extérieur des lagons, sur le tombant des récifs barrières. Ces mesures étant faites dans des zones où la bathymétrie n'était pas connue avec précision, on a utilisé des mouillages classiques avec bouées de sub-surface, mais dont le lest était relié à la partie émergée du récif par un câble en acier inoxydable (de 6,3 mm de diamètre) terminé par un gros grappin. Pour les mesures faites à proximité de la surface, c'est-à-dire à une immersion d'une dizaine de mètres, les mouillages avaient été mis en place dans des fonds de trente mètres environ à l'aide d'une grosse embarcation, l'installation et la récupération du courantomètre étant faite par

des plongeurs. Ce système a bien fonctionné et le mouillage s'est bien comporté en période de mauvais temps ; les mesures acquises pendant ces périodes étaient bien sûr assez dispersées.

Des mesures ont également été tentées à une immersion de quelques centaines de mètres. Le même type de ligne de mouillage a été utilisé avec succès deux fois, sans intervention des plongeurs compte tenu de l'immersion des appareils. Un largueur acoustique était inclus dans la ligne supportant le courantomètre et le mouillage était effectué par un bâtiment (le BH2 *Boussole*) après que le lest ait été relié au récif émergé, comme indiqué ci-dessus, en utilisant une embarcation. Les entrées d'eau minimales qui se sont produites chaque fois dans le courantomètre, avec deux appareils différents, ont suffi pour endommager le film et rendre les mesures inexploitables.

## 8. MAGNÉTISME TERRESTRE

Quelques mesures de la déclinaison magnétique ont été faites, principalement sur les îlots situés à l'intérieur du lagon qui entoure la Nouvelle-Calédonie. Ces observations de courte durée (quelques heures) ont en général donné des résultats très voisins de ceux indiqués sur les cartes générales établies à l'aide de modèles numériques. Des anomalies locales décelées lors de travaux analogues effectués précédemment ont été confirmées.

Ces mesures ont été faites en utilisant des théodolites Wild T0 dont l'étalonnage était régulièrement contrôlé à l'observatoire de Pamatai (Tahiti).

## 9. NATURES DE FOND

Des prélèvements superficiels, destinés à déterminer la nature du fond, ont été effectués systématiquement à l'aide d'un ramasseur léger dans les régions qui ont fait l'objet d'un levé régulier.

Après un examen visuel, qui permettait de renseigner les minutes de topographie sur lesquelles étaient reportées les natures de fond, les échantillons étaient placés dans des sachets et adressés à l'ORSTOM à Nouméa pour une éventuelle analyse approfondie.

## 10. MESURES HYDROLOGIQUES

Outre les relevés océanographiques de routine, qui ont été effectués de façon systématique par les bâtiments principaux de la mission à l'occasion des transits entre Nouméa et Paapeete, ainsi que pendant les travaux de reconnaissance et de localisation des récifs dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie, deux petites campagnes de mesures hydrologiques ont été confiées au BH1 *L'Estafette*, au large de Koumac en 1980 et dans le canal des îles Loyauté en 1981. Pour l'exécution des mesures on s'est toujours référé aux instructions en vigueur, qui ont été scrupuleusement appliquées. Malgré le manque d'entraînement du personnel aux activités de cette nature, les résultats obtenus peuvent être considérés comme acceptables, bien que la précision des mesures soit vraisemblablement inférieure à ce qui est théoriquement possible.

## TROISIÈME PARTIE – LEVÉS ET TRAVAUX

### GÉNÉRALITÉS

Entre les mois de mai 1980 et octobre 1982, la mission océanographique du Pacifique a effectué les travaux qui sont listés ci-dessous.

#### *En Nouvelle-Calédonie*

- Travaux complémentaires dans la région située au sud-est, entre la Grande Terre et l'île des Pins ; levés dans les baies de Ouaméo et de Gadjji (chapitre 1).
- Levé régulier sur la côte est, entre la baie de Nakety et le mouillage d'Unia (chapitre 2).
- Levé régulier sur la côte ouest entre Koumac et la baie de Gomen (chapitre 3).
- Levés de voies recommandées aux abords de Nouméa (chapitre 4).
- Levés de détail dans le port de Nouméa (chapitre 5).
- Travaux dans le grand lagon nord (chapitre 6).

#### *Dans les dépendances de la Nouvelle-Calédonie*

- Travaux à Ouvéa ; levé des abords du wharf de Wadrilla (chapitre 7).
- Travaux sur le plateau des îles Chesterfield : reconnaissance des récifs et localisation des terres émergées dans les atolls Bampton et Bellona (chapitre 8).
- Levés dans la région des récifs D'Entrecasteaux : travaux dans les atolls de la Surprise et de Huon (chapitre 9).
- Travaux divers dans la zone économique (chapitre 10) : topographie des récifs de l'Astrolabe, du récif Pétrie et de l'atoll Beautemps-Beaupré ; recherche des récifs Darling et du récif de la Gazelle ; localisation des îles Walpole, Hunter et Matthew, et du récif Durand.

#### *En Polynésie française*

- Levé aux abords du récif barrière devant Papeete à Tahiti (chapitre 11).
- Travaux dans l'île de Nuku-Hiva (archipel des îles Marquises) (chapitre 12).
- Travaux dans l'atoll de Tematangi (archipel des Tuamotu) (chapitre 13).

#### *Dans les îles Wallis et Futuna*

- Contrôle de la position des îles Wallis et Futuna (chapitre 14).

Divers autres travaux de faible ampleur, effectués à la demande des autorités maritimes locales en Polynésie, sont en outre mentionnés dans un dernier chapitre (chapitre 15).

Ce classement, à dominante géographique, n'a aucun lien avec l'ordre dans lequel les différents travaux ont été effectués. Il a été choisi dans un souci de clarté.

Les quatre premiers chapitres correspondent à des travaux qui étaient en cours au mois de mai 1980, lorsque l'IPA Sou-

rière a remplacé l'ICA Cailliau à la tête de la mission. Il pourra donc être utile de se reporter également aux chapitres correspondants du rapport établi par l'ICA Cailliau<sup>46</sup>.

D'autres travaux, effectués sur les sites d'expérimentations nucléaires en Polynésie française, ont fait l'objet de documents protégés.

<sup>46</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762.

## 1. CHAPITRE 1. De la Grande Terre à l'île des Pins

Travaux complémentaires dans la région située au sud-est de la Nouvelle-Calédonie entre la Grande Terre et l'île des Pins.

### 1.1 Généralités

Au mois de mai 1980, le levé de la région située au sud-est de la Nouvelle-Calédonie entre la Grande Terre et l'île des Pins, était presque terminé. Seuls restaient quelques travaux qui avaient été commencés dans des zones d'importance secondaire et qui méritaient d'être poursuivis. Il s'agissait en particulier des travaux suivants :

- achèvement du levé du mouillage d'Améré. Cette zone avait déjà fait l'objet d'un levé bathymétrique régulier, mais restaient à effectuer quelques recherches de hauts-fonds, ainsi que des travaux complémentaires en topographie,
- achèvement du levé de la baie de Ouaméo. Un levé bathymétrique régulier couvrait déjà environ la moitié de cette zone,
- levé du mouillage de Gadji et de ses accès. Ce mouillage, situé sur la côte nord de l'île des Pins, était régulièrement

fréquenté à la fin du siècle dernier et présentait un intérêt équivalent à celui de la baie de Ouaméo.

Tous ces travaux (planche ci-dessous) furent effectués par le BH2 *Corail* entre le 9 juin et le 12 septembre 1980.

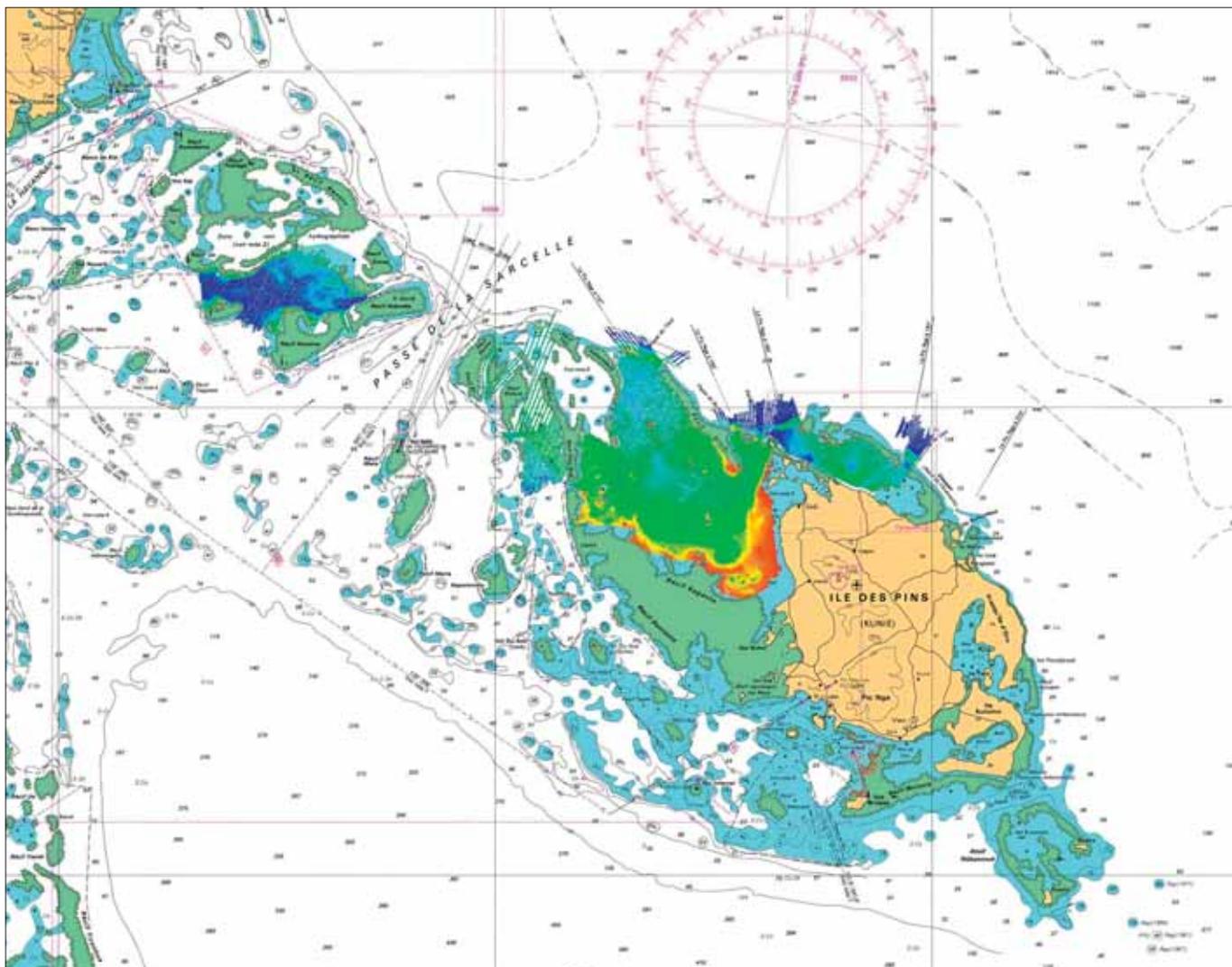
### 1.2 Géodésie – Localisation

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits en projection UTM, fuseau 58, dans le système géodésique IGN 72.

Il existait déjà dans cette région une infrastructure géodésique assez complète, les seuls travaux nécessaires furent donc des compléments pour placer les stations de visée optique utilisées pour la localisation du BH2 *Corail*.

### 1.3 Marée

Il avait semblé possible, a priori, de corriger les sondages effectués dans la baie de Ouaméo avec la marée observée à Kuto. C'est pour contrôler cette hypothèse qu'une échelle de marée a été installée dans la partie est de la baie, sur l'îlot



Travaux complémentaires entre la Grande Terre et l'île des Pins

Eouma, à partir du 11 juin 1980. Les résultats des premières observations, malgré leur imprécision due à l'inexpérience de l'observateur, montrèrent que cette hypothèse n'était pas fondée et pouvait entraîner des erreurs dépassant 0,5 mètre dans la mesure des profondeurs. Un marégraphe fut donc installé sur ce même îlot, où il fonctionna de façon pratiquement ininterrompue entre le 21 août et le 11 septembre 1980.

L'exploitation des enregistrements obtenus permit d'adopter un niveau de référence pour la réduction des sondages, ainsi qu'une formule approchée donnant la hauteur de la marée à Eouma à partir des observations faites à Kuto<sup>47</sup> :

$$H(t) \text{ Ouaméo} = 1,2 H(t + 1 \text{ heure}) \text{ Kuto}$$

Cette formule a été utilisée pour corriger la majeure partie des sondages effectués dans la baie de Ouaméo. Sur les contrôles effectués l'erreur maximale observée n'a pas dépassé 15 cm. H représente la hauteur au-dessus du niveau de réduction des sondes.

Les sondages effectués dans le mouillage de Gadji ont été corrigés de la même façon que ceux effectués dans la baie de Ouaméo.

Le mouillage d'Améré est situé dans la zone de marée N'Dié définie par l'ICA Cailliau ; c'est donc la marée observée à N'Dié qui a été utilisée pour corriger les sondages lors du levé bathymétrique régulier.

La faible ampleur des travaux de complément qui restaient à faire ne paraissant pas justifier à nouveau l'installation d'un observatoire de marée sur l'îlot N'Dié, on a préféré reconstituer cette marée à partir de celle observée à Nouméa en utilisant les résultats des concordances en heure et en hauteur, pour les basses mers et les pleines mers, données dans le rapport de l'ICA Cailliau déjà cité.

#### 1.4 Bathymétrie – Recherche d'obstruction

S'agissant de travaux d'importance secondaire, destinés plus particulièrement à permettre l'accès de grands bâtiments à des mouillages abrités, on a délibérément négligé la bathymétrie dans les zones de petits fonds ainsi que dans celles qui étaient très encombrées de récifs visibles. Par contre, la densité des sondages a été doublée, c'est-à-dire que l'espacement maximum des profils de sonde a été réduit à 50 mètres, à l'intérieur de zones circulaires de 1 mille de diamètre environ, centrées sur les points de mouillage figurés sur les cartes marines en service.

La disponibilité des équipements de la mission n'a pas permis de contrôler, à l'aide du sondeur latéral, les accès à ces points de mouillage.

#### 1.5 Topographie – Toponymie

Au mois de mai 1980, la plus grande partie des travaux de topographie concernant la zone comprise entre l'atoll Nokan-hui au sud-est et la passe de la Sarcelle au nord-ouest était achevée.

<sup>47</sup> L'observatoire de Kuto, qui resta en fonction jusqu'au 11 septembre 1980, est décrit dans le rapport de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 162.

Les documents concernant les abords sud-ouest de cette zone avaient été transmis au SHOM et ne restaient à Nouméa que trois minutes à l'échelle 1/20 000 couvrant les abords nord, est et sud-est de l'île des Pins, qui avaient été ébauchés à partir des photographies aériennes en noir et blanc prises en 1976 par l'IGN, en employant la méthode de restitution particulière décrite par l'ICA Cailliau<sup>48</sup>. Quelques ajustements furent nécessaires dans la baie de Ouaméo et dans le mouillage de Gadji pour tenir compte des déterminations nouvelles faites à l'occasion des sondages. La précision planimétrique de ces documents reste, en tout état de cause, inférieure à la précision graphique. Il ne fut cependant pas jugé utile d'établir des minutes de dessin de topographie définitives à l'échelle 1/40 000 comme c'était initialement envisagé.

Les difficultés rencontrées lors de l'interprétation des photographies aériennes couvrant des zones non levées (à l'est et au sud-est de l'île des Pins en particulier) augmentèrent notablement le temps consacré à l'établissement des documents définitifs à l'échelle 1/20 000 et furent à l'origine de cette décision.

Les cartes marines de cette région, comme d'ailleurs les cartes terrestres établies par l'IGN, portent un grand nombre de toponymes, le plus souvent différents, mais qui ne peuvent être attribués à un détail topographique identifiable sans aucune ambiguïté (pointe, baie, rocher,...). C'est pour cette raison que fut décidée une enquête de toponymie nautique dans l'île des Pins. Les résultats de cette enquête, conduite par l'IPA Siess, font l'objet d'une annexe à ce rapport ; c'est une sélection des toponymes recueillis qui a été portée sur les minutes de topographie établies.

Au mois de mai 1980, la topographie des zones avoisinant le mouillage d'Améré était achevée et les documents correspondants avaient été adressés au SHOM.

Les quelques déterminations complémentaires qui ont été faites à l'occasion des recherches de roches, balisage fixe et roches toujours découvertes, ont été reportées avec une encre de couleur sur des tirages des documents existants.

#### 1.6 Divers

Des observations de courant, à cinq mètres sous la surface, ont été faites à l'aide d'un courantomètre à enregistrement photographique Mécabotier aux emplacements suivants :

- du 1<sup>er</sup> au 4 juillet 1980, dans le 350 du récif Numaé à 0,45 mille,
- du 11 au 14 juillet 1980, dans le 108 de l'îlot Gié à 3,2 milles.

Des prélèvements de fond superficiels ont été faits dans la baie de Ouaméo aux nœuds d'un réseau à mailles carrées de 2 000 mètres de côté environ.

#### 1.7 Documents établis

La liste des documents définitifs adressés au SHOM à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

<sup>48</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 71.

- 9 minutes d'écriture de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 3 minutes mixtes à l'échelle 1/10 000 regroupant les sondages réguliers et les recherches d'obstructions,
- 5 minutes de recherches ponctuelles de relèvements de fond à l'échelle 1/10 000,
- 2 minutes de dessin de topographie à l'échelle 1/20 000,
- 1 minute mixte à l'échelle 1/20 000 regroupant le dessin de topographie et l'écriture des natures de fond,
- 2 dossiers de mesure de courant,
- 1 fiche d'observatoire de marée (Eouma),
- 6 fiches de points géodésiques.

## 2. CHAPITRE 2. De la baie de Nakety au mouillage d'Unia

Levé régulier sur la côte est, entre la baie de Nakety et le mouillage d'Unia.

### 2.1 Généralités

Le levé régulier de la côte est de la Nouvelle-Calédonie est couplé avec un plan de cartographie. C'est ainsi que mon prédécesseur avait pratiquement achevé le levé bathymétrique régulier du lagon dans les limites de la coupure « P » de ce plan, en arrêtant les sondages sur le méridien de l'île Toupeti. Outre le levé au large du récif dans les limites de cette coupure, il restait à compléter le lever régulier aux abords des îles Nemou (partie nord-ouest de la baie de Port Bouquet) et Kindé, à achever les recherches ponctuelles de hauts-fonds et à entreprendre l'exploration au sonar latéral des voies de navigation recommandées. Tous ces travaux ont été effectués en utilisant les infrastructures déjà en place.

Une modification du plan de cartographie en vigueur, adoption du format A0 en remplacement du format grand aigle, conduisit cependant à étendre les sondages jusqu'au parallèle de l'île Toupeti avant d'expédier les documents de rédaction.

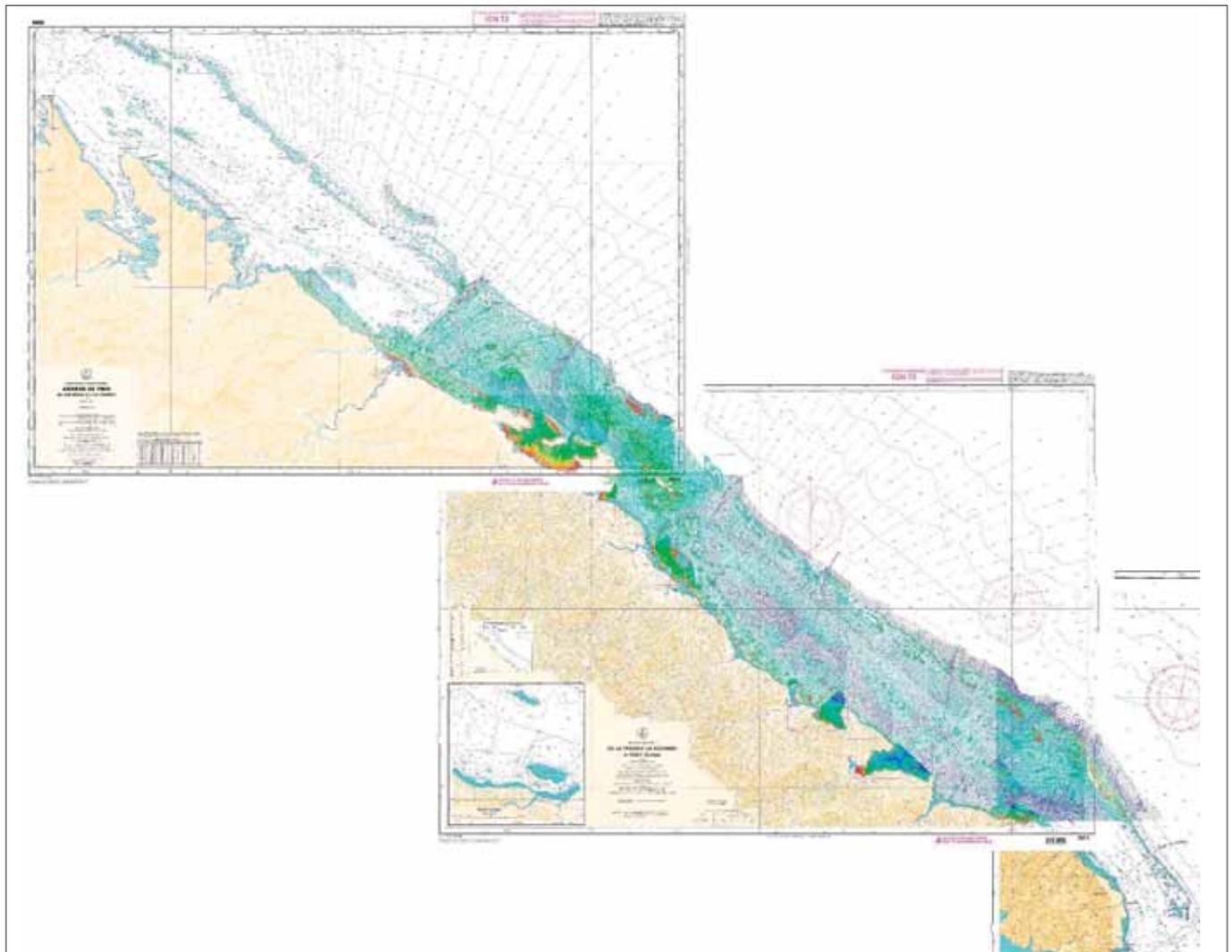
Ce levé a ensuite été poursuivi vers le sud, de façon à peu près continue, jusqu'à l'arrivée de mon successeur. Au mois de septembre 1982, tous les travaux concernant la coupure « Q » étaient achevés, et les documents correspondants expédiés ; les sondages réguliers à terre du récif barrière avaient été effectués jusqu'au mouillage d'Unia, tandis que les recherches de hauts-fonds, de même que l'exploration au sonar latéral des voies recommandées, restaient à achever au sud du parallèle passant par le cap To N'Du. Au large du récif barrière, les sondages avaient été arrêtés au niveau de la passe de Kouakoué.

Les zones sondées sont représentées sur la planche ci-dessous.

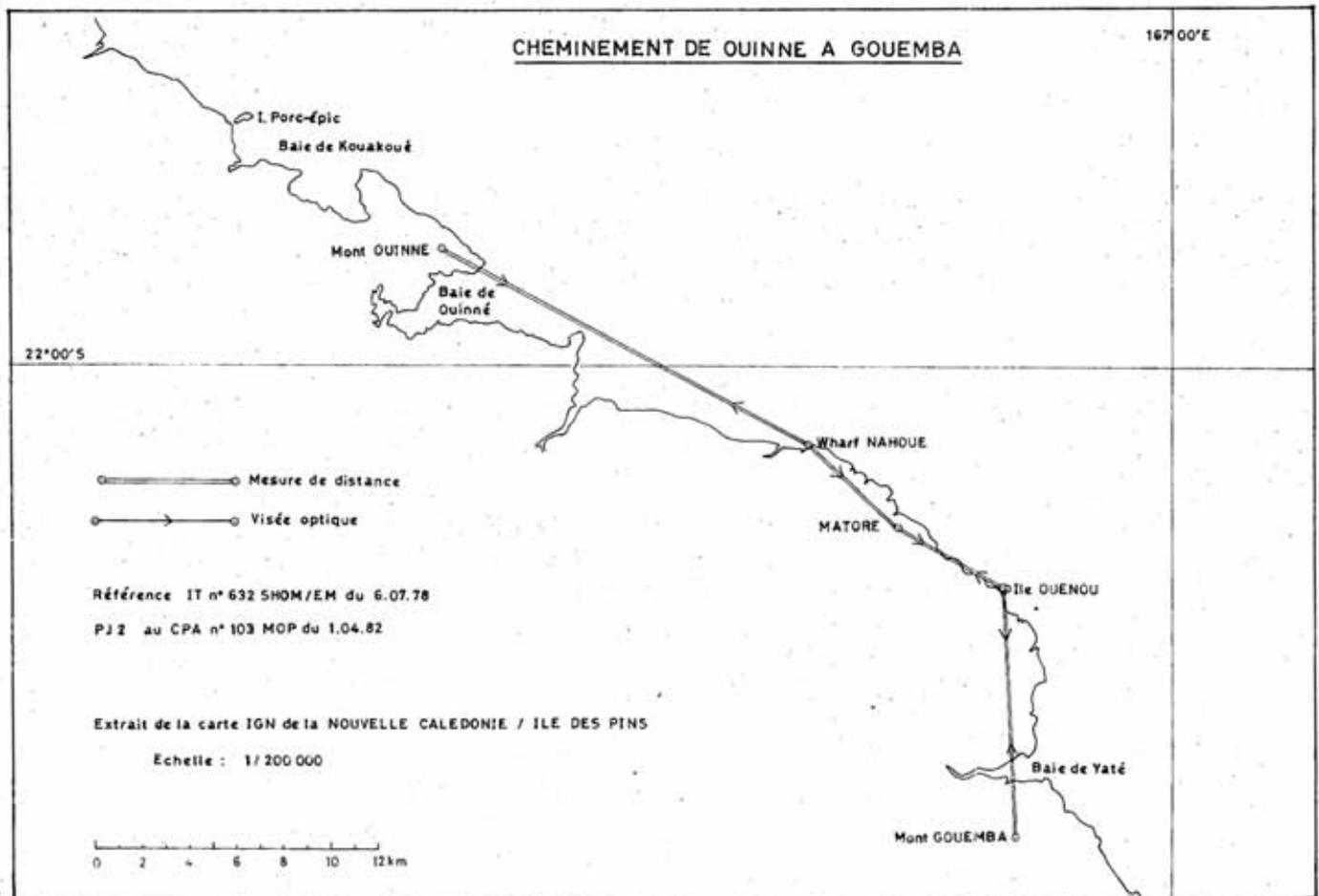
### 2.2 Géodésie – Localisation

De l'île Toupeti jusqu'à la presqu'île Ouinné, les travaux de géodésie nécessaires pour placer les stations de localisation optique et les antennes de radiolocalisation utilisées ont été facilités par l'existence de plusieurs îlots à l'intérieur du lagon.

Au sud de la presqu'île Ouinné, l'absence de points géodésiques à proximité de la côte a nécessité l'exécution d'un cheminement côtier sur près de quarante kilomètres entre deux



Levé régulier entre la baie de Nakety et le mouillage d'Unia



bornes IGN, le sommet de la presqu'île Quinné et le mont Gouemba, au voisinage de Yaté (schéma ci-dessous). Le concours d'un hélicoptère de l'armée de l'air a été nécessaire pour déposer une équipe sur ce dernier point géodésique. L'erreur de fermeture, légèrement supérieure à un mètre, a été répartie selon les méthodes habituelles ; la précision de chaque point intermédiaire est estimée proche de 25 centimètres.

Pour le levé du large, deux réseaux Toran à un seul lieu ont été successivement utilisés comme guide, l'un pour couvrir la coupure « P » et l'autre pour couvrir la coupure « Q ».

A l'intérieur du lagon, la localisation des embarcations a été assurée uniquement à l'aide de moyens optiques jusqu'à Port Combui, puis à l'aide de méthodes mixtes, optique et Toran (un seul réseau), de Port Combui à la presqu'île Quinné, et enfin à l'aide de méthodes mixtes, optique et Trident au sud de cette presqu'île.

Installés au sud de l'île Toupeti pour le foyer nord, et au nord de la presqu'île Quinné (à l'entrée de la baie de Kouakoué) pour le foyer sud, dans une région accessible uniquement par la mer, les émetteurs Toran mis en place ont dû être gardiennés pour obtenir un fonctionnement fiable. Entre Port Combui et l'îlot Porc-épic, ce réseau Toran a été le plus souvent utilisé comme guide, en particulier pour sonder la bande côtière sur une largeur de 1 mille environ.

### 2.3 Bathymétrie

Au large du récif barrière les profils suivis sont des hyperboles dont l'espacement varie de 1 000 mètres, à proximité du récif, jusqu'à 2 000 mètres à la limite large du levé. Ces profils, à peu près perpendiculaires au récif, ont été complétés par des profils parallèles au récif au niveau du récif du Solitaire, au large duquel s'étend un plateau à moins de 500 mètres de profondeur.

Le récif Pouï-Pouï, au large de Thio, a été sondé en embarcation sur des profils resserrés.



Le Corail en sondage à large de Thio

A l'intérieur du lagon, l'espacement retenu a priori pour les profils était de 100 mètres dans les profondeurs inférieures à 50 mètres et 200 mètres au-delà. Dans les zones de petits fonds présentant un intérêt nautique particulier, l'espacement initial des profils a été réduit à 50 mètres, comme par exemple dans l'anse du Coëtlogon, le mouillage de Port Combui, la baie de Kouakoué, la baie de Ouinné ou le mouillage d'Unia.

Le levé régulier de la baie de Port Bouquet avait été effectué sur des profils espacés de 100 mètres au maximum, et sa rédaction était pratiquement achevée lorsque les recherches de hauts-fonds entreprises ont mis en évidence une densité inhabituelle de relèvements de fond en plusieurs endroits, chacun de ces relèvements étant normalement susceptible d'une recherche ponctuelle. Un levé initial à plus grande échelle aurait sans doute été nécessaire, mais en l'absence de besoin avéré, et pour ne pas retarder davantage la publication de la coupure « P » du plan de cartographie, on a choisi de délimiter des zones parsemées de hauts-fonds dangereux dans lesquelles l'hydrographie reste incomplète.



*La Boussole au mouillage sur la côte est (Port Bouquet)*

A partir des abords de la passe de Kouakoué, et jusqu'à la passe d'Unia, le récif barrière, complètement immergé, a été sondé sur des profils espacés de 300 mètres, afin de définir précisément ses limites, mais sans chercher à assurer la sécurité de la navigation, ni au-dessus ni au travers de cette barrière naturelle, en dehors des passes. Les profils ont été poursuivis vers le large de façon à atteindre l'isobathe 100 mètres ; on a observé qu'à l'est de la passe d'Unia, cette isobathe était relativement plus éloignée du récif barrière que dans les zones contiguës.

Sur la côte nord-ouest de l'îlot Porc-épic, un levé de détail à l'échelle 1/1 000 a été effectué en vue de l'installation éventuelle d'un poste de chargement de minerai.

La roche Cerciat, qui était figurée sur les cartes marines en service, à l'est de Thio, avec une profondeur voisine de six mètres, n'a donné aucun indice de relèvement de fond lors du levé régulier, effectué sur des profils espacés de 100 mètres dans des profondeurs relativement importantes. Les sondages sur des profils resserrés n'ayant pas donné de résultat, c'est en définitive un plongeur qui a repéré la roche et guidé l'embarcation de sonde vers son sommet.

### 2.3.1 Recherches d'obstructions

En raison de la turbidité de l'eau au voisinage immédiat de la côte, les recherches de hauts-fonds « à vue » dans les faibles profondeurs ne sont pas possibles ; pour la même raison les indices de relèvement de fond ne peuvent être décelés sur les photographies aériennes.

Les recherches d'obstructions ont donc été conduites selon les errements en vigueur, à partir des indices recueillis lors du levé bathymétrique régulier, en laissant de côté les zones parsemées de hauts-fonds dangereux, dans lesquelles la sécurité de la navigation ne peut être assurée qu'avec un déploiement de moyens sans rapport avec leur intérêt nautique ; c'est en particulier le cas des régions qui, à l'intérieur du lagon, sont proches du récif barrière. Ces zones sont délimitées sur les minutes de bathymétrie établies ; elles sont accompagnées de la légende « zone parsemée de hauts-fonds dangereux », ou éventuellement « zone incomplètement hydrographiée » lorsque des travaux complémentaires permettent d'y délimiter des zones praticables (cas de la baie de Port Bouquet par exemple).

Au sud de l'île Toupeti les recherches de hauts-fonds ont été concentrées aux abords du récif N'Goe où ont été trouvés les relèvements de fond les plus gênants pour la navigation ; il s'agit en effet d'un passage resserré, mais c'est aussi le seul passage praticable pour la voie recommandée longeant la Grande Terre.

Plus au sud, au centre du lagon où les profondeurs sont importantes et les fonds plus réguliers, seuls les relèvements de fond inférieurs à 32 mètres ont été recherchés et un seul a donné une profondeur inférieure à 15 mètres.

### 2.3.2 Voies recommandées

D'une manière générale, on a défini et exploré au sonar latéral une route continue longeant la Grande Terre à l'intérieur du lagon, ainsi que des routes conduisant vers le large en utilisant les grandes passes praticables. Ces routes ont été explorées sur des profils espacés au maximum de 200 mètres, en couvrant une zone d'environ un mille de large axée sur un alignement ou, à défaut, sur un relèvement constant à partir d'un point remarquable (sommet proche de la côte et bien visible).

Aux abords de Thio, la voie longeant la Grande Terre qui a été explorée s'écarte de celle pratiquée par les pilotes (représentée sur la carte marine 2720), car celle-ci passait, à deux reprises, près des récifs intérieurs parallèles à la côte. Outre cette voie longeant la Grande Terre entre la presqu'île Meunh et le cap To N'Du, on a défini et exploré les voies suivantes :

- la voie d'accès à Thio à partir de la passe du même nom,
- une voie d'accès à Port Bouquet depuis la passe de Toupeti,
- une voie d'accès empruntant la passe est de N'Goe,
- une voie d'accès dans le lagon passant au sud du récif du Solitaire,
- une voie d'accès empruntant la passe de Kouakoué.

### 2.4 Marée

Les sondages ont été corrigés de la marée observée sur zone. Les observatoires suivants ont été successivement utilisés au fur et à mesure de la progression des travaux vers le sud :

- observatoire de Thio,
- observatoire de Port Combui (à partir du 11 février et jusqu'au 28 août 1981),
- observatoire de Kouakoué (à partir du 11 mars 1981 et jusqu'au 22 juillet 1982),
- observatoire de Ouinné (à partir du 28 août 1981),
- observatoire d'Unia (à partir du 29 mars 1982).

Un observatoire de marée installé à Port Bouquet du 25 septembre au 2 octobre 1980 a permis de vérifier que la marée à l'intérieur de la baie était identique à celle observée à Thio.

## 2.5 Courants

Conformément aux instructions reçues, des mesures de courant ont été effectuées dans les zones de mouillage ainsi que sur les routes habituellement pratiquées par les grands navires.

Un courantomètre a été mouillé le 16 avril 1981 dans le 045 et à 1 500 mètres du sommet de l'île Toupeti. Après six jours de mesures, dans la nuit du 21 au 22 avril, la veille du jour prévu pour son relevage, l'appareil avait disparu. Il a été retrouvé en assez bon état près de Houailou et on a eu la surprise de constater que les mesures effectuées étaient exploitables.

Trois mesures de courant au point fixe, à cinq mètres d'immersion, ont été effectuées dans le voisinage de l'îlot Mameré :

- du 29 septembre au 7 octobre 1981 dans le 094 et 850 mètres du centre de l'îlot,
- du 29 septembre au 7 octobre 1981 dans le 126 et à 6 450 mètres du centre de l'îlot,
- du 17 au 26 novembre 1981 dans le 336 et à 2 300 mètres du centre de l'îlot.

Dans la région de Port Combui, les mesures de courant suivantes ont été effectuées :

- à cinq mètres de profondeur, dans le 133 de l'îlot Porc-épic et à 2,9 milles, du 15 au 23 juillet 1981,
- à douze mètres de profondeur, dans le 029 de l'îlot Porc-épic et à 1,6 mille, du 16 au 23 juillet 1981.

Une mesure de courant à mi-profondeur a été faite pendant quelques jours, du 13 au 19 janvier 1981, dans le fond de la baie de Ouinné. Une autre mesure, d'une durée d'une semaine, a été faite au mois d'avril 1982, à partir du BH1 *L'Estafette* au mouillage dans la baie elle-même.

Une mesure de courant a été faite du 20 au 27 avril 1982, à 10 mètres de profondeur, à l'ouvert de la baie de Ouinné, dans le 333 et à 2 milles du sommet du cap To N'Du.

Une mesure de courant a été effectuée à Port Unia du 22 au 29 septembre 1982.

## 2.6 Natures de fond

Des prélèvements superficiels du fond ont été effectués aux nœuds d'un réseau à mailles carrées de 2 000 mètres de côté.

Comme à l'accoutumée, ces prélèvements ont été remis au laboratoire de géologie sous-marine du centre ORSTOM de Nouméa, tandis que l'on reportait sur les minutes établies, sous la forme d'abréviations conventionnelles, les résultats d'un examen visuel sommaire.

## 2.7 Documents établis

Tous les documents établis sont mentionnés sur les deux fiches des levés suivantes :

- fiche n° S1982 01300,
- fiche n° S1983 01900.

### 3. CHAPITRE 3. De Koumac à la baie de Gomen

Levé régulier sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie entre Koumac et la baie de Gomen.

Voir aussi le rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 104 et suivantes.

#### 3.1 Généralités

Ce levé faisait suite aux travaux déjà effectués par la MOP, de 1974 jusqu'à la fin de 1976, entre Poum et Paagoumène.

Le projet de construction dans le nord de la Nouvelle-Calédonie, aux abords de Koumac, d'une usine de traitement du minerai de nickel selon un procédé hydro-métallurgique, conduisait en effet à étudier le tracé d'un émissaire sous-marin permettant le rejet des effluents au large du récif barrière, à plusieurs centaines de mètres de profondeur. L'étude préliminaire de ce tracé à l'intérieur du lagon nécessitait l'extension vers le sud, jusqu'à la passe de Koumac, du levé bathymétrique régulier entrepris précédemment. Les travaux prescrits étendaient en fait le levé jusqu'à la baie de Gomen, déjà levée en 1969 par l'ingénieur hydrographe principal (IHP) Perez<sup>49</sup>, permettant ainsi de publier une nouvelle carte du plan de cartographie de la Nouvelle-Calédonie.

A l'exception des stations d'hydrologie et des sondages bathymétriques réguliers qui furent effectués à l'extérieur du lagon par le BH1 *L'Estafette*, tous les travaux correspondant à ce levé furent confiés au BH2 *Boussole*. Ils furent exécutés entre les mois de mars et novembre 1980.

#### 3.2 Géodésie – Localisation

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits en projection UTM, fuseau 58, dans le système géodésique IGN 72.

Il existait déjà dans cette région une infrastructure géodésique très complète ; en particulier presque tous les points bornés du service topographique de la Nouvelle-Calédonie étaient équipés de mires, centrées sur les repères. Ceci facilita beaucoup la détermination des positions des stations de localisation optique ou radioélectrique nécessaires au levé.

La localisation des travaux à la mer fut faite en employant des méthodes optiques uniquement (radioguidage) pendant les premiers mois. Elle fut faite ensuite, à partir du mois de juillet 1980, en employant une méthode mixte Toran (deux lieux fonctionnant en mode X) et optique.

Trois stations seulement étaient gardiennées, la surveillance et la maintenance de l'émetteur de Louanga étant assurée par l'équipe chargée du gardiennage de l'émetteur de Pandop. Assez capricieux au début, le fonctionnement de cette chaîne devint satisfaisant lorsque fut adopté un régime permanent (en émission pendant la journée, en chauffage pendant la nuit) y compris pendant les courtes périodes d'absence sur zone du BH2 *Boussole*. Bien qu'il n'y eut ja-

mais plus d'un bâtiment présent dans la zone des travaux, on s'efforça de rentabiliser l'installation de cette chaîne, en grande partie justifiée par la localisation des sondages au large, en mettant en œuvre simultanément deux vedettes hydrographiques auxquelles venait s'ajouter parfois une embarcation en aluminium équipée d'un récepteur Toran et chargée des travaux de topographie.



Station Toran

Les caractéristiques de la chaîne de radiolocalisation Toran mise en place ainsi que les coordonnées des points utilisés figurent dans les tableaux page suivante.

#### 3.3 Marée

Dès le mois de mars 1980 trois observatoires de marée avaient été mis en place, à Paagoumène, Koumac et Gomen respectivement. Il s'agissait d'abord de vérifier l'hypothèse émise par l'ICA Bonnot<sup>50</sup>, à savoir l'existence dans cette région d'une zone de marée unique s'étendant au sud jusqu'au grand récif Mathieu, et ensuite de contrôler la validité du niveau de réduction des sondes adopté par l'IHP Perez dans la baie de Gomen, à partir d'observations de marée de relativement courte durée.

L'observatoire de marée installé à Paagoumène, dans les mêmes conditions que celui utilisé entre septembre 1975 et décembre 1976, fonctionna pratiquement sans interruption du 6 mars au 25 novembre 1980.

<sup>49</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 738, p. 61 et suivantes.

<sup>50</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Bonnot (10 mai 1976 – 10 mai 1978), *Annales Hydrographiques* n° 755, p. 91.

L'observatoire de marée installé à Koumac fut utilisé pour la correction des sondages, en raison de sa position centrale dans la zone des travaux. Installé sur le wharf de Koumac, au nord de la pointe de Pandop, il fonctionna pratiquement sans interruption du 23 mars au 26 novembre 1980. Le niveau de réduction des sondages fut adopté en concordance avec celui de Nouméa ; il est situé à 6 centimètres au-dessous du niveau obtenu par concordance avec celui de Paagoumène utilisé en 1975 et 1976. Ceci confirme les observations déjà faites par l'ICA Bonnot sur le choix du niveau de réduction des sondes à Paagoumène.

L'observatoire de marée mis en place dès le 6 mars 1980 à Gomen fut endommagé peu de temps après, à l'occasion du passage d'une dépression. Un nouvel observatoire fut donc réinstallé le 7 mai 1980 au même emplacement, sur un wharf privé utilisé pour le chargement de minerai de nickel sur des barges. Il fonctionna pratiquement sans interruption jusqu'au 12 juin, puis du 7 juillet au 10 septembre 1980. Le 20 sep-

tembre, vraisemblablement à la suite d'une mauvaise manœuvre, il fut détérioré par une barge et l'enregistreur fut perdu.

Ces incidents n'empêchèrent pas de vérifier que la marée observée à Gomen était très voisine de celle observée à Paagoumène. On vérifia également que le zéro de réduction des sondes adopté en 1969 pour le levé de la baie de Gomen était cohérent, à cinq centimètres près, avec celui utilisé à Paagoumène en 1975 et 1976. Les repères de nivellement mis en place à Gomen n'ont pas été rattachés au réseau du nivellement général de la Nouvelle-Calédonie.

### 3.4 Bathymétrie – Recherches d'obstructions

3.4.1 A l'intérieur du lagon, le levé bathymétrique régulier fut commencé, comme le prescrivaient les instructions reçues, sur des profils espacés de 100 mètres au maximum. Il a cependant paru nécessaire de réduire cet espacement à 50 mè-

Coordonnées des antennes TORAN utilisées (IGN 72)

Couple	Fonction	Nom	X	Y	Fréquence (kHz)
A	Foyer nord	Pouh	407 818,0	7 731 443,8	1988,000
A	Foyer sud	louanga	434 029,1	7 711 157,7	1988,080
A	Référence	Pandop	424 109,3	7 723 634,3	1714,500
B	Foyer nord	Pandop	424 109,3	7 723 634,3	1714,500
B	Foyer sud	Deverd	429 469,7	7 703 192,5	1714,700
B	Référence	louanga	434 029,1	7 711 157,7	1988,080

Coordonnées des points utilisés dans la région de Koumac (IGN 72)

Nom	Repère	X	Y	Observations
Rochers	Deux rochers remarquables sur le grand récif de Koumac	406 661 406 668	7 721 279 7 721 254	Baptisés « Pierre blanches » sur cartes en service
Ilot Pouh	Douille scellée dans borne marquée MOP-80	407 831,35	7 731 460,45	Borne MOP-74 retrouvée descellée
Ilot Tangadiou	Axe et sommet mire Figaret sur tripode	418 901,7	7 727 089,3	Signal installé par MOP en 74 ( ? )
Balise récif Infernet	Axe et sommet voyant sur tripode	419 449,5	7 719 878,5	
Ilot Kendec	Douille scellée dans borne marquée MOP-80	422 308,05	7 714 183,49	
Balise récif	Axe et sommet voyant	423 563,4	7 716 594,6	
Karembé (W)	sur tripode			
Balise récif	Axe et sommet voyant sur	423 735,7	7 712 126,1	
Coëtlogon	tripode			
Pointe Pandop	Douille scellée dans borne en béton	424 106,95	7 723 635,70	
Maxwell (pointe Pandop)	Douille scellée dans borne en béton	424 126,74	7 723 513,13	
Wharf de Koumac	Douille scellée à l'extrémité du wharf	424 192,87	7 724 479,84	
Balise récif Karembé (N)	Axe et sommet voyant sur tripode	425 519,7	7 718 683,4	
Wharf de Karembé	Clou fiché dans un pieu	427 624,89	7 721 043,56	

tres dans de nombreuses zones, intéressantes par leur utilité nautique ou par l'existence de profondeurs moyennes faibles : c'est le cas, par exemple, du chenal de la Fine et du chenal de l'Infernet.

Aucune recherche d'obstruction n'a été faite dans la zone adjacente au récif barrière, car elle est véritablement parsemée de hauts-fonds dangereux sur une largeur voisine de 1 mille. Les limites de cette zone ont été reportées sur les documents établis. Elles correspondent à un accroissement très net de la densité des obstructions décelées au sondeur vertical, visible de manière flagrante sur les enregistrements. Des observations analogues avaient été faites par l'ICA Bonnot lors du levé effectué en 1976 aux abords de Paagoumène.

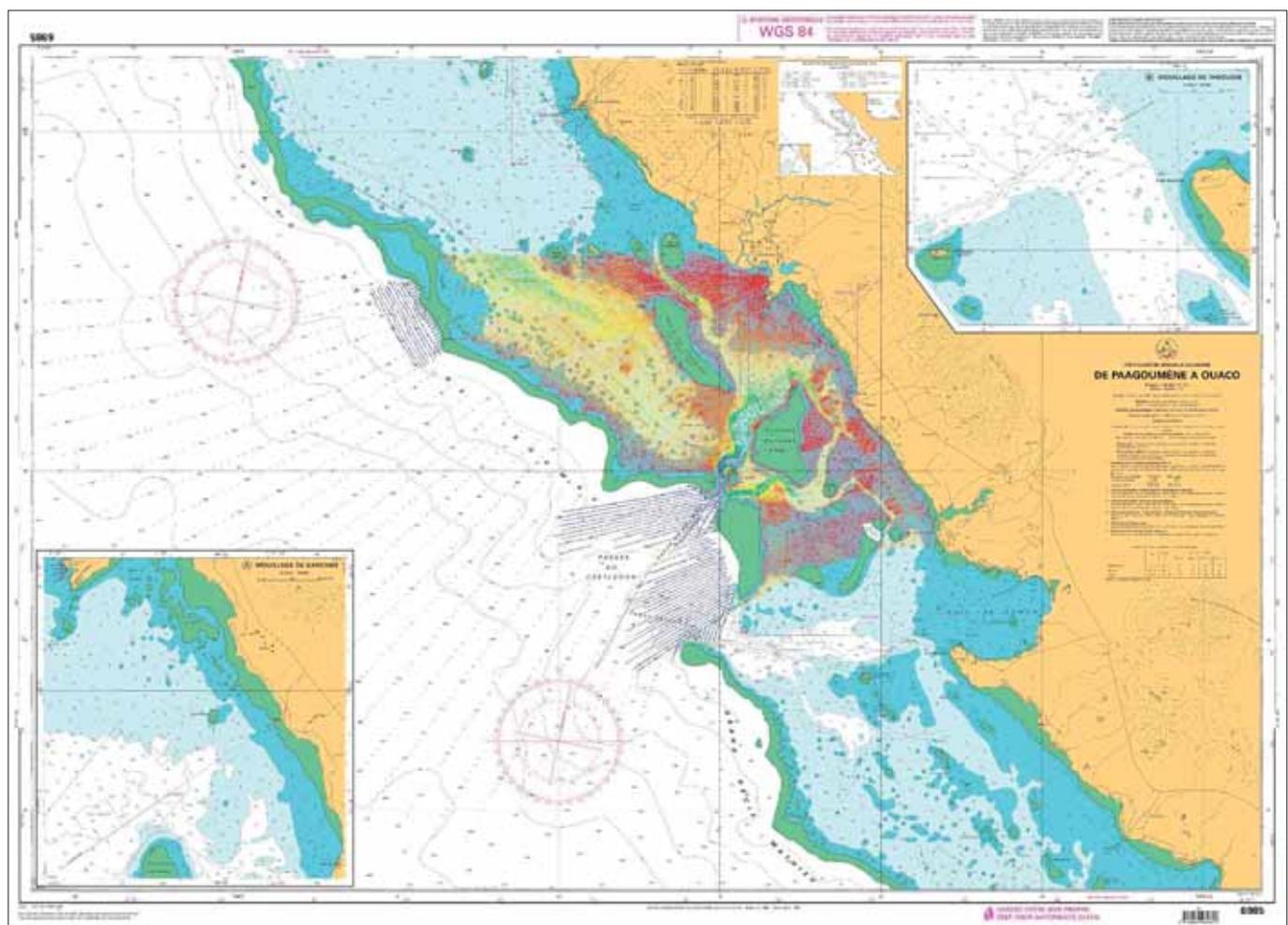
Plus de 250 recherches ponctuelles de hauts-fonds ont néanmoins été faites à l'intérieur des limites de la zone levée. Pratiquement toutes ces recherches concernent des structures isolées de petites dimensions dont la hauteur au-dessus du fond dépasse rarement deux mètres. L'existence de telles structures non décelées, dans les zones qui n'ont pas fait l'objet d'une investigation au sonar latéral, reste possible.

Les principaux axes de circulation à l'intérieur de la zone levée, de même que les abords immédiats du wharf de Koumac, ont été explorés au sonar latéral. On doit noter cependant que la partie sud du chenal de l'Infernet, là où les

profondeurs sont inférieures à dix mètres, n'a pas été investiguée au sonar latéral, car elle devait faire l'objet d'un dragage hydrographique, a priori plus sûr en raison de la très grande densité des petites structures isolées qui y avaient été observées. Cette dernière opération, qui fut tentée à trois reprises en choisissant des plafonds de plus en plus faibles, laissa cependant une petite bande non draguée, qu'il ne fut pas possible de reprendre avant l'achèvement des travaux sur zone en raison de conditions météorologiques défavorables. Aucun besoin précis n'ayant été exprimé, et n'apparaissant dans l'immédiat, il n'a pas été jugé utile d'immobiliser un bâtiment dans cette région pour reprendre cette seule opération.

3.4.2 Les sondages à l'extérieur du lagon ont été effectués, jusqu'à une dizaine de milles environ au large du récif barrière, sur des profils dont l'espacement varie de 1 000 mètres (à proximité du récif) à 2 000 mètres environ au large. Ils ont été complétés, au voisinage immédiat du récif barrière, dans trois zones susceptibles d'être retenues pour la pose d'un émissaire, à savoir dans les passes du Coëtlogon, aux abords de la passe de la Gazelle et approximativement à mi-chemin entre les deux premières zones citées.

Les zones sondées sont représentées sur la planche ci-dessous qui ne couvre pas la passe de la Gazelle. Ces sondages complémentaires devaient en principe être



Levés entre Koumac et la baie de Gomen

confiés à des vedettes suivant des profils perpendiculaires au récif, mais les performances limitées du sondeur Atlas Deso 10 installé sur les embarcations n'ont pas permis de dépasser beaucoup l'isobathe 200 mètres ; c'est en définitive grâce aux profils supplémentaires sondés par le BH2 *Boussole* qu'il a été possible de préciser la bathymétrie générale dans ces zones, jusqu'à l'isobathe 400 mètres.

### 3.5 Topographie – Toponymie

Le dessin de topographie dans les limites du levé a été effectué à l'aide de photographies aériennes, en noir et blanc, à l'échelle 1/20 000, provenant pour la côte de la couverture photographique faite par l'IGN en 1976, et pour le lagon ainsi que la barrière récifale d'une couverture plus ancienne et de moins bonne qualité faite par l'aéronavale.

La restitution à l'échelle 1/20 000 a été faite à l'aide d'une chambre claire Baush et Lomb à partir de points de calage déterminés, sur le rivage par des méthodes dérivées de celles employées en géodésie, et sur les récifs à l'aide d'une embarcation équipée d'un récepteur de radiolocalisation Toran. La toponymie a été empruntée directement aux cartes terrestres, et aux cartes marines existantes pour la partie maritime proprement dite.

### 3.6 Courantométrie

Les mesures de courant qui ont été faites à l'intérieur de la zone levée sont récapitulées ci-dessous ; la première citée a déjà été mentionnée dans le rapport établi par l'ICA Cailliau. Toutes ces mesures ont été faites à cinq mètres sous la surface à l'aide de courantomètres à enregistrement photographique Mécaboliér.

- Du 4 au 10 avril 1980, dans le 195 de l'île de la Table et à 1,2 M ;
- du 8 au 20 mai 1980, dans le 290 de l'île de la Table et à 1,0 M ;
- du 3 au 12 juin 1980, dans le 225 du clocher de Koumac et à 1,7 M ;
- du 5 au 12 juin 1980, dans le 049 du clocher de Koumac et à 4,8 M ;
- du 8 au 17 juillet 1980, dans le 279 du sommet Théoudié et à 6,3 M ;
- du 23 au 28 juillet 1980, dans le 309 du sommet Théoudié et à 8,8 M ;

- du 23 au 28 juillet 1980, dans le 192 du clocher de Koumac et à 4,5 M ;
- du 21 au 28 août 1980, dans le 158 du clocher de Koumac et à 6,1 M.

Deux mesures de courant en profondeur à l'extérieur du récif barrière ont été tentées ; la première par 200 mètres de profondeur environ dans les passes du Coëtlogon, et la seconde par 400 mètres de profondeur, au large de Koumac, dans la zone qui avait fait l'objet de sondages complémentaires. A la suite d'entrées d'eau dans les appareils utilisés (probablement au niveau du capteur de pression), ces mesures n'ont pu être exploitées normalement. Aucun courant significatif n'a pu cependant être décelé sur le bout de film intact, rescapé de la première mesure.

### 3.7 Magnétisme

Des mesures de déclinaison à l'aide d'un théodolite Wild T0 ont été effectuées sur plusieurs îlots et en quelques points de la côte entre les mois de juillet et novembre 1980.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Ils correspondent, en l'absence d'un observatoire de référence en Nouvelle-Calédonie permettant d'effectuer une réduction correcte des mesures, à une pseudo moyenne des déterminations faites sur plusieurs heures.

On peut noter que l'observation « anormale » faite à proximité du cap Deverd est confirmée par des mesures antérieures : 14° 36',2 E en octobre 1969, selon le rapport de l'IHP Perez déjà cité.

### 3.8 Natures de fond

Des prélèvements de fond superficiels ont été faits dans les limites du levé aux nœuds d'un réseau à mailles carrées de 2 000 mètres de côté environ.

### 3.9 Mesures hydrologiques

L'impact sur l'environnement d'un éventuel rejet d'effluents au large, devait être évalué par rapport à une certaine situation initiale qu'il convenait de déterminer.

La MOP avait donc reçu pour mission d'effectuer des prélèvements d'eau de mer à différentes immersions, jusqu'à 400

Mesures de la déclinaison aux abords de Koumac

Nom station	Y UTM, IGN 72	Y UTM, IGN 72	Déclinaison observée	Date et heure (UTC)
Pointe Paagoumène	413 623,5	7 734 025,0	11° 32',2 E	5/10/1980 à 00h
Ilot Pouh	407 834,1	7 731 462,0	11° 39',6 E	9/07/1980 à 03h
Pointe Pandop	424 483,7	7 724 482,4	12° 05',7 E	1/10/1980 à 22h
Ilot Karembé	425 499,1	7 718 700,2	11° 34',4 E	1/10/1980 à 00h
Ilot Kendec	422 275,4	7 714 202,1	11° 51',8 E	6/10/1980 à 23h
Théoudié (cap Deverd)	434 799,9	7 704 006,5	15° 40',6 E	20/10/1980 à 04h
Ilot Deverd	429 424,3	7 703 196,0	12° 02',5 E	5/11/1980 à 01h

mètres de profondeur, sur les emplacements retenus a priori pour la pose d'un émissaire (cf. § 3.4.2). Ces échantillons devaient être remis à la société COFREMMI qui se chargeait de faire effectuer les analyses nécessaires.

Dans la pratique on a effectué, sur chacun des trois sites retenus, trois stations hydrologiques classiques espacées de 2 000 mètres environ avec des prélèvements, aux immersions standards, d'échantillons destinés aux mesures habituelles de salinité et d'oxygène dissous. Une dernière palanquée était chaque fois réservée aux prélèvements d'échantillons destinés à la société COFREMMI (trois échantillons de 33 cl) qui n'a fait effectuer, en définitive, que des mesures de pH.

Le détail des mesures effectuées ainsi que les résultats obtenus sont indiqués dans le rapport particulier n° 281 MOP du 7 août 1981. Il convient de noter que la répétition des mesures de température et de salinité à certaines immersions standard, dans un même domaine géographiquement peu étendu et dans un court intervalle de temps, a permis de mettre en évidence une variabilité considérable de ces paramètres à une immersion donnée.

Le fait que sur un diagramme T-S les points figuratifs de ces mesures restent groupés autour d'une courbe moyenne suggère l'existence possible d'ondes internes de grande amplitude (de l'ordre de 20 mètres).

### 3.10 Documents établis

La liste des documents définitifs adressés au SHOM à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 14 minutes d'écriture de la bathymétrie, 13 à l'échelle 1/10 000 et 1 à l'échelle 1/100 000,
- 9 minutes de recherches ponctuelles de relèvements de fond à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute d'écriture de dragage hydrographique à l'échelle 1/10 000,
- 3 minutes mixtes à l'échelle 1/20 000 regroupant le dessin de topographie et l'écriture des natures de fond,
- 1 carte marine renseignée,
- 9 dossiers de mesure de courant,
- 3 fiches d'observatoire de marée (Paagoumène, Koumac et Gomen),
- 15 fiches de points géodésiques ou d'amers,
- 7 fiches de stations de magnétisme,
- 28 imprimés H pour les stations hydrologiques.

#### 4. CHAPITRE 4. Abords de Nouméa

Levés de voies recommandées aux abords de Nouméa (voir planche en fin de chapitre).

- 4.1 Voie d'accès à Nouméa depuis la passe de Dumbéa. Voir aussi le rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 111 et suivantes.
- 4.2 Voie d'accès à Nouméa depuis la passe de Uitoé.
- 4.3 Voie d'accès à Nouméa depuis l'entrée de la grande rade.
- 4.4 Route à l'ouvert de baie de Saint-Vincent.

##### 4.1 Voie d'accès à Nouméa depuis la passe de Dumbéa

Un arrêté du Haut-commissaire en Nouvelle-Calédonie, pris en août 1979, impose aux pétroliers, dont le tirant d'eau est supérieur à 10 mètres, d'emprunter la passe de Dumbéa pour se rendre à Nouméa. Cette passe permet en effet d'accéder à l'ouvert de la grande rade en restant dans des profondeurs supérieures à 20 mètres.

Au mois de mai 1980, une voie d'accès large de 2 000 mètres environ avait été définie à l'intérieur du lagon et avait déjà été complètement explorée au sonar latéral sur des profils régulièrement espacés de 100 mètres au maximum (voir planche en fin de chapitre, § 4.1).

Les travaux correspondants sont décrits dans le rapport cité en tête de ce chapitre.

L'exploitation conjointe des enregistrements obtenus au sonar latéral, des mesures bathymétriques faites pendant l'exploration et des documents issus des levés anciens, devait permettre de définir les recherches ponctuelles à entreprendre. C'est ce qui fut fait à partir du mois de mai, les recherches elles-mêmes étant effectuées par le BH2 *Corail* entre le 20 juillet et le 15 août 1980.

Les stations de localisation optique déjà utilisées lors de l'exploration furent à nouveau occupées.

De la même façon, les sondages continuèrent à être corrigés de la marée enregistrée à l'observatoire permanent de Nouméa.

##### 4.1.1 Recherches d'obstructions

Plus de soixante recherches ponctuelles de hauts-fonds ont été effectuées au sondeur vertical. Ces recherches ont été faites en priorité :

- sur les relèvements de fond obtenus lors du sondage bathymétrique régulier lorsque leur profondeur était inférieure à 18 mètres,
- sur les échos, enregistrés au sonar latéral, caractéristiques d'une obstruction dont la cote approximative était inférieure ou égale à 20 mètres,
- sur les hauts-fonds portés sur les cartes marines en service dont l'existence, ou la cote, n'avait pas été confirmée lors de l'exploration.

Dans les profondeurs inférieures à 25 mètres situées à proximité immédiate du récif barrière (il s'agit de la zone comprise entre l'axe du chenal et le récif M'Béré) de nombreux relèvements

de fond obtenus au sondeur vertical lors des sondages réguliers n'ont pas été retrouvés. Ces relèvements n'avaient pas donné d'écho caractéristique sur les enregistrements du sonar latéral, mais leur aspect sur les enregistrements du sondeur vertical ne permettait pas de les considérer à coup sûr comme des échos parasites. Ceux qui, parmi ces relèvements de fond douteux, avaient une cote inférieure à 17 mètres, ont été supprimés sur les minutes de bathymétrie après de nouvelles recherches, conduites cette fois à l'aide du sonar latéral fonctionnant sur la plus grande échelle possible (gamme 0 – 50 mètres). La suppression de tous les relèvements de fond enregistrés au sondeur vertical, et non confirmés par l'exploration au sonar latéral, aurait demandé un travail plus important que la reprise pure et simple du levé régulier. En conséquence, cette tâche n'a pas été entreprise de façon systématique ; c'est pourquoi certains relèvements de fond figurés sur les minutes de bathymétrie établies peuvent ne pas avoir d'existence réelle, sans que cela puisse toutefois constituer, y compris à moyen terme, une véritable gêne.

On doit noter que des problèmes analogues avaient déjà été rencontrés dans cette même région lors du levé effectué par la MHNC en 1967<sup>51</sup>.

Ces travaux ont permis de trouver deux obstructions dangereuses pour les pétroliers se rendant à Nouméa qui n'avaient pas été détectées lors des levés antérieurs. Les cotes de ces deux obstructions, qui sont situées à proximité des limites du chenal étudié, n'ont pas été contrôlées à l'aide de plongeurs ; leur position et leur cote sont précisées ci-dessous :

- 13,4 à 4 920 mètres dans le 226,5 de la pyramide blanche de l'îlot Te N'Du,
- 13,7 à 2 400 mètres dans le 277 de la pyramide blanche de l'îlot Te N'Du.

##### 4.1.2 Courantométrie

Toutes les mesures de courant effectuées à l'occasion de ce levé sont indiquées ci-après. Les deux premières citées ont déjà été mentionnées dans le rapport établi par l'ICA Cailliau. Ces mesures ont été faites à cinq mètres sous la surface à l'aide de courantomètres à enregistrement photographique Mécaboliér.

- Du 14 au 17 janvier 1980, dans le 313 de l'îlot Te N'Du et à 2,0 M ;
- du 22 au 29 avril 1980, dans le 342 du feu de l'île Nou et à 0,5 M, à l'emplacement de la bouée rouge marquant l'entrée de la grande rade ;
- du 23 au 25 juillet 1980, dans le 206 de l'îlot Te N'Du et à 3,7 M, à l'emplacement de la bouée noire marquant la passe de Dumbéa ;
- du 12 au 14 août 1980, dans le 072 de l'îlot Te N'Du et à 2,0 M, à l'emplacement d'une bouée noire marquant le chenal d'accès des pétroliers à Nouméa.

##### 4.1.3 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 3 minutes d'écriture de bathymétrie<sup>52</sup> à l'échelle 1/10 000,

<sup>51</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 738, p.16 et suivantes. Dans les deux cas, le levé régulier avait été effectué au début de l'année, pendant l'été austral.

<sup>52</sup> Les courbes de niveaux tracées sur ces minutes tiennent compte, autant qu'il est possible, des résultats des levés antérieurs.

- 4 minutes de recherches ponctuelles de relèvement de fond à l'échelle 1/10 000,
- 2 cartes marines renseignées,
- 4 dossiers de mesure de courant,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 8 fiches de points géodésiques ou d'amers.

## 4.2 Voie d'accès à Nouméa depuis la passe de Uitoé

### 4.2.1 Généralités

Jusqu'en 1980, la plupart des alignements et des routes portées sur les cartes marines, et empruntées par les grands bâtiments se rendant à Nouméa, n'avaient pas fait l'objet d'une hydrographie particulière permettant d'affirmer qu'il ne s'y trouvait aucune obstruction dangereuse. Parmi les travaux confiés à la mission océanographique du Pacifique figurait donc le contrôle au sonar latéral de ces routes et de ces alignements. Les travaux correspondants, pour lesquels aucune urgence particulière n'était fixée, furent programmés de façon à entrecouper les longues périodes d'absence de Nouméa des bâtiments de la mission.

C'est ainsi que le contrôle au sonar latéral de la route à 107° sur le mont Téréka, qui permet d'accéder à la grande rade de Nouméa depuis la passe de Uitoé, fut commencé par le BH2 *Boussole*, du 14 au 18 décembre 1981 et du 4 au 8 janvier 1982, poursuivi par le BH2 *Corail* du 28 juin au 9 juillet 1982, et achevé enfin par ce même bâtiment du 16 août au 7 septembre. Les travaux effectués pendant cette dernière période furent très souvent interrompus, ou même annulés, à cause de la force de l'alizé.

### 4.2.2 Géodésie – Localisation

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer furent conduits en projection UTM, fuseau 58, dans le système géodésique IGN 72. Il existait déjà dans cette région une infrastructure géodésique complète, les travaux sur le terrain ont ainsi pu être strictement limités à quelques rattachements à courte distance.

La localisation à la mer a été faite en employant des méthodes mixtes, optique et Trident.

### 4.2.3 Marée

Les sondages ont été corrigés de la marée enregistrée à l'observatoire permanent de Nouméa. Le niveau de réduction utilisé est situé à 4,423 mètres au-dessous du repère de nivellement SHOM scellé dans le mur du transformateur placé à l'entrée de la base maritime de la pointe Chaleix.

### 4.2.4 Bathymétrie – Recherche d'obstructions

La zone représentée sur la planche en fin de chapitre (§ 4.2) a été explorée au sonar latéral Edgerton Mark 1 B sur des profils espacés de 100 mètres au maximum parcourus à une vitesse voisine de 5 nœuds. La portée maximale sélectionnée sur l'enregistreur était de 125 mètres.

Jusqu'à 25 kilomètres environ du mont Téréka, les profils suivis étaient radioguidés depuis une station implantée à proximité du sommet de l'île Nou ; au-delà, les profils suivis étaient des arcs de cercle centrés sur une station radioélectrique Trident installée sur le mont Ouen Toro, tandis que dans la passe de Uitoé elle-même et sur ses abords immédiats, les profils suivis étaient radioguidés depuis la pointe Mamaora, proche de Timbia.

Un levé bathymétrique classique à l'échelle 1/10 000 a été effectué en même temps que l'exploration au sonar latéral.

L'exploitation conjointe des enregistrements obtenus au sonar latéral, des mesures bathymétriques faites en parallèle avec l'exploration, et des documents issus des levés anciens, a permis de sélectionner une cinquantaine de recherches ponctuelles de hauts-fonds qui ont été conduites en mettant en œuvre le sondeur vertical uniquement. Pratiquement toutes ces recherches correspondaient à des structures coralliennes isolées de faibles dimensions.

Dans une zone limitée, située au sud de l'îlot Lé, le nombre des obstructions détectées à l'aide du sonar latéral était si important que l'on a préféré accroître la densité des sondages plutôt que rechercher chaque obstruction isolément. Aucune de ces obstructions, dont la cote estimée était voisine de 20 mètres, n'était en effet susceptible de constituer un véritable danger pour la navigation.

Parmi les obstructions nouvelles découvertes, les plus dangereuses correspondent à de petits massifs coralliens qui s'élèvent à environ deux mètres au-dessus du fond environnant dans une région, située au nord-ouest de l'îlot M'Ba, où les profondeurs sont voisines de 12 mètres.

D'une manière générale, les sondes portées sur les cartes marines en service ont toutes été retrouvées, avec une cote légèrement inférieure à celle indiquée.

### 4.2.5 Courantométrie

Une mesure de courant de sub-surface a été tentée à 3,8 milles environ dans le 290 du mont Téréka avec un mouillage de sub-surface et un largueur acoustique. Ce système, qui avait été choisi a priori pour assurer la sécurité du mouillage dans une zone relativement fréquentée, fut mis à l'eau le 17 décembre 1981 et récupéré en parfait état le 4 janvier 1982, après le passage du cyclone « Gyan » dont les effets se firent sentir à Nouméa du 19 au 28 décembre 1981. Malheureusement, l'appareil n'a fonctionné que vingt quatre heures (anomalie du dispositif d'entraînement du film sur le courantomètre à enregistrement photographique utilisé), aucune mesure n'a donc été acquise pendant le passage du cyclone.

### 4.2.6 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 4 minutes mixtes à l'échelle 1/10 000 regroupant l'écriture des sondages complémentaires et celle des recherches ponctuelles,
- 1 fiche d'épave.

Les coordonnées des points utilisés sont indiquées dans le tableau ci-après.

Coordonnées des points utilisés (IGN 72)

Nom	Repère	X	Y	Observation
Téréka	Piquet en fer dans borne en ciment	642 919,30	7 538 350,20	SHOM 39126-139
Timbia (antenne Trident)	Borne service topographique	626 935,15	7 550 682,65	IGN 32-25
Timbia (station optique)	Borne service topographique	625 488,45	7 550 444,78	IGN 32-IV-402
Ouen Toro (antenne Trident)	Axe antenne	649 434,13	7 532 362,88	Près IGN 33-34
Ilot Brun (antenne Trident)	Axe antenne	646 596,14	7 533 873,66	Près IGN 33-25

### 4.3 Voie d'accès à Nouméa depuis l'entrée de la grande rade

#### 4.3.1 Généralités

Parmi les routes d'accès à Nouméa, la plus utilisée est l'alignement à 117° qui, depuis l'entrée de la grande rade, conduit aux quais situés sur la partie nord du terre-plein de la pointe Lambert. Constituant le prolongement naturel des deux voies décrites dans les paragraphes qui précèdent, cet alignement devait bien entendu faire l'objet d'un contrôle hydrographique permettant d'assurer qu'aucune obstruction dangereuse n'avait échappé aux sondages réguliers effectués en 1961.

Les travaux correspondants ont été pratiquement tous effectués entre le 2 juillet et le 4 septembre 1981 par les vedettes du BH1 *L'Estafette* en mettant à profit des périodes d'indisponibilité du bâtiment à Nouméa.

Certaines des obstructions découvertes, qui étaient susceptibles de gêner la navigation des grands bâtiments, ont été arasées par une entreprise de travaux sous-marins à la demande du port autonome de Nouméa. Les résultats de ces interventions ont été contrôlés par la mission qui a établi à l'issue une nouvelle minute d'écriture de recherches d'obstruction modifiant les résultats obtenus précédemment et déjà transmis.

#### 4.3.2 Géodésie – Localisation

Compte tenu de la densité des points géodésiques existant dans la région de Nouméa il ne fut pas nécessaire d'entreprendre des travaux de géodésie.

La localisation des embarcations fut assurée à l'aide de méthodes optiques uniquement.

#### 4.3.3 Marée

Les sondages ont été corrigés de la marée enregistrée à l'observatoire permanent de Nouméa. Le niveau de réduction utilisé est situé à 4,423 mètres au-dessous du repère de nivellement SHOM scellé dans le mur du transformateur placé à l'entrée de la base maritime de la pointe Chaleix.

#### 4.3.4 Bathymétrie – Recherche d'obstructions

Une zone de 1 000 mètres de large, axée sur l'alignement à 117°, a été explorée au sonar latéral Edgerton Mark 1 B, sur

des profils radioguidés espacés de 100 mètres au maximum, parcourus à une vitesse voisine de 5 nœuds. La portée maximale sélectionnée sur l'enregistreur était de 125 mètres.

Un levé bathymétrique classique à l'échelle 1/10 000 a été effectué en même temps que l'exploration au sonar latéral (voir planche fin de chapitre, § 4.3).

Au vu des enregistrements obtenus au sonar latéral, une quarantaine de recherches ponctuelles de hauts-fonds ont été sélectionnés pour être faites à l'aide du sondeur vertical uniquement. On doit noter que la densité des sondages bathymétriques effectués à l'occasion de l'exploration était faible, eu égard à la profondeur moyenne, et qu'elle n'a pas permis de confirmer un grand nombre de sondes figurées sur les cartes marines en service. Ces sondes correspondent très vraisemblablement à des ondulations du fond de faible amplitude ; elles n'ont pas fait l'objet de recherches particulières et doivent être conservées sur les cartes.

Parmi les résultats obtenus, il faut noter la découverte d'un haut-fond dangereux coté 7,6 mètres en bordure du banc des Japonais ; ce haut-fond n'avait pas été détecté en 1961.

La sonde 8,2 portée sur la carte marine en service à 1 300 mètres dans le 342 du feu de la pointe Lambert a été recherchée sur des profils espacés de 2,5 mètres environ ; la plus petite sonde obtenue à l'intérieur d'un cercle de 100 mètres de rayon centré sur cette position est 9,3 ; ceci confirme la sonde 9,2 portée à cet emplacement sur les minutes des levés anciens.

La sonde 8,2 portée sur la même carte marine à 870 mètres dans le 311 du feu de la pointe Lambert a été recherchée dans les mêmes conditions ; la sonde la plus faible obtenue est 9,0. Une exploration détaillée au sonar latéral n'a permis de détecter aucune obstruction dans le voisinage de cette dernière sonde qui correspond au sommet d'un mamelon.

L'épave située à 900 mètres dans le 277 de la pointe Kauri n'a pas été investiguée. On a reporté sur les documents établis la cote résultant des travaux effectués en 1980 (voir § 5.1.4 ci-après, in fine). Cette épave a été depuis en partie disloquée à l'aide d'explosifs ; sa nouvelle cote, contrôlée à l'aide de plongeurs en septembre 1982, était de 10,2 au lieu de 8,3 précédemment.

### Coordonnées des points utilisés (IGN 72)

Nom	Repère	X	Y	Observation
N-14	Borne service topographique	646 000,85	7 536 595,45	
Téréka	Borne service topographique	643 164,78	7 538 270,72	IGN 33-16
N-300	Borne service topographique	643 673,32	7 538 042,41	
Monarch	Douille scellée dans le quai	647 052,6	7 536 949,07	SHOM 39126-143
Sémaphore Nouméa	Croix gravée	648 619,57	7 536 580,22	SHOM 39126-26

Les nouvelles cotes des obstructions arasées qui ont été déterminées par la mission sont indiquées ci-dessous, les positions étant données en azimut et distance par rapport au feu de la pointe Lambert :

- dans le 303,5 et à 2 900 mètres, remplacer 10,9 par 12,5 ;
- dans le 324,5 et à 1 650 mètres, remplacer 9,7 par 10,4 ;
- dans le 339 et à 770 mètres, remplacer 9,5 par 11,0 ;
- dans le 358 et à 660 mètres, remplacer 9,6 par 10,1.

#### 4.3.5 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute de recherches ponctuelles de hauts-fonds à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute rectificative de recherches ponctuelles de hauts-fonds à l'échelle 1/10 000.

Les coordonnées des points utilisés sont indiquées dans le tableau ci-dessus.

## 4.4 Route à l'ouvert de la baie de Saint-Vincent

### 4.4.1 Généralités

Les levés hydrographiques effectués par la mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie en 1969<sup>53</sup> en baie de Saint-Vincent, et sur ses abords, ne couvrent pas le chenal qui conduit de la passe du cap Ka à la passe de Saint-Vincent. Ce chenal, qui passe au sud-ouest de l'île Hugon, et qui longe le récif de l'île Ronhua, est régulièrement fréquenté par des bâtiments de moyenne importance car il permet aux navires venant du nord de la Nouvelle-Calédonie de rallier Nouméa en naviguant dans les eaux abritées du lagon.

Un contrôle au sonar latéral de ce chenal devait être fait « en passant », en exploitant les transits des bâtiments de la mission vers le nord de la Nouvelle-Calédonie, et Koumac en particulier.

Il a paru préférable cependant d'effectuer un véritable levé, en mettant à profit certaines périodes de disponibilité des bâtiments de la mission, trop brèves pour pouvoir envisager des travaux sur une zone éloignée de Nouméa.

Les travaux correspondants ont ainsi été effectués successivement par le BH2 *Boussole* du 12 au 14 août 1980, puis par le BH2 *Corail* du 16 au 19 septembre de la même année.

<sup>53</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 736, p. 161 et suivantes.

### 4.4.2 Géodésie – Localisation

Tous les calculs de géodésie et de localisation à la mer ont été conduits en projection UTM, fuseau 58, dans le système géodésique IGN 72.

La densité des points géodésiques du service topographique répertoriés dans cette région (tous ont été retrouvés en bon état de conservation, le plus souvent surmontés d'une mire type Figaret) a permis de limiter le volume des travaux de triangulation et de simplifier grandement la préparation des sondages.

La localisation à la mer a été faite en employant uniquement des méthodes optiques. Les profils suivis ont été radioguidés successivement depuis le sommet du cap Ka et depuis l'îlot Champignon ouest.

### 4.4.3 Marée

Les sondages ont été corrigés de la marée enregistrée à l'observatoire permanent de Nouméa. Le niveau de réduction utilisé est situé à 4,423 mètres au-dessous du repère de nivellement SHOM scellé dans le mur du transformateur placé à l'entrée de la base maritime de la pointe Chaleix.

### 4.4.4 Bathymétrie – Recherches d'obstructions

La zone représentée sur la planche page suivante (§ 4.4) a été sondée sur des profils espacés de 100 mètres au maximum. La moitié est de cette zone a été explorée simultanément au sonar latéral Edgerton Mark 1 B, la portée maximale sélectionnée sur l'enregistreur étant de 125 mètres. Le sonar latéral n'était pas disponible lorsque a été effectué le levé bathymétrique de la moitié ouest ; on s'est donc contenté ensuite de suivre quelques profils intercalaires, sonar latéral en fonction, sans chercher à assurer un recouvrement à cent pour cent des zones insonifiées.

Les limites de la zone « complètement explorée », au sens de l'instruction n° 152 SHOM/EM du 14 février 1979, ont été reportées sur les documents établis.

Tous les relèvements de fond détectés au sondeur vertical, comme les échos caractéristiques d'une obstruction dangereuse enregistrés au sonar latéral, ont fait l'objet de recherches.

Les principales obstructions détectées sont précisées ci-dessous ; leur position est indiquée en azimut et distance par rapport à l'îlot Champignon ouest :

- 7,1 dans le 308 et à 7 900 mètres,
- 4,5 dans le 310 et à 7 600 mètres,
- 8,3 dans le 305,5 et à 9 400 mètres.

#### 4.4.5 Topographie

Pour effectuer un dessin de topographie représentant le trait de côte et les récifs, découvrants ou toujours couverts, on a effectué une restitution à la chambre claire des photographies aériennes en noir et blanc à l'échelle 1/20 000 prises par l'IGN en 1976. Les opérations sur zone ont été limitées à la détermination de points remarquables au voisinage du trait de côte. Les limites des récifs découvrants figurées sur les documents établis doivent être considérées comme approximatives.

#### 4.4.6 Information nautique

La route recommandée, figurée sur les cartes marines pour naviguer au nord de l'île Ronhua, correspond à l'alignement de la balise située sur le plateau de l'île Ronhua par l'îlot Champignon ouest, alors que l'îlot Champignon est, situé à proximité immédiate, est surmonté par une balise. Cette route, orientée au 308 – 128 (et non 307 – 127 comme indi-

qué dans les documents nautiques), fait passer à proximité immédiate d'un récif corallien, découvrant et assez visible, situé dans l'ouest de l'île Hugon. Il serait sans doute plus judicieux de conseiller une route orientée au 305 (305,5) – 125 (125,5) sur la balise de l'île Ronhua, ce qui reviendrait à placer cette balise entre les deux îlots Champignon.

#### 4.4.7 Documents établis

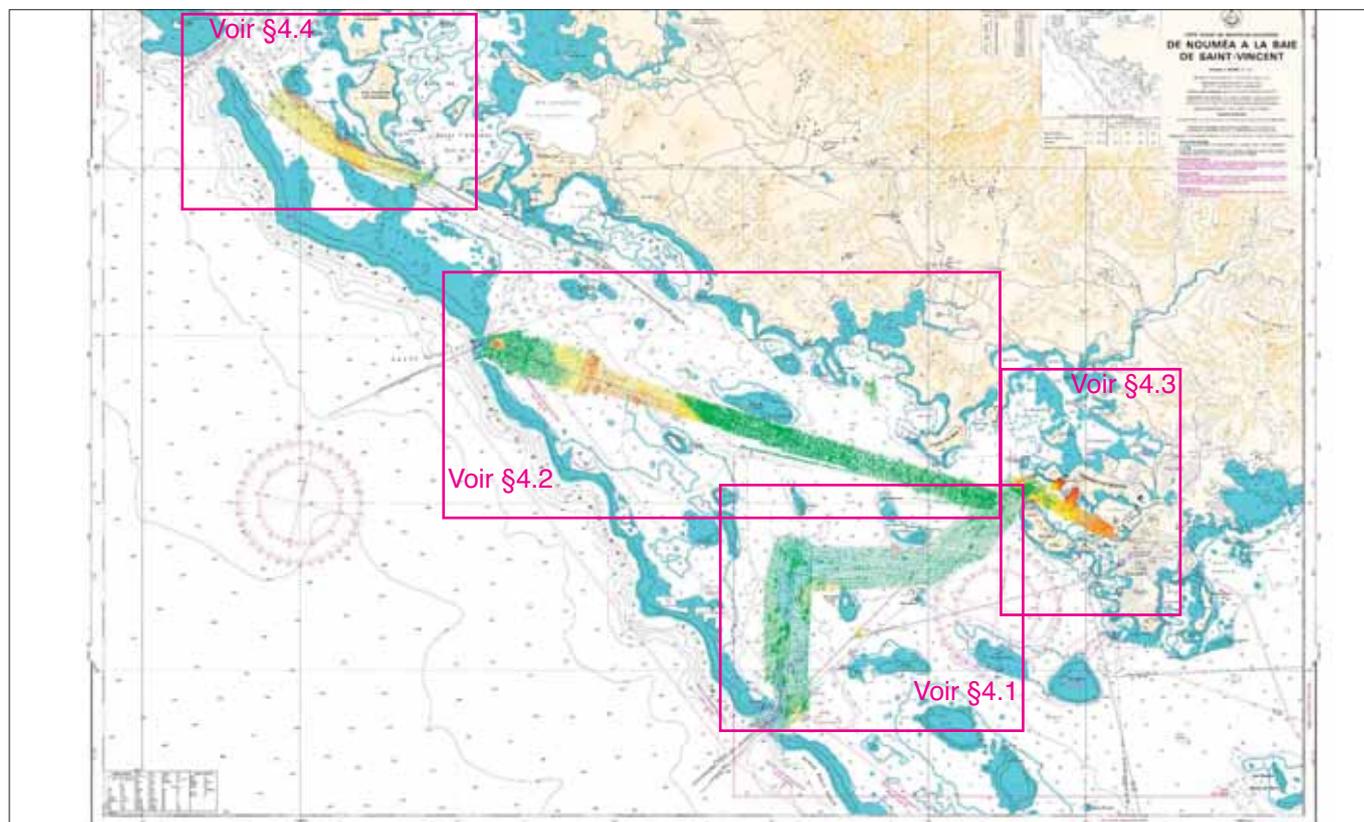
La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute de recherches ponctuelles de hauts-fonds à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute de topographie à l'échelle 1/10 000,
- 3 fiches d'amer.

Les coordonnées des points utilisés sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Coordonnées des points utilisés (IGN 72)

Nom	Repère	X	Y	Observation
Epave sur récif	Partie centrale	602 090	7 555 505	
Balise île Ronhua	Axe voyant et sommet	605 303,5	7 559 313,0	SHOM 39126-135 <sup>54</sup>
Ile Hugon (N)	Borne service topographique	606 292,14	7 561 347,55	IGN 32-1
Ile Hugon (S)	Borne service topographique	607 649,12	7 558 700,61	IGN 32-3
Ilot Champignon (O)	Repère scellé dans corail	609 369,82	7 556 096,27	SHOM 39126-126
Ilot Champignon (E)	Axe balise	611 193,93	7 555 356,49	SHOM 39126-127
Ile Page	Borne service topographique	612 012,81	7 561 065,22	IGN 32- 5
Ile Mathieu	Borne service topographique	612 343,22	7 556 624,15	IGN 32-6
Ile Abu	Borne service topographique	618 382,86	7 553 630,29	IGN 32-12



Levés des voies recommandées aux abords de Nouméa



## 5.2 Levé du quai au long cours et du quai des remorqueurs

Faisant suite aux travaux déjà effectués par l'ICA Cailliau<sup>55</sup> au mois de mai 1979, la mission a repris au mois de juin 1981, à la demande du port autonome de Nouméa, la vérification des profondeurs existant le long et sur les abords du quai au long cours (postes 4, 5, 6 et 7) et du quai des remorqueurs. Les sondages correspondants ont été effectués à l'aide d'une embarcation en aluminium équipée d'un sondeur ultrasonore Atlas Deso 10 avec transducteurs hors-bord en employant, pour la localisation, la méthode dite de « la cordelle ».

Les profils suivis, perpendiculaires aux quais et régulièrement espacés de 5 mètres, s'éloignaient jusqu'à environ 50 mètres du bord du quai.

Ces travaux ont permis de mettre en évidence une diminution des profondeurs disponibles ; des dragages d'approfondissement devaient être entrepris à la fin de l'année 1982.

## 5.3 Levé du nouveau quai de pêche

Un quai de pêche a été construit en 1982 en bordure d'une zone de déblais située à 1 000 mètres environ dans l'ouest du feu de la pointe Lambert. Ce quai, accessible en principe à des bâtiments ayant un tirant d'eau inférieur à 8 mètres, dessert en particulier un entrepôt frigorifique. Les profondeurs le long du quai et sur ses abords immédiats ont été contrôlées, à la demande du port autonome de Nouméa, à l'issue des travaux de construction.

Des sondages ont donc été faits par la mission au mois d'août 1982, exactement dans les mêmes conditions que ceux effectués le long du quai au long cours (voir paragraphe 5.2 ci-dessus). Ces sondages n'ont pas été rédigés en totalité, mais ils ont montré que la profondeur contractuelle de 8 mètres était loin d'être atteinte ; les dragages d'approfondissement devaient en conséquence être poursuivis.

<sup>55</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 138.

## 6. CHAPITRE 6. Grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie

Travaux dans le grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie.

### 6.1 Généralités

Parmi les nombreux travaux de reconnaissance et de localisation de récifs confiés à la mission à l'intérieur des limites de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie, figurait le levé photographique aérien du grand lagon nord et, en particulier, des deux récifs qui le bordent. Ces deux récifs, orientés sud-est nord-ouest, longs de cent cinquante kilomètres environ et distants d'une cinquantaine de kilomètres n'avaient, en effet, été que partiellement reconnus depuis leur découverte par Cook en 1774 (récif nord-est ou grand récif de Cook) et par d'Entrecasteaux en 1792 (récif sud-ouest ou récif des Français).

Le levé photographique aérien de ces récifs devait être fait à l'aide d'un aéronef localisé avec un système radioélectrique, les méthodes de restitution habituellement utilisées par la mission n'étant pas adaptées au levé topographique d'un vaste lagon inexploré dans lequel, de surcroît, les alizés lèvent un fort clapot quasi permanent. Outre le très grand nombre des points de calage à sélectionner et à positionner, il fallait en effet prendre en considération les conditions de mer régnant habituellement dans le lagon, ainsi que son étendue, qui rendaient laborieuses et dangereuses les opérations de piquage des photographies.

Le système de localisation radioélectrique Trident a été choisi pour assurer la localisation de l'aéronef car son installation au sol et son exploitation en vol impliquaient un minimum de contraintes.

Parmi les quatre sites choisis a priori pour installer des balises répondeuses, à savoir le sommet de Poum, l'îlot Ongombua, l'île de sable des passes du d'Estrées et l'île de la Surprise, trois devaient faire l'objet d'une reconnaissance préalable afin d'étudier les problèmes que posait leur rattachement à un réseau géodésique. Cette reconnaissance, ainsi que quelques travaux géodésiques préparatoires, comme l'équipement du terrain par exemple, furent effectués par le BH1 *L'Estafette* entre le 28 juillet et le 6 août 1981. Entre le 15 octobre et le 20 novembre 1981, le BH2 *Boussole* effectuait trois séjours dans le grand lagon nord pour achever les travaux de géodésie ébauchés précédemment et veiller à la sécurité des équipes en place sur les îles et îlots, afin de veiller au bon fonctionnement des balises qui y étaient installées.

C'est pendant ces séjours que fut effectué le levé d'une route conduisant des passes du d'Estrées jusqu'au village de Uala dans l'île Art (îles Belep).

### 6.2 Géodésie

Tous les calculs de géodésie furent conduits en projection UTM, fuseau 58, dans le système géodésique IGN 72.

Le schéma des travaux de triangulation effectués figure sur la première planche page suivante. Les mesures de distance ont été faites en utilisant un telluromètre MRA 5, et en pre-

nant les précautions nécessaires pour neutraliser l'influence des ondes radioélectriques réfléchies sur la surface de la mer. Toutes les mesures angulaires ont pu être effectuées de jour, dans de bonnes conditions de visibilité, à l'exception de la visée entre le sommet de l'île Pott et l'île Ongombua qui a nécessité la reprise du tour d'horizon de nuit en employant des projecteurs type IGN.

On peut constater, sur ce schéma, que les positions des repères mis en place par la mission sur l'îlot Ongombua, sur le sommet de l'île Pott ainsi que sur l'île de sable des passes du d'Estrées sont uniquement basées sur les coordonnées du repère IGN Pathiyarik, avec comme seul repère d'orientation le repère IGN Pouroembui. Compte tenu des distances mises en jeu, c'est la proximité de ce dernier repère qui limite en fait la précision sur les coordonnées des nouveaux points déterminés. L'utilisation d'un repère d'orientation sur l'île Yandé, distante d'une quarantaine de kilomètres, n'a pas été envisagée car la précision recherchée ne semblait pas justifier l'ampleur des travaux à entreprendre<sup>56</sup>.

### 6.3 Levé de la route conduisant des passes du d'Estrées à Uala

#### 6.3.1 Bathymétrie

Le levé de la baie de Uala dans l'île Art avait déjà été effectué à l'échelle 1/5 000 en 1962 ; on s'est donc attaché, en 1981, à sonder à une échelle voisine de 1/10 000, une route d'accès à partir des passes du d'Estrées, praticable par de grands bâtiments.

Les sondages ont été effectués en majeure partie par le BH2 *Boussole* lui-même, suivant des routes radioguidées depuis l'île Art ; le bâtiment était localisé par des visées simultanées issues du sommet de l'île Pott et de l'île de sable des passes du d'Estrées, dans les limites de visibilité de cette dernière station installée au niveau de la mer.

Dans les passes du d'Estrées et sur leurs abords immédiats les sondages ont été effectués à l'aide d'une vedette radioguidée depuis l'île de sable et localisée à l'aide d'une balise répondeuse Trident installée sur cette même île (deux lieux seulement). Quelques profils d'exploration ont été sondés dans la passe nord où les profondeurs sont irrégulières, et notablement inférieures à celles trouvées dans la passe sud. Les forts courants rencontrés dans ces passes ont gêné les travaux.



Campement sur l'île de sable des passes du d'Estrées

<sup>56</sup> En raison des difficultés rencontrées dans l'emploi des miroirs solaires, ces travaux auraient dû être faits de nuit et auraient nécessité des moyens importants.

A l'ouvert de la baie de Uala, les sondages ont également été effectués avec une vedette hydrographique suivant des profils radioguidés, la localisation sur le profil étant assurée par deux stations de localisation optique, ou bien une balise Trident seulement, en fonction de la disponibilité des équipements radioélectriques.

Les fonds trouvés sont dans l'ensemble très réguliers ; deux relèvements de fond importants ont cependant été découverts et ont fait l'objet de recherches. Les dimensions horizontales de ces relèvements de fond sont importantes (plusieurs centaines de mètres) et la profondeur la plus faible trouvée est 10,8 mètres.

Dans la partie commune aux deux levés, on constate que les profondeurs obtenues en 1981 sont systématiquement inférieures aux profondeurs figurant sur les documents établis en 1962, d'une quantité voisine d'un mètre dans les profondeurs atteignant 20 mètres. Aucune erreur n'a été décelée dans l'exploitation des données recueillies en 1981, par contre, la rédaction du levé effectué en 1962 n'a été faite que plusieurs années après la fin des travaux à cause d'insuffisances dans l'observation de la marée pendant les sondages<sup>57</sup>. Les données originales du levé de 1962, les enregistrements du sondeur en particulier, n'ayant pas été retrouvés, il convient de mettre en doute la précision des profondeurs portées sur la minute de bathymétrie correspondante.

Les limites de la zone sondée sont représentées sur la seconde planche page suivante.

### 6.3.2 Marée

Toutes les sondes ont été corrigées de la marée enregistrée à Uala où avait été installé un observatoire occasionnel.

Cet observatoire a fonctionné du 20 octobre au 16 novembre 1981 ; on a déterminé un niveau de réduction des sondages concordant avec celui de Nouméa, ainsi qu'avec celui de Thio, décalé en fait de quelques centimètres, les observations ayant montré que le niveau de la mer à Thio était susceptible de descendre au-dessous du zéro hydrographique.

Le niveau de réduction des sondes utilisé se trouve à 3,076 mètres sous le repère SHOM scellé à l'enracinement de l'apponement de Uala.

### 6.3.3 Topographie

Au moment où ont été effectués les travaux sur zone, la mission ne disposait pas encore des photographies aériennes en noir et blanc, à l'échelle 1/20 000, correspondant à la mission IGN 1976. La topographie de l'intérieur de la baie de Uala a donc été faite en employant des méthodes classiques.

Les photographies aériennes ont été utilisées ensuite pour étendre aux abords de la baie, et jusqu'au récif de Toujmiane, le dessin du trait de côte et des limites des récifs visibles. Une minute de synthèse de la baie de Uala et de ses abords a été faite à l'échelle 1/10 000 en utilisant les résultats du levé

de 1962. Dans la partie commune aux deux levés, on a cependant donné la préférence aux profondeurs mesurées en 1981, en particulier pour le tracé de l'isobathe 20 mètres en utilisant les résultats du levé de 1962.

### 6.3.4 Courantométrie

Une mesure de courant au point fixe, à cinq mètres sous la surface, a été faite entre le 13 et le 18 novembre 1981, à l'ouvert de la baie, dans le 267 et à 5 500 mètres du clocher de Uala.

### 6.3.5 Information nautique

A deux reprises le BH2 *Boussole* a détecté un relèvement de fond en approchant des îles Belep par le sud. Ce relèvement de fond à une profondeur voisine de 12 mètres, est approximativement situé dans le 261 et à 1,5 mille de la pointe sud de la plus sud des îles Daos du Sud.

### 6.3.6 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 5 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/10 000, dont deux portent également les résultats des recherches ponctuelles de hauts-fonds effectuées,
- 1 minute de synthèse à l'échelle 1/10 000 portant en particulier le dessin de topographie,
- 1 dossier de mesure de courant,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 12 fiches de points géodésiques et d'amers dont les coordonnées figurent dans le premier tableau page 46.

## 6.4 Levé photographique aérien du grand lagon nord

### 6.4.1 Localisation de l'aéronef

Pour couvrir l'ensemble du lagon nord, entre les passes de Poum et de Balade au sud, et le Grand Passage au nord, quatre balises répondeuses Trident avaient été installées sur les sites, choisis a priori, qui sont mentionnés dans le paragraphe 6.1.

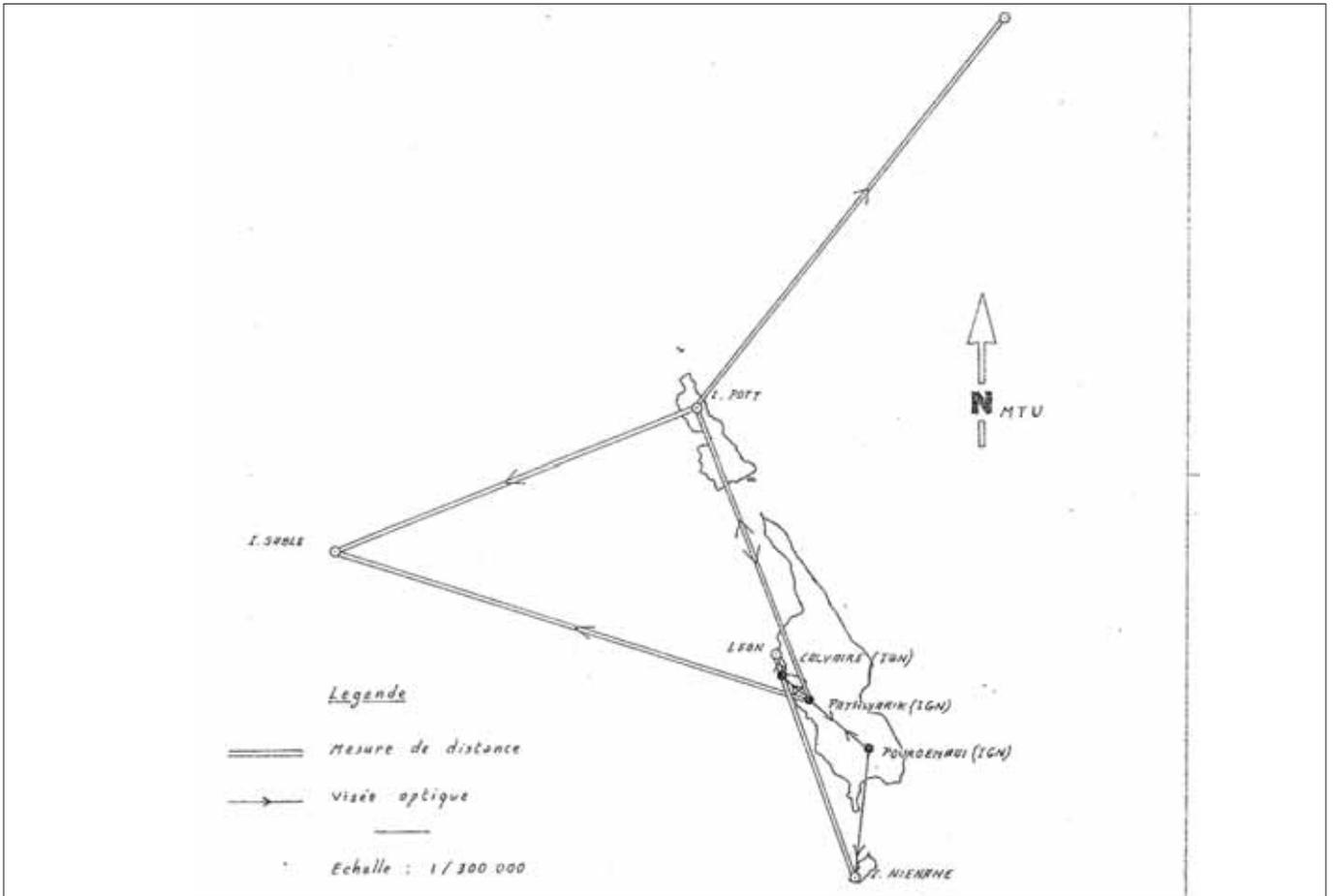
Les coordonnées des antennes sont rassemblées dans le second tableau ci-dessous. Les coordonnées de l'antenne mise en place sur l'île de la Surprise avaient été déterminées indirectement au moyen d'un récepteur de satellites Transit après que l'on ait contrôlé la valeur du décalage existant entre les systèmes géodésiques IGN 72 et WGS 72 ; les opérations correspondantes sont décrites dans le chapitre 9 ci-après.

Il aurait sans doute été possible de faire fonctionner ces balises de manière entièrement automatique, à l'aide de panneaux solaires de dimensions réduites et d'une horloge programmable par exemple, mais la mission ne disposait pas du matériel nécessaire.

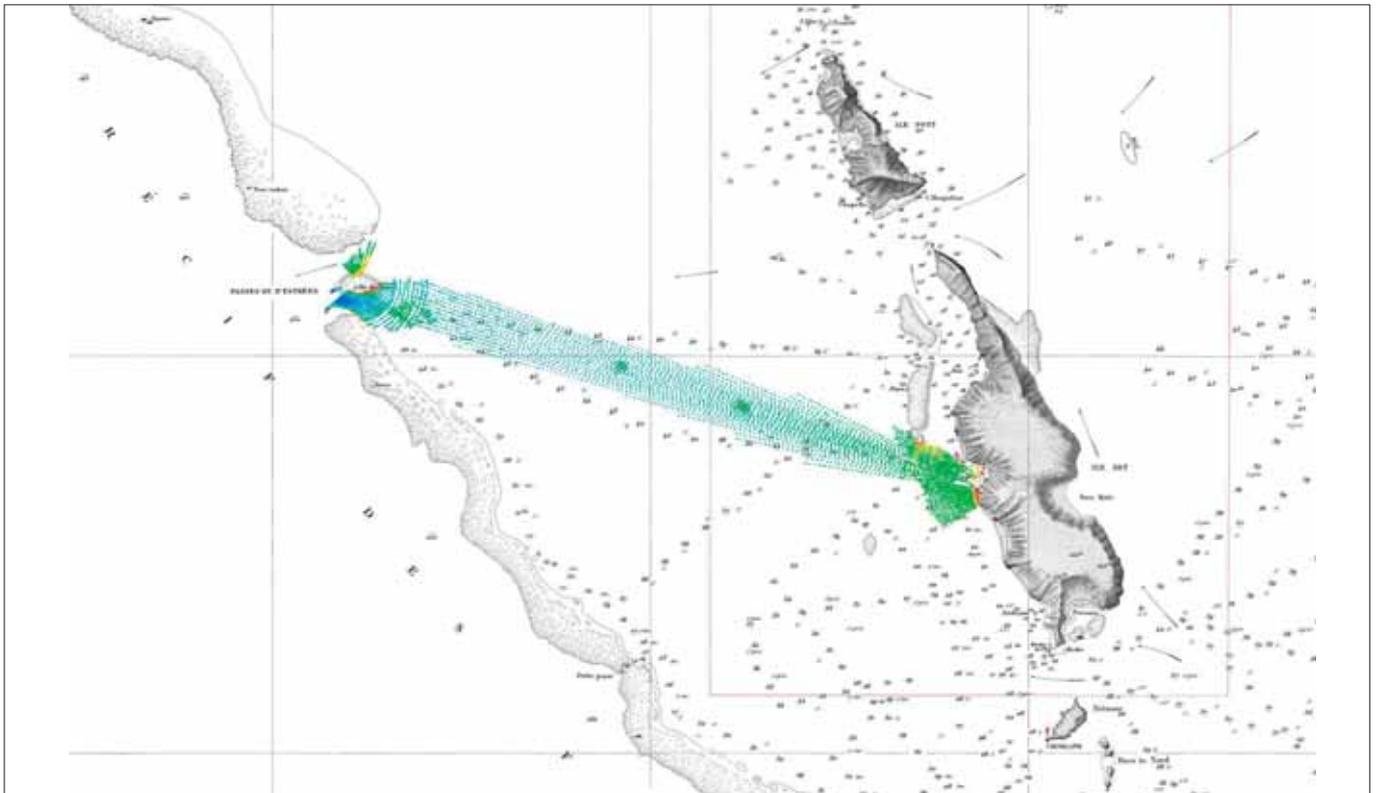
Une autre raison imposait dans la pratique le gardiennage de certaines balises, c'était la directivité des aériens utilisés<sup>58</sup> qui

<sup>58</sup> La balise installée sur le sommet de Poum possédait un aérien omnidirectionnel et n'était pas gardiennée. L'entretien des batteries était effectué une ou deux fois par semaine depuis Nouméa.

<sup>57</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 736, p. 224 et suivantes.



Travaux de triangulation dans le grand lagon nord (annexe 1 au rapport particulier n° 123 MOP/NP du 26 avril 1982)



Levé des passes du d'Estrées à Uala

impliquait des changements d'orientation pour assurer une couverture convenable de l'ensemble de la zone. De très mauvaises liaisons entre l'aéronef et les équipes en place sur les îlots ne permirent pas toujours d'obtenir l'orientation la plus favorable pour les aériens installés au centre de la zone. Ce désagrément n'eut pas d'incidence visible sur l'acquisition des mesures, mais il entraîna très vraisemblablement une dégradation de leur précision évaluée à 15 mètres environ.

Le nombre des heures de vol allouées pour cette mission étant déjà insuffisant pour assurer la couverture photographique de la totalité du grand lagon nord, on ne chercha pas à recueillir les données complémentaires qui auraient permis de contrôler, et éventuellement améliorer, la cohérence des positions des différentes balises entre elles.

Ces différents facteurs limitèrent à une quinzaine de mètres environ la précision de la position de l'aéronef déterminée au moment de chaque prise de vue.

L'acquisition et l'enregistrement des quatre distances mesurées simultanément étaient assurés à bord de l'aéronef par un boîtier prototype, spécialement conçu à cet effet, qui pouvait être commandé soit par une horloge interne, soit par l'obturateur de la chambre de prise de vues. On vérifia à plusieurs reprises, en photographiant à très basse altitude la piste d'un aérodrome, dans le prolongement de laquelle avait été ins-

tallée une balise Trident, qu'il n'existait aucun décalage systématique entre l'instant de la prise de vue et l'enregistrement des données de localisation. Il faut noter toutefois que la commande du boîtier d'acquisition par l'obturateur de la caméra cessa de fonctionner avant la fin du levé aérien ; les opérations durent être achevées avec une caméra commandée manuellement et un système d'acquisition enregistrant les données de localisation à cadence élevée<sup>59</sup> ; ceci constitua un facteur supplémentaire de dégradation de la précision dans la zone située aux abords du grand récif de Cook, entre la Grande Fausse passe et la passe de Balade.



Avion de surveillance maritime type Neptune P2H

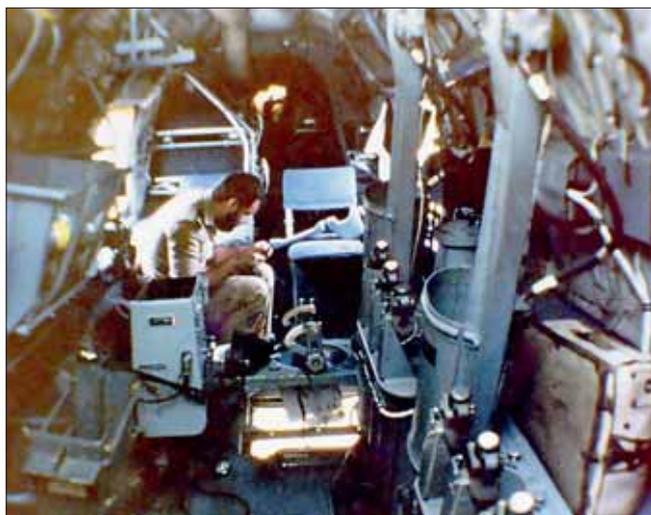
#### Coordonnées des points utilisés (IGN 72)

Nom	Repère	X	Y
Ile Nienane	Douille scellée sur un rocher	360 960,35	7 807 148,43
Pathiyarik	Douille scellée sur un rocher	358 175,34	7 818 196,25
Aérodrome île Art	Douille en bordure de la piste	359 857,50	7 818 381,69
Feu Uala	Axe lanterne	357 250,32	7 818 398,80
Pylône météo Uala	Angle sud-ouest du pylône	357 930,9	7 819 693,1
Clocher Uala	Axe croix	357 873,89	7 819 707,37
Calvaire Mandelane	Axe croix	356 482,44	7 819 716,09
Oratoire Uala	Axe croix	358 035,7	7 819 757,9
Calvaire Uala	Axe croix	358 224,7	7 819 876,2
Léon	Douille scellée sur un rocher	356 168,33	7 821 163,50
Ile de sable passes du d'Estrées	Tube métallique scellé dans borne	328 470,3	7 827 610,4
Ile Pott	Piquet scellé dans un rocher	350 954,6	7 836 490,2
Ile Pott (sommet)	Douille scellée sur un gros rocher	350 996,9	7 836 573,7
Ile Ongombua	Tube métallique scellé dans borne	370 238,4	7 860 869,0

#### Coordonnées des antennes TRIDENT utilisées (IGN 72)

Site antenne Trident	X	Y	Z(m)	Observation
Sommet de Poum	399 243	7 759 163	419	
Ile Ongombua	370 237	7 860 872	8	Aérien directif
Ile de sable passes du d'Estrées	328 469	7 827 613	8	Aérien directif
Ile de la Surprise	297 816	7 954 979	8	Rattachement indirect

<sup>59</sup> L'instant de la prise de vue apparaissant sur la vue elle-même, on se contenta ensuite de comparer l'horloge interne de la caméra avec celle du système d'acquisition.



Levé photographique aérien à bord d'un Neptune P2H

#### 6.4.2 Prises de vues

L'altitude de vol de l'aéronef utilisé étant limitée à 12 000 pieds, l'échelle des photographies ne pouvait être beaucoup plus faible que 1/40 000, et encore à condition d'utiliser un objectif super grand-angulaire. L'équipement standard du Neptune P2H de l'escadrille 9S basée en Nouvelle-Calédonie fut donc remplacé par une chambre Wild RC9 équipée d'un objectif Super Aviogon II ( $f = 88,5$  mm) et disposée sur une suspension universelle type IGN.

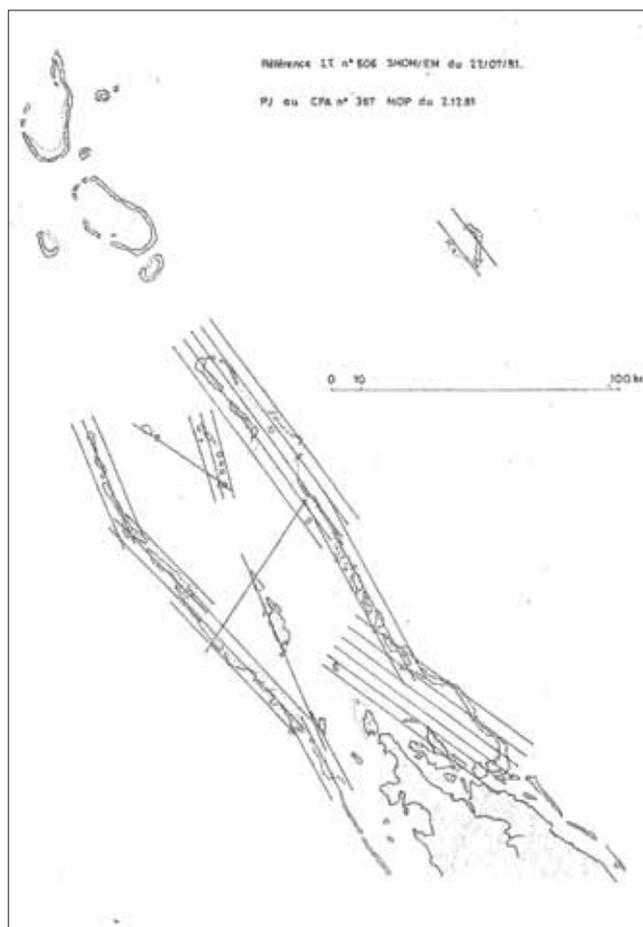
Indispensable pour réduire le nombre des clichés à exploiter, l'objectif super grand-angulaire entraînait par ailleurs une lourde contrainte en liant la période favorable aux prises de vues à la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon (phénomène du point chaud). En fonction d'autres impératifs, spécifiques cette fois à l'équipage de l'avion, deux heures seulement tous les deux jours pouvaient être consacrées au levé, à condition que la couverture nuageuse s'y prête.

La totalité des prises de vues sur les récifs barrières, et les récifs isolés à l'intérieur du lagon, a ainsi pu être faite entre le 15 octobre et le 20 novembre 1981, à une époque qui avait été préalablement choisie en fonction des conditions météorologiques régnant habituellement sur le territoire.

Les récifs barrières et leurs abords immédiats ont été couverts par plusieurs passes parallèles à la direction générale de chaque tronçon à peu près rectiligne, et faiblement espacées de façon à assurer un recouvrement transversal supérieur à 50%. Cette surabondance d'informations présentait en effet un intérêt évident pour le mode d'exploitation envisagé ; elle avait en outre l'avantage de faciliter la détection des récifs faiblement immergés et de petites dimensions, qui ne sont souvent visibles qu'avec des conditions d'éclairage bien particulières.

Les récifs isolés détectés à vue, au cours du survol du lagon effectué de façon aussi systématique que possible, en l'absence de moyens de navigation adéquats, ont été en principe couverts à l'aide de deux passes effectuées à  $90^\circ$  l'une de l'autre.

Le plan des vols de l'aéronef fait l'objet de la planche ci-dessous.



Plan de vol des passes suivies par le Neptune P2H

#### 6.4.3 Exploitation des photographies

En l'absence d'un appareil de stéréorestitution moderne à Nouméa, on a effectué un redressement des clichés à la chambre claire pour obtenir les minutes définitives du dessin de topographie.

Faute de pouvoir faire autrement, on a supposé que la position déterminée à bord de l'aéronef au moment de la prise de vue était celle du point central de la photographie ; ceci conduisait à admettre que chaque photographie avait été prise selon un axe rigoureusement vertical<sup>60</sup>. À l'aide d'une chambre claire, qui permettait de faire coïncider les détails visibles sur deux photographies contiguës, on a également reporté, de l'une sur les autres, les centres des photographies de façon à obtenir un minimum de quatre points connus sur chaque cliché.

Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée au cours de ces diverses opérations.

L'obligation d'opérer avec un soleil très bas a eu une conséquence inattendue, mais particulièrement intéressante dans

<sup>60</sup> On acceptait ainsi des erreurs planimétriques de l'ordre de 300 mètres en limite de cliché, pour une erreur d'inclinaison par rapport à la verticale voisine de  $3^\circ$ , et une échelle proche de 1/40 000.

cette région où n'existe aucun balisage. Grâce à la longueur de leur ombre, il a été possible a posteriori de repérer très facilement les rochers élevés et les épaves toujours découvertes, qui constituent les seuls véritables amers susceptibles d'aider le navigateur à déterminer sa position.

#### 6.4.4 Résultats obtenus

Malgré la simplicité des hypothèses faites et l'absence de base scientifique pour le procédé employé, les contrôles effectués n'ont permis de mettre en évidence aucune erreur inadmissible. C'est ainsi que :

- dans la partie sud du lagon, au voisinage de la passe de Poum, on a observé une excellente cohérence entre les documents établis en 1981 à l'échelle 1/40 000 et les documents plus anciens<sup>61</sup>,
- au voisinage des passes du d'Estrées, qui ont fait l'objet d'un levé bathymétrique à l'échelle 1/10 000, aucune anomalie n'a été découverte lors de l'établissement d'un document de synthèse provisoire,
- sur le trait de côte des îles hautes (îles Yandé, Art et Pott) situées dans la partie sud-ouest du lagon, qui ont déjà été cartographiées par l'IGN à l'aide des méthodes classiques de la photogrammétrie, l'écart maximum observé reste inférieur à 100 mètres, soit 2,5 millimètres à l'échelle des documents établis.

En définitive, les erreurs planimétriques que comportent les documents établis en redressant simplement des photographies aériennes prises à partir d'un avion localisé par un système radioélectrique sont du même ordre de grandeur que celles qui auraient pu être obtenues à partir de scènes Landsat en employant les techniques les plus élaborées<sup>62</sup>.

On doit cependant porter au crédit de la méthode utilisée une richesse beaucoup plus grande dans les détails représentés, susceptible, en l'absence d'autres moyens, de faciliter la navigation dans le lagon.

#### 6.4.5 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 19 minutes de dessin de topographie à l'échelle 1/40 000.

<sup>61</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Boulard (mai 1974 – mai 1976), *Annales Hydrographiques* n° 754, p. 100 et suivantes

<sup>62</sup> Il n'existait en 1981 aucune scène Landsat couvrant le grand lagon nord. Cette région est d'autre part située hors des limites de la zone couverte par la station de réception Landsat installée à Alice Springs en Australie.

## 7. CHAPITRE 7. Atoll d'Ouvéa

Travaux à Ouvéa ; levé des abords du wharf de Wadrilla.

### 7.1 Généralités

L'île Ouvéa est, par sa superficie, la plus importante des îles d'un atoll de forme approximativement triangulaire qui aurait basculé, la côte est émergeant jusqu'à une altitude légèrement supérieure à quarante mètres, tandis que la pointe ouest s'enfonçait.

Les profondeurs que l'on rencontre dans le lagon croissent régulièrement d'est en ouest, et l'isobathe 10 mètres se situe à une distance du rivage de l'île Ouvéa qui varie de 3 000 mètres, au nord de Wadrilla, à plus de 4 000 mètres devant Fayaoué qui est le village le plus important.

En 1972, la mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie a effectué un levé détaillé aux abords de Fayaoué afin de définir un point de débarquement accessible aux bâtiments de type EDIC.

En 1976, un wharf de 260 mètres de long environ a été construit à 5 kilomètres au nord du village de Wadrilla, permettant l'accostage de caboteurs dont le déplacement en charge atteint 1 000 tonnes. Le levé des abords immédiats de ce wharf a été effectué par la mission océanographique du Pacifique entre le 27 avril et le 8 mai 1981 avec les moyens du BH2 *Boussole*. La préparation des travaux avait été confiée à une équipe de deux personnes qui s'était rendue à Ouvéa du 5 au 11 avril en mettant à profit un déplacement de l'EDIC 9083 stationné à Nouméa.

La présence du BH2 *Boussole* à Ouvéa a permis d'effectuer, outre le levé bathymétrique des abords du wharf de Wadrilla, quelques travaux de géodésie parmi lesquels une tentative de rattachement de l'île Beautemps-Beaupré à l'île Ouvéa (voir planche § 7.3).

### 7.2 Géodésie

7.2.1 La cartographie de l'île Ouvéa et d'une partie de l'atoll a été faite par l'IGN, à l'aide de photographies aériennes, en s'appuyant sur quatre stations astronomiques, non rattachées entre elles, situées respectivement à :

- Anemata (îlot situé à la pointe ouest de l'atoll),
- Saint-Joseph (nord de l'île Ouvéa),
- Waguélo (partie centrale de l'île Ouvéa),
- Mouli (sud de l'atoll).

Les positions de ces stations avaient été déterminées à l'aide d'un astrolabe à prisme, au début des années cinquante ; la précision des coordonnées indiquées dans les documents de l'IGN était en conséquence assez faible, et ne devait pas dépasser quelques centaines de mètres à cause des variations locales de la déviation de la verticale.

Pour les travaux effectués en 1981 on a utilisé la projection UTM, fuseau 58, et le système géodésique défini par la MHNC en 1972 qui s'appuie sur le point astronomique de Waguélo<sup>63</sup>.

7.2.2 La disponibilité d'un récepteur de satellites JMR 4 à l'époque des travaux a été mise à profit pour effectuer des observations à partir du BH2 *Boussole* accosté au wharf de Wadrilla (voir photo § 7.3).

Les résultats de ces observations sont rassemblés dans le premier tableau page suivante. Elles ont été faites les 28 et 29 avril 1981.

Ces valeurs ont permis de mettre en évidence un décalage du système géodésique MHNC 72, par rapport au système WGS 72 ; la position du bâtiment dans le système WGS 72 se trouve en effet décalée dans le 293,5 et à 750 mètres de la position déterminée dans le système MHNC 72.

On peut noter que ce décalage est sensiblement différent de celui obtenu à Nouméa, décalage qui a été en outre confirmé dans la région des îles Belep ; sur la Grande Terre, les positions exprimées dans le système WGS 72 sont en effet décalées dans le 046 et à 450 mètres par rapport à celles déterminées dans le système IGN 72.

Il existerait donc un décalage de 1 000 mètres environ entre les systèmes géodésiques actuellement utilisés sur la Grande Terre d'une part et sur l'île Ouvéa d'autre part.

7.2.3 Des observations Doppler au point fixe sur l'île Beautemps-Beaupré étaient prévues pendant la durée des travaux à Ouvéa. Une panne sur le seul récepteur JMR 4 dont disposait alors la mission n'a pas permis d'obtenir plus de dix positions satellites, ce qui a semblé insuffisant pour assurer un rattachement correct de l'atoll de Beautemps-Beaupré à l'atoll d'Ouvéa, dans la mesure où les deux atolls sont en vue directe l'un de l'autre.

Les résultats de ces observations sont rassemblés dans le deuxième tableau de la page suivante. Elles ont été faites les 30 avril et 1<sup>er</sup> mai 1981.

On a alors tenté de préciser la valeur du rattachement, issu des seules mesures Doppler, à l'aide d'un cheminement effectué au telluromètre MRA 5 et au théodolite Wild T3. Ce cheminement (voir schéma superposé à la planche § 7.3) est orienté au départ de l'île Beautemps-Beaupré par une détermination d'azimut sur étoiles basses, dont la précision est de l'ordre d'une dizaine de secondes ; il s'appuie sur l'île Anemata (point astronomique de l'IGN) et sur l'île du Styx pour aboutir à Fayaoué.

<sup>63</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Milard (janvier 1972 – mai 1974), *Annales Hydrographiques* n° 749, p. 125 et suivantes.

Observations Doppler à Wadrilla (wharf)  
(moyenne adoptée : 20° 32' 55,490" S, 166° 33' 40,733" E)

N° sat.	Jour	Heure (UTC)	Latitude (sud)	Longitude (est)	Élévation (en degré)	Azimut au lever
140	117	23h04	20° 32' 55,848"	166° 33' 40,787"	36	NW
130	118	01h40	56,349"	41,223"	39	NE
130		03h28	56,763"	40,165"	22	NW
110		08h20	55,467"	41,912"	37	SE
110		10h06	54,790"	39,472"	22	SW
140		10h24	54,565"	37,273"	75	SE
130		13h04	54,083"	43,172"	18	SE
130		14h50	54,215"	39,456"	45	SW
190		16h02	54,614"	41,204"	33	SE
190		17h48	58,205"	42,665"	28	SW

Observations Doppler à Beautemps-Beaupré  
(moyenne adoptée : 20° 24' 27,926" S, 166° 08' 51,415" E)

N° sat.	Jour	Heure (UTC)	Latitude (sud)	Longitude (est)	Élévation (en degré)	Azimut au lever
200	119	09h46	20° 24' 29,396"	166° 08' 50,498"	15°	SW
140		11h20	26,653"	50,813"	21°	SW
130		14h02	28,076"	51,854"	67°	SE
190		16h58	28,749"	50,731"	74°	SE
200		20h44	26,524"	52,274"	27°	NW
110		21h04	29,094"	51,733"	76°	NE
130	120	13h12	28,019"	52,237"	25°	SE
130		14h58	27,387"	51,241"	33°	SW
190		16h10	28,420"	52,236"	45°	SE
200		19h36	26,943"	50,528"	69°	



*Cheminement au telluromètre MRA 5 à Fayaoué*

Le peu de temps consacré à ces travaux n'a pas permis d'effectuer les mesures angulaires avec toute la précision désirable ; il n'a pas été possible, par exemple, de déterminer la fermeture angulaire de ce cheminement à partir de Fayaoué, ni d'attendre des conditions favorables pour effectuer la visée sur l'île du Styx depuis l'île Anemata<sup>64</sup>.

Malgré ces imperfections, on a pu établir que les positions moyennes données par le système Transit à Beautemps-Beaupré et à Wadrilla étaient cohérentes à dix mètres près environ, écart qui a été pratiquement annulé en choisissant pour ces deux sites des coordonnées géographiques légèrement différentes des valeurs moyennes précédemment adoptées, mais compatibles avec les résultats du cheminement, soit en définitive les coordonnées ci-dessous :

- stèle Beautemps-Beaupré

Lat. 20° 24' 27,498" sud (au lieu de 27,926"),  
Long. 166° 08' 51,696" est (au lieu de 51,415") ;

- antenne BH2 *Boussole* à Wadrilla

Lat. 20° 32' 55,934" sud (au lieu de 55,490"),  
Long. 166° 33' 40,978" est (au lieu de 40,733").

<sup>64</sup> Cette visée a été faite sur un signal en limite de portée optique avec une réverbération importante. Le repère d'azimut de la station astronomique de l'IGN à Anemata n'a pu être utilisé du fait de l'imprécision de sa définition : « bord » d'un îlot éloigné.

La stèle érigée sur l'île Beautemps-Beaupré, à laquelle on a attribué les coordonnées précédentes, est ainsi l'origine d'un système géodésique local, baptisé MOP-81-BB, proche du système WGS 72, qui a été utilisé pour les travaux effectués dans l'atoll de Beautemps-Beaupré.

Comme pour les systèmes géodésiques IGN 72 sur la Grande Terre, et MHNC 72 sur l'île Ouvéa, les coordonnées dans le système MOP-81-BB sont exprimées en projection UTM, fuseau 58, sur l'ellipsoïde international. Les formules ci-après permettent de passer du système MOP-81-BB au système MHNC 72, et inversement.

$$X \text{ (MHNC 72)} = X \text{ (MOP-81-BB)} + 678 \text{ m}$$

$$Y \text{ (MHNC 72)} = Y \text{ (MOP-81-BB)} - 295 \text{ m}$$

7.2.4 Les différentes mesures effectuées (dont la mesure directe du gisement et de la distance de la borne IGN « Saint-Joseph » depuis le wharf de Wadrilla) permettent en définitive de rattacher grossièrement au système MOP-81-BB trois des quatre points astronomiques dont les positions ont été déterminées par l'IGN.

Le tableau ci-après récapitule les résultats obtenus.

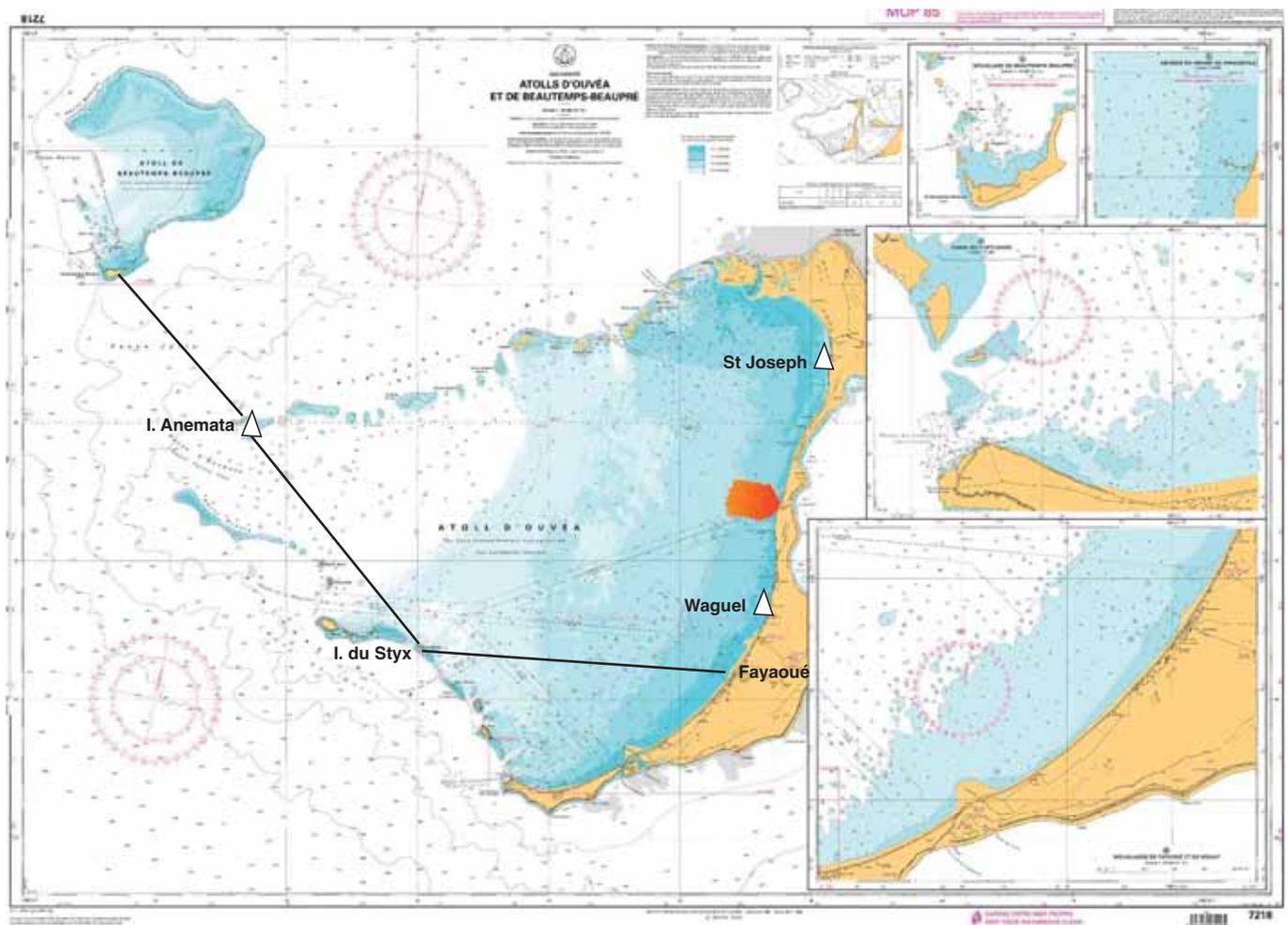
Nom du point	Position IGN par rapport à la position MOP-81-BB
Waguelo	Dans le 113,5 et à 750 mètres
Saint-Joseph	Dans le 071 et à 620 mètres
Anemata	Dans le 140 et à 65 mètres

Ces décalages sont aisément explicables avec les variations des déviations de la verticale en chaque point. Ils expliquent en particulier pourquoi la topographie établie par la MOP aux abords du wharf de Wadrilla n'est pas parfaitement compatible avec la topographie représentée sur la carte IGN au 1/50 000 qui couvre l'atoll.

### 7.3 Bathymétrie – Recherches d'obstructions

L'échelle relativement grande qui était imposée par les instructions techniques (1/2 500) a conduit à parcourir plus de 250 milles de profils radioguidés pour couvrir une zone de 2 000 mètres de large environ, s'étendant jusqu'à 3 000 mètres de la côte pour atteindre l'isobathe 10 mètres.

Outre la station de guidage optique située à l'enracinement du



Ouvéa : levé wharf de Wadrilla et rattachement géodésique  
 Δ : points astro IGN

wharf, deux autres stations optiques, situées respectivement au nord et au sud du wharf, contribuaient à la localisation de la vedette de sonde.

En dépit de l'échelle assez grande choisie, le levé régulier ne permettait pas d'assurer la couverture totale du fond avec les ondes ultrasonores ; il ne permettait donc pas de garantir la détection de toutes les structures coralliennes susceptibles de constituer des obstructions.

La détection à vue à partir d'une embarcation était par ailleurs



*Station de guidage optique au wharf de Wadrilla  
(en fond le BH2 Boussole à quai)*

trop incertaine, malgré la clarté des eaux et la petitesse des profondeurs, pour que l'on puisse lui accorder une totale confiance<sup>65</sup>. L'emploi du sonar latéral a ainsi paru nécessaire, et la zone située dans le prolongement du wharf a été explorée assez rapidement, sur des profils espacés de 100 mètres, sans chercher à obtenir partout un recouvrement total des zones insonifiées.

De nombreux « relèvements de fond », qui avaient été détectés au sondeur vertical pendant le levé régulier, n'ont pas été retrouvés lors des recherches approfondies effectuées sur des profils rapprochés. Le sonar latéral a été mis en œuvre pour investiguer ces échos douteux et conclure à leur inexistance.

#### 7.4 Marée

Toutes les sondes ont été corrigées de la marée enregistrée à l'enracinement du wharf de Wadrilla, où avait été installé un observatoire de marée.

Cet observatoire a fonctionné du 6 avril au 7 mai 1981, et l'on a déterminé un niveau de réduction des sondages concordant avec celui de Nouméa, ainsi qu'avec celui de Thio. C'est la concordance avec Thio qui a permis, en pratique, d'obtenir le résultat le plus précis.

Le niveau de réduction des sondes adopté se trouve à 3,473 mètres au-dessous du repère de nivellement SHOM scellé à l'enracinement du wharf.

La marée a également été observée aux abords de Fayaoué

<sup>65</sup> On peut noter que le haut-fond coté 2,6 mètres, situé dans le 215 et à 1 050 mètres de l'extrémité du wharf, a été décelé à vue sans avoir marqué les enregistrements du sondeur.

où avait été installée, du 7 au 9 avril, une échelle de marée rattachée aux repères de nivellement mis en place par la MHNC en 1972. Ces observations ont été faites pendant plus de 48 heures consécutives par l'équipage de l'EDIC 9083. L'exploitation des données, dont la qualité est incertaine, a permis de vérifier la cohérence des niveaux de réduction adoptés à Fayaoué en 1972 et à Wadrilla en 1981.

#### 7.5 Topographie

Le trait de côte a été dessiné sur les minutes établies à partir d'une photographie aérienne en noir et blanc, à l'échelle 1/10 000, prise par le Neptune P2H de l'escadrille 9S, équipé d'une caméra Wild RC9 avec un objectif super grand-angle. Prise au lever du soleil, pour éviter les reflets indésirables, cette photographie ne permettait pas de déceler les hauts-fonds susceptibles d'exister dans la zone levée ; c'est ainsi, par exemple, que sur cette image :

- le haut-fond découvrant, situé dans le 025 et à 400 mètres de l'extrémité du wharf, était difficilement décelable,
- le haut-fond coté 2,6 mètres, situé dans le 215 et à 1 050 mètres de l'extrémité du wharf, n'était pas visible.

#### 7.6 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 1 minute à l'échelle 1/2 500 regroupant la bathymétrie et la topographie,
- 2 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/2 500,
- 3 minutes de recherches ponctuelles de hauts-fonds à l'échelle 1/2 500,
- 1 minute de synthèse à l'échelle 1/5 000,
- 1 dossier de mesure de courant,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 9 fiches d'amers ou de points géodésiques,
- 1 fiche de station de magnétisme.

Les coordonnées des points utilisés sont indiquées dans les tableaux en page suivante.

Coordonnées des points utilisés (MHNC 72)

<b>Nom</b>	<b>Repère</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Wharf de Wadrilla (S)	Borne sud	663 389,24	7 725 681,29
Wharf de Wadrilla (N)	Borne nord	664 459,69	7 729 499,58
Wharf de Wadrilla	Borne située à l'enracinement	663 685,51	7 726 594,49
Wharf de Wadrilla	Repère en bronze coincé entre les lames de bois	663 436,78	7 726 673,88
Pylône PTT Fayaoué	Axe	660 563,8	7 715 306,5
Entrepôt de Wadrilla	Axe pignon, de couleur verte	663 714	7 726 623,5
Saint-Joseph	Axe borne IGN	666 373,81	7 739 190,23

Coordonnées des points utilisés (MOP-81-BB)

<b>Nom</b>	<b>Repère</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Ile Beautemps-Beaupré	Axe poteau noyé dans la stèle	619 753,68	7 742 961,65
Ile Beautemps-Beaupré (O)	Repère en bronze scellé dans le corail	618 480,42	7 742 977,47
Atoll Beautemps-Beaupré	Repère en bronze scellé sur îlot corallien	620 285,57	7 743 240,00
Ile Anemata	Axe repère IGN scellé dans le corail	627 807,49	7 732 167,94
Ile du Styx	Repère en bronze scellé dans le corail	639 327	7 717 729

## 8. CHAPITRE 8. Îles Chesterfield, atolls Bampton et Bellona

Travaux sur le plateau des îles Chesterfield.  
Reconnaissance des récifs et localisation des terres émergées dans les atolls Bampton et Bellona.

### 8.1 Généralités

Dans ce qui suit, on a baptisé plateau des îles Chesterfield la structure géologique qui termine, au nord, l'alignement de guyots que constituent les bancs Capel, Kelso, Argo et Nova. Ce plateau porte, du sud vers le nord, les récifs Bellona, les îles Chesterfield et enfin les récifs Bampton. Il est séparé du banc de Lansdowne à l'est par un chenal dont la profondeur est très vraisemblablement partout supérieure à 2 000 mètres.

Cette région est actuellement représentée, à l'échelle 1/1 900 000, sur la carte 5978 dans le portefeuille des cartes marines françaises. Le grand nombre des indications douteuses et des légendes dissuasives qui y figurent fait qu'elle reste très peu fréquentée, y compris par les bâtiments stationnaires de la marine en Nouvelle-Calédonie et par les navires de recherches océanographiques.

L'interprétation des différentes scènes Landsat qui couvrent cette région, et les rares données bathymétriques disponibles, permettent cependant d'ébaucher une description géomorphologique du plateau des îles Chesterfield. Il pourrait s'agir d'une structure couverte d'environ 400 mètres d'eau, bordée sur la majeure partie de sa périphérie par des profondeurs dépassant 2 000 mètres, et qui porterait cinq atolls distincts :

- au sud, l'atoll Bellona, dont la barrière récifale est déjà en partie représentée sur les cartes, avec les récifs Bellona sud, Bellona du milieu et Bellona nord-ouest,
- au centre, trois atolls plus petits, éventuellement assimilables à des bancs en l'absence de barrière émergée,
- au nord, l'atoll Bampton, dont la barrière récifale sud porte les îles Chesterfield.

Chaque atoll comprendrait une barrière récifale, immergée ou non, visible de façon discontinue sur les scènes Landsat disponibles, et un lagon dont la profondeur moyenne serait sans doute supérieure à cinquante mètres pour les plus étendus. Les instructions reçues prescrivaient de « localiser, en s'aidant du système Transit, les terres émergées...Reconnaître et placer les récifs avec la précision nécessaire pour établir une cartographie à une échelle au moins égale à 1/500 000... ».

Les travaux correspondants, qui sont détaillés dans les paragraphes suivants, ont été effectués par le BH1 *L'Estafette* entre le 18 octobre et le 5 décembre 1980, puis du 16 novembre au 8 décembre 1981. Une reconnaissance préalable avait été faite au mois de juin 1980 par le patrouilleur *La Dunkerquoise*, commandée par le capitaine de corvette Blanc, en vue de déterminer les terres émergées dont la localisation précise était justifiée ; il s'agit des îles et îlots énumérés ci-dessous, cités dans l'ordre chronologique des travaux effectués :

- île Longue, ainsi que l'ensemble des îles et îlots regroupés sous l'appellation « îles Chesterfield »,

- île Bampton,
- caye de l'Observatoire,
- île Reynard,
- îlot Avon nord (la position de l'îlot Avon sud résulte de l'exploitation de scènes Landsat et de photographies aériennes),
- caye Skeleton,
- caye de sable.

Les deux derniers cités sont les seuls emplacements sur lesquels n'existe absolument aucune trace de végétation. Leur altitude au-dessus du niveau moyen, de l'ordre de trois mètres, en fait cependant de véritables îlots, même s'ils sont susceptibles d'être recouverts par les vagues lors d'une tempête, ou même déplacés. Bien qu'elles aient été édifiées sur le même modèle et avec le même soin que partout ailleurs, les stèles construites sur ces deux cayes ne peuvent en conséquence être considérées comme de véritables repères « durables ».

Les nombreux bancs de sable découverts que l'on observe parfois sur les récifs ne peuvent être considérés comme des terres émergées (avec la signification donnée à cette expression par la Convention des Nations unies sur le droit de la mer). Leur existence est cependant mentionnée sur les documents établis, et ils sont représentés sur les minutes de topographie dessinées à l'échelle 1/50 000.

### 8.2 Géodésie – Localisation

8.2.1 Le système de localisation par satellites Transit ayant été utilisé, tous les calculs de géodésie ont été effectués en employant la projection UTM, fuseau 57, définie sur l'ellipsoïde associé au système WGS 72. C'est cette même projection qui a été utilisée pour établir les minutes de rédaction définitives à une échelle supérieure ou égale à 1/50 000. Pour les minutes de bathymétrie ou de topographie établies à une échelle inférieure ou égale à 1/500 000, on a utilisé directement des canevas de Mercator calculés sur l'ellipsoïde international, sur lesquels on a reporté les positions géographiques données par le récepteur de satellites Transit dans le système WGS 72.

8.2.2 La synthèse des mesures Doppler effectuées au point fixe à terre, en 1980 et 1981, sur le plateau des îles Chesterfield est donnée dans le tableau ci-contre.

Les coordonnées géographiques indiquées sont celles de la stèle qui matérialise l'emplacement occupé par l'antenne associée au récepteur de satellites JMR 4. Elles sont déduites des valeurs calculées par le microprocesseur du récepteur, à partir des éphémérides opérationnelles, en employant cependant deux configurations différentes du logiciel en 1980 et 1981.

8.2.3 Lorsque la durée des mesures Doppler sur un site donné était suffisamment longue, plusieurs repères durables ont été mis en place ; ces repères ont été rattachés entre eux par une triangulation locale dont l'orientation a été définie par des observations sur le soleil (azimut par l'heure), effectuées au théodolite Wild T2, au voisinage du lever et du coucher. C'est le cas des îles Chesterfield, de l'île Bampton et de la caye de l'Observatoire.

Synthèse des mesures Doppler au point fixe à terre sur le plateau des îles Chesterfield

Nom du site	Durée des mesures (heures L)	Coordonnées adoptées (WGS 72)	Hg* (m)	Carte marine de référence	d Lat.** d Long.	Observations
Ile Bampton	du 09.11.80 à 16h00 au 16.11.80 à 07h00	19° 07' 21,37" sud 158° 36' 12,06" est	74	5978 1/1 900 000	+ 0,5' - 3,1'	100 passages dont l'élévation est comprise entre 10° et 78°
Ile Reynard	du 18.11.81 à 08h30 au 20.11.81 à 16h30	19° 12' 51,6" sud 158° 56' 25,8" est	78	5978 1/1 900 000	+ 1,5' - 2,0'	13 passages dont l'élévation est comprise entre 20° et 78°
Caye Skeleton	du 02.12.81 à 14h00 au 04.12.81 à 17h00	19° 26' 24,2" sud 158° 52' 56,3" est	78	5978 1/1 900 000	+ 0,8' - 4,5'	24 passages dont l'élévation est comprise entre 19° et 72°
Ilot Avon nord	du 20.11.81 à 11h00 au 22.11.81 à 13h00	19° 30' 40,5" sud 158° 14' 59,8" est	70	5978 1/1 900 000	- 0,3' - 1,1'	24 passages dont l'élévation est comprise entre 15° et 78°
Ile Longue	du 20.10.80 à 18h00 au 27.10.80 à 07h45	19° 52' 08,19" sud 158° 18' 40,37" est	69	5978 1/1 900 000	+ 0,5' - 1,0'	99 passages dont l'élévation est comprise entre 10° et 78°
Caye de l'Observatoire	du 27.11.80 à 15h30 au 03.12.80 à 15h00	21° 24' 51,10" sud 158° 51' 04,74" est	65	349 (UK) 1/72 636	- 0,5' - 0,1'	77 passages dont l'élévation est comprise entre 10° et 78°
Caye de sable	du 06.12.80 à 07h00 au 06.12.80 à 17h00	21° 27' 23,0" sud 159° 33' 29,3" est	68	5978 1/1 900 000	- 0,9' - 0,5'	5 passages dont l'élévation est comprise entre 22° et 43°

\* Altitude du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde associé au système WGS 72.

\*\* Coordonnées adoptées moins coordonnées carte (+ vers le nord et + vers l'est)

8.2.4 En 1980, pendant la durée des mesures Doppler sur l'île Longue, la mission a en outre mis en place des repères durables sur quatre îlots, qui ont été rattachés à l'île Longue par une triangulation locale. Il s'agit de l'îlot du Passage, des deux îlots du Mouillage situés les plus au nord, et de l'îlot Loop.

La mesure de la distance initialement prévue entre l'île Longue et l'îlot du Passage n'ayant pu être acquise, du fait d'un mauvais fonctionnement du telluromètre, a été remplacée par la mesure d'une distance plus courte, entre les deux îlots du Mouillage. Le quadrilatère, formé par l'île Longue, l'îlot du Passage et les deux îlots du Mouillage, a ensuite fait l'objet d'une compensation par la méthode des directions.

En 1981, à l'occasion d'un passage du BH1 *L'Estafette* au mouillage de l'île Longue, la mesure de distance entre la stèle Transit de l'île Longue et le repère de l'îlot du Passage a pu être faite sans aucune difficulté au telluromètre MRA 5 ; cette mesure a donné une valeur réduite de 8 827,26 mètres au lieu de 8 826,57 mètres, valeur déduite des coordonnées adoptées en 1980, soit un écart de 0,69 mètre.

Il paraît raisonnable d'accorder un poids plus important à la mesure faite en 1981, ce qui conduit à admettre une erreur d'échelle voisine de  $0,8 \cdot 10^{-4}$  dans le système géodésique adopté en 1980.

Les coordonnées des points bornés sont indiquées dans les tableaux page suivante ; le premier tableau indiquant les coordonnées des points bornés en 1980, ainsi que les corrections à apporter à ces coordonnées pour prendre en compte l'erreur d'échelle. Le schéma de triangulation ainsi que les conditions des mesures réalisées au telluromètre aux Chesterfield sont présentés page 57.

Coordonnées des points bornés sur le plateau des îles Chesterfield

Nom du site	Repère	X MOP-80-L	dx* (m)	Y MOP-80-L	dy* (m)	Observations**
Ile Longue	Axe tube métallique scellé dans borne	427 826,62	0,00	7 802 800,51	0,00	Altitude 6,5 m
Ile Longue	Axe poteau noyé dans stèle Transit	427 888,62	0,00	7 802 874,73	0,00	Altitude 6,0 m
Ile Longue	Sommet stèle Dumont d'Urville	427 916,12	0,00	7 802 857,55	0,00	Altitude 6,3 m
Ilot du Passage	Repère scellé dans tube en PVC	435 340,60	+0,58	7 798 144,36	-0,37	
Ilot du Mouillage (N)	Repère scellé dans tube en PVC	443 386,27	+1,21	7 803 801,17	+0,07	
Ilot du Mouillage (S)	Repère scellé dans tube en PVC	444 476,11	+1,30	7 801 382,20	-0,12	
Ilot Loop	Repère scellé dans tube en PVC	445 119,21	+1,35	7 791 935,46	-0,86	
Ilot Loop	Mire Figaret sur mât support d'antenne désaffecté	445 144,70	+1,35	7 791 934,51	-0,86	
Ilot Loop	Angle supérieur gauche stèle centenaire rattachement	445 083,08	+1,35	7 791 941,02	-0,86	
Ilot Loop	Centre lettre « M » sur stèle Dunkerquoise 1968	445 148,51	+1,35	7 791 922,48	-0,86	

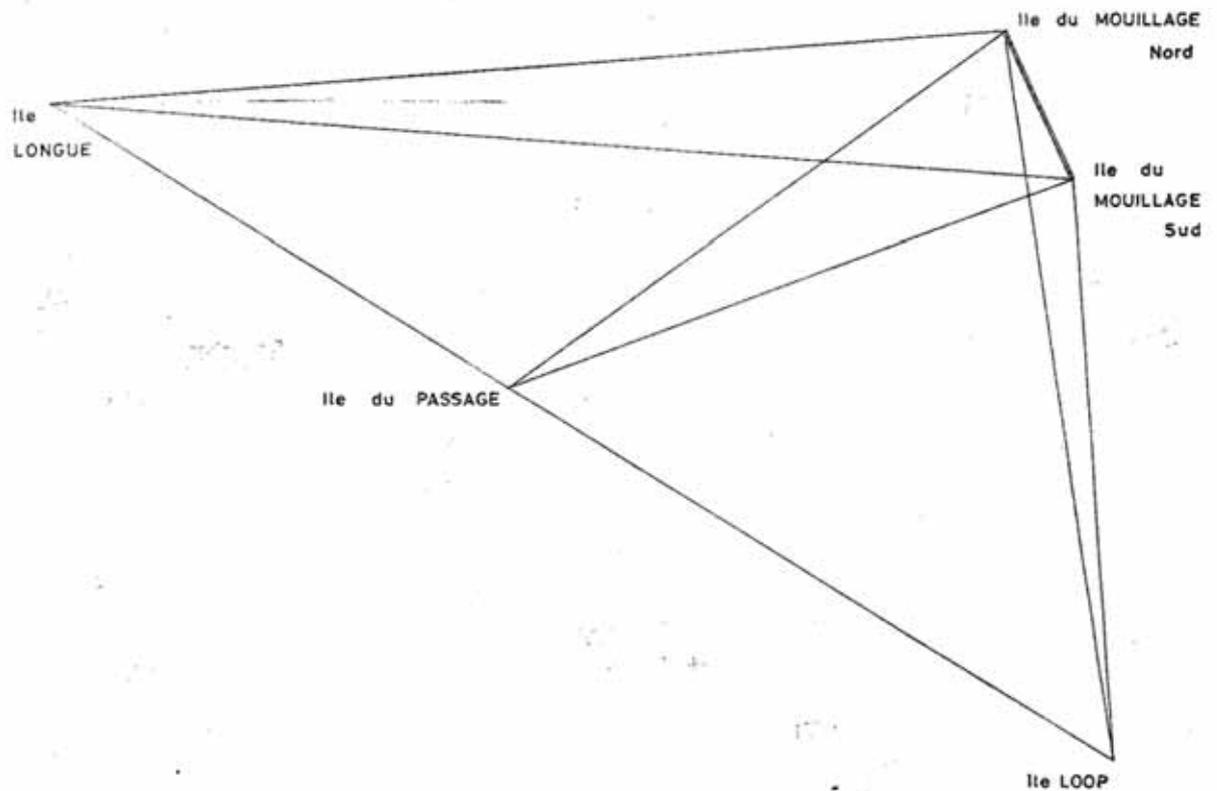
\* Ajouter aux coordonnées indiquées pour prendre en compte une erreur d'échelle dans le système géodésique MOP-80 de l'île Longue.

\*\* L'altitude des différents repères (sommet des bornes) est comptée au-dessus du niveau moyen observé pendant la durée des mesures Doppler.

Nom	Repère	X MOP-80-B	Y MOP-80-B	Observations**
Ile Bampton	Axe poteau noyé dans stèle Transit	458 283,05	7 885 559,96	Altitude 5,8 m
Ile Bampton	Repère scellé dans tube en PVC	458 384,79	7 885 601,84	Altitude 5,6 m
Ile Bampton	Boulon scellé dans tube en PVC	458 277,66	7 885 603,08	Altitude 6,3 m

Nom	Repère	X MOP-80-O	Y MOP-80-O	Observations**
Caye de l'Observatoire	Axe poteau noyé dans stèle Transit	484 590,54	7 632 004,51	Altitude 3,9 m
Caye de l'Observatoire	Axe partie supérieure tube métallique	484 848,58	7 631 924,36	Altitude 4,8 m
Caye de l'Observatoire	Axe partie supérieure tube métallique	484 335,87	7 631 913,68	Altitude 5,2 m

ILES CHESTERFIELD  
Schéma de la triangulation locale



Echelle : 1/100 000 environ

Conditions dans lesquelles ont été réalisées les mesures au telluromètre sur le plateau des îles Chesterfield

Paramètres	1980	1981
Distance mesurée	2 653,15 m	8 827,26 m
Conditions météorologiques	Soleil de plomb	Ciel couvert, pluie fine
Trajet des ondes radioélectriques	Parallèle au rivage, au-dessus d'une langue de sable	Au-dessus de la mer
Stations	Excentrées aux deux extrémités	Centrées aux deux extrémités

### 8.3 Marée

Des observations de marée ont été effectuées chaque fois que la durée des mesures Doppler était suffisamment longue pour autoriser une concordance avec la marée enregistrée à Nouméa. La durée des périodes d'observation, sur les trois emplacements étudiés, n'est cependant pas suffisante pour que l'on puisse tirer des conclusions définitives sur le régime des marées dans cette région. On peut toutefois remarquer que l'amplitude de la marée est très légèrement inférieure à celle observée à Nouméa, et que l'inégalité diurne est plus marquée. Le décalage avec Nouméa des heures des pleines et basses mers est négligeable en vive-eau ; l'écart, en moyenne supérieur à une heure, observé à la caye de l'Observatoire, correspond à une période de morte-eau et ne peut pas être considéré comme significatif (les pleines et basses mers avaient lieu, en moyenne, une heure et trente minutes après celles de Nouméa).

Plusieurs niveaux des plus basses mers ont été définis sur zone, niveaux qui ont été matérialisés par des repères de nivellement.

8.3.1 La marée a été enregistrée à proximité immédiate de l'île Longue, côté lagon, du 21 au 27 octobre 1980. Le niveau des plus basses mers qui a été déterminé par concordance est situé à :

- 6,24 mètres sous le repère SH scellé au pied de la stèle Dumont d'Urville,
- 6,70 mètres sous le repère SH scellé dans la stèle matérialisant l'emplacement de l'antenne Transit.

Deux repères placés sur l'îlot Loop ont d'autre part été rattachés, via un nivellement hydrographique, aux repères mis en place sur l'île Longue. Le niveau des plus basses mers aux abords de cet îlot est situé à :

- 3,85 mètres sous le repère SH scellé dans la stèle commémorative,
- 4,215 mètres sous le repère SH scellé au sommet de la borne marquée MOP 80.

8.3.2 La marée a aussi été enregistrée à proximité immédiate de l'île Bampton du 9 au 16 novembre 1980, avec cependant une interruption de douze heures environ du 13 au 14 novembre. Le niveau des plus basses mers qui a été déterminé par concordance est situé à :

- 5,11 mètres sous le repère SH scellé dans la stèle Transit,
- 4,83 mètres sous le repère SH scellé au pied de la borne marquée MOP 80 (repère identifié par la lettre B),
- 5,60 mètres sous le boulon scellé au pied de la borne marquée MOP 80 (repère identifié par la lettre C).

8.3.3 La marée a enfin été enregistrée à proximité immédiate de la caye de l'Observatoire, du 27 novembre au 3 décembre 1980. Le niveau des plus basses mers qui a été déterminé par concordance est situé à :

- 3,77 mètres sous le repère SH scellé dans la stèle Transit,
- 4,60 mètres sous le repère SH scellé au pied de la borne marquée 0042,
- 4,18 mètres sous le repère SH scellé au pied de la borne marquée 0040.

### 8.4 Recherches de hauts fonds

Des recherches de hauts-fonds ont été conduites dans la région des îles Chesterfield uniquement. Elles ont été faites « à vue », à partir d'une vedette qui a exploré un secteur de six milles de rayon, approximativement centré sur la pointe nord de l'île Longue, et allant de l'est nord-est jusqu'au sud-est environ. On a recherché en priorité les hauts-fonds portés sur la carte marine 5978, à jour de sa correction numéro 18 ; seule la sonde 7 mètres, située dans le 104 et à 4 600 mètres de la pointe nord de l'île Longue, n'a pas été retrouvée.

La vedette était positionnée en gisement et distance radar depuis le BH1 *L'Estafette* au mouillage dans le NE de l'île Longue (en 19° 51' 23" S et 158° 19' 00" E, moyenne des observations Doppler). L'imprécision des relèvements radar (la vedette n'étant pas toujours visible depuis le bâtiment) a pu être en partie levée en comparant la minute de construction et la minute de topographie établie à partir de photographies aériennes.



VH9 à couple du BH1 *L'Estafette* au mouillage

Les hauts-fonds recherchés en vedette, qui étaient dans leur grande majorité situés dans une zone couverte par les nuages sur les photographies disponibles, ont été reportés avec leur profondeur sur la minute de topographie. Le pointillé qui les entoure englobe toutes les déterminations de position faites dans leur voisinage, y compris celles faites par le patrouilleur *La Dunkerquoise* lors de sa mission de reconnaissance.

### 8.5 Topographie

8.5.1 Les îles Chesterfield sont couvertes par de nombreuses photographies aériennes verticales, à des échelles variant entre 1/2 000 et 1/40 000. La couverture la plus récente a été faite à l'échelle 1/40 000 par un aéronef Neptune P2H de l'aéronautique navale utilisant une caméra Wild RC9.

C'est cette dernière couverture, effectuée au mois de décembre 1980<sup>66</sup>, qui a été utilisée pour dessiner une minute de topographie, à l'échelle 1/50 000, du triangle formé par les îles Chesterfield. Le calage des photographies a été fait avec quelques difficultés car les points placés sur le terrain, limites de végétation sur certains îlots par exemple, n'étaient pas visibles sur les photographies.

<sup>66</sup> Ces photographies n'étaient pas disponibles au moment des opérations, elles n'ont pu en conséquence être utilisées pour orienter les travaux sur zone.

Les îlots et les bancs de sable découvrants qui n'étaient pas visibles sur les photographies ont été dessinés en s'aidant des relevés topographiques effectués sur le terrain, et des photographies à plus grande échelle.

Les limites des zones parsemées de hauts-fonds dangereux visibles sur les photographies aériennes à l'échelle 1/40 000 ont été reportées sur cette minute de topographie.

8.5.2 Une topographie expéditive du trait de côte de l'île Reynard et de l'îlot Avon nord a été faite pour faciliter le calage des scènes Landsat et des photographies aériennes dont disposait la mission.

8.5.3 La répartition des mesures Doppler au point fixe à terre, auxquelles s'ajoutait la station Doppler faite par le BH1 *L'Estafette* au mouillage à proximité des récifs Bellona sud, convenait pour effectuer un calage des images Landsat à l'échelle 1/500 000 couvrant le plateau des îles Chesterfield.

Malgré les déformations inhérentes aux systèmes de représentation utilisés, différents sur l'image Landsat et sur la minute de topographie, tracée en projection de Mercator sur l'ellipsoïde international à l'échelle 1/500 000 (à la latitude  $20^{\circ} 30'$ ), la mise en place des images Landsat par rapport aux points de calage n'a présenté aucune difficulté ; la minute de topographie établie est donc en pratique une copie des images sur films négatifs dont disposait la mission.

L'exploitation des photographies aériennes à l'échelle 1/40 000, couvrant les îles et les récifs situés au nord des îles Chesterfield, nécessitait par contre des points de calage supplémentaires.

Les positions de ces points, au nombre de dix, ont été obtenues en utilisant une vedette équipée d'un récepteur de satellites JMR 4. Pendant la durée du passage d'un satellite, cette vedette restait au mouillage à proximité immédiate d'un détail topographique identifié sur les photographies.

On a pu vérifier, à la suite d'une expérimentation conduite à Nouméa, que la précision des positions ainsi obtenues était analogue à celle obtenue au point fixe à terre avec un passage de satellite isolé.

L'exploitation de ces photographies aériennes a été faite de la manière suivante. Les récifs visibles sur chacune des passes de l'avion photographe ont été dessinés sur un calque à l'échelle des photographies, chaque photographie étant mise en place par rapport à la précédente en s'appuyant sur les détails facilement identifiables. Chaque bande comprise entre deux points de calage connus a ensuite été réduite à l'échelle 1/50 000 et le dessin reporté sur une minute de topographie.

Exceptionnellement on a pu utiliser comme point de calage un détail topographique dont la position provenait de l'exploitation d'une bande adjacente (c'est en particulier le cas de la passe, orientée nord-est sud-ouest qui couvre les récifs Bampton nord).



*Equipage d'une VH9 rentrant d'une mission de piquage de photos aériennes récupéré au moyen d'une coralline (atoll Bampton)*

On peut estimer à 500 mètres environ la précision de la localisation des détails représentés sur les minutes de topographie établies.

Les limites de la couverture photographique et les points de calage ainsi que les coordonnées des stations Doppler effectuées en vedette sont représentés respectivement sur la planche et dans le tableau page suivante.

## 8.6 Courantométrie

Une mesure de courant a été faite à proximité de la passe de l'île Longue, du 24 au 27 octobre 1980. L'appareil, immergé à cinq mètres sous la surface, était mouillé dans le 025 et à 0,8 mille de la stèle Dumont d'Urville.

Des mesures de courant à cinq mètres sous la surface ont été effectuées à partir du BH1 *L'Estafette* au mouillage devant la caye de l'Observatoire, pendant une douzaine d'heures du 27 au 28 octobre 1980, puis du 29 novembre au 1<sup>er</sup> décembre 1980. Le bâtiment était mouillé dans le NNW de l'île, à 1 mille environ.

Une mesure a également été effectuée, dans les mêmes conditions, depuis le bâtiment au mouillage dans le 058 de l'extrémité ouest des récifs Bellona sud et à 1,52 mille, du 17 au 19 novembre 1980.

## 8.7 Magnétisme

Les mesures de la déclinaison magnétique effectuées sur l'île Longue ( $10^{\circ} 35' E$ ) et sur l'île Bampton ( $10^{\circ} 22' E$ ) sont compatibles avec les indications portées sur la carte générale 101 GS publiée par le SHOM.



Coordonnées des stations Doppler effectuées en vedette en 1981 dans l'atoll Bampton

Repère	Latitude (sud)	Longitude (sud)	Jour (est)	Heure (Z)	N° Sat.	Élévation (en degrés)	Numéros des photographies concernées (Mission SHOM-1980-CHES/400)
A	19° 28' 52,1"	158° 46' 34,8"	339	02h42	190	50	167 – 168 – 169
B	19° 24' 36,1"	158° 55' 04,4"	321	23h58	480	33	162 – 22 – 23
C	19° 18' 56,4"	158° 56' 45,4"	321	22h10	480	27	18 – 19 – 20
D	19° 05' 57,9"	159° 00' 04,1"	338	00h10	130	62	2 – 3 – 4 – 10 – 11
E	18° 58' 24,7"	158° 54' 28,4"	338	03h32	190	55	33 – 34
F	19° 04' 37,5"	158° 48' 16,3"	338	05h44	200	53	106 – 107
G	19° 03' 32,9"	158° 26' 06,2"	337	02h36	190	34	42 – 43 – 44 – 46 – 47 – 48 – 49 – 57
H	19° 07' 13,1"	158° 23' 45,1"	337	01h00	130	24	51
I	19° 39' 23,9"	158° 13' 01,0"	324	22h48	480	73	84 – 85 – 86 – 87 – 92 – 93
J	19° 41' 45,1"	158° 14' 51,9"	325	00h16	130	45	86 – 87 – 88 – 94 – 95

## 8.8 Toponymie

Les toponymes portés sur la carte marine 5978 ont été repris dans leur majorité, à l'exception toutefois de certains termes génériques qui n'avaient plus de raison d'être, ou qui étaient directement issus de l'anglais. Les toponymes retenus, ainsi que les toponymes nouveaux proposés, sont portés sur la minute de topographie établie à l'échelle 1/500 000. Les principales différences, ainsi que les nouveautés, par rapport aux documents en service sont détaillées ci-dessous.

8.8.1 Ile Reynard (au lieu de Renard). C'est l'orthographe utilisée par monsieur Georges Pisier, historien et marin, dans un article intitulé « *Notes d'histoire calédonienne. Les petites dépendances de la Nouvelle-Calédonie.* » publié dans le bulletin de la société d'études historiques. D'autres précisions n'ont pu être obtenues, l'auteur n'ayant pu être joint au moment de l'établissement des documents.

8.8.2 Bancs de l'Estafette, de la Boussole et du Corail. Il est proposé de baptiser ainsi, du nom de chacun des bâtiments hydrographiques affectés à la mission, à l'époque des travaux détaillés dans ce rapport, les trois structures indépendantes qui apparaissent très nettement sur les scènes Landsat au sud et à l'est de l'îlot Loop.

A partir des données disparates, et assez imprécises, retrouvées dans les archives de la mission, on peut établir avec une quasi-certitude que ces structures correspondent à des atolls immergés, dont la barrière récifale serait à moins de 20 mètres de profondeur<sup>67</sup>, et sans doute moins de 10 mètres en certains endroits.

8.8.3 Bancs Bellona (au pluriel). Il est proposé de baptiser ainsi, en reprenant le toponyme qui figure déjà, mais à un emplacement différent, sur la carte marine 5978, l'ensemble des structures qui apparaissent sur les scènes Landsat à l'est des récifs Bellona nord-ouest.

<sup>67</sup> Il résulte des divers recoupements qui ont pu être effectués entre les données recueillies en 1980 et 1981, et celles qui étaient déjà disponibles, que les profondeurs inférieures à 20 mètres apparaissent sur les images Landsat (canal 4) dès lors qu'elles concernent des structures ayant une certaine étendue.

Ce toponyme est préféré à celui de « Bancs Minerva » car il est pratiquement certain que les structures concernées correspondent à une barrière récifale faiblement immergée (moins de 20 mètres de profondeur) qui ferme au nord-est un atoll en partie submergé qui devrait porter le nom de « atoll Bellona ».

8.8.4 Récif Desmazures. C'est le nom proposé pour une structure émergée non encore baptisée sur les cartes marines. Voici en effet ce qu'écrit monsieur Georges Pisier dans l'article déjà cité (cf. § 8.8.1 ci-dessus) :

« *La France se désintéressait de ces îlots perdus à 650 kilomètres de ces côtes. Mais en 1877 Alcide Jean Desmazures, ayant eu vent du projet du capitain anglais Josuah W. North de faire annexer l'archipel par les Britanniques, intervint auprès du gouverneur Olry afin qu'ils fussent devancés par la France. Le gouverneur envoya sur place le stationnaire à vapeur la "Seudre" et son commandant, le capitaine de vaisseau Guyon (père du futur gouverneur de la Nouvelle-Calédonie), en prit possession officiellement au nom de la France le 19 septembre 1877. Les Anglais ne réagirent pas, bien que l'archipel se trouvât à mi-distance entre la Nouvelle-Calédonie et la Grande Barrière australienne et qu'il ait été découvert par un de leurs compatriotes.* »

8.8.5 Caye de sable (au lieu de Sand Cay). Si l'on souhaite vraiment donner un nom à cet îlot, en tout point comparable à la caye Skeleton (cf. § 8.1 ci-dessus in fine), il pourrait être baptisé caye Noël, du nom du lieutenant de vaisseau français qui le premier, en 1879, fit un relevé hydrographique dans cette région.

8.8.6 Ilot de sable (au nord-est des récifs Bellona sud). Cette indication doit être supprimée, l'îlot de sable n'existant plus.

8.8.7 Roche Niger Head (à l'est des récifs Bellona sud). Cette indication doit être supprimée, il n'existe en effet aucun rocher remarquable dans cette région.

## 8.9 Documents établis

La liste des documents définitifs transmis à l'issue des travaux de rédaction est indiquée ci-dessous :

- 1 minute à l'échelle 1/50 000 regroupant la topographie et la bathymétrie dans les îles Chesterfield,
- 5 minutes de topographie à l'échelle 1/50 000 représentant les contours de l'atoll Bampton,
- 1 minute de topographie à l'échelle 1/500 000,
- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/500 000,
- 3 fiches d'observatoire de marée concernant l'île Longue, l'île Bampton et la caye de l'Observatoire,
- 7 fiches de points géodésiques concernant les îles Chesterfield (5), l'île Bampton (1) et la caye de l'Observatoire (1),
- 1 fiche de mesure Transit au mouillage concernant les récifs Bellona sud.

## 9. CHAPITRE 9. Récifs d'Entrecasteaux, atolls de la Surprise et de Huon

Levés dans la région des récifs d'Entrecasteaux.  
Travaux dans les atolls de la Surprise et de Huon.

### 9.1 Généralités

L'atoll de la Surprise fait partie des récifs d'Entrecasteaux. Il se situe au nord de la Nouvelle-Calédonie, dans le prolongement du grand lagon nord, dont il est séparé par le Grand Passage. Trois îles bordent le lagon, l'île de la Surprise au sud, et les îles Fabre et Le Leizour au nord. Ces deux dernières sont situées respectivement à l'ouest et à l'est d'une passe praticable.

La localisation précise de ces îles ne présentait aucun caractère d'urgence pour la délimitation de la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie, mais la localisation d'un aéronef pendant la couverture photographique du grand lagon nord imposait dans la pratique l'installation d'une balise répondeuse Trident sur l'île de la Surprise, puis la présence des bâtiments de la mission dans cette région pendant quelques semaines ; cette présence a été mise à profit pour effectuer les travaux détaillés ci-après.

Ces travaux ont été effectués, en trois phases, par le BH1 *L'Estafette* :

- du 28 juillet au 6 août 1981, mesures Doppler sur l'île de la Surprise et sur l'île Art, mise en place d'une infrastructure géodésique sur l'île de la Surprise et dans le grand lagon nord, installation d'un observatoire de marée aux abords immédiats de l'île de la Surprise,
- du 19 au 29 octobre 1981, mesures Doppler sur l'île Le Leizour, mise en place d'une infrastructure géodésique, rattachement de l'île Fabre, installation d'un observatoire de marée et début des sondages dans la passe,
- du 3 au 12 novembre 1981, achèvement des sondages dans la passe entre les îles Fabre et Le Leizour, puis sondages aux abords de l'île de la Surprise.

De par leur situation à l'extrême nord des récifs d'Entrecasteaux, l'île Huon et les récifs qui entourent son lagon ont une réelle importance pour les accords de délimitation de la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie avec le Vanuatu et les îles Salomon.

Les travaux dans l'atoll ont été effectués en deux phases :

- par le BH1 *L'Estafette* du 7 au 17 juin 1982,
- puis par le BH2 *Boussole* du 19 au 29 juillet 1982.

### 9.2 Travaux aux abords de l'île de la Surprise

#### 9.2.1 Géodésie

Des mesures Doppler sur l'île de la Surprise ont été faites sans interruption pendant 48 heures, entre le 29 juillet 1981 à 19h00 L et le 31 juillet 1981 à 22h00 L, à l'aide d'un récepteur Transit JMR 4. Ces mesures ont été interrompues par une panne qu'il n'a pas été possible de réparer sur place. La position moyenne adoptée dans le système WGS 72 est la suivante :

- 18° 28' 50,2" sud,

- 163° 05' 11,6" est,
- hauteur antenne : 78 mètres.

Des mesures Doppler ont également été faites, de jour seulement, sur le pylône météo du village de Uala (île Art), entre le 31 juillet 1981 et le 4 août 1981. La position moyenne adoptée dans le système WGS 72 est la suivante :

- 19° 42' 36,19" sud,
- 163° 38' 50,94" est,
- hauteur antenne : 109 mètres.

Cette dernière position a également été déterminée dans le système géodésique IGN 72, ce qui a permis d'obtenir la relation suivante<sup>68</sup> entre les coordonnées UTM dans chaque système, calculées chaque fois sur l'ellipsoïde international :

$$\begin{aligned} X(\text{IGN } 72) &= X(\text{WGS } 72) - 315,5 \text{ m,} \\ Y(\text{IGN } 72) &= Y(\text{WGS } 72) - 319,0 \text{ m.} \end{aligned}$$

C'est cette relation qui a été retenue pour définir sur l'île de la Surprise l'origine d'un système géodésique local, baptisé MOP-81-LS, proche du système IGN 72. Les coordonnées de ce point origine sont ainsi les suivantes :

- X = 297 639,63                      L = 18° 29' 00,465" sud,
- Y = 7 955 226,33                    G = 163° 05' 00,733" est.

L'orientation de ce système a été déterminée au moyen de visées sur étoiles basses ; la moyenne des observations effectuées sur quatre étoiles a permis d'adopter la valeur suivante : 305° 04' 55", pour l'azimut de la direction joignant les bornes repérées 0043 et 0041. Cette valeur est définie à une dizaine de secondes près.



*Mesure au telluromètre MRA 5 avec mât télescopique déporté (en fond le BH1 L'Estafette au mouillage devant l'île de la Surprise)*

L'échelle a été fixée par plusieurs mesures de distances au telluromètre MRA 5, dont une entre les bornes repérées 0043 et 0041.

#### 9.2.2 Bathymétrie

Le sondage du mouillage de l'île de la Surprise, et de la passe qui y conduit (voir planche en fin de chapitre § 9.2.2), a été ef-

<sup>68</sup> Cette relation est à rapprocher de celle obtenue à Nouméa, qui porte sur 89 passages (au lieu de 19 sur l'île de la Surprise et 20 sur l'île Art) :  $X(\text{IGN } 72) = X(\text{WGS } 72) - 323,4 \text{ m}$  et  $Y(\text{IGN } 72) = Y(\text{WGS } 72) - 311,6 \text{ m}$ .

fectué à une échelle voisine de 1/5 000 par une embarcation suivant des cercles centrés sur une balise répondeuse Trident implantée au nord de l'île. La position de l'embarcation était définie sur le profil par une visée optique issue d'une station proche de la balise servant de guide, et par une seconde distance donnée par une balise répondeuse Trident installée à la pointe sud-est de l'île.

Le temps qui a pu être consacré aux travaux n'a pas permis d'effectuer de recherches sur les relèvements de fond qui ont été décelés. On doit ainsi noter que :

- la sonde 4,4 mètres située en X = 297 880 et Y = 7 956 415 correspond à une tête de corail, détachée du platier et à peine visible sur les photographies aériennes, dont la cote peut être inférieure à cette valeur,
- la sonde 23,0 mètres située en X = 297 190 et Y = 7 955 810 correspond à l'extrémité nord d'une tache allongée de couleur claire, visible sur les photographies aériennes, et orientée dans la direction des profils suivis. Il est en conséquence possible que l'isobathe 25 mètres, dessinée aux abords de cette sonde sur la minute de bathymétrie, délimite en fait des profondeurs beaucoup plus faibles, sans doute voisines de dix mètres. Une mention du type « fonds moindres probables » devrait être portée sur le document cartographique définitif.

### 9.2.3 Topographie

La mission disposait d'une couverture photographique aérienne à une échelle voisine de 1/20 000 datant de 1965.

Plus de vingt détails caractéristiques visibles sur ces photographies ont été identifiés sur le terrain et placés à l'aide d'une embarcation dont la position était déterminée à l'aide d'une distance Trident et d'une visée optique. Ces photographies ont ainsi pu faire l'objet d'une restitution à la chambre claire.

Les récifs isolés qui se trouvent à l'intérieur du lagon, au nord-ouest de la passe principale, sont bien visibles sur les photographies aériennes et ont été pour la plupart reconnus en vedette ; leur profondeur est inférieure à 2 mètres.

### 9.2.4 Marée

Les sondes ont été corrigées de la marée observée au voisinage immédiat de l'île de la Surprise, où avait été installé un observatoire de marée (photo ci-contre). Cet observatoire a fonctionné sans interruption du 30 juillet au 4 août 1981, puis du 17 octobre au 17 novembre 1981.

Le zéro de réduction des sondes a été adopté en concordance avec celui de Thio (décalé en fait de quelques centimètres, l'expérience ayant montré que le niveau des plus basses mers à Thio était susceptible de descendre au-dessous du zéro hydrographique) car il est apparu que la concordance avec Nouméa ne donnait pas de bons résultats.

Les pleines et basses mers à l'île de la Surprise ont lieu en moyenne une heure après celles de Thio.

Le niveau utilisé pour la correction des sondages se trouve ainsi à 3,31 mètres sous le repère SHOM scellé dans la stèle Transit.



Observatoire de marée installé à l'île de la Surprise

### 9.2.5 Courants

Des mesures de courant ont été faites à partir de bâtiments au mouillage dans le nord-est de l'île.

### 9.2.6 Information nautique

L'altitude de l'île de la Surprise atteint 6 mètres au sommet de la dune située dans la partie nord-ouest. Cette dune est couverte par la végétation, parmi laquelle des cocotiers dont la hauteur au-dessus du sol approche quinze mètres (photo ci-dessous) ; c'est ce qui explique, sans doute, le texte qui figure dans les *Instructions Nautiques K VIII* (p. 71) : « ... et s'élève à une vingtaine de mètres. ».



Île de la Surprise vue du sud

### 9.2.7 Documents établis

Les documents suivants ont été établis par la mission :

- 1 minute regroupant la bathymétrie et la topographie à l'échelle 1/5 000,
- 1 minute de synthèse à l'échelle 1/20 000, rassemblant la topographie et un choix de sondes,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 1 fiche d'amer,
- 2 fiches de points géodésiques, dont les coordonnées figurent dans le tableau ci-dessous.

## Coordonnées des points utilisés (MOP-81-LS)

Nom	Repère	X	Y
Ile de la Surprise	Axe du poteau scellé dans une stèle	297 639,63	7 955 226,33
Ile de la Surprise	Axe tube métal dans borne marquée 0045	297 461,40	7 955 216,33
Ile de la Surprise	Axe piquet dans borne marquée 0041	297 483,64	7 955 208,34
Ile de la Surprise	Axe tube métal dans borne marquée 0043	297 817,80	7 954 978,88
Ile de la Surprise	Axe tube métal dans borne marquée 0042	297 639,97	7 955 092,62
Pylône météo	Axe anémomètre	297 599,75	7 955 339,91

### 9.3 Travaux aux abords de l'île Le Leizour

#### 9.3.1 Géodésie

Des mesures Doppler ont été faites sur l'île Le Leizour pendant environ cinq jours, entre les 21 et 26 octobre 1981. De nombreux incidents n'ont cependant pas permis de valider plus d'une quinzaine de passages de satellites pendant cette période. La position moyenne adoptée dans le système WGS 72 est la suivante :

- 18° 17' 06,9" sud,
- 163° 02' 34,8" est,
- hauteur antenne : 80 mètres.

Comme pour l'île de la Surprise, on a adopté sur l'île Le Leizour un système géodésique local défini sur l'ellipsoïde international. Bien qu'utilisant la même relation pour passer du système WGS 72 à un système proche du système IGN 72, ce nouveau système, baptisé MOP-81-LL, reste distinct de celui adopté pour l'île de la Surprise. Les coordonnées de l'origine de ce nouveau système sont les suivantes :

- X = 292 806,05            L = 18° 17' 17,163" sud,
- Y = 7 976 802,41        G = 163° 02' 23,944" est.

L'orientation de ce système local a été déterminé par des visées sur le soleil (azimut par l'heure) ; la moyenne des observations effectuées sur deux journées, au voisinage du lever et du coucher, a permis d'adopter la valeur suivante : 253° 35' 59,6", pour le gisement de la direction joignant les stèles édifiées sur l'île Le Leizour et sur l'île Fabre. Cette valeur est définie à une dizaine de secondes près.

L'échelle a été fixée par plusieurs mesures de distances au telluromètre MRA 5.

Les deux systèmes géodésiques locaux, définis sur l'île de la Surprise et sur l'île Le Leizour respectivement, sont vraisemblablement cohérents à une quinzaine de mètres près. Dans la mesure où les cocotiers de l'île de la Surprise sont nettement visibles depuis la stèle de l'île Fabre, le rattachement des deux systèmes entre eux était envisageable ; le temps consacré aux travaux sur place n'a pas permis de l'ébaucher.

#### 9.3.2 Bathymétrie

La passe située entre les îles Fabre et Le Leizour, ainsi que le mouillage pratiqué par le BH1 *L'Estafette* au sud de cette dernière, ont été sondés à l'échelle 1/5 000 par une embarcation suivant des profils guidés depuis l'île Fabre (voir planche en fin de chapitre § 9.3.2). La position de l'embarca-

tion sur le profil était définie, soit par deux visées optiques issues de stations implantées sur l'île Le Leizour (partie nord de la passe), soit par une visée optique et une distance mesurée avec une balise répondeuse Trident installée près de la station guide (le reste de la zone).

Le peu de temps consacré aux travaux n'a pas permis d'effectuer des recherches sur les relèvements de fonds détectés. Cette situation n'a probablement aucune incidence sur la confiance que l'on peut accorder aux documents établis, si l'on excepte la zone parsemée de hauts-fonds dangereux qui bordent le récif au sud-est de l'île Le Leizour.

La sonde 21,2 mètres située en X = 292 675 et Y = 7 974 490 correspond très certainement à une structure d'une vingtaine de mètres de hauteur (au-dessus du fond environnant) analogue à celles qui ont été trouvées par le BH1 *L'Estafette* pendant son transit à l'intérieur du lagon entre l'île de la Surprise et l'île Le Leizour.

#### 9.3.3 Topographie

La mission disposait d'une couverture photographique aérienne à une échelle voisine de 1/20 000 datant de 1965.

Ces photographies ont fait l'objet d'une restitution à la chambre claire, les seuls points de calage utilisés (au nombre de cinq) étant à la périphérie de l'île Fabre et à proximité des deux îlots de sable situés au sud-ouest de cette même île.

La topographie de l'île Le Leizour, assez peu visible sur ces images parce que placée au tout début d'une passe de l'aéronef, a été faite à l'aide de méthodes classiques.

Les seuls détails remarquables sont deux petites dunes sur l'île Fabre et un groupe de deux petits cocotiers sur l'île Le Leizour ; ces derniers constituent la seule végétation arborescente de ces îles.

#### 9.3.4 Marée

Les profondeurs mesurées ont été corrigées de la marée observée au voisinage immédiat de l'île Le Leizour, où avait été installé un observatoire qui n'a fonctionné que pendant la durée des travaux, c'est-à-dire du 21 au 27 octobre, puis du 5 au 7 novembre 1981. Le zéro de réduction des sondes a été adopté en concordance avec celui de Thio (décalé de quelques centimètres, cf. § 9.2.4 supra) ainsi qu'avec celui de l'île de la Surprise. On peut noter que malgré la proximité de ce dernier site (une vingtaine de kilomètres, dans le même lagon), les marées qui y ont été observées ne sont pas rigoureusement identiques ; il existe en particulier un décalage fréquent entre les heures des pleines et basses mers, celles observées à l'île Le Leizour ayant lieu en moyenne vingt minutes avant celles observées à l'île de la Surprise.

Le niveau utilisé pour la correction des sondages se trouve à 3,757 mètres sous le repère SHOM scellé dans la stèle de l'île Le Leizour.

### 9.3.5 Courants

Des mesures de courant ont été faites à partir du BH1 *L'Estafette* au mouillage dans le sud-est de l'île Le Leizour.

On a constaté une prédominance des courants sortants sur les courants entrants, plus marquée qu'aux abords de l'île de la Surprise, en particulier lorsque le régime des alizés est bien établi.

### 9.3.6 Documents établis

- Les documents suivants ont été établis par la mission :
- 2 minutes à l'échelle 1/5 000 regroupant bathymétrie et topographie,
  - 1 minute de synthèse à l'échelle 1/20 000 sur laquelle sont représentés un choix de sondes ainsi que la topographie,
  - 1 fiche d'observatoire de marée,
  - 6 fiches de points géodésiques, dont les coordonnées figurent dans le tableau en bas de page.

## 9.4 Travaux aux abords de l'île Huon

### 9.4.1 Géodésie

Des observations Doppler ont été faites sans interruption sur l'île Huon pendant près de six jours, du 9 juin 1982 à 16h00 L au 15 juin 1982 à 12h00 L, à l'aide d'un récepteur Transit JMR 4. La position de la stèle centrale de l'île, construite autour du mât supportant l'antenne du récepteur Transit, a été adoptée à l'issue de l'exploitation en temps différé des données recueillies (80 passages de satellites d'élévation comprise entre 15° et 78°).

Cette position a été obtenue dans le système géodésique WGS 72 :

- 18° 02' 32,88" sud,
- 162° 57' 31,55" est,
- hauteur antenne : 80 mètres.

Elle place l'île Huon à environ 3 200 mètres dans le 165 de la position indiquée sur la carte marine 5978.

Par analogie avec ce qui a été fait sur l'île de la Surprise, et en utilisant la même relation, on a défini sur l'île Huon un système géodésique local, baptisé MOP-82-HU, proche du sys-

tème géodésique IGN 72 défini sur la Grande Terre, dont l'origine est :

- X = 283 599,69                      L = 18° 02' 43,140" sud,
- Y = 8 003 580,15                 G = 162° 57' 20,706" est.

L'orientation de ce système a été déterminée au moyen de visées sur le soleil (azimut par l'heure) ; la moyenne des observations effectuées sur trois journées, au voisinage du lever et du coucher, a permis d'adopter la valeur suivante : 10° 27' 44", pour l'azimut de la direction joignant la stèle centrale à la stèle nord de l'île Huon. Cette valeur est définie à une dizaine de secondes près.



Mesures d'azimut au coucher du soleil sur l'île Huon

L'échelle a été fixée par des mesures faites à l'aide d'un géodimètre Aga 14 entre les trois repères durables installés sur l'île.

Les travaux de bathymétrie et de topographie dans l'atoll de Huon ont été faits en vedette uniquement et avec deux lieux de position seulement :

- un relèvement optique, issu d'une station de radioguidage installée sur un fût de 200 litres situé à proximité de la stèle centrale,
- une distance, mesurée à partir d'une balise répondeuse Trident placée à côté de la station de guidage.

La position de quelques points utilisés pour la mise en place du dessin de topographie, au-delà de la portée optique de la station de guidage, a été déterminée à l'aide d'un récepteur de satellites Transit embarqué sur une vedette ; cette vedette restait au mouillage, à proximité immédiate du détail topographique à localiser, pendant le passage d'un satellite.

### Coordonnées des points utilisés (MOP-81-LL)

Nom	Repère	X	Y
Ile Le Leizour	Axe poteau noyé dans stèle	292 806,05	7 976 802,41
Ile Fabre	Repère scellé dans tube en PVC surmontant une stèle	289 392,36	7 975 797,70
Ile de sable	Axe tube métal noyé dans stèle	285 933,95	7 973 652,40
Ile Le Leizour (S)	Axe tube métal dans borne marquée 0052	292 880,36	7 976 706,10
Ile Le Leizour (E)	Axe tube métal dans borne marquée 0053	293 191,51	7 976 800,75
Ile Le Leizour (W)	Axe tube métal dans borne marquée 0051	292 386,00	7 977 090,01

#### 9.4.2 Bathymétrie

La durée du séjour initialement prévue pour le BH1 *L'Estafette* aux abords de l'île Huon permettait d'effectuer le levé d'un mouillage à proximité de l'île, ainsi que le levé d'un chenal d'accès à partir de la grande passe (passe nord).

Le sondage d'un secteur centré sur la station de radioguidage et s'étendant du gisement 255° au gisement 310° a donc été effectué sur des profils régulièrement espacés de 2,5° (soit environ 200 mètres à 5 000 mètres, limite large des sondages) ; il a permis de mettre en évidence l'existence d'un seuil, donnant accès aux grandes profondeurs, approximativement orienté nord-sud, et situé à un peu plus de 5 000 mètres à l'ouest de l'île Huon.

Des profils intercalaires, avec sonar latéral en fonction, ont ensuite été sondés dans la partie centrale de la zone, là où le seuil se trouvait être le plus proche de l'île.

Les recherches de hauts-fonds décidées au vu des sondages ont été effectuées pendant la présence sur zone du bâtiment.

Durant le séjour effectué ensuite par le BH2 *Boussole*, pour compléter et achever les travaux de topographie, le sondage du secteur précédemment défini a été étendu vers le sud, jusqu'au gisement 242,5°, tandis que le sondage du mouillage lui-même était étendu vers le nord, afin de profiter de l'abri relatif qu'offre l'île quand soufflent les vents dominants (alizé du sud-est).

Les limites des zones sondées sont représentées sur la planche en fin de chapitre (cf. § 9.4.2). Bien qu'il soit difficile de définir une échelle de levé basée sur l'espacement maximum des profils (qui peut atteindre localement 300 mètres), on peut considérer que le levé du mouillage est à l'échelle 1/5 000, tandis que le levé de la route d'accès est à l'échelle 1/10 000.

L'exploration au sonar latéral ne répondant pas aux normes admises (recouvrements insuffisants entre profils adjacents), les enregistrements obtenus ont simplement fait l'objet d'une exploitation directe, « à vue », pour orienter les recherches de hauts-fonds effectuées pratiquement « en temps réel ».

#### 9.4.3 Topographie

La mission disposait d'une couverture photographique aérienne en noir et blanc, à une échelle voisine de 1/40 000. Ces photographies avaient été prises en 1982, par un aéronef de l'aéronautique navale équipée d'une caméra Wild RC9 équipée d'un objectif super grand-angulaire. Une quinzaine de détails identifiables sur les photographies et situés à moins de 7 000 mètres de l'île ont été localisés à l'aide d'une vedette dont la position était déterminée par un relèvement optique et une distance Trident.

Les positions de cinq autres détails, répartis au nord, à l'ouest et au sud de l'île, ont été déterminées à l'aide d'une vedette équipée d'un récepteur de satellites Transit pour faciliter le calage des images situées à plus de 7 000 mètres.

Les roches remarquables situées à la périphérie de l'atoll ont été identifiées directement sur les photographies aériennes, au cours d'une reconnaissance effectuée en vedette ; il s'agit de gros blocs de corail, de deux à trois mètres de hauteur, dont la position n'a semble-t-il pas évolué depuis 1939, époque du dernier levé topographique effectué sur l'atoll.

On a noté que la sonde affleurante représentée sur la carte marine 5978, dans le 273 et à 4 400 mètres du centre de l'île Huon, n'était pas visible sur ces photographies, tandis que la roche située dans le 250 et à 4 000 mètres environ (dont la position est signalée douteuse) a été retrouvée à la position indiquée, couverte de plus de dix mètres d'eau.

#### 9.4.4 Marée

La marée a été enregistrée à proximité immédiate de l'île du 9 au 15 juin 1982. La marée, de type semi diurne à inégalité diurne, est assez différente de celle observée à Nouméa ou à Thio ; on n'a donc pas effectué de concordance et on a adopté un niveau de réduction des sondages arbitraire, situé à 0,20 mètre au-dessous de la plus basse des basses mers enregistrées, par analogie avec la marée enregistrée à Nouméa et à Thio pendant la même période.

Les sondages effectués du 22 au 24 juillet 1982 ont été corrigés de la marée observée sur une échelle, en adoptant le niveau de réduction précédemment défini. On peut noter qu'une hauteur d'eau de 0,05 mètre au-dessus de ce niveau a été observée le 22 juillet à 15h00 L, à rapprocher de 0,05 mètre prédit à Thio (- 0,02 m observé) et 0,10 mètre prédit à Nouméa (- 0,04 m observé, à 15h00 L).

Le niveau de réduction des sondes adopté se trouve à 7,62 mètres au-dessous du repère de nivellement scellé dans la stèle centrale de l'île Huon.

#### 9.4.5 Courants

Une mesure de courant d'une durée de 72 heures a été faite à partir du BH1 *L'Estafette* au mouillage devant l'île Huon.

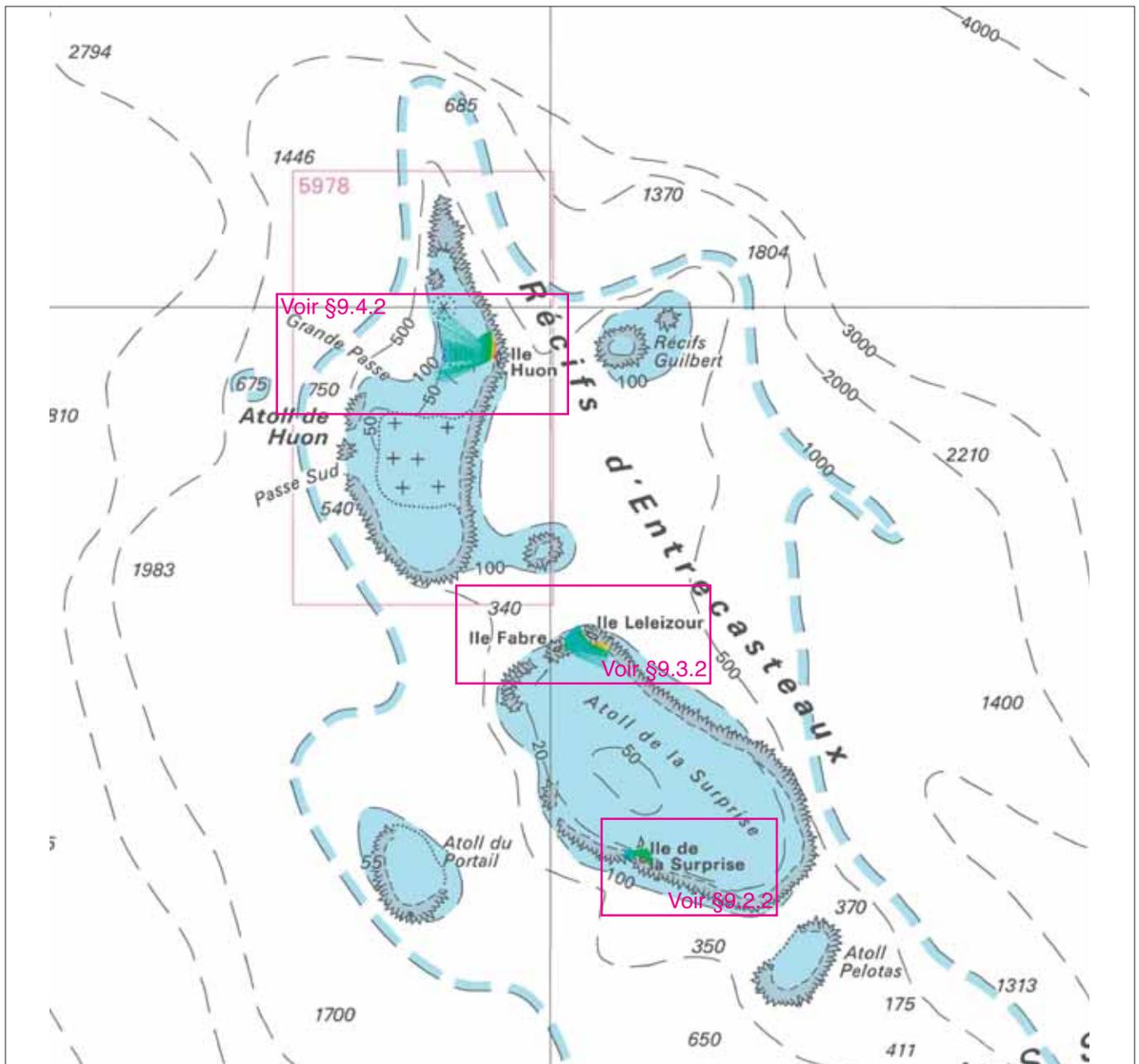
#### 9.4.6 Documents établis

Les documents listés ci-contre ont été établis par la mission :

- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/5 000,
- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 1 minute de synthèse, rassemblant un choix de sondes et la topographie, à l'échelle 1/40 000,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 3 fiches de points géodésiques, dont les coordonnées figurent dans le tableau page suivante.

Coordonnées des points utilisés (MOP-82-HU)

Nom	Repère	X	Y	Observation
Ile Huon	Axe tube métal noyé dans stèle centrale	283 599,69	8 003 580,15	Fiche géodésique
Ile Huon	Axe tube métal noyé dans stèle nord	283 707,13	8 004 200,26	Fiche géodésique
Ile Huon	Axe tube métal noyé dans borne sud	283 502,98	8 003 234,72	Fiche géodésique
Ile Huon	Station centrée sur fut de 200 l	283 594,31	8 003 573,93	Non durable
Ile Huon	Antenne Trident (juin 1982)	283 592,8	8 003 569,9	Non matérialisé



Recifs d'Entrecasteaux : travaux dans les atolls de la Surprise et de Huon

## 10. CHAPITRE 10. ZEE de la Nouvelle-Calédonie

Travaux divers dans la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie.

### 10.1 Iles Hunter et Matthew

L'installation d'une station de mesures Doppler sur ces deux îles, qui sont difficiles d'accès, présentait des risques pour le débarquement du personnel aussi bien que du matériel.

La détermination des positions de chacune a donc été faite à l'aide d'un récepteur de satellites Transit embarqué sur un bâtiment, en station à proximité d'un détail topographique bien identifié pendant le passage d'un satellite.

La position de l'île Hunter a ainsi été déterminée à partir de cinq stations donnant des résultats cohérents, tandis que l'île Matthew a été placée à partir de trois stations seulement.

Pour chacune de ces îles, on a établi une minute de topographie à une échelle voisine de 1/25 000 (un document unique pour les deux îles) à partir de photographies aériennes verticales. Le relief a été esquissé à partir de plusieurs photographies obliques, car la mission n'a pu disposer d'une couverture stéréoscopique.

Les altitudes des principaux sommets cotés sur le document établi ont été déterminées à l'aide d'un sextant (242 au lieu de 296 mètres pour le sommet de l'île Hunter, 198 au lieu de 142 mètres pour le sommet de l'île Matthew).

On peut estimer à 0,1 mille environ la précision des positions restituées sur la minute de topographie.

Une recherche de hauts-fonds effectuée dans le nord-ouest de l'île Matthew, pour retrouver deux sondes de 72 mètres signalées par l'avis escorteur *Protet*, n'a pas permis de trouver des profondeurs inférieures à 265 mètres. Cette recherche, pendant laquelle le bâtiment était localisé en relatif par rapport à l'île Matthew, a été rédigée sur une minute à l'échelle 1/250 000.

### 10.2 Ile Walpole

Pour les mêmes raisons que celles qui viennent d'être évoquées, la position de l'île Walpole a été déterminée à partir du bâtiment en station à proximité.

On doit noter que les dimensions horizontales de l'île, déterminées à partir de la seule photographie aérienne verticale disponible, n'étaient pas parfaitement cohérentes avec celles déduites des stations Doppler effectuées au nord et au sud de l'île (cinq stations au total). On a adopté en définitive une moyenne entre les données disponibles pour établir un dessin de topographie à une échelle voisine de 1/37 000 qui figure en cartouche sur une minute de bathymétrie à l'échelle 1/500 000 regroupant tous les sondages effectués aux abords de l'île Walpole.

Une profondeur de 10 mètres a été trouvée sur le banc de l'Orne, au nord de l'île. Ce haut-fond a été détecté à vue au cours des sondages ; il a été exploré par une embarcation

pneumatique dont la position était déterminée depuis le BH1 *L'Estafette*, à la dérive dans le nord du haut-fond, et lui-même localisé en azimut et distance radar par rapport à l'île Walpole.

La sonde 40 figurée sur les documents nautiques à 4 milles dans le sud-ouest de l'île a été recherchée sans succès, et on a conclu à son inexistence.

La sonde 183 située à 22 milles environ dans le sud-ouest de l'île Walpole a également été recherchée sans succès ; on a également conclu à son inexistence.

L'étendue des sondages effectués au voisinage de l'île Walpole est représentée sur la planche page suivante.

La densité des profils sondés aux abords des autres hauts-fonds douteux, figurés sur les cartes marines françaises 4310 et 6670, au sud de la Nouvelle-Calédonie, est insuffisante pour pouvoir conclure à leur inexistence.

### 10.3 Atoll de Beautemps-Beaupré

Une minute de topographie, représentant l'ensemble de l'atoll à l'échelle 1/50 000, a été établie à partir de photographies aériennes à une échelle voisine de 1/40 000.

Ces photographies ont été mises en place par rapport à des points de calage dont la position a été déterminée à l'aide d'une embarcation légère. Cette embarcation a effectué le tour de l'atoll en stationnant au-dessus de récifs remarquables ; sa position était déterminée, à partir du BH2 *Boussole* au mouillage devant l'île Beautemps-Beaupré, en azimut et distance radar.

Cette méthode, déjà utilisée dans les îles Chesterfield, a été perfectionnée en surmontant l'embarcation d'un ballon sonde météorologique, équipé de son réflecteur radar ; l'ensemble était ainsi parfaitement visible jusqu'à plus de 6 milles du bâtiment. Malheureusement, les ballons gonflés à l'hélium se sont révélés particulièrement fragiles et ils n'ont tenu que quelques heures.

### 10.4 Récif Durand

Ce récif a été localisé et investigué par le patrouilleur *La Dunkerquoise* au mois de janvier 1981.

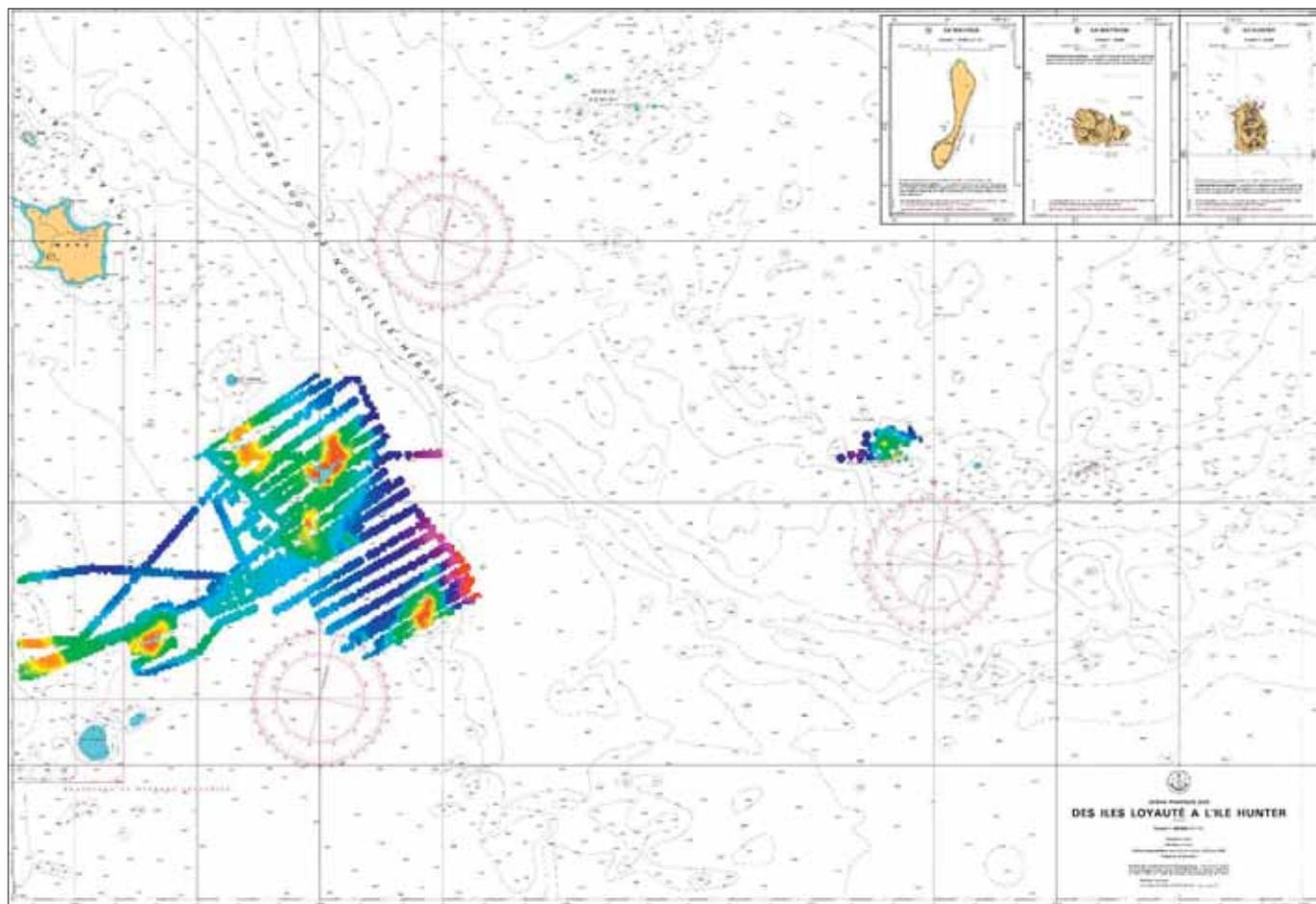
Sa position a été déterminée à l'aide d'un récepteur de satellites Transit, à partir du bâtiment au mouillage au sud du récif, dans des fonds de 23 mètres environ (trois passages de satellites donnant des positions cohérentes).

L'investigation faite sur le récif avec une embarcation pneumatique a permis de placer le récif par rapport au bâtiment.

Des profondeurs régulières de 7 à 10 mètres ont été observées dans un cercle de 1 mille de diamètre environ centré approximativement en :

- 22° 02,2' sud,
- 168° 37,9' est.

Les profondeurs de 1,8 à 2,7 mètres signalées dans les documents nautiques restent probables, bien qu'aucun brisant n'ait été observé par mer force 4.



Sondages au voisinage de l'île Walpole

### 10.5 Récifs de l'Astrolabe

Il s'agit de deux récifs, distants de 16 milles environ, qui sont situés au nord-ouest des îles Loyauté. Ils sont parfaitement visibles sur les scènes Landsat dont disposait la mission.

Leur position a été déterminée à l'aide d'un récepteur de satellites Transit, à partir d'un bâtiment en station, à proximité de détails topographiques bien identifiables, pendant le passage d'un satellite. Huit stations ont été faites, qui ont donné des résultats cohérents entre eux : quatre à proximité du récif est (deux au nord et deux au sud) et quatre près du récif ouest (deux au sud-ouest et deux à proximité de l'îlot de sable).

Une minute de topographie a été établie à l'échelle 1/500 000 à partir des scènes Landsat disponibles en utilisant comme points de calage les positions des stations mentionnées ci-dessus. Les atolls d'Ouvéa et Beautemps-Beaupré ont été représentés sur cette minute, en utilisant les mêmes scènes Landsat ainsi que des points de calage dont les positions étaient connues dans le système géodésique MOP-81-BB.

Chacun des récifs de l'Astrolabe porte un îlot de sable de petites dimensions.

### 10.6 Récif de la Gazelle

Ce récif a été recherché sans succès à la position indiquée sur les cartes marines ; on a conclu à son inexistence.

### 10.7 Récif Pétrie

Lors du levé photographique aérien du grand lagon nord de la Nouvelle-Calédonie, on a effectué des prises de vues couvrant la totalité du récif Pétrie à partir d'un aéronef localisé à l'aide du système de radiolocalisation Trident.

Ces photographies ont été utilisées pour dessiner une minute de topographie à l'échelle 1/50 000. Compte tenu du moyen de localisation utilisé, et par analogie avec ce qui a été fait dans le grand lagon nord, cette minute a été établie dans un système géodésique voisin du système IGN 72.

Il faut noter une très bonne cohérence entre cette minute et le relevé du récif effectué par le patrouilleur *La Dunkerquoise*, aux abords de la position d'un mouillage pratiqué en janvier 1981. Le bâtiment était alors localisé à l'aide d'un récepteur de satellites Transit, on a donc tenu compte, au moment de la comparaison, du décalage existant entre les systèmes géodésiques WGS 72 et IGN 72 dans le nord de la Nouvelle-Calédonie.

Il n'existe aucun rocher découvrant remarquable sur ce récif.

### 10.8 Récifs Darling et brisants

Il s'agit de dangers isolés situés sur le tombant est du plateau de Lansdowne, à l'ouest de la Nouvelle-Calédonie, dont la

position ou l'existence sont signalées comme douteuses sur les cartes marines.

Les recherches effectuées par le BH1 *L'Estafette*, en liaison avec un aéronef C47 de l'escadrille 9S, n'ont permis de mettre en évidence aucun indice de relèvement du fond anormal aux abords des positions indiquées ; on a conclu à l'inexistence de ces récifs et de ces brisants.

### 10.9 Récifs Guilbert

Ces deux récifs circulaires, situés à l'est de l'île Huon, apparaissent pour la première fois sur un plan établi à l'échelle 1/500 000 par l'ICA Cailliau<sup>69</sup>. Leur position a été contrôlée par le BH2 *Boussole* équipé d'un récepteur de satellites Transit.

Pour obtenir des positions compatibles avec celle de l'île Huon, telle qu'elle est représentée sur les documents établis par la MOP en 1982, dans le système géodésique MOP-82-HU, il convient de décaler de 1 000 mètres environ dans le 125 les récifs qui sont portés sur le plan déjà cité, ce qui amène le centre du récif circulaire le plus proche de l'île Huon dans le 085 et à 12 500 mètres environ de la stèle centrale.

### 10.10 Atoll du Portail

La position et la forme de cet atoll sont données sur le plan à l'échelle 1/500 000 qui vient d'être mentionné.

Il résulte du contrôle effectué par le BH2 *Boussole*, équipé d'un récepteur de satellites Transit, que sa position sur le plan doit être décalée de 2 500 mètres environ dans le 353 pour être cohérente avec la position de l'atoll de la Surprise telle qu'il est représenté sur les documents établis par la MOP en 1981, dans le système géodésique MOP-81-LS.

Cet atoll porte un îlot de sable, situé sur la pointe sud du récif barrière.

### 10.11 Récif Henri Miller

Ce récif n'existe pas à la position indiquée sur les cartes marines.

Le brisant situé dans le prolongement nord du récif Bellona nord-ouest est placé à peu près à la même latitude, mais 20 milles environ plus à l'est. Ses caractéristiques correspondent à la description du récif Henri Miller qui est donnée dans les *Instructions Nautiques*. Une erreur de position est en conséquence possible.

### 10.12 Coloration suspecte ou eau décolorée

De telles légendes sont fréquemment figurées sur les cartes marines de la région. Ayant pu observer de « longues traînées jaunes » en deux occasions :

- une première fois, au début du mois de décembre 1980, lors d'un transit effectué en avion entre la Nouvelle-Calédonie et le plateau des Chesterfield,
- une seconde fois, à la fin du mois de décembre 1980, lors d'un transit effectué à bord d'un patrouilleur entre les îles Wallis et Nouméa, je confirme que leur apparence est tout à fait semblable à celle d'une barrière de corail faiblement immergée.

Ce phénomène, commun en saison chaude de la Polynésie à l'Australie (de janvier à mars en Nouvelle-Calédonie) est lié à des concentrations d'algues. Il est décrit dans une fiche établie par monsieur Y. Dandonneau, océanographe à l'ORS-TOM de Nouméa, et intitulée « *Prolifération d'algues en longues traînées jaunes à la surface de l'océan dans le Pacifique tropical sud-ouest* ».

<sup>69</sup> Cf. Rapport de mission de l'ICA Cailliau (10 mai 1978 – 5 mai 1980), *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 137.

## 11. CHAPITRE 11. Abords de Papeete

Levé aux abords du récif barrière devant Papeete à Tahiti.

### 11.1 Généralités

Pour permettre le choix d'un site à Tahiti, susceptible de recevoir une centrale pilote utilisant l'énergie thermique des mers (projet ETM du CNEXO), la MOP a effectué le levé bathymétrique, à une échelle voisine de 1/1 000, de deux zones situées sur le tombant extérieur du récif barrière de Tahiti, aux abords de Faaa et de Papeete respectivement.

Ces travaux faisaient suite à un premier levé effectué par le navire océanographique américain *Thomas Washington*, pour le compte du CNEXO, entre la pointe Vénus et la passe de Taapuna. La MOP avait été chargée d'assurer la localisation du navire pendant les travaux en mettant en œuvre une chaîne de radiolocalisation Trident et, occasionnellement, une station de visée optique. Le détachement de la MOP, comprenant quatre personnes et le matériel de localisation, est resté sur place du 5 au 20 février 1982. Equipé d'un sondeur multifaisceau Sea-Beam, le *Thomas Washington* a sondé le tombant du récif entre les isobathes 200 et 1 300 mètres approximativement.

Les derniers sondages, à grande échelle, ont été effectués successivement par les vedettes du BH2 *Boussole*, puis par le bâtiment lui-même, entre le 5 et le 22 avril 1982.

Les limites des zones sondées sont représentées sur la planche ci-dessous.

### 11.2 Géodésie – Localisation

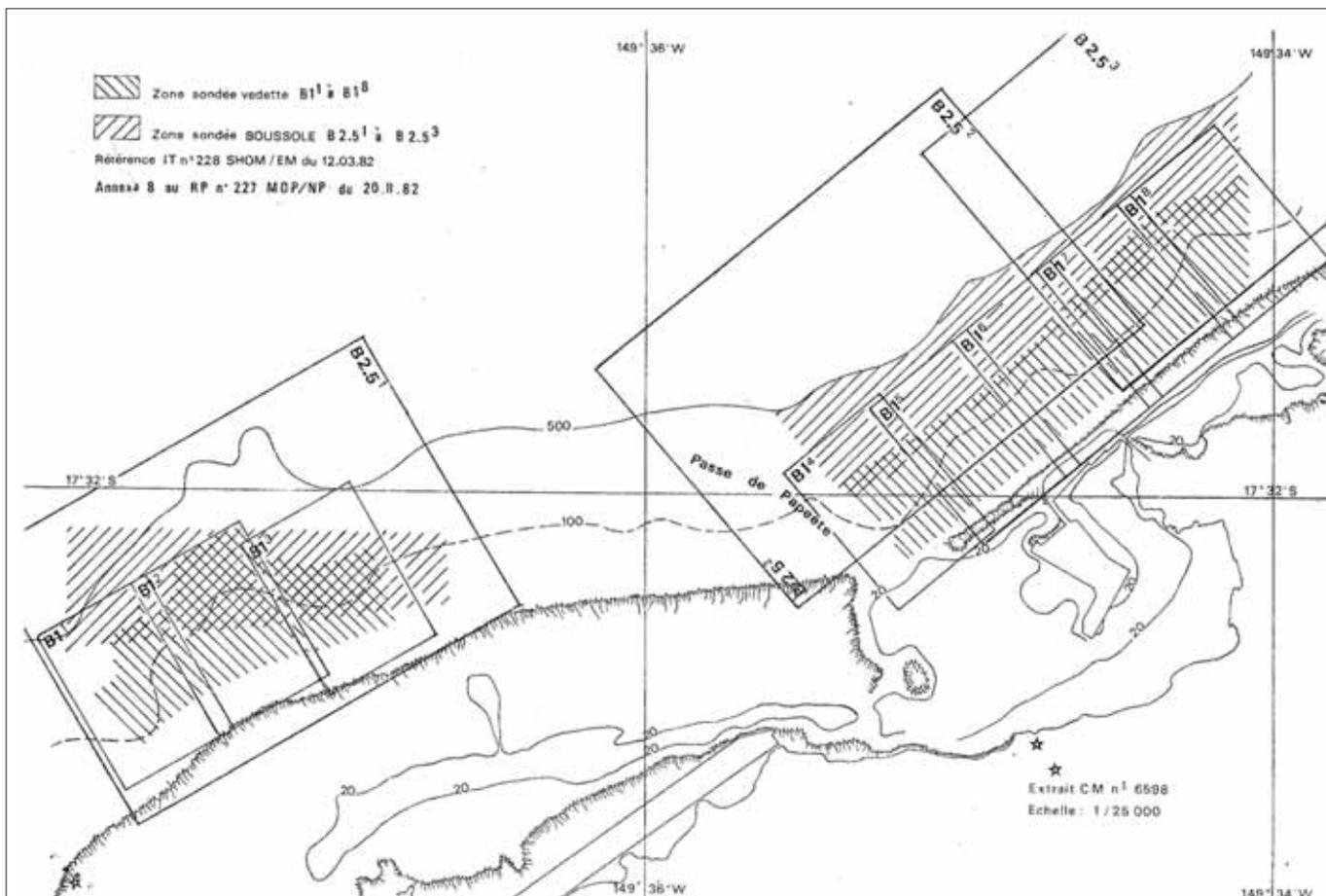
Pendant tout le levé, la localisation des vedettes et celle du BH2 *Boussole* ont été assurées par des moyens optiques, à la cadence d'un top toutes les quinze secondes.

A de rares exceptions près, les positions ont été déterminées par trois relèvements optiques ; le calcul des coordonnées de chaque position, effectué à l'aide d'une calculatrice programmable HP 67, a montré que la précision obtenue était de quelques décimètres et ne dépassait jamais un mètre.

Dans la zone de Faaa, les profils du lever régulier, à peu près perpendiculaires au récif, ont été guidés depuis une station située sur le château d'eau de la cité de l'Air, tandis que les profils traversiers étaient guidés depuis une station située sur la digue du port de Papeete, côté passe.

Dans la zone de Papeete, les profils du levé régulier, à peu près perpendiculaires au récif, ont été guidés depuis une station située sur le pic Rouge, tandis que les profils traversiers étaient guidés depuis une station située sur la tour de contrôle de l'aéroport de Faaa.

Les coordonnées des stations utilisées sont indiquées dans le tableau page suivante.



## Coordonnées des points utilisés (IGN 54)

Nom du point	Repère	X	Y
Ancienne station d'écoute	Croix peinte sur le toit d'une construction	222 635,19	8 057 219,44
Pic Rouge	Piquet en fer	227 892,13	8 055 514,26
Digue Papeete	Repère est	227 169,16	8 060 551,15
Digue Papeete	Repère ouest	225 762,69	8 059 362,55
Digue Papeete	Repère central	226 537,50	8 059 991,39
Château d'eau cité de l'Air	Point du service topographique	223 211,96	8 056 085,56
Station goniométrique	Fiche n° 35079-21	221 069,72	8 055 519,60

### 11.3 Bathymétrie

#### 11.3.1 Travaux effectués

11.3.1.1 Les sondages en vedette ont été faits avec un sondeur Atlas Deso 10 fonctionnant en plage A (0-280 m) sur la gamme 2 (0-40 m) ainsi que sur les gammes décalées jusqu'à 100 mètres de profondeur, et sur la gamme 3 (0-80 m) ainsi que sur les gammes décalées entre 100 et 280 mètres.

La gamme 2 était associée à la seule fréquence 210 kHz (faisceau le plus directif), tandis que les deux fréquences 210 et 30 kHz étaient simultanément en fonction sur la gamme 3.

Tous les profils du lever régulier ont été suivis en allant de la côte vers le large pour faciliter le suivi de l'enregistrement du fond sur le sondeur.

Les premiers sondages ont montré qu'à partir de 60 mètres de profondeur environ, la pente du fond augmentait si brutalement qu'il était impossible, malgré la très faible vitesse de sonde adoptée (inférieure à 3,5 nœuds) de conserver une trace du fond sur l'enregistrement. Ce n'est qu'à partir de 160 mètres de profondeur environ qu'une très faible trace, aux contours mal définis, réapparaissait en augmentant au maximum le gain sur la fréquence 30 kHz.

Tous les profils ont été parcourus entre les isobathes 10 et 280 mètres approximativement, mais seuls les sondages effectués entre 10 et 60 mètres respectent les critères de précision correspondant à un levé hydrographique à très grande échelle.

11.3.1.2 C'est pour préciser les formes du relief sous-marin au-delà de 60 mètres de profondeur que le BH2 *Boussole*, qui venait d'être doté d'un sondeur grands fonds Raytheon, a repris une partie des sondages, sur les profils déjà suivis par les vedettes. Le sondeur Raytheon disposait en effet d'un transducteur 34 kHz ayant des caractéristiques en directivité (faisceau d'ouverture 10°) voisines de celles du transducteur 210 kHz du sondeur Atlas.

Dans la zone de Faaa, seule une « faille » située dans la partie est de la zone sondée en vedette a été étudiée, sur des profils espacés de 25 mètres.

Dans la zone de Papeete, un nouveau sondage régulier à l'échelle 1/5 000 (profils espacés de 50 mètres au maximum) a été effectué, et deux « failles » situées respectivement à

l'est et à l'ouest de la zone sondée en vedette ont été étudiées sur des profils espacés de 25 mètres.

Pour éviter les changements de gammes dans les profondeurs comprises entre 60 et 160 mètres, on a utilisé les gammes 0-375 m puis 0-750 m au-delà de 375 mètres de profondeur.

Les profils ont été suivis du large vers le récif, à la vitesse de 5,5 nœuds, le bâtiment cassant son erre avant le dernier top pendant lequel la *Boussole* était en général stoppée.

Entre 60 et 160 mètres de profondeur environ, la pente atteint souvent 200% et la trace du fond n'a pu être enregistrée, même avec un sondeur grands fonds puissant et moderne.

11.3.1.3 Les équipements disponibles sur le BH2 *Boussole*, à savoir un sonar latéral Edgerton, un câble électro-porteur de 600 mètres de long et un treuil manuel Klein, ont conduit à effectuer des essais d'imagerie sur le tombant du récif.

Quels que soient les réglages adoptés, ou la direction des profils suivis, parallèles ou perpendiculaires aux isobathes, aucun enregistrement véritablement intéressant n'a pu être obtenu, à part un profil du tombant du récif dans l'axe du transducteur situé du côté du récif.

#### 11.3.2 Exploitation des sondages

11.3.2.1 L'exploitation des sondages effectués en vedette a été faite selon les errements en vigueur.

Les positions des stations de sonde ont été calculées en projection UTM, puis reportées sur des minutes de construction à l'échelle 1/1 000.

Les enregistrements du sondeur Atlas, ainsi que les profondeurs, ont subi les traitements suivants :

- a) un lissage pour atténuer les effets conjugués des mouvements de l'embarcation, de la directivité des transducteurs et de la pente du fond. Ce lissage, qui intéresse plus particulièrement les enregistrements obtenus sur la fréquence 210 kHz, a été fait au voisinage de la profondeur 60 mètres, lorsque l'écho du fond apparaissait encore par intermittences, en traçant l'enveloppe extérieure des échos enregistrés,
- b) un lissage pour dessiner la trace du fond partout où elle était incertaine, ou bien lorsque plusieurs échos apparaissaient à des profondeurs différentes. C'est en particulier le

cas des profondeurs enregistrées entre 160 et 280 mètres avec la fréquence 30 kHz, et des échos multiples enregistrés entre 60 et 160 mètres<sup>70</sup>,

- c) une correction d'étalonnage. Un étalonnage à l'aide d'une barre métallique immergée sous le transducteur a été effectué systématiquement au début et à la fin de chaque séance de sonde. Les réglages adoptés, immersion des transducteurs à 0,60 mètre et vitesse de propagation du son dans l'eau de 1 540 m/s ont permis d'adopter une correction d'étalonnage nulle pendant la quasi totalité des sondages<sup>71</sup>,
- d) une correction de marée. Les profondeurs mesurées sur la gamme 2 (fréquence 210 kHz) ont été corrigées de la marée observée à l'observatoire de Matavai. Cette correction reste faible et ne dépasse pas 0,50 mètre dans la plupart des cas.

11.3.2.2 L'exploitation des sondages effectués par le BH2 *Boussole* a également été faite en utilisant les méthodes habituelles ; c'est-à-dire que les mesures effectuées avec une vitesse conventionnelle du son dans l'eau de 1 500 m/s (unique réglage possible sur le sondeur Raytheon) n'ont pas été corrigées.

Les positions des stations de sonde ont été calculées en projection UTM puis reportées sur des minutes de construction à l'échelle 1/2 500.

Les positions des sondes sur les minutes de bathymétrie ont été décalées de 2,5 mm. Ce décalage a été introduit au moment de l'écriture pour tenir compte de la distance séparant le mât de la *Boussole* et le transducteur du sondeur, situé 6 mètres en avant du mât.

Les enregistrements du sondeur Raytheon ont reçu les traitements repérés a), et b) dans le paragraphe 11.3.2.1 ci-dessus. Une correction constante de 2 mètres a été ajoutée à toutes les profondeurs mesurées pour tenir compte de l'immersion du transducteur. Aucun contrôle du réglage de la vitesse de propagation de 1 500 m/s n'a pu être fait, mais lors des essais de recette du sondeur, par fonds plats, on a vérifié que les profondeurs mesurées étaient comparables à celles données par les sondeurs Atlas (petits fonds) et Elac (grands fonds) réglés sur cette même vitesse.

Les résultats de ces sondages ne pouvant être comparés à ceux effectués en vedette, les documents de rédaction établis sont distincts et on n'a pas établi de documents de synthèse.

Pour le dessin des isobathes, on s'est efforcé de tenir compte de toutes les profondeurs mesurées, qu'elles aient été obtenues sur les profils du levé régulier ou bien sur les profils traversiers. Les profondeurs n'étant pas toujours cohérentes, on

<sup>70</sup> Lors de cette opération on a pas cherché à assurer une cohérence, qui aurait été tout à fait artificielle, entre les profondeurs enregistrées à l'aide des fréquences 210 et 30 kHz successivement. Au voisinage de l'isobathe 60 mètres, les profondeurs obtenues sur la fréquence 30 kHz ont été figurées entre parenthèses sur les documents établis.

<sup>71</sup> Il convient de noter que cette vitesse n'est valable que jusqu'à 60 mètres de profondeur environ. Les profondeurs mesurées au-delà, soit en vedette (1 540 m/s) soit avec le BH2 *Boussole* (1 500 m/s) n'ont pas été corrigées pour tenir compte de la vitesse réelle du son dans l'eau ; elles ne sont pas exactes et ne peuvent être comparées.

a ainsi introduit un relief fictif qui a été atténué au maximum. Dans les profondeurs inférieures à 60 mètres, le dessin des isobathes tient compte au mieux des sondages effectués en vedette.

11.3.2.3 Les profils suivis avec le sonar latéral en fonction sont figurés sur les minutes de construction à l'échelle 1/2 500 déjà mentionnées. La position du poisson remorqué y est indiquée par un cercle rouge. Cette position reste cependant approximative puisque l'on a seulement tenu compte de la longueur du câble filé en négligeant l'immersion du poisson ainsi qu'une éventuelle dérive.

### 11.3.3 Contrôles de cohérence

11.3.3.1 Les sondages réguliers en vedette, sur des profils espacés de 12,5 mètres à peu près perpendiculaires au récif, ont été complétés par de nombreux profils traversiers dont l'espacement peut atteindre 12,5 mètres également dans certaines zones.

Si l'on excepte les zones dans lesquelles le fond n'est pas défini, ou mal défini (dans la pratique les zones situées au voisinage de l'isobathe 60 mètres), ainsi que celles situées à proximité immédiate du récif barrière, dans lesquelles il peut exister un écart entre la position réelle de l'embarcation et celle qui est interpolée entre deux déterminations successives, la cohérence entre les profondeurs mesurées au même emplacement et avec la même fréquence (210 kHz) sur deux profils sécants est bonne.

Bien qu'aucune statistique n'ait pu être faite, en raison des très courts délais imposés pour la mise au net des mesures, on peut estimer à moins de 0,50 mètre la valeur moyenne des écarts entre les profondeurs mesurées à l'intersection de deux profils.

L'intérêt des profils traversiers est alors de mettre en évidence des structures parallèles aux profils du levé régulier. C'est ainsi qu'apparaissent dans les petits fonds, jusqu'à 20 mètres de profondeur, des réseaux de failles perpendiculaires à la direction générale du récif barrière ; ces réseaux sont la plupart du temps visibles à l'œil nu ainsi que sur les photographies aériennes.

Un petit nombre de failles apparaissent également au voisinage de l'isobathe 60 mètres, mais les performances du sondeur utilisé ne permettent pas de préciser leurs caractéristiques.

Il faut noter que certaines sondes représentatives du relief, qui avaient été retenues lors du dépouillement des enregistrements (maximum ou minimum local), n'ont pu être figurées sur les minutes par manque de place. C'est ainsi qu'au voisinage de l'intersection de deux profils sur lesquels les profondeurs mesurées sont voisines, certaines sondes représentatives ont dû être omises sur l'un des profils parce qu'une sonde équivalente figurait déjà sur l'autre profil. La convention qui autorise l'interpolation des profondeurs entre deux sondes successives d'un même profil est alors en défaut.

11.3.3.2 Les sondages effectués avec le BH2 *Boussole* comprennent un levé régulier sur des profils espacés de 50 mètres, parfois 25 mètres dans certaines zones, et de nombreux profils traversiers.

On constate cette fois que les défauts de cohérence entre profondeurs mesurées au même emplacement sur deux profils sécants sont nombreux et importants puisqu'ils atteignent parfois 20 mètres ; la valeur moyenne estimée de ces écarts est 10 mètres. L'importance de ces écarts peut surprendre, mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit de mesures sur une surface en forte pente, avec un sondeur peu directif et non stabilisé.

Les profondeurs mesurées sur les profils traversiers, sensiblement parallèles aux isobathes, sont plus importantes que celles mesurées sur les profils perpendiculaires au récif barrière. Une explication possible résiderait dans la façon dont ont été lissés les enregistrements, écrêtés dans le cas des profils traversiers sur lesquels apparaissent très nettement les effets du roulis. Cette analyse justifie a posteriori le tracé des isobathes, pour lequel on a attribué un poids plus important aux sondes mesurées sur les profils du levé régulier.

Les positions des sondes situées à l'extrémité de chaque profil, côté récif, sont moins précises que les autres, car la vitesse du bâtiment n'était pas uniforme entre les deux dernières déterminations. Le bâtiment était en effet stoppé au moment du dernier « top », avec un cap ne correspondant pas toujours à la direction du profil suivi.

11.3.3.3 Bien que la comparaison entre les sondages effectués en vedette et ceux effectués par le bâtiment ne soit pas licite (cf. note de bas de page n° 71), elle apporte quelques enseignements tangibles :

- les isobathes figurant sur les documents établis indépendamment à des échelles différentes sont assez proches ; il est vraisemblable qu'un document bathymétrique à l'échelle 1/10 000 issu de l'un des levés sera équivalent au document équivalent issu de l'autre levé, tout au moins dans leur partie commune,
- il existe à l'extrémité est de la zone de Faaa une paroi presque verticale orientée nord-sud dont la position n'est pas correcte sur les documents à l'échelle 1/1 000 du fait des échos latéraux enregistrés pendant le levé régulier effectué à cette échelle (orientation des profils parallèle à la paroi).

## 11.4 Topographie

Les limites du récif affleurant ont été reportées sur les minutes de bathymétrie.

Dans la zone de Faaa, ces limites ont été prises sur la minute de topographie à l'échelle 1/5 000 établie par l'IHP Pieretti en 1966.

Dans la zone de Papeete, le dessin du récif et celui de la digue proviennent d'une photographie aérienne à l'échelle 1/10 000, restituée à la chambre claire à partir de points de calage situés sur la digue.

## 11.5 Documents établis

Les documents listés ci-dessous ont été établis par la mission :

- 8 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/1 000 (trois pour la zone Faaa et cinq pour la zone Papeete),
- 4 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/2 500 (une pour la zone Faaa et trois pour la zone Papeete, dont une doublée).

## 12. CHAPITRE 12. Île de Nuku-Hiva

Travaux dans l'île de Nuku-Hiva (archipel des îles Marquises). Des levés de détail ont été effectués dans les baies de Haopu et de Taiohae, entre le 23 mars et le 1<sup>er</sup> avril 1981, par un détachement opérant avec le soutien du patrouilleur *La Paimpolaise*, bâtiment stationnaire à Papeete.

Le détachement, composé de deux matelots et deux officiers mariniers hydrographes, était dirigé par l'IETA Auffret. Il a bénéficié de l'aide apportée par le premier maître hydrographe embarqué comme chef de quart sur le patrouilleur.

Les conditions météorologiques rencontrées, satisfaisantes dans l'ensemble, n'ont pas gêné le déroulement des travaux.

### 12.1 Levé dans la baie de Haopu

#### 12.1.1 Généralités

L'aérodrome de Nuku-Hiva, construit à Terre Déserte dans la partie ouest de l'île, n'est relié par aucune piste carrossable, ni à Taiohae ni aux autres villages de l'île. Le fret aérien et les passagers sont donc acheminés par voie maritime, à partir de la baie de Haopu située à proximité de l'aérodrome ; c'est ce trafic intérieur qui a justifié la construction d'un wharf dans la baie.

Il est maintenant envisagé de protéger ce wharf de la houle par une petite jetée.

Les abords immédiats de la baie sont assez inhospitaliers ; le débarquement des équipes au pied des falaises s'est révélé assez périlleux en raison de la houle existant à l'époque des travaux.

Le levé a été effectué du 24 au 29 mars, et les travaux ont été achevés le 1<sup>er</sup> avril par l'observation d'un azimut sur étoiles.

#### 12.1.2 Géodésie

Les instructions techniques prévoient la mise en place d'un système géodésique local, compatible avec le système géodésique de la carte marine 3931 ; l'imprécision de ce dernier a conduit à préférer un système géodésique local cohérent avec les observations astronomiques effectuées par l'IGN en 1963 dans la baie de Haopu.

La borne mise en place par l'IGN n'ayant pas été retrouvée, et ayant probablement disparu, on a adopté pour le point origine de la triangulation locale (borne Agnès) des coordonnées géographiques déduites de celles indiquées par l'IGN et valables à quelques centaines de mètres près :

- 08° 49' 39" sud,
- 140° 14' 44" ouest.

L'orientation du système géodésique local a été déterminée à l'aide d'observations cohérentes sur deux étoiles ; on a adopté la valeur suivante : 334° 50' 03", pour l'azimut de la direction joignant les bornes « Agnès » et « Julie ». La distance entre ces deux bornes, mesurée à l'aide du géodimètre Aga 14 et réduite à la projection, a été prise égale à 728,79 mètres. Le tableau en bas de page indique les coordonnées des différents points utilisés ; elles sont données dans la projection UTM, fuseau 7, définie sur l'ellipsoïde international.

Les travaux de géodésie ont été conduits en utilisant principalement le géodimètre Aga 14. La précision des coordonnées indiquées est de l'ordre de dix centimètres.

Le décalage entre le système géodésique utilisé et celui de la carte marine 3931 est indiqué dans le titre de la minute établie.

#### 12.1.3 Bathymétrie

Tous les sondages ont été effectués à l'aide d'une baleinière, équipée d'un sondeur Atlas Deso 10 avec transducteur hors-bord, suivant des profils radioguidés.

L'espacement des profils, inférieur à 100 mètres à l'ouvert de la baie, est inférieur à 50 mètres dans la baie elle-même ; les profils ont été resserrés au voisinage du wharf.

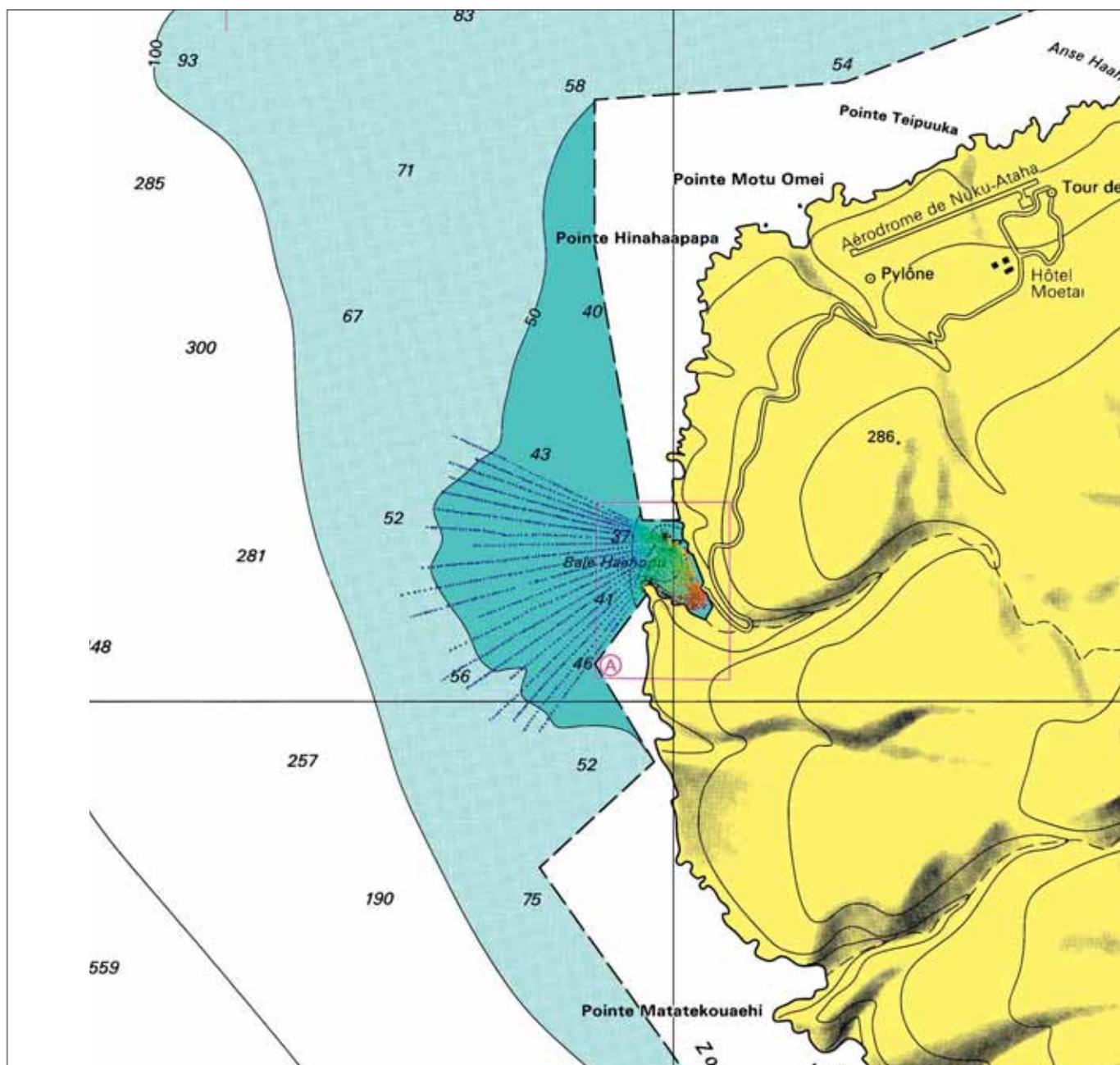
Ce levé a été rédigé à l'échelle 1/5 000 ; sur la minute de bathymétrie, un cartouche à l'échelle 1/1 000 représente les abords du wharf.

Les profondeurs trouvées sont très régulières ; elles atteignent 40 mètres à l'entrée de la baie et 50 mètres à un mille environ de la côte.

Les limites de la zone sondée sont figurées sur la planche page suivante.

#### Coordonnées des points utilisés (système local)

Baptême	X	Y	Observation
Agnès	582 968,5	9 024 124,1	Point origine, borne
Julie	582 659,92	9 024 784,34	Repère d'azimut, borne
Léa	582 421,37	9 024 407,61	Borne
Léa (excentrée)	582 464,27	9 024 388,55	Non matérialisé
Karen	582 910,33	9 024 111,40	Borne
Edith	582 592,99	9 025 509,33	Borne
Eve	582 392,76	9 024 044,50	Non matérialisé



Levé en baie de Haopu sur l'île de Nuku-Hiva

#### 12.1.4 Marée

Les sondages ont été corrigés de la marée enregistrée sur place. Un marégraphe installé à l'aplomb du wharf a fonctionné du 24 mars au 1<sup>er</sup> avril ; le niveau de réduction des sondes a été adopté en concordance avec le zéro hydrographique défini dans la baie de Taiohae.

Ce niveau est situé à 6,516 mètres au-dessous du repère de nivellement SHOM scellé dans l'angle nord-ouest du soubassement du hangar des travaux publics.

Les différences observées par rapport à la marée de Taiohae ne sont pas significatifs compte tenu du très petit nombre des observations (amplitude Haopu = 1,03 amplitude Taiohae, marée de Haopu en avance de 8 minutes sur celle de Taiohae).

#### 12.1.5 Topographie

En l'absence de photographies aériennes récentes à une échelle convenable, la topographie représentée sur la minute de bathymétrie a été dessinée à partir des points placés par la mission, en s'aidant d'un plan à l'échelle 1/10 000 du service de l'équipement.

#### 12.1.6 Documents établis

Les documents listés ci-dessous ont été établis par la mission :

- 1 minute regroupant la bathymétrie et la topographie à l'échelle 1/5 000,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 5 fiches de point géodésique.

## 12.2 Levé aux abords du quai de Taiohae

### 12.2.1 Généralités

Le levé de la baie de Taiohae a été effectué à l'échelle 1/5 000, en 1964, par la mission hydrographique de Polynésie française.

Un véritable petit port est maintenant en voie d'achèvement, à l'ouest du fort Collet, avec un wharf et un terre-plein aménagé portant une gare maritime, des docks ainsi qu'une chambre froide. Il est envisagé d'allonger le wharf actuel, en doublant sa longueur pour atteindre les fonds de huit mètres. Le levé effectué en 1981 concerne les abords du wharf existant.

### 12.2.2 Géodésie

Les travaux de géodésie effectués s'appuient sur deux repères mis en place par la MHPF en 1964 : les bornes « Co-rail » et « Arc ». Les repères « Victor », « Astro », « Terme est » et « Terme ouest » n'ont pas été retrouvés et ont probablement disparu ; les autres repères, situés au sud de la baie, n'ont pas été recherchés.

Un autre système géodésique local, différent de celui mis en place par la MHPF, est utilisé par le service de l'équipement. Il s'appuie très vraisemblablement sur des observations effectuées par l'IGN en 1963, bien que les coordonnées attribuées à la borne matérialisant la position du point astronomique diffèrent de quelques décimètres de celles adoptées par l'IGN :

- 599 678,36 (au lieu de 599 678),
- 9 014 105,67 (au lieu de 9 014 106).

Trois repères du service de l'équipement, situés à proximité de Taiohae, ont été rattachés au système géodésique utilisé par la MHPF, ce qui a permis de définir, à une dizaine de centimètres près, la translation assurant la compatibilité entre les deux systèmes.

$$\begin{aligned} X \text{ (MHPF)} &= X \text{ (Equipement)} + 34,65 \text{ mètres} \\ Y \text{ (MHPF)} &= Y \text{ (Equipement)} + 233,2 \text{ mètres} \end{aligned}$$

Aucun nouveau repère n'a été mis en place à proximité du wharf, l'état d'avancement des travaux en cours ne permettant pas d'assurer leur pérennité ; les trois repères du service de l'équipement mentionnés ci-dessus ont été fichés.

### 12.2.3 Bathymétrie

Les sondages aux abords du wharf ont été effectués à l'aide d'une embarcation en alliage léger, équipée pour la circonstance d'un sondeur Atlas Deso 10 avec un transducteur hors bord, en utilisant la méthode dite de « la cordelle ».

Les profils, espacés de 5 mètres en moyenne, ont été resserrés sur l'accès au plageage, au nord du wharf, ainsi que dans le prolongement du wharf vers le large.

Les sondages ont été corrigés de la marée observée sur place.

Les limites de la zone sondée sont figurées sur la planche page suivante.

### 12.2.4 Marée

Deux repères, par rapport auxquels était défini le zéro hydrographique utilisé en 1964, ont été retrouvés ; trois nouveaux repères ont été installés.

Le zéro hydrographique utilisé est ainsi situé à 3,915 mètres au-dessous d'une douille de 20 mm scellée dans le soubassement du hangar de l'administration, entre les portes. Ce repère est condamné à disparaître, en même temps que le bâtiment lui-même.

L'observatoire de marée mis en place a fonctionné du 23 au 31 mars 1981.

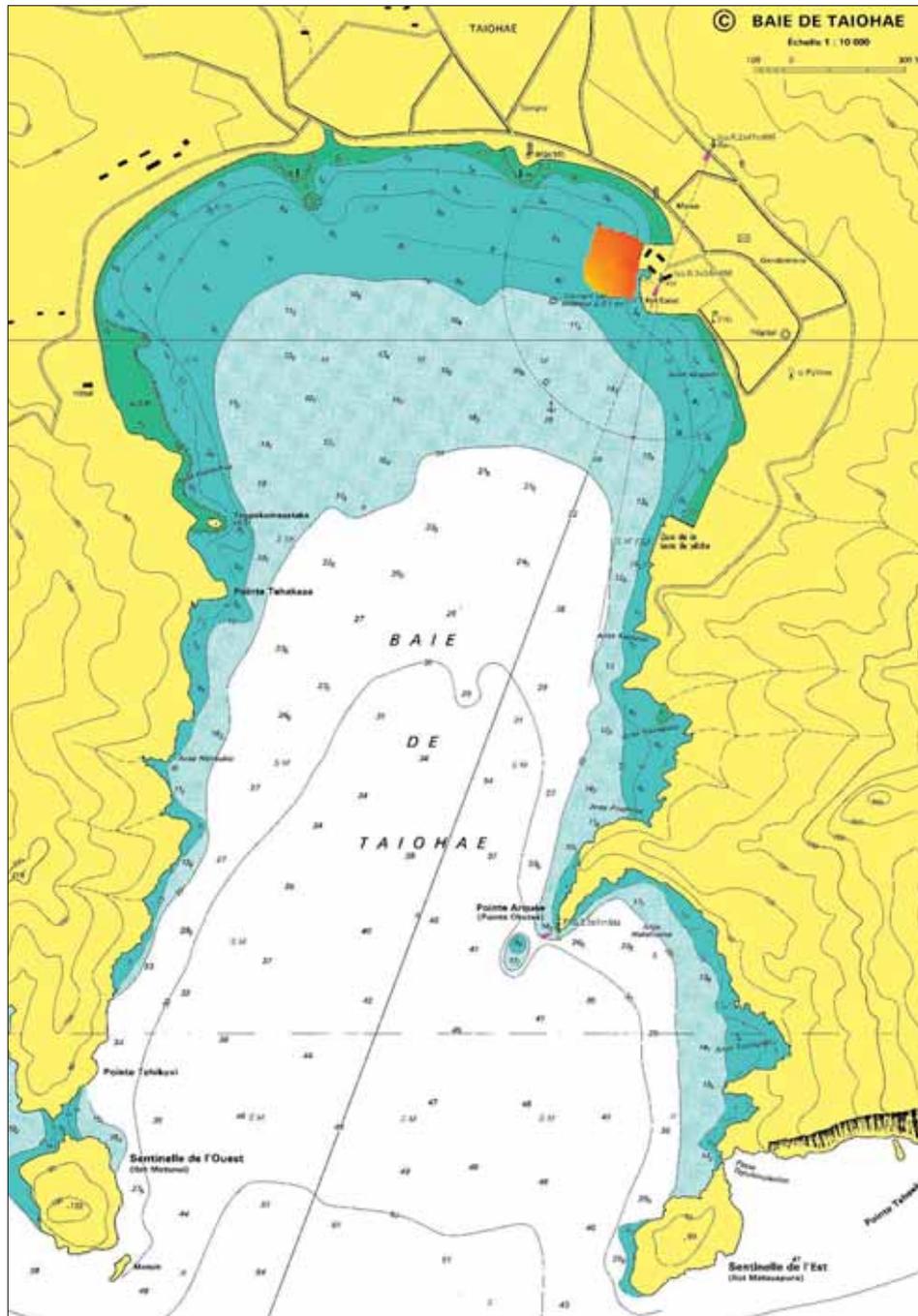
### 12.2.5 Topographie

En l'absence de photographies aériennes récentes à une échelle convenable, le dessin de topographie représenté sur la minute de bathymétrie a été dessiné à partir des points placés par la mission, en s'aidant d'un plan à l'échelle 1/500 du service de l'équipement.

### 12.2.6 Documents établis

Les documents listés ci-dessous ont été établis par la mission :

- 1 minute regroupant la bathymétrie et la topographie à l'échelle 1/500,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 3 fiches de point géodésique.



Levé des abords du quai de Taiohae sur l'île de Nuku-Hiva

### 13. CHAPITRE 13. Atoll de Tematangi

Travaux dans l'atoll de Tematangi (archipel des Tuamotu).

#### 13.1 Généralités

Des sondages à l'extérieur du récif barrière, aux abords de la pointe nord-ouest de l'atoll de Tematangi, ont été effectués au mois de mars 1981 par le BH1 *L'Estafette*, à l'occasion d'un séjour en Polynésie française.

Dans cet atoll sans passe, la drome du bâtiment ne permettait de mettre à terre ni le matériel ni le personnel dans des conditions de sécurité satisfaisantes ; on a donc fait appel aux baleinières et au personnel entraîné présents sur place. Les liaisons avec la terre ont néanmoins été émaillées d'incidents divers, dont le chavirage d'une baleinière, heureusement sans conséquences graves.

Les déplacements à terre se sont effectués à pied, ce qui, malgré la faible extension de l'infrastructure terrestre (environ trois kilomètres), prit beaucoup de temps. Ce fut en particulier le cas pour les traversées du hoa Araragi avec du matériel scientifique, à marée haute, à cause du courant.

La disponibilité d'une couverture photographique aérienne, avant le début des travaux, permit de constater d'importantes inexactitudes dans la cartographie existante (carte marine 6691 notamment). Elle se révéla précieuse pour préparer les opérations.

#### 13.2 Géodésie

Tout l'atoll est recouvert d'une vigoureuse cocoteraie, de telle sorte que le seul point placé par la mission géodésique des Tuamotu (1950 - 1953)<sup>72</sup>, et identifié comme « cocotier unique remarquable », ne put être retrouvé. Deux cocotiers, dominant la cocoteraie, ainsi qu'un tronc de cocotier élancé, pouvant tous les trois postuler au titre d'ancien cocotier unique (sans aucune certitude cependant), furent rattachés au réseau géodésique local, ce qui permit d'attribuer au point « G », choisi comme origine, les coordonnées UTM suivantes (compatibles à quelques centaines de mètres près) avec les données antérieures) :

- X = 538 520,
- Y = 7 608 760.

L'orientation de ce système géodésique local a été déterminée par trois observations sur le soleil (azimut par l'heure) et on a adopté pour l'azimut de la direction joignant les bornes « G » et « T1 » la valeur suivante (à 10" près) : 269° 17' 24".

La longueur de la base G - T1 a été mesurée à l'aide d'un géodimètre Aga 14. La longueur mesurée de 1 821,48 mètres, a été prise égale à 1 820,78 mètres en projection.

Pour permettre le contrôle des travaux sur place, sans attendre l'achèvement de la totalité des observations, on a utilisé un système de coordonnées locales arbitraire prenant en compte les mesures d'angle et de distance entre les quatre bornes « G », « T1 », « T2 » et « T3 » mises en place, ainsi que le facteur d'échelle moyen correspondant à la projection UTM dans la zone, c'est-à-dire 0,999617.

On passe des coordonnées locales (x, y) aux coordonnées UTM (X, Y) à l'aide des formules classiques de translation et rotation, l'origine des coordonnées locales ayant les coordonnées UTM suivantes :

- X = 526 996,24,
- Y = 7 588 587,40,

avec l'angle de rotation qui amène l'axe y sur l'axe Y valant 0° 50' 50" (compté positivement dans le sens horaire).

Les coordonnées des points utilisés sont indiquées dans le tableau en bas de page.

#### 13.3 Marée

Pendant toute la durée du levé, une houle longue de secteur nord-ouest à nord a provoqué de puissantes déferlantes sur le platier, interdisant la mise en place, non seulement d'un marégraphe, mais encore de l'échelle de marée traditionnelle, constituée d'une planche en pin de 20 cm de large et 2 cm d'épaisseur.

Une échelle de marée plus robuste a été mise en place le 5 mars 1981 ; elle était constituée d'un tube métallique de type « Entrepose » de trois mètres de long, sur lequel avaient été soudés, tous les mètres, trois anneaux permettant de fixer des haubans. Ce tube était peint en rouge et blanc, comme une échelle de marée usuelle. Compte tenu de sa faible section, cette échelle de fortune résista parfaitement aux déferlantes.

Coordonnées des points utilisés (systèmes MOP-81-TE)

Nom	X local	Y local	X UTM	Y UTM
Borne T1	10 000,00	20 000,00	536 699,42	7 608 733,08
Borne T2	10 824,88	19 541,19	537 530,99	7 608 286,51
Borne T3	11 322,84	19 621,81	538 027,71	7 608 374,49
Borne G	11 820,78	20 000,00	538 520,00	7 608 760,00
Station G excentrée	11 824,1	19 989,65		
Cocotier nord	11 891	19 846	538 592	7 608 607
Cocotier sud	11 797	19 701	538 501	7 608 460,5
Tronc de cocotier	12 108	19 816	538 810	7 608 580

<sup>72</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 726, p. 96.

Sans se faire trop d'illusions sur la valeur d'observation de marée effectuées sur un platier constamment surchargé d'eau par les déferlantes, une similitude raisonnable a été trouvée avec la marée de Mururoa ; un zéro de réduction des sondes a donc été adopté « en concordance » avec celui de Mururoa.

Ce zéro, qui se trouve coïncider avec le zéro de l'échelle, se trouve à 4,173 mètres au-dessous du repère scellé dans un bloc d'ancrage en béton situé dans la zone vie, à une trentaine de mètres au nord du cinéma.

Un deuxième repère de nivellement a été mis en place côté lagon, à l'enracinement de la jetée du petit port ; ce second repère se trouve à 3,060 mètres au-dessus du premier.

Toutes les profondeurs inférieures à 100 mètres ont été corrigées de la marée observée.

### 13.4 Topographie

La mission disposait d'une couverture photographique aérienne en couleur de bonne qualité, à une échelle proche de 1/9 600, effectuée quelques semaines avant le début des travaux par la flottille 29S. Ces photographies ont été restituées à l'aide d'une chambre claire pour établir une minute de topographie à l'échelle 1/10 000.

Bien que tous les points de calage choisis a priori n'aient pu être positionnés, en particulier ceux situés à l'ouest du hoa Araragi, la mise en place des clichés a pu être faite avec une précision compatible avec l'échelle du document établi.

### 13.5 Toponymie

Un plan à l'échelle 1/20 000, inclus dans la fiche descriptive du poste de Tematangi consultée à la direction du port de Mururoa, attribue le nom « Araragi » au hoa débouchant au sud-est de la baie du nord. Bien qu'il n'ait pu être confirmé, ce toponyme a été reporté sur la minute de topographie.

L'usage semble s'être instauré pour désigner la pointe nord-ouest de l'atoll, et le dangereux éperon immergé qui la prolonge vers le nord, par le nom de « Pointe de l'Orage », en souvenir de l'échouement du TCD *Orage* survenu en 1974.

### 13.6 Documents établis

- Les documents listés ci-dessous ont été établis par la mission :
- 1 minute de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
  - 1 minute de topographie portant un choix de sondes, à l'échelle 1/10 000,
  - 1 fiche d'observatoire de marée,
  - 4 fiches de points géodésiques.

Les coordonnées des amers susceptibles de figurer sur les cartes marines sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Coordonnées des amers existants (MOP-81-TE)

Description de l'amer	X	Y
Antenne de télémessures du SMSR	536 712	7 608 704
Pont mobile ouest de l'Orage	536 585	7 608 845
Pont mobile est de l'Orage	536 695	7 608 785
Pylône météo en zone vie	537 250	7 608 224
Rocher pyramidal surmonté d'une croix blanche	537 593	7 608 304
Ancien portique de déchargement des baleinières	537 309	7 608 346

## 14. CHAPITRE 14. Îles Wallis et Futuna

Contrôle de la position des îles Wallis et Futuna.

### 14.1 Généralités

En 1977, à l'occasion de travaux hydrographiques effectués dans le sud-ouest de l'île Uvéa, dans les îles Wallis, la mission océanographique du Pacifique a décelé par hasard une erreur, proche de trois milles, dans la position des îles Wallis. Cette erreur a ensuite été confirmée par une observation Transit isolée faite par le navire océanographique *Coriolis*.

Une erreur du même ordre de grandeur était susceptible d'affecter la position des îles de Horne (Futuna et Alofi), telle qu'elle est indiquée sur la carte marine 6259.

Le programme d'activité des bâtiments de la mission étant trop chargé pour que l'on puisse envisager de consacrer plusieurs jours à la détermination précise de la position de cette île, on a mis à profit le transit du patrouilleur *La Dunkerquoise* entre Papeete, où le bâtiment venait de recevoir une infrastructure permettant la mise en œuvre d'un récepteur de satellites JMR 4, et Nouméa, pour effectuer ce contrôle.

Un détachement de la mission, comprenant un ingénieur et un officier marinier hydrographe, a rallié le bâtiment à Mata Utu le 17 décembre 1980, avec le matériel nécessaire pour faire des mesures Doppler et des mesures géodésiques de rattachement. L'installation du récepteur de satellites à bord n'a posé aucun problème ; le système a parfaitement fonctionné jusqu'à l'arrivée à Nouméa le 24 décembre 1980.

### 14.2 Travaux à Mata Utu (île Uvéa)

Quinze passages de satellites, d'élévation comprise entre 15° et 75°, ont été enregistrés et exploités.

Entre le quatrième et le cinquième passage, *La Dunkerquoise*, qui était accostée bâbord à quai au wharf de Mata Utu, a fait mouvement pour s'accoster cul à quai à proximité immédiate de l'angle sud du wharf. C'est cette dernière position qui a été prise comme référence. Les coordonnées calculées des quatre premiers points ont donc été corrigées (- 1" en latitude) pour pouvoir être intégrées dans le calcul de la position moyenne et reportées sur la « cible ».

Aucune des bornes mises en place par la MOP en 1977 sur la côte est de l'île Uvéa n'ayant été retrouvée<sup>73</sup>, le rattachement de l'antenne satellite de *La Dunkerquoise* a été fait par l'intermédiaire d'un tour d'horizon, à proximité de l'angle sud du wharf de Mata Utu, s'appuyant principalement sur les marques de balisage du chenal conduisant à Mata Utu. La position de la station n'a pas été matérialisée.

Les coordonnées rectangulaires adoptées pour l'antenne satellite, dans le système géodésique MOP-1976, sont indiquées ci-dessous :

- X = 593 987,  
- Y = 8 531 209.

<sup>73</sup> Il s'agit des bornes « Nukuhifala » (non retrouvée), « Mont Lulu » (disparue), « Utuloko » (non retrouvée) et « Matalaa » (disparue).

La position de cette même antenne obtenue à l'aide du récepteur de satellites JMR 4 est indiquée ci-dessous :

- Lat. 13° 17' 09,8" sud,  
- Long. 176° 10' 08,3" ouest.

L'accord entre la position de l'antenne de réception déterminée graphiquement sur la carte marine 6876, à l'échelle 1/20 000, et la position donnée par le système Transit est très bon puisque cette dernière a été trouvée à 210 mètres dans le 141 de la position « carte ». Le premier tableau page suivante donne le détail des observations Doppler qui ont été utilisées pour déterminer la position Transit à Wallis.

### 14.3 Travaux à Sigave (île Futuna)

Six passages de satellites, d'élévation comprise entre 16° et 57°, ont été enregistrés et exploités.

Pendant toute la durée des observations le bâtiment est resté accosté au wharf de Sigave. La position de l'antenne de réception a été déterminée graphiquement sur le cartouche à l'échelle 1/10 000 de l'anse de Sigave qui figure sur la carte marine 6259. Le wharf a été préalablement dessiné sur la carte à l'aide de mesures d'angles et de distances effectuées à partir du point repéré « Piler » mis en place par la mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie en 1961.

Le piler lui-même n'existe plus, mais sa position présumée a été indiquée par un habitant de l'île ; elle correspond à des restes de maçonnerie qui affleurent la plage au niveau de la laisse de pleine mer. Les mesures ont été orientées à partir de la direction Piler - Mât de pavillon lue sur la carte.

Les repères « Appontement » et « Dispensaire », situés sur des édifices qui ont été modifiés, n'ont pas été retrouvés<sup>74</sup>. La position « carte » de l'antenne satellite de *La Dunkerquoise* est indiquée ci-dessous :

- Lat. 14° 17,872' sud,  
- Long. 178° 09,851' ouest.

Sa précision peut-être estimée à une vingtaine de mètres. La position de cette même antenne obtenue à l'aide du récepteur de satellites JMR 4 est indiquée ci-dessous :

- Lat. 14° 17' 45,17" sud,  
- Long. 178° 09' 38,30" ouest.

La position obtenue à l'aide du récepteur de satellites Transit se trouve à 440 mètres dans le 060 de la position « carte ». Le second tableau page suivante donne le détail des observations Doppler qui ont été utilisées pour déterminer la position Transit à Futuna.

Différents renseignements recueillis à Mata Utu indiquaient que l'altitude du mont Puke (le sommet le plus élevé de l'île Futuna) portée sur la carte marine 6259, était grossièrement erronée et serait proche de 500 mètres. Un contrôle effectué au sextant depuis le patrouilleur *La Dunkerquoise*, à environ 0,9 mille dans le 210 du morne du Pavillon, a permis de confirmer cette valeur.

<sup>74</sup> Cf. *Annales Hydrographiques* n° 734, p. 271.

Observations Doppler à Wallis  
(moyenne adoptée 13° 17' 09,8" S, 176° 10' 08,3" W)

N° sat	Jour	Heure (UTC)	Latitude (sud)	Longitude (ouest)	Élévation (en degrés)	Azimut au lever
190	352	23h16	13° 17' 06,523"	176° 10' 08,697"	24°	SE
190	353	01h02	07,258"	08,973"	32°	SW
200		03h12	09,240"	10,101"	75°	NE
110		03h48	08,953"	08,713"	33°	NE
			Voir nota			
110		05h38	10,611"	08,056"	23°	NW
190		11h00	10,923"	06,758"	16°	NE
190		12h46	09,047"	08,576"	39°	NW
200		14h30	10,209"	06,529"	33°	SE
110		15h18	09,641"	08,481"	16°	SE
200		16h16	09,709"	09,726"	26°	SW
110		17h02	08,963"	08,841"	45°	SW
140		17h50	09,497"	07,807"	45°	SE
140		19h38	12,762"	07,707"	15°	SW
130		21h30	09,696"	07,660"	44°	SE
130		23h18	10,625"	08,399"	16°	SW

Nota : Pour le calcul de la moyenne on a ajouté 1" aux latitudes sud des quatre premières positions.

Observations Doppler à Futuna  
(moyenne adoptée 14° 17' 45,17" S, 178° 09' 38,30" W)

N° sat	Jour	Heure (UTC)	Latitude (sud)	Longitude (ouest)	Élévation (en degrés)	Azimut au lever
130	354	22h28	14° 17' 46,817"	178° 09' 37,382"	57°	SW
190		23h24	49,205"	37,923"	31°	SE
190	355	01h10	51,063"	40,382"	27°	SW
200		02h46	40,765"	37,901"	37°	NE
110		04h00	44,290"	37,943"	41°	NE
200		04h30	38,868"	38,237"	16°	NW

## 15. CHAPITRE 15. Petits travaux en Polynésie française

Travaux divers de faible ampleur, effectués en Polynésie française à la demande des autorités maritimes locales.

### 15.1 Levé dans la zone aéroportuaire de l'atoll de Hao

#### 15.1.1 Généralités

Un contrôle des profondeurs devant les quais accessibles aux grands navires dans la zone aéroportuaire de l'atoll de Hao, située au nord de l'atoll, a été effectué du 31 mars au 4 avril 1980 par un détachement comprenant trois officiers marinières (dont deux hydrographes) et deux quartiers-maîtres, sous la direction d'un ingénieur. Ce détachement amenait avec lui 350 kg de matériel scientifique (sondeurs, marégraphes, théodolites, niveau, etc.).

Les organismes militaires présents sur place ont apporté leur concours en mettant à disposition une pinasse, avec deux barreaux, et en assurant le soutien logistique nécessaire au détachement (accueil, hébergement, nourriture, transports, ...).

Les conditions météorologiques ont été défavorables le premier jour (fort vent du nord et pluie), médiocres le second et excellentes les trois derniers jours.

#### 15.1.2 Géodésie

L'infrastructure géodésique de l'atoll est à l'abandon. De nombreux points géodésiques ont disparu, en particulier ceux implantés en bordure du lagon, ont été modifiés ou bien déplacés. Les repères<sup>75</sup> « Citerne à bitume », « Terme » et « Point astro » (wharf d'Otepa) ont été détruits ; la « Tour LDG » a été raccourcie ; les balises « S1 centre », « S2 », « S3 », « A2 », « A5 », « A7 », « A9 » et « T » ont été reconstruites à quelques mètres des ruines des anciennes.

Le point de départ du levé, effectué à la cordelle, a été positionné avec une précision de l'ordre de cinquante centimètres seulement par l'intermédiaire d'un tour d'horizon s'appuyant sur les repères « Pylône CEA », balise « A4 », balise « A3 », balises antérieure et postérieure de l'alignement d'entrée de la passe Kaki.

Matérialisé par une simple trace de peinture verte sur le quai, il a pour coordonnées, dans le système géodésique MHPF 1967 :

- X = 503 872,8,

- Y = 8 002 614,4.

#### 15.1.3 Bathymétrie

Quatre vingt profils perpendiculaires au quai et espacés de cinq mètres environ ont été sondés avec une pinasse équipée d'un sondeur Atlas Deso 10 avec transducteur hors-bord. D'une longueur moyenne de 200 mètres, ces profils ont permis d'atteindre l'isobathe 20 mètres.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur une échelle implantée dans la passe Kaki.

<sup>75</sup> Les appellations sont celles données par la MHPF en 1967 (ICA Pieretti). Cf. *Annales Hydrographiques* n° 737.

Le levé a été rédigé à l'échelle 1/1 000.

Les fonds trouvés sont très irréguliers ; la comparaison avec le levé effectué par l'IH1 Revel en 1965, à l'échelle 1/2 000 il est vrai, s'est révélée très délicate ; on a donc reporté à l'encre rouge sur le document établi quelques sondes empruntées à ce levé en appliquant à leurs coordonnées les corrections moyennes suivantes :

$dX = + 4 \text{ m}$  et  $dY = + 22 \text{ m}$ , pour tenir compte du changement de système géodésique intervenu en 1967 (cf. *Annales Hydrographiques* n° 737, p. 111). Ces sondes doivent être conservées sur les cartes marines.

Le long du quai Louarn la profondeur est partout supérieure à 7,5 mètres, mais elle devient nettement inférieure au-delà des extrémités est et ouest.

#### 15.1.4 Marée

Une échelle de marée a été installée du côté est de la passe Kaki (maintenant accessible en véhicule) côté lagon, au voisinage de l'emplacement occupé par le marégraphe est utilisé par la MHPF en 1967. Les deux repères de nivellement E2 et E3 (cf. fiche d'observatoire de marée de l'ICA Pieretti du 15 mars 1968) implantés en bordure du platier ont disparu. Le repère E1 a été retrouvé, mais le bloc de corail dans lequel il était scellé avait été déplacé. Seul subsiste le repère E4, auquel on a rattaché l'échelle.

Le zéro de l'échelle utilisée se trouve à 14 centimètres au-dessous du niveau de réduction des sondes.

La marée observée dans le lagon présentait un marnage trois fois moins important que celui de la marée prédite au large, et un retard de l'ordre de trois heures. Pendant la journée du 2 avril, et la matinée du 3 avril, le courant dans la passe Kaki a toujours été sortant avec une vitesse estimée entre 5 et 10 nœuds. Pendant les trois jours précédents, en effet, le vent était établi à 20 nœuds, avec des rafales supérieures à 30 nœuds sous les grains, donnant naissance au large à une forte houle, avec des creux de 3 à 4 mètres, à l'origine d'un ensachage important par les hoas de l'atoll.

#### 15.1.5 Topographie

La topographie des quais et des hangars les plus proches a été effectuée, ce qui a permis de valider les plans communiqués par l'arrondissement mixte de Hao (AMH).

#### 15.1.6 Document établi

Une minute à l'échelle 1/1 000, regroupant la bathymétrie et la topographie, a été établie.

## 15.2 Levés dans le port de Papeete

### 15.2.1 Quai des réparations

Un contrôle des profondeurs le long du quai des réparations a été effectué le 17 mars 1981 à l'aide d'une embarcation en alliage léger, équipée d'un sondeur Atlas Deso 10 avec transducteur hors-bord, en utilisant la méthode de « la cordelle ». Les profils suivis, espacés de cinq mètres, s'éloignent jusqu'à 50 mètres du bord du quai.

La rédaction des sondages a été faite à l'échelle 1/500, et les limites du quai reportées sur le document établi.

L'isobathe 5 mètres se trouve à des distances variant entre 6 et 13 mètres du bord du quai.

#### 15.2.2 Quai des escorteurs (postes E1 à E4)

##### 15.2.2.1 Généralités

Un contrôle des profondeurs le long des postes E1 à E4 a été ébauché le 19 mars 1981 puis achevé les 7 et 8 avril. Il a été effectué dans les mêmes conditions que le contrôle le long du quai des réparations.

Les nombreux équipements disposés sur le bord du quai, au droit des postes E1 à E4, ainsi que les mouvements des pontons sur lesquels restaient accostés les navires, n'ont pas permis de suivre des profils rigoureusement parallèles et espacés de 5 mètres.

Les sondages ont été poursuivis jusqu'à 100 mètres du bord du quai, et ils ne couvrent que très imparfaitement le récif corallien situé à environ 150 mètres au large du quai.

##### 15.2.2.2 Bathymétrie

Des profondeurs de 5,4 mètres ont été trouvées au poste E2, à environ 95 mètres du quai, c'est-à-dire au niveau du bord, côté large, des pontons. Il s'agit d'obstructions de petites dimensions qui s'élèvent à un mètre environ au-dessus du fond.

Une recherche ponctuelle a été faite au voisinage de la sonde 6,5 mètres figurée sur la carte marine 6685. Cette recherche, effectuée autour d'une bouée mouillée sur la position présumée, a permis de trouver une profondeur de 6,1 mètres qui a été portée sur la minute de bathymétrie établie.

##### 15.2.2.3 Topographie

Le dessin du quai des escorteurs et des BDC a été effectué à partir des points positionnés par la mission en s'aidant d'un plan à l'échelle 1/1 000 de la direction de l'infrastructure militaire. Les pontons et les coffres ont été dessinés en pointillés en raison de leur position fluctuante.

##### 15.2.2.4 Document établi

Une seule minute de bathymétrie et de topographie a été établie, à l'échelle 1/500, pour le quai des réparations et le quai des escorteurs.

#### 15.3 Quai au long cours

Des sondages au plomb de sonde ont été effectués à l'aplomb du quai au long cours. Ils confirment l'existence de profondeurs inférieures à 10,5 mètres le long du quai et à l'aplomb de celui-ci.

La vérification, à l'aide de plongeurs, des profondeurs inférieures à 9 mètres obtenues en 1980<sup>76</sup>, au voisinage de l'angle nord-est du quai, n'a pu être effectuée à cause de la présence de navires à cet emplacement pendant toute la durée du séjour d'une équipe de la MOP à Papeete.

#### 15.4 Marée

Tous les sondages effectués dans le port de Papeete ont été corrigés de la marée observée sur l'échelle permanente en place dans l'enceinte de la base maritime de Fare Ute.

<sup>76</sup> CF. *Annales Hydrographiques* n° 762, p. 123.

## ANNEXE : Toponymie nautique de l'île des Pins (Kunié)

par l'ingénieur principal de l'armement Jacques Siess

### 1. Introduction et remerciements

Une fois achevé le levé hydrographique d'une partie de l'île des Pins et de ses abords, et constatant de nombreuses incohérences dans les toponymes figurant sur les documents officiels en service (cartes marines et cartes de l'IGN), la mission océanographique du Pacifique a procédé à une enquête de toponymie nautique afin de proposer pour les nouvelles cartes marines des appellations conformes aux usages locaux.

C'est dans ce but que, du 15 au 18 décembre 1980, j'ai rencontré les habitants de l'île des Pins les mieux à même de me renseigner sur une matière où la tradition orale demeure encore la principale source d'information. Pour cette enquête j'ai reçu l'appui du grand chef de l'île des Pins, Hilarion Vendégou, du maire Joseph Tikouré et de tout le conseil municipal de Vao, le seul véritable village de l'île. Avec Jean Neoéré, dit « la pipe », et Wilfried Konhu, j'ai obtenu de précieuses informations sur les abords sud-ouest à nord-ouest de l'île ; l'imbroglio toponymique du nord de l'île et de la baie de Gadji a pu être résolu grâce à Pierre Kotere et au grand chef Vendégou lui-même. Mais cette enquête n'aurait pu aboutir sans le concours patient et actif d'Edouard Douépéré, ce jeune « ancien » aux vastes connaissances, qui m'a accordé, outre son hospitalité, des journées entières passées en recherches fructueuses. Je ne saurais clore ces remerciements, forcément incomplets, sans mentionner monsieur Daniel Frimigacci, de l'ORSTOM à Nouméa, auquel je dois, outre un certain nombre d'informations originales, d'avoir pu entrer en contact avec Edouard Douépéré.

### 2. Présentation des renseignements recueillis

Le corps de la présente enquête de toponymie est constitué par les annexes 2 à 4 de ce rapport.

L'annexe 2 fournit la liste de 197 toponymes avec leur prononciation et, en observations, toutes les indications recueillies à leur sujet : origine, étymologie, incertitudes, etc.

Les annexes 3 et 4 sont constituées respectivement d'extraits de la carte IGN au 1/50 000<sup>ème</sup> de l'île des Pins et de la carte marine (CM) 1856 au 1/69 100<sup>ème</sup>, sur lesquelles on a reporté les numéros repères des toponymes listés en annexe 2.

L'annexe 1 présente et explique les choix orthographiques effectués, finalement assez voisins de ceux de Bouquet de la Grye il y a plus d'un siècle, de plus, une cassette magnétique a été enregistrée (voir ci-après), de telle sorte qu'avec les indications de prononciation fournies en annexe 2, toute nouvelle convention d'orthographe doit pouvoir être adoptée a posteriori.

On a jugé utile de rappeler succinctement, en annexe 5, les conditions générales (civilisation et linguistique) du développement d'une toponymie nautique dans l'île des Pins.

L'annexe 6 reprend, dans l'ordre où ils ont été enregistrés sur cassette magnétique (face 1), qui est l'ordre chronologique de l'enquête sur le terrain, la plus grande partie des toponymes listés en annexe 2.

Il a semblé également intéressant de compléter la présente enquête toponymique par une revue des termes génériques nakuniés se rapportant à la cartographie marine et à la navigation, dans le but de faciliter les recherches sur l'origine possible de certains toponymes. Les indices les plus évidents ont bien entendu déjà été examinés lors de l'enquête sur le terrain. Ainsi, si l'annexe 2 ne fournit pas l'étymologie d'un nom, c'est que cette étymologie était inconnue d'Edouard Douépéré. Pour constituer cette liste de termes génériques, on a utilisé comme guide l'ouvrage n° 1D du SHOM, « Symboles et abréviations figurant sur les cartes marines françaises », édition 1978, dont on a cherché à traduire chaque terme. Cette liste de mots en nakunié constitue l'annexe 7 et se trouve également enregistrée sur cassette magnétique (face 2).

Enfin une sélection des toponymes recueillis a été reportée sur les minutes de topographie au 1/20 000<sup>ème</sup> (T20<sup>14</sup>, T20<sup>15</sup>, T20<sup>16</sup>) couvrant le nord et l'est de l'île des Pins.

Une sélection des toponymes qui pourraient être retenus pour une carte à l'échelle 1/60 000<sup>ème</sup> environ de l'île des Pins est indiquée de la façon suivante :

- noms soulignés en annexe 2,
- numéros renforcés dans les annexes 3 et 4.

Quelques références bibliographiques utiles sont fournies en annexe 8 au présent rapport.

### 3. Principaux résultats

#### 3.1

La densité des toponymes recueillis reflète très directement l'intérêt que portent les Kuniés à chacune des régions de l'île. La précision et l'exactitude des désignations va de pair avec cette densité ; on peut donc accorder un excellent crédit aux renseignements recueillis qui concernent les régions proches de Vao (de la baie d'Upi à l'anse de Kanuméra) et de Gadji (tous les îlots du nord). A l'inverse, des lacunes et des contradictions subsistent dans toute la zone comprise entre la grande baie de Uamè et la passe de la Sarcelle. Certaines régions peu fréquentées demeurent pauvres en toponymes, comme la côte est de l'île, entre Oro et la passe sud-est de la baie d'Upi, ou la zone récifale située au sud-est de la passe de la Sarcelle.

La toponymie de la carte IGN au 1/50 000<sup>ème</sup> présente de nombreuses erreurs, sans parler de l'absence d'une convention orthographique évidente (voir annexe 1). La toponymie proposée à l'issue de l'enquête s'avère beaucoup plus proche, tant dans la désignation des lieux que dans l'orthographe adoptée, de celle des cartes marines levées en 1856 par Bouquet de la Grye (CM 1823, 1824 et 1856). Les principales différences ou nouveautés sont indiquées ci-dessous, les numéros repères renvoyant à l'annexe 2 et aux cartes index (annexes 3 et 4).

Cette enquête ne concernant que la toponymie marine, la toponymie de l'intérieur de l'île des Pins n'est pas remise en cause et l'on se reportera, pour ce qui la concerne, aux documents officiels en vigueur.

### 3.2

- L'appellation « Passe Nokanhui » (CM 1823 et 1824) n'est pas connue des Kuniés qui parlent de NOJÜ (n° 12).
- L'appellation « Baie de Gü » (CM 1823 et 1824) n'est pas connue des Kuniés qui parlent de KORORÜ (n° 27).
- L'appellation « Banc de Naré » (CM 1823 et 1824) n'est pas connue des Kuniés qui ne possèdent pas de toponyme propre pour le désigner. On suggère donc de conserver l'appellation actuelle (n° 74).
- Bien qu'elle soit inconnue des Kuniés, on suggère de conserver l'appellation KÜTO (n° 84 et 85), dont l'usage a été introduit par les cartes existantes.
- Les appellations « Dü Ana » et « Dü Ami » (CM 1824) sont inconnues des Kuniés qui parlent de DÜNU et UÉRÉ (n° 115 et 116). Il est possible qu'il y ait eu confusion avec les îlots NUANA et NUAMI (n° 14 et 15) de l'atoll NĒKANMUÉ (n° 13) au sud de l'île des Pins.
- Les appellations « Karingea » et « Dunienta » (CM 1824 et 1856) sont inconnues des Kuniés qui parlent de NTANGA (n° 112) et UATĒRĒ (n° 114).
- La désignation des récifs situés entre la baie de UAMĒ et la passe de la Sarcelle demeure incertaine (n° 122 et 127, 123 et 124, 117 et 118, 128).
- Le récif appelé TITIA est correctement désigné sur la CM 1824 mais non sur la CM 1856 (n° 126).
- Les îlots du nord-ouest de la baie de Gadji baptisés sur la CM 1824 et 1856 « Namui » et « Moreliga » sont appelés par les Kuniés VĒMĒA (n° 148) et NUNĒL (n° 149) respectivement. Quant à l'îlot « Evumoea » figuré sur les cartes marines, il n'a pas de nom en nakunié, et a pu être confondu avec VĒMĒA... à moins que la tradition orale n'ait modifié les noms.
- Les îlots entre la baie de Gadji et la baie des Crabes (GUNTA) baptisée sur les CM 1824 et 1856 « Jemmy » et Noediure » n'ont pas de nom en nakunié.
- L'appellation « baie de Ugo » (CM 1824) est inconnue des Kuniés et les îles « Uatomo » et « Uage » sont appelées KUNUMBOT (n° 190) et MĒNĒIA (n° 191).
- Les appellations « Ioni » et « Tume » en baie d'Upi (CM 1823 et 1824) sont permutées (n° 40 et 42).
- L'îlot appelé « Tanu » (CM 1823 et 1824) à l'est de Kutomo n'a pas de nom en nakunié, TANU étant le nom de la plage située en face (n° 2) ; l'îlot « Kuibandiu » est appelé ATĒRĒ par les Kuniés (n° 4), le toponyme KUIMANDIU (n° 3) se rapportant à la plage située en face.

### 3.3 Passes de Gadji et de Uapan

Si la baie de Gadji mentionnée sur les cartes marines se trouve normalement devant Gadji, la « Passe de Gadji », qui permet d'accéder au « Mouillage de Gadji », conduit en fait devant Uapan.

Trois passes sont désignées sans ambiguïté par les Kuniés, dans la région nord de l'île des Pins, et avec une excellente logique :

- la passe de Upé (n° 186) qui conduit à Upé (n° 185),
- la passe de Ngié (n° 155) à l'est de l'îlot du même nom (n° 153),
- la passe de Bumbu (n° 154) à l'est de l'îlot du même nom (n° 152).

Notons que ces deux dernières se fusionnent en une seule, entre Mënoré (n° 150) et la pointe sud de Ndadiaré (n° 151).

Bien qu'ils n'emploient pas le toponyme proposé ci-dessous, les Kuniés conviennent que la passe baptisée « de Gadji » sur les cartes en service, devrait s'appeler « Passe de Uapan » (n° 156), puisque menant au « Mouillage de Uapan » (n° 184) en face du territoire de la tribu du même nom (n° 183). On aura un indice supplémentaire de la frontière maritime entre les tribus de Gadji et de Uapan en examinant l'étymologie des toponymes n° 170 (le clan Vendégou était celui des chefs de la tribu de Gadji, avant d'être le clan dominant de l'île) et n° 164, qui confirment la logique du baptême n° 156.

Il ne serait pas équitable de déposséder la tribu de Gadji d'un toponyme qui l'honore, et l'on propose la solution suivante. Puisque la grande baie qui s'étend au nord-ouest de l'île, devant Gadji et Uamë, est appelée sur les cartes en service « Baie de Uamoeo » et que, bien que les Kuniés ne l'utilisent pas, il n'y a pas lieu de supprimer cette appellation, on pourrait appeler « Passe de Gadji » la passe entre Ndadiaré (n° 151) et Mënoré (n° 150), avant sa séparation en passes de Bumbu et de Ngié, et « Passe de Uamë » la passe sans nom entre Ndaomakuié (n° 127) et Ndadiaré (n° 151) qui commande l'accès par le nord en grande baie de Uamë (le pic Nga au 147°). N'ayant pas été recueillis ou acceptés sur le terrain, les deux toponymes proposés ne figurent pas sur les documents annexés.

## Annexe 1 : Orthographe utilisée

En l'absence d'une norme établie pour l'écriture de mots mélanésiens, et en particulier du langage nakunié, on a opté arbitrairement pour une orthographe conventionnelle à partir des critères suivants :

- simplicité,
- absence d'ambiguïté,
- lecture par des francophones.

Mais à l'usage, même la solution adoptée ne réussit pas complètement à satisfaire simultanément ces trois critères, le deuxième en particulier. Ainsi par exemple la lettre « N » dans UAKONIA (n° 138) se rattache à la dernière syllabe : UA-KO-NIA, alors que dans KONUA (n° 144) elle se rattache à la première KON-UA. D'autre part, certains noms propres connus de tous, ont déjà une orthographe figée que l'on ne peut modifier dans le seul but de la rendre compatible avec la prononciation usuelle. On aurait pu ainsi remplacer KUNIÉ par KUÉNIÉ, mais le gain en exactitude ne semblait pas suffisant pour bouleverser les habitudes prises. De façon générale, dans une optique cartographique, on a recherché une orthographe aussi simple que possible et avec un minimum d'accentuation, quitte à éliminer certaines nuances mineures ; mais on a tenu à conserver les nuances essentielles en choisissant une orthographe appropriée au lecteur francophone non spécialiste du nakunié. Ainsi par exemple, un spécialiste peut-il se permettre d'écrire « DATIVI », car il sait qu'il faut prononcer : nDATchIVI. Il s'agit là, à mes yeux, de nuances importantes, c'est pourquoi j'ai retenu dans ce cas l'orthographe « NDATCHIVI » (n° 61), qui demande quelques lettres supplémentaires. Autre exemple, j'ai écrit NTĚUĚNDJĚ (n° 129), entre une solution « complète » qui aurait pu être NTĚUĚNDJĚ (une lettre en plus) et la solution minimale : TĚUĚNJĚ (deux lettres en moins).

A noter que la convention retenue pour l'écriture des sons « u » et « ou », soit Ū et U conformément aux anciennes cartes marines, diffère des usages sur la Grande Terre, où l'on écrit généralement U et OU (exemples : Ducos, Nouméa), avec bien sûr des exceptions (exemples : Plum, Tué, Uéré, etc), sans compter les cas particuliers (exemple : Dumbéa qui est universellement prononcé « daim - m'béat ». Un nom tel que NOUÉ (n° 103) semble en effet plus facile à déchiffrer que s'il était orthographié NOOUÉ, surtout pour un utilisateur de la carte non francophone, et on a préféré de la même façon NŪNCHOUMBĚ (n° 130) à NUNCHOUMBEU qui, en plus, laisse planer le doute sur une éventuelle nasale initiale « nain-chaud... ».

### 1. Sons « U » et « OU »

On a retenu, comme sur les anciennes cartes marines, la convention d'écrire « U » pour le son OU (comme dans coup, bout, choux) et « Ū » pour le son U (comme dans lu, vue, jus). On l'a fait de façon systématique, alors que les cartes marines anciennes admettaient des exceptions (récif Mdiouaré, îlot loupe, loupere, etc.) et qu'aucune règle ne semble avoir conduit les choix toponymiques de la carte IGN au 1/50 000 (c'est ainsi le son « ou » qu'il faut prononcer dans Touété, Upé ou Wapan). Lorsqu'on lit KUTO sur ces cartes, faut-il prononcer « cul-tôt » ou « cou-tôt » ? Dans le doute, le lecteur choisit l'une ou l'autre solution et même le Kunié qui entend dire « cul-tôt » aussi bien que « cou-tôt » emploiera bientôt l'un comme l'autre. Comme il s'agit dans ce cas précis d'un nom d'origine étrangère à l'île, sans référence étymologique ou culturelle en nakunié, cette imprécision orthographique initiale a finalement gangrené la phonétique elle-même, ce qui n'est pas fait pour faciliter les recherches étymologiques.

Or les anciennes cartes marines de Bouquet de la Grye avaient été remarquablement faites ; en particulier, chaque fois que le son « U » devait être rendu, c'est Ū qui était écrit, de sorte qu'on peut supposer que s'il a écrit KUTO, c'est bien « cou-tôt » qu'il fallait lire. Alors pourquoi proposer maintenant l'orthographe KŪTO (n° 84) qui fixe irrémédiablement la prononciation « cul-tôt » ? C'est que le mal est fait, qu'une majorité (les Occidentaux surtout) semble préférer cette prononciation, et que le rôle d'une enquête de toponymie est de recueillir des usages, non de chercher à en imposer de nouveaux ou de freiner des évolutions sociologiques et culturelles inéluctables, quelle qu'en soit la cause.

### 2. La voyelle E et ses accents

L'imprécision du son attaché à la voyelle E dans la langue française conduit à ne l'utiliser pour la toponymie de l'île des Pins qu'accentuée :

- É : son é, comme dans ré, gué...
- È : son è comme dans mais, lait, geai, hère, fête...
- Ě<sup>77</sup> : son eu : ouvert, comme dans cœur, beurre, veuf  
fermé comme dans peu, vœu, le.

Pour ces trois sons, il existe toutefois en nakunié de subtiles variations que l'on n'a pas cherché à restituer dans l'orthographe ; tout au plus les a-t-on mentionnées dans la colonne « prononciation » de l'annexe 2 ; l'enregistrement sur cassette magnétique doit permettre à d'autres oreilles de se faire une idée peut être plus exacte sur les sons prononcés.

<sup>77</sup> On aurait pu aussi bien utiliser le moins moderne « oe », qui nécessite une lettre de plus et peut être mal lu par des étrangers. Sans compter qu'il semble préférable d'écrire IUĚPĚRĚ (n° 181) plutôt que IUOEPOEROE.

### 3. Les voyelles A, O, I

Elles sont utilisées ici avec la même valeur phonétique de base qu'en français ; on précise dans les éléments de prononciation donnés dans l'annexe 2, quand elles sont nasalisées, plus ouvertes ou fermées, quand elles tirent sur une autre voyelle, etc.

A : son a, comme dans pas, âme, banane, glas...

O : son o, comme dans pot, pomme, paume...

I : son i, comme dans lit, vie, tir, gît...

### 4. Les nasales AN, ON, IN, OIN

Elles sont également utilisées avec la même valeur phonétique qu'en français (un, bon, vent, point). On n'a pas utilisé les autres orthographes possibles : EN, UN, UIN.

### 5. Les diphtongues

L'écriture des diphtongues rend à chacune des voyelles ou nasales composantes sa vraie valeur, de telle sorte qu'on ne peut pas rencontrer des mots comme « oiseau », où aucune des cinq voyelles ni la consonne n'est prononcée à sa valeur de base (on aurait écrit ici : UAZO !). Ainsi la prononciation de IAUË (ya-houx-eux) doit-elle être évidente.

On rappelle que la nasale OIN forme un tout et que de toute façon, même en décomposant en « eau-un », on aboutit au même son (considéré en seule syllabe brève) qu'en partant de UIN.

### 6. Les consonnes

La langue nakunié est riche en consonnes, plus ou moins nasalisées, avec des valeurs intermédiaires nombreuses ; l'orthographe occidentale est fort mal adaptée à leur rendu correct. Il a donc fallu faire des choix, suivant les critères énoncés plus haut.

Quelques caractéristiques peuvent être rappelées. Certaines consonnes qui se prononcent franchement du bout des dents en français (exemple : d ou t comme dans dater), sont souvent d'abord projetées du fond de la gorge ou/et souvent ensuite « mouillées » par une voyelle intermédiaire. Si cela reste faible, on ne l'a pas écrit (ex : DA) ; si cela devient marqué, on a écrit le minimum nécessaire (exemples : NDA, DIA, DJA, NDIE) sans aller jusqu'aux extrêmes, tel NDJIA, qui pourrait alors tout aussi bien s'écrire NTCHIA.

Le son K qui est très net a été écrit exclusivement K, éliminant ainsi les lettres superflues Q et C. On rappelle aussi que les sifflantes n'existent pas dans le langage nakunié (S, F) et que le L y est rare. Le R est prononcé du bout des dents, à peine roulé, et souvent très voisin du L. Le G est sans doute la consonne la plus difficile à prononcer correctement par un Occidental, étant à la fois très guttural et nasalisé. Le N est souvent suivi d'un i de liaison et l'on a préféré écrire NI plutôt que de recourir au tilde espagnol (Ñ) lorsqu'on a jugé nécessaire de rendre dans l'orthographe l'importance de cette voyelle de liaison.

Annexe 2 : Toponymie nautique de l'île des Pins et du lagon environnant

AVERTISSEMENT

- 1 - Les numéros repères renvoient aux cartes index IGN au 1/50 000<sup>ème</sup> de l'île des Pins (annexe 3) et marine 1856 (annexe 4).  
 2 - Il est également fait référence dans le texte aux cartes marines 1823 et 1824 (éd. 1967).  
 3 - Les noms soulignés, correspondant aux numéros renforcés sur les cartes index, sont ceux que l'on propose de faire figurer sur une future carte marine à l'échelle 1/60 000<sup>ème</sup>.  
 4 - La convention orthographique retenue est explicitée en annexe 1.  
 5 - Les éléments figurés de prononciation utilisent des mots français existants dont la prononciation n'est pas contestable, ou des groupes de syllabes sans signification que tout lecteur francophone peut prononcer sans ambiguïté. Quelques mots étrangers commodes ont parfois été utilisés : catch et boat de l'anglais, ya de l'allemand, hoy de l'espagnol, etc. Les tirets isolant les syllabes dans la prononciation figurée n'ont pour but que d'éviter toute erreur par regroupement de lettres inopportun ; pour la prononciation du mot, ces syllabes doivent être liées, presque fondues ensemble. La prononciation en nakunié est aussi monosyllabique que possible, même en présence de longues diphtongues ou de consonnes complexes, ce qui explique l'assourdissement général des voyelles et l'absence de netteté, de franchise, des consonnes.  
 6 - Ces toponymes sont complets, et il n'y a pas lieu de leur rajouter des termes génériques. Exemples : pour les toponymes n° 12, 27, 105 et 151 il ne faut pas mettre : passe Ndjü, baie Kororü, île Numua ou récif Ndadiaré.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
1	<u>KUTOMO</u>	(couteau-mot)	Nom de toute l'île.
2	TANU <sup>78</sup>	(tas-nou)	Nom de la petite baie vaseuse en face de l'îlot appelé Tanu sur CM 1823 et Atéré sur IGN.
3	KUINANDIU	(qu'oui-ment-diou, presque djiou)	Nom de la petite plage en face de l'îlot Atéré, semble aussi désigner toute la région jusqu'à Tanu.
4	<u>ATÈRÈ</u> <sup>79</sup>	(à-tes-raies, presque hâte heureux)	Nom de l'îlot appelé Kuibandui sur CM 1823 et Kuibandui sur IGN.
5	<u>NONGAN</u>	(non-gant, presque non-nan)	Nom du récif jusqu'à la hauteur de l'îlot Atéré.
6	NÉPÈ	(n'épais, presque nez-peu)	Petite zone cultivée de Kutomo, au fond de la faussement appelée de Gü (CM et IGN).
7	UOMO	(ou-au-mot, presque ou-au-ment)	(douteux)
8	UINOKOIN	(oui-no-coin, presque moui-non-coin)	Uinon = morceau, tronc Koin = sable Nom de la plage au SE de Kutomo.
9	UAMO	(oie-mot, presque ouais-meuh)	Nom de la toute petite plage bien marquée sur la CM 1823. Wé = embouchure Mo = entamé, dégradé S'emploie pour le sable qui tombe en laissant des petites fa laises sous l'action de la mer.
10	MAÏOKÜ <sup>80</sup>	(maille-au-cul)	Nom de la passe la plus importante au sud de Kutomo, avec une patate centrale qu'il faut laisser à l'ouest (cf. CM 1823).
11	UÈKATCHIË	(ouais-catch-yeux)	Nom des trois passes pour embarcations légères juste à l'ouest de Maïokü (cf. CM 1823).
12	<u>NDJÜ</u>	(n'd'jus)	Nom de la passe entre Kutomo et le récif Nèkanmué. Ndjü = gueule rouge (poisson de la famille bec de cane) L'appellation passe Nokanhui de la CM 1823 n'est pas utilisée.
13	<u>NÈKANMUÉ</u>	(ne-quand-moué presque moins)	Désigne l'ensemble de l'atoll, avec ses trois îlots boisés.
14	<u>NUANA</u>	(nous-ana)	Nu = île, îlot Ana = qui est situé plus haut, par extension, qui est situé plus au nord.
15	<u>NUANI</u>	(nous-ami)	Ami = qui est situé plus bas, par extension, qui est situé plus au sud <sup>81</sup> .

<sup>78</sup> Nom d'origine polynésienne (TA'AONE = marcher sur le sable).

<sup>79</sup> L'îlot appelé Atéré sur IGN ne semble pas avoir un nom en propre et est parfois désigné Tanu comme sur la CM 1823, du nom de la plage devant laquelle il se trouve.

<sup>80</sup> Etymologie : maïë = rot, éructation ; kü = merloche (nom du poisson).

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
16	<u>KUTOMĚRĚ</u>	(couteau-m'-heureux)	Ilot boisé (pandanus, filaos).
17	<u>UĚRĚTĚTĚ</u>	(houx-heureux-te-thé)	UĚrĚ = pin colonnaire TĚtĚ = isolé, tout seul Il y a effectivement à cet endroit un pin colonnaire solitaire.
18	<u>UĚDJĚKANMĚNĚ</u>	(ou-eux-djieu-quand-me-ne)	Petite passe pour embarcation, « en face du gros caillou ».
19	<u>MOINNĚNU</u>	(moins-nez-nous)	Nom du plus gros des rochers devant la côte, bien qu'étymologiquement : MoinnĚ = grappe Nu = île, îlot
20	<u>NĚMANNINDJĚ</u>	(ne-ment-ninne-djieu)	Endroit où débarquèrent les ancêtres tongiens des KapunĚ. NĚman = morceau cassé NindjĚ = calebasse (djĚ = l'eau)
21	<u>MOINNIĚ</u>	(moins-n'yeux)	Nom du récif au sud et sud-ouest de Kutomo. Moin = maison NiĚ = bateau
22 de	<u>KONVIĚ</u>	(con-vieux)	Nom de la bande sableuse (et non du récif) au sud et sud-ouest de Kutomo. Kon = sur, dessus ViĚ = moule (coquillage)
23	Pointe <u>ITA</u>	(ita)	Ita = bougnat (en tongien) Les KuniĚs disent « Pointe Ita » et non Ita tout court.
24	Port <u>TITCHĚNĚ</u>	(port-ti-tchĚnĚ)	Port = mot français Ti = les gens (mot nakuniĚ) TchĚnĚ = déformation de Sydney (la ville australienne) Ce nom désigne une jetée naturelle où les santaliers venaient autrefois charger le santal de Kutomo.
25	<u>NU</u>	(nous)	Nom de la bande cōtiĚre autour de Tchima.
26	<u>TCHIMA</u>	(tchimma)	Nom de la pointe prolongĚe par le rĚcif.
27	<u>KORORŮ</u>	(corps-aux-rues, presque koro-eux ou colle-au-hue)	Nom de la baie intĚrieure de Kutomo. KororŮ = endroit trĚs resserrĚ, presque refermĚ L'appellation « Baie de GŮ » (CM et IGN) n'est pas employĚe par les KuniĚs, et son origine est inconnue.
28	<u>KONKON</u>	(con-coin)	Nom de la pointe. Kon = sur Koin = le sable (nom que l'on retrouve à UamĚ, n° 133)
29	<u>KOINMA</u>	(coin-ma)	Nom de la grande plage de sable. Koin = sable Ma = long
30	<u>UĚNĚ</u>	(ouais-nez, presque oie-nain)	Petite ěchancrure de la cōte avec un caillou devant (cf. CM 1823).
31	<u>MĚNIĚLA</u>	(mĚniĚla)	Nom de la plage de Kutomo qui fait face à Saint-Joseph. Origine : dĚformation nakuniĚ du nom « Manly » d'une cĚlĚbre plage australienne.
32	<u>NU LAPIN</u>	(nou-lapin)	Ilot aux lapins, en baie d'Upi.
33	<u>TINGA</u>	(ti-n'ga)	Ilot en baie d'Upi.
34	<u>TARĚ</u>	(tarĚ)	Ilot en baie d'Upi.
35	<u>UAKUIĚ</u> <sup>82</sup>	(oie-cou-i-yĚ)	Nom de la pointe rocheuse.

<sup>81</sup> Bien qu'ils n'aient jamais utilisĚ de carte marine, les KuniĚs se transmettaient oralement l'information nautique, les schĚmas d'ětoiles, avec apparemment le concept purement mental de carte oŮ le nord ětait placĚ en haut.

<sup>82</sup> Etymologie : WĚ = face Ě, tournĚ vers ; KuiĚ = le vent.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
36	UADJUMÉA	(oie-djiou-méa, presque ouais-tchiou-méa)	Wé = embouchure Tjuméa = percé Cet endroit est aussi appelé POTAVIÉ, nom d'origine javanaise.
37	UÈNTĚ	(où-haine-te)	Nom de la pointe dirigée vers Kutomo. Wé = ouverture, embouchure NtĚ = conque marine
38	KAKÜ	(kà-cul)	Ka = en dessous Kü = le kohu (nom d'arbre) Désigne toute la portion de côte entre UèntĚ et Uadiani.
39	UADIANI	(oie- djia-ni, presque né)	Désigne une petite plage en face de l'îlot Tinga <sup>83</sup> .
40	IOGNI	(io-nii)	Désigne une petite plage en face de l'îlot Tinga.
41	MAU	(ma-houe, presque ma-oué)	Petite plage vaseuse. Signifie en nakunié se reposer, finir de travailler.
42	TÛMĚ	(tu-me, presque tchu-mé)	Désigne la pointe et la baie vaseuse. MĚ = marée basse
43	TCHIGANRĚ	(tchi-gant-ré ; presque ti-ngan reu)	Nom de l'îlot le plus important du fond de la baie d'Upi.
44	BADA	(bà-dà, presque banc-daa)	Signifie dans les coraux, dans les récifs, au milieu du corail.
45	UPI	(houx-pis, presque houx-pé)	A donné son nom à toute la baie ; nom du clan de Lifou, aujourd'hui éteint, qui habitait Vao, Kutomo ainsi que le pourtour de la baie d'Upi.
46	TCHĚ	(tcheu)	Petite plage du fond de la baie d'Upi. TchĚ = la fourche
47	MOÉRĚKAPU	(mou-et-ré-ka-poux, presque mou-heureux...)	MoérĚ = falaise Kapu = sacré
48	Baie d'UPI	(houx-pis)	Les Kuniés disent eux-mêmes « Baie d'Upi ».
49	MOÉRĚ <sup>84</sup>	(mou-et-reu)	MoérĚ = falaise
50	PÉTÉRĚ	(péter-ré, presque pètĚrĚ)	
51	NUVIĚKUAĪ	(nous-vie-et-cou ail)	Désigne le caillou à deux têtes le plus proche de terre. Nu = île, îlot ViĚkuaĪ = fourche, fourchu
52	TCHĚ	(tcheu, presque te ou tchiĚ)	Baie vaseuse à l'entrée de la baie d'Upi. TchĚ = laitue (sans doute un mot d'origine anglaise : lettuce)
53	VĚ	(vé)	
54	UAPUITĚ	(oie-poux-i-te, presque houx-eau-pouiteu)	Nom de la pointe et du chenal d'accès à la baie d'Upi. Signifie littéralement « le lieu où l'on traverse ».
55	IA	(ya)	Nom de la petite plage.
56	KURĚNIA	(court-et-nia)	Nom de l'extrémité nord de la plage. Nia = plage, grève Kure = fin (la fin de)
57	TĚ	(theu)	Désigne une petite portion (environ 200 m) de la plage.
58	POINDAUIA	(point-n'da-oui-ya)	Nom d'origine javanaise. Désigne un petit caillou devant la plage.
59	NDARÛ	(n'da-rue, presque n'ta-r'jus)	Désigne un petit caillou au nord de Saint-Joseph. Nda = récif RÛ = nom d'un clan, aujourd'hui éteint

<sup>83</sup> NI (presque NIĚ, NIĚ) = cocotier (NIĚ) ou coco (NIĚ).

<sup>84</sup> Il existe un autre MoérĚ sur la côte ouest de l'île (n° 110).

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
60	Saint-Joseph		Grève à pirogues de Vao, signalée par la statue de Saint-Joseph.
61	<u>NDATCHIVI</u>	(n'da-tchivi, presque n'ta...)	Récif barrant l'accès vers la baie d'Upi. Nda = récif Tchivi = bécassine
62	KAPUMÉ	(ca-poux-mé, presque kapoumeu)	Nom de l'endroit où résidait le clan des Kapumé, aujourd'hui éteint (origine tongienne ?). Kapu = sacré
63	<u>VATCHA</u> <sup>85</sup>	(va-t'chat, presque : vatchieu)	Site à poterie Lapita, également appelé Saint-François.
64	MBUÉ	(m'bouée, presque m'boueux)	Site également appelé Saint-Maurice (statue).
65	<u>VAO</u>	(va-eau)	Nom du village, de la mission.
66	<u>KÉRÉ</u>	ké-ré, presque queue-rheu)	Nom de la plage, et de la portion du village s'étendant du garage municipal jusqu'à l'entrée du village de Vao.
67	<u>TCHIË</u>	(tchi-euh, presque tieux)	Nom du récif et du rocher devant Kéré. Appelé aussi, du fait de sa forme, « le sabot de la reine Hortense ».
68	<u>MU</u> ou <u>l'Ilot Brosse</u> <sup>86</sup>	(mou)	Les calédoniens disent « l'Ilot Brosse », ainsi que les touristes et les militaires ; les mélanésiens disent entre eux « Mu » ou sinon « l'Ilot Brosse ». Plus personne ne parle de l'île Alcène.
69	<u>Mouillage de l'Alcène</u>		Non utilisé par les Kuniés, et sans doute guère plus par les plaisanciers.
70	<u>Passe de MU</u>	(mou)	Appellation employée par les mélanésiens, mais en voie de disparition.
71	<u>NDJUARÉ</u>	(n'djiou-a-ré)	Nom de tout le récif situé entre les passes de Mu et de Nokoin.
72	<u>Passe NOKOIN</u>		Entre Nokoin et Ndujaré.
73	<u>NOKOIN (îlot Infernal)</u>	(no-coin, presque nœud-coin)	Nom de l'îlot boisé et du récif. Në = feuille Koin = sable Egalement connu des navigateurs occidentaux sous le nom d' « Infernal ».
74	On suggère de conserver l'appellation « Banc de NARÉ »		L'appellation « Banc de Naré » est inconnue des Kuniés qui n'ont pas de toponyme pour ce plateau sous-marin.
75	<u>RÉYÉ</u> (îlot Bayonnaise)	(rayé, presque 'et-yé)	Le nom d' « l'Ilot Bayonnaise », utilisé par les Occidentaux, est connu des mélanésiens mais non utilisé entre eux.
76	<u>TCHU</u>	(tchou, presque toux)	Signifie « le soulier » (sans doute un mot d'origine anglaise : shoe). L'appellation « Aventure » n'est pas utilisée par les Kuniés.
77	<u>NËVI</u>	(nœud-vit)	Në = feuille Vi = liane (variété poussant sur la roche) L'appellation « Duroc » n'est pas utilisée par les Kuniés.
78	MUINÉ	(mou-i-nez, presque m'oui-nœud)	
79	KOMANIA	(qu'eau-magne-ah)	Nom du lieu où la route fait un « S », nom d'une tribu, par extension, nom de toute la région habitée par cette tribu.
80	<u>KOINNÉ</u> <sup>87</sup>	(coin-nait, presque coin-nœud)	Koin = sable Né = chrome Il s'agit effectivement d'une plage de sable ocre.
81	<u>KOBURÉKANÉ</u>	(qu'eau-bourré-cane-et, presque con-boulet-cané)	Littéralement : « l'endroit où l'on a frappé du casse-tête ». Ko = trace ; Buré = frapper à terre ; Kané = le casse-tête Désigne la pointe face à l'îlot Brosse (Mu).

<sup>85</sup> L'orthographe « VACIA » sur les cartes marines semble italienne.

<sup>86</sup> L'îlot Brosse, vu de MUINÉ, ressemble à une brosse à cheveux avec un manche.

<sup>87</sup> Le mot Koinné veut dire aussi : la poudre (explosif).

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
82	URÉ	(ou-ré)	Extrémité orientale de la plage de Kanuméra.
83	KANUMÉRA	(qu'a-nous-mes-rat)	1 - nom du rocher bien connu. 2 - nom de toute l'anse (CM 1823 correcte), étymologie incomplète : Ka = en dessous Nu = île, îlot, caillou
84	KÜTO	(cul-tôt) <sup>88</sup>	Désigne, sur la CM 1823, la baie et la presqu'île, sur la carte IGN au 1/50 000 la mission, le « port », et la partie habitée nord de la presqu'île. Or les Kuniés ne connaissent pas l'origine de ce nom, et ne l'emploient pas entre eux ! Pour eux toute la région s'appelle KA (kà, kaa), depuis Koburékané jusqu'à Kutéma. Mais pour tous les Occidentaux, les touristes et les militaires du centre de repos, et sur la plupart des documents officiels (annuaire téléphonique) c'est ce nom qui est utilisé. Il faut donc le conserver pour désigner le village sur la presqu'île ainsi que la baie.
85	Baie de KÜTO	(cul-tôt) <sup>88</sup>	Origine possible du nom KÜTO (prononcé cou-tôt) : 1 - KUTIÉ (coûte-yeux, presque cou-tchieu) = partir, sortir en nakunié ; 2 - lorsque les déportés firent place aux relégués à l'île des Pins, une partie de ceux-ci aurait transité par « Kutio » près de Nouméa. Ces deux hypothèses sont douteuses et n'ont pas pu être vérifiées.
86	KA	(càs, avec un « a » long)	Désigne toute la région au pied du pic Nga, depuis Kutomo au NW jusqu'à Koburékané au SE. Seule appellation utilisée entre eux par les Kuniés pour désigner la région appelée KÜTO par les Occidentaux. Mais KÜTO est utilisé dans les discours mixtes (Kuniés/Occidentaux) et ne prête pas à confusion.
87	Pic NGA	(n'gars, presque n'gant)	
88	Pic MEUNIER	(meunier)	Origine inconnue, probablement le nom français du métier ou un nom propre français : on a donc conservé l'orthographe française (sinon on eût écrit MËNIÉ).
89	KUTÉMA	(côuté-ma,	Désigne toute la plage et la pointe rocheuse la séparant de la presque cou-tchié-ma) baie de Küto.
90	UËNANAVO	(ouais-nana-veau)	Désigne la pointe rocheuse et le récif qui la prolonge jusqu'à la passe pour petites embarcations.
91	Passe de UËNANAVO		Passe pour embarcations, assez dangereuse du fait des courants.
92	MORO	(moreau, presque molo)	Nom de l'îlot (sortir ou dépasser ?).
93	PRÛNDJË	(prune-d'jeu, presque pou-une-d'jus)	Nom du récif débordant au sud de Moro.
94	NDAKUÉ <sup>89</sup>	(n'da-cou-et)	Nom du récif.
95	NDAPRI <sup>89</sup>	(n'da-prix, Nom du récif. presque n'da-péri)	Nom du récif.
96	PRIMAKUÉ	(prix-ma-cou-et, presque plie-me-cou-ai)	Désigne l'ensemble des deux récifs.
97	VO	(veau, avec un « o » long)	Désigne la plage et la bande côtière improprement baptisée Kuteme sur la CM 1823. On n'a pas cru bon, pour rendre le « o » long, d'écrire Voh, comme pour la commune du même nom sur la Grande Terre.
98	URO	(ou-rôt)	Ancienne commune de la déportation ; zone habitée enfouie sous une importante végétation, au pied du pic Meunier.

<sup>88</sup> Prononciation non fixée et les Kuniés aussi bien que les Occidentaux disent indifféremment KUTO (cou-tôt).

<sup>89</sup> Nda = récif (presque n'tas) - L'appellation « récif Tapéri » sur les cartes (CM et IGN) constitue donc un pléonasme.

Kué = fougère Primé = écorce de niaouli

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
99	UËNDAUI	(ouais-n'da-oui)	Désigne toute la côte entre les deux pointes, face à Koé.
100	KOË	(co-et)	Nom de l'îlot face à Uëndauï.
101	NDËMOINRINIË	(n'deux-moin-riz-n'yeux)	Désigne les deux îlots baptisés « Tubaenioe » sur la CM 1823. Expression inséparable signifiant : « la grand-mère et la petite-fille » <sup>90</sup> .
102	UËNTO	(ouais-n'tôt)	Cette appellation figurant sur les cartes (CM et IGN) n'est pas connue des Kuniés.
103	NOUË	(no-ou-et)	Désigne le plus petit îlot à l'ouvert de la baie de la Corbeille.
104	MËRON (baie de la Corbeille )	(meuh-rond, presque melon)	La corbeille (en nakunié). Désigne toute la « Baie de la Corbeille », ainsi appelée à cause d'un îlot qui portait deux cocotiers, inclinés l'un vers l'autre comme pour former une anse. S'il y a plusieurs îlots champignons dans les parages, un seul a pu évoquer cette forme de corbeille. L'appellation « Baie d'Uro » (CM et IGN) n'est guère utilisée puisqu'il existe déjà un toponyme pour les Occidentaux, et un autre pour les Kuniés.
105	NUMUA	(nous-mou-ah)	Nu = îlot Nua = long Surtout ne pas dire ou écrire « île Numua » ou « îlot Numua » qui serait un pléonasme.
106	DËRË	(deux-rheu,presque deuleu)	Pointe rocheuse séparant Mëron de Kana (D. Frimigacci-ORTOM)
107	KANA	(cas-na)	Portion de côte en face de Kumo, y compris la côte nord de Dërë.
108	DAPË <sup>91</sup>	(da-peu)	Portion de côte en face des îlots sans nom situés au NE de Kumo, y compris la partie sud de la pointe.
109	TCHA	(t'chat, presque tia ou tchia)	Endroit boueux (en nakunié). Désigne la baie vaseuse improprement baptisée « Baie Kumo » sur les CM 1824 et 1856.
110	MOËRË	(mot-heureux, presque mot-et-ré)	Falaise madréporique (en nakunié). Désigne l'îlot devant Tcha. Il n'y a pas de différence avec le Moërë (n° 49) de la baie d'Upi, et la distinction orthographique (accentuation) est purement arbitraire.
111	KUMO	(cou-mot)	La plus grande île devant Kana. Les trois îlots au NE n'ont pas de nom.
112	NTANGA	(n'tas-n'gars)	La tripe de tortue (en nakunié). Désigne l'ensemble de récifs appelé Karingéa sur les CM 1824 et 1856 (noter pourtant que Karingéa signifie « au-dessous du figuier sauvage » en nakunié).
113	TUËTË	(tout-été)	Désigne aussi bien tout le grand récif (appelé Kagenta sur IGN et Dunienta sur CM), que plus particulièrement son avancée vers le sud.
114	UATËRË	(oie-t'heureux, presque oie-te-le)	Signifie littéralement « là où ça pêche vite, où on fait rapidement bonne pêche ». Désigne la partie SW du plateau récifal Tuété, appelée « Récif Dunienta » sur les CM, ainsi que le « Récif Kuatoeroe » de ces mêmes CM.
115	DÛNU <sup>92</sup>	(du-nous, presque n'du-nous, n'doux-nous)	Dü = deux Nu = île, îlot L'appellation « Dü Ana » des CM est totalement inconnue des Kuniés.

<sup>90</sup> Relation importante dans la civilisation mélanésienne, et certainement plus importante que la relation purement alimentaire mère-fille.

<sup>91</sup> Endroit où auraient débarqué les Titéré, clan venu de Lifou, qui ont ensuite littéralement colonisé l'île des Pins (cf. G. Pisier).

<sup>92</sup> Le parallèle entre les noms Dü Ana, Dü Ami des CM avec ceux des îlots de l'atoll Nêkanmué au sud de l'île des Pins, n° 14 et 15, est évident... mais n'explique rien.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
116	<u>UÉRÉ</u> <sup>92</sup>	(où-errer, presque houx-heureux)	Nom d'une sorte de merle noir. L'appellation « Dü Ami » des CM est totalement inconnue des Kuniés.
117	<u>NAKUËNDA</u> <sup>93</sup>	(na-cou-haine-da, presque na-couenne-tas)	Désigne les deux récifs ; veut dire « le chant du coq » et aurait à peu près la même signification que l'expression française « le cheval sent l'écurie ». Na (presque : nan) = le son Kuë = le chant N'da = la volaille, le coq
118	<u>NAPOMINDIA</u> <sup>93</sup>	(na-pot-mine -dia, presque napomin-d'yeux ou d'jia)	Mindia = le martin pêcheur
119	MARIA	maria, presque malia)	Nom correct sur CM 1856.
120	<u>MATA</u>	(ma-tas)	Nom de tout le récif entourant l'îlot Nié.
121	<u>NIÉ</u> <sup>94</sup>	(nié et non ndié)	Nom de l'îlot au sud de la passe de la Sarcelle, l'appellation « Ndié » de la CM 1856 est un excès de mélanisation de la prononciation par les Occidentaux.
122	<u>NTË ËMAKUIË</u>	(n'te-heu-ma-cou-i-yé, presque n'do-heu-ma-qu'ouie-et) courants ».	Signifierait « rassemblement de tous les vents et de tous les courants ».
123	<u>KA</u>	(cas, avec un « a » long, kaa)	
124	<u>NOKONKA</u>	(no-con-cas)	Nokon = la tête Les jeunes ne connaissant plus bien la tradition orale permuteraient, parfois, les deux noms de Ka et Nokonka. Mais par ailleurs, on a entendu appeler Nokonka le récif au nord de la passe de la Sarcelle (Nokueka sur CM 1856).
125	<u>Passe de la Sarcelle</u>		Appellation également utilisée par les Kuniés, même entre eux. Les Kuniés admettent que la réserve naturelle d'Améré, située au nord de la passe de la Sarcelle, relève plutôt de la tribu de Goro ; des noms « goro », s'ils existent, pourraient être préférés aux noms « kunié » pour la toponymie de cette zone. Il en est de même pour la zone Mato-Ndo (coin SW de la CM 1856) où est reconnue une certaine prédominance de la tribu de l'île Ouen.
126	<u>TITIA</u>	(titi-ah)	
127	<u>NDAOMAKUIË</u>	(n'da-ô-ma-cou-i yé, presque n'teu-euh-ma-cou-iyé)	Il s'agit du même nom que pour le récif n° 122 (« Makuié » de la CM 1856), et il existe un troisième récif du même nom (« Oma kuié » sur la CM 1856), appellation non démentie sur place. Qu'en conclure ? - Soit toute la région s'appelle ainsi, ce qui est peu plausible, l'appellation NDA... désignant habituellement un récif bien précis. - Soit, explication plus plausible, la confusion reflétée par les cartes (comparer CM 1824 et 1856 par ex.) est une confusion réelle dans les esprits des informateurs. Ce récif (n° 127) est appelé TITIA par Jean dit « la pipe », qui baptise NDA OMAKUIË le n° 126.
128	<u>KONGURU</u>	(con-gourou, presque con-n'gôut-loue)	Désigne la bande récifale appelée Kuru et Omakuié (ou Muu) sur les CM <sup>95</sup> . Signifie littéralement « c'est pour la marmite ».
129	<u>NTËUËNDJË</u>	(n'te-ouais-n'djeu, presque n'tôt-ou-haine-d'je'yeux)	Désigne les trois passes. Ntë = faisceau Uëndjë = la passe (uë = embouchure, ndjë = l'eau)

<sup>92</sup> Le parallèle entre les noms Dü Ana, Dü Ami des CM avec ceux des îlots de l'atoll Nèkanmué au sud de l'île des Pins, n° 14 et 15, est évident... mais n'explique rien.

<sup>93</sup> Un informateur a donné ces mêmes noms Nakuènda et Napomindia mais à la place respectivement de Ndapri (n° 95) et Ndakué (n° 94).

<sup>94</sup> Il existe juste à l'ouest de Nié une large et profonde passe orientée NW-SE coupant Mata, fréquemment utilisée par les Kuniés.

<sup>95</sup> Le petit récif baptisé « Koniuaunengie » sur les CM semble ne pas être inclus dans cette désignation collective... mais il n'est pas possible d'en être sûr...

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
130	<u>NÜNCHOUMBĚ</u>	(n'une-t'chaud-ou-m'beuh)	Nom de la passe à travers Uatĕrĕ (n° 114). En fait tout le plateau récifal appelé Uatĕrĕ est navigable pour les petites embarcations ; cette passe est utilisée par les petits caboteurs (1 ou 2 m de tirant d'eau) et non par les pêcheurs.
131	<u>KAGĚNTA</u>	(cas-gaine-t'as, presque cas-haine-t'as)	Désigne toute la bordure nord et NE de Tuĕté (n° 113). Les CM sont correctes.
132	<u>UAMĚ</u>	(oie-meuh)	Désigne aussi bien le village que la baie ; les Kuniĕs ne disent pas « Baie de Uamĕ », mais Uamĕ tout court. La région de Uamĕ s'étend vers le nord jusqu'au creek appelé « Nĕbune » sur la carte IGN.
133	<u>KONKOIN</u>	(con-coin)	Nom de la petite zone rocheuse juste à l'extrémité nord de la plage Kon = sur, dessus Koin = sable (nom déjà rencontré à Kutomo, à l'entrée de Kororū : n° 28).
134	<u>TĚKĚRĚ</u>	(tes-quai-raie, presque t'es qu'heureux)	Nom de la petite région où se trouvait la première carrière de la déportation. Tĕ = couper à la hache
135	<u>UAVIĚ</u>	(oie-vieux, presque oie-viou)	Ua = inventer Viĕ = moule (féminin) <sup>96</sup> Nom du petit renforcement appelé « Oupotouĕ » sur la carte IGN, et de la pointe au nord de celui-ci.
136	<u>TIRI</u>	(ti-riz, presque ti-lit, tu-lu ou encore te-le)	Nom de la petite anse au nord de Uaviĕ.
137	<u>NDĚMUĚA</u>	(n'de-mou-est-ah presque n'du-m'ouais-ah)	Ndĕ (Dū) = deux Muĕa = figuier dont les fruits poussent directement sur le tronc. Nom du récif baptisé « Numaĕ » sur les CM.
138	<u>UAKONIA</u>	(oie-cône-ya)	Désigne la petite pointe rocheuse. Mot originaire des îles Loyauté (Marĕ ou Lifou).
139	<u>KOVĚTĚTITIA</u>	(ko-ve-te-ti-tia, ve plus ouvert que voeux)	Nom d'une petite échancrure. Ko = là, endroit Vĕtĕ = construire un bateau Ti = les gens Tia = nom d'un ancien clan, aujourd'hui éteint
140	<u>UANU</u>	(oie-nous)	Nom d'un caillou détaché de la cĕte (cf. CM 1856). Ua = inventer Nu = île, îlot
141	<u>IAUĚ</u>	(ya-houx-eux)	Désigne une zone parsemée de récifs devant Kovĕtĕtitia. lauĕ = araignĕe (le coquillage)
142	<u>NOKONIAUĚ</u>	(no-con-ya-houx-eux)	Désigne une zone parsemée de récifs juste au sud-ouest de Uakonia. Nokon = la tĕte lauĕ = araignĕe (le coquillage)
143	<u>MĚO</u>	(me-eau)	Désigne la plage. Mot originaire sans doute de la Grande Terre.
144	<u>KONUUA</u>	(con-oie, convoi sans le « v »)	Nom de la pointe ouest de la plage de Gadji. Kon = sur, dessus Ua = pierre meuliĕre
145	<u>GADJI</u> <sup>97</sup>	(catch-yeux, presque gars-d'yeux)	Nom de la tribu, puis de la baie, puis de la région. Il faudrait ĕcrire KATCHIE, mais il semble difficile de bouleverser des traditions maintenant bien ancrĕes, tant chez les Occidentaux que chez les Kuniĕs eux-mĕmes (alphabĕtĕsĕs à 100% depuis des gĕnĕrations).

<sup>96</sup> Viĕ veut dire aussi « quelqu'un d'excentrique, d'original » à peu prĕs synonyme de « olibrius » ou « zigoto ».

<sup>97</sup> Ancienne capitale de l'ĭle, avant le regroupement progressif à Vao autour de la mission mariste (cf. G. Pisier). Le nom de Gandji, que l'on trouve dans la rĕgion de Dumbĕa prĕs de Noumĕa, est d'origine nakuniĕ (petit fond de baie entre Dumbĕa et Paĭta).

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
146	NUTCHIVI	(nous-tchi-vi)	Nu = île, îlot Tchivi = bécassine (cf. n° 61) Désigne l'îlot champignon situé devant Mëo (143).
147	NUPËTCH	(nous-pète-'ch' presque pêche avec « t » inséré)	Étymologie inconnue (sauf « nu » bien sûr). Désigne l'îlot champignon situé au nord-ouest de Konua.
148	VĚMĚA	(ve-mais-ah, ve plus ouvert que vœux)	Ilot champignon le plus sud-ouest de l'archipel situé au large de Gadji (baptisé « Namui » sur les CM).
149	NUNĚL	(nous-n'aile, presque nous-nez)	Ilot champignon appelé « Moreliga » sur les CM. Nu = île, îlot Nël = sacré Le banc de sable entourant l'îlot s'appelle logiquement : KOINNEL. Le petit îlot situé au NW de Nunël n'a pas de nom en nakunié. L'appellation « Evumoea » que l'on déchiffre péniblement sur les CM rappelle le Vëmèa (n° 148) et suggère soit une erreur initiale (CM 1824 et 1856 éditées en 1860), soit une évolution des toponymes.
150	MĚNORĚ	(me-no-re me et re plus ouvert que meuh et reu, presque me-no-houx-roux)	Appellation des CM à peu près correcte. Më (ë long) = rejeton Urë = sapin
151	NDADIARÉ	(n'da-djia-ré, presque n'tas-tjiaré, tchiaré)	Nom du long récif (CM correctes). Nda = récif Diaré = bénitier (le coquillage). L'étymologie n'a rien à voir avec le tiaré, le gardénia tahitien.
152	BUMBU	(bout-m'bout, presque m'bout-m'boué)	Nom du récif appelé « buombui » sur les cartes marines. Bumbu = variété de porcelaine blanche
153	NGIÉ	(n'gui-et)	Nom de l'îlot appelé « Gié » sur les cartes (CM et IGN). Le « n » initial est bien marqué.
154	Passe de BUMBU	(cf. 152)	Nota : les Kuniés ne disent jamais « passe ». Ils diront par exemple : « je suis sorti Bumbu, et au retour je suis passé par Ngié ».
155	Passe de NGIÉ	(cf. 153)	
156	Passe de UAPAN	(oie-pan)	Cette appellation serait meilleure que « Passe de Gadji » qui figure sur les cartes (IGN et CM) pour les raisons suivantes : 1. les Kuniés ne désignent jamais cette passe sous le nom de Gadji, en fait ils n'ont aucun nom pour la désigner ; 2. si les Occidentaux utilisent cette appellation, elle est dérivée puisque la « Passe de Gadji » ne mène pas en « Baie de Gadji » ; 3. le « Mouillage de Gadji » se trouve sur le territoire de la tribu de « Uapan » et doit donc aussi être rebaptisé (cf. n° 184).
157	NĚNĚ	(ne-ne, presque nœud-nez)	Grande île appelée « Noéno » sur IGN et « Noeno » sur les CM.
158	KOVĚ	(ko-ve, « o » ouvert de pomme, presque ko-vrai)	Désigne le plateau corallien s'étendant au NW de Nënë. Vë = filet à tortues <sup>98</sup> Ko = là, l'endroit
159	TIANLORO	(ti-anne-loro, presque t'chine-lolo)	CM et IGN à peu près correctes. Origine : déformation de « Sainte Lorette ». Ayant fait naufrage sur Ndadiaré, quelques Kuniés ont réussi à gagner à la nage cet îlot, après avoir confié leur sort à Sainte Lorette.
160	KUAOIÉRÉ	(quoi-oyez-ré, presque cou-ail-eau-heureux)	CM correcte, IGN fautive.
161	RÛMINNA	(rue-main-na)	Nom du plateau de sable délimité par Mënorë, Kuaoiéré et Tianloro.

<sup>98</sup> Ne pas confondre avec vé (= filet en feuille de cocotier), qu'on trouve dans Kovétiapan (n° 164) !! ...ni avec vë = caillou.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
162	NDJĚKĚA	(n'd'jeu-quai-a presque n'd'j'-yeux-qu'un)	Désigne la « fosse » (cuvette de 4 à 5 m de profondeur) sé parant Tianloro et Kuaoiéré. NdjĚ = l'eau KĚa = plus grand, plus profond Nota : l'îlot séparant Kuaoiéré et NĚnĚ n'a pas de nom.
163	KŪNGIĚ	(qu'une-gui-et)	Désigne le récif s'étendant de NgiĚ (n° 153) à NĚnĚ (n° 157).
164	KOVĚTIUAPAN	(ko-vĚ-ti-oie-pan)	Plateau sableux délimité par Kuaoiéré, NĚnĚ et Tianoa. Ko = là, l'endroit VĚ (presque vĚ) = filet en feuille de cocotier <sup>99</sup> Ti = les gens, ligne de pêche Uapan = nom d'une tribu
165	TIANOA	(t'chia-na-oie)	Il aurait fallu écrire : TCHIANAUA. On a préféré conserver l'écriture originale (Tianoa) qui fait l'una nimité des cartes (CM et IGN) et qui rend suffisamment le son exact, même prononcé : (ti-anneau-ah). Tchia = ligne, alignement Naua = filet utilisé autrefois pour la pêche de nuit
166	NUPUA	(nous-poux-ah)	CM correcte, IGN fausse. Nu = île, îlot Pua = corail concassé, sable de corail grossier
167	VATCHO	(va-t'chaud, presque va-t'chiot ou va-tio)	Désigne le récif situé presque entre Réuiéré et Kuaoiéré. Va = demander, s'informer Vatcho signifie littéralement « si je pouvais m'informer ».
168	RĚUIĚRĚ	(ré-houille-errer presque l'évier-ré)	Nom de l'îlot appelé « Gereuiere » sur la CM et « loupaoua » sur la carte IGN.
169	KOKONIĚ	(coco-n'yeux, prononcer les "o" plus ouvert (pomme) et le "e" très ouvert (beurre))	Désigne la petite zone à l'est de Réuiéré. Ko = l'endroit NiĚ = four canaque, signifie aussi aiguille à coudre KokoniĚ voudrait dire « là où il y a le four canaque ». Nota : les appellations « Jemmy » et « Noediure » (CM 1824 et 1856) sont aujourd'hui totalement inconnues des Kuniés.
170	KOTIVENDĚGOU	(ko-ti-vanne-des-coût)	Ko = là, l'endroit Ti = ligne à pêche VendĚgou = nom du clan de l'actuel grand chef de l'île des Pins Littéralement « là où les VendĚgou allaient à la pêche à la ligne ». On a gardé l'orthographe aujourd'hui bien fixée de VendĚgou, alors qu'on serait plus proche de la prononciation réelle par les Kuniés en écrivant VANTĚKU. Mais les Occidentaux alignent la prononciation sur l'orthographe et tout le monde prononce : (vent-d'Ěgout).
171	KONUĚPUARĚ	(con-ou-eux-pouah-rĚ, presque con-on-eux-poire-euh)	Nom de la pointe à l'est de la pointe KotivendĚgou. Kon = trou PuarĚ = sorte de rouget de roche
172	IĚTAIĚ	(yeux-taille-euh. Les sons « eu » très ouverts (beurre), presque : Ě).	Désigne la plage à l'est de KanuĚpuarĚ (« latahe » sur les CM). Désigne la plage vaseuse très enserrée <sup>100</sup> .
173	PĚNDI	(peu-n'dit, presque peine-dit ou peine du)	PĚndi est un prénom masculin mélanésien.
174	YINIĚRĚ	(yi-ni-heureux « eu » ouvert comme dans beurre)	Nom de la pointe fermant au SE la baie appelée précédemment PĚndi. Signifie littéralement « il arrive vers nous, le voilà ».

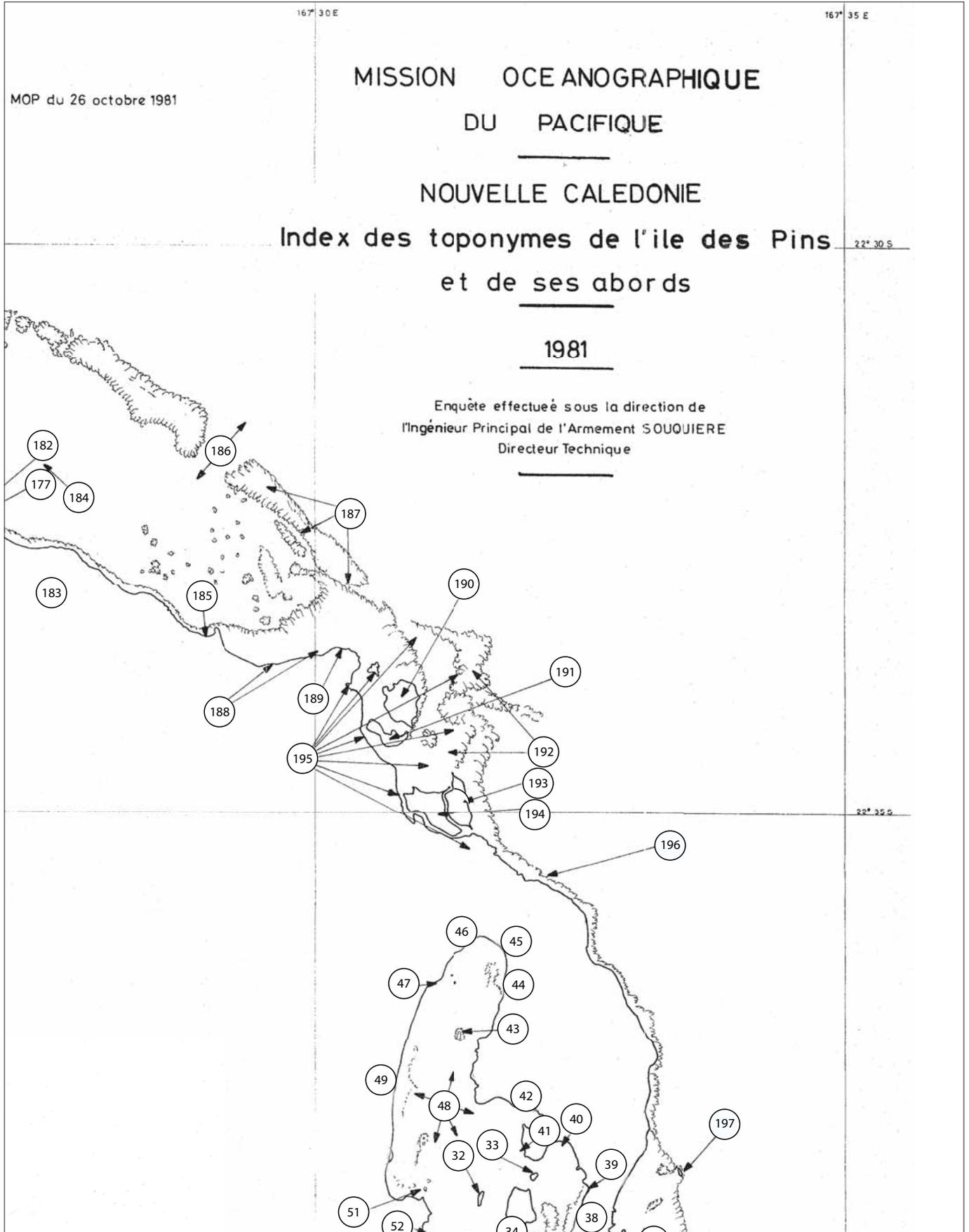
<sup>99</sup> Autre étymologie, quoique moins plausible : KovĚ = endroit cultivé, champ.

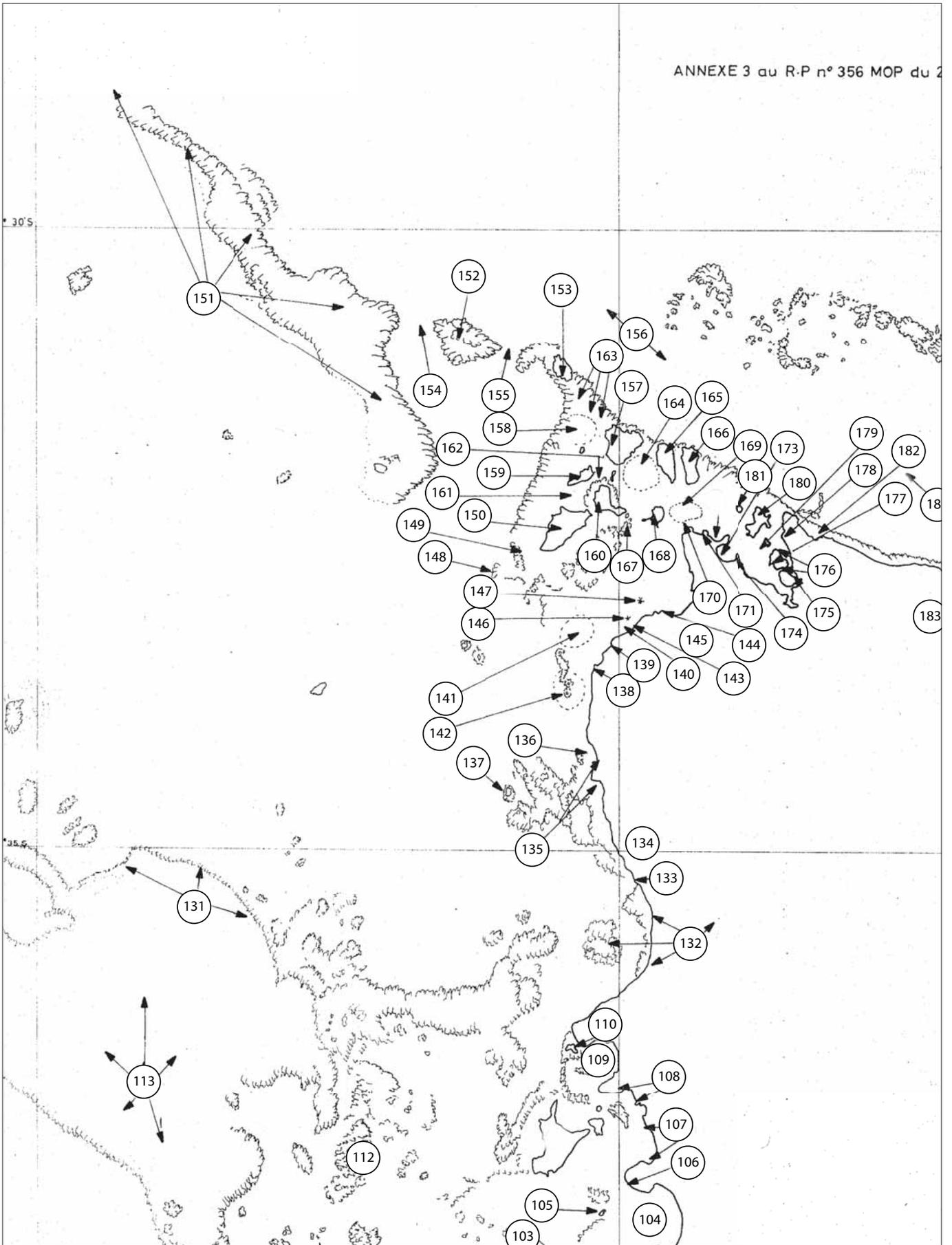
<sup>100</sup> Serait aussi appelée plage de UMANG (houx-mangue) - (D. Frimigacci-ORSTOM)

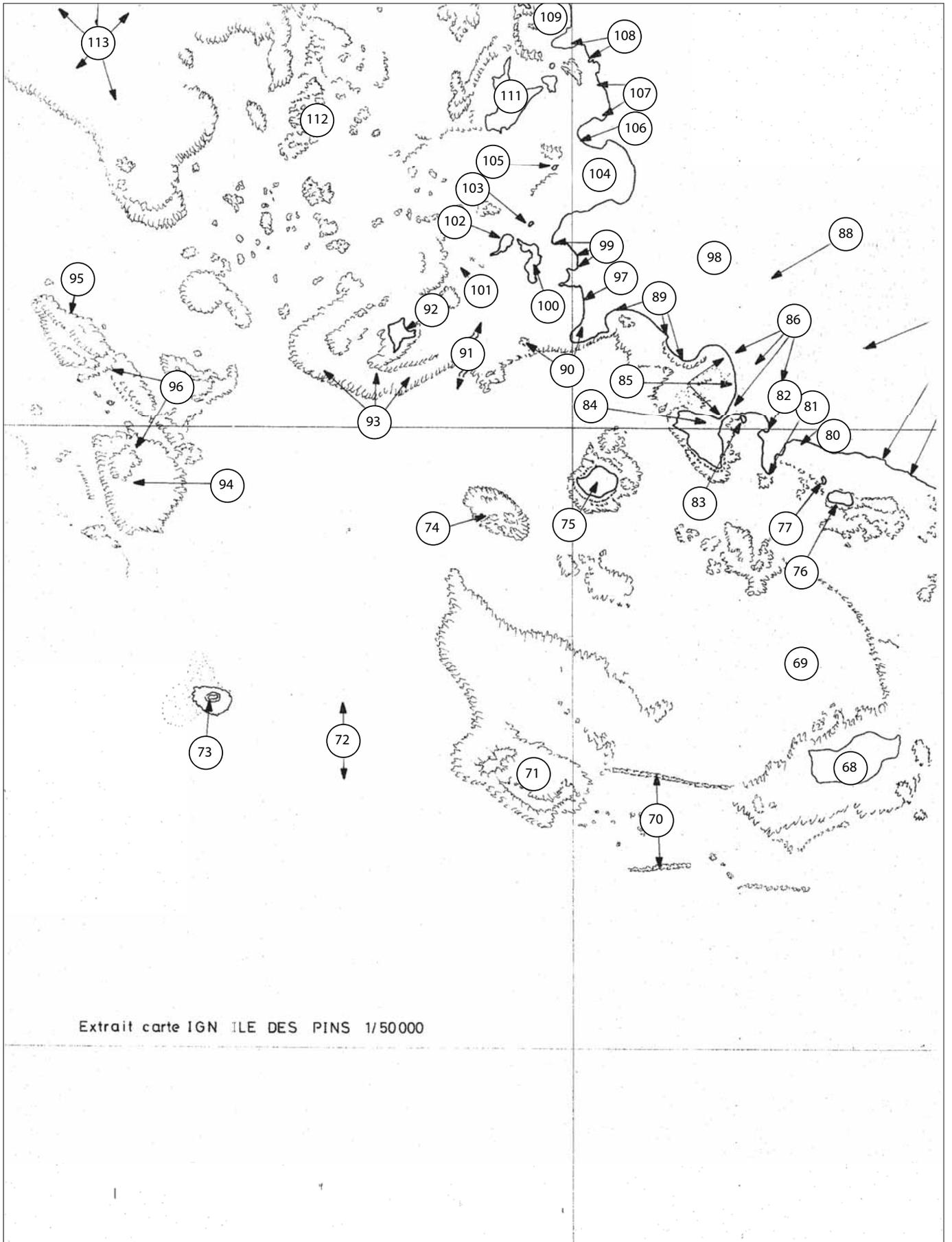
N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
175	KONNDÜDĒRĒ	(con-du-d'heureux)	Littéralement « faisceau de gouttelettes d'eau ». Par grande marée, la presqu'île est coupée par un petit bras de mer, peu profond mais où existe un courant rapide.
176	NĒ	(ne-plus ouvert que « nœud » presque n'yeux)	Signifie « mer profonde ». Appellation par dérision, parce que cette baie est presque toujours à sec.
177	<u>KONDÜNÜMUA</u>	(con-n'du-nu-mois, presque moins)	Mua = maison Nü = support en bois Dü = de Kon = sur Signifie sans doute « maison sur pilotis ». On peut gagner cette île la plupart du temps à pied sec.
178	NDÜNGĒ	(n'du-n'gueux)	Nom d'une petite pointe.
179	<u>GUNTA</u> (ou baie des Crabes)	(presque kon-n'ta, goût n'da, cou-n'tas)	Désigne toute la baie. Les Kuniés connaissent (et utilisent) aussi l'appellation « Baie des Crabes », parfaitement justifiée. Le nom « Pointe Gouda » de la carte IGN est impropre, même si la baie de cette presqu'île, à la hauteur de Kondünü mua, s'appelle aussi « KONDA » (D. Frimigacci-ORSTOM).
180	<u>IUĒPĒ</u>	(you-euh-peu, son « eu » ouvert comme dans beurre)	Ilot cultivé fermant la baie des Crabes.
181	<u>IUĒPĒRĒ</u>	(you-euh-peureux presque you-peu-le)	Petit îlot au nord-ouest de Iuëpë.
182	<u>TURĒ</u>	(tout-ré, presque tout-les)	Nom de la plage.
183	<u>UAPAN</u>	(oie-pan, presque oie-pang')	Nom de la tribu, puis du hameau, puis de la région.
184	<u>Mouillage de UAPAN</u>	(oie-pan)	Et non « Mouillage de Gadji » des CM (cf. l'argumentation développée pour la passe, n° 156).
185	<u>UPĒ</u>	(houe-pé)	Nom de la petite baie, et de la région située en arrière, comme sur la CM 1824.
186	<u>Passe de UPĒ</u>	(houe-pé)	CM 1824 correcte.
187	<u>UAUPAN</u> (récif de l'Aventure)	(oie-houx-pan, presque pang)	Nom du récif fermant la baie de Uapan devant Upé ; l'appellation « Récif de l'Aventure » est connue des Kuniés, mais inutilisée entre eux.
188	<u>ÉVIÉRÉ</u>	(évier-ré, presque évier-les)	Nom de la plage au sud de la baie de Uapan (carte IGN correcte).
189	<u>KUATCHIVITA</u>	(quoi-t'chi-vie-tas, presque qu'ouate-Yves-ita)	Nom de la pointe improprement appelée « Pointe de Kasivata » sur la carte IGN.
190	<u>KUNUMBOT</u>	(cou-nous-m'b'hôte)	Désigne l'île appelée « Uatomo » sur les cartes (CM et IGN). Kunu = sur l'îlot Bot = boat (anglais) = bateau
191	<u>MĒNĒIA</u>	(me-nœud-ya)	Désigne l'îlot appelé « Uage » sur les cartes (CM et IGN).
192	<u>NDJĒNDJĒMARĒ</u>	(n'd'je-n'd' jet-maré)	Nom du récif prolongeant Uaté vers le nord. Signifie littéralement « la pointe dirigée vers Maré ».
193	<u>UATĒ</u> <sup>101</sup>	(ouate-haie, presque ouateux)	Uaté et Kongèaké sont en fait des morceaux de l'île des Pins séparés par un étroit chemin de mer, la plupart du temps franchissable à pied sec.
194	<u>KONGÈAKÉ</u>	(con-gai-à-quai, presque con-n' gué-aké)	Ké = aîné, grand Kon = sur, dessus N'gèa = figuier sauvage

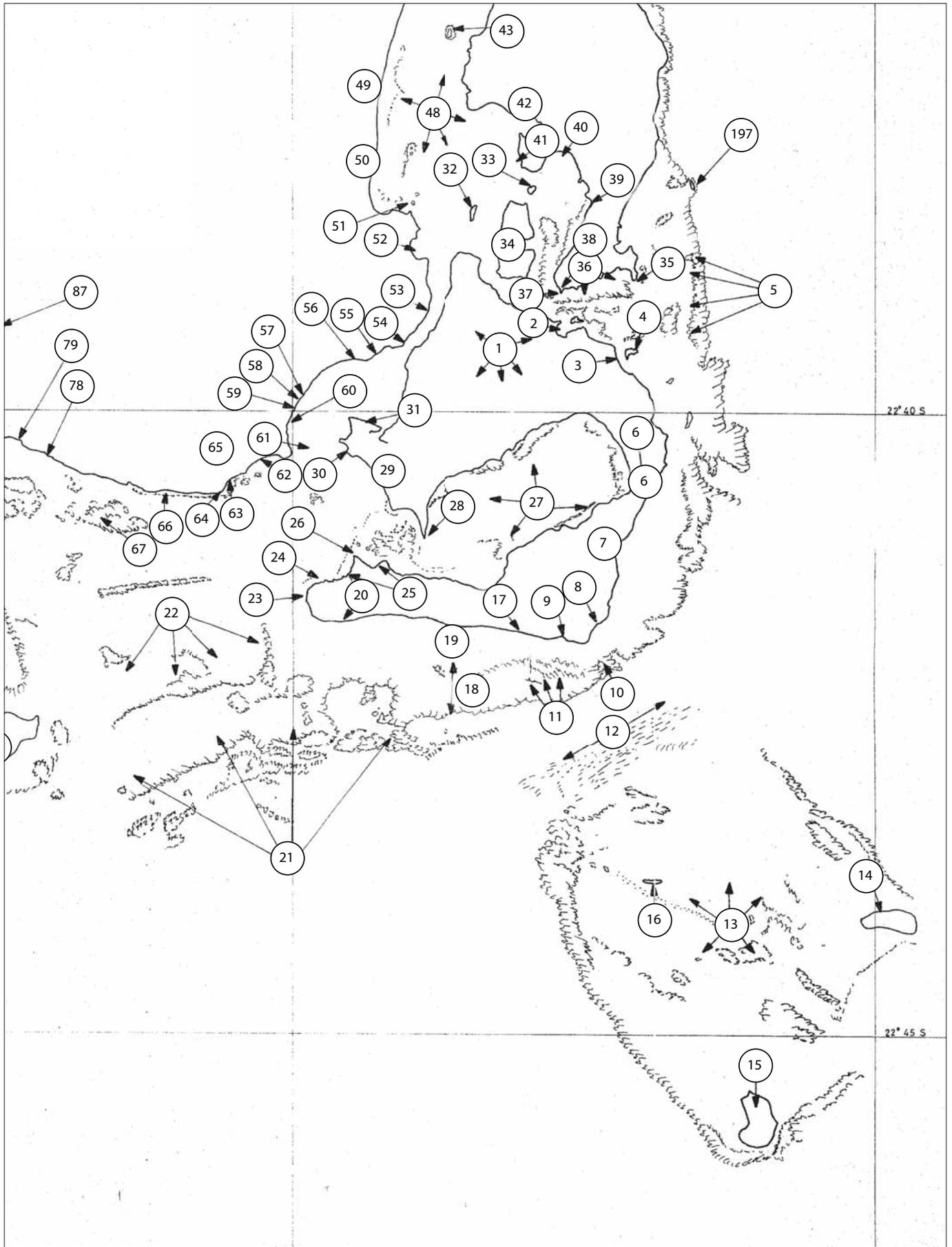
<sup>101</sup> Nom également affecté en propre aux deux monticules qui bossellent l'îlot.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
195	<u>ORO</u>	(oro, presque oh l'eau)	Désigne toute la baie appelée « Baie de Ugo » sur la CM 1824, y compris les 4 grands îlots et la bande côtière depuis Kuatchivita jusqu'au sud de Kongèaké. (Information confirmée par D. Frimigacci de l'ORSTOM).
196	AIOI	(ail-oï : même prononciation que le « hoy » espagnol signifiant aujourd'hui)	
197	<u>POINDJËNURÉ</u>	(point-n'd'jeu-nous-ré)	Nom de l'îlot limitant au nord le récif Nongan (n° 5).









167°15 E

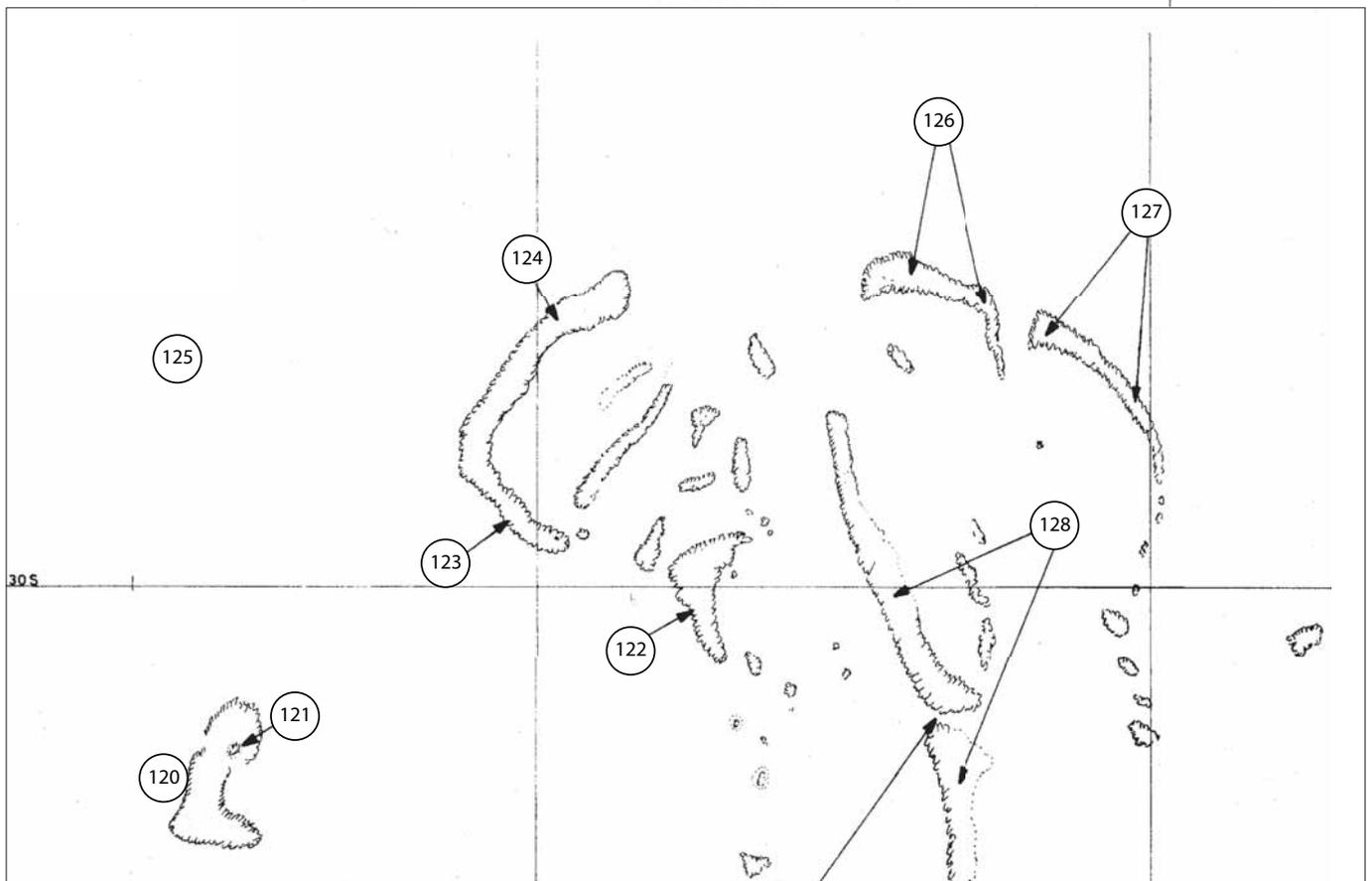
167°20 E

167°25 E

ANNEXE 4 au R.P n°356 MOP du 26 octobre 1981

MISSION OCEANOGRAPHIQUE  
DU PACIFIQUE  
NOUVELLE CALEDONIE  
Index des toponymes de l'île des Pins  
et de ses abords  
1981

Enquête effectuée sous la direction de  
l'ingénieur Principal de l'Armement SOUQUIERE  
Directeur Technique

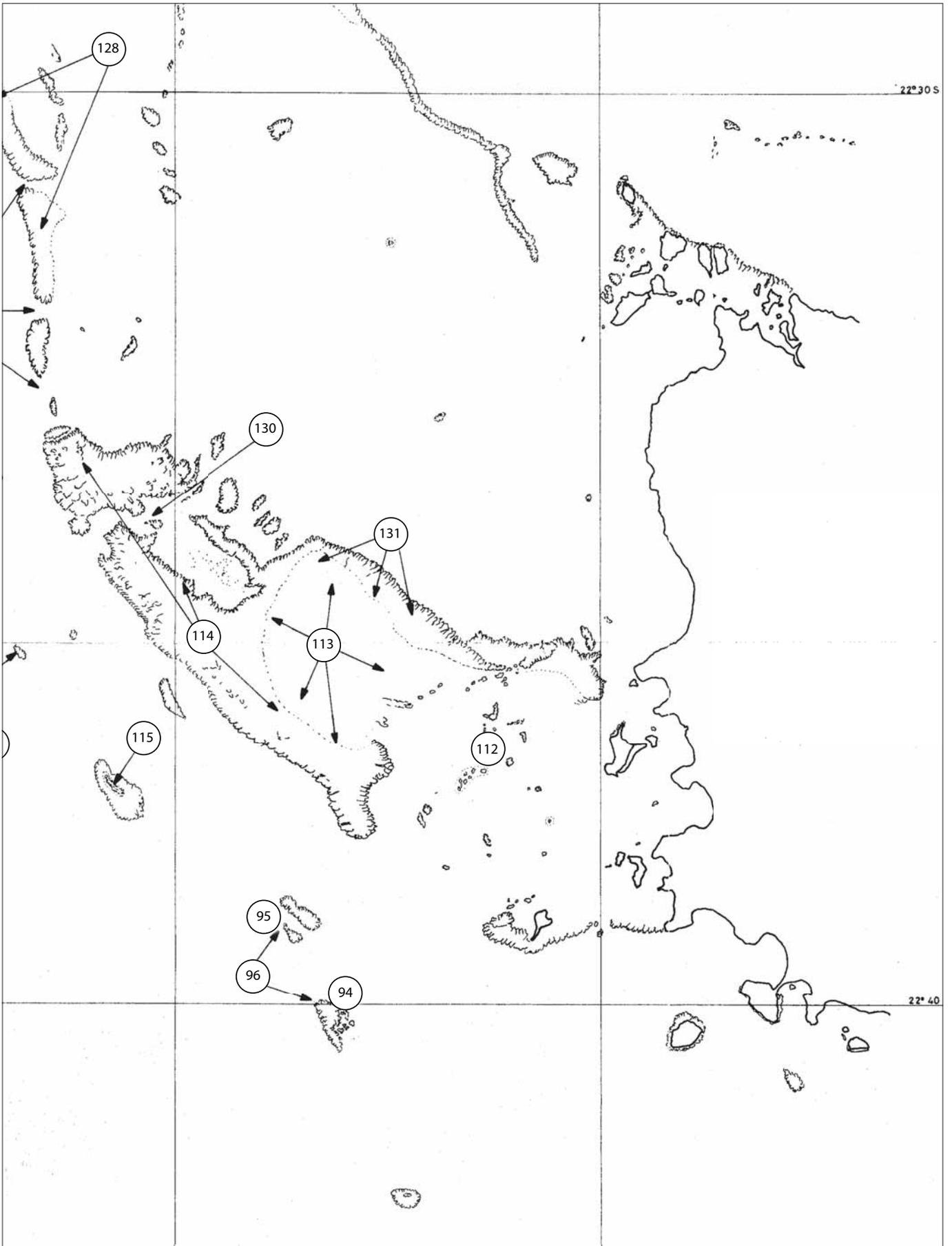


22° 30 S

22° 40 S

Extrait carte marine n°1856  
Echelle : 1/69 100





## Annexe 5 : Histoire et langage nakunié

On rappelle ici très succinctement quelques éléments recueillis auprès de spécialistes, d'autochtones, ou dans les publications qualifiées, qui sont nécessaires à une meilleure compréhension du problème de la toponymie de l'île des Pins et de ses parages.

Le Kunié originel pouvait se définir davantage comme un guerrier et un marin que comme un agriculteur. De nombreuses actions guerrières, souvent victorieuses, furent menées contre la Grande Terre, jusqu'à la hauteur de La Foa sur la côte ouest et de Ouinné sur la côte est. Ceci explique la présence sur les côtes sud de la Nouvelle-Calédonie de nombreux toponymes d'origine « kunié ». A l'inverse, l'île des Pins a reçu des visites, le plus souvent amicales, des îles Tonga et des îles Loyauté, puis la visite beaucoup plus intéressée des santaliens australiens et néo-zélandais. On trouve donc dans la toponymie de l'île des Pins quelques noms d'origine « tonga », « maré » ou « lifou », et anglaise.

Enfin il faut rappeler que l'île des Pins a été christianisée très tôt par les maristes et qu'aujourd'hui, outre un catholicisme bien vivant et protectionniste, il en résulte un taux d'alphabétisation voisin de cent pour cent. On ne s'étonnera donc pas non plus de trouver des toponymes d'origine catholique, éventuellement des noms de saints ou saintes, plus ou moins déformés, non plus que de la bonne compréhension par les interlocuteurs Kuniés des problèmes de la toponymie nautique.

En dehors des Kuniés, la navigation dans le grand lagon sud de la Nouvelle-Calédonie était le fait de deux autres tribus de pêcheurs et marins : la tribu de Goro-Yaté et la tribu de l'île Ouen. On constate dans la toponymie des îlots et récifs une sorte de partage tacite du lagon sud entre ces trois tribus. Ainsi la passe de la Sarcelle séparerait-elle à peu près les zones « goro » et « kunié ». Beaucoup plus floue est la limite entre zone « kunié » et île Ouen, et l'on a adopté arbitrairement dans le cadre de la présente enquête de toponymie le méridien du Cap Ndoua (166° 56' E).

Comme tous les langages mélanésiens, le nakunié est une langue assez pauvre, et nombre de concepts n'existent pas, qu'ils soient abstraits ou non (certaines couleurs comme le jaune, l'orange, le vert n'ont pas de traduction en nakunié). Si le besoin apparaît cependant de les désigner, le Kunié recourra à des périphrases plus ou moins compliquées et pas toujours évidentes. A l'inverse, cette langue a engendré des toponymes très imagés, pouvant évoquer des peuples visiteurs, des tribus ou clans de l'île, des références religieuses, mais l'essentiel de ces toponymes se rapporte à des actions passées ou permanentes (guerre, chasse, pêche) et surtout aux particularités géographiques du lieu (faune, flore, silhouettes, morphologie, etc.).

Annexe 6 : Prononciation de la toponymie marine de l'île des Pins (Kunié)

Liste des toponymes enregistrés sur la cassette « toponymie Kunié » - Face 1-

Les numéros renvoient à l'annexe 2 et aux cartes index (annexes 3 et 4).

Certains toponymes, écrits entre parenthèses et sans numéro en regard, n'ont pas été retenus dans ce rapport, en général du fait de l'imprécision de l'identification du lieu désigné ou de controverses non résolues.

Chaque toponyme est lu trois fois :

- la première fois par l'enquêteur, qui lit le nom avec l'orthographe provisoire utilisée pendant l'enquête. Cette prononciation n'est donc qu'approximative, voire fautive ;
- les deux suivantes par Edouard Douépéré, qui donne la prononciation correcte, avec éventuellement ses subtiles variantes : c'est cette prononciation qu'il s'agit finalement d'orthographier aussi fidèlement et simplement que possible.

TOPONYME	N° repère	TOPONYME	N° repère	TOPONYME	N° repère
VAO	65	UPÉ	185	UÉRÉ	116
KÉRÉ	66	ÉVIÉRÉ	188	NUANA	14
VATCHA	63	UAPAN	183	VATCHO	167
MBUÉ	64	UAUPAN	187	RÉUIÉRÉ	168
KAPUMÉ	62	KUATCHIVITA	189	MĚNĚIA	191
KURĚNIA	56	ORO	195	KUNUMBOT	190
TĚ	57	KONGĚAKÉ	194	KAGĚNTA	131
NDATCHIVI	61	UATĚ	193	NDAPRI	95
NDARŮ	59	NUVIĚKUAĪ	51	NDAKUÉ	94
POINDAUIA	58	NULAPIN	32	NJĚNDJĚMARÉ	192
UAPUITĚ	54	TARÉ	34	POINDJĚNURÉ	197
IA	55	TINGA	33	NONGAN	5
VÉ	53	MAU	41	AIOI	196
TCHĚ	52	IOGNI	40	MOĚRĚ	49
PĚTĚRÉ	50	UADIANI	39	TCHĚ	46
KONVIĚ	22	UADJUMĚA	36	MOĚRĚKAPU	47
MOINNIĚ	21	POTAVIĚ	36	(IMUTOURU)	
MU	68	KUIMANDIU	3	UAMO	9
NDJUARÉ	71	TANU	2	UAKUIĚ	35
NOKOIN	73	ATĚRĚ	4	UĚRĚTĚTĚ	17
TCHIĚ	67	NONGAN	5	MOINNĚNU	19
KÉRÉ	66	NĚPĚ	6	NĚMANNINDJĚ	20
MUINĚ	78	UINOKOIN	8	ITA	23
KOMANIA	79	KOINNĚ	80	TCHINA	26
NĚVI	77	KUTĚMA	89	NU	25
TCHU	76	UĚNANAVO	90	KORORŮ	27
KOBURĚKANĚ	81	VO	97	PORT TITCHĚNĚ	24
KANUMĚRA	83	KOĚ	100	KONKOIN	28
URĚ	82	NDĚMOINRINIĚ	101	MĚNIĚLA	31
KŮTO	84	MORO	92	UĚNĚ	30
KA	86	PRIMAKUĚ	96	KOINMA	29
MĚNORĚ	150	UĚNDAUI	99	NUAMI	15
NUNĚL	149	RĚYĚ	75	TUĚTĚ	113
NUMUA	105	NOUĚ	103	(KARINGEA)	
UATĚRĚ	114	MĚRON	104	KANA	107
TITIA	126	NŮMUA	105	DAPĚ	108
NDADIARĚ	151	DŮNU	115	TCHA	109

TOPONYME	N° repère	TOPONYME	N° repère	TOPONYME	N° repère
MOËRĚ	110	RÉVIÉRÉ	168	UAVIĚ	135
UAMĚ	132	VATCHO	167	TÈKÈRÈ	134
UAVIĚ	135	KOKONIĚ	169	KONKOIN	28
TIRI	136	(NIĚ)			et 133
GADJI	145	KOTIVENDEGOU	170	(TURÉ)	
NGIÉ	153	KONUĚPUARÉ	171	(VATCHĚ)	
NUPUA	166	IĚTAIĚ	172	(UÈNGÉ)	
TIANOA	165	IUĚPĚ	180	(NÉRÉUÉKA)	
NĚNĚ	157	IUĚPĚRĚ	181	NTĚUÈNDJĚ	129
KUAOIÉRÉ	160	KONDÛNÛMUA	177	KONGURU	128
TCHIGANRÉ	43	NDÛNGĚ	178	NTĚĚMAKUIE	122
TÛMĚ	42	NĚ	176	MĚNORĚ	150
MAU	41	PĚNDI	173	NUNĚL	149
KAKÛ	38	YINIÉRĚ	174	VĚMÈA	148
UÈNTĚ	37	GUNTA	179	IAUĚ	141
KUTOMĚRĚ	16	UPI	45	NOKONIAUĚ	142
NĚKANMUÉ	13	BADA	44	KUAOIÉRÉ	160
MAIOKÛ	10	(PĚ)		RÛMINNA	161
NDJÛ	12	(RÛ)		NDJĚKÈA	162
(UAIKÛ)		NAPOMINDIA	118	BUMBU	152
(KATCHA)		NAKUÈNDA	117	NĚNĚ	157
(OMAKUIÉ)		PRÛNDJĚ	93	KÛNGIÉ	163
NTĚĚMAKUIÉ	122	UÈNANAVO	90	KOVĚ	158
KA	123	TUÉTÉ	113	KOVĚTIUAPAN	164
IUĚPĚRĚ	181	UATĚRĚ	114	TIANOA	165
IUĚPĚ	180	KAGENTA	131	(TCHĚ)	
NIÉ	121	NTANGA	112	KUNIÉ	
MATA	120	NÛNCHOUMBĚ	130		
MARIA	119	NTĚUÈNDJĚ	129		
(NU)		NDAOMAKUIÉ	127		
(DONDÉA)		TITIA	126		
NAKUÈNDA	117	KA	123		
NAPOMINDIA	118	NOKONKA	124		
(OMAKÛ)		KONNDÛDĚRĚ	175		
NOKONKA	124	KONUA	144		
(NOTCHĚKANTRĚ)		MĚO	143		
AMÉRÉ		NUPĚTCH	147		
(TIAMORU)		NUTCHIVI	146		
(UA)		UANU	140		
TANU	2	KOVĚTĚTITIA	139		
(NGIÉ)		UAKONIA	138		
(NOUARE)		TIRI	136		
NUPUA	166	NDĚMUÈA	137		

## AVERTISSEMENT

1 - Les lettres et chiffres repères (exemple : I 23, A 11 d) sont ceux de l'ouvrage n° 1D du SHOM, édition 1978, baptisé « Symboles et abréviations figurant sur les cartes marines françaises ».

2 - Leur présence ne signifie pas que le ou les noms communs nakuniés en regard en sont la traduction exacte, ni même approximative. De nombreux concepts de la cartographie marine et de la navigation n'existant pas dans la civilisation Kunié, il est évident que le langage nakunié n'a pas eu à les désigner explicitement. D'où des lacunes parfois considérables.

3 - Cherchant à traduire les divers termes de l'ouvrage n° 1D on a pu indiquer des noms voisins ou s'en approchant par association d'idée assez directe.

4 - Les conventions orthographiques et de prononciation sont identiques à celles adoptées dans l'annexe 2.

5 - Certains mots pouvant éclairer l'étymologie de toponymes, des références à l'annexe 2 sont faites par l'intermédiaire du numéro repère du toponyme correspondant.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
A3	MOÉRÉ	(presque mou-heureux)	= côte à falaises
A4	NDÜKOIN	(n'du coin)	= dune
A5/A6	NIA	(nia, presque nid-hein)	= grève, signifie aussi : la paille
A7	VIÉ	(vie-et, presque vieux)	= palétuvier (variété à écorce blanchâtre, qui fait des rejets sortant tout droit de la vase)
	NĒ	(ne, presque n'nœud)	= palétuvier (variété élevée, sans racines en arceaux) Nota : le palétuvier « habituel » de la Grande Terre, avec ses racines en arceaux, n'a pas de nom nakunié.
A11	KOIN	(coin)	= sable
A11b	UIÉTÈ	(oui-et-tes)	= vase de corail (boue blanche cf. S4)
A11c	ÜĒNDÉ	(hue-haine-dé, presque vue-haine-thé)	= galet (désigne en particulier la pierre bleue bien polie des creeks)
A11d	VĒ	(veux, presque vue)	= caillou (quelle que soit la taille et la matière)
	VĒKOA	(vœu-quoi, « v » faible)	= pierre friable (koa = éclaté)
	NIE	(niez !)	= quartz
A11g	KUĒA	(cou-haie-a)	= corail (désigne d'abord les patates bien rondes de porite, puis toute patate, enfin tout madréporaire)
	RINDJI	(ris-n'd'-git, « r » très faible)	= corail en branches
	TUGĒNDJĒ	(toux-gaine-d'j'yeux, presque tôt -gaine-d'je)	= gorgones et corail noir Tu = fougère Gé = de Ndjĕ = mer, eau
A11g	KARAKA	(carat-cas, presque carré-cas ou car-i-cas)	= la vague : aussi bien la houle au large que la déferlante à la côte.
	NDJĒIÜ	(n'd'je-i-hue)	= la vague : désigne très précisément le gonflement de l'eau en dôme, au passage d'un haut-fond par exemple, sans déferlement. Ndjĕ = l'eau Yü = gonfler
B2	KOROÜ	(corps-au-hue,	= baie, renforcement
(B6)	(ou KORORÜ)	presque colle aux rues)	(cf. toponyme n° 27) Ce nom commun tombe en désuétude, et les Kuniés disent de plus en plus « baie » (cf. toponymes n° 48, 85).
B9	UĒNDJĒ	(ouais-n'd'j'yeux	= passe, passage (cf. toponyme n° 129) Ué = embouchure Ndjĕ = eau (sens différent de I 52)

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
B11	KODJAUTI	(cône-d'ja-outil)	Désigne l'action d'entrer en bateau quelque part, en général dans un mouillage ou une rade naturelle. Ndjà = courir Uti = entrée (ko : particule de liaison)
B13	WĒWĒ	(houeux-ouais, presque ouais ou oie-ouais)	= embouchure
B15	KOTCHUÈVÈNĒ	(coach-ouais-veineux, presque côte-choux-ève-haineux)	= mouillage Ko = là, l'endroit Tchuè = jeter VènĒ = l'ancre Tombe en désuétude, et les Kuniés disent de plus en plus : « mouillage ». (cf. toponymes n° 69, 184)
B18	NU	(nous)	= île (quelle que soit la taille)
B19	DENÜNU	(deux-nu-nous) (denü = petit) peu usité	= îlot
B20	MĒNJĒNU	(me-n'jeu-nous, presque meuh-n'd'genou)	= archipel MĒnjĒ = plusieurs Nü = île
B21	PUÜNU	(poux-une-houx, presque poux-i-nous)	= presque île Puü = pointe
B22 à B25	PUÜ	(poux-hue, presque p'oui ou poux-et)	= pointe
B26	MUĒ	(mou-hait, presque mou-et)	= montagne
B28/29	PUÜMUĒ	(poux-hume ou hait, presque poux-hume-ou-cœufs)	= sommet Etymologie évidente vu ce qui précède.
B33	KOYOĒNIĒ (ou KOIOĒNIĒ)	(qu'eau-yo-euh-n'yeux)	= point de débarquement Ko = là, l'endroit YoĒ = atterrir (pour un bateau) NiĒ = pirogue, bateau (cf. G3)
B36	TCHIERĒ	(tch'yeux-ré, presque tchi-heureux)	= rocher champignon (voir silhouette au toponyme n° 104)
C4A	TCHIULUTĒ	(tchi-houx-loup-tes, presque tchi-houx-loup-te) (la seule que l'on y trouve).	= huître Désigne précisément l'huître perlière de l'île des Pins
C5	UĒRĒ	(houx-heureux)	= pin colonnaire (araucaria cooki) (cf. toponyme n° 17)
	NIĒ	(niez)	= cocotier, coco <sup>102</sup>
	DĒRĒ	(d'heureux, presque de-le)	= filao
	NĒ	(ne)	= palétuvier (variété sans racines en arceaux)
C6	KOVĒ	(qu'eau-vé)	= champs (plusieurs, ou un seul mais grand) Ko = là, l'endroit Vé = cultiver (cf. toponyme n° 164)
	RÜ	(rue presque lu, hue)	= champ (un seul, tout petit) signifie aussi : endroit ou requin
	TARÜ	(tas-rue) (ta = 1, un)	= un champ, un endroit
	NĒRÜ	(nez-rue)	= endroit sans arbre (prairie, buissons ras ou terre à nu aussi bien)
C5	KUĒ	(cou-cœufs, presque qu'ouais)	= plant, arbre, forêt

<sup>102</sup> Pas de terme général signifiant « palmier ».

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
C8	BAKUË	(bas-cou-cœufs, presque m'bas-con-et)	= « au milieu de la brousse »
C9	KUËMO	(cou-cœufs-mot, presque cou-et-mou)	= forêt vierge (avec l'idée d'impénétrable) Mo = profond
	NDJËMO	(n'd'je-mot, presque n'd'je-mou)	= abysses Ndjë = eau, mer Mo = profond
	NGUË	(n'goût-cœufs, « ou » faible)	= arbre
	TANGUË	(tas-n'goût-euf, « a » long)	= un arbre (un seul)
	DENÜKUË	(de nuque ou eux)	= taillis Denü = petit Kuë = forêt
	KUËTCHOKOATÉ	(couette-choque-ouaté)	= futaie (tchokoatè = grand)
C13	KÛTCHANDJË	(qu'hutte-chat-n'd'je)	= rivière, creek Tcha = lit (d'un cours d'eau uniquement) Ndjë = eau
	TCHARÜ	(t'charue, « a » long, presque tiare-hue)	= faille
C17	UËTIANË	(ouais-ti-a-nœud)	= marécage (marin uniquement)
C21	KUNDJË	(cou-n'd'je)	= source Ku = souche, origine Ndjë = eau
F1	ATCHOKOATË	(hâte-choque-ouaté)	= grand
	AKIN	((t) aquin, sans le t initial)	= aîné, supérieur
F2	DENÜ	(de-nu, presque n'de-nu)	= petit
	ATCHIKAPA	(hâte-chic-apât, presque hâte-sic-abat)	= petit
F2	ATCHI	(hâte-chic)	= cadet, inférieur
F5	UËKUMË	(ouais-cou-me, presque ouais-cou-ma)	= dehors (ué = accès) Les Kuniés disent de plus en plus : « dehors ».
	NORÜ	(nos-rues, « o » ouvert)	= intérieur, dedans
	NORÜMOIN		= dans la maison
	NORÜNIÉ		= dans la pirogue
	NORÜNDA		= en dedans du récif
	KUTONDA	(cou-tôt-n'da, presque cou-tout-n'tas)	= en dehors du récif (mais « kuto » tout seul ne veut rien dire)
F7	TINA ATCHOATË TINA ATCHIKAPA		= pas (trop) grand = pas (trop) petit (tina = négatif)
F8/F9	UAUËKIN	(oie ou eux qu'un)	= ancien, vieux Uauë = homme, être Kin = ancien vieux
F10	AKANNIËY	(à-quand-ni-eye comme la fin de oreille ou abeille)	= nouveau (littéralement, qui vient d'arriver)
F12	BUATOIN	(boit-tôt-hein)	= visible (littéralement : ça se voit)
F13	BUAVËTIË	(boit-veut-t'yeux)	= qui se fait remarquer (se dit de quelqu'un qui cherche à se distinguer, à attirer l'attention)
F16	ATËAMA	(a-te-amas, presque acte-eau-amas)	= éloigné Të = s'asseoir, rester Ama = au loin, long, très long
F17	APAKIN	(appât-qu'un)	= aux environs (pour un point vers le nord ou surélevé)

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
	AUIKIN	(ah-oui-qu'un)	= aux environs (pour un point vers le sud ou en contrebas)
F19	MËTCHIA	(mette chia)	= lumineux
F20	KANDJË	(cas-n'd'jeu, presque canne-d'j'yeux)	= au-dessous de l'eau
	KARÉNDJË	(carré-n'd'jeu, presque Calais-n'd'j'yeux)	= au dessous de l'eau
F20	KUIÉ	(cou-y-et, presque cou-i-est)	= le vent, signifie aussi le roseau
F23	KURI	(cou-ris, presque coulis)	= dessus, au-dessus
F23a	KURO	(cou-rot, presque cou-l'eau)	= sous, au-dessous
F25	PITÉ	(pis-thé)	= jeter, supprimer (voir aussi F37)
F26	VËNARÉ	(veut-narrer, presque vin-na-ré)	= interdit, signifie aussi sacré.
	MARIO	(mari-eau, presque maillot)	= interdit, tabou (nom commun). Désigne le pieu avec des feuillages ou des bouts d'étoffe signifiant l'interdiction d'accès à un terrain.
F30	NOKÜËRA	(nos-cul-heure-a, presque nos-culs-auras)	= qui m'appartient, privé
F31	PRÜNDJË	(prune-d'jeu)	= sortir, dépasser (aussi bien sortir d'une maison, que dépasser d'une tête ou objet qui dépasse au dessus des autres) (cf. topo nyme n° 93)
F33	VËTCHËARONDJË	(veux-t-che-haro-n'd'jeu)	= immerger Vëтчë = mettre, placer Aro = dans Ndjë = l'eau
F34	VËMBËTIN	(veux-m'bé-teint, presque veux-m'bain-teint)	= approcher (faire mouvement) Vë = marché Mbëtin = proche
	TCHËMBËTIN	(tch'eux-m'bé-teint, presque tch'eux-m'bain-teint)	= approcher (statique) Tchë = s'asseoir, rester Mbëtin = proche
	ATCHËMBËTIN	(hâte-ch'eux-m'bëtin)	= qui est proche ® approché
F37	PITÉ	(pis-thé)	= laisser à l'écart, laisser de côté, abandonné (voir F25)
F38	MBUËTAAÑIÉKARÉ	(m'boue-est-ta-âne-y-est-carré)	= provisoire, temporaire Mbuë = fait pour Ta = un Anié = certain Karé = temps
F38	BUÉANIÉKARÉA	(boue-et-âne-y-est-carré-ah, presque m'boit bié-carré-ah)	= fait quand on peut <sup>103</sup>
F40	KURËKARÉ	(cour-eux-carré, presque coulé-caleux)	= la fin des temps
	KURËRÛ	(cour-euh-rue, presque couleur-hue)	= fin de l'endroit, fin du terrain, le bout du champ
	KURËRË	(cours-heureux, presque coule-le)	= fin de quelque chose (objet non précisé, n'importe quoi)
	NINPOÉLANË-	(naim-poëlla-nøud-on-rond,	= aller au-delà des limites, dépasser les bornes, en rajouter,
	ONRON	presque veux-poëlla-n'gond-rond)	marcher outre mesure
F41	RÛATCHËBUËNÉ	(rue-hâte-che-boue-ainé, presque rua-te-m'bo...)	= navigable Rü = endroit Atchë = bon pour Buëné = naviguer

<sup>103</sup> Remarque d'Edouard Douépéré à ce point de la traduction : « le sens des mots (et leur prononciation) évolue parfois et n'est pas rigide ment fixé, mais la précision vient du contexte ».

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
F54	UANĚ	(oie-nœud)	= avant, devant
	KARĚUANĚ	(carré-oie-nœud)	= ancien, antérieur (temporel), en ce temps là...
F55	NDJĚKA	(n'd'jeu-cas)	= horizontal (pour de l'eau seulement) Littéralement : eau calme, eau plate.
	NDJĚKATCHA	(n'd'jeu-cas-t'chat)	= calme absolu
	KINVĚKU	(qu'un-vœu-coût, presque qu'un'heu-coup)	= droit, horizontal
	TINAKINVĚKU	(tina-qu'un-vœu-coût)	= incliné, en pente (tina = négatif)
	YIMUAON-	(yi-moi-honte-est-hâte-	= en pente douce
	TĚATĚTĚ	heu-thé presque yi-m'boue- ah-monte-et-hâte-thé)	Yi = lui, quelque chose un endroit, un objet, etc. Téa = monter Tété = doucement Signifie aussi, dans le cas d'une personne : qui monte doucement.
F55	RÜRIMONTĚA-	(rue-riz-mon-tes-hâte-thé,	= terrain en pente douce
	TĚTĚ	presque lulli-montait-hâte-thé)	(rüri = cet endroit)
F56	AUĚNDAMA- POINNĚ	(ah-houx-eux-n'dame-à -point-né, presque ah-houx- eux-n'dame-en-point-nœud)	= irrégulier (aussi bien pour le temps, le relief ou quelqu'un) AuĚ = fait Ndama = d'une manière Poinné = qui n'est pas normal
F60	TĚVĚKUĚ	(te-veux-cou-euh, presque tu-euh-veux-quouais)	= vertical TĚ (tuĚ) = tomber, descendre - VĚkuĚ = droit
F62	UĚMINDA	(ouais-main-n'da)	= qui fait du bruit WĚ = faire Minda = du bruit
G1	KOTCHUĚVĚNĚ	(côte-choux-ève-haineux)	= mouillage (cf. B15)
G3	KOIOĚNIĚ	(qu'eau-io-euh-n'yeux)	= port Ko = là, l'endroit loĚ = arriver NiĚ = pirogue, bateau (cf. B33)
H1/H2	UANIARĚ	(oie-n'ya-re, presque oie-ni-un-reu)	= route, piste, sentier
H1	UANIARĚ- TCHOKOATĚ	(presque atcho-koaté)	= route (cf. F1)
	UANIARĚ DĚNŮ	(presque n'de-nu)	= route secondaire, piste (cf. F2)
	IĚUANIARĚ	(yé-oie-n'ya-reu)	= sentier, traverse (chemin de) YĚ = rameau, ramification
	DOROUANIARĚ	(dors-ô-oie-n'ya-reu, presque n'dore-ô-ouin-n'ya-nœud)	= route à grande circulation, grande route
	VĚMĚ	(vais-me, presque vain-m'me)	= traverser presque à pied sec
H20	RŮMUĚVĚMĚ	(rue-m'ouais-vais-me, presque rhume-boue- ève-aime-eux)	= gué (ŮmŮĚ = l'endroit)
	KONMOINRĚNDJĚ	(qu'on-moins-rén'd'jeu, presque qu'on-moins- nain-n'd'yeux)	= barrer l'eau Konmoinré = barrer, fermer, empêcher NdjĚ = l'eau
H21	KOKONMOIN- RĚNDJĚ	(cocon...)	= barrage (ko = là, l'endroit)
I5	KOTCHĚ	(côte-ch'eux, presque côte-eux)	= maison, groupe de maisons Ko = là, l'endroit TchĚ = habiter (I8b)

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
	BĚAPA	(baie-appât, presque m'béat-pas)	= carillonner Béa = frapper Pa = les cloches ou fer, métal (suivant le contexte)
I18	KOVIĚTĚ	(qu'aux-vieux-thé, presque qu'aux-vieux-te)	= tombe, cimetière Ko = là, l'endroit ViĚté = enterrer
	VĚRĚ	(v'heureux)	= palissade, enclos, barrière
(I19)	AMANVĚRĚ	(amant-v'heureux, presque a-moins-veux-reu)	= palissade de la grande chefferie (faisant office de fortification sommaire)
I23	KOIOĚAVION	(ko-yo-euh-avion, presque qu'eau-you-euh-avion)	= terrain d'aviation (voir aussi G3) Avion = mot français
I26	UANIĚĀ-KAVILLAGE	(oie-n'ya-nœud-à-cas- village, presque : oie-n'y'a reu-à-quai-village).	= rue UanianĚ = route <sup>104</sup> Aka = dans Village = mot français
I34	KOVŮTŮĚ	(qu'au-vue-tu-euh, « euh » faible)	= magasin Ko = là, l'endroit VŮtŮĚ = vendre
I35	UANIĚRĚ	(oie-nid-heureux, presque oie-bia-ne)	= monument (niĚrĚ = souvenir)
	KIRI	(qui-rit, presque qui-lit ou : cul-lu ou qu'ailé)	= scie, scier (pas de mot pour scierie)
I50	KOIĚVŮ	(qu'eau-y-eux-vue)	= carrière Ko = là, l'endroit YĚ = creuser VŮ = caillou
(I52) (I53)	UĚNDJĚ	(ouais-n'd'jeu, presque ouais-n'd'j'yeux)	= faire eau, puiser de l'eau, faire provision d'eau( (sens différent de B9)
(I66)	TAKOUĚMOIN	(tas-qu'eau-ouais-moins, presque t'as eau...)	= chantier d'une maison, travaux de construction
I69	KOIĚBOULE	(qu'eau-yeux-boule)	= terrain de football Ko = là, l'endroit IĚ = frapper Boule = mot français
	KOUĚ VOLLEY	(qu'eau-ouais volley/criquet)	= terrain de volley/de cricket
	KOUĚ CRIQUET		Ko = là, l'endroit UĚ = faire Volley/criquet = mots anglais
	IĚ	(yeux, presque y-est)	= frapper
I73	KOVITCHIMO-	(qu'eau-vite-chie-moi-rein,	= cloison (à l'intérieur d'une maison)
	ARIN	presque qu'eau-vite-chie- moins rein)	Nota : il n'y a pas de mot spécifique pour « mur ».
	MĚTCHĚ	(me-tche, presque meut-d'jeu)	= case (désigne précisément la case mélanésienne, ronde, à toit conique)
	VINMĚNĚ	(vain-me-ne, presque vin-m'heureux)	= le chef
	KOTCHĚVIN- MĚNĚ	(qu'ôte-che-vain-me-ne)	= la grande chefferie Ko = là, l'endroit TchĚ = habiter VинmĚnĚ = le chef
J18/19	PĚNAN	(eput-n'an, presque pe-nain)	= le mât (aussi bien celui d'un bateau, qu'un porte emblème)

<sup>104</sup> Ici la prononciation est plus nettement uanianĚ qu' uaniarĚ comme en H1/H2.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
K2	TATI	(tatie, presque tâte-chi)	= le feu (aussi bien de brousse, que sous la marmite ou que de signalisation routière)
K7	<b>KOVĚTCHĚTA-KOVĚNGĚ</b>	(qu'eau-veut-t'che-tas-qu'eau-veine-gueux)	= marque flottante Ko = là, l'endroit Větchě = laisser Kověngě = un objet (désigne le « fruit du travail »)
K63	MĚRU	(me-roue, presque meule-ou)	= bleu
K66	BUĚ	(boueux, presque m'bout-i)	= rouge, signifie aussi mûr et cuit
K67	BUA <sup>105</sup>	(boit, presque m'bois)	= blanc (cf. S67)
K78	ANAUATĚ	(âne-à-ouate-œuf)	= derrière, qui se trouve derrière, postérieur (géographique)
	AKANMĚAUATĚ	(à quand met-a-ouate-euh)	= après, postérieur (temporel)
	AKANNIĚYUATĚ	(à quand-ni-ève-ouate-euh)	= après, postérieur (temporel) (voir racine en F10)
K79	Voir F54		
L42	DINĚ	(dis-ne, presque dîner)	= noir (cf. S68)
O36	BUATĚ	(boiteux, presque m'bois-tes)	= décoloré, déteint
L47	BORO	(bord-haut, presque bol-eau)	= gris ( ? ) (littéralement : couleur de nuage)
L59	NGĚRĚ (son à peu près impossible à orthographier exactement)	(n'gueux-re, presque moine œufs, aussi bien que n'gone)	= perche plantée dans la mer (pour amarrer une embarcation par exemple). Désigne aussi le poisson appelé « bossu doré » (lethrinus mahsena).
L61	PURĚ	(pou-ré, presque : poulet)	= tumulus
	NGĚ	(n'gueux, presque n'queue)	= cairn
O2 à O6	MĚRĚMĚ	(me-re-me, presque ma-re-m'me)	= roche
O25	NDJĚMĚA	(n'd'jeu-mes-a)	= brisants Ndjě = eau, mer Měa = casser
O7	NDA	(n'da)	= récif
O10	NINARŮ	(ni-na-rue, presque nii-ne-rue)	= haut-fond, bosse sous-marine affleurante Nina = bosse, dos, os
O11 à O16	BANIĚ	(bagnoux, presque m'bas-ni-œufs)	= épave Ba = morceau (cassé) Niě = bateau
O18/19	PĚ	(pe, presque pet)	= tourbillon, remous
O20	DIRI	(dis-ri, presque n'dis-lit ou n'du-lu)	= herbier
	NRŮ (son a peu près impossible à orthographier exactement)	(n'rue, presque n'g'rue ou n'gueux)	= algues vertes
O21	NINAKOIN	(nina-coin, presque ni-recoin)	= banc de sable Nina = bosse Koin = sable
O32	AMĚ	(a-me, presque a-m'me)	= asséché
O33 (T1)	IOYI TIĚ	(io-yi) (t'yeux, presque t'ch'yeux)	= la marée haute Signifie aussi : couvert à marée haute. = rester sous l'eau, noyé
	KINRONTA	(qu'un-rond-n'tas)	= qui gît au fond de la mer (s'applique bien à une épave par exemple)

<sup>105</sup> Il ne semble pas y avoir de mot nakunié pour les couleurs : vert, orange et jaune.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
O34	PRÜDJĚKURI	(p'rué d'jeu-cou-ri)	= qui sort de la mer, qui émerge
	PRÜDJĚKURI-	(con-n'd'jeu)	Prüdje = sortir
	KONDJĚ		Kuri = en haut Kon = au dessus NdjĚ = la mer, l'eau
S1	NDA	(n'da)	= le récif, le fond
S1	UTIRONDA	(outil-rot-n'da, presque outil rond-n'ta)	= plonger Uti = rentrer
S4	UIĚTĚ	(oui-et-te, presque oui-et-tes)	= boue, vase (cf. A11b)
S7	KUIVĚ	(qu'oui-vœu)	= gravier Kui = grain VĚ= caillou
S9 à S11	VĚ	(vœu, presque vu)	= caillou (cf. A11d)
S17	UMBĚ	(ou-m'be, presque wou-m'meu)	= pierre ponce
S25	VIĚ	(vieux)	= moule
	VIRI	(vie-riz, presque riri)	= grande moule un peu barbue
S39	ATCHIKAPARIRĚ	(hâte-chic-appât rire-et, presque riz-lit)	= le sable fin (il n'existe pas d'adjectif isolé voulant dire fin) Atchikapa = petit (cf. F2) RirĚ = calibre
S40	ATCHOKOA-		= grossier (cf. F1 et S39)
	TĚRIRĚ		
S41	PRĚPĚTA	(preux-peu-tas, presque pru-pue-tas)	= mou
S42	YURU	(yaourt-houx, ya-ou-roux)	= dur
S46	VĚMANĚNIĚ	(veut-manne-et-nier)	= gluant
S47	BĚPO	(boeufs-pot, presque m'be-peau)	= brisé, cassé (peut s'appliquer à des coquilles)
	MĚA	(met-ah)	= cassé (utilisé dans le cas du corail)
	RINDJĚMĚA	(ri-n'd'jeu-met-ah, presque mine-d'je-met-a)	= corail pilé (cf. A11g)
S47	POVĚ	(pot-vœu, presque pot-vue, pot-hue)	= amas de cailloux (cf. S9 et ci-dessous)
	PORINDJI	(pot-riz-n'd'ji, presque pot-ri-n'd'jeu)	= tas de corail mort (pilé) Po = tas Rindji = corail (cf. A11g)
S48	AMURĚ	(ah-mou-rĚ, presque ah-mou-lit)	= pourri
S67	BUA	(bois, presque m'boit)	= clair, lumineux (cf. K67)
S68	DINĚ	(dix-nœuds, presque n'diner)	= noir, sombre (cf. L42)
T17	KUĚ	(qu'ouais)	= courant, grosse vague, marée
T26	KUĚNDŮ	(qu'ouais-n'du, presque couenne-du-eux)	= fort courant Signifie aussi courant dans une passe (courant faible dans une petite passe). (ndŮ : idée de liquide, de lisse).
T19	KO	(qu'eau)	= flot, courant de marée montante
T20	KUĚNO	(couenne-no, presque coin-no)	= jusant, courant de marée descendante
T27/28	MUNĚ	(mou-nait, presque houx-nez)	= la lune

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
T27	MUNÈKIN	(mou-nez-qu'un, presque wou-né-qu'un)	= nouvelle lune (kin = naître)
	TANDUNIÈNĚ	(tas-n'doux-ni-eux-ne, presque tas-n'dit-ni-e-ne)	= dernier quartier de lune (il ne semble pas exister de mot na kunié pour la pleine lune, et les Kuniés disent « pleine lune » également)
	KUIÉKARÉ	(cou-y-et-carré)	= le vent d'ouest
	KUIÉMĚ	(cou-y-et-me)	= le vent du nord
	MĚTĚ	(me-te)	= l'alizé (les Kuniés disent davantage « alizé » que mĚtĚ)

## Annexe 8 : Sources bibliographiques

- André Haudricourt, Jean-Claude et Françoise Rivierre, Moïse Faurie et Jacqueline de la Fontinelle :

« Les langues mélanésiennes de Nouvelle-Calédonie »

Collection Eveil n° 13 - 1979

Direction de l'Enseignement Catholique - Nouméa

- Georges Pisier :

« Kounié ou l'île des Pins » - Publication n° 1

Société d'Etudes Historiques de la Nouvelle-Calédonie - Nouméa

- Dorothy Shineberg :

« They came for sandal wood »

Melbourne - 1967

- Auteurs mélanésiens anonymes :

« Mélanésiens d'aujourd'hui » - Publication n° 11

Société d'Etudes Historiques de la Nouvelle-Calédonie - Nouméa

# TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES EN ANTARCTIQUE MER DUMONT D'URVILLE ET TERRE ADÉLIE

(Étés australs 1998-1999 et 1999-2000)

par Didier Bénéteau, maître principal hydrographe ®, ingénieur des études et fabrication en sciences et techniques de la mer<sup>1</sup>

Ce rapport rend compte de l'activité des deux détachements SHOM/IFRTP de la mission hydrographique de l'Atlantique (MHA) constitués pour conduire des levés hydrographiques en mer Dumont D'urville et en Terre Adélie, à l'occasion des deux campagnes durant les étés australs de 1998-1999 et 1999-2000.

***Campagne « 1998-1999 » (décembre 1998 à janvier 1999) :***

- chef de détachement : premier maître hydrographe Frédéric Pinguet ;
  - adjoint : maître principal Loïc Le Hir ;
  - la MHA était alors dirigée par l'ingénieur en chef de l'armement Pierre Leca.
- 

***Campagne « 1999-2000 » (décembre 1999 à mars 2000) :***

- chef de détachement : maître principal hydrographe Didier Bénéteau ;
  - adjoint : major hydrographe Hervé Thomas ;
  - la MHA était alors dirigée par l'ingénieur en chef des études et techniques de l'armement Yves Guillam.
- 

Le rapport particulier n° 45 MHA/NP du 9 mars 2001 décrit dans le détail les travaux effectués lors de ce levé.

<sup>1</sup> SHOM, 13 rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest Cedex 2, France. (didier.beneteau@shom.fr)

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	17-5
1.1	La Terre Adélie, au-delà de la mer Dumont d'Urville.....	17-5
1.2	Des EPF à l'IPEV en passant par l'IFRTP .....	17-5
1.3	Des bases permanentes dédiées à l'exploration scientifique .....	17-5
1.4	Le début de l'exploration sous-marine .....	17-6
<b>2.</b>	<b>TRAVAUX ANTÉRIEURS</b> .....	17-7
<b>3.</b>	<b>PRÉSENTATION</b> .....	17-7
<b>4.</b>	<b>BESOINS À SATISFAIRE</b> .....	17-7
4.1	Objectifs des travaux à réaliser .....	17-7
<b>5.</b>	<b>CONDITIONS D'EXÉCUTION DE LA CAMPAGNE</b> .....	17-8
5.1	Préparation.....	17-8
5.2	Matériel .....	17-9
5.3	Chronologie des travaux .....	17-10
<b>6.</b>	<b>GÉODÉSIE</b> .....	17-12
6.1	Système de coordonnées utilisé pour les travaux .....	17-12
6.2	Matériel utilisé .....	17-12
6.3	Rattachement des systèmes locaux au système mondial .....	17-12
6.4	Autres travaux effectués .....	17-15
<b>7.</b>	<b>LOCALISATION DE L'ASTROLABE</b> .....	17-15
7.1	Configuration utilisée durant la campagne 1999-2000 .....	17-15
7.2	Précision du positionnement.....	17-15
<b>8.</b>	<b>MARÉE - NIVELLEMENT - CÉLÉRITÉ</b> .....	17-15
8.1	Observation de la marée.....	17-15
8.2	Nivellements - Calages .....	17-18
8.3	Célérité – Tirants d'eau .....	17-18
<b>9.</b>	<b>BATHYMÉTRIE</b> .....	17-18
9.1	Sondages .....	17-18
9.2	Traitements .....	17-19
9.3	Résultats et analyses .....	17-19
<b>10.</b>	<b>TOPOGRAPHIE - SPATIOPRÉPARATION</b> .....	17-24
10.1	Travaux de topographie .....	17-24
10.2	Travaux de calage d'images satellites .....	17-25
<b>11.</b>	<b>SITES GRAVIMÉTRIQUES</b> .....	17-25
11.1	Résultats .....	17-26
<b>12.</b>	<b>MARÉGRAPHE PERMANENT (PROGRAMME NIVMER)</b> .....	17-27
12.1	Rattachement.....	17-27
12.2	Calage.....	17-27
12.3	Résultats des rattachements.....	17-27

<b>13.</b>	<b>IMPLANTATION DE LA FUTURE PLATE-FORME DE DÉCHARGEMENT</b> .....	17-28
<b>14.</b>	<b>INFORMATION NAUTIQUE</b> .....	17-28
14.1	Instructions nautiques (IN L9) .....	17-29
14.2	Pilote de Terre Adélie .....	17-29
14.3	Cartes marines.....	17-30
14.4	Balisage .....	17-30
<b>15.</b>	<b>DOCUMENTS RÉDIGÉS – DONNÉES PRODUITES</b> .....	17-31
15.1	Documents graphiques .....	17-31
15.2	Données numériques - métadonnées .....	17-31
<b>16.</b>	<b>TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES RESTANT A EFFECTUER EN TERRE ADÉLIE</b> .....	17-31
<b>17.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	17-31

**GLOSSAIRE**

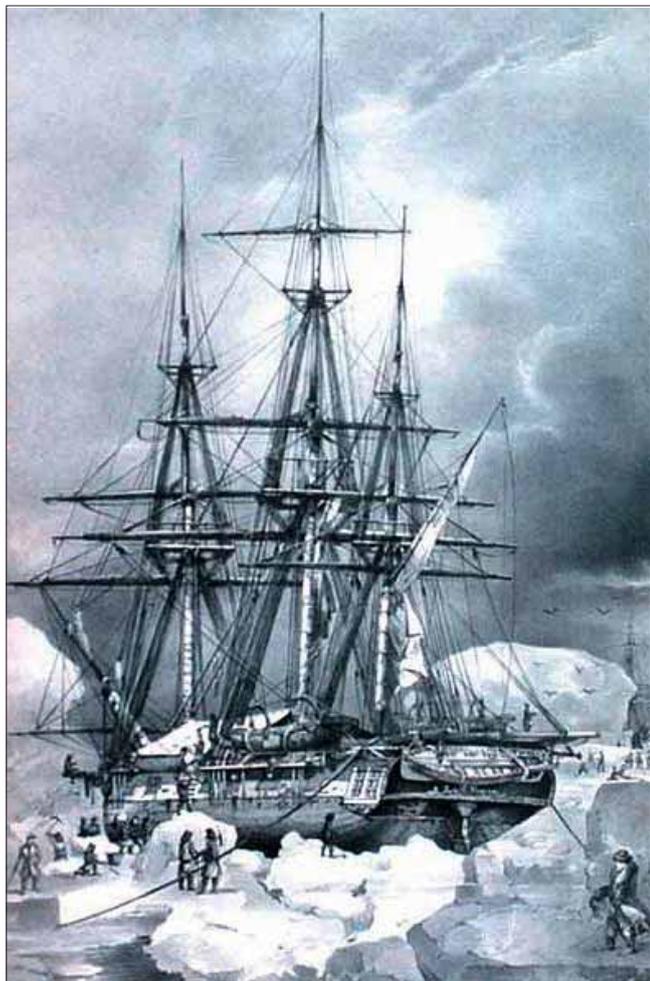
<b>Organismes</b>	<b>Définitions</b>
BTI	Bureau Traitement d'Images
SRNC	Scientific Research National Center (Australie)
CSIRO	Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation
EOST	École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg
EPSHOM	Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
IFRTP	Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires
IGN/SGN	Institut Géographique National – Service de Géodésie et Nivellement
IPEV	Institut polaire français Paul-Émile Victor
IRD	Institut pour la Recherche et le Développement
IS (service)	Service Instruments Scientifiques (EPSHOM)
LCO	Laboratoire de Chimie Océanographique (EPSHOM)
MHA	Mission Hydrographique de l'Atlantique
NIVMER	Programme de mesure du niveau moyen des mers australes mis en place par la France dans le cadre du projet WOCE
OHI	Organisation Hydrographique Internationale
TAAF	Territoire des Terres Australes et Antarctiques Françaises
WOCE	World Ocean Circulation Experiment

<b>Matériels, systèmes, logiciels...</b>	<b>Définitions</b>
Ashtech	Système de récepteurs GPS de positionnement géodésique précis
ERS2	Satellite d'observation à images RADAR
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision (facteurs géométriques de la précision du point)
INMARSAT	International maritime satellite organization
LPME	Écart Moyen des Lignes de Position
MLR	Distributeur de récepteurs GPS de navigation (société)
Mors	Distributeur de matériel d'océanographie (société Mors-Environnement)
MSL	Mean Sea Level (niveau moyen des mers)
Pivot	Format d'échange de données numériques bathymétriques
ROV	Remote Operated Vehicle (véhicule commandé à distance)
Seastar	Système de positionnement par GPS différentiel (corrections diffusées depuis les satellites INMARSAT)
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
XBT	Xpendable Bathy Thermograph (sondes perdables)

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 La Terre Adélie, au-delà de la mer Dumont d'Urville

Découverte et reconnue en 1840 par Dumont d'Urville, alors à la recherche du pôle sud magnétique, à bord du navire *L'Astrolabe*, la Terre Adélie (du nom de son épouse Adèle) s'étend, au-delà du cercle polaire ( $66^{\circ}33'39''$  sud) entre les deux méridiens  $136^{\circ}$  est et  $142^{\circ}$  est.

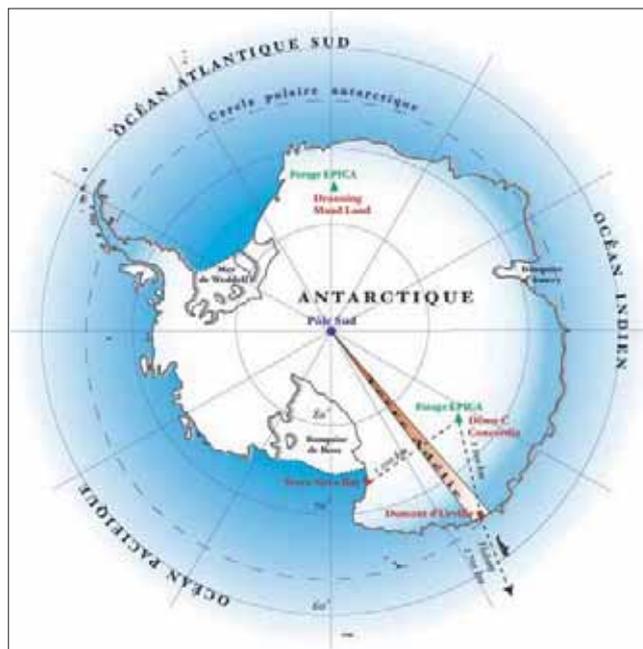


*L'Astrolabe en 1840*

C'est une « petite portion » du continent antarctique, bordée par deux « zones » australiennes, Wilkes Land à l'ouest et Georges V Land à l'est. On y accède en traversant une partie de l'océan Pacifique, depuis la Tasmanie et la mer Dumont d'Urville au nord, après avoir franchi les 40<sup>èmes</sup> rugissants et les 50<sup>èmes</sup> hurlants.

Le linéaire côtier mesure environ 280 km.

Depuis le « Traité sur l'Antarctique » conclu en 1959 entre 12 pays, ce vaste continent est protégé de tous « désirs d'exploitation économique ». Il est le lieu de grands programmes scientifiques d'observation de l'espace, de la Terre et de la faune, entretenus depuis près d'un siècle et relancés régulièrement par le calendrier des « années polaires et géophysiques internationales » (la dernière ayant eu lieu en 2007).



*La Terre Adélie sur le continent antarctique*

Depuis 1955, cet espace, au même titre que les îles Amsterdam, Saint-Paul, Crozet et l'archipel des Kerguelen fait partie des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) constituant un des pays d'outre-mer français. Les îles Éparses (Glorieuses, Juan de Nova, Europa et Bassas da India) dans le canal du Mozambique et Tromelin au nord de La Réunion sont aussi gérées par les TAAF depuis 2007.

De par sa nature particulière liée à l'épopée de la conquête des pôles ainsi qu'aux difficultés d'accès, la Terre Adélie, administrée par les TAAF a ses trois bases gérées et entretenues par l'IPEV.

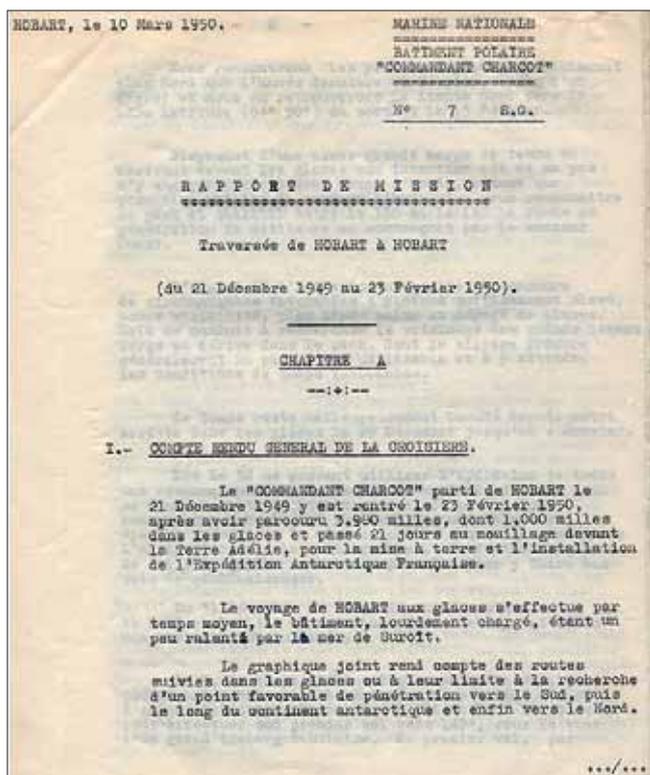
### 1.2 Des EPF à l'IPEV en passant par l'IFRTP

Ce document fait référence à des textes antérieurs au 16 janvier 2002 date à partir de laquelle l'IFRTP, précédée des expéditions polaires françaises (EPF), jusqu'en 1992, est devenu l'IPEV (Institut polaire français Paul-Émile Victor). Le terme Institut polaire est employé par défaut dans ce document.

### 1.3 Des bases permanentes dédiées à l'exploration scientifique

Depuis les années 50, la France entretient une permanence logistique et scientifique en Terre Adélie, soutenue uniquement par voie maritime durant l'été austral (décembre à mars), la banquise étant infranchissable le reste du temps. La première expédition (EPF, 1948-49) à bord du *Commandant Charcot*, ne put se frayer une route à travers la banquise pour prendre pied en Terre Adélie.

L'année suivante, il fut décidé d'établir une base à Port-Martin où le 3 février 1950, le drapeau français flotte pour la première fois sur ce continent de l'extrême.



Extrait du rapport du bâtiment polaire Commandant Charcot



Vue aérienne de la base de Port-martin en construction en 1950 et du CDT Charcot au mouillage

Le premier hivernage eut lieu en 1951. Puis, en janvier 52 à la veille du départ du navire de soutien le *Tottan*, celle-ci fut détruite par un incendie. Une équipe restreinte de sept volontaires s'est alors installée dans une cabane rudimentaire (la base Marret), montée à la hâte et prévue pour 4, sur l'île des Pétrels, à proximité de la manchotière des Empereurs. Ce fut la naissance de la base Dumont d'Urville (base principale actuelle).



Intérieur de la « base Marret » ... en 2000

Au début des années 90, l'Institut polaire lança le projet de construction d'une base franco-italienne, la station Concordia située sur l'Illandsis au Dôme C à 1 100 km à l'intérieur du continent et 3 000 m d'altitude afin d'y effectuer notamment des recherches sur l'évolution du climat, ces recherches étant basées sur la réalisation de forages (carottages) profonds (à cet endroit, la calotte glacière a une épaisseur d'environ 2 km). Le gros du matériel étant acheminé par bateau (navire polaire et chalands) entre l'île des Pétrels et le continent, une base intermédiaire fut créée : la base Prud'homme.

L'institut demanda alors au SHOM, d'effectuer les levés bathymétriques nécessaires afin de sécuriser les accès nautiques aux bases et mieux connaître le plateau continental antarctique aux abords de la terre Adélie.

A terre, la position géodésique précise des limites est et ouest de ce « territoire » ainsi que le rattachement des différents caps, devenait incontournable, le point de départ de toute étude scientifique étant une cartographie côtière précise et à grande échelle (1/25 000<sup>ème</sup>).

Cette période (1995-2000) marqua alors la reprise des travaux hydrographiques jusque là concentrés sur la côte est dans les années 50 et interrompus en 1962.

#### 1.4 Le début de l'exploration sous-marine

De part les difficultés de mise en œuvre du matériel dans cette région hostile, depuis les années 50 les observations de la faune (mise à part quelques rares lichens au plus fort de l'été, la flore terrestre est inexistante) et des reliefs se sont concentrées sur le continent.

La fin du vingtième siècle a vu arriver de nouvelles technologies permettant d'explorer les fonds marins « sans la présence de l'homme dans le milieu » (à l'aide de ROV par

exemple). C'est ainsi que des levés exploratoires ont été également prévus pour préparer les futures missions scientifiques « immergées » du 21<sup>ème</sup> siècle.



Les caps et protubérances rocheuses non couverts de glace sont rares (cap Pépin) – janvier 1999

La notion d'océanographie a alors été intégrée dans ces deux dernières campagnes de façon à répondre à d'autres besoins que la cartographie classique pour la navigation. Les levés sont multidisciplinaires (mieux connaître la convergence antarctique, préciser les fonds de moins de 200 m, améliorer la connaissance des niveaux marins, mesures de gravimétrie absolue, ...).

## 2. TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les premières campagnes hydrographiques, sous l'égide des EPF, de la marine nationale et du Service central hydrographique ont été effectuées entre 1950 et 1962 (Cf. *Annales Hydrographiques* n° 11 et 12).



Le premier maître hydrographe Le Doaré (tour d'horizon en 1962)

Les travaux hydrographiques « contemporains » conduits en Terre Adélie entre 1995 et 2000, l'ont été dans le cadre d'un protocole entre le SHOM, l'Institut Polaire et les TAAF. La précédente mission du SHOM (détachement mené par E. Larvor), datait de 1997 (Cf. *Annales Hydrographiques* n° 772 de 2004).



Le navire polaire Magga Dan, au mouillage aux abords de Port-Martin, en 1962

## 3. PRÉSENTATION

Ce rapport a pour but de faire la synthèse des résultats des deux dernières campagnes d'hydrographie SHOM/IFRTP en Terre Adélie afin d'inventorier les travaux réalisés et ceux à poursuivre. Il décrit plus particulièrement les activités du dernier détachement, durant la campagne 99/2000.

Il présente des résultats et des documents définitifs, détaillés par ailleurs dans le levé correspondant (S200104900, RP n° 45 MHA/NP du 9 mars 2001) ainsi que des propositions nécessaires à l'évaluation de travaux complémentaires.

Il s'attache à relater le déroulement des différentes phases (programmation, organisation, transports, travaux, difficultés, ...) pour faciliter les préparatifs d'une future mission dans ces contrées hostiles à la présence humaine.

Un détachement composé de deux techniciens supérieurs du SHOM de la mission hydrographique de l'Atlantique (MHA), le major Hervé Thomas (électronicien) et le maître principal hydrographe Didier Bénêteau, s'est rendu en Terre Adélie du 27 décembre 1999 au 12 mars 2000.

La précédente campagne, également objet de ce levé, a été effectuée du 11 décembre 1998 au 19 janvier 1999 par le maître principal Loïc Le Hir (électronicien) et le premier maître hydrographe Frédéric Pinguet de la MHA.

## 4. BESOINS À SATISFAIRE

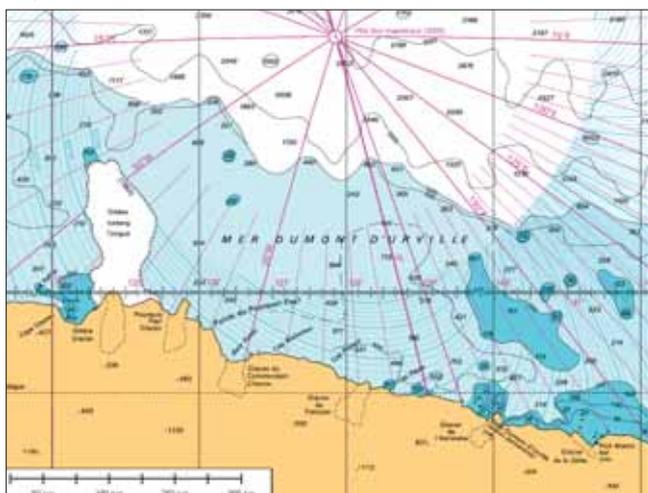
### 4.1 Objectifs des travaux à réaliser

Les principaux objectifs de la campagne 1999-2000, fixés par le SHOM, suite à une demande de l'IFRTP et du territoire des TAAF, dans le cadre du protocole étaient :

- d'achever le levé exploratoire du plateau continental aux abords de la Terre Adélie, commencé lors de la campagne 98/99,
- d'étudier des hauts-fonds engageant la sécurité de la navigation pour l'atterrissage aux environs du rocher du Débarquement (accès à la base Dumont d'Urville),
- de déterminer des sites gravimétriques au bénéfice de l'école et observatoire des sciences de la Terre de Strasbourg (EOST) sur l'île des Pétréls et sur le continent (cap André Prud'homme).

Par ailleurs, d'autres travaux étaient prévus, il s'agissait notamment :

- de confirmer l'existence de fonds inférieurs à 200 mètres au large de l'archipel de Pointe Géologie,
- d'assurer la jonction entre le levé au 1/20 000 de 1997-98 (vedette) et le levé au 1/50 000 de 1997-98 (*L'Astrolabe*), aux abords du rocher du Débarquement,
- d'achever le levé au 1/20 000 aux abords de Port-Martin,
- de réaliser une spatiopréparation pour le calage d'images satellites SPOT et ERS,
- de rattacher et de caler le marégraphe permanent (programme NIVMER).



Zone des travaux (mer Dumont d'Urville bordant la côte de Terre Adélie) – extrait CM 7591

On peut estimer que l'ensemble de ces travaux a globalement été réalisé, bien que ceux se déroulant à la mer n'aient pu l'être en totalité du fait de très mauvaises conditions météo aux moments de disponibilité de *L'Astrolabe*. En effet, sur les 13 jours où *L'Astrolabe* aurait pu sonder, 6 jours de vents à 140 km/h, ont retardé le déchargement de son fret et interdit toute sortie au large.

Néanmoins, tous les transits durant lesquels la vitesse maximale de sondage (7 nœuds par beau temps et hors pack) était

compatible avec les impératifs des autres programmes scientifiques, furent exploités.

Les autres travaux, prévus dans les instructions techniques d'origine (IT 1995) n'ont été réalisés que partiellement :

- le levé de reconnaissance le long des côtes ouest de Terre Adélie, par quelques profils exploratoires entre les brisants, l'archipel de Pointe Géologie et le cap Robert,
- sur les six sites astronomiques anciens restant à rattacher à l'ellipsoïde mondial, deux n'ont pu être abordés (pointe Alden et cap Pépin).

Les deux traversées Hobart - Terre Adélie et Terre Adélie - Hobart, à bord de *L'Astrolabe* ont par ailleurs été l'occasion d'effectuer, comme à chaque campagne, des tirs XBT au bénéfice du CSIRO (Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation) australien dans le cadre du programme WOCE (World Ocean Circulation Experiment).

## 5. CONDITIONS D'EXÉCUTION DE LA CAMPAGNE

Un protocole d'accord (n° 3/97 SHOM/EM/NP du 31/01/97), signé entre le SHOM, les TAAF et l'Institut polaire, permet aux détachements de bénéficier d'un soutien logistique, sans faille, durant les deux campagnes.

### 5.1 Préparation

La préparation de la campagne 1999-2000 a commencé au mois d'octobre 1999, durant lequel, une fois constitué, le détachement prit contact avec M. Pierre David (responsable des opérations de l'IFRTP), afin d'étudier les meilleurs créneaux entre les rotations R2 et R3 de *L'Astrolabe*, propices aux travaux envisagés.

Fin octobre, le gros du matériel était conditionné pour être acheminé par bateau (liaison marine marchande) à Hobart.

En décembre, le reste du matériel, provenant principalement du BH2 *Laplace* en mission en océan Indien, partait par avion.

Le 27 décembre 1999, au lendemain de la tempête ayant fortement perturbé les liaisons ferroviaires et aériennes fran-



Quand le pack devient infranchissable en opérations de sondage par beau temps (bulles et turbulences sous la coque du brise glace, vitesse et trajectoires erratiques)

çaises, le détachement s'envolait pour Hobart en Tasmanie où il arrivait le 29. Après récupération des caisses et installation du système d'acquisition à bord de *L'Astrolabe*, le navire polaire appareillait pour la Terre Adélie le 30 décembre à 15h00 locales.



*L'Astrolabe à quai à Hobart*



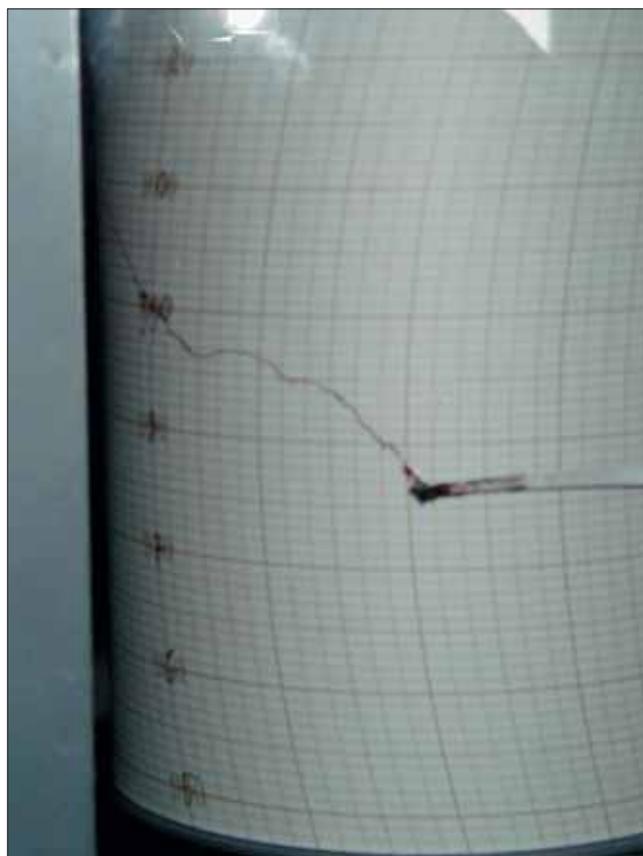
*L'indispensable hélicoptère sur L'Astrolabe à la base Dumont d'Urville*

Après 6 jours de traversée durant lesquels, les « quarantièmes rugissants » et les « cinquantièmes hurlants » furent à la hauteur de leur réputation, le navire polaire atteignait enfin le 6<sup>ème</sup> continent.

Il dû composer avec des dépressions assez creuses avant de franchir enfin le mythique cercle polaire dont le passage fût bien évidemment marqué par la délivrance du fameux diplôme.



*Par mauvais temps (> force 6) le sondeur décroche (tirant d'eau base sondeur de 4,6 m)*



*Aiguille du baromètre de L'Astrolabe ... à 966 hPa*

## 5.2 Matériel

### 5.2.1 Conditionnement – Transport

Tout le matériel a été conditionné normalement (non sous vide) à la MHA par les membres du détachement puis acheminé à destination de Hobart, comme pour les campagnes précédentes, par l'IFRTP.

Aucune perte ou casse de matériel n'est à déplorer sur les 15 caisses et colis d'un volume total de 3,2 m<sup>3</sup> pour un poids de 900 kg.

Les caisses (anciens emballages des sonars latéraux Edgerton), sont solides et pratiques. Elles constituent une très bonne protection pour le matériel informatique, électronique et optique, au vu des innombrables manutentions qu'elles ont subies durant toute la campagne.

Pour le retour, nous avons pu bénéficier d'une caisse avion de 100 kg, afin de pouvoir disposer rapidement des données acquises (stockées sur disquettes) ainsi que du matériel indispensable à d'autres équipes de la MHA.

Le reste du matériel n'est arrivé en effet que fin mai et aura donc été immobilisé durant 8 mois.



Matériel dans le conteneur « SHOM »

### 5.2.2 Fonctionnement

Le principal souci fut, d'une part de réunir l'ensemble du matériel dans les délais impartis, d'autre part de lever toute ambiguïté sur le fonctionnement des matériels et logiciels en l'an 2000. En effet, si pour certains d'entre eux, il n'y avait aucun doute sur le passage au nouveau siècle (récepteurs GPS NR103, MLR, Seastar...), pour d'autres un flou subsistait (récepteurs Ashtech, capteurs de pression Micrel, marégraphes, logiciel de marée,...) quand au fameux « bogue de l'an 2000 ».

C'est ainsi que les récepteurs Ashtech durent être mis à jour par des fichiers récupérés chez le constructeur via l'Internet. Après une série de tests on décida de programmer les marégraphes Mors en 1996, car le logiciel « marée 1.4 » ne fonctionnait pas en l'an 2000 et son remplaçant « marée 4.1 » n'était pas encore opérationnel.

Les travaux de nivellement de précision des sites gravimétriques ayant été programmés tardivement, l'achat d'un niveau électronique et d'une mire à code-barres (très efficaces sur le terrain), pu heureusement être effectué au dernier moment par le service IS de l'EPSHOM.

Durant la mission, le fonctionnement de tout le matériel fut globalement bon. À noter cependant quelques avaries ou dysfonctionnement mineurs :

- arrêts des récepteurs Ashtech en cours d'acquisition et blocages au déchargement,
- l'antenne « hautes latitudes » pour une meilleure réception des corrections différentielles du système Seastar était en avarie.

#### Remarques :

- la mise en route de cette mission (2 mois) fut un peu courte, en effet, pour appréhender efficacement ce type de campagne, qui se déroule dans des lieux et conditions inhabituels, il convient de commencer à s'y préparer au plus tard dès le mois de juin précédent l'été austral ;
- les huiles des théodolites n'ont de ce fait pas pu être remplacées (par des huiles antigel, comme le préconisaient les rapports des premières expéditions, le délai étant de six mois auprès du constructeur), mais les températures relativement clémentes durant les périodes de travail (- 15°C au minimum), et la « sortie » des appareils (optiques et électroniques) une heure avant de commencer les mesures ont permis des séances de travaux dans d'assez bonnes conditions ;
- les piles et batteries étaient vérifiées avant chaque sortie et le jeu de rechange conservé « au chaud » sur les opérateurs.

### 5.3 Chronologie des travaux

La chronologie des travaux et événements principaux durant les deux campagnes est listée dans les tableaux suivants :

#### Chronologie de la campagne 98/1999

DATES	Travaux principaux, faits marquants
Du 29/11 au 04/12	Départ de Brest pour rallier Hobart en Tasmanie, embarquement à bord de <i>L'Astrolabe</i> et installation du matériel.
Du 05 au 21/12	Appareillage pour l'Antarctique, réalisation, du 10 au 11, du premier profil exploratoire du plateau continental (méridien 142° est), arrivée de <i>L'Astrolabe</i> à la base Dumont d'Urville, rattachement du cap Bienvenue le 14, début du levé au 1/20 000, au nord de Port-Martin, transit vers le glacier Mertz pour y déposer des géologues, recherche par plongeur du marégraphe mouillé à Port-Martin lors de la campagne 97/1998, mesures GPS géodésiques au cap de la Découverte.
Du 25 /12 au 03/01	Profil exploratoire aux abords du cap Pépin, débarquement impossible à cause de la fonte du glacier. Le 27, départ de <i>L'Astrolabe</i> vers Hobart avec la moitié du détachement (sondage sur le méridien 140° est)
Du 04 au 17/01	Mesures géodésiques au cap Jules puis au rocher X permettant un vol hélicoptère jusqu'à la limite ouest de la Terre Adélie, retour de <i>L'Astrolabe</i> , en sondage sur le méridien 138° est, trajectographie GPS en hélicoptère, entre le glacier du Français et la pointe Ebba.
Du 19 au 30/01	Retour du détachement vers Hobart en sondant sur le méridien 141° est, reconditionnement du matériel et arrivée à Brest le 30 par voie aérienne civile.

**Chronologie de la campagne 99/2000**

<b>DATES</b>	<b>Travaux principaux, faits marquants</b>
Du 30/12 au 06/01	Traversée de Hobart à la base Dumont d'Urville (concours au CSIRO pour tirs XBT). Réalisation du profil exploratoire du plateau continental, méridien 139° est.
Du 06 au 14/01	Sortie en mer au profit du laboratoire océanologique de Banyuls, mouillage de marégraphes à Dumont d'Urville et Port-Martin, compléments bathymétriques du levé au 1/20 000 au nord de Port-Martin, durant les nuits, routes libres entre Pointe Géologie et Port-Martin. <i>L'Astrolabe</i> bloqué à quai à DDU le 11 pour mauvais temps.
Du 15 au 31/01	Implantation de 3 sites gravimétriques pour l'EOST sur l'île des Pétrils, reconnaissance et positionnement de 6 points de calage pour les images SPOT et ERS (radar), (cap Prud'homme, îles des Pétrils et d'Ifo), pré nivellement pour l'implantation de la future plate-forme de déchargement, piste du Lion, profil exploratoire du plateau continental, méridien 136° est. Marégraphe permanent en avarie.
Du 01 au 19/02	Route libre exploratoire au large de la côte ouest, implantation, nivellement et positionnement du site gravimétrique au cap Prud'homme, <i>L'Astrolabe</i> bloquée à quai par le mauvais temps durant 5 jours, implantation et nivellement système de calage du marégraphe permanent, positionnement point de calage pour image satellite SAR sur île des Manchots, début levé exploratoire des fonds inférieurs à 200 m au NNE de la base Dumont d'Urville, recherche brisants, départ de <i>L'Astrolabe</i> pour Hobart, reconnaissance hélico sur rocher du Débarquement, nivellement, site gravimètre cap Prud'homme, trajectographie hélico du glacier de <i>L'Astrolabe</i> .
Du 20 au 28/02	Profil exploratoire plateau continental, méridien 137° est, <i>L'Astrolabe</i> bloquée à l'abri des icebergs échoués au nord du rocher du Débarquement.
Du 29/02 au 04/03	Conditionnement et embarquement de tout le matériel, recherches sur récif Charcot, sur 27 (PA) et sur brisant au nord ouest rocher du Débarquement, fin levé exploratoire principal des fonds inférieurs à 200 m, route libre devant le rocher Janet.
Du 04 au 12/03	Démontage du matériel d'acquisition, départ de l'anse du Pré (île des Pétrils) le 4 au matin par vents de 45 nœuds et une mer forte, tirs XBT pour le CSIRO, transit vers Hobart, arrivée à Hobart le 9 en fin de journée, fermeture des caisses, départ de Hobart le 11 en début d'après midi par voie aérienne, arrivée à Brest le 12 en fin de journée.

Les tableaux ci-dessous présentent la comptabilité de l'utilisation des moyens durant la campagne.

**Moyens utilisés durant la campagne SHOM/IFRTP 1999/2000**

Durée totale de la mission (de Brest à Brest) en jours .....	77
Durée de présence en Terre Adélie (jours).....	59
<b>Travaux effectués - Emploi des moyens</b>	
Distance parcourue en sondage (km) .....	1463
Superficie totale sondée (km <sup>2</sup> ) .....	956
(sur la base d'une ouverture de faisceau de 30° et une moyenne des fonds par profil)	
Nombre de jours de travaux à la mer : .....	15
Nombre d'heures hélicoptère type Lama : .....	5,5
Nombre d'heures de travaux en plongée : .....	7
Bathycélérimétrie (tirs Sippican) : .....	14
Nombre de jours d'observation de la marée :	
à Dumont d'Urville .....	55
à Port-Martin .....	29
Nombre de sessions de mesures GPS géodésie : .....	30
Nombre de nivellements de précision .....	10
Nombre de mesures de calage pour le marégraphe permanent .....	176
<b>Emploi du personnel</b>	
Nombre de personnes (en Terre Adélie) : .....	2
Préparation à la MHA par le détachement (journée/homme) : .....	26,5
Exécution (y compris voyage avion et transit aller et retour) (journée/homme) : .....	110
Calculs/Traitement et Rédaction en Terre Adélie (journée/homme) : .....	44

Le récapitulatif des moyens humains mis en œuvre durant les deux campagnes est donné ci-après en « journée/homme » (UO : unité d'œuvre), personnel hydrographe et assimilé.

### Récapitulatif des moyens humains

Campagne	Nombre de jours (de Brest à Brest)	Préparation (UO)	Exécution (UO)	Traitement et rédaction (UO)	Totaux (UO)
Campagne 98/99 (2 personnes)	122 (2 x 61)	40	80 (2 x 40)	42+87 (1999)	<b>249</b>
Campagne 99/2000 (2 personnes)	154 (2 x 77)	26,5	110	44 + 17 (2000) 70 (2001)	<b>267,5</b>
<b>2 campagnes Totaux</b>	<b>276</b>	<b>66,5</b>	<b>190</b>	<b>260</b>	<b>516,5</b>

## 6. GÉODÉSIE

Pour les travaux à la mer, le système géodésique WGS 84 a été principalement utilisé compte tenu des systèmes de positionnement disponibles (GPS et GPS différentiel).

Pour les travaux de géodésie Ashtech et classiques, sur l'île des Pétrels, à Port-Martin, cap Jules, île Ifo et cap Prud'homme, c'est le système ITRF94 (époque 95.1) qui a été utilisé.

Les résultats obtenus ont cependant été transformés suivant les besoins dans le système « Pointe Géologie - Perroud 1950 » ou « Port-Martin Perroud 1950 ».

### 6.1 Système de coordonnées utilisé pour les travaux

Les travaux à la mer ont été traités et rédigés, en projection UTM fuseau 54 - zone sud, rapportée au système géodésique WGS 84 en adoptant pour toutes les transformations de coordonnées ellipsoïdiques entre les systèmes géodésiques locaux (connus) et le WGS 84. Les paramètres de passage déterminés lors de la campagne d'hydrographie 1995/96 (cf. *Annales hydrographiques n° 772*) sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Site de Pointe Géologie (Perroud 1950/WGS 84)		Site de Port-Martin (Perroud 1950/WGS 84)	
Tx	+324,8 m	Tx	+217,8 m
Ty	+153,6 m	Ty	-219,8 m
Tz	+172,1 m	Tz	+105,9 m

### 6.2 Matériel utilisé

L'équipe disposait d'un couple de récepteurs portables Ashtech Z12 et utilisait le récepteur fixe GPS permanent dont l'antenne est installée sur le pilier IGN à la base Dumont D'Urville.

Le fonctionnement des récepteurs portables fut correct avec cependant quelques blocages durant l'acquisition ou au vidage (problèmes dus aux chocs thermiques, passage de -15°C à +18°C).

L'expérience a montré que, du fait de la configuration des satellites et de celle du récepteur GPS permanent (programmé



Île des Pétrels – Pilier GPS permanent

pour une cadence d'acquisition de 30 secondes à raison d'un archivage journalier limité par la taille des fichiers), les durées de session d'une heure étaient trop courtes pour atteindre une bonne précision (inférieure à 0,1 m), les sessions ont donc été prolongées chaque fois que possible.

### 6.3 Rattachement des systèmes locaux au système mondial

#### 6.3.1 Présentation

Les systèmes géodésiques locaux en Terre Adélie sont associés aux rares émergences rocheuses sortant de la calotte glaciaire (caps, îles ou nunataks) qui supportent leur réseau de points et sont, de ce fait, presque tous indépendants. Ils ont fait l'objet, en 1951 et 1952, d'observations astronomiques pour fixer leur point fondamental, puis déterminer et orienter leur base.

Les transits de *L'Astrolabe* ne nous ont hélas menés, en 2000, qu'à Port-Martin, au cap Jules et au rocher Janet.

Les durées de séjour furent souvent écourtées par l'arrivée soudaine du vent catabatique et pour des raisons de sécurité, l'hélicoptère ne pu s'éloigner à plus de 10 km de la base sans la présence du bateau.



*Cap du rocher Janet en 2000*

En conséquence, les travaux de rattachement des points anciens se résument pour la campagne 1999-2000 à :

- Port-Martin                    station sur l'île des Manchots (point M5, emplacement de l'ancien signal en bois couché sur le sol),
- cap Jules                        station sur les points J6 et J3,
- île Ifo                            station sur le point « IFO EX-CENTRÉ » ,
- cap Prud'homme            station sur « MORAIN EXCENTRÉE » .

Durant la campagne 1998/1999, les points suivants ont été rattachés :

- nunatak du rocher X        station sur le cairn rocher X,
- cap Bienvenue                station sur le point B1,
- cap de la Découverte        station sur le point D6.

Du fait des conditions particulières (vent, température, délais,...) inhérentes aux travaux dans ces régions, les modes opératoires ont parfois été allégés (mesures météo, durées de sessions) afin de pouvoir acquérir et rapporter à tous prix la mesure. Ainsi, la précision des résultats n'est-elle pas toujours celle attendue.



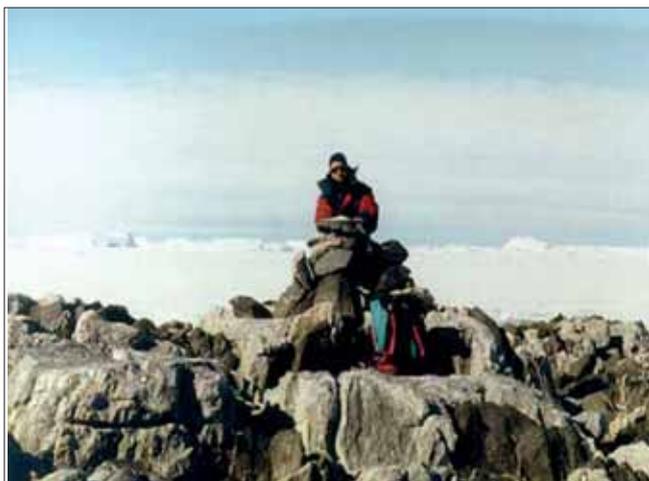
*Cap Jules en 2000*



*Cap Prud'homme en 2000*



*Cap de la Découverte en 1999 (arrivée du vent catabatique)*



Court séjour au cairn du rocher X, lieu symbolique à la limite ouest de la Terre Adélie (5 janvier 1999.)

### 6.3.2 Résultats

Une fiche géodésique a été rédigée pour chaque point. Les coordonnées des nouveaux points géodésiques ont été produites dans le référentiel où elles ont été obtenues sur le terrain, (système ITRF94-EPOCH 95.1).

Dans le cadre du comité scientifique pour la recherche en Antarctique, conformément aux IT, le présent rapport ainsi que les fichiers résultats des sessions Ashtech ont été envoyés à l'IGN, afin de calculer les coordonnées très précises (avec les éphémérides exactes) et les compensations fines entre les nouveaux points, destinées à compléter les observations faites les années précédentes et améliorer ainsi les connaissances géodésiques en Terre Adélie.

Les rattachements des points anciens ont néanmoins permis de confirmer les paramètres de passage (Tx, Ty, Tz) des sites de Pointe Géologie et de Port-Martin et d'en calculer de nouveaux, pour les sites des caps de la Découverte, Jules, Bienvenue et du rocher X.

Ces paramètres sont issus de la méthode de calcul, rappelée ci-dessous (identique à celle utilisée pour la campagne 97/98) :

- transformation des coordonnées géographiques en coordonnées trirectangles d'un point connu dans les deux systèmes (n° 1 Perroud 1950 et n°2 ITRF 94-EPOCH 95-1) avec le logiciel Geometre (utilisant la base de données Geolib),
- comparaison des coordonnées trirectangles et déduction des décalages (Tx, Ty, Tz), (n° 2 moins n° 1).

Les coordonnées des anciens points proviennent de l'ouvrage N° S-III.1 - Astronomie et géodésie en Terre Adélie (Perroud 1951-52).

#### Analyse :

- archipel de Pointe Géologie (côte ouest), on note une dispersion progressive normale des écarts en x et y, en s'éloignant de l'archipel (donc du point fondamental P3) vers l'ouest (maximale au rocher X à 150 km) mais une bonne cohérence (atteignant 10 m) en bordure d'archipel sur l'île Ifo à 13 km ;

- Port-Martin – cap de la Découverte (côte est), la cohérence est très bonne (de l'ordre du mètre dans les trois dimensions), à noter que le cap de la Découverte a été rattaché en 1951 au réseau de Port-Martin, par procédé stadimétrique ;
- cap Bienvenue et cap Jules (côte est), si les Tz sont très proches, les Tx et Ty sont très éloignés ;
- au cap Jules, à 42 km de Pointe Géologie, les points J6 et J3 donnent des résultats médiocres (durées d'observation courtes) mais cohérents entre eux ;
- au cap Bienvenue, à 23 km de Pointe Géologie, les calculs donnent des décalages sensiblement différents de ceux adoptés en Tx mais très éloignés en Ty et Tz.

### 6.3.3 Conclusion

#### Paramètres de passage

Il est impossible d'établir une règle de variation des paramètres de passage (hors abords immédiats du point fondamental de chaque réseau) le long des côtes de Terre Adélie. En effet, les différents systèmes locaux sont tous indépendants et leur détermination a été soumise (à l'époque) aux incertitudes sur la déclinaison magnétique (fortes altération sur les mesures d'azimut magnétique, nécessaire en l'absence de ciel dégagé) dues à la proximité immédiate du pôle magnétique.

Il est de plus très probable que la forte variabilité spatiale de la déviation de la verticale (présence de canyons profonds aux fronts des glaciers) ait accentué ces incertitudes.

Compte tenu de la précision des observations, les paramètres adoptés ou conservés sont résumés dans le rapport particulier n° 45 MHA/NP du 9 mars 2001 et certains commentés ci-après.

#### Rappel :

$(x,y,z)$  ITRF94 =  $(x,y,z)$  Perroud50 + (Tx, Ty, Tz).

**Archipel de Pointe Géologie** : pas de changement par rapport à ceux adoptés en 1996, précision moyenne décroissante de 1 à 10 m en Tx et Ty et stable, (1 m) en Tz, dans un rayon de 1 à 10 km autour de l'île des Péterls.

**Port-Martin** : pas de changement par rapport à ceux adoptés en 1998, le site du cap de la Découverte peut être englobé dans ce système (Perroud-Martin).

**Cap Jules** : les Tx et Ty sont précis à 5 m et le Tz à 2 m.

#### Altitude

La cote du zéro des altitudes (EPF52) par rapport à l'ellipsoïde GRS 80 a également été contrôlée sur les différents points anciens lorsque leur altitude était mentionnée dans l'ouvrage EPF (Astronomie - Géodésie - Cartographie n° S-III.1 - Terre Adélie 51-52 - Perroud.)

Les résultats sont cohérents entre eux au mètre près et s'éloignent peu des deux valeurs d'origine déterminées à Port-Martin et dans l'archipel de Pointe Géologie.

Le zéro des altitudes étant assimilé au niveau moyen et les mesures d'altitude origine (1952) ayant souvent été faites par nivellement géodésique depuis le niveau de la mer, cela explique les dispersions observées. Les deux cotes du zéro des altitudes EPF52 par rapport à l'ellipsoïde GRS80 (-44,57 m à Port-Martin et -43,57 m dans l'archipel de Pointe Géologie)

sont donc confirmées et conservées. Elles devraient pouvoir s'extrapoler jusqu'aux limites est et ouest de la Terre Adélie mais aucune série de mesures complète ne permet de l'affirmer pour le moment.

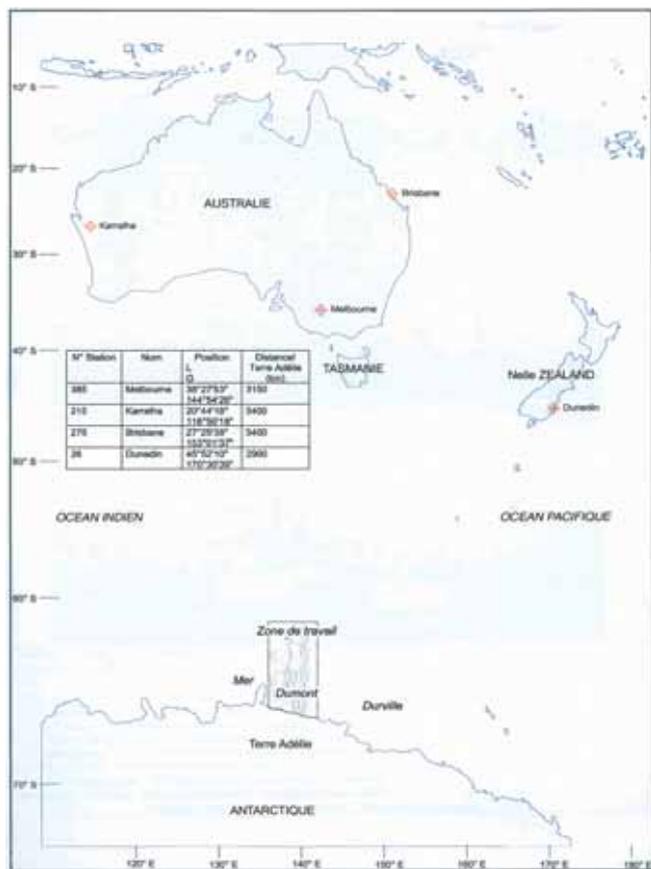
#### 6.4 Autres travaux effectués

- Le positionnement en DGPS Ashtech de points de calage pour les images SPOT et ERS2 a été effectué en mode statique ou statique rapide ;
- le rattachement à l'ellipsoïde mondial du marégraphe permanent a été réalisé par nivellement optique depuis le site du GPS permanent et contrôlé par nivellement Ashtech direct ;
- le positionnement et le nivellement de quatre sites gravimétriques ont été réalisés par les mêmes méthodes ;
- un point de référence et un profil topographique ont été réalisés à l'Ashtech, au niveau et à la mire invar, sur la piste du Lion pour l'implantation de la future plate-forme de déchargement des navires.

#### 7. LOCALISATION DE L'ASTROLABE

La localisation a été assurée en GPS naturel (campagne 98/99) et à l'aide du GPS différentiel, système Seastar, (durant la campagne 99/2000) pour tous les levés. La réception des corrections différentielles via le satellite INMARSAT a été correcte dans l'ensemble malgré des « sauts » inexplicables surtout en fin de campagne.

L'antenne de réception « spéciale hautes latitudes » n'a pas été utilisée car en avarie dès le début de la mission.



Stations différentielles australiennes et néo-zélandaises

Des cibles ont été effectuées aussi souvent que possible, montrant une précision (2DRMS à 95%) de l'ordre de 25 m, en mode différentiel et de 50 m en mode naturel.

Le système différentiel Seastar apporte dans ce cas, une amélioration du positionnement, d'un facteur 2 par rapport au « GPS naturel » mais ne suffirait pas pour effectuer des levés à une échelle plus grande que le 1/20 000<sup>ème</sup>. Cela est dû à l'éloignement important des stations différentielles australiennes et néo-zélandaises (3 000 km pour les plus proches).

#### 7.1 Configuration utilisée durant la campagne 1999-2000

L'acquisition était réalisée sur un PC portable Contura (relié à un récepteur GPS NR103), avec le logiciel XYplot.

Le guidage du bâtiment était assuré par un deuxième récepteur GPS NR103 utilisé en mode « homing ou track » suivant les cas.

Durant les sondages, le nombre de satellites reçus simultanément a toujours été supérieur à 8.

La localisation du système différentiel Seastar était archivée toutes les 10 secondes quelle que soit l'échelle prévue pour la rédaction (qui peut le plus peut le moins, on ne sait pas si l'on reviendra un jour dans cette région!), la vitesse fond de L'Astrolabe variant de 3 à 8 nd.

Au traitement de la localisation, les paramètres, pour détecter les valeurs « hors seuil » aux échelles prévues ont été adoptés et les sauts en « naturel » ont pu être invalidés grâce à l'abondance des tops.

L'antenne GPS était installée au sommet du mât de L'Astrolabe (sous la girouette et l'anémomètre). Un mâtereau d'un mètre permettrait lors des prochaines missions de dégager l'antenne des aériens et diminuer les sauts de localisation.

#### 7.2 Précision du positionnement

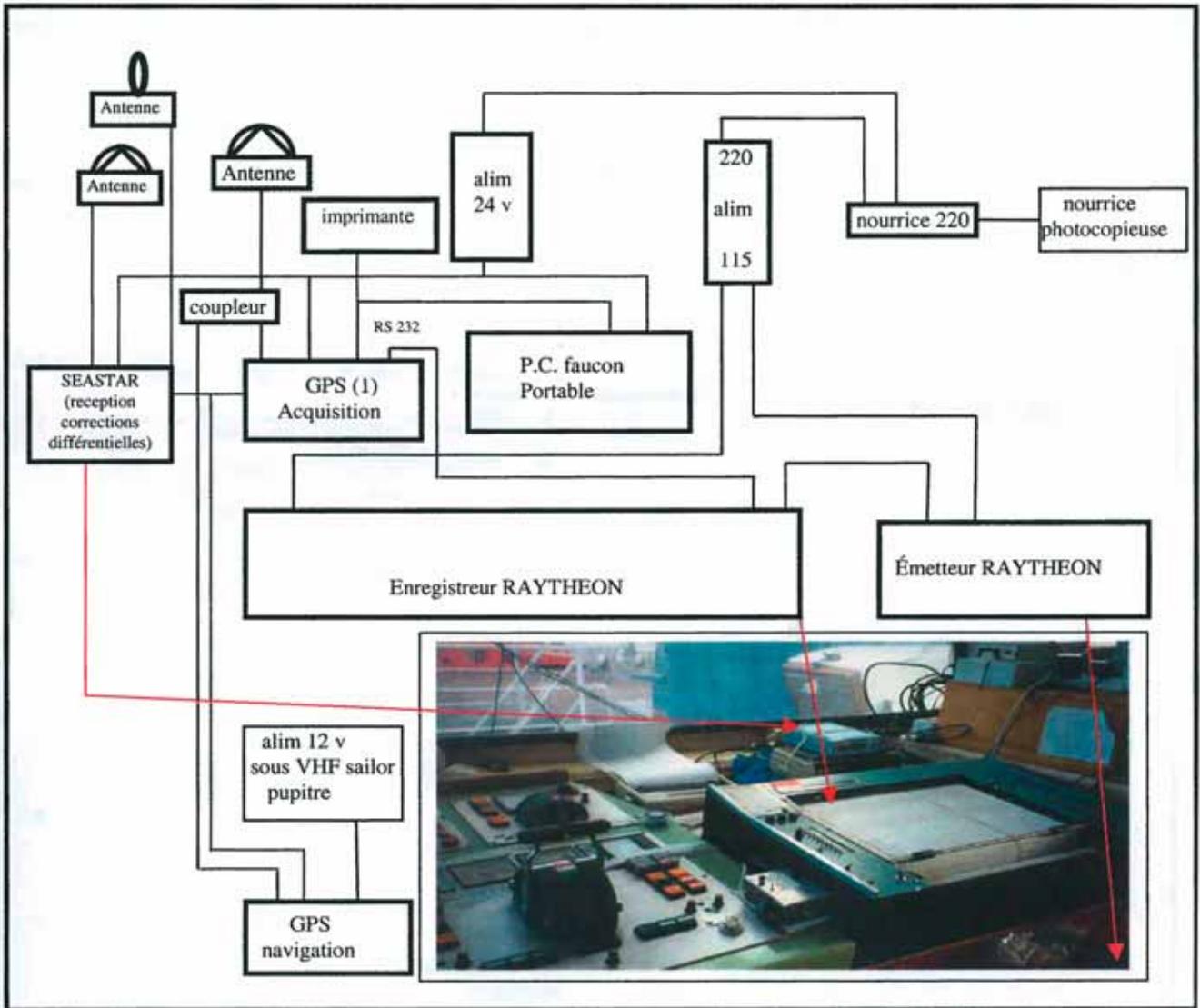
Compte tenu de tous les éléments analysés précédemment, la précision de la localisation a été de +/- 25 mètres durant toute la campagne 1999-2000 et de +/- 50 m durant la campagne 1998-1999.

#### 8. MARÉE - NIVELLEMENT - CÉLÉRITÉ

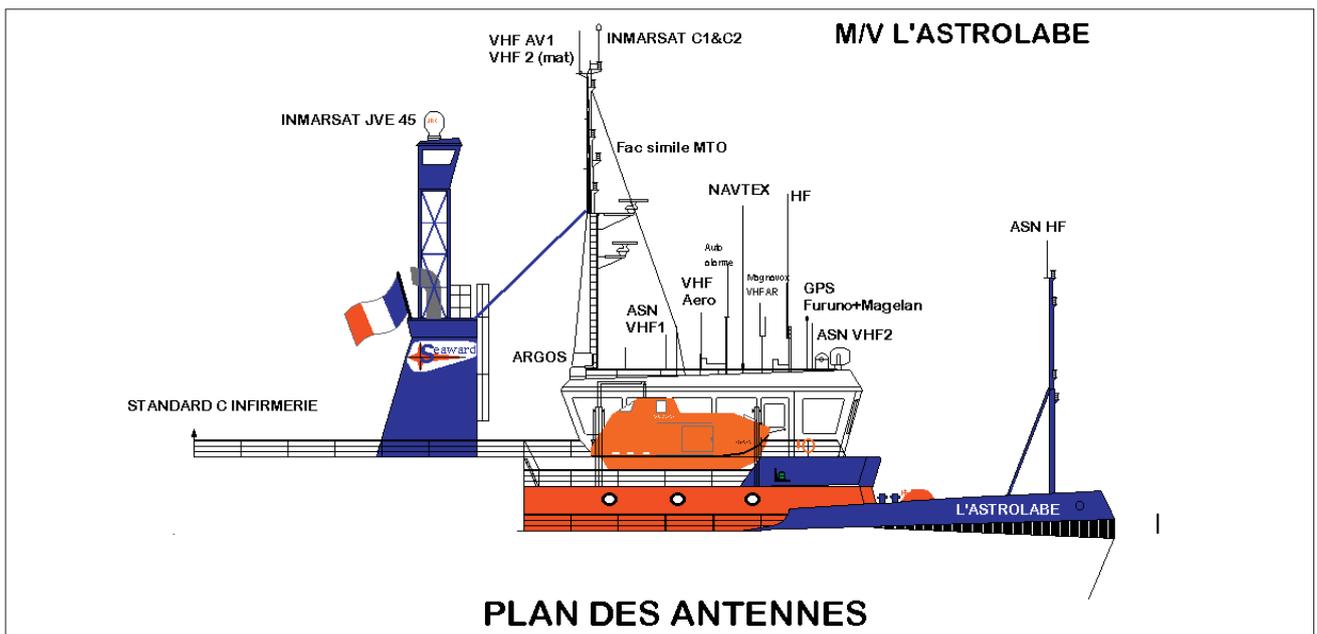
##### 8.1 Observation de la marée

Les observations de la marée, concernant les deux campagnes, réalisées à l'aide de marégraphes immergés de type Mors-OT et doublés de capteurs de pression immergés (Mirel) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Situation géographique	Période
Enrochement piste du Lion de la base Dumont d'Urville	11/12/1998 au 16/02/1999
Enrochement piste du Lion de la base Dumont d'Urville	07/01/2000 au 28/01/2000
Enrochement piste du Lion de la base Dumont d'Urville	28/01/2000 au 02/03/2000
Port-Martin	09/01/2000 au 07/02/2000



Installation du matériel à la passerelle de L'Astrolabe (sondeur raythéon grands fonds, récepteur GPS NR103, récepteur Seastar, PC d'acquisition, PC Sippican, centrale température et salinité du CSIRO)



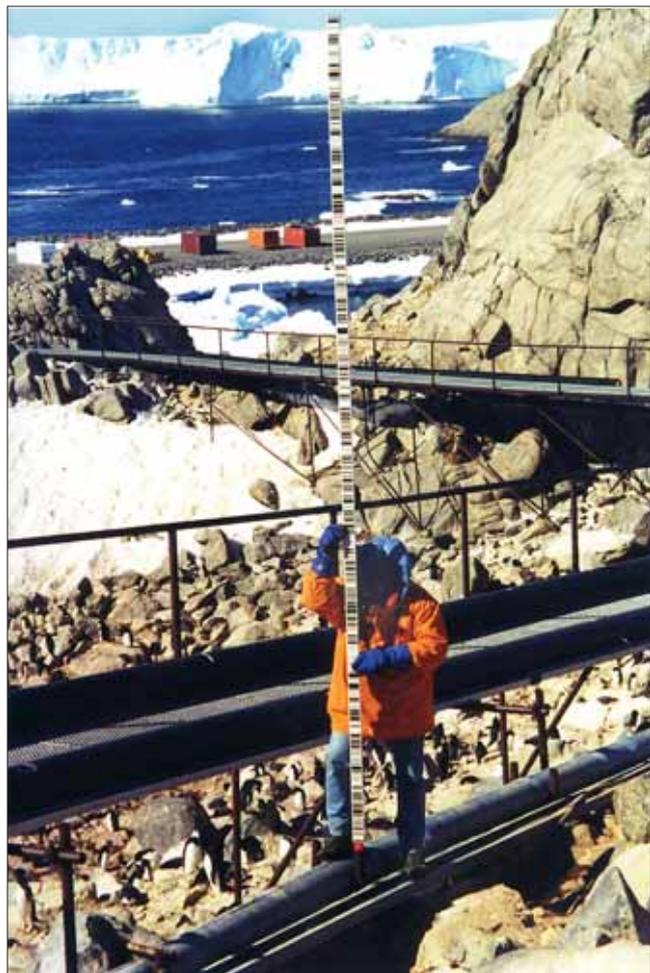
Compte tenu des conditions topographiques « non conventionnelles », rencontrées dans ce type de campagne, l'adaptation pratique « esprit système D » doit être permanente et efficace.



*Mesures de tirant d'air « cornière »  
(rocher Jacobsen)*



*Mesures de tirant d'eau « sabot de mire » (socle scellé sur la roche  
par plongeur)*



*Nivellement à la mire à code-barres et « à la boule de billard »*



Niveau NA3003 et mire à code barre à travers les rookeries sur l'île des Pétrels (janvier 2000)

Les appareils ont tous été récupérés et ont bien fonctionné sauf les capteurs de pression Micrel qui n'ont fonctionné que 3 à 4 jours.

Une concordance a été réalisée entre Port-Martin et Dumont d'Urville, elle confirme à quelques cm près le résultat obtenu en 1950. Le zéro concordant à Port-Martin se situe à 7 cm sous le zéro des sondes de Dumont d'Urville.

Le capteur Micrel mouillé l'année précédente à Port-Martin a été retrouvé de justesse en plongée (il ne restait plus que le cylindre inox de 5 cm de diamètre et 10 cm de long). Le câble en kevlar, reliant sa cage à la côte était coupé et coincé sous 3 mètres de glace. Ce capteur ne contenait hélas lui aussi que quelques jours de mesure. Ce type de capteur est habituellement utilisé par les chalutiers pour connaître le « profil » de la profondeur atteinte par le chalut durant le trait qui en général ne dure pas plus d'une dizaine d'heures.

## 8.2 Nivellements - Calages

### 8.2.1 Nivellements

Tous les nivellements (sites gravimétriques et repères de marée) ont été effectués au niveau électronique (NA3003) et à la mire à code-barres qui se sont révélés très efficaces et précis. En effet, étant donné les conditions climatiques et les fortes dénivelées, il était nécessaire de pouvoir faire « vite et bien ».

L'appareil a été étalonné sur place à plusieurs reprises, par la méthode « des deux mires équidistantes » et entre deux repères connus (nivelés avec un niveau classique) pour les sites gravimétriques).

Étant donné la présence de nombreux « tubes scellés », sur l'île des Pétrels la méthode « boule de billard » a été utilisée avec succès.

Tous les repères contemporains des deux sites (Port-Martin et Dumont d'Urville) ont été retrouvés et sont en bon état. Néanmoins, le mât de pavillon de Port-Martin qui était un amer et aidait à retrouver le repère B a disparu.

### 8.2.2 Calages

Le calage des marégraphes a été effectué par des mesures de tirant d'air et tirant d'eau :

- à Port-Martin, par rapport au repère A,
- à Dumont d'Urville, par rapport au repère H et une mire de nivellement fixée sur un support (sabot de mire, scellé sous l'eau), en guise d'échelle de marée, installée pour le calage centimétrique du marégraphe permanent.

Le site de ce dernier ayant été déglacé très tardivement, le site du « portique » a été utilisé jusqu'au 14 février. Les résultats des calages sont de bonne qualité à Dumont d'Urville et de qualité moyenne à Port-Martin.

Les pressions brutes ont été réduites de la pression atmosphérique enregistrée à la station Météo France de Dumont d'Urville.

La densité pour le calcul des hauteurs d'eau a été déterminée au retour du détachement en métropole par le laboratoire de chimie océanographique de l'EPSHOM (LCO), à partir de 9 échantillons prélevés durant les mesures.

## 8.3 Célérité – Tirants d'eau

### Mesure de la célérité

La célérité a été calculée par la section océanographie appliquée du centre militaire d'océanographie (CMO/OA) à l'EPSHOM, à partir d'une vingtaine de tirs Sippican (XBT T5 et T7 et XCTD 1000), encadrant les périodes de sondage.

Suite aux méthodes de calcul et de prolongation des profils jusqu'au fond, la précision attendue de la mesure de célérité est de 0,5 m/s soit 0,1% de la profondeur.

Comme pour les autres campagnes, moyennant une étroite collaboration, le détachement pu profiter des installations Sippican/MK12 installées à bord par le CSIRO pour effectuer ses tirs, en échange de quoi, les 2/3 des tirs durant le trajet aller retour de *L'Astrolabe* entre Hobart et Dumont d'Urville furent effectués par le détachement au profit du CSIRO.

Les tirants d'eau récapitulés dans le rapport particulier étaient en moyenne de 4,5 m. Le décalage de 0,2 m entre les échelles de TE (quille) et la base sondeurs EDO a été appliqué.

## 9. BATHYMÉTRIE

### 9.1 Sondages

Les sondages ont été effectués à l'aide du sondeur Raythéon équipé de la base EDO-12 kHz (installée en permanence sur *L'Astrolabe*). Ce matériel, robuste et éprouvé depuis longtemps au SHOM a bien fonctionné. On peut toutefois regretter l'enregistrement, uniquement analogique (sur bande) qui oblige à numériser manuellement toutes les sondes au retour du détachement en métropole.

Remarque : pour les prochaines campagnes, il sera possible de disposer utilement (pour les fonds allant de 15 à 300 m) du sondeur entièrement numérique installé sur *L'Astrolabe* par

l'IFRTP, moyennant un interfaçage SHOM et un étalonnage, (des comparaisons avec le Raytheon, en temps réel, ont déjà permis de constater la cohérence des deux sondeurs sur fonds plats).

Le transducteur EDO possède une ouverture de faisceau de 30°, ce qui permet une insonification théorique d'environ 0,53 fois la profondeur (P).

Durant les sondages, les fonds ont varié de 3 900 m à 15 m, et la précision de la sonde brute, au delà de la précision intrinsèque du sondeur, donnée par le constructeur (basée sur la fréquence et l'échantillonnage), dépend en grande partie de la résolution de la numérisation manuelle de la bande (0,5 mm) elle-même liée aux échelles adoptées.

Étant donné les reliefs tourmentés rencontrés aux abords des côtes (vallées glaciaires, hauts-fonds,...), et les « décrochements » fréquents du signal sur les pentes raides, une échelle « partant de la surface » était d'usage.

En conséquence, la précision des mesures brutes de la sonde a été estimée à 0,03 P et correspond à une erreur de +/- 0,45 m à 15 m (plus petite sonde enregistrée lors du levé) :

Toutes les sondes ont été réduites :

- de la célérité,
- du tirant d'eau,
- de la marée réelle mesurée à Dumont d'Urville - piste du Lion (à l'exception de deux profils exploratoires du plateau continental, les n° 139 et RL 100-2 (marégraphes non installés), mais il n'existe pas de sonde inférieure à 200 m sur ces profils).

Compte tenu de tous les éléments supra, la précision globale du « Z » de la sonde est récapitulée dans le tableau en bas de page.

## 9.2 Traitements

### 9.2.1 Localisation

La localisation a été traitée en plusieurs étapes qui ont consisté à « alléger » les fichiers bruts, les mettre au format de la chaîne de traitement (un profil = une session), détecter les valeurs hors seuil ainsi que les « sauts » et les invalider manuellement pour enfin valider la localisation par analyse des tracés.

### 9.2.2 Sonde

Le traitement de la sonde a été réalisé suivant la méthode manuelle classique, (numérisation des bandes de sonde) pour les deux campagnes à l'aide des logiciels habituels (chaîne de traitement TRADOC).

Tous les tracés des documents définitifs ont été effectués à l'aide du logiciel ARGOS, à l'exception des documents de localisation (non fournis, mais montrant néanmoins, pour les besoins de traçabilité, les routes suivies dans le cas des recherches sur les brisants).

## 9.3 Résultats et analyses

Les sondages effectués ont été classés en 4 catégories, liées à 4 zones et 4 échelles de traitements différents. Néanmoins, les données numériques ont été constituées en deux lots séparés caractérisant l'un le positionnement en GPS naturel (campagne 98/99) et l'autre un positionnement en GPS différentiel (campagne 99/2000).

### 9.3.1 Levé exploratoire du plateau continental aux abords de la Terre Adélie

#### 9.3.1.1 Résultats

Ce levé est composé de deux parties.

La première, débutée durant la campagne 98/99, a été effectuée presque en totalité si l'on considère l'objectif principal qui était de délimiter le plateau continental antarctique aux abords de la Terre Adélie. Les profils n° 136 et n° 137 n'ont cependant pas été complètement effectués, compte tenu des mauvaises conditions météo.

En effet, à chaque rotation entre la Tasmanie et la Terre Adélie, *L'Astrolabe* devait « slalomer » en moyenne entre 3 dépressions. Des options de vitesse et de route, incompatibles avec les sondages ont donc dû être prises.

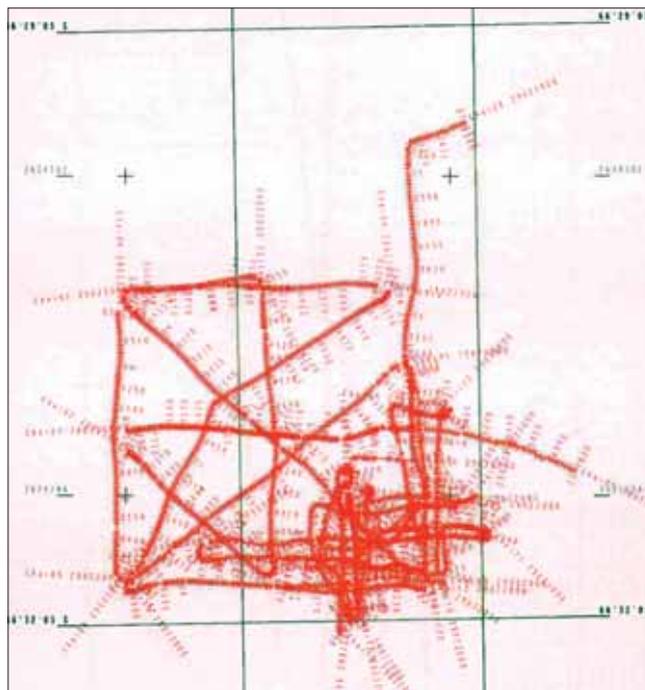


Schéma de la localisation d'un sondage type de brisants

Afin de parfaire l'homogénéité de ce levé exploratoire, il conviendrait de compléter ces deux profils inachevés. Bien que l'intérêt hydrographique actuel au nord de cette zone soit

Sonde Brute	Célérité	Tirant d'eau	Marée	Précision globale
+/- 0,03 P	+/- 0,001 P	0,1 mètre (négligeable pour ce levé)	0,05 mètre (négligeable pour ce levé)	<b>+/- 0,031 P</b>

faible (plaine abyssale très plate par 3 800 m de fond) et que ces tronçons soient loin de la route habituelle de *L'Astrolabe* et des très rares navires croisant dans ces parages.

L'autre partie qui consistait en la reconnaissance de l'isobathe de 200 mètres au nord nord-est de la base Dumont d'Urville a été effectuée à 80 %. Des problèmes de moteur n'ont pas permis de terminer l'investigation des zones isolées, inférieures à 200 m, plus au nord de l'isobathe principale, ni de conclure sur la continuité des fonds inférieurs à 200 m, entre cette zone et les côtes de la Terre Adélie.

### 9.3.1.2 Analyse hydrographique

#### Critiques des cartes marines en service

La comparaison du levé avec les cartes marines 6101, 6061 et la minute GEBCO australienne n° 543 de janvier 1984, a été effectuée.

Le résultat du contrôle de la carte 6101 est porté sur une carte renseignée (Cr 6101).

Étant donné le caractère exploratoire de ce levé, la critique des sondes n'a été effectuée qu'aux abords immédiats des profils.

Le classement et la caractérisation de ce levé sont indiqués plus loin.

#### Documents rédigés

Les instructions préconisaient une rédaction de ce levé à l'échelle 1/100 000<sup>ème</sup>, mais afin de diminuer le nombre de documents (format A0), de 23 à 3 et avoir une vue d'ensemble de la zone, 1 seul document graphique à l'échelle 1/500 000<sup>ème</sup> (partie large) et 2 documents graphiques à l'échelle 1/100 000<sup>ème</sup> (partie côtière) ont été rédigés. Cependant, les traitements ont été réalisés à l'échelle convenue, 1/100 000<sup>ème</sup>.

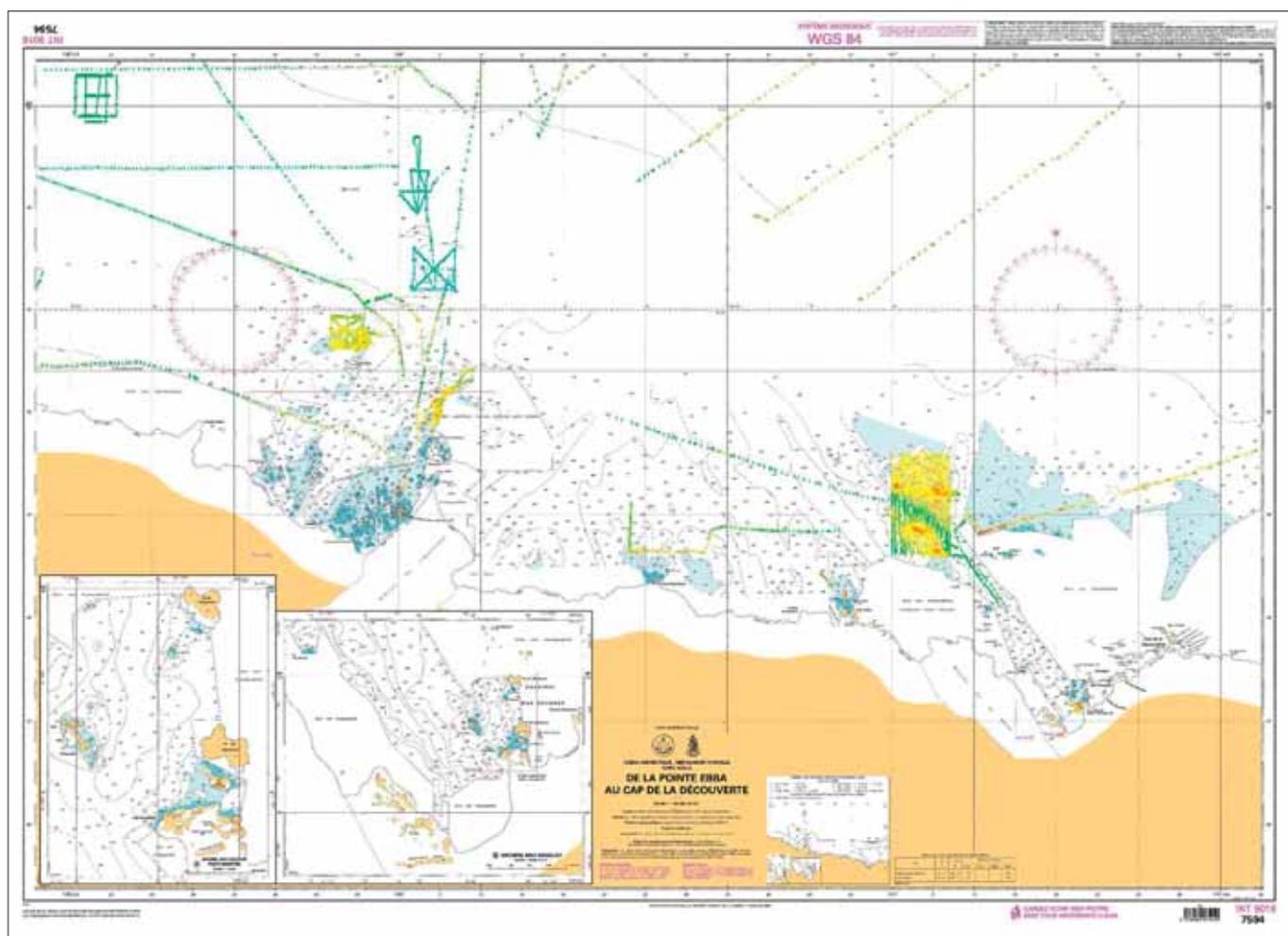
### 9.3.1.3 Analyse morphologique

#### Partie large

La limite du plateau continental géologique aux abords de la mer Dumont d'Urville, (fonds de 2 500 m) est maintenant mieux connue. Elle correspond globalement à celle qui se dessinait sur la minute GEBCO australienne n° 543 de janvier 1984. Les fonds de 3 900 m (plaine abyssale) rencontrés à la latitude 63° sud, remontent en pente douce jusqu'à 2 500 m à la latitude de 65°10' sud, dans la partie est, et bien avant (64°30' sud), dans la partie ouest.

Quelques plateaux (peut-être les traces d'anciennes moraines de langues glaciaires, tel le Dibble Iceberg Tongue plus à l'ouest) existent par endroits :

- fonds de 400 m par 65° S et 136° E ;
- fonds de 400 m par 65°30' S et 138° E.



### Partie côtière

Les sondages ont permis de confirmer la présence de fonds inférieurs à 200 mètres au nord nord-est du glacier de *L'Astrolabe* avec des fonds minimums de 113 mètres.

De nombreux « petits » icebergs, dont le tirant d'air avoisine les 30 m, sont échoués dans cette zone et renforcent ainsi l'hypothèse (le tirant d'eau d'un iceberg « venant de naître » est de 7 à 9 fois son tirant d'air) de l'existence de fonds moindres dont le danger pour la navigation ne peut cependant être prouvé.



*Berg échoué, vélé par le glacier de L'Astrolabe  
(le glacier de L'Astrolabe est un des plus petit de l'Antarctique)*

Ces conclusions sont issues de l'étude des bandes de sonde (absence de reliefs abrupts), des résultats bathymétriques (présence d'une structure en longueur, de fonds de 150 m culminant à 113 m), bordant la fosse au sud sud-ouest de la zone et de la grande expérience et bonne connaissance des parages, des commandants de *L'Astrolabe*.

Cette zone de fonds inférieurs à 200 m n'est apparemment pas reliée au socle continental « adélien » par des fonds de moins de 200 mètres, (cap Jules, archipel Max Douguet et hauts-fonds plus au nord), car le profil effectué le plus au sud-est comporte une sonde minimum de 205 m. Un grand profil longitudinal (orienté nord-ouest/sud-est), programmé mais non effectué faute de temps devait confirmer cette discontinuité.

Au nord du 66<sup>ème</sup> parallèle, les zones isolées, inférieures à 200 m, confirmées par la compilation de toutes les cartes françaises et étrangères couvrant cette région, n'ont pas été sondées.

### 9.3.2 Levé de reconnaissance le long des côtes de Terre Adélie

#### 9.3.2.1 Résultats

Tous les transits, le long des côtes de la Terre Adélie, durant lesquels la vitesse n'était pas imposée par d'autres programmes, ont été valorisés pour compléter les connaissances bathymétriques:

- au nord du rocher du Débarquement, où la jonction entre le levé (1999-18), au 1/20 000<sup>ème</sup> vedette de 1998 et le levé exploratoire au 1/50 000, n'a cependant pu être achevée du fait de l'encombrement permanent d'icebergs échoués dans cette zone,

- au sud ouest du cap de Margerie où des profils ont été effectués à faible vitesse devant le glacier de la Zélée dans une zone vierge de tout sondage,
- devant le rocher Janet, à l'ouest de l'archipel de Pointe Géologie, où une route libre a été réalisée lors de l'approche à environ 1 000 m de la côte,
- le long de la côte ouest où trois profils ont été effectués jusqu'aux abords du glacier du Français,
- le long de la côte est où un profil a été effectué depuis Port-Martin jusqu'aux abords du cap Gray.

Au final, 12 documents graphiques à l'échelle 1/50 000<sup>ème</sup> ont été rédigés (traitements à la même échelle).



*Cap du « rocher Janet »*

#### 9.3.2.2 Analyses

Ces profils de reconnaissance ont permis d'augmenter sensiblement la densité des sondes présentes sur les trois cartes en service (6101, 6100 et 6285), de connaître un peu mieux les abords des caps, de trouver quelques nouveaux hauts-fonds et d'en préciser certains.

Les sondes inférieures à 40 m les plus significatives sont récapitulées dans le tableau page suivante.

Ce levé a été comparé avec le levé Larvor (1999-18). Malgré le relief très accidenté par endroits, la cohérence est bonne (de l'ordre de 2 mètres par fonds inférieurs à 50 mètres).

La critique des cartes marines concernées, (6101, 6285 et 6100) est effectuée aux abords immédiats des profils, sur les cartes renseignées du même nom.

Le classement et la caractérisation de ce levé sont indiqués plus loin.

#### 9.3.3 Levé au 1/20 000<sup>ème</sup> au large de Port-Martin

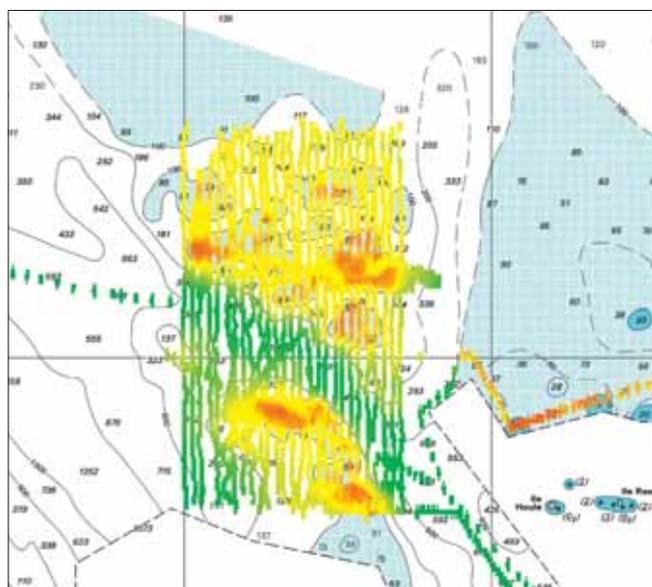
A l'extrémité est de la zone reconnue à l'échelle 1/50 000<sup>ème</sup>, en 1998, ce levé de reconnaissance, prescrit par les instructions techniques était destiné à préciser les hauts-fonds trouvés durant le levé 99-18, en 1998, lors des transits de *L'Astrolabe*.

## Reconnaissance le long des côtes de Terre Adélie – Nouveaux hauts-fonds

Sondes du levé 99/2000 inférieures à 40 m	Position WGS84		Sondes du levé Larvor (1999-18)	Position WGS84		Sondes carte marine	Observations
	Latitude	Longitude		Latitude	Longitude		
22.0 m	66°34'23,2" S	140°04'41,1" E	27.7 m	66°34'27" S	140°04'48" E	27.5 m	Nord rocher du Débarquement
17.3 m	66°40'51,9" S	141°10'52,2" E	néant	/	/	néant	A l'est du levé au 1/20 000 <sup>ème</sup>
20.5 m	66°31'42,0" S	139°54'24,0" E	néant	/	/	néant	Proximité ancien récif « Charcot »
15.7 m	66°45'48,0" S	140°54'30,0" E	néant	/	/	22 m	Proximité cap Jules

Ils se situent dans la zone où les bateaux (pour le moment *L'Astrolabe* est le seul navire à emprunter cette route) « bifurquent » vers Port-Martin ou continuent vers l'est.

Débuté pendant la campagne 98/99, il restait à effectuer des profils de vérification et « resserrer » quatre hauts-fonds.



### 9.3.3.1 Résultats

Ce levé de reconnaissance est achevé. Il donne lieu à la confirmation de la présence de hauts-fonds allant de 25 à 41 mètres dont les sommets principaux sont récapitulés dans le premier tableau page suivante.

Ce levé annule et remplace, dans ses limites, les sondes (rares) de la carte marine 6100 ; son classement et sa caractérisation sont indiqués plus loin.

### 9.3.3.2 Analyse

La cohérence avec le levé Larvor 99-18 est très bonne. La zone est traversée par une « faille » de 400 m de profondeur en moyenne, orientée NW-SE, séparant les deux zones de hauts-fonds.

Compte tenu des remontées rencontrées juste à l'est de la zone, la présence de fonds moindres à proximité immédiate de ce levé n'est pas à exclure.

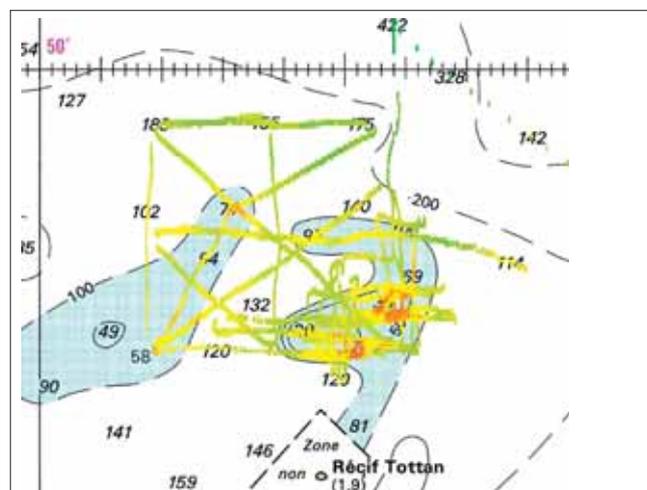
### 9.3.4 Recherches des hauts-fonds, brisants et récifs

Les instructions demandaient de statuer sur la présence de hauts-fonds et brisants portés sur la carte 6285, aux abords de l'archipel Pointe Géologie.

#### 9.3.4.1 Résultats

Les brisants et hauts-fonds ont été recherchés à l'exception du «36PA» en L : 66°24,0'S et G : 139°53,8'E.

Compte tenu des fonds rencontrés dans les périmètres de recherche (de 1 000 m à 100 m), une zone d'environ un nautique de rayon a été sillonnée méthodiquement en enregistrant le fond, de façon à garantir l'absence des brisants et hauts-fonds recherchés à l'intérieur de celle-ci.



Exemple de recherche du récif Charcot

Les résultats sont portés sur la carte renseignée 6285 et récapitulés dans le deuxième tableau page suivante.

#### 9.3.4.2 Analyse

De nombreux morceaux d'icebergs de couleur «gris foncé» flottent souvent en surface dans cette zone (assez proche de la zone de vélage du glacier de *L'Astrolabe*) ; leur inertie apparente, due à leur masse importante, fait que la mer du vent y déferle.

Par mauvais temps, ces blocs sombres ont pu être facilement confondus avec des récifs, par des navigateurs.



### 9.3.5 Caractérisation et classement des levés

Les levés ont été classés suivant la norme de l'OHI (Organisation Hydrographique Internationale) PS44 (Publication Spéciale n°44, 4<sup>ème</sup> édition – avril 1998) et caractérisés suivant la norme sur les levés bathymétriques en vigueur au SHOM.

Leur caractérisation et leur classement sont récapitulés dans le dernier tableau.

#### Levé au 1/20 000 au large de Port-Martin - Hauts-fonds

Sondes définitives (levé au 1/20 000)	Position (WGS 84)		Sondes (levé 99-18)	Position (WGS 84)	
	Latitude	Longitude		Latitude	Longitude
25.1 m	66°41'50,4" S	141°05'51,7" E	néant	/	/
32.9 m	66°40'43,1" S	141°03'12,6" E	35.3 m	66°40'42,6" S	141°03'10,2" E
40.6 m	66°39'03,0" S	141°05'54,0" E	néant	/	/
32.0 m	66°38'36,2" S	141°00'23,6" E	néant	/	/

#### Recherche de hauts-fonds, brisants et récifs

Nature Nom	Cartes concernées	Position (CM) L et G	Résultat de la recherche	Observations	Décision
Récif Charcot	6285 6100	66°31,1' S 139°54,2' E	Fonds de 1 000 m Avec un 20,5 m au sud-est Pas de récif	Recherché en hélicoptère en 1998	À supprimer, à remplacer par une sonde de 20,5 m
Brisants	6285	66°24,2' S 140°02,9' E	Fonds de 900 m Pas de brisant	A environ 30 km au nord de la base Dumont d'Urville	A supprimer
Haut-fond 27 m	6285 6100	66°28,0' S 140°04,8' E	Fonds de 1 000 m Pas de haut-fond	A environ 22 km au nord de la base Dumont d'Urville	A supprimer
Récif découvrant	6285 6100	66°19,5' S 139°23,6' E	Fonds de 750 m Pas de récif découvrant	A environ 27 km au nord nord-est du Rocher Janet	A supprimer
Haut-fond 36 m	6285	66°24,0' S 139°53,8' E	Recherche non effectuée (2 profils passant à environ 2 km au nord et au sud de cette sonde n'ont rien décelé, fonds de 900 m)	A environ 30 km au nord de la base Dumont d'Urville	/

#### Caractérisation et classement des levés

Levés	Exploration du plateau continental	Exploration le long des côtes de Terre Adélie	Recherches de brisants et hauts-fonds	Exploration au large de Port-Martin
Échelles de traitement	1/100 000	1/50 000	1/5 000	1/20 000
Caractérisation SHOM	<b>Zones incomplètement hydrographiées</b>		<b>Zones raisonnablement hydrographiées</b>	
Classement OHI (PS44)	Malgré une bonne précision de leur positionnement, tous ces levés dits « exploratoires » sont à classer dans l'ordre 3 de la norme des levés hydrographiques de l'OHI. La précision de la position des sondes entre dans la catégorie D (meilleure que 100 mètres). La précision de la sonde entre dans la catégorie F (inférieure à 2 % de la profondeur).			

## 10. TOPOGRAPHIE - SPATIOPRÉPARATION

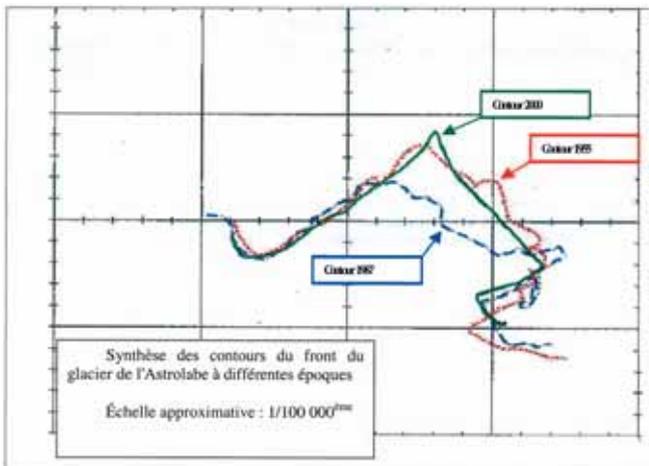
### 10.1 Travaux de topographie

Afin de dessiner sur la future carte, un contour récent du glacier de L'Astrolabe, une pseudo trajectographie a été réalisée par hélicoptère en février 2000.



Front du glacier de L'Astrolabe

Le positionnement des bords et du front du glacier a été réalisé en GPS naturel, recalé en temps différé par les corrections (d L et d G), déterminées simultanément sur un point connu de l'île des Pétrels. Le schéma suivant récapitule ce positionnement ainsi que les contours anciens.



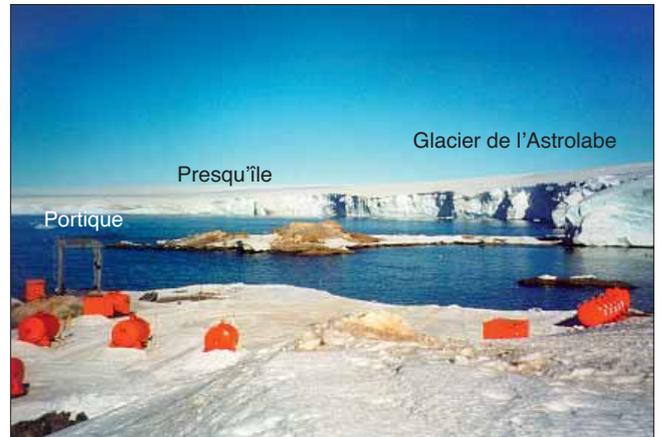
Par ailleurs, deux détails topographiques portés sur la carte 6285, ne sont pas conformes à la réalité terrain :

- l'île Ifo est constituée d'un seul bloc et non de trois, comme représentés actuellement sur la carte ;



Nord-ouest / île Ifo / 200 m d'altitude

- aux abords du cap Prud'homme, l'îlot se trouvant au SSE du cap à 170 m, est relié au continent par un socle rocheux non submergé d'environ 30 m de large et forme par conséquent une presqu'île (voir photo), ce détail n'a pas été décelé sur la scène SPOT car la presqu'île était recouverte de glace au moment de l'enregistrement de l'image.



Nord-ouest / cap André Prud'homme / 500 m



La base du cap Prud'homme, au départ des raids vers la station Concordia

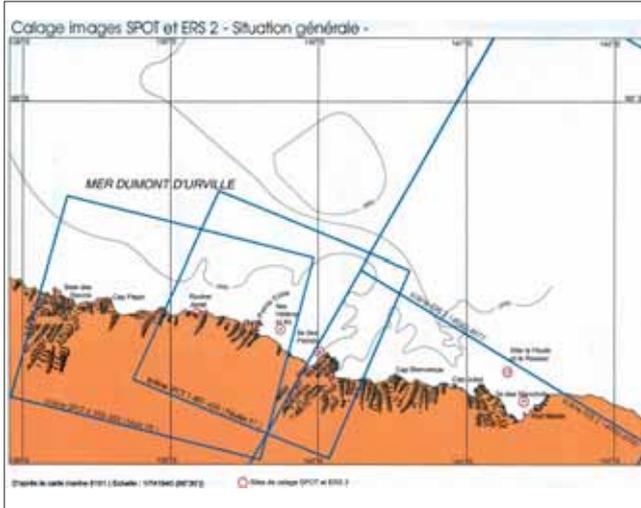
- d'autre part, au cours des transits le long des côtes, on aperçoit souvent, au raz de l'eau la roche sur une épaisseur de quelques mètres, sous la bordure de la calotte glaciaire (exemple ci-dessous au cap Pépin).



## 10.2 Travaux de calage d'images satellites

### 10.2.1 Spatiopréparation SPOT

L'un des objectifs du détachement était la spatiopréparation, à partir de plusieurs zooms préparés en concertation avec le BTI (bureau traitement d'images), concernant deux scènes SPOT (n°4 398-488-mars 98 et n°1 401-488-février 87). L'une d'entre elles (1987), concernant l'archipel de Pointe Géologie, possédait déjà des points de calage déterminés lors de la campagne 95/96 au niveau de l'île des Péterels.



La couverture totale des deux scènes (qui se chevauchent à 50 %) s'étend du glacier du Français à l'ouest, au glacier de L'Astrolabe à l'est.

Parmi les 5 sites de calage envisagés au départ, en raison des mauvaises conditions météorologiques, seulement deux d'entre eux furent retenus pour leur appartenance commune aux deux scènes :

- le rocher Janet



Nord / rocher Janet / 3 000 m (altitude 500 m)

- l'île Ifo

Sur le zoom intéressant les îles Ifo et Hélène, un pixel situé à la pointe NW de l'île Ifo a été identifié et positionné en GPS géodésique. Le contour de cette pointe a également été déter-

miné par quelques points en mode statique - rapide. Compte tenu du temps disponible sur place et de la configuration des lieux (présence d'une banquette de glace presque tout autour de l'île), il n'a pas été possible d'effectuer la trajectographie souhaitée du nord de l'île.

Parallèlement, le point géodésique ancien (IFO excentré) situé sur un des sommets de cette île a fait l'objet d'un rattachement GPS géodésique au système mondial ITRF94.



Exemple de « banquette » de glace entourant les îles

### 10.2.2 Spatiopréparation ERS – Images SAR

Le principe SAR (Synthetic Aperture Radar) est basé sur un système de télédétection actif permettant la détection de reliefs et d'aspérités sur la surface terrestre tout en s'affranchissant de la couverture nuageuse et de l'opacité nocturne. Testé avec succès sur les côtes souvent masquées de la Guyane française, un essai en milieu glaciaire a alors été prévu. Cartographier le milieu littoral inaccessible à l'homme deviendrait alors possible en toutes circonstances moyennant cependant le calage de l'image par quelques points d'appui au sol.

C'est pourquoi, suite à une demande du BTI, afin de pouvoir étudier les premières images radar (SAR) des côtes de Terre Adélie du satellite ERS2, des points de calage ont été identifiés et positionnés sur l'île des Péterels (angles de bâtiments) dans l'archipel de Pointe Géologie ainsi que sur l'île des Manchots dans l'archipel Max Douquet.

Des photographies et des images vidéos ont été recueillies afin d'aider à l'interprétation (voir exemples ci-après).

Un dossier de spatiopréparation, similaire à celui de SPOT a donc été rédigé.

Des détails topographiques exposés à l'ouest (car passage du satellite toujours à l'ouest de la Terre Adélie), ont été décrits.

## 11. SITES GRAVIMÉTRIQUES

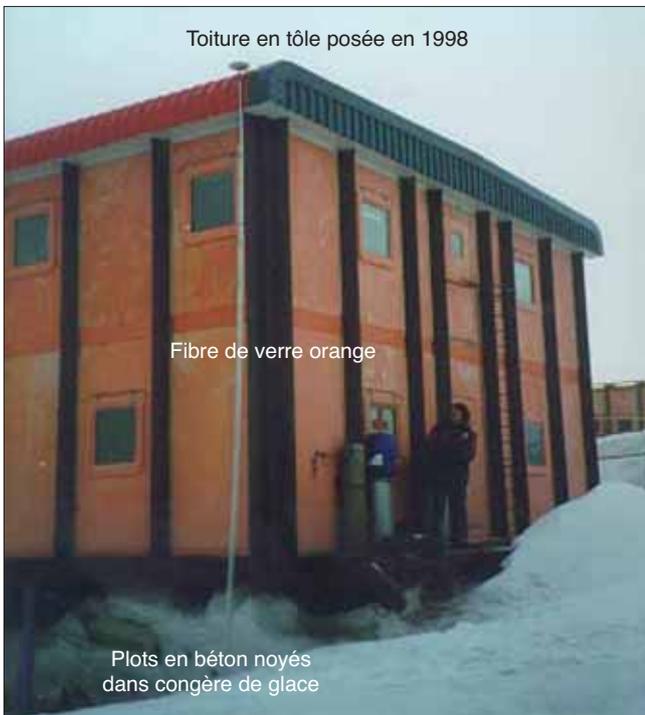
Le détachement était également chargé de définir, matérialiser, positionner et niveler des sites gravimétriques (destinés à recevoir un gravimètre absolu et portable) pour le compte de l'EOST. C'est ainsi que 4 sites ont été créés (3 sur l'île des Péterels et 1 sur le continent au cap Prud'homme).

### 11.1 Résultats

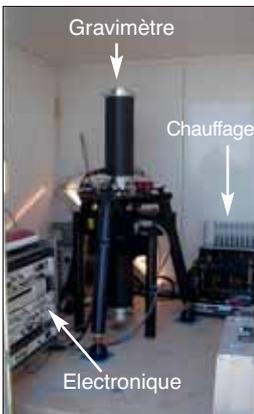
Une fiche géodésique a été rédigée pour chaque point ainsi qu'une fiche de gravimétrie pour le site GRAV zéro (absolu-FG5).



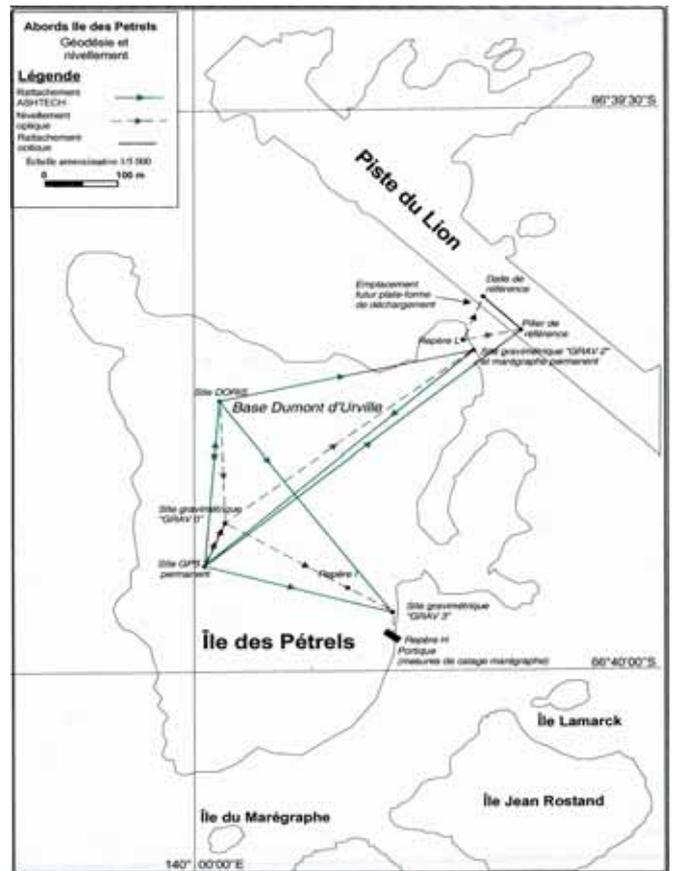
Île des Manchots, versant nord-ouest



Île des Pétrils bâtiment n° 42 (dortoir d'hiver)



Gravimètre absolu en place dans son Shelter thermostaté, points GRAV 0 (zéro) et GRAV1



Sites gravimétriques FG5 sur l'Île des Pétrils (février 2000)



Site gravimétrique GRAV 4 (secondaire) sur le continent au Cap Prud'homme (sous le portique février 2000)

## 12. MARÉGRAPHE PERMANENT (Programme NIVMER)

Le programme NIVMER mis en place dans le cadre du projet WOCE vise à étudier les variations à long terme du niveau moyen dans l'océan Pacifique sud à l'aide d'un réseau (ROSAME) de marégraphes installés dans les îles subantarctiques, en Terre Adélie, en Australie et en Nouvelle Zélande.

La France, par l'intermédiaire de l'IRD de Nouméa et du SHOM, est partenaire dans ce projet.



Capteur du marégraphe permanent

Un marégraphe permanent de type Mors (modèle DP060-2 à quartz) est installé en Terre Adélie, sur l'île des Péterels, depuis 1997.

### 12.1 Rattachement

Cependant, cet appareil dont les mesures sont envoyées en temps réel (toutes les 30 minutes) en France (institut de mécanique de Grenoble) via ARGOS, n'était jusqu'à présent pas rattaché à un référentiel mondial ni aux niveaux locaux (zéro hydrographique et zéro des altitudes).

L'équipe SHOM 99/2000 a donc procédé au calage et au rattachement de cet appareil. Il n'est pas installé à l'endroit prévu en 1996, le socle ayant été arraché par les glaces, mais à proximité du local « pompe à eau de mer » qui en abrite d'ailleurs l'électronique.

En arrivant début janvier, « l'englaçage » du site autour du capteur du marégraphe ne permettait pas d'effectuer de mesures (banquise de 3 mètres d'épaisseur).

En attendant la fonte de la glace, un repère de nivellement installé à proximité depuis 1996 fut rattaché à l'ellipsoïde de référence (GRS 80, système mondial ITRF94-EPOCH 95.1) par nivellement optique depuis un repère intermédiaire et contrôlé par nivellement GPS géodésie.

### 12.2 Calage

Dès que le site fut déglacé, (en forçant légèrement la nature à l'aide de pioches et de saumure), fin janvier, le plongeur de l'IFRTP installa un « sabot » immergé, destiné à recevoir une mire à graduation centimétrique afin de réaliser des mesures précises de calage (l'utilisation d'une sonde lumineuse n'étant dans ce cas pas possible et de toute façon moins précise).

Malheureusement, le capteur du marégraphe fut endommagé (coupure du câble) le 28 janvier 2000, par la dérive de gros « glaçons » dans le chenal. Ce n'est qu'au 14 février que le capteur, réparé par le service technique de l'IFRTP, fut remis en place en plongée. Afin de parvenir à effectuer le calage durant les dix jours restants avant le départ. La décision de programmer l'acquisition du marégraphe à 5 minutes fut prise mais empêcha de ce fait la transmission instantanée des données en métropole.

A l'occasion de cette réparation, l'extrémité du tube d'alimentation de la centrale de désalinisation fut consolidée par l'adjonction de blocs de béton par hélicoptère. L'équipe SHOM apporta son « aide nautique ».

La précision du résultat du calage est de +/- 0,7 cm.

Le calage en heure, du marégraphe et de la montre de l'opérateur, était vérifié avant chaque série de mesures.

Avant et après les problèmes du capteur, des séries de mesures ont été effectuées pour caler les marégraphes du SHOM situés à proximité immédiate.

Sans nécessiter une précision de calage aussi grande, ces appareils qui ont fonctionné du 7 au 28 janvier et du 28 janvier au 02 mars 2000 ont néanmoins été calés avec des écarts types respectifs de 2 et 1 cm. La période commune avec le marégraphe permanent est longue et les mêmes mesures pourraient donc servir à le caler moyennant un accès aux valeurs (qui ne sont pas archivées à la base Dumont d'Urville).

Il faudra alors considérer deux périodes. En effet, le capteur du marégraphe permanent a pu prendre une place différente à 2 ou 3 centimètres près lors de sa réinstallation dans le réceptacle en béton scellé sur le fond (graviers, dévers,...).

Les paramètres de pression, température et densité ont été mesurés durant toute la période.

Les effets de la température sur le quartz du marégraphe sont corrigés en permanence par la température de l'eau de mer mesurée au capteur. Des vérifications au thermomètre seau ont été effectuées durant les calages (moyenne de -1,5°C).

Remarque : La variation de la densité (eau plus ou moins douce), ainsi que celle de l'épaisseur de la banquise, tout au long de l'année doit contribuer à modifier légèrement la pression de la colonne d'eau au niveau du capteur et de ce fait fausser un peu les mesures.

### 12.3 Résultats des rattachements

Compte tenu de ces éléments et uniquement durant la période de calage, (du 14 au 27 février 2000), le zéro instrumental (électronique) du marégraphe permanent était situé, par rapport aux niveaux principaux, aux valeurs récapitulées dans le tableau page suivante.

### Rattachements du marégraphe permanent

	Ellipsoïde mondial GRS80	Zéro hydrographique (Dumont d'Urville piste du Lion)	Zéro des altitudes EPF52 assimilé au niveau moyen	Site de gravimétrie absolue (GRAV zéro-FG5)	Observation
Cote du zéro instrumental du marégraphe permanent	- 49,52 m	- 4,77 m	- 5,95 m	- 41,87 m	Précision +/- 1 cm

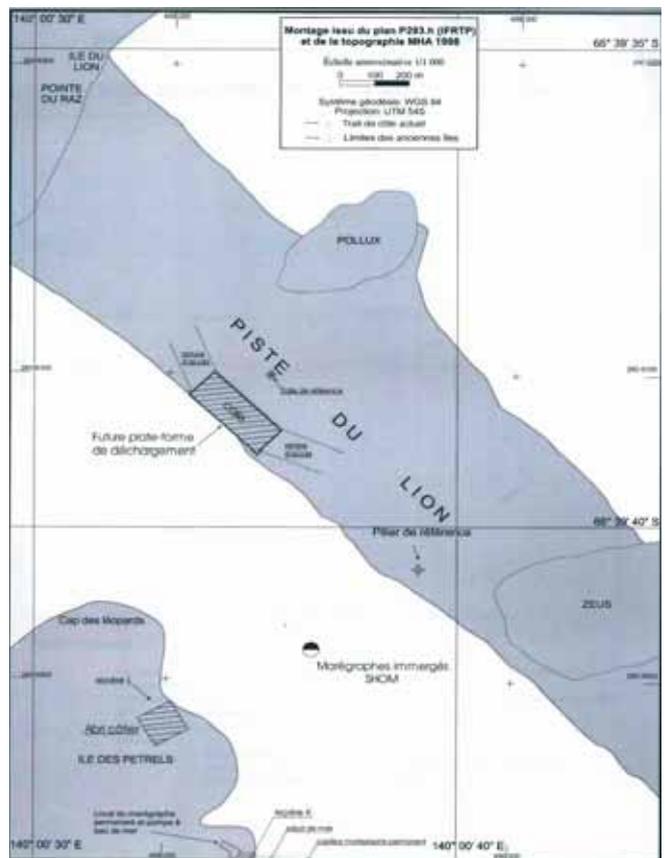
Les repères ayant servi aux rattachements sont décrits dans la fiche d'observatoire de marée « Dumont d'Urville - piste du Lion MHA du 09 mars 2001 ».

### 13. IMPLANTATION DE LA FUTURE PLATE-FORME DE DÉCHARGEMENT

Afin de fixer les bases de la future plate-forme de déchargement le long de la piste du Lion, nécessaire à *L'Astrolabe* ou à d'autres navires, un nivellement et un positionnement de repères ont été effectués pour déterminer l'axe, l'orientation et les limites de la plate-forme ainsi que le niveau de celle-ci par rapport à celui prévisible de la hauteur maximum de la surface de l'eau.

Le gradient bathymétrique de l'enrochement de la piste du Lion avait été déterminé par le levé effectué en 1998 (minute 99-18-9) à l'échelle 1/1 000<sup>ème</sup>.

Les résultats provisoires de tous les travaux ont été fournis à l'IFRTP en juin 2000 afin de préparer la campagne suivante. Une formation en topographie classique a été dispensée à la MHA à un technicien de l'IFRTP début septembre 2000 afin de pouvoir retrouver rapidement les repères sous la glace en début de campagne 2000/2001 et commencer ainsi les travaux de terrassement.



Site d'implantation de la future plate-forme (janvier - février 2000)



### 14. INFORMATION NAUTIQUE

Étant donné les tirants d'eau des rares navires pouvant fréquenter la zone, les sondes trouvées lors de ces levés n'ont pas fait l'objet d'avis urgents aux navigateurs. Par ailleurs un contrôle de l'état des amers et une actualisation de la documentation nautique ont été effectués.



Travaux sur le marégraphe permanent de la base Dumont D'Urville



Jalonnage en « trimatic » pour la plongée

Plongeur en action (eau à -1,5 °C)

#### 14.1 Instructions nautiques (IN L9)

En concertation avec le chef du district de Terre Adélie (représentant les TAAF mais également chef de la station Météo France de Dumont d'Urville), le responsable des opérations (IFRTP), le responsable de la station radio et le commandant de *L'Astrolabe*, une proposition de mise à jour des *Instructions Nautiques L9* a été faite (voir RP).

Les corrections sont d'ordres scientifiques, hydrographiques, générales ou toponymiques. Elles émanent des remarques formulées par les principaux intéressés à la lecture de l'ouvrage L9.

Elles ne remplacent pas mais complètent les corrections proposées dans les rapports précédents.

#### 14.2 Pilote de Terre Adélie

Le *Pilote de Terre Adélie* est un document rédigé par Paul-Émile Victor dans les années 60. Il a servi de socle à l'élaboration du chapitre concernant la Terre Adélie dans les IN L9, en 1963. Il reste une des deux références nautiques historique en la matière. Le SHOM en détient un exemplaire.

A part une mise à jour toponymique, la suppression des brisants et quelques détails, il y a peu de corrections à apporter au *Pilote de Terre Adélie*.

Cependant, tous les extraits de cartes mentionnant des sondes seraient à remplacer par des planches à jour.



Extrait du Pilote de Terre Adélie

Dans l'archipel de Pointe Géologie, l'arasement des îles et îlots à l'emplacement de la piste du Lion a complètement modifié les vues de côte pour l'atterrissage ... des navires (en moyenne, un seul petit avion par an se pose sur la piste).

Une prise de vue du rocher Janet a été réalisée en mars 2000 à un nautique de la côte, elle figure dans le dossier de spatiopréparation SPOT elle complète les planches du Pilote.

### 14.3 Cartes marines

Les éléments modifiant les cartes marines en service ont été reportés sur les cartes renseignées.

### 14.4 Balisage

Les balises matérialisant les axes des voies recommandées définies en 1998 ont beaucoup souffert des conditions climatiques polaires.

A Port-Martin, le seul amer artificiel, (mât de pavillon) figurant sur la carte marine et encore présent en 1998 a disparu en 2000.

Le RP dresse un inventaire de ces amers et de leur état à l'époque du levé.

En concertation avec le CDT de *L'Astrolabe* et le chef des opérations IFRTP, des priorités de réfection du balisage ont été définies :

1 sur le rocher du Débarquement où il n'y a plus de repère pour effectuer les relèvements précis, d'approche à la voie d'accès à la base Dumont d'Urville,

2 sur le récif Amélie où la balise matérialisait l'axe et le relèvement constant pour l'accès au cap Prud'homme.

De conception « maison », un ensemble composé de deux « spival », (pilotis de construction métallique), surmonté d'un axe fin destiné à une bonne visée et possédant un « pas de vis » adapté à une antenne GPS, un prototype de balise a été confectionnée pour le rocher du Débarquement (sa couleur et sa forme n'ont rien à voir avec le système conventionnel mais sont adaptées à la spécificité du milieu et la visibilité). Elle sera fixée lors d'une opportunité météo (accès uniquement possible en hélico).

Celle du récif Amélie sera du même modèle, mais ne sera mise en place que pendant les campagnes d'été, elle sera démontée en fin de campagne afin d'éviter sa destruction systématique, à chaque hiver par la banquise.



Prototype de balise « spéciale Terre Adélie »



Reconnaissance du site sur le rocher du Débarquement

## 15. DOCUMENTS RÉDIGÉS – DONNÉES PRODUITES

### 15.1 Documents graphiques

#### 15.1.2 Bathymétrie

- Les documents bathymétriques rédigés pour ce levé sont :
- 16 documents graphiques de bathymétrie allant de l'échelle 1/20 000<sup>ème</sup> à l'échelle 1/500 000<sup>ème</sup> ;
  - 1 document graphique de recherche au 1/20 000<sup>ème</sup> ;
  - 3 cartes renseignées.

#### 15.1.3 Documents divers

- 15 fiches géodésiques ;
- 2 fiches d'observatoire de marée ;
- 1 fiche de gravimétrie ;
- 2 dossiers de spatiopréparation (dont une K7 vidéo pour aider à l'interprétation des images radar ERS2) ;
- le projet de fiche de levé ;
- la carte marine 6100, utilisée par les commandants de *L'Astrolabe* depuis 6 ans et comportant des annotations et sondes « précieuses » mesurées lors des différents transits le long des côtes, a été confiée au détachement afin qu'il la fasse parvenir à l'EPSHOM.

### 15.2 Données numériques - métadonnées

Les données numériques bathymétriques représentant 14 017 sondes validées, ont été livrées en deux lots afin de séparer le positionnement en GPS naturel de celui en GPS différentiel.

## 16. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES RESTANT A EFFECTUER EN TERRE ADÉLIE

Afin d'entretenir et faire progresser la connaissance scientifique en Terre Adélie, il conviendrait d'y poursuivre l'hydro-

graphie car plusieurs programmes d'océanographie commencent à se développer.

En effet, si les axes principaux des accès à la base Dumont d'Urville sont maintenant assez bien connus ainsi que l'accès à Port-Martin, compte tenu de la spécificité des navires pouvant fréquenter la zone, les autres sites, intéressant les scientifiques (principaux caps, proximité des glaciers,...), sont loin de présenter les garanties nécessaires en matière de sécurité de la navigation, l'analyse des besoins doit donc être poursuivie en liaison avec l'IFRTP et les TAAF.

## 17. CONCLUSION

*L'Astrolabe* qui manœuvre avec une grande habileté pour sonder au milieu des icebergs énormes, les nivellements et mesures géodésiques à travers les rookeries (seuls espaces non englacés), sous les piqués des skuas, la compétence et le soutien permanents des équipes de l'IFRTP ainsi que le dévouement du personnel des TAAF resteront une expérience inoubliable vécue par les deux détachements de la mission hydrographique de l'Atlantique et certainement une de leurs campagnes hydrographiques les plus enrichissantes.



*Berg dans le couchant ou tabulaire 1*

À l'issue de cette dernière campagne contemporaine du SHOM en Terre Adélie, les deux commandants de *L'Astrolabe*, Yvon Guédes et Gérard Daudon, fortement impliqués dans les travaux hydrographiques ont été proposés pour recevoir le bouton du SHOM.

Cette distinction leur a été remise le 14 septembre 2004 lors d'une cérémonie à Brest.

Au regard des instructions techniques prescrites, les travaux restant à effectuer sont listés dans le tableau ci-après.

Depuis une cinquantaine d'années les ornithologues, glaciologues et autres scientifiques français se sont intéressés aux parties émergées de la Terre Adélie mais les biologistes et les océanographes de tous horizons veulent maintenant en explorer le domaine sous-marin.

Durant la campagne 99-2000, les plongeurs du centre océanologique de Banyuls (CNRS) équipés d'un ROV de fabrication irlandaise mis en œuvre par une société australienne, ont rapporté des images montrant l'étonnante richesse de la



*Aperçu général des sondages réalisés au cours de ce levé*

Types de travaux	Zone	Description	Remarques
<u>Bathymétrie</u> Levé exploratoire du plateau continental	Large Terre Adélie	Compléments profils sur méridiens est 136 et 137	Intérêt hydrographique moindre
Reconnaissance de l'isobathe 200 m	Large glacier de <i>L'Astrolabe</i>	Terminer la reconnaissance des sondes isolées inférieures à 200 m Faire un profil longitudinal de contrôle	Préciser la « fin » des fonds de 200 m au nord de la Terre Adélie Infirmier le rattachement de ce plateau aux côtes adéliennes
Levé des abords de l'archipel de Pointe Géologie	Abords rocher du Débarquement	Poursuivre l'étude des fonds inférieurs à 40 m et assurer la jonction entre les deux zones (&5.1)	Rendre l'accès à la base Dumont d'Urville totalement sûr mais zone encombrée en permanence par des icebergs échoués Pour découvrir de nouvelles structures
Levé de reconnaissance le long des côtes	Côte ouest  Côte est	Poursuivre au delà du cap Pépin et resserrer progressivement Préciser les abords nord-est des îlots la houle et le ressac	Pour rendre plus sûre la sortie de Port-Martin vers l'est L 66°24,0' S G 139°53,8' E
Recherches de hauts- fonds et brisants	Nord rocher du Débarquement	36 m	
<u>Géodésie</u> Pointe Alden Cap Pépin	/	/	Achever de rattacher la partie est de la Terre Adélie au système mondial afin d'étudier les variations de niveaux
<u>Topographie</u> Spatiopréparation	Du Cap Pépin à la Pointe Ebba	Calage scène SPOT 4 398 488	Sauf opportunité sur le terrain calage pas nécessaire
<u>Marégraphie</u>	Dumont d'Urville et Port-Martin	Observer la marée à DDU et le long des côtes de Terre Adélie	Pour pouvoir continuer le calage du marégraphe permanent et mieux définir le niveau moyen

faune et de la flore de ces eaux et cela juste au pied du glacier de *L'Astrolabe*.

Des campagnes de pêche sont également prévues prochainement.

Compte tenu des projets existants au sein de la communauté scientifique européenne et mondiale, il apparaît primordial que le SHOM reste associé à l'aventure hydro-océanographique en Terre Adélie et aux abords du continent Antarctique.

Les acteurs humains de ce levé au cours des deux campagnes



*T anchots Adélie  
(Dumont d'Urville - janvier 1999)*



*Cap Bienvenue( décembre 1998)*



*Potre aide hydrographe occasionnel en 2000 et  
médecin de la 50<sup>ème</sup> expédition en Terre Adélie,  
à côté du buste de PEV (Paul-Émile Victor)*



*Ûcaphandrier  
(Dumont d'Urville - février 2000)*



*L'île d'Ifo  
(spatiopréparation par moins 10°C - février 2000)*



*L'équipage casse la glace pour accéder au repère de nivellement (Dumont d'Urville – février 2000)*



*Ancienne base ensevelie sous 5 m de glace (janvier 2000)*



*Nivellement sur l'île des Pétrels (février 2000)*

**Les autres acteurs : pas de flore terrestre en Terre Adélie, mais une faune variée**



*Jeunes manchots empereurs, encore dans la manchotière (décembre 1998)*



*Manchots Adélie intrigués par l'antenne GPS*



*Skua guettant un bébé manchot en difficulté pour en faire son déjeuner*



*L'insouciance d'un jeune phoque de Weddell, loin des chasseurs arctiques!*



*Manchots Adélie dans le soleil « rasant » en fin d'été austral (mars 2000)*



*Manchot Adélie construisant son nid de pierre (mars 2000)*

## Clichés insolites



*Monstres d'acier remorquant le Raid sur 1 100 km, du Cap Prudhomme à la station Concordia, (février 2000)*



*L'hélicoptère, outil indispensable (février 2000)*



*à 2 m au-dessus de l'eau et à 40 m au-dessous de la surface du glacier de L'Astrolabe*



*Antenne GPS dans son « cocon de glace », base Dumont d'Urville (février 2000)*



*Les deux seules cabanes de Port-Martin restées debout (janvier 2000)*



*L'Astrolabe à quai à la base Dumont d'Urville*



*La base Dumont d'Urville, avant de s'endormir pour le long hiver austral (mars 2000)*

# GROUPE OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

(5 août 2008 — 6 août 2010)

par Serge Lannuzel, ingénieur principal des études et techniques d'armement, directeur du GOP

## SOMMAIRE

<b>1. PRÉSENTATION</b>	18-3
1.1 Introduction	18-3
1.2 Cadre général	18-3
1.3 Physionomie de l'activité	18-4
1.4 Points marquants	18-5
<b>2. TRAVAUX RÉALISÉS</b>	18-6
2.1 En Nouvelle-Calédonie	18-6
2.2 A Wallis et Futuna	18-14
2.3 En Polynésie française	18-16
2.4 Divers	18-18
<b>3. ORGANISATION, MOYENS</b>	18-22
3.1 Organisation	18-22
3.2 Personnel	18-23
3.3 Locaux	18-24
3.4 Véhicules	18-25
3.5 Moyens flottants	18-25
3.6 Matériel	18-27
3.7 Logiciels	18-29
3.8 Soutiens locaux	18-29
3.9 Qualité	18-30
<b>4. TRAVAUX SOUS CONVENTION</b>	18-30
<b>5. LES PARTENARIATS ÉTAT/PAYS</b>	18-30
5.1 En Nouvelle-Calédonie	18-30
5.2 En Polynésie française	18-31
<b>6. COMMUNICATION</b>	18-32
<b>7. BILAN</b>	18-32
7.1 Nature des travaux à mener dans le Pacifique	18-32
7.2 Organisation et fonctionnement	18-32
ANNEXE 1 : Référence des rapports particuliers (RP)	18-34
ANNEXE 2 : Localisation globale des zones de travaux	18-35
ANNEXE 3 : Sigles et acronymes utilisés dans ce rapport	18-36



## 1. PRÉSENTATION

### 1.1 Introduction

Ce rapport couvre l'activité du groupe océanographique du Pacifique (GOP) durant la période du 5 août 2008 au 6 août 2010 dans le Pacifique, en Nouvelle-Calédonie, à Wallis et Futuna, en Polynésie française et à Clipperton. Il fait suite à celui rédigé par l'IPA Créach pour la période 2006 à 2008 (voir *Annales Hydrographiques* n° 776).

Au-delà des seuls travaux à la mer ou sur le terrain, il présente tous les travaux réalisés par le GOP pendant cette période, y compris le traitement des travaux antérieurs qui n'avaient pas été achevés par le directeur technique précédent ou qui ont fait l'objet de reprises, les travaux menés pendant la période qui n'ont pu être finalisés avant le 7 août 2010, et enfin la préparation des travaux dont les opérations à la mer ou sur le terrain n'avaient pas commencé le 7 août 2010.

### 1.2 Cadre général

La mission principale du GOP concerne l'amélioration de la connaissance hydrographique et nautique dans l'océan Pacifique, principalement en Nouvelle-Calédonie, à Wallis et Futuna, en Polynésie française et à Clipperton contribuant à la fois aux missions du SHOM de service hydrographique national, de soutien en environnement marin pour la défense et de soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral.

Depuis le départ des bâtiments hydrographiques de 2<sup>e</sup> classe (BH2) *Laplace* (Nouméa) et *Arago* (Papeete) en 1999 et 2002, le GOP ne dispose plus de moyen hauturier en propre ou mis à disposition par la marine nationale, limitant son rayon d'action à des travaux côtiers et littoraux. Pourtant, son large espace d'intervention implique des travaux dans des endroits éloignés (dépendances de la Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna, différents archipels de Polynésie française, Clipperton) dont l'accès ne peut se faire que par voie maritime ou aérienne, nécessitant un concours systématique civil ou militaire. Ils sont par ailleurs susceptibles, pour les travaux d'hydrographie militaire ou d'action de l'État en mer (AEM), de devoir être réactifs.

Dans le domaine de l'hydrographie générale, l'activité du GOP s'inscrivait dans une démarche de partenariat avec la Nouvelle-Calédonie et, au début de cette période, avec la Polynésie française. Cette coopération prenait en compte la compétence de la Polynésie française en matière de sécurité de la circulation maritime dans ses eaux intérieures depuis l'édition de sa loi organique de 1996 (art 27.11°, repris à l'article 90.11° de la loi organique n°2004-192 du 27 février 2004) et, en Nouvelle-Calédonie le prochain transfert de compétences en matière de police et sécurité de la circulation maritime s'effectuant entre tous points de la Nouvelle-Calédonie, et de sauvegarde de la vie humaine en mer dans les eaux territoriales au 1<sup>er</sup> janvier 2011 (eaux intérieures et territoriales). Néanmoins, le fonctionnement de ces partenariats était asymétrique. En Nouvelle-Calédonie, il était réel et actif ; les activités qui y ont été menées le prouvent, et bien que la situation n'ait pas pu se stabiliser avant l'achèvement du processus de transfert de compétences, la situation était

saine. En Polynésie française, il en était tout autrement puisque, au début de cette période, la logique de partenariat portée par le SHOM depuis 2000 environ était réduite à un concours du SHOM apporté à la Polynésie française pour lui permettre de se doter d'une capacité hydrographique opérationnelle. Toutefois, au cours de la période, la nature de cette coopération a été revue :

- en juillet 2008, la Polynésie française décidait de contractualiser à une société privée des levés à conduire dans sa zone de responsabilité en lui apportant ses moyens, travaux réalisés en août 2008 sans qu'aucune information n'ait été transmise au SHOM par la Polynésie française. Ces travaux se sont poursuivis régulièrement pour satisfaire les besoins du service de l'arrondissement maritime et aéroports, service qui pilotait la cellule d'hydrographie de Polynésie française au bénéfice exclusif de l'aménagement littoral ne favorisant pas une optimisation des moyens publics ;
- en mai 2009, la Polynésie française affichait ouvertement son refus de soutenir le SHOM (refus du financement de levés d'hydrographie générale) ;
- en août 2009, le Haut-commissariat de la République en Polynésie française indiquait que l'analyse juridique de l'activité hydrographique concluait à la responsabilité de l'État dans le domaine, quels que soient les transferts de compétences induits par la loi organique. Cette analyse a été confirmée par la tutelle du SHOM en décembre 2009 : « l'État conserve des responsabilités qui lui sont propres en matière d'hydrographie du fait des engagements internationaux souscrits par lui dans le cadre de la convention SOLAS <sup>1</sup> » ;
- au premier semestre 2010, un dispositif de pilotage de l'hydrographie en Polynésie française a été mis en place par le SHOM :
  - création d'un sous-comité hydrographie du comité opérationnel de l'action en mer des services publics de l'État et de la Polynésie française destiné à coordonner les actions dans ce domaine au sein du comité polynésien de la mer et du littoral (officialisation le 1<sup>er</sup> juillet 2010 – convention n° 295-10 du 17 septembre 2010 portant création du conseil polynésien de la mer et du littoral),
  - relance du recueil des besoins annuels en hydrographie en mars 2010,
  - première réunion du sous-comité hydrographie (encore appelé commission hydrographique de Polynésie française) le 22 juin 2010,
  - transmission d'une convention de coordination de l'hydrographie (début août 2010, la convention était à la signature du président de la Polynésie française) ;
- en 2010, l'émergence de travaux Litto3D portés par le service de l'urbanisme a montré l'intérêt de la Polynésie française à bénéficier des compétences du SHOM pour l'assister dans la conduite de ce projet.

L'activité du GOP au titre de l'hydrographie générale en Polynésie française a crû par rapport à la période précédente, et le recueil des besoins hydrographiques effectué en 2010 a montré que l'attente était grande. Bien qu'étendue sur près de 5 millions de km<sup>2</sup>, la quasi totalité des eaux sous responsabilité de l'État est abyssale, se trouve toutefois hors du

<sup>1</sup> Safety Of Life At Sea (convention internationale sur la sauvegarde de la vie humaine en mer).

domaine de capacité du GOP, et nécessite des moyens hauturiers (du type de ceux nécessaires pour le projet Plateau21).

Dans le domaine du soutien pour la défense, les travaux récurrents conduits par le GOP étaient des levés de plageage, mais aussi les levés préparatoires à la dépollution du lagon de Nouvelle-Calédonie (détection de mines historiques). En Polynésie française, la réduction du régiment d'infanterie de marine du Pacifique (RIMAP), le départ du BATRAL *Dumont d'Urville* et les incertitudes persistantes sur le futur programme remplaçant ce type de bâtiment tendaient à réduire les besoins qui étaient par ailleurs déjà faibles (trou capacitaire annoncé jusque 2020). En Nouvelle-Calédonie, l'état-major interarmées a régulièrement sollicité des travaux à moyenne ou courte échéance : soutien à des actions ponctuelles de déminage du lagon calédonien (LagoonMinex), soutien à des exercices internationaux (Croix du Sud 2010 notamment).

Dans le domaine du soutien aux politiques publiques maritime et du littoral, le GOP a contribué activement à l'expertise marégraphique apportée aux services de l'État (sécurité civile de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie française, université de Polynésie française) et de la Nouvelle-Calédonie pour la mise en place et l'entretien de marégraphes intégrés au réseau de surveillance du risque tsunamis (cahier des charges des stations de suivi du niveau des mers, cahier des charges de l'abri intégrant la station marégraphique, mise en place des financements). Ces travaux ont, pendant cette période, pris de l'ampleur pour permettre la coordination des actions des différents intervenants (partenaires, mairie, province, gouvernement local, coutumiers, artisans, fournisseurs...). Ce programme devrait se concrétiser par l'affectation de ressources humaines supplémentaires permettant d'assumer les tâches de MCO et d'installation sur l'ensemble du Pacifique (entre 15 et 20 marégraphes). Le GOP a également participé à la mise à jour du produit des références altimétriques maritimes (RAM) en Nouvelle-Calédonie (produit diffusé pour la première fois en mars 2010), en vérifiant ou créant des observatoires de marée : ce produit était particulièrement attendu par les provinces en Nouvelle-Calédonie, car ce sont elles qui déterminent la limite du domaine public maritime (besoin de connaissance du niveau des plus hautes mers astronomiques). Le projet Litto3D a été présenté aux partenaires locaux en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie française et à Wallis et Futuna :

- à Wallis, le service des travaux publics a montré un intérêt évident mais qui n'a pas abouti ;
- en Nouvelle-Calédonie, la réflexion sur le sujet était portée par la DITTT qui a dépêché le chef du service topographique pour une visite sur le sujet au SHOM à Brest en septembre 2009 ;
- en Polynésie française, le service de l'urbanisme (SAU) a demandé en juillet 2010 au SHOM et à l'institut géographique national (IGN) de proposer une convention de maîtrise d'ouvrage pour l'assister dans la réalisation des levés bathymétriques et topographiques sur les îles basses des Tuamotu afin de définir par la suite un plan de prévention des risques.

Par ailleurs, le GOP pouvait et devait pouvoir apporter son concours de façon inopinée au profit de l'action de l'AEM : la recherche de la boîte noire d'un avion de type Twin Otter

assurant la liaison Moorea/Papeete qui s'est abîmé en mer en août 2007 reste un bon exemple. Ces travaux sont imprévisibles et peuvent demander une certaine réactivité. Ces travaux nécessitent des moyens nautiques en propre, très insuffisants en Polynésie française à l'époque (moyens absents depuis décembre 2008 mais dont l'acquisition devait débuter en août 2010 pour une livraison prévue fin 2010), ou des équipements projetables rapidement et pouvant s'installer sur une drôme d'opportunité (fourniture prévue pour fin 2010 – début 2011 d'équipements prépositionnés en Polynésie française).

Enfin, du point de vue des moyens, le GOP était bien doté en moyens scientifiques et informatiques dans ses deux échelons.

### 1.3 Physionomie de l'activité

Les axes d'efforts principaux du GOP pendant la période considérée par ce rapport ont été la conduite et la rédaction des levés pour maintenir l'objectif d'âge des levés assigné par le directeur général du SHOM, et enfin la contribution à la mise en place et la consolidation des capacités hydrographiques en partenariat avec la Nouvelle-Calédonie et la coordination avec la Polynésie française.

Pendant cette période, se sont développés et formalisés les travaux d'installation et de maintenance des réseaux marégraphiques permanents en Polynésie française, en Nouvelle-Calédonie, et à Wallis et Futuna.

Les principaux travaux à la mer ont été :

*en Nouvelle-Calédonie :*

- levé bathymétrique permettant enfin de définir une voie recommandée de la passe de Yandé au canal Devarenne (août 2008) ;
- levé d'environnement dans le canal de Woodin à l'entrée de la baie de Prony pour planification d'exercices de guerre des mines afin de dépolluer le lagon (septembre 2008) ;
- modification de voies recommandées de la passe de la Gazelle à Paagoumène (octobre 2008) ;
- travaux marégraphiques :
  - suivi de l'implantation de réseaux marégraphiques permanents en Nouvelle-Calédonie (2008 à 2010),
  - contrôles du marégraphe permanent de Nouméa (octobre 2008, décembre 2008 et janvier 2009, juillet 2009, février 2010),
  - mesures de marée à Plum, commune de Mont-Dore (février – mai 2010),
  - mesures de marée pour les levés bathymétriques permettant de compléter la connaissance de la marée, d'améliorer les prévisions et la définition des niveaux extrêmes ;
- levé bathymétrique de voies recommandées aux abords de Nouméa (décembre 2008) ;
- travaux de spatiopréparation entre la baie d'Ohland et la passe de Koumac (février 2009) ;
- mouillage de Théoudié (mars 2009) ;
- levé d'environnement aux abords de Nouméa pour préparation d'exercices de guerre des mines de dépollution du lagon (avril 2009) ;

- levé bathymétrique permettant de définir une voie recommandée vers la passe de la Balade (mai 2009) ;
- travaux de stéréopréparation aux abords de Voh (juin 2009) ;
- levés bathymétriques d'une voie recommandée de Poum aux îles Belep (juin, juillet, août 2009) ;
- positionnement des coffres en baie de Numbo à Nouméa (juillet 2009) ;
- levés de plage à Gatope et à Népû (septembre et octobre 2009) ;
- levé du quai de Népoui (octobre 2009) ;
- contrôle d'orthophotos à Népoui (octobre 2009) ;
- levé bathymétrique de voies recommandées aux abords de Nouméa (octobre et décembre 2009, premier trimestre 2010) ;
- spatiopréparation (géodésie) de Tontouta à l'île des Pins (novembre 2009 à mars 2010) ;
- mesures de courant et de marée à Paagoumène (décembre 2009 – mars 2010) ;
- détermination des références altimétriques maritimes à Koumac (wharf de Pandop) (mars 2010) ;
- contrôle des cartes marines 7643 et 7644 (avril 2010) ;
- contrôle d'orthophotos aux Belep (mai 2010) ;
- levé d'une voie recommandée des îlots Daos du Sud à l'île Art (mai 2010) ;
- levé d'accès au port de Vavouto (juin et juillet 2010) ;

*en Polynésie française :*

- levé bathymétrique à Hao en préparation de la dépollution de l'atoll (août 2008) ;
- travaux de géodésie à Tahiti pour stéréorestitution (septembre 2008) ;
- reconnaissance de levés bathymétriques à Hao (plages, chenaux) (septembre 2008) ;
- travaux marégraphiques :
  - suivi de l'implantation de réseaux marégraphiques permanents en Polynésie française (2008 à 2010),
  - installation d'une station de surveillance du niveau des mers à Tubuaï (décembre 2008),
  - installation d'une station de surveillance du niveau des mers à Rangiroa (mars 2009),
  - mise en place d'une station de surveillance du niveau des mers à Nuku-Hiva (juin 2009),
  - mesures de marée à Clipperton (2006 à 2008),
  - contrôle du marégraphe permanent de Papeete (octobre 2008 et mars 2010),
  - MCO d'une station de surveillance du niveau de la mer à Tubuaï (janvier 2010),
  - reconnaissance pour l'installation d'une station permanente aux Gambier (février 2010),
  - installation d'une station de surveillance du niveau des mers à Huahine (avril - mai 2010),
  - préparation de l'installation d'une station de surveillance du niveau des mers à Vairao (2009 – 2010) ;
- levés bathymétriques et de plageage à Hao (mai 2009) ;
- mesures de courant à Papeete (décembre 2008 à juillet 2009) ;
- travaux hydrographiques sur l'île de Bora-Bora (octobre 2009) ;
- mesures de courant et de marée à Vairao (octobre à décembre 2009) ;
- stéréopréparation aux Gambier (février 2010) ;
- mesures de courant à l'entrée de la passe de la baie de Cook à Moorea (mars à juin 2010) ;

*à Wallis et Futuna :*

- levés hydrographiques à Wallis (février – mars 2009) ;
- suivi de l'implantation de marégraphes permanents à Wallis et à Futuna (2009 et 2010).

#### 1.4 Points marquants

Les points marquants pendant cette période ont été :

- la participation du GOP à un atelier du CBC<sup>2</sup> de l'OHI en liaison avec l'OMI au profit des états insulaires du Pacifique pour les initier à l'intérêt de l'hydrographie en octobre 2008 ;
- la poursuite des efforts consentis précédemment pour disposer d'un indicateur d'âge des levés<sup>3</sup> à hauteur des objectifs : juillet 2008 (0,96 an) – janvier 2009 (0,51 an) – juillet 2009 (0,31) – janvier 2010 (0,46) – juillet 2010 (0,52) ;
- la tenue en Papouasie Nouvelle-Guinée les 10 et 11 mars 2009 de la 9<sup>e</sup> commission hydrographique régionale du Pacifique sud-ouest ;
- la poursuite de la mise en place d'actions méthodologiques. Elles ont permis de consolider la conduite des levés et le processus de vérification métrologique, de mieux garantir la capitalisation et donc la pérennité du savoir-faire mais aussi d'assurer la standardisation des tâches et des résultats, et ainsi améliorer l'efficacité de l'exécution des travaux, particulièrement utile lors du rotary quasi-complet des hydrographes du GOP à l'été 2009 ;
- la poursuite des actions liées à la création de l'établissement public administratif SHOM, avec notamment la mise en place de conventions de soutien locales avec le commandement supérieur de Nouvelle-Calédonie et avec le commandement supérieur de Polynésie française et l'adaptation des chaînes de sécurité des systèmes d'information (SSI) et de santé et sécurité au travail (SST) ;
- un rotary de 90 % des personnels des deux services hydrographie du GOP en 2009 et de 100 % de son service logistique en 2010 ;
- l'affectation du second technicien hydrographe calédonien formé à Brest à l'école des hydrographes du SHOM et mis à disposition du SHOM au GOP le 1<sup>er</sup> octobre 2008, après l'arrivée du premier technicien le 1<sup>er</sup> août 2007 ;
- l'actualisation de la convention de partenariat avec la Nouvelle-Calédonie (convention de moyens) pour prendre en compte la mise à disposition des techniciens hydrographes calédoniens au GOP en mars 2009 ;
- la poursuite des travaux de transfert de compétence en Nouvelle-Calédonie, en définissant une nouvelle convention de coordination entre l'État et la Nouvelle-Calédonie (avec mise à jour de la convention de moyens et de la délibération créant la commission hydrographique de Nouvelle-Calédonie) ;

<sup>2</sup> Capacity Building Committee (comité de l'OHI chargé de dynamiser la création de capacité hydrographique).

<sup>3</sup> L'âge d'un levé correspond à la durée entre le début de réalisation du levé et sa validation par le SHOM. L'indicateur est donc la moyenne de l'âge des levés en cours. Durant la période couverte par ce rapport, l'objectif affiché par le directeur général pour l'indicateur de l'âge des levés d'un GHO était d'une année.

- la définition de la coordination des activités hydrographiques en Polynésie française au travers d'un projet de convention de coordination qui était à la signature du président de la Polynésie française fin août 2010, et la relance par le SHOM du recueil annuel des besoins hydrographiques et de la réunion de la commission hydrographique (encore appelée sous-comité hydrographie) ;
- la rédaction d'instructions techniques encadrant les travaux hydrographiques à réaliser : le GOP propose un projet d'instructions techniques qui est ensuite complété et validé par la direction des opérations du SHOM. Entre août 2008 et août 2010, les instructions techniques suivantes ont été préparées :
  - levé d'une voie recommandée de Poum aux Belep (n°219 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 30/10/2008) ;
  - levé de la passe de Balade et jonction avec le canal de Pouébo (n°004 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 09/01/2009) ;
  - levé à Wallis (n°029 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 10/02/2009) ;
  - levé de la zone de mouillage de Théoudié (n°036 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 20/02/2009) ;
  - levés de recherches de mines aux abords de Nouméa (n°079 SHOM/DO/MIP/DTI/DR du 01/04/2009) ;
  - levés préparatoires à l'exercice Croix du Sud 2010 (n°155 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 25/08/2009) ;
  - constitution d'un produit des RAM en Nouvelle-Calédonie (n°016 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 28/01/2010) ;
  - levé de la passe Avaroa (île de Moorea) et d'une zone de mouillage à l'ouvert de la baie de Cook (n°065 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 27/04/2010) ;
  - installation de stations de surveillance du niveau de la mer et de détection de l'aléa tsunami dans le Pacifique (n°070 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 11/05/2010) ;
  - MCO de stations de surveillance du niveau de la mer et de détection de l'aléa tsunami dans le Pacifique : ces instructions techniques ont été préparées ;
  - levé de la passe et du bassin de Tapuaeraha (presqu'île de Tahiti) (n°078 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 21/05/2010) ;
  - levé de contrôle d'une voie de navigation draguée à Vavouto (n°082 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 31/05/2010) ;
  - levé d'accès au quai de la SLN en grande rade de Nouméa : ce projet a été suspendu en attendant que les travaux puissent effectivement être menés, après dragage en grande rade de Nouméa.

## 2. TRAVAUX RÉALISÉS

Les levés réalisés entre 2008 et 2010 ont systématiquement fait l'objet de rapports particuliers : ces travaux ne sont donc présentés ici que de manière synthétique. La référence des rapports est indiquée et rappelée en annexe 1. L'annexe 2 rappelle géographiquement leur localisation. Quelques planches et des photographies illustrent également les travaux réalisés, notamment au travers des personnels, et des équipements mis en œuvre.

### 2.1 En Nouvelle-Calédonie

#### 2.1.1 Travaux d'hydrographie générale aux abords de Nouméa.

Les travaux hydrographiques à mener aux abords de Nouméa pour la définition ou la modification de voies recom-

mandées ont été définis à partir de l'analyse des demandes du service de pilotage afin de régulariser sur les documents nautiques les pratiques locales en matière de voies de navigation pour les navires nécessitant un service de pilotage (syndicat professionnel des pilotes maritimes de Nouvelle-Calédonie).

#### **Levé de modification de la voie recommandée d'accès à Nouméa par la passe de Uitoé (boîtes 1 et 2) (S200805600)**

Ce levé (boîtes 1 et 2) devait permettre de définir une voie recommandée s'appuyant sur l'antenne du Montravel, amer remarquable, alors que la voie d'accès recommandée utilisée jusque là avait été définie au XIX<sup>e</sup> siècle. Il a été exécuté par boîtes en 2007 et 2008 à l'aide du baliseur *Eugène Morignat* du service des phares et balises, et de la vedette hydrographique *Chambeyron*. Ce levé, non prioritaire pendant les périodes 2006-2008 et 2008-2010, a été utilisé comme variable d'ajustement de l'activité en Nouvelle-Calédonie, ce qui en contre partie a ralenti le traitement de ce levé réalisé par plusieurs hydrographes. Des travaux de recherche complémentaires ont été nécessaires en août 2008. Sa rédaction a été achevée en novembre 2008.

Au final, la zone est saine et une voie recommandée a été définie, orientée au 103° sur l'alignement du pylône du mont Montravel par la pointe Kuauri, depuis la route au 107° vers le mont Tereka, au sud de l'île Ronde, jusqu'à l'alignement au 115,8° du feu du sémaphore par le feu de l'îlot Porc-épic. Elle est large de 400 m de part et d'autre de l'axe. Cette voie recommandée simplifie l'accès en grande rade en atterrissant directement sur l'alignement du feu du sémaphore par le feu de l'îlot Porc-épic.

#### **Levé de modification de la voie recommandée d'accès à Nouméa par la passe de Uitoé (boîte 3) (S200900200)**

L'extension de cette voie recommandée vers la passe de Uitoé a été poursuivie en décembre 2008 par le levé de la boîte 3, faisant suite aux travaux des boîtes 1 et 2 évoqués ci-dessus, avec le baliseur *Eugène Morignat* et la vedette *Chambeyron*. Le levé a permis d'établir les voies suivantes : routes au 102° sur l'île Ronde et au 117° sur les antennes radio du Ouen Toro. Elles sont saines et en adéquation avec la pratique locale et les recommandations des pilotes maritimes.

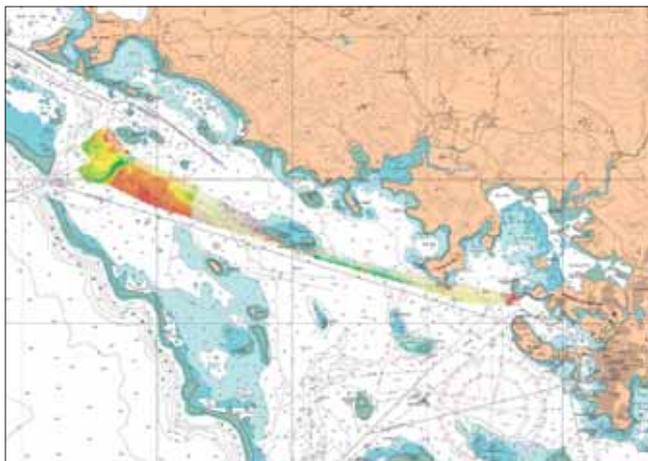
#### **Levé de modification de la voie recommandée d'accès à Nouméa par la passe de Uitoé (boîte 4) (S200906000)**

La fin des travaux de l'extension de la voie recommandée de Nouméa vers la passe de Uitoé a été menée principalement en octobre et décembre 2009 par l'exécution de la boîte 4 avec le baliseur *Eugène Morignat*. Les travaux des nombreuses recherches avec la vedette *Chambeyron* se sont déroulés jusqu'en avril 2010 en raison des alizés particulièrement fréquents pendant l'été austral 2009-2010. En raison de la rugosité du fond et de l'incapacité à réaliser toutes les recherches, une voie recommandée avec un seuil de navigation de 12,5 m a été définie.

Les routes au 117° sur les antennes radio du Ouen Toro et au 325° sur l'alignement du bord de l'île Trélon par le cap Ka sont en adéquation avec la pratique locale et les recommandations des pilotes (voir aussi les cahiers de pilotage) : la

partie au nord de ce levé correspondant à un alignement au 325° devait encore faire l'objet de travaux ultérieurs, planifiés en août 2010. Cette proposition de voies recommandées avait déjà reçu l'aval du syndicat professionnel des pilotes maritimes de Nouvelle-Calédonie.

L'achèvement de ces travaux a permis d'effectuer un bilan de ces trois levés permettant de modifier les routes présentées sur les cartes marines, et de s'accorder avec la pratique locale. Ces travaux sont présentés sur la planche suivante sur un extrait de la carte marine 7273 :



#### Contrôle des coffres en baie de Numbo à Nouméa (S200904600)

Le département cartographie du SHOM effectuait en 2009 la mise à jour de la carte marine 7643. Dans le cadre de cette édition, le GOP a effectué une revue complète des coffres et du balisage en baie de Numbo.

#### Mise à jour de la carte marine 7644 (S201003300)

Le département cartographie du SHOM effectuait en 2010 la mise à jour de la carte marine 7644 à la suite de l'actualisation de la carte marine 7643 du port de Nouméa. Dans le cadre de cette édition, l'examen de photographies aériennes et d'images satellitales révéla des écarts de position de traits de cote de plusieurs millimètres à l'échelle de la carte (1 : 25 000), voire l'inexistence de certains îlots. En conséquence, le GOP fut sollicité pour des travaux de positionnement et un contrôle du balisage dans les limites de la carte marine 7644. Les travaux ont été menés en avril 2010.



En station devant l'amer sur l'îlot Signal

Balise à mouillage tendu, positionnée à l'occasion du levé



Topographie d'un banc de corail mort



En station sur une patate de corail découvrant

#### 2.1.2 Travaux à Théoudié (S200901300)

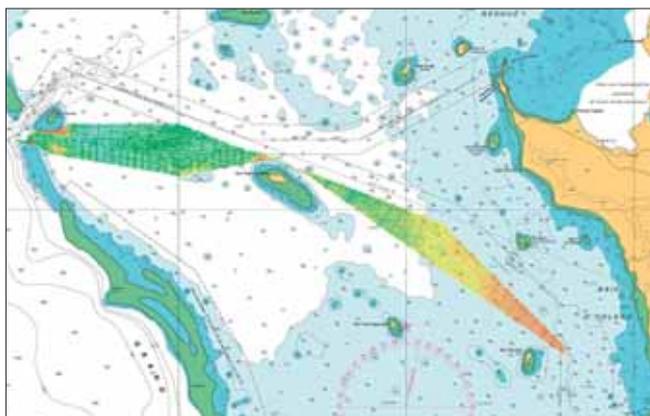
La zone de mouillage a fait l'objet d'un levé de zone d'intérêt particulier réalisé à partir du baliseur *Louis Hénin* en avril 2009. La zone a été hydrographiée avec exploration totale du fond. Elle est globalement saine, même si elle présente de nouvelles remontées non présentes dans le levé précédent S200004800 (toutes les recherches n'avaient pu être réalisées à l'époque). Elle s'inscrit dans le prolongement de la voie d'accès existante avec seuil de navigation à 13 m (levé S200004800 complété par le levé S200401000).

Par ailleurs, des sondes douteuses portées sur la carte marine ont fait l'objet d'une recherche exhaustive. L'étendue des travaux est présentée ci-dessous sur un extrait de la carte marine 6985 :



#### 2.1.3 Travaux hydrographiques d'accès à Paagoumène par la passe de la Gazelle (S200807000)

Les travaux hydrographiques menés du 30 septembre au 10 octobre 2008 ont permis de définir une voie recommandée par la partie sud de la passe de la Gazelle, et d'étendre la voie recommandée d'accès à Paagoumène (voir planche ci-après sur un extrait de la carte marine 7320). Les voies ont un seuil de navigation de 14 m ; les zones sont saines. Après mise en place d'un balisage actif, cette voie recommandée serait également utilisable de nuit. Le balisage devait être mis en place par la SLN qui exploite une mine près de Paagoumène.



Ce levé a mis en évidence quelques dysfonctionnements des marégraphes qui ont conduit à revoir leurs opérations d'étalonnage, de maintenance et de contrôle. L'utilisation très épisodique des observatoires de marée sur les côtes de Nouvelle-Calédonie et le développement économique rendent peu pérennes certains repères de ces observatoires de marée, conduisant parfois à un travail d'investigation pour convenir d'un zéro de réduction des sondes cohérent avec les levés précédents. Ce fut le cas lors de ce levé pour l'observatoire de marée de Paagoumène.

#### 2.1.4 Travaux hydrographiques au sud de Yandé (S200805800)

Les travaux bathymétriques au sud de l'île Yandé et à l'est de l'île Baaba, exécutés du 20 au 24 août 2008, ont permis l'achèvement du levé S200104500. En conséquence, ce levé permettait la définition d'une voie recommandée de la passe de Yandé au canal Devarenne, augurant la navigation de petits paquebots de croisière de 150 m de long selon les discussions menées entre le syndicat professionnel des pilotes maritimes de Nouvelle-Calédonie et quelques croisiéristes.

Les travaux ont été menés à l'aide du *Louis Hénin*, et ont été perturbés par les alizés qui soufflent de façon régulière sur le lagon de Nouvelle-Calédonie, et ne permettent souvent plus de sonder à partir du baliseur.

#### 2.1.5 Travaux hydrographiques d'accès au port de Vavouto (S201004100)

La société KNS devait exploiter un gisement de minerais (nickel notamment) dans le massif de Koniambo. Cet objectif s'accompagnait en 2009 et 2010 de la construction d'une usine de traitement de nickel et d'un port industriel à Vavouto ainsi que du dragage d'un chenal d'accès.

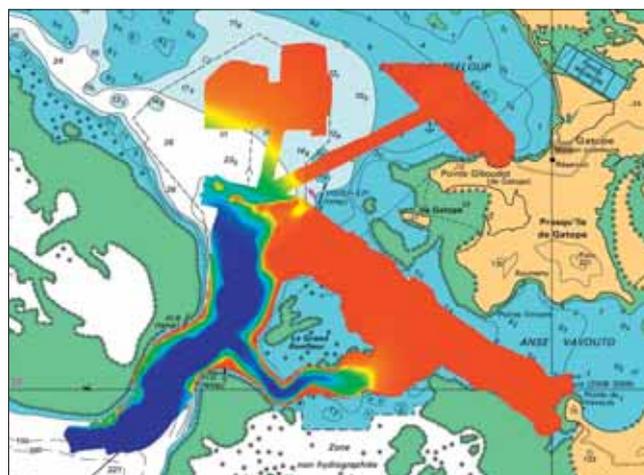
Le chenal devait être dragué à 12 m, le poste à quai à 13 m. Un alignement composé de 3 amers devait permettre la navigation dans le chenal (installations qui restaient à réaliser en août 2010). Un balisage adapté a été installé depuis la passe de Duroc jusqu'au quai de Vavouto.

KNS avait fourni au SHOM les données suivantes :

- marée : mesures de marée à Gatope et à Vavouto ;
- courants : des mesures de courant ont été réalisées en 3 sites dans la baie Chasseloup ;

- topographie : la topographie du port a été établie. Les infrastructures du port et de l'usine étaient en cours de construction en août 2010 ;
- balisage : une vingtaine de balises ont été installées et positionnées ;
- alignements : il existe un pseudo alignement d'entrée dans la passe du Duroc composé de deux balises. Un alignement de l'axe du chenal composé de trois amers devait être mis en place avant fin 2010 ;
- bathymétrie : KNS a fourni deux lots de données, le premier est constitué de la bathymétrie avant dragage, le second est constitué des données SMF après les travaux de dragage. Aucun sonar à balayage latéral n'a été mis en œuvre.

Pour qualifier ces données et faciliter leur exploitation sur les cartes et documents nautiques, le GOP a procédé à l'analyse des données livrées en mai 2010, à des compléments sur le terrain, et notamment à un contrôle du chenal après dragage et aux recherches nécessaires. Les travaux se sont déroulés du 7 au 14 juin 2010, et du 7 au 9 juillet 2010.



Synthèse des données bathymétriques, y compris les travaux du levé S200905800 (extrait carte marine 7313)



Navire accosté au quai de Vavouto (10 juin 2010)



Station GPS de référence surplombant le port de Vavouto et la baie Chasseloup



Devant le système Hypack d'acquisition des données bathymétriques et sonal (hydrographe de la Nouvelle-Calédonie et du GOP)



Avant une plongée de recherche aux abords du chenal de Vavouto  
De gauche à droite : plongeurs et surveillant de plongée

Le chenal est sain : la cote minimale dans l'axe du chenal est de 11,6 m. Le droit du quai devait être nettoyé en juillet et août 2010 avant la venue de navires transportant des modules de l'usine. Le quai devait accueillir les modules de l'usine de traitement du nickel en août ou septembre 2010. Un balisage important a été mis en place par la société.

Les travaux de KNS ont permis de compléter la connaissance bathymétrique de la zone ; néanmoins, l'usage exclusif d'un sondeur multifaisceau a montré quelques lacunes sur certains hauts-fonds dont la profondeur a été précisément déterminée par le GOP avec le sonar à balayage latéral, le sondeur vertical et ses plongeurs, comme présenté ci-dessous.



Figure présentant l'écart critique entre le SMF et les moyens conventionnels : il s'agit d'une patate de corail (voir photo en haut à droite) détectée au sonar à balayage latéral et qui a fait l'objet de travaux de recherche complémentaires au sondeur monofaisceau et par plongeurs.

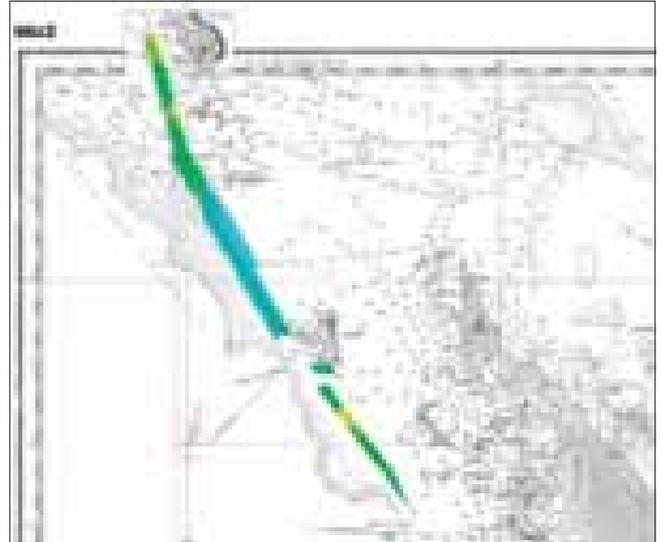
#### 2.1.6 Travaux hydrographiques de Poum aux îles Belep

Les travaux hydrographiques menés de Poum aux îles Belep étaient destinés à définir une voie recommandée pour les navires assurant des rotations régulières entre la Grande

Terre et les îles Belep, en particulier des navires de passagers transportant notamment des collégiens.

Ces travaux ont contribué à l'amélioration de la connaissance hydrographique dans le grand lagon nord, encore très réduite.

Ces travaux ont été réalisés en plusieurs séances, et rédigés en plusieurs levés afin de réduire la perte d'informations souvent imputable à une rédaction décalée de la phase d'acquisition des données.



Emprise des travaux, y compris ceux du levé S200805800 (extrait carte marine 2799)

#### De Poum aux îlots Daos du Sud (S200903200)

Les travaux, conduits de juillet à août 2009 à l'aide du baliseur *Louis Hénin*, ont permis de définir un premier tronçon de voies recommandées de Poum aux îlots Daos du Sud. Deux tronçons de voie recommandée d'une largeur d'environ 1 000 m ont été définis avec un seuil de navigation à 13 m s'inscrivant dans la perspective des levés antérieurs (S1988018, S2001044 et S2001045). La zone levée est saine, et les abords immédiats de la voie recommandée ont fait l'objet d'une reconnaissance permettant de compléter la connaissance existante dans le grand lagon nord.

#### Des îlots Daos du Sud à l'île Art (S201003400)

Les travaux, conduits en mai 2010 au moyen du *Louis Hénin*, ont permis de définir un deuxième tronçon de voies recommandées des îlots Daos du Sud au sud de l'île Art. Deux tronçons de voie recommandée d'une largeur d'environ 1 000 m ont été définis avec un seuil de navigation à 13 m dans la suite du levé S200903200. Toutefois, deux massifs rocheux ont été détectés à cette occasion, et la voie prévue initialement a dû être décalée de manière à assurer le seuil de navigation.

Dans cette voie, la zone est saine. Cette voie devait être d'abord poursuivie jusqu'à Uala (fin 2010) puis étendue jusqu'au Grand Passage. Par ailleurs, il serait utile d'hydrographier les abords de la voie recommandée car la connaissance bathymétrique dans le grand lagon nord était fragmentaire.



Mise en place d'une station GPS de référence avec panneaux solaires



Capitaine du *Louis Hénin*, en passerelle



Installation d'un repère de tirant d'air



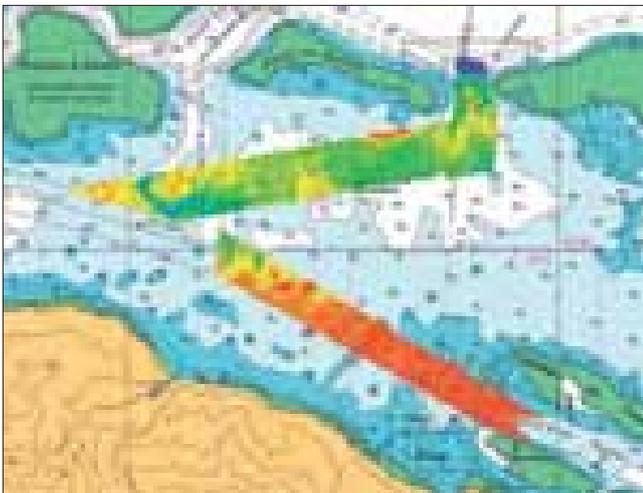
Installation d'un repère géodésique

#### Contrôle d'orthophotos sur les îles Belep (S201003500)

Voir description au § 2.1.11.

#### 2.1.7 Travaux hydrographiques d'accès à la passe de Balade (S200902700)

Les travaux bathymétriques, réalisés du 11 au 21 mai 2009 avec la vedette *Chambeyron* et le baliseur *Louis Hénin*, ont conduit à la définition d'une voie recommandée avec seuil de navigation à 13,5 m de la passe de Balade vers la voie recommandée existante au sud de la passe d'Amoss. Une voie recommandée de jonction a également été définie jusqu'au canal de Pouébo, avec seuil de navigation à 8,5 m. Les zones levées (voir ci-dessous sur carte marine 7319), parsemées de patates de corail, sont saines dans la limite des seuils de navigation définis.

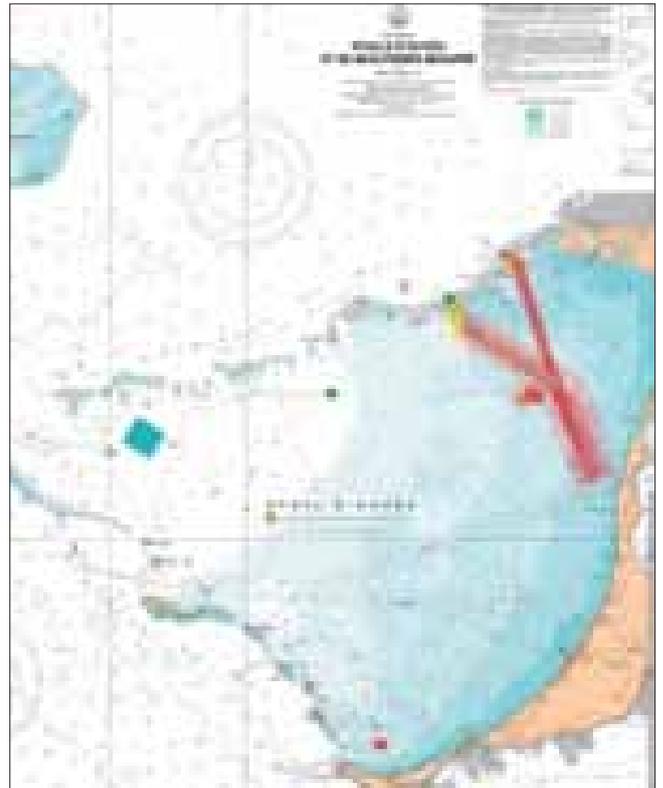


#### 2.1.8 Travaux hydrographiques à Ouvéa (S200805200)

Les travaux hydrographiques menés à Ouvéa en 2007 et 2008 avaient été conduits par le directeur technique précédent. Le but était de déterminer une voie d'accès hydrographiée des Pléiades du Nord au wharf de Hwaadrila afin d'assurer la navigation des bâtiments transportant des passagers et du fret en conformité au code ISM<sup>4</sup>. Ces caboteurs pratiquaient régulièrement les passes du Taureau et de la Baleine bien qu'elles étaient jusqu'à présent non hydrographiées et non balisées. Ces levés ont contribué très directement à la continuité territoriale de l'île. Ils ont été conduits par le GOP à l'aide du *Louis Hénin* et de la vedette *Chambeyron*, du 9 au 17 avril 2007 puis du 9 au 18 octobre 2007 (levé S200707200) et enfin du 16 au 26 juin 2008 (levé S200805200).

Une voie d'accès hydrographiée de la passe du Taureau au wharf de Hwaadrila a été privilégiée au vu des abords de cette passe en regard de ceux de la passe de la Baleine. Cette voie doit contourner un plateau corallien qui se situe très précisément sur l'axe le plus direct de la passe au wharf. Des seuils de navigation de 7,5 m puis de 6,4 m en se rapprochant du wharf ont été définis pour prendre en compte la navigation des caboteurs et l'évolution possible de leur tirant d'eau mais aussi l'éventualité de voir des petits paquebots emprunter désormais la passe du Taureau.

La voie par la Baleine n'est raisonnablement envisageable que pour une navigation locale et des caboteurs réguliers. Son seuil de navigation proposé est de 4,8 m. La synthèse des travaux est présentée sur un extrait de la carte marine 7218 :



<sup>4</sup> International Safety Management code (code international de gestion de la sécurité des navires et de la prévention de la pollution).

Ce levé S200805200 a nécessité des reprises de rédaction en janvier et février 2009 durant ce directorat, qui ont conduit à la correction des minutes de bathymétrie, de recherches et de natures de fond, à la modification des lots de données du levé et à des corrections au rapport particulier. Ces modifications ont pu être réalisées promptement parce que le bureau de recueil de l'information du SHOM avait effectué une analyse en profondeur des améliorations possibles, et que les hydrographes du GOP qui ont procédé aux modifications étaient également ceux qui avaient exécutés et rédigés initialement le levé.

#### 2.1.9 Mesures de courant

Des mesures de courant sont toujours nécessaires pour les besoins de la navigation. Elles sont réalisées à partir de courantomètres ponctuels ou de profileurs de courant.

##### **Ouvéa (S200807800)**

Bien qu'il soit préférable d'effectuer la mesure des courants de surface entre 5 et 10 m, seules des mesures à 15 m ont été réalisées lors de ce levé car aucun profileur de courant n'était disponible au GOP à cette période, et que l'utilisation d'une ligne de pare battage pour l'installation du courantomètre n'a pas été retenue pour réduire la probabilité de vol ou de dégradation du mouillage. Les mesures de courant se sont étalées du 9 octobre au 11 décembre 2007 (directorat précédent).

Les courants mesurés sont faibles, très rarement supérieurs à 0,25 m/s (0,25 % des mesures) ; le maximum absolu sur la période est de 0,38 m/s. L'utilisation des mesures pour les documents nautiques restait à confirmer par les experts en courantométrie du SHOM.

##### **Îles Belep (S200807700)**

Les mesures se sont étalées du 28 mars au 9 mai 2006 (directorat précédent). Elles ont été réalisées à 10 m et 12 m de profondeur. Au niveau des passes du d'Estrées, les courants mesurés sont faibles, très rarement supérieurs à 1 m/s ; le maximum absolu sur la période est de 1,13 m/s. Au nord de l'île Art, les courants mesurés dépassent rarement 0,5 m/s avec un maximum absolu de 0,62 m/s.

##### **Paagoumène (S201001000)**

Les mesures de courant ont été réalisées avec un profileur de courant pour lequel il n'existait pas de chaîne de traitement disponible au GOP à cette période ; le traitement a été réalisé par la direction des opérations du SHOM. Les mesures se sont étalées du 14 décembre 2009 au 18 février 2010.

#### 2.1.10 Marégraphie

##### **Contrôle du MCN de Nouméa (S200807600 – S200904400 – S201000900)**

Indépendamment des mesures de marée associées aux levés bathymétriques et qui ont conduit à créer ou mettre à jour de nombreux observatoires de marée (Poingam, Paagoumène, Poum, Nouméa, Kaala, Gomen), des travaux de contrôle du marégraphe côtier numérique (MCN) de Nouméa ont été réalisés à cadence régulière.

Les contrôles du MCN de Nouméa réalisés en octobre 2008

(S200807600) ont notamment conduit à détecter une anomalie de paramétrage de ce marégraphe qui entachait de façon systématique toutes les mesures depuis 2005. Cette anomalie a été corrigée le 22 décembre 2008. Un contrôle en janvier 2009 a permis de vérifier que le paramétrage était dorénavant satisfaisant. La direction des opérations du SHOM a étudié l'impact des mesures du MCN biaisées et effectué les corrections nécessaires (données de marée, levés bathymétriques) dans le cadre de la fiche d'étude d'anomalie FEA2009-001.

Des contrôles ultérieurs, notamment le 23 juillet 2009 et le 2 février 2010, n'ont pas détecté d'anomalies résiduelles.

##### **Mesures de marée à Plum (S201002600)**

Les mesures étaient destinées à densifier la connaissance de la marée au Mont-Dore et à y matérialiser les RAM pour permettre le dimensionnement d'aménagements littoraux. Les mesures se sont étalées du 18 mars au 2 juin 2010.

Le produit des références altimétriques maritimes en Nouvelle-Calédonie a été diffusé en mars 2010.

##### **Détermination des références altimétriques maritimes à Koumac (wharf de Pandop) (S201002500)**

Les travaux visaient à déterminer et matérialiser durablement les références altimétriques maritimes dans les observatoires de marée le long du littoral. Ces déterminations sont particulièrement utiles pour l'aménagement du littoral (dimensionnement des infrastructures par rapport aux plus hautes et plus basses mers), pour la définition du trait de côte et la délimitation du domaine public maritime. A Koumac, deux repères géodésiques ont été implantés, positionnés au GPS<sup>5</sup> pendant 48 heures (spécification imposée par les instructions techniques permettant d'atteindre une précision centimétrique de la hauteur ellipsoïdale) et les fiches correspondantes créées. La fiche d'observatoire de marée a également été mise à jour.

D'autres travaux équivalents ont été menés à partir de 2010 à l'occasion des levés bathymétriques mettant en œuvre des marégraphe (exemple du levé vers l'île Art aux Belep avec les observatoires de marée de Poum et de Uala).

##### **Installation de stations permanentes du niveau de la mer**

Le projet de réseau de marégraphe destiné à la surveillance du risque tsunami a mis beaucoup de temps à se mettre en place, et a nécessité une forte mobilisation pour faire progresser ce dossier en raison du nombre important d'intervenants et des financements qui n'étaient pas bien définis à l'origine.

Néanmoins, en août 2010, les financements de 2010 étaient acquis : 71 k€ de la DéGéOM et 48 k€ de la Nouvelle-Calédonie. Deux marégraphe étaient en cours d'achat, et tous les sites (Lifou, Maré, Hienghène, Touho, Thio, Ouinné) à l'exception de celui d'Ouvéa avaient fait l'objet d'une reconnaissance.

<sup>5</sup> Global Positioning System (système de positionnement mondial par satellites).

La réalisation des abris de Lifou et de Maré a été initiée (installation de ces marégraphes prévue fin 2010 ou début 2011). En pratique, certaines étapes mobilisant des acteurs locaux (province, mairie...) étaient difficilement maîtrisables.

Par ailleurs, un projet de convention mobilisant les différents acteurs du projet devait être rédigé au second semestre 2010 afin de rendre plus lisible l'installation et le maintien en condition opérationnelle de ce réseau de marégraphes, et formaliser le financement du projet qui pour le GOP devrait se transformer en un agent supplémentaire, de préférence un officier marinier hydrographe, basé en Polynésie française.

#### 2.1.11 Travaux de spatiopréparation et stéréopréparation

##### **Spatio-préparation de la baie d'Ohland à la passe de Koumac (S200900600)**

Les travaux de géodésie et de topographie pour le calage de scènes SPOT de la baie d'Ohlan à la passe de Koumac ont été conduits du 16 au 19 février 2009 à l'aide du baliseur *Louis Hénin*.

Ce levé a mis en évidence des décalages dans le positionnement de certains îlots, dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, éloignés de la côte où était précisément matérialisé le réseau géodésique, et une évolution de la représentation de certains îlots (du fait probable de cyclones passés sur la Nouvelle-Calédonie, conjugué avec l'effet régulier de la houle).

##### **Stéréopréparation à Voh (S200902600)**

Les travaux de géodésie et de topographie, nécessaires pour qualifier les orthophotographies de la passe de Koné à Ouaco produites par la DITTT, ont été exécutés du 8 au 10 juin 2009.

Ce levé permettra au département cartographie du SHOM de mettre à jour la carte marine dans cette zone.



*Trajectographie en baie d'Ohland*

##### **Contrôle d'orthophotos à Népoui (S200906900)**

Pour procéder à la mise à jour de la carte marine 7322 (De la passe de Poya à la passe de Muéo), le bureau photogrammétrie du SHOM avait acquis les orthophotographies de la zone auprès de la DITTT. Le GOP a positionné des détails topographiques remarquables permettant aux stéréorestituteurs de qualifier les orthophotos en vue d'une exploitation pour la mise à jour de la carte marine.

##### **Spatio-préparation de Tontouta à l'île des Pins (S200905900)**

Ces travaux visaient à permettre l'exploitation d'images satellitaires SPOT. Comme la bathymétrie est bien connue dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie, le bureau de traitement d'images du SHOM avait demandé au GOP de positionner des détails topographiques identifiables sur les scènes SPOT. Ces travaux conséquents ont été réalisés d'octobre 2009 à mars 2010. Ils ont permis de positionner ou de déterminer le contour de nombreux détails visibles sur les images SPOT.

##### **Contrôle d'orthophotos aux Belep (S201003500)**

Ces travaux, conduits simultanément avec ceux du levé S201003400, concernaient exclusivement le contrôle d'orthophotos fournies par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (DITTT), exploitées par la suite pour la mise à jour de la carte marine. Des détails identifiés sur les orthophotos ont été positionnés.



*Détail remarquable positionné par GPS*

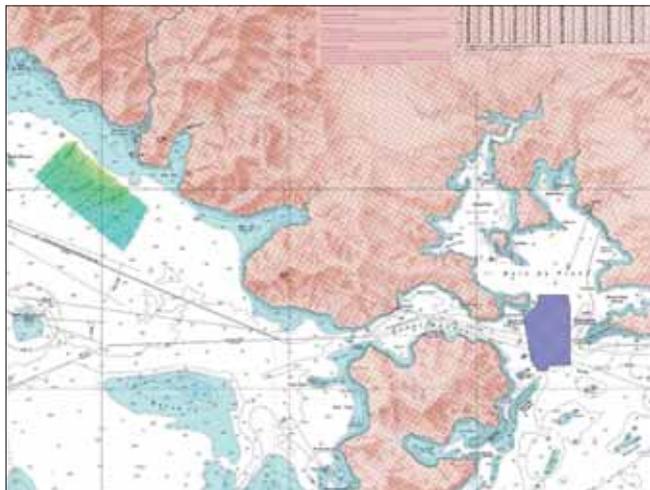
#### 2.1.12 Travaux de détection de mines

Pendant la seconde guerre mondiale, plusieurs milliers de mines ont été mouillées dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, en particulier sur les voies de navigation d'accès à Nouméa. Ces mines ont fait l'objet d'un dragage à l'issue du conflit. Ces zones, décrites dans les instructions nautiques K10 (§0.4.1.8), n'étaient plus dangereuses pour la navigation de surface, mais l'étaient potentiellement pour le mouillage, le chalutage et les travaux sous-marins sur le fond.

Plusieurs actions ponctuelles de dépollution ont été menées par la marine nationale depuis les années 1950. En 2004, a eu lieu le traitement des mines reposant sur le fond des

routes recommandées empruntées par la navigation commerciale sur les approches de Nouméa et les passes de Dumbéa et de Boulari.

Le développement de la navigation commerciale dans tout le lagon avait conduit la marine nationale à envisager la dépollution de ces zones.



Emprise des levés S200806900 et S200901400  
(extrait carte marine 6827)

#### Woodin – Prony (S200806900)

Un exercice international de traitement de mines était organisé par le COMSUP Nouvelle-Calédonie en novembre 2009 (LagoonMinex). Une investigation préalable au sonar à balayage latéral (sonal) a été requise pour positionner correctement les échos susceptibles de présenter un intérêt. Ces échos devaient être ensuite analysés par les experts du domaine. Deux zones étaient concernées en priorité, l'une à la sortie du canal Woodin et l'autre aux abords de la voie recommandée d'accès à Nouméa, en continuité de travaux menés en mai 2008.

Le levé à la sortie du canal de Woodin a été exécuté du 16 au 18 septembre 2008. L'exploration de la zone au sonal a permis de positionner la ligne de mouillage des mines (cra-pauds en béton), ainsi que de répertorier un ensemble d'échos de mines probables. La qualité de l'imagerie du sonal a permis de qualifier l'environnement sous marin global de la zone (évaluation de la rugosité des fonds). Par ailleurs, l'acquisition de la bathymétrie a permis de confirmer la connaissance existante sur la zone dont la carte marine en vigueur rend compte fidèlement.

#### Plum (S200901400)

En 2009, la dépollution du lagon n'était envisagée que dans le cadre d'exercices internationaux de guerre des mines. La recherche de mines avait fait l'objet d'un protocole standardisé qui consistait dans un premier temps à mettre en oeuvre toute la procédure dans une zone dépourvue de mines et dont l'environnement physique était connu, dans laquelle était déposée un objet similaire à une mine. Cela permettait de mettre en oeuvre les équipements de détection et d'identification (sonars), de les tester et d'entraîner le personnel à l'emploi des équipements.

Pour mener ces exercices, il convenait donc de définir une zone de référence sur laquelle pourrait être réalisé l'entraînement préalable. Ainsi, une zone destinée aux exercices préalables aux opérations réelles a fait l'objet d'un levé du 20 au 23 avril 2009. Le levé a dû être écourté en raison d'une panne hydraulique sur la grue du *Louis Hénin*, grue nécessaire à la mise en oeuvre du sonal.

La zone est dégagée de tout écho de type mine, et ce levé a permis de compléter la connaissance bathymétrique : la bathymétrie détaillée de la zone est bien plus rugueuse que ce que laisse percevoir la carte marine.

Ces travaux ont été particulièrement utiles lors de l'exercice LagoonMinex qui a permis, du 6 au 20 novembre 2009, d'éliminer 33 mines.

#### Abords de Nouméa

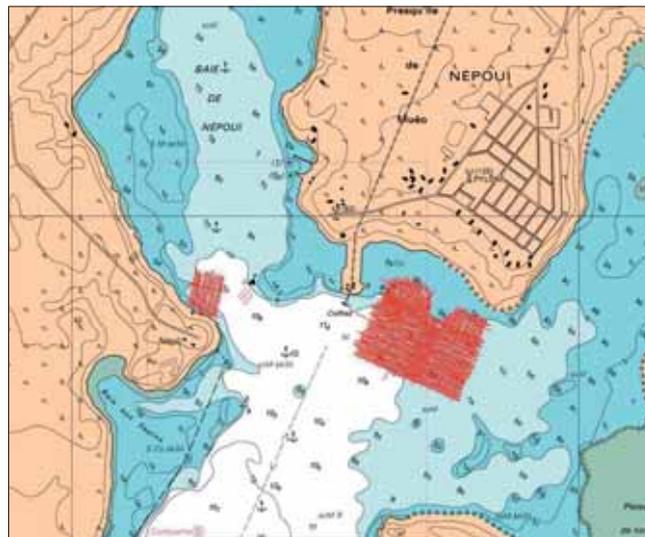
De nombreuses zones ont été minées aux abords de Nouméa. Dans la perspective d'un nouvel exercice de dépollution, le GOP devait procéder au second semestre 2010 à la détection de ces mines dans des zones proches de Nouméa.

#### 2.1.13 Travaux de plageage

##### Levé de plage à Népoui (S200906800)

Dans le cadre de la préparation de l'exercice militaire interallié « Croix du Sud 2010 », le COMSUP Nouvelle-Calédonie avait souhaité pouvoir disposer d'un levé de plage à Népoui en complément d'un dossier de débarquement déjà existant à proximité.

Les travaux ont été réalisés à partir de la vedette *Chambeyron* du 3 au 6 octobre 2009, et sont représentés sur la planche ci-dessous (avec un extrait de la carte marine 7322) :



Le levé de plage, à la pointe de Népou, a permis de constater l'impossibilité d'y effectuer un plageage en toute sécurité : l'accès à terre était impossible en raison d'un talus en bord de plage. Par ailleurs, des dangers d'un ancien wharf détruit ont été mis en évidence et positionnés (10 obstructions ont été identifiées). En conséquence, le site de plageage ne

pouvait pas être utilisé pour un navire du type BATRAL, comme le *Jacques Cartier*.

Le GOP a profité de ce déplacement en baie de Népoui pour effectuer des travaux bathymétriques aux abords du nouveau quai de Népoui : une zone de 850 mètres par 480 mètres a été totalement explorée au sondeur vertical EA400 et au sonar à balayage latéral Edgetech 4100. A l'époque du levé, le quai était terminé mais n'avait pas encore été réceptionné par la Province Nord, maître d'ouvrage. La proximité immédiate du quai faisait l'objet d'un dragage lors du levé, ce qui conduirait à compléter ultérieurement la bathymétrie dans la zone incomplètement hydrographiée tout le long du quai. La trajectographie du nouveau quai a été fournie avec les résultats du levé S200906900.



*Minéralier au poste de chargement en baie de Népoui*

### **Levé de plage à Gatope (S200905800)**

Dans le cadre de la préparation de l'exercice militaire interallié « Croix du Sud 2010 », le COMSUP Nouvelle-Calédonie avait également souhaité pouvoir disposer d'un levé de plage à Gatope. Le GOP en a profité pour effectuer la jonction du levé de plage jusqu'au levé S200500100.

La zone reliant le levé S200500100 à la plage de Gatope et à son embectage a fait l'objet d'un levé avec exploration totale du fond. L'embectage n'a pu être hydrographié complètement, car une barge y était présente pendant toute la durée du levé. La zone est saine. Elle s'inscrit dans le prolongement du levé S200500100, zone investiguée au sonar à balayage latéral.

Un levé de plage a été effectué sur la plage de Gatope en baie Chasseloup. Néanmoins, la plage n'est pas adaptée à un navire de type BATRAL, car il faut une profondeur minimum de 4,50 m à 60 m de l'étrave d'un tel bâtiment pour qu'il puisse effectuer un plageage. Elle peut toutefois convenir pour des moyens plus légers (CTM, LCVP par exemple)<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> CTM chaland de transport de matériel.

LCVP Landing Craft, Vehicle, Personnel (péniche de débarquement de véhicules, de personnel).



*Mise à l'eau de Chambeyron en baie de Gatope par l'équipage du Louis Hénin*



*Nivellement devant un monument à Gatope*

## **2.2 A Wallis et Futuna**

### **2.2.1 Travaux hydrographiques à Wallis (S200900700)**

Les travaux hydrographiques menés à Wallis du 21 février au 13 mars 2009 étaient destinés à compléter des levés précédents et à satisfaire des demandes exprimées par le service des travaux publics de Wallis et Futuna :

- jonction entre les travaux réalisés en 1998-1999 et 2006 aux abords de la voie recommandée vers Mata Utu ;
- levé de la baie de Mua pour compléter l'hydrographie générale et définir un point de mouillage ;
- recherche d'une voie directe d'accès au port de Halalo pour les pêcheurs ;
- bathymétrie fine le long de la jetée de Halalo pour permettre au service des travaux publics de planifier les travaux de réalisation d'un port de pêche à échéance de 2012-2013 au plus tôt ;
- hydrographie de voies d'accès sommaires à la baie du Sacré Cœur et à Vailala par la passe de Fugauvéa ;
- revue du balisage de Wallis ;
- mesures de courant à Halalo pour étude des courants aux abords de la zone de mouillage et permettre au service des phares et balises de dimensionner un coffre d'amarrage pour les pétroliers et butaniers qui viennent ravitailler Wallis.

Les travaux ont été réalisés à l'aide de la vedette hydrographique *Chambeyron* et d'une coralline des phares et balises de Wallis et Futuna. Le GOP a reçu le concours du BATRAL *Jacques Cartier* pour le transport du matériel (drome, véhicule, matériel scientifique) et de personnels.

### Approches de Mata Utu

La jonction entre les levés S200002500 et S200608800 a été assurée. Une zone avec seuil de navigation à 5,5 m a été définie. Le levé réalisé aux abords de la voie recommandée vers Mata Utu a permis de définir une zone de mouillage en dehors de la voie recommandée. Un seuil de navigation de 6,1 m a été défini sur cette zone. Le point de mouillage en 13° 17,95' S et 176° 09,42' W devrait être supprimé de la carte marine, en accord avec les éléments du commandant de zone maritime.

### Baie de Mua

La grande partie de la baie de Mua comprend des fonds importants. Les pourtours à proximité de la barrière de corail sont mal bordés. Une zone à seuil de navigation de 8,5 m a été définie dans la partie principale de la baie, en accord avec le seuil d'accès à la passe de Honikulu. Une épave a été détectée.

### Chenal d'accès à Halalo

Une voie d'accès au 004°/184° sur la balise cardinale sud de Halalo a été hydrographiée. Les fonds sont très faibles. La voie d'accès est dangereuse et ne doit être réservée qu'aux embarcations à très faible tirant d'eau.

### Digue de Halalo

Le chenal le long de la digue de Halalo a été complètement hydrographié. La zone est saine et les fonds très faibles. L'obstruction portée sur la carte marine devrait être écrite hors position. Elle est représentative des enrochements aux abords immédiats de la digue. Le service de l'équipement de Wallis envisageait à l'époque d'y développer un port de pêche pour dynamiser ce secteur d'activité.

Des mesures de courant ont été réalisées à proximité de l'extrémité de la digue de Halalo. Elles devaient être analysées par la direction des opérations du SHOM.

### Reconnaissance de marinas

Deux marinas étaient en cours de construction au nord de Halalo, l'une comprenait une digue (dite digue « Mercier » du nom de l'artisan qui réalisait les travaux) où des engins de chantier s'activaient ardemment. Quelques profils bathymétriques de reconnaissance vers la marina et la topographie de celle-ci ont été réalisés. La topographie de la digue « Mercier » a été déterminée. Compte tenu des travaux en cours, ces informations devaient être considérées comme provisoires sans que l'échéance des travaux soit connue.

### Quai de Mata Utu

La topographie du quai de Mata Utu a été relevée pour permettre de qualifier les orthophotos de Wallis. Des travaux de dragage étaient prévus à proximité du quai (seuil de 7 m) en relation avec l'extension du quai (passage d'un quai de 75 m à un quai de 135 m, et doublement de la capacité de la plateforme portuaire) : ces travaux devaient débuter fin 2010.

### Lagon nord-ouest

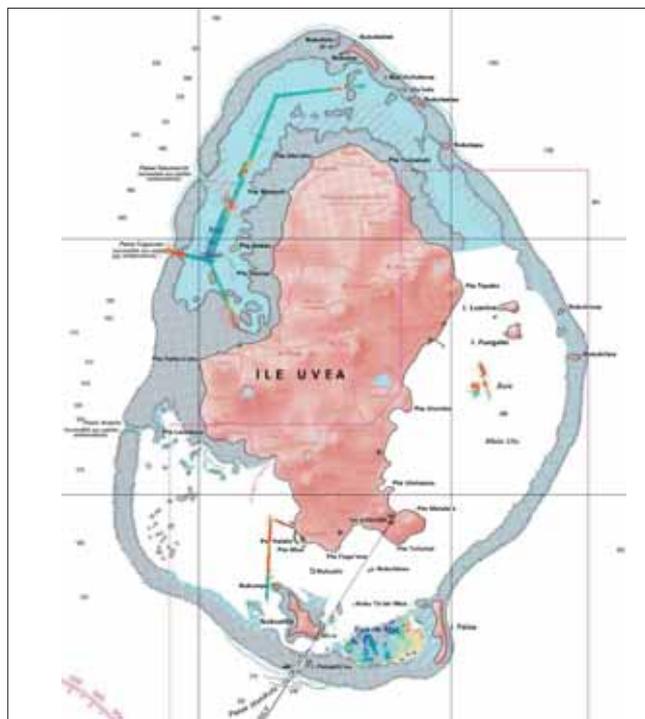
Le lagon nord-ouest a fait l'objet d'une recherche d'une voie de navigation de la passe Fugauvéa à la fausse passe au nord. Des zones à seuil de navigation ont été définies ; elles comprenaient de nombreux hauts fonds. Des travaux complémentaires restaient nécessaires. Les travaux réalisés devaient être considérés comme une première étape dans la description de ce lagon nord-ouest.

Le levé bathymétrique de l'ensemble de ce lagon qui comprend des fonds atteignant 30-40 m devrait être entrepris pour améliorer la connaissance générale et définir un référentiel du littoral en cas de catastrophe aérienne. Cela permettrait aussi de définir une approche sécurisée, surtout de nuit, avec la mise en place d'un balisage adapté. A l'issue de ce levé, ces travaux extensifs restaient à réaliser.

### Balisage du lagon de Wallis

En liaison avec le service des phares et balises de Wallis, une revue complète du balisage a été effectuée. Les fiches descriptives ont été mises à jour.

L'emprise géographique des travaux exécutés est définie sur la planche ci-dessous sur un extrait de la carte marine 6876 :



En nivellement



Vedette *Chambeyron* au mouillage



Série de tirants d'air à l'observatoire de marée de Vaialala

Travaux topographiques pour une stéréopréparation du quai de Mata Utu

### 2.3 En Polynésie française

L'activité d'exécution avait été très faible au premier semestre 2008. Mais, elle a été réactivée au second semestre pour répondre à des sollicitations tardives des forces armées en Polynésie française et dans le cadre de l'installation de stations de suivi du niveau de mer en particulier pour la détection de l'aléa tsunami qui a nécessité la forte mobilisation du personnel.

Un levé de détection d'obstructions à Hao dans le cadre de la dépollution des sites du CEP, qui avait été tout d'abord programmé puis déprogrammé deux fois en juin 2008, a pu être réalisé en août 2008 à partir d'une vedette d'autorité (vedette de l'amiral) peu adaptée à l'hydrographie. Ce levé a été programmé de façon très réactive avec un préavis inférieur à 2 mois, imputable à l'état-major interarmées qui avait bien du mal à se projeter même pour des projets importants de réhabilitation.

Par ailleurs, les tergiversations de la Polynésie française (direction de l'équipement) et son refus de financer des missions d'hydrographie planifiées ont perturbé la bonne exécution d'autres travaux. Globalement, les travaux sont restés faibles en raison de la ressource qui pouvait être consacrée à l'hydrographie (2 officiers mariners, aucune embarcation en propre, difficulté à bénéficier des soutiens des forces armées en Polynésie française) et de la nécessité de concilier les travaux d'acquisition et la rédaction des levés.

#### 2.3.1 Travaux de spatiopréparation

Des travaux de spatiopréparation ou stéréopréparation ont été exécutés et rédigés pendant la période considérée par ce rapport.

##### **Stéréopréparation à Tahiti (S200802200)**

Pour mettre à jour la carte marine 7461 (de Taapuna à la pointe Vénus), le bureau de photogrammétrie (BPh) du SHOM avait acquis des orthophotographies auprès de la section topographie du service de l'urbanisme de Polynésie française. Afin de certifier la résolution de ces images géoréférencées, il avait été demandé le positionnement de 7

points de contrôle dans la zone de couverture de la carte marine à rédiger selon la norme en vigueur pour les stéréopréparations.

Ces travaux ont été conduits par le GOP les 8 et 9 septembre 2008.

##### **Stéréopréparation aux Gambier (S201000200)**

A l'occasion d'une reconnaissance aux Gambier pour définir le site d'installation d'un marégraphe permanent, le GOP a procédé en février 2010 au contrôle d'orthophotographies, afin de mieux apprécier la précision de celles-ci et par la suite des restitutions qui en seront tirées.

Le temps agité n'a pas permis d'effectuer une revue du balisage qui avait été envisagée initialement.

#### 2.3.2 Travaux hydrographiques à Bora-Bora

##### **Travaux de balisage à Bora-Bora (S200807500)**

De façon opportuniste (présence du réserviste hydrographe sur place), le GOP a effectué une revue du balisage autour du motu Toopua à Bora-Bora en septembre 2008, qui a fait l'objet de mesures complémentaires en novembre 2008. Ces travaux ont mis en évidence la nécessité de réviser en profondeur la carte marine 6002 afin de mettre en cohérence l'hydrographie avec la représentation cartographique compatible avec les équipements modernes de navigation.

##### **Spatioopréparation et contrôle d'orthophotos à Bora-Bora (S200904700)**

Pour permettre la mise à jour la carte marine 6002 à la suite des incohérences relevées lors du levé S200807500, le bureau de traitement d'image du SHOM (BTI) a sollicité le GOP pour effectuer des travaux complémentaires au levé S199903500 de spatiopréparation de Bora-Bora. Par ailleurs, le BPh avait acquis des orthophotographies de 2001 auprès de la section topographie du service de l'urbanisme de Polynésie française. Afin de certifier la précision de ces images géoréférencées, le GOP a positionné des points de contrôle identifiables sur les orthophotos.

Pour la spatiopréparation, tous les travaux de géodésie ayant déjà été réalisés et validés, le GOP a effectué le levé bathymétrique de 2 zones d'intérêt. Enfin, le GOP a procédé à une revue partielle du balisage dans le lagon de Bora-Bora (25 fiches d'amers et une fiche de balisage).

#### 2.3.3 Travaux hydrographiques à Moorea

##### **Levé de la baie d'Opunohu à Moorea (S200800500)**

Ce levé, exécuté et rédigé par le directeur technique précédent, est présenté ici car il a nécessité quelques compléments notamment sur la détermination locale du réseau géodésique de Polynésie française (RGPF) à Moorea, dont la matérialisation est biaisée d'environ 4,43 m (lettre n°020 SHOM/GOP/BHPF/NP du 10/03/2009). Cet écart a été communiqué à la direction des opérations du SHOM pour correction des documents impactés (levés bathymétriques, fiches géodésiques, d'amers ou de balisage...). Le SAU a également été informé : la mise à jour du logiciel Circe PF en 2010 devait prendre en compte cet écart.

La passe Tareu qui donne accès à la baie d'Opunohu est saine, accore et large d'au moins 170 m. La baie est ensuite profonde et ne présente pas de danger particulier. Le chenal d'accès à la darse de Papetoai située au nord-ouest de la baie est sain et large de 50 m. La cartographie actuelle est représentative de la situation. Les amers servant d'alignements d'entrée et traversier conduisant au point de mouillage dans la baie d'Opunohu des grands navires ont été positionnés avec précision.

#### **Levé de la baie de Cook à Moorea**

Ce levé, programmé en juin 2010, a dû être décalé en raison de l'indisponibilité de la vedette de servitude du RR *Revi* qui devait être mise en œuvre pour les travaux. Les travaux ont été planifiés en septembre 2010. Ils devaient être réalisés selon les instructions techniques n°065 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 27/04/2010, et comprendre également des travaux de contrôle d'orthophotographies demandés par le bureau de photogrammétrie du SHOM.

#### 2.3.4 Mesures de courant

##### **Chenal de Taunua à la rade de Papeete (S200808800)**

Le port autonome de Papeete avait exprimé le besoin de mesures de courant du chenal de Taunua à la rade de Papeete. Le GOP a donc mesuré ces courants en 6 points entre décembre 2008 et juillet 2009.

Les courants qui ont tous été enregistrés dans la tranche d'eau de 5 à 10 mètres sont généralement assez faibles (de l'ordre de 0,2 noeud) ce qui rend toute interprétation délicate, notamment les déterminations d'écarts type ou de direction. Il n'a pas été noté de phénomène de renverse des courants.

##### **Mesures de courant à Vairao (S200907500)**

Ces travaux ont été traités avec les mesures de marée effectuées également à Vairao, voir § 2.3.5 ci-dessous.

##### **Mesures de courant dans la passe d'accès à la baie de Cook sur l'île de Moorea (S201002100)**

La station de pilotage des îles de la Société (SPIS) avait souhaité disposer de mesures de courant à l'entrée de la passe Avaroa à Moorea, passe qui dessert la baie de Cook. En conséquence, le GOP a procédé au mouillage d'un profileur de courant du 22 mars au 3 juin 2010 dans la passe Avaroa, et d'un marégraphe à l'observatoire de Papetoai. Le courant atteint 0,6 à 0,8 noeud.

#### 2.3.5 Mesures de marégraphie

##### **Travaux d'opportunité de marégraphie à Vairao à Tahiti (S200907500)**

Les travaux prescrits permettaient d'une part la mise à jour de l'observatoire de marée (fiche de 1974) et s'inscrivaient d'autre part dans le cadre de l'expertise que le GOP apportait aux organismes de l'État (direction de la protection civile (DPC) du Haut commissariat - laboratoire de géophysique du commissariat à l'énergie atomique (CEA/LDG) - université de Polynésie française (UPF)) en charge de la définition du réseau local de surveillance du niveau de la mer face à l'aléa tsunami ou du programme d'étude du niveau moyen de la mer à long terme.

Il s'agissait à l'origine d'assurer le calage d'un capteur de pression marégraphique installé à titre expérimental par l'UPF sur l'emprise maritime du centre océanologique du Pacifique de l'Ifremer à Vairao. Ce capteur marégraphique de faible coût aurait alors été intégré par l'UPF dans le programme d'étude du niveau moyen de la mer à long terme. L'Ifremer mettant à l'eau au même moment un courantmètre, l'opportunité était saisie par le GOP de mouiller l'un des siens à des fins d'intercomparaison.

Malheureusement, le capteur de pression de l'UPF et le courantmètre de l'Ifremer n'ont pas ou mal fonctionné. En conséquence, les travaux, réalisés du 22 octobre au 15 décembre 2009, s'en sont trouvés réduits à :

- effectuer des observations de marée sur presque 8 semaines ;
- mettre à jour l'observatoire de marée, ce dernier n'ayant plus de repère existant que son repère de tirant d'air : cet observatoire devrait être utilisé pour y implanter une station de surveillance du niveau de la mer au second semestre 2010 ;
- effectuer des mesures de courant au point fixe.

Les mesures de courant, acquises initialement à des fins d'intercomparaison, ont été déterminées dans la tranche d'eau de 10 à 15 m, à l'immersion du profileur de l'Ifremer. Elles n'apportent donc pas d'éléments significatifs quant aux courants de surface habituellement recherchés par le SHOM (5 à 10 m) pour la navigation. Un dossier de courant a néanmoins été rédigé. Les courants sont très faibles et globalement inférieurs à 0,2 noeuds.

#### 2.3.6 Travaux d'hydrographie militaire à Hao

##### **Travaux de détection d'obstructions à Hao (S200806400)**

A la demande du COMSUP PF du 21 mai 2008, dans le cadre des travaux de réhabilitation des sites du CEP, le GOP a préparé un levé de détection de superstructures immergées dans l'atoll de Hao qu'il devait conduire en juin avec la vedette du COMSUP Mer comme porteur d'opportunité.

Ces travaux ont finalement été exécutés du 20 au 29 août 2008 à partir de la vedette du COMSUP Mer. L'essentiel des échos détectés correspond à des obstructions naturelles non pertinentes (patates de corail). Trois échos (ou groupes d'échos) non naturels ont toutefois été identifiés et ont fait l'objet de fiches d'obstructions.

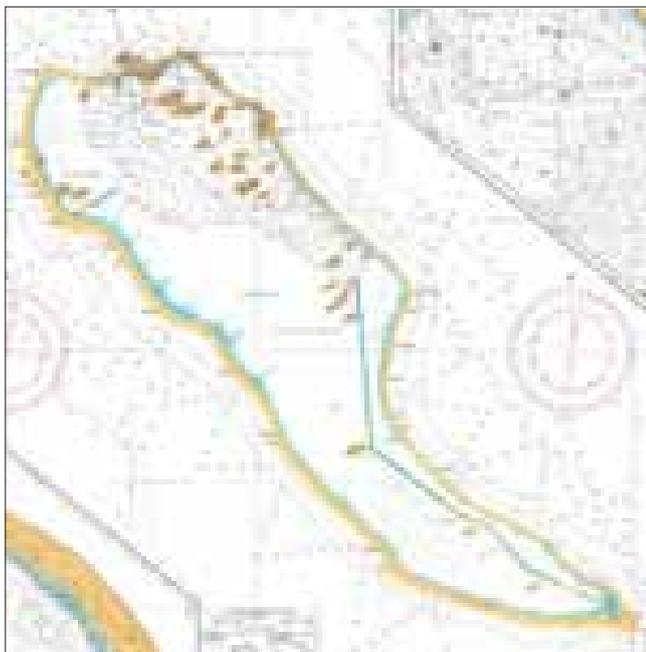
##### **Travaux hydrographiques sur l'atoll de Hao (S200900300)**

L'objectif de ce levé d'hydrographie militaire, sollicité par le COMSUP PF, était de déterminer des chenaux d'accès vers 2 motus (Nake et Faratahi) situés en zone non hydrographiée sur la carte marine 7281. Ces chenaux ne devaient être empruntés que dans le cadre des travaux de dépollution.

Les travaux, réalisés du 11 au 23 mai 2009, n'ont pas été achevés, mais des chenaux ont été initiés. Ces chenaux ne constituent pas à proprement parler des voies recommandées puisqu'ils ne sont pas totalement sains (présence de hauts-fonds sur leur tracé). Il conviendrait d'ailleurs pour la sécurité de la navigation que les autorités responsables du démantèlement balisent ces hauts-fonds pour la durée des travaux.

La géomorphologie des fonds n'a pas permis de s'écarter des axes préalablement retenus, d'autres hauts-fonds encadrant systématiquement les chenaux. Les conditions de réalisation du levé ont été très difficiles (météo agitée et navire de soutien très éloigné des zones de sondage conduisant à plusieurs heures de transit).

Un seuil de navigation à 3,70 m a été défini sur certaines portions de chenal en fonction du tirant d'eau d'un CTM au standard plageage, des conditions du levé et du seuil de recherche retenu. Le levé est présenté ci-dessous avec un extrait de la carte marine 7281 :



La poursuite de ce levé n'a pas été possible en 2010 car le COMSUP PF n'a pas souhaité apporter son soutien au GOP pour achever les travaux via la mise à disposition de la vedette de servitude du *Revi* et du soutien du *Revi* (transport, hébergement, sécurité...) par exemple.



« Décollage » du bord du RR *Revi*

## Travaux hydrographiques à Tapuaerahaa en presqu'île de Tahiti

Ces travaux d'hydrographie militaire devaient permettre de vérifier que la baie de Tapuaerahaa pouvait accueillir en toute sécurité de très grosses unités de la marine américaine avec laquelle le COMSUP PF entretenait des relations régulières. Bien que la baie ait déjà accueillie des navires de forts tonnages, notamment le paquebot France, il conviendrait d'effectuer un levé hydrographique complet permettant d'assurer la sécurité de la navigation, mouillage du navire et liaison avec la terre pour le débarquement des marins. Les travaux étaient planifiés en septembre 2010 selon les instructions techniques n°078 SHOM/DO/MIP/DTI/NP du 21/05/2010.

### 2.4 Divers

#### 2.4.1 Travaux hydrographiques à Vanikoro (S200805100)

Dans le cadre de la mission « La Pérouse 2008 » et afin de sécuriser les travaux du P400 *La Glorieuse* et du BATRAL *Dumont d'Urville*, des travaux hydrographiques sur Vanikoro ont été conduits pour acquérir la connaissance hydrographique suffisante de la passe du Bruat au mouillage de Paeu. Ils ont été réalisés du 28 avril au 16 mai 2008 (directorat précédent) à l'aide de la coralline et avec le soutien du P400 *La Glorieuse*.

Ce levé a nécessité quelques compléments et reprises de lots en janvier 2009, en particulier pour définir la zone complètement hydrographiée du fait que le sonar à balayage latéral, en panne, n'avait pu être mis en œuvre pendant le levé. L'insonification totale a été assurée par sondage au sondeur vertical EA400.

#### 2.4.2 Travaux à Clipperton (S200900100)

En 2006 et au premier semestre 2007, le Haut-commissaire de la République en Polynésie française et le commandant de la zone maritime Pacifique souhaitaient renforcer la présence française à Clipperton, notamment en permettant aux navires de la marine de naviguer et mouiller en toute sécurité aux abords de l'île. Le GOP a ainsi conduit un levé marégraphique en mouillant consécutivement à 6 mois d'intervalle deux marégraphes sur Clipperton avec le concours actif de la FS *Prairial*. La situation politique ayant changé entre temps – désormais tout pêcheur mexicain le demandant obtient une licence de pêche dans les eaux de Clipperton – la FS n'était pas retournée sur zone depuis mars 2007. Le second marégraphe a été récupéré en novembre 2008 par la FS *Prairial* lors de sa mission de surveillance dans ces eaux.

Les données de marée n'ont pu être traitées que sommairement du fait que sur la première période le marégraphe a subi un renversement, que les repères de l'observatoire ne sont pas pérennes et qu'aucune mesure de pression atmosphérique n'était disponible. Lors de prochaines mesures de marée à Clipperton, il est souhaitable que des hydrographes participent à la mission pour installer des repères de nivellement pérennes, ce qui n'a pas été possible à l'occasion des déplacements en 2006, 2007 et 2008.

La venue d'un bâtiment hydrographique dans le Pacifique devrait être l'occasion de réaliser des mesures hydrographiques à Clipperton afin de compléter les informations disponibles et définir un mouillage utilisable par les navires de la marine nationale. Ces informations sont indispensables à l'amélioration de la connaissance, en particulier lors de catastrophe comme lors de l'échouage du chimiquier *Sichem Osprey* en février 2010.

Bien qu'envisagé, il n'a pas été possible de retourner sur l'île de Clipperton en 2010 à la suite de l'échouage du *Sichem Osprey*.

#### 2.4.3 Travaux d'expertise pour l'implantation et le maintien des réseaux marégraphiques

Le SHOM a d'abord apporté son concours en terme d'expertise pour la sélection de matériel et pour la définition de l'implantation des observatoires marégraphiques permanents en Polynésie française, principalement au profit du service de la sécurité civile du Haut-commissariat de la République et de l'université de Polynésie française. Le GOP a contribué très activement à ce concours en analysant les offres de matériels, en apportant des éléments de spécification (cahier des charges de l'instrumentation, cahier des charges de l'abri), en recettant le matériel de marégraphie, en installant les équipements, en les maintenant et en assurant une animation des partenaires du projet (sollicitations, relances...).

En Polynésie française, le GOP a supervisé en septembre 2008 la construction du premier abri à Tubuaï, a initié la construction du second abri à Rangiroa en novembre 2008. Le GOP a réalisé l'installation du premier site en décembre 2008 à Tubuaï et le deuxième à Rangiroa en février 2009. Une station permanente a été mise en place à Nuku-Hiva (complément d'équipements) en juin 2009, et une autre a été installée en mai 2010 à Huahine. Ces installations seront poursuivies en 2010, 2011 et au delà (Vairao à Tahiti, Gambier, Tuamotu centre) afin de disposer d'au moins deux marégraphes par archipel.

En Nouvelle-Calédonie, le dispositif s'est mis en place entre 2008 et 2010, modéré par la direction de la sécurité civile qui ne souhaitait engager le projet que lorsque tous les financements seraient en place. Le SHOM a proposé officiellement son soutien pour l'entretien d'un système d'alerte aux tsunamis sur la composante marégraphique en juillet 2008. Les crédits de la Nouvelle-Calédonie (subvention) et ceux de la DÉGÉOM ont été mis à disposition au premier semestre 2010. Deux marégraphes pour Lifou et Maré ont été acquis en mai 2010 ; deux autres devaient être commandés pour Ouinné et Thio en août 2010. La Nouvelle-Calédonie a été approchée pour participer au maintien en condition opérationnelle dès que des sites auront été équipés.

A Wallis et Futuna, le projet s'est concrétisé en 2010 par une convention entre le secrétariat permanent pour le Pacifique (SPP), l'antenne de l'agence française de développement (AFD) à Nouméa et le Haut-commissaire de la République (HCR) signée le 13 août 2010. L'achat de deux marégraphes et de deux GPS permanents a été lancé, ainsi que la préparation de la construction de l'abri sur le quai de Léava à Futuna. Celui de Wallis a dû être différé en raison de troubles sociaux qui retardaient l'accession au foncier qui appartient aux coutumiers ; l'abri devrait être installé sur l'extension du quai de Mata Utu dont les travaux devaient débuter en octobre 2010.

Des conventions générales pour chaque bassin ont été initiées pour traiter de l'installation et de la maintenance des marégraphes permanents. Ces conventions devaient être signées avant fin 2010.

#### Travaux d'opportunité de marégraphie à Fare Ute à Papeete (S200808000)

Ces travaux ont été conduits en septembre 2008 pour intégrer le marégraphe permanent (radar, échelle et capteur de pression) de Papeete installé par l'université d'Hawaii : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=pape> dans la fiche d'observatoire de marée de Papeete. Cela a été l'occasion de vérifier l'observatoire de marée et d'effectuer une vérification métrologique du marégraphe permanent.

#### Tubuaï (S200807400)

Du 1<sup>er</sup> au 8 décembre 2008, le GOP a installé un nouveau marégraphe permanent sur l'île de Tubuaï, dans l'archipel des Australes. L'installation physique de ce marégraphe permanent, associé à un capteur GPS de grande précision, s'est accompagnée des travaux de géodésie et de marégraphie nécessaires à définir un observatoire permanent de marée. Les données sont accessibles sur le site Internet de l'IOC : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=tubua>



Opération de nivellement sur le toit de l'abri du marégraphe à Tubuaï



Fixation d'une échelle de marée

### Rangiroa (S200900400)

Du 23 février au 3 mars 2009, le GOP a installé un marégraphe permanent sur l'atoll de Rangiroa, dans l'archipel des Tuamotu. La station est composée d'un marégraphe radar, d'une échelle de marée, d'un GPS de synchronisation temporelle, d'un système de transmission de données, associé à un capteur GPS de grande précision. Elle a été complétée en 2009 d'un marégraphe à capteur de pression. L'installation physique de ce marégraphe permanent s'est accompagnée des travaux de géodésie et de marégraphie nécessaires à définir un observatoire permanent de marée. Les équipements de la station marégraphique ont été acquis par l'université de Polynésie française.



Capteur radar du marégraphe installé à Rangiroa



Station marégraphique de Rangiroa installée sur un abri :  
- radar extérieur  
- panneau solaire, antenne Yagi et antenne GPS sur le toit de l'abri

Cette station marégraphique a été également intégrée dans le programme d'étude du niveau moyen de la mer à long terme. Les données sont accessibles sur le site Internet de l'IOC : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=rangi>

### Nuku-Hiva (S200903500)

Du 22 au 28 juin 2009, le GOP a complété l'installation existante en installant une échelle de marée et un capteur GPS de grande précision à Nuku-Hiva, dans l'archipel des Marquises. Ce dernier est associé au marégraphe radar permanent installé en 2007 par l'université de Hawaï pour constituer la station d'alerte tsunami à Nuku-Hiva.

L'installation physique du capteur GPS s'est accompagnée des travaux de géodésie et de marégraphie nécessaires à définir un observatoire permanent de marée.

Cette station marégraphique a été également intégrée dans le programme d'étude du niveau moyen de la mer à long terme. Les données sont accessibles sur le site Internet de l'IOC : <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=nuku>

Les travaux du GOP ont consisté en :

- l'intégration du capteur GPS et d'une échelle de marée ;
- les tests de bon fonctionnement et la validation métrologique des mesures des différents capteurs ;
- la mise à jour de la fiche d'observatoire de marée : les repères existants ont été contrôlés et de nouveaux repères géodésiques leur ont été rattachés pour constituer une empreinte géodésique locale de qualité.



Au cours d'un nivellement



Préparation d'une station d'observation GPS

### Huahine (S201003600)

Du 30 avril au 6 mai 2010, le GOP a installé à Huahine une station légère de surveillance du risque tsunami composée seulement d'un capteur de pression et d'une échelle de marée. Bien qu'opérationnelle, cette station devrait être déplacée après la fin de la réfection du quai principal de Fare à Huahine pour disposer d'un quai stable, à l'écart de l'embouchure d'une rivière, et d'un abri permettant de stocker les équipements scientifiques et de réduire le risque des dégradations naturelles ou intentionnelles. Les données sont accessibles sur le site Internet de l'IOC : <http://www.iocsealevelmonitoring.org/station.php?code=huahi>



Station marégraphique de Huahine : coffret d'acquisition, panneau solaire et antenne Yagi de transmission vers satellite géostationnaire

### Maintenance à Tubuai (S201000100)

Du 25 au 29 janvier 2010, le GOP a effectué un complètement des installations et un MCO de la station marégraphique permanente de l'île de Tubuai, dans l'archipel des Australes.

Sur l'ensemble des travaux à réaliser, seul le test de Van de Castele n'a pu être mené en raison d'une forte houle en cette période de l'année. Les équipements complémentaires de la station marégraphique (capteur de pression et antenne Yagi défectueuse) ont été installés, la fiche d'observatoire de marée a été mise à jour et des repères géodésiques ont été contrôlés.

Le chef du service logistique du GOP a dû retourner à Tubuai le 19 juillet 2010 pour changer l'antenne Yagi de transmission temps réel des données qui a été endommagée par des vandales ; du barbelé a été installé pour empêcher l'accès au toit de l'abri.

### Maintenance à Papeete (S201004000)

La maintenance réalisée le 1<sup>er</sup> mars 2010 a consisté en un test de Van de Castele permettant de comparer les mesures de la station permanente avec des mesures à l'échelle de marée.

Le contrôle confirmait la cohérence métrologique des équipements marégraphiques en place.

### Reconnaissance de sites

Le GOP a procédé entre août 2008 et août 2010 à la reconnaissance de sites où seront installés des marégraphes à Vairao, Bora-Bora, Gambier, Lifou, Maré, Hienghène, Touho, Thio, Ouinné, Wallis et Futuna.

Ces reconnaissances ont fait l'objet de comptes rendus détaillés.

### Connexion à Internet du MCN de Nouméa

Le MCN installé par le SHOM à Numbo (via une convention SHOM – DITTT, IRD) est exclusivement exploité par le SHOM en temps différé. La possibilité d'exploiter en temps réel les mesures a été étudiée sur la période, ce qui facilitera la communication de l'information de hauteur d'eau à Nouméa notamment à l'occasion d'une alerte tsunami qui nécessitait jusqu'à présent la présence d'un agent du SHOM pour relever les hauteurs d'eau lors d'une alerte.

L'analyse a été menée, et la connexion à Internet a été proposée. Des discussions étaient en cours en août 2010 avec la DITTT et la DTSI pour connecter le MCN au réseau Internet du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, de telle manière que le SHOM puisse récupérer les données via les protocoles TCP/UDP<sup>7</sup>. La liaison est devenue opérationnelle le 7 octobre 2010.

<sup>7</sup> Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol (protocoles de transfert de messages sur l'Internet).

### 2.4.4 Soutien à l'association Fortunes de Mer Calédoniennes

Le GOP a apporté son soutien à l'association Fortunes de Mer Calédoniennes dans le cadre de la recherche du caboteur *La Monique* qui s'est perdu entre Maré et la Grande Terre en 1953.

Un officier marinier a participé aux essais et à une première sortie en mer en mai 2010, à bord du NO *Alis* de l'IRD qui dut être annulée en raison d'une anomalie sur le câble du sonal mis en œuvre. Une nouvelle tentative devait avoir lieu à partir du 8 août 2010.



*Sonal mis en œuvre pour la recherche du caboteur La Monique*



*Explications sur la mise en œuvre des équipements scientifiques*

### 2.4.5 Contribution à l'acquisition et à la diffusion de l'information nautique

Le GOP a contribué de façon continue à la mise à jour des IN K10 et K11.

L'instruction permanente de recueil, traitement et diffusion de l'information nautique en Nouvelle-Calédonie a été revue en mars 2010 grâce au soutien du département informations nautiques du SHOM. Ceci a permis de préciser le fonctionnement du MRCC<sup>8</sup> (fonction *coordonnateur national délégué* du délégué du gouvernement pour l'action de l'État en mer).

<sup>8</sup> Maritime Rescue Coordination Center (centre opérationnel de surveillance et de sauvetage en mer).

En Polynésie française, la mise à jour de l'instruction permanente de recueil, traitement et diffusion de l'information nautique n'était pas achevée en août 2010.

En préalable à une réunion de concertation des commandants de zone maritime en juin 2010, le GOP a effectué un rapide bilan des points durs en matière d'information nautique, particulièrement en Polynésie française :

- meilleur contrôle de l'information nautique diffusée :
  - barge de la société Total à Papeete : la position diffusée était erronée situant la barge à terre ;
  - passe Farerea à Huahine : suite à des travaux demandés par la société de pilotage des îles de la Société, l'AVURNAV (avis urgent aux navigateur) proposé par la subdivision des phares et balises faisait porter deux bouées balisant l'entrée du chenal à de fausses positions. La bouée sud était au nord du chenal sur le platier et la bouée nord était bien au nord, à 1 000 m de sa position réelle et au milieu d'un platier. Au bilan, 14 jours seront nécessaires pour certifier les positions et diffuser un nouvel avis correct ;
- amélioration de la diffusion de l'information :
  - chenal de Faaa à Punaauia à Tahiti : à l'été 2008, la subdivision des phares et balises a lancé un vaste programme de réfection du balisage dans le chenal en remplaçant tout ou partie notamment des balises par des bouées. Ces travaux importants, qui se sont étalés sur plusieurs mois, n'ont été diffusés qu'en fin de chantier (en mai 2009), soit près d'un an après le début des modifications, bien que cette information soit particulièrement critique pour le navigateur ;
  - Bora-Bora : l'alignement d'entrée était mal positionné sur la carte marine depuis toujours suite à une erreur de position des phares et balises. Physiquement il faisait passer plus large que sur la carte marine, confortant le navigateur dans des eaux plus saines. Une investigation permettra de constater que de nombreux bâtiments qui ont constaté l'anomalie ont omis de la faire remonter. A la suite, le GOP a produit deux rappels à la réglementation repris par le CZM à l'intention notamment des navires de la marine.

De plus, on déplorait régulièrement l'absence de transmission d'informations nautiques par les navigateurs mais aussi par les professionnels en charge de la gestion et l'entretien de certaines infrastructures de navigation (port autonome de Papeete, subdivision des phares et balises, CHPF, services du territoire effectuant des travaux hydrographiques pour leurs propres besoins...). Le GOP a profité de toutes les occasions pour rappeler aux uns et aux autres la nécessité et l'obligation de transmettre ces informations au SHOM.

Pour améliorer la qualité de l'information transmise, il a été proposé de citer la source de l'avis aux navigateurs, à l'instar de ce qui est réalisé pour le groupe d'avis aux navigateurs (GAN), pour :

- valoriser le travail de compilation ou simplement de communication réalisé ;
- sans doute aussi favoriser la justesse de son contenu car une erreur ne serait plus anonyme et un effet d'autocontrôle pourrait en être généré ;
- permettre d'établir des statistiques sur l'information : qualité, pertinence, fréquence..., paramètres importants dans un contexte où le processus de recueil et de traitement de l'information nautique n'était pas toujours mature.

Par ailleurs, les commissions hydrographiques qui se sont réunies en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie ont été l'occasion de rappeler que l'information nautique est l'affaire de tous et au bénéfice de tous les navigateurs, et notamment des autorités qui entérinent des autorisations d'emprise sur le domaine public maritime.

Enfin, le GOP a sollicité en février 2009 les commissions de toponymie des provinces de la Nouvelle-Calédonie pour qu'elles proposent une critique des toponymes portés sur les cartes marines et fassent des suggestions. Ces commissions existaient officiellement, mais n'étaient plus actives depuis 20 ans. Il revient à la Nouvelle-Calédonie de prendre les dispositions nécessaires pour des propositions de modification de la toponymie.

### 3. ORGANISATION, MOYENS

L'organisation interne et les moyens du GOP se sont développés entre 2008 et 2010 :

- abandon par la Polynésie française de la logique mixte de la CHPF au profit d'une structure polynésienne, puis un refus de soutenir l'activité du SHOM en Polynésie française ;
- confirmation de la nécessité de polyvalence pour le personnel (mise en place des équipements, utilisation des divers matériels et logiciels) ;
- mise en oeuvre de porteurs d'opportunités afin de pallier aux manques de moyens nautiques en Polynésie française (location d'une embarcation pour un levé à Bora-Bora, utilisation de la vedette de servitude du *Revi* à Hao, à Moorea) et à Wallis et Futuna (utilisation d'une embarcation de service des phares et balises) et considérant la difficulté d'acheminer nos propres porteurs par moyen militaire ;
- acquisition d'une vedette (*Equinox*) par la DITTT mise à disposition du GOP à temps plein à partir de janvier 2009 mais qui a nécessité une mise au point étalée jusqu'en juin 2010 ;
- lancement de la procédure d'acquisition d'une embarcation pour l'antenne du GOP en Polynésie française en juillet 2010 ;
- affectation de deux techniciens hydrographes calédoniens formés à l'école des hydrographes ;
- attribution de nouveaux matériels en géodésie, en informatique et sonal mettant le GOP à un bon niveau matériel ;
- fourniture d'un système d'hydrographie déployable en Polynésie française.

#### 3.1 Organisation

Le GOP, organiquement rattaché au directeur général du SHOM, était réparti sur deux implantations permanentes, l'une à Nouméa et l'autre à Papeete. Ces deux implantations possédaient chacune un plan d'armement et un code unité propre. Il s'agissait de la base hydrographique de Nouvelle-Calédonie (BHNC), basée à Nouméa (code unité 19404) et de la base hydrographique de Polynésie française (BHPF) basée à Papeete (code unité 19403). Lors du passage en EPA, ces bases ont été conservées pour faciliter l'affectation administrative des personnels mais leur sens a été précisé : il s'agissait exclusivement d'unités administratives.

Le GOP disposait de trois services organiques, relevant directement de l'autorité du directeur de groupe : le service logistique, en charge de la préparation des moyens nécessaires à l'exécution des levés et à la vie courante de l'ensemble du GOP, et les services hydrographie de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie française, en charge de la préparation de l'information (documentation, données) et du personnel hydrographe nécessaire à la bonne exécution, rédaction et validation des levés en Nouvelle-Calédonie et à Wallis et Futuna d'une part, en Polynésie française d'autre part.

Le GOP disposait d'une chaîne opérationnelle par échelon. Cette chaîne opérationnelle s'appuyait sur les moyens mis à sa disposition par les services organiques (SLOG, SHNC, SHPF)<sup>9</sup>, permettant de conduire (préparer, exécuter, rédiger, contrôler, valider) les levés hydrographiques conformément au programme du GOP. Par ailleurs, l'adjoint opération hydrographique représentait le directeur technique pour coordonner et vérifier dans chaque échelon la qualité des travaux d'exécution et de rédaction.

### 3.2 Personnel

L'effectif théorique du GOP au 1<sup>er</sup> août 2010 était le suivant, en distinguant leur affectation physique :

	<b>BHNC</b>	<b>BHPF</b>
Officiers	1 ingénieur (DDG)	1 ingénieur (CSL)
Officiers mariniers	7 (dont 4 hydrographes)	4 (dont 2 hydrographes)
Equipage	0	1
Total	8	6
	14 (+ 3,2)	

DDG directeur du groupe  
 CSL chef du service logistique

Cet effectif était complété de personnels territoriaux de Nouvelle-Calédonie : 1 (secrétaire) sur l'ensemble de la période, 1 (hydrographe) affecté au 1<sup>er</sup> août 2007 et 1 (hydrographe) affecté au 1<sup>er</sup> octobre 2008. Par ailleurs, un officier marinier hydrographe réserviste complète l'effectif de la BHPF à hauteur de 30 jours par an.

En Polynésie française, ce faible effectif restait adapté aux missions à réaliser sur la période. Toutefois, le renforcement du rôle du SHOM dans la réalisation des travaux d'hydrographie en Polynésie française, la poursuite de l'installation et de la maintenance des marégraphes du réseau de surveillance des tsunamis, l'acquisition de matériels hydrographiques projetables nécessitait à court terme un renforcement des moyens consacrés à l'hydrographie (au sens large) en Polynésie française. Toutefois, cela n'aurait de sens que si des moyens nautiques étaient mis à disposition de la

<sup>9</sup> Service logistique, service hydrographie de Nouvelle-Calédonie, de Polynésie française.



*Période de réserve dans les locaux du GOP en Polynésie française*



*Personnels territoriaux*

BHPF (acquisition en cours en 2010). En Nouvelle-Calédonie, l'arrivée de techniciens hydrographes calédoniens permettait désormais de conduire des travaux en mer tout en poursuivant à terre le traitement des données acquises précédemment. La qualité des levés et leur temps de traitement s'en trouvaient donc améliorés.

En 2007, le poste de chef du service logistique avait été envisagé d'être transféré de Papeete à Nouméa avant d'être finalement maintenu à Papeete pour faciliter le fonctionnement de l'échelon polynésien. Cette option s'est montrée pertinente pour assurer à un bon niveau le rôle de représentant du directeur, mais il serait à terme souhaitable de disposer d'un ingénieur hydrographe en Polynésie française et de ramener le poste de chef du service logistique en Nouvelle-Calédonie où l'activité est plus conséquente et les moyens nautiques et scientifiques plus nombreux.

### 3.3 Locaux

A Nouméa, le GOP disposait de locaux mis à disposition par la Nouvelle-Calédonie dans le cadre de la convention de partenariat. Ils se répartissaient entre des bureaux, un atelier, un hangar à bateau. L'entretien et la gestion de ces locaux étaient assurés par la DITTT, même s'il était parfois difficile de formaliser ce soutien et d'assurer le suivi des demandes et prestations. Ces locaux étaient bien adaptés au format et à l'activité du GOP en Nouvelle-Calédonie. En août 2010, certaines demandes initiées en août 2008 n'avaient toujours pas été satisfaites, la Nouvelle-Calédonie éprouvant quelques difficultés à répondre aux demandes de soutien du GOP.



*Panneau d'entrée du site du GOP en Nouvelle-Calédonie (juillet 2010)*



*Salle de dessin à l'issue d'une commission hydrographique*

En Polynésie française, le GOP disposait jusqu'en octobre 2007 des locaux de la marine de Bir Hakeim. Il a ensuite déménagé en ZRN dans des locaux mis à disposition en urgence par la base navale suite aux difficultés de fonctionnement avec la Polynésie française mis en évidence à cette époque : ces locaux restaient néanmoins très exigus et ne disposaient pas de salle de dessin. Ils permettaient d'accueillir le bureau du chef du service logistique, un bureau avec le chef de service hydrographie

et l'OMH programmeur et une pièce pour le secrétariat, le serveur et les personnels du service logistique.

Par ailleurs, depuis octobre 2007, le GOP disposait de l'accès aux nouveaux locaux de la CHPF à Motu Uta. Une partie des matériels de la salle de dessin de Bir Hakeim y avait été déménagée. Néanmoins, alors qu'il était envisagé d'y déménager totalement, les conditions de fonctionnement ont vite empêché de pouvoir y travailler.

En juin 2009, le GOP a définitivement retiré tous ses équipements de Motu Uta marquant le refus de la Polynésie française de soutenir le SHOM. En contre partie, après des travaux d'aménagement, le GOP a pu bénéficier en janvier 2010 de nouveaux locaux en ZRN, mis à disposition par la marine nationale, tout en conservant le local exigu reconverti en atelier. Ces nouveaux locaux comprenaient un bureau pour le chef de base, un bureau pour les deux hydrographes, une salle de 60 m<sup>2</sup> pour le personnel de la logistique avec une table à dessin, des planex, un traceur et des imprimantes. Une salle de réunion avait également pu être aménagée. Le GOP a bénéficié des soutiens efficaces de la base navale et de l'antenne polynésienne de la direction de l'infrastructure de la défense (DID) pour les travaux d'aménagement.



*Personnel de la BHPF devant les locaux exigus en ZRN*



*Local reconditionné en stockage des matériels hydrographiques (juillet 2010)*



En salle de dessin dans les locaux remis en janvier 2010



Au bureau

### 3.4 Véhicules

Le GOP était correctement doté en véhicules.

A Nouméa, le GOP disposaient de quatre véhicules : deux mis à disposition par la Nouvelle-Calédonie selon les termes de la convention de partenariat, et deux autres véhicules alloués par la défense.

A Papeete, le GOP disposaient de trois véhicules alloués par la défense, dont un a été approvisionné en janvier 2009.

### 3.5 Moyens flottants

Pendant la période considérée, le GOP a mis en oeuvre plusieurs moyens :

en Nouvelle-Calédonie :

- baliseur polyvalent *Louis Hénin*, mis à disposition à hauteur d'un potentiel de 60 à 80 jours par an (50 à 90 jours par an à partir de mars 2009) ;
- baliseur *Eugène Morignat*, mis à disposition à hauteur d'un potentiel de 20 à 30 jours par an ;

- vedette *Chambeyron* allouée au GOP ;
- plate en aluminium *Equinoxe* allouée au GOP, livrée en février 2009 et aménagée en octobre 2009, puis modifiée en juin 2010 pour résoudre un problème de bullage ;

en Polynésie française :

- vedette de l'amiral notamment utilisée à Hao ;
- vedette de servitude du RR *Revi* ;
- embarcation du GSMA à Hao et du service des phares et balises à Wallis ;
- embarcation louée localement à Bora-Bora.

Le personnel du GOP a aussi embarqué sur des bâtiments d'opportunité : BATRAL *Jacques Cartier*, RR *Revi*, vedette d'autorité du COMSUP Mer PF. Bien que très utiles, ces moyens ne sont évoqués ici que pour mémoire.

#### 3.5.1 Navires

##### Adéquation aux missions

Le *Louis Hénin*, dont la première mission d'hydrographie date de mars 2005, a démontré depuis sa capacité technique à assurer des missions d'hydrographie. Toutefois, offrant trop peu de places aux personnels du SHOM (3 voire 4 places pour 8 personnels d'équipage) et de trop faible rayon d'action dû à une faible autonomie (10 jours d'eau et de vivre, pour 5 jours initialement spécifiés), le *Louis Hénin* rendait des chantiers aux îles Belep mais aussi aux îles Loyauté complexes à réaliser, et impossibles aux Chesterfield ou aux Surprises... Il restait néanmoins le principal bâtiment mis à disposition du GOP.

L'*Eugène Morignat* était employé depuis plus longtemps et avait permis d'hydrographier de grandes voies recommandées dans le nord et aux abords de Nouméa avant la mise en fonction du *Louis Hénin*. Ce petit catamaran, aux conditions de vie très sommaires, était manoeuvrant et répondait bien aux attentes en terme d'hydrographie côtière. Depuis 2008, il a été utilisé annuellement pour des travaux d'hydrographie principalement aux abords de Nouméa, ce qui a permis de conserver le savoir faire des personnels du GOP et de l'équipage.



*Louis Hénin* au mouillage



*Louis Hénin au bassin (février 2010)*

### Gestion

Ces deux porteurs étaient armés par un équipage de la Nouvelle-Calédonie et gérés par le service des phares et balises. Les levés étaient définis par le directeur et directeur technique du GOP (activités, chronologie en fonction d'un souci de meilleure efficacité) et les commandants assuraient, dans un bon esprit, la mise à disposition de leur navire dans le respect des contraintes de sécurité et logistiques.

L'activité intense de 2009 a amené le service des phares et balises à préciser la notion de jour du baliseur. En fait, il s'agissait d'une période de 8 heures de navigation ou de temps passé au mouillage en raison des intempéries. Un transit de 24 heures était ainsi comptabilisé comme 3 jours de baliseur !

### Disponibilité

Ni le *Louis Hénin* ni l'*Eugène Morignat* n'ont eu d'indisponibilité pour raison mécanique.

#### 3.5.2 Embarcations

Le GOP disposait pendant la période :

- de la vedette *Chambeyron*, moyen mis à disposition par la Nouvelle-Calédonie à temps complet depuis 2002 ;
- de deux corallines 18 pieds à Nouméa et Papeete, dont l'usage hydrographique avait été interdit pour raison de sécurité par le directeur du GOP en juillet 2008 et dont le déclassement a été initié en décembre 2008 et a abouti en 2009 ;
- d'une plate en aluminium *Equinoxe* mise à disposition par la Nouvelle-Calédonie à temps complet, livrée en février 2009 et pour laquelle de nombreux travaux d'adaptation ont été nécessaires jusqu'en juin 2010 (aménagements hydrographiques, bulles générées par la coque...) ;
- de deux vedettes hydrographiques de 8 mètres (VH8) de l'*Arago*, inutilisées depuis 2006 et inutilisables, mais pour lesquelles les opérations de déclassement, reprises au premier semestre 2009, ont enfin abouti en juillet 2010.

Préparée au premier semestre 2010, l'acquisition d'une petite embarcation pour le GOP en Polynésie française, en remplacement d'une coralline, fut lancée en août 2010 par la



*Chambeyron en sondage en baie de Népoui*



*Equinoxe en essais (janvier 2009)*

DICOM, avec un objectif de livraison fin 2010 ou début 2011. Cette embarcation doit permettre au GOP de disposer d'un moyen propre d'effectuer des levés bathymétriques côtiers.

La vedette *Chambeyron* a été mise en œuvre au départ de Nouméa avec les moyens propres du GOP ou à partir du *Louis Hénin* sur lequel elle était transportée. Elle a également été transportée par le BATRAL *Jacques Cartier* à Wallis en février et mars 2009. Elle répondait parfaitement aux besoins. Cette vedette était soumise à la réglementation des affaires maritimes en Nouvelle-Calédonie :

- nécessité de titres de navigation et de sécurité pour la vedette,
- nécessité du certificat restreint de radiotéléphonie pour le personnel mettant en œuvre la VHF.

Le renouvellement des titres a dû être géré par le GOP bien que ces embarcations fussent propriété de la Nouvelle-Calédonie. Ces titres de navigation et de sécurité étaient échus en avril 2008. Des actions ont débuté en novembre

2008 pour les renouveler, mais ont nécessité une refonte de l'installation électrique de la VHF, un couplage sur le GPS de la vedette et la fourniture d'un plan électrique. Les affaires maritimes ont toutefois établi un permis du 24 février au 21 mars 2009 pour permettre d'effectuer les travaux hydrographiques à Wallis dans le respect de la réglementation.

### 3.5.3 Embarcations d'opportunité

Enfin, le GOP a utilisé des embarcations d'opportunité mises à disposition par le service des phares et balises de Wallis et Futuna, par la marine nationale (vedette de servitude du *Revi*, vedette de l'amiral), le GSMA ou louées localement pour des levés réalisés dans la période de ce rapport. Même si cela nécessitait d'équiper complètement un porteur non spécialisé (sondeur, système de localisation et d'acquisition), cette solution s'est montrée efficace et peu contraignante au vu d'autres contraintes de disponibilité de porteurs plus lourds. Elle assurait une plus grande souplesse d'action et une meilleure capacité de projection, d'autant mieux adaptée que le GOP devait être équipé dès 2010 d'un système d'hydrographie déployable. Néanmoins, l'emploi de telles embarcations nécessitait des adaptations coûteuses, en temps à défaut de budget, et des vérifications météorologiques précises et qui ne pouvaient pas être amorties sur plusieurs levés. Lors de la location d'embarcation, les budgets nécessaires étaient à planifier très en amont.



*Vedette du service des phares et balises de Wallis et Futuna à couple de Chambeyron*



*Plongeurs à bord du zodiac du GOP*



*RR Revi lors de travaux hydrographiques à Hao*



*Installation d'un câble sonar à bord de la vedette de l'amiral lors de travaux à Hao*

## 3.6 Matériel

On s'est limité ici aux évolutions notables, et aux principaux problèmes rencontrés.

### 3.6.1 Localisation

Le SHOM disposait de plusieurs systèmes de géoréférencement des données recueillies, que ce soit en mer ou sur terre. Parmi ces systèmes, le GOP a utilisé :

- le Z XII de la société Ashtech (en fin de vie), occasionnellement employé pour déterminer des points statiques ;
- l'Aquarius 5002 de la société Thales Navigation (déclaré obsolète par la société le 1<sup>er</sup> janvier 2006) : ces équipements ont été remis définitivement en juillet 2010 ;
- le système 1200 de la société Leica Geosystems.



*Z XII en station à Bora-Bora*



*Système Leica utilisé lors d'une topographie de haut de plage*

Le service de positionnement et de géodésie du GOP s'appuyait désormais essentiellement sur les systèmes Leica 1200 disponibles à raison de 3 couples en Nouvelle-Calédonie et 2 couples en Polynésie française. Un récepteur supplémentaire de secours a été demandé pour assurer l'autonomie du GOP dans ce domaine critique.

Conformément aux déploiements définis pour les GHO, le GOP a reçu :

- des kits étanches pour Leica : cette option sera particulièrement intéressante pour les levés de plageage réalisés dans le Pacifique ;
- des niveaux numériques dernière génération DNA03 (action en cours en Nouvelle-Calédonie mi 2010) ;
- une station totale par échelon : il n'y avait en août 2010 que des balbutiements d'utilisation de cet équipement.

### 3.6.2 Informatique

Les serveurs du GOP à Nouméa et à Papeete avaient été renouvelés en décembre 2006 et en novembre 2007. Ils

apportaient plus de facilité pour stocker de gros volumes de données et pour gérer leur archivage. Toutefois, aucune redondance n'était disponible.

En conséquence, une refonte du cœur de réseau a été demandée par le GOP (remplacement des serveurs obsolètes, augmentation des disques de stockage).

Par ailleurs, le GOP a rencontré sur la période 2009-2010, des difficultés de production par l'absence de traceurs de secours prépositionnés dans le Pacifique.

### 3.6.3 Bathymétrie

#### **Sondeurs monofaisceaux**

Le GOP disposait de sondeurs monofaisceaux EA400 de la société Kongsberg dans les versions portables ou non. Cet équipement était facilement mis en œuvre et répondait aux besoins, en le couplant systématiquement avec l'usage du sonar à balayage latéral. L'exploitation de son échogramme enregistré directement s'est révélée indispensable pour le traitement de la sonde, en réponse aux défauts de l'échogramme enregistré sous Hypack. Des difficultés de fonctionnement ont été rencontrées avec certains ordinateurs portables (enregistrement des sondes toutes les 0,4 s environ par fonds inférieur à 15 m, alors que le sondeur émet à 0,1 s). Une configuration « double écran » (Hypack et logiciel EA400 sur le même PC) a été préconisée par le département d'ingénierie des équipements scientifiques (IES) du SHOM et donne satisfaction.

#### **Sonars à balayage latéral (sonal)**

Le sonal C-MAX a été déployé en Nouvelle-Calédonie : son utilisation au quotidien s'est révélée très concluante. Cet équipement, qui fait partie du système d'hydrographie déployable prévu pour la BHPF, devait être à terme transféré vers la Polynésie française.

Les sondages en milieu corallien impliquaient de nombreuses réparations sur les câbles sonal du GOP : l'approvisionnement en résine ad hoc ne pouvait se faire sur les territoires, et des kits ont dû venir de métropole.

Le GOP, qui ne bénéficiait pas de sondeur multifaisceau, devait disposer de sonars à balayage latéral performants, légers, robustes, de mise en œuvre et de maintenance simple. C'étaient les yeux de l'hydrographe sous l'eau, l'instrument indispensable pour assurer la sécurité de la navigation en milieu corallien.



*Sonal en navigation (photo Fortunes de Mer Calédoniennes)*



*Relevage du sonal à bord du Louis Hénin*

### Marégraphes et courantomètres

Au GOP, les marégraphes et les courantomètres ont été mis en œuvre très souvent. Le GOP a reçu de nouveaux marégraphes (Seabird SBE 26+) remplaçant progressivement les SLS 23 et OT 660 qui se trouvaient en fin de vie.



*Marégraphes OT660 après mesures à Paagoumène  
(du 14 décembre 2009 au 18 février 2010)*



*Profileur de courant Aquapro mouillé à Paagoumène*

### 3.7 Logiciels

Le principal logiciel utilisé par le GOP était Hypack pour la préparation, l'exécution, le traitement et la rédaction des levés hydrographiques. Il a évolué au cours de la période grâce aux échanges réguliers avec MGS qui a pris en compte les retours d'expérience du GOP, principal utilisateur de ce progiciel au SHOM dans ce spectre d'utilisation. Bien que perfectible, il semblait atteindre un niveau de performance cohérent avec les attentes aussi bien sur le traitement du sonal que du sondeur et sur la rédaction. L'amélioration la plus attendue restait encore la bonne gestion des données sur le disque pour pouvoir rendre plus fonctionnel et donc plus sûr certaines tâches de déplacements de fichiers qui se sont révélés cruciaux pour conserver la maîtrise des traitements conduits.

Les développements internes au GOP ont par ailleurs été suspendus, préférant la spécification de besoins vers les services de soutien de MGS.

La règle générale a consisté à respecter les fondamentaux de la gestion de configuration, notamment en n'utilisant en production que les logiciels mis en service. Certains logiciels ont ainsi été mis à disposition du GOP sans que la décision de mise en service ou décision de mise en exploitation n'ait été produite par le gestionnaire de configuration. Ces logiciels n'ont pas été utilisés.

### 3.8 Soutiens locaux

Le GOP bénéficiait du soutien administratif des bases navales de Nouméa et Papeete en matière de gestion du matériel et des personnels marine en particulier. Ce soutien a été formalisé au travers de conventions locales déclinant la convention de soutien du SHOM par le ministère de la défense :

- convention entre le SHOM et les forces armées de la Nouvelle-Calédonie relatif au soutien permanent de l'entité du SHOM en Nouvelle-Calédonie par les services du ministère de la défense (LR2009-029),
- convention entre le SHOM et les forces armées de Polynésie française relatif au soutien permanent de l'entité du SHOM en Polynésie française par les services du ministère de la défense (LR2010-001),
- contrat de service DIRISI Papeete de soutien du GOP/BHPF (LR2009-009),
- contrat de service DIRISI Nouméa de soutien du GOP/BHNC (LR2009-004).

Les relations avec les collectivités territoriales de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie française étaient définies par :

- convention de partenariat d'accompagnement de la Nouvelle-Calédonie en matière d'hydrographie (LR2009-010), en cours d'aménagement pour prendre en compte le transfert de compétence acté par la loi de pays relative au transfert à la Nouvelle-Calédonie de compétence en hydrographie (LR2010-002),
- projet de convention de coordination en hydrographie et cartographie marine entre l'État et la Nouvelle-Calédonie sur la base du transfert de compétence en hydrographie,
- convention de coordination en hydrographie et cartographie marine entre l'État et la Polynésie française (à la signature du président de la Polynésie française en juillet 2010).

Le coût du GOP pour 2008 et 2009 a pris en compte les éléments fournis par les bases navales de Nouméa et de Papeete. La Nouvelle-Calédonie a transmis en août 2010 une première évaluation du coût des moyens mis à disposition au bénéfice de l'hydrographie pour l'année 2009.

### 3.9 Qualité

#### 3.9. Audit

Les deux entités du GOP ont été auditées en juillet 2009 par une auditrice interne de la direction de la qualité, des méthodes et de la normalisation (DQMN). L'audit réalisé à Papeete puis à Nouméa a démontré l'efficacité des méthodes mises en œuvre au GOP pour exécuter ses missions.

## 4. TRAVAUX SOUS CONVENTION

Aucun levé sous convention n'a été conduit pendant la période. Des travaux qualifiés d'hydrographie civile l'ont été mais sous la forme de levés d'hydrographie générale. Les raisons sont multiples :

- volonté des présidents de la commission hydrographique de conduire certains levés du fait de leur importance stratégique (port de Vavouto, extension du mouillage de Paagoumène...);
- financement partiel de l'activité du GOP en Nouvelle-Calédonie par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie qui souhaite promouvoir le développement économique ou touristique de l'île.

Néanmoins, la commission hydrographique de Nouvelle-Calédonie, réunie en août 2010, a opté pour une facturation de travaux de contrôle du chenal de Vavouto à réaliser en 2011.



Participants à la réunion de la commission hydrographique devant le baliseur Louis Hénin et la vedette Equinoxe (février 2009)



Commission hydrographique (février 2010)

## 5. LES PARTENARIATS ÉTAT / PAYS

### 5.1 En Nouvelle-Calédonie

Le transfert de compétences de l'État à la Nouvelle-Calédonie était avant tout une démarche politique. La volonté affichée demeurait le respect strict des accords de Nouméa, comme l'avait rappelé le Premier ministre, M Fillon, le 20 décembre 2007 lors de la réunion du comité des signataires de l'accord de Nouméa.

En Nouvelle-Calédonie, le périmètre des compétences transférables a été figé lors d'un comité de pilotage présidé par le Haut-commissaire de la République en Nouvelle-Calédonie et composé des représentants des diverses sensibilités de la société civile de la Nouvelle-Calédonie, en novembre 2008 (à l'issue d'une mission d'appui d'experts). Puis il a été validé par la réunion du comité des signataires de l'accord de Nouméa en décembre 2008.

L'hydrographie dans les eaux sous juridiction de la Nouvelle-Calédonie (eaux intérieures et territoriales) devait être une capacité transférée à compter du 1er janvier 2011, même si formellement ce n'était qu'un des moyens pour assumer la responsabilité de la sécurité de la navigation. La loi de pays n°2009-10 du 28 décembre 2009 relative au transfert à la Nouvelle-Calédonie des compétences de l'État en matière de police et sécurité de la circulation maritime s'effectuant entre tous les points de la Nouvelle-Calédonie, et de sauvegarde de la vie humaine en mer dans les eaux territoriales indiquait en substance que « en matière de sécurité de la navigation, la Nouvelle-Calédonie est en charge de l'hydrographie et de la signalisation maritime dans les eaux territoriales. A ce titre, elle est notamment compétente pour assurer la responsabilité de l'exécution des travaux d'hydrographie dans les eaux territoriales [...] »

La Nouvelle-Calédonie s'était dans un premier temps préparée à ce transfert en soutenant le SHOM en application de la convention de partenariat de 2001, revue fin 2008 et signée

le 3 mars 2009. Le point marquant de cette révision a été la prise en compte du poste de secrétaire calédonienne employée depuis 2004 au GOP, mais surtout de ceux des deux nouveaux techniciens hydrographes formés par le SHOM. Ceux-ci ont été intégrés au service hydrographie de Nouvelle-Calédonie du GOP et ont été gérés, avec des spécificités liées à leur statut, de façon relativement autonome vis-à-vis de la Nouvelle-Calédonie.

En 2010, les travaux liés au transfert de compétences se sont poursuivis par la proposition d'une convention de coordination en hydrographie et cartographie marine précisant les responsabilités de l'État et de la Nouvelle-Calédonie. Cette convention a également nécessité une révision de la convention de moyens du 3 mars 2009, et la mise à jour de la délibération du congrès de Nouvelle-Calédonie créant la commission hydrographique de Nouvelle-Calédonie.

Les projets de convention ont été transmis en mai 2010 au Haut-commissariat par la tutelle du SHOM après visa par le conseil d'administration du SHOM en avril 2010.

## 5.2 En Polynésie française

La situation politique instable et les difficultés locales à faire travailler des services de l'État et de la Polynésie française ont rendu les relations de partenariat du SHOM avec elle difficile en 2008, jusqu'au refus de la Polynésie française en 2009 de poursuivre le soutien du SHOM.

La compétence de la Polynésie française en matière de sécurité de la circulation maritime dans les eaux intérieures était inscrite dans la loi organique de 1996 (art 27.11°) portant statut d'autonomie de cette collectivité d'outre-mer. A priori l'hydrographie est un élément majeur de la sécurité de la navigation, au même titre que le balisage, et était donc interprétée comme une compétence transférée dans les eaux intérieures. Néanmoins, une analyse juridique des services du Haut-commissariat datée du 30 octobre 2007, laissait entendre que l'hydrographie n'est qu'un moyen pour permettre à la Polynésie française d'assumer ses compétences en matière de sécurité de la navigation. A ce titre, elle ne serait pas transférable au sens de la loi organique mais ferait référence à l'article 169 de la loi organique de février 2004 relatif aux concours de l'État.

Par ailleurs, le ministère de tutelle du SHOM a relayé un avis de la DéGéOM du 9 décembre 2009 indiquant que « *l'État conserve des responsabilités qui lui sont propres en matière d'hydrographie, du fait des engagements internationaux souscrits par lui dans le cadre de la convention SOLAS. Il reste ainsi compétent pour superviser l'activité des services et s'assurer de leur respect des obligations internationales résultant pour l'État de cette convention. Son intervention à des fins d'hydrographie dans les eaux intérieures demeure donc entièrement légitime.* »

La situation était donc la suivante :

- une entité technique polynésienne, la CHPF, en charge des affaires d'hydrographie relevant de la Polynésie française. Cette entité, composée d'une seule hydrographe non bre-

vetée FIG/OHI catégorie B, sous-traitait la plupart des travaux qui lui étaient prescrits. Celle-ci pouvait bénéficier du concours du SHOM, et en particulier du GOP, en terme d'expertise pour lui permettre d'atteindre le meilleur niveau pour conduire ses travaux, et permettre d'en tirer de l'information nautique exploitable dans les cartes et documents nautiques entretenus par le SHOM ;

- le GOP qui coordonnait les travaux d'hydrographie en Polynésie française via le sous-comité hydrographie du conseil polynésien de la mer et du littoral, et réalisait des travaux d'hydrographie générale.

Une convention de coordination a été rédigée fin 2009 et soumise à la signature de l'État et de la Polynésie française au 1<sup>er</sup> semestre 2010. Le recueil annuel des besoins en hydrographie a été relancé par le GOP en 2010 car la direction de l'équipement qui théoriquement s'en chargeait n'avait plus lancé ce recueil depuis 2007. Enfin, la commission hydrographique de Polynésie française (encore appelée sous-comité hydrographie du conseil polynésien de la mer et du littoral) s'est réunie le 22 juin 2010, près de 3 ans après sa dernière réunion (réunion de 2007 en présence du directeur général du SHOM) : la présence de représentants de l'État devrait être étoffée lors des prochaines réunions.



Réunion du sous-comité hydrographie (22 juin 2010)

La normalisation de la relation avec la Polynésie française a nécessité un long labeur aussi bien au SHOM qu'au Haut-commissariat de la République en Polynésie française qui s'est fortement mobilisé pour faciliter l'émergence d'une solution acceptable. Cela n'aurait pas été possible sans la présence permanente d'une antenne du SHOM en Polynésie française, qui a su maintenir un lien avec les autorités civiles et militaires de l'État et les autorités de la collectivité territoriale nécessaire au dialogue, à la concertation et à la négociation.

## 6. COMMUNICATION

Le SHOM avait un gros défaut de visibilité dans le Pacifique auprès du public mais aussi des autorités civiles, notamment du fait de l'ancrage fort d'autres instituts, notamment l'IRD et l'Ifremer. Cette situation était également due à la trop forte personnalisation des bases hydrographiques du GOP : le passage de MOP<sup>10</sup> à GOP en 2007 a également perturbé les interlocuteurs. Quelques actions ont pu être menées pendant la période : mis en place du logo SHOM sur les articles locaux de représentation (T-shirts, polo, présentations, posters), acquisition d'autocollants SHOM pour une meilleure identification des véhicules et des locaux, révision du panneau à l'entrée du site du GOP en Nouvelle-Calédonie. Il convient de nommer le GOP comme l'antenne du SHOM dans le Pacifique ou « SHOM Pacifique » pour un usage externe, l'appellation GOP étant réservée à un usage interne. Le directeur du GOP était connu comme le directeur de l'antenne du SHOM dans le Pacifique.

Plusieurs articles sont parus dans la presse régionale et ont rendu compte des activités principales du SHOM dans le Pacifique : changement du directeur du GOP, commissions hydrographiques, levés hydrographiques à Balade et à Wallis notamment, couverture de Nouméa en ENC<sup>11</sup>, signature de la convention de partenariat en Nouvelle-Calédonie, bilan de l'activité 2009, installation de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami.

Par ailleurs, la connaissance des partenaires étatiques ou de la collectivité nécessitait une mobilisation qui ne pouvait être assurée que par le directeur du GOP ou le chef du service logistique compte tenu des charges de production qui reposaient sur les autres agents. Cet apprentissage n'a pas été aisé et a demandé du temps et de l'énergie, à concilier avec les autres activités, mais fut source d'opportunités et d'enrichissements.

## 7. BILAN

### 7.1 Nature des travaux à mener dans le Pacifique

Les travaux hydrographiques connus ou prévisibles à conduire par le SHOM dans le Pacifique concernaient l'hydrographie littorale ou côtière de faible extension géographique (HG, HOM, PPML)<sup>12</sup>, ou de l'hydrographie pour l'amélioration de la connaissance hydrographique essentiellement au-delà du plateau continental (Plateau21). L'exception notable est le grand lagon nord, en Nouvelle-Calédonie, où l'hydrographie était très insuffisante, et dans une mesure moindre la corne sud.

Par nature, ces travaux étaient souvent dans des endroits éloignés (cas de l'ensemble de la Polynésie française) dont

l'accès ne pouvait se faire que par voie maritime ou aérienne nécessitant un concours systématique civil ou militaire, avec des moyens adaptés (le baliseur *Louis Hénin* ne peut se rendre aux Chesterfield).

Concernant l'hydrographie militaire, en Polynésie française, peu de besoins ont été exprimés, peut-être en raison de la faible visibilité sur les capacités opérationnelles des années à venir. La réduction du format des forces armées en Polynésie française dans les prochaines années, le transfert du BATRAL *Dumont d'Urville* de Papeete à Fort de France, et les incertitudes sur l'éventuel programme de remplacement des BATRAL ne permettaient pas vraiment d'y voir très clair sur l'évolution des besoins en hydrographie militaire. En Nouvelle-Calédonie, les forces ont fait part de nombreuses demandes nécessaires pour assumer leurs missions. Souvent ces demandes d'hydrographie militaire rejoignaient des demandes d'hydrographie générale, y compris pour les plageages ou le soutien préalable aux opérations de dépollution du lagon (mines, bombes...). Ce qui est apparu régulièrement, c'étaient des demandes inopinées de faible à moyen préavis.

En Polynésie française, les travaux en hydrographie étaient conséquents comme a pu le montrer encore en 2010 le recueil des besoins en travaux hydrographiques, mais restaient à mettre en perspective à la lumière de l'état de la connaissance qui était en cours d'élaboration en août 2010. Les moyens devraient sans doute évoluer pour satisfaire un schéma directeur de l'hydrographie à établir, en couplant probablement des moyens hauturiers lourds de type bâtiment hydrographique, et des moyens côtiers projetables de Tahiti.

Enfin, les travaux concourant aux politiques publiques maritimes et du littoral prenaient de l'ampleur bien que nécessitant une préparation très en amont : discussions plus ou moins appuyées sur Litto3D en Nouvelle-Calédonie (service topographique de la DITTT), à Wallis et Futuna (service des travaux publics de Wallis et Futuna) et aux Tuamotu (service de l'urbanisme), définition des références altimétriques maritimes, réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami... La réalisation de travaux Litto3D débouchant sur une modélisation continue terre-mer du littoral est sans doute une priorité indispensable aux collectivités d'outre-mer pour leur permettre de mieux gérer ce littoral et les pressions qu'il subit.

### 7.2 Organisation et fonctionnement

Les enjeux principaux consistaient à poursuivre l'effort de production hydrographique en maintenant le niveau de l'indicateur des levés et à stabiliser une organisation apte à répondre aux missions du SHOM dans le Pacifique en prenant en compte la coordination des collectivités territoriales de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie française du fait de leurs compétences effectives ou assumées en matière d'hydrographie pour la sécurité de la navigation.

#### 7.2.1 En Nouvelle-Calédonie

L'organisation en partenariat avec la Nouvelle-Calédonie fonctionnait bien. La Nouvelle-Calédonie apportait des moyens et le SHOM apportait son concours pour permettre

<sup>10</sup> Mission océanographique du Pacifique (avant 2007, ancienne appellation du GOP).

<sup>11</sup> Electronic Navigational Chart (carte marine électronique de navigation).

<sup>12</sup> Hydrographie générale, hydrographie et océanographie militaire, politique publique maritime et du littoral formant les principaux domaines d'activités du SHOM.

à la Nouvelle-Calédonie d'assumer ses compétences dans la durée.

Dans la situation actuelle, le plan d'armement du GOP (ingénieur, OMH, officier marinier, plongeur) renforcé de deux techniciens hydrographes calédoniens permettait d'assurer une conduite et une rédaction compatible avec les objectifs de réactivité et de qualité recherchés en exploitant au mieux les moyens mis à disposition.

Si la Nouvelle-Calédonie décidait de recruter un ou deux autres techniciens hydrographes, une fois ces personnels formés, le retrait d'un OMH pourrait être envisagé. Cela n'a toutefois plus été évoqué depuis 2008. La Nouvelle-Calédonie s'interrogeait même sur la capacité de cette collectivité à proposer un parcours professionnel valorisant aux deux hydrographes recrutés.

Le plan d'équipement, drome comprise, permettait quant à lui de travailler en Nouvelle-Calédonie mais était faiblement portable pour se projeter efficacement dans les dépendances (Chesterfield, D'Entrecasteaux...), à Wallis et Futuna et éventuellement en Polynésie française.

## 7.2.2 En Polynésie française

Le partenariat avec la Polynésie française a été réduit à une coordination par le SHOM en matière d'hydrographie. L'activité hydrographique entre 2008 et 2010 a été conséquente pour le personnel et notamment pour les deux hydrographes.

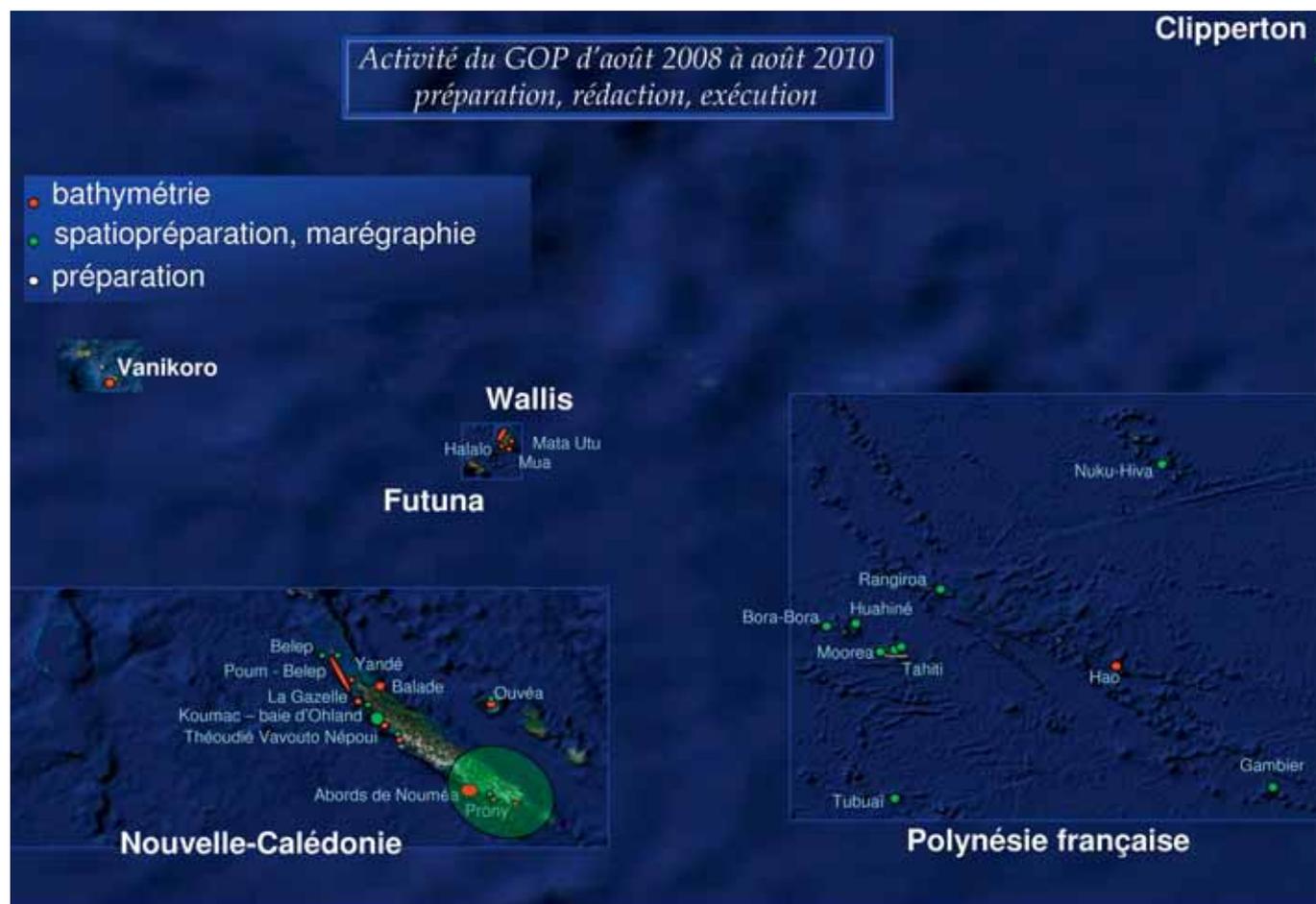
Ce type d'activité, alternance de travaux d'hydrographie générale et de soutien au réseau de marégraphes pour la surveillance du risque tsunami (installation et maintenance), devrait se poursuivre dans les années suivantes. La mise à disposition d'un système d'hydrographie déployable devrait faciliter la projection des agents en Polynésie française. Les locaux en ZRN étaient adaptés au personnel et à l'activité, et permettraient d'accueillir quelques agents supplémentaires.

Néanmoins, il était indispensable que le GOP disposât d'un moyen nautique en propre : cette action initiée en 2009 a d'abord été reportée en 2011 par le bureau logistique générale de l'état-major de la marine (EMM/LOGGEN), mais devrait toutefois pouvoir aboutir fin 2010 grâce à l'intervention appuyée du SHOM auprès des services de soutien, notamment le service logistique de la marine.

**ANNEXE I : Références des rapports particuliers (RP)**

Intitulé	N° du levé	Référence du RP
<b>Nouvelle-Calédonie</b>		
Levé de contrôle de l'accès au port de Vavouto	S201004100	RAP2010-065
Contrôle d'orthophotos sur les îles Belep	S201003500	RAP2010-061
Contrôle du MCN de Nouméa	S201000900	RAP2010-016
Levé d'une voie recommandée des îles Daos du sud à l'île Art	S201003400	RAP2010-060
Contrôle de la carte marine 7644	S201003300	RAP2010-058
Détermination des références altimétriques maritimes à Koumac	S201002500	RAP2010-042
Mesures de marée à Plum, commune de Mont-Dore	S201002600	RAP2010-043
Mesures de courant à Paagoumène	S201001000	RAP2010-017
Spatio-préparation (géodésie) de Tontouta à l'île des Pins	S200905900	RAP2009-156
Levé de modification voie recommandée de la passe de Uitoe à Nouméa boîte 4	S200906000	RAP2009-157
Levé préparatoire à CDS2010 : baie de Népoui	S200906800	RAP2009-160
Contrôle d'orthophotos en baie de Népoui	S200906900	RAP2009-161
Levé préparatoire à CDS2010 : baie de Chasseloup	S200905800	RAP2009-155
Contrôle des coffres en baie de Numbo à Nouméa	S200904600	RAP2009-127
Contrôle du MCN de Nouméa	S200904400	RAP2009-126
Levé d'une voie recommandée de Poum aux îlots Daos du sud	S200903200	RAP2009-112
Stéréopréparation aux abords de Kone et Ouaco	S200902600	RAP2009-100
Levé de la passe de Balade et jonction avec le canal de Pouébo	S200902700	RAP2009-098
Levé au sondeur latéral aux abords de Plum	S200901400	RAP2009-087
Travaux hydrographiques à Théoudié	S200901300	RAP2009-086
Spatio-préparation de la baie d'Ohland à la passe de Koumac	S200900600	RAP2009-051
Levé de modification voie recommandée de la passe de Uitoe à Nouméa boîte 3	S200900200	RAP2009-003
Travaux de contrôle sur l'observatoire de marée de Nouméa	S200807600	RAP2008-198
Levé au sondeur latéral dans le lagon sud à l'entrée de la baie de Prony	S200806900	RAP2008-175
Travaux hydrographiques accès à Paagoumène par la passe de la Gazelle	S200807000	RAP2009-002
Levé bathymétriques dans le lagon nord (sud Yandé – est Baaba)	S200805800	RAP2008-174
Levé bathymétrique dans le lagon sud aux abords de Nouméa	S200805600	RAP2008-173
Levés bathymétriques à Ouvéa	S200805200	RAP2008-157
Mesures de courant au nord de l'île Art et dans les passes du d'Estrées	S200807700	RAP2008-197
Mesures de courant à Ouvéa à proximité de la passe du Taureau	S200807800	RAP2008-200
Levés bathymétriques à Ouvéa	S200707200	RAP2008-096
Travaux hydrographiques à Ouvéa	S200707100	RAP2008-037
<b>Wallis et Futuna</b>		
Travaux hydrographiques à Wallis	S200900700	RAP2009-052
Spatio-préparation, Ile Futuna	S200703400	RAP2008-156
<b>Polynésie française</b>		
Mesure de courant dans la passe Avaroa d'entrée en baie de Cook sur l'île de Moorea	S201002100	RAP2010-064
Intégration d'une station de surveillance du niveau de la mer à Huahine	S201003600	RAP2010-063
MCO d'une station de surveillance du niveau de la mer à Tubuaï	S201000100	RAP2010-019
Stéréopréparation et contrôle de balisage aux Gambier	S201000200	RAP2010-020
Contrôle d'une station de surveillance du niveau de la mer à Papeete	S201004000	RAP2010-027
Travaux d'opportunité de marégraphie à Vairao (Tahiti)	S200907500	RAP2010-018
Spatio-préparation et contrôle d'orthophotos à Bora-Bora	S200904700	RAP2009-154
Intégration d'une station de surveillance du niveau de la mer à Nuku-Hiva	S200903500	RAP2009-111
Travaux hydrographiques sur l'atoll de Hao	S200900300	RAP2009-099
Intégration d'une station de surveillance du niveau de la mer à Rangiroa	S200900400	RAP2009-048
Travaux de courantométrie à Tahiti : de la passe de Taunua à la rade de Papeete	S200808800	RAP2009-005
Intégration d'une station de surveillance du niveau de la mer à Tubuaï	S200807400	RAP2008-193
Positionnement de balisage près de l'île Toopua dans l'archipel de Bora-Bora	S200807500	RAP2008-177
Travaux d'opportunité de marégraphie à Fare Ute (Papeete)	S200808000	RAP2008-191
Levé de stéréopréparation - île de Tahiti - côte nord-ouest	S200802200	RAP2008-176
Réhabilitation de l'atoll de Hao	S200806400	RAP2008-178
Levé de la baie d'Opunohu à Mooréa	S200800500	RAP2008-155
<b>Divers</b>		
Observation de la marée à Clipperton	S200900100	RAP2009-004
Levés bathymétriques à Vanikoro	S200805100	RAP2008-149

## ANNEXE 2 : Localisation globale des zones de travaux



### ANNEXE 3 : Sigles et acronymes utilisés dans ce rapport

BATRAL	bâtiment de transport léger
CEP	centre d'expérimentation du Pacifique
CHPF	cellule hydrographique de Polynésie française (subdivision des phares et balises)
COMSUP	commandement supérieur des forces armées dans le territoire (NC en Nouvelle-Calédonie ou PF en Polynésie française)
CZM	commandant de zone maritime
DéGéOM	délégation générale à l'outre-mer (service du ministère de l'outre-mer)
DIRISI	direction interarmées des réseaux d'infrastructure et des systèmes d'information de la défense
DITTT	direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres (direction du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie)
DO	direction des opérations du SHOM
DTI	données et traitement de l'information (département de MIP)
DTSI	direction des technologies et services de l'information
FS	frégate de surveillance
GHO	groupes hydrographiques et océanographiques (regroupant le GOP, le GOA (groupe océanographique de l'Atlantique) et le GHA (groupe hydrographique de l'Atlantique))
GSMA	groupement du service militaire adapté
Ifremer	institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IGN	institut géographique national
IOC	intergovernmental oceanographic commission (commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO <sup>13</sup> )
IRD	institut de recherche pour le développement
KNS	Koniambo Nickel SA (opérateur minier exploitant le massif de Koniambo en Province Nord de la Nouvelle-Calédonie)
Litto3D	programme de description physique de la bathymétrie et topographie littorale, basé principalement sur l'acquisition de données par laser aéroporté
MCO	maintien en condition opérationnelle
MGS	moyens généraux et spécifiques (division de la DO)
MIP	maîtrise de l'information et des produits mixtes (division de la DO)
OHI	organisation hydrographique internationale
OMH	officier marinier hydrographe
OMI	organisation maritime internationale
RR	remorqueur ravitailleur
SHOM	service hydrographique et océanographique de la marine
SLN	société Le Nickel (opérateur minier historique en Nouvelle-Calédonie)
SPOT	satellite pour l'observation de la terre
ZRN	zone de réparation navale (partie de la base navale de Papeete où sont situés les ateliers de réparation navale de la marine)

<sup>13</sup> United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture).

Imprimerie du Service hydrographique et  
océanographique de la marine  
13 rue du Chatellier  
CS 92803  
29228 BREST CEDEX 2  
Septembre 2011  
Dépôt légal troisième trimestre 2011  
Numéro d'éditeur : 2822

# SOMMAIRE

## Première partie

Éditorial par *B. FRACHON*

Extrait de l'instruction n° 863/SGMer du 20 avril 2011 relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant

Évolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM par *N. POFFA et l'équipe du projet RONIM*

Réseau de marégraphes dans le Pacifique par *S. LANNUZEL*

Observation du tsunami trans-pacifique du 11 mars 2011 par le marégraphe de Nuku-Hiva aux îles Marquises en Polynésie française

La coordination nationale de l'observation de la mer par *N. POUVREAU*

Contribution de la mesure du niveau de la mer au fonctionnement d'un centre d'alerte tsunami pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale (CENATL)

Refonte de la base des données in situ du niveau de la mer « Tide DataBase (TDB) » par *R. CREACH et l'équipe du projet INFRAGEOS-Marée*

Zéro hydrographique : vers une détermination globale par *G. WÖPPELMANN, S. ALLAIN, P. BAHUREL, S. LANNUZEL et B. SIMON*

Creation of vertical reference surfaces at sea using altimetry and GPS by *L. PINEAU-GUILLOU and L. DORST*

Caractérisation des niveaux marins et modélisation des surcotes pendant la tempête Xynthia par *L. PINEAU-GUILLOU, C. LATHUILIERE, R. MAGNE, S. LOUAZEL, D. CORMAN et C. PERHERIN*

Niveaux marins extrêmes de pleine et basse mer en Manche et Atlantique par *L. PINEAU-GUILLOU et C. PERHERIN*

Observation et prévision des seiches sur la côte atlantique française par *F. ARDHUIN, E. DEVAUX et L. PINEAU-GUILLOU*

La montée du niveau des océans par marégraphie et géodésie spatiale : contributions françaises à une problématique mondiale par *G. WÖPPELMANN, L. TESTUT et R. CREACH*

La rénovation de la gamme des produits de marée du SHOM : une adaptation aux nouveaux besoins et aux moyens de communication modernes par *N. WEBER*

## Deuxième partie

Mission océanographique du Pacifique (5 mai 1980 - 1<sup>er</sup> octobre 1982) par l'*IPA P. SOUQUIÈRE*

Travaux hydrographiques en Antarctique, mer Dumont d'Urville et Terre Adélie (étés australs 98-99 et 99-2000) par l'*IEF D. BENETEAU*

Groupe océanographique du Pacifique (5 août 2008 - 6 août 2010) par l'*IPETA S. LANNUZEL*

ANNALES HYDROGRAPHIQUES 777



9 782110 972897

ISBN 978-2-11-097289-7