

Annales Hydrographiques



6^e série - Vol. 6
n° 775



2010



775 - ZTL

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Première partie	
Biographie de l'IGA André ROUBERTOU par l'IGA G. BESSERO	1-1
Les axes de la recherche au SHOM, par l'ICA Y. MOREL (<i>collectif</i>)	2-1
Modélisation de la circulation océanique en Manche, Golfe de Gascogne, Ouest - Portugal et Golfe de Cadix, par l'ICA Yves MOREL (<i>collectif</i>)	3-1
Observation et modélisation numérique des états de mer : vers une description réaliste de la surface marine incluant les déferlements, par l'ICA F. ARDHUIN, l'ISC R. MAGNE et J-F. FILIPOT	4-1
Les mesures in situ en océanographie, par l'IDEF M. LE MENN	5-1
Deuxième partie	
Mission océanographique du Pacifique - (août 2001 - juillet 2003), par l'ICA J. PAILLET	6-1
Mission océanographique de l'Atlantique - (septembre 2001 - juillet 2002), par l'ICETA H. DOLOU	7-1
L'arrivée des nouveaux porteurs mis à la disposition du SHOM : le BHO <i>Beautemps-Beaupré</i> et le NO <i>Pourquoi pas ?</i> , par l'ICETA D. MOREAU	8-1
Groupe océanographique de l'Atlantique - (octobre 2005 - août 2008), par l'ICA L. KERLEGUER	9-1

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.

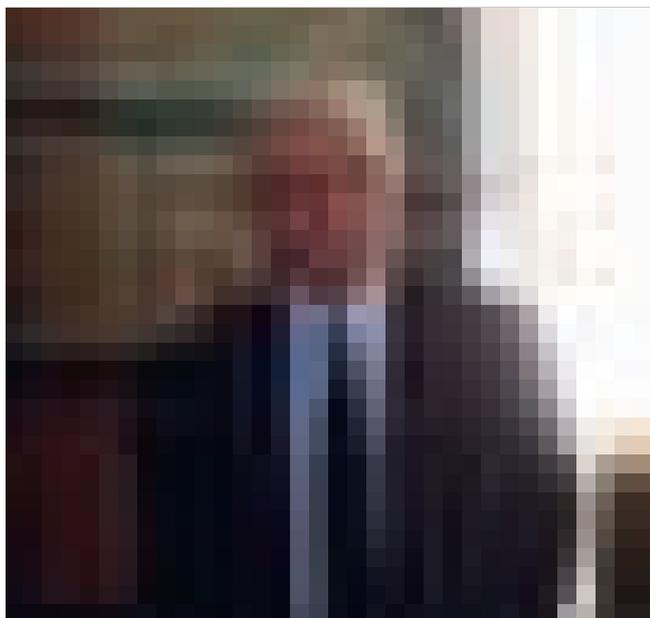
www.shom.fr

© SHOM 2010 — Tous droits réservés.
ISBN 978-2-11-097258-3

PREMIÈRE PARTIE

BIOGRAPHIE DE L'INGÉNIEUR GÉNÉRAL ANDRÉ ROUBERTOU (1926-2009)

Ingénieur général de l'armement Gilles Bessero
directeur général du SHOM



André Roubertou lors de la cérémonie des vœux de l'antenne du SHOM à Saint-Mandé - 8 janvier 2009

L'auteur remercie l'ingénieur général de l'armement (2S) André Comolet-Tirman, ancien directeur du SHOM, pour ses suggestions qui lui ont permis de compléter cette biographie.

André Roubertou est né à Brive-la-Gaillarde¹ (Corrèze) le 29 novembre 1926. Il est décédé accidentellement à Paris le 22 avril 2009.

Ancien élève de l'Ecole polytechnique (promotion 1946), André Roubertou avait intégré le corps des ingénieurs hydrographes de la marine en 1949. Il acheva sa formation par l'école d'application des enseignes de vaisseau sur la *Jeanne d'Arc* en 1949-50, l'école d'application du service hydrographique et un stage d'instruction d'ingénieur hydrographe en 1951 au sein de la mission hydrographique des côtes de France et d'Afrique du nord, qui effectuait avec l'*Amiral Mouchez* et son annexe la *Sentinelle* le levé des abords de Casablanca au Maroc.

Sa carrière, entièrement consacrée au SHOM, fut très diversifiée et partagée, comme c'est la règle pour les hydrographes, entre postes embarqués et affectations à terre.

Il dirigea à trois reprises des missions hydrographiques. Il assura d'abord de mai 1957 à mai 1959 la direction technique de la mission hydrographique de Madagascar. Avec le *La Pérouse* et son annexe, l'*Alidade* puis la *Marjolaine*, il poursuivit le levé régulier des côtes est et ouest de Madagascar, entrepris en 1947. Il dirigea pendant l'hiver 1958-59 un levé en Côte française des Somalis destiné à faciliter l'accès au port de Djibouti. Les traversées de Diégo-Suarez à Djibouti et retour du *La Pérouse* furent mises à profit pour exécuter deux coupes hydrologiques entre le cap d'Ambre et Mogadiscio.

Chef de la mission hydrographique de dragage de mars 1963 à mars 1965, il effectua, principalement avec *La Recherche*, quelques travaux de dragage et de recherche d'épaves à Dunkerque, au Havre et à Lorient et surtout des levés hydrographiques classiques à moyenne et grande échelles à l'ouest de la Bretagne et sur les bancs de la Manche. Il présida notamment à la généralisation du radioguidage au théodolite et privilégia chaque fois que possible l'utilisation du système de radiolocalisation Derveaux qui, malgré sa vétusté, donna de bons résultats. Il utilisa aussi avec succès un marégraphe plongeur à pression J. Richard dont le maniement était très délicat.

Son dernier poste embarqué fut consacré à la mission hydrographique des côtes de France (MHCF), qu'il dirigea du 1^{er} octobre 1968 au 1^{er} octobre 1970. Après le retrait du service du *Beautemps-Beaupré* fin octobre 1968, la mission disposa pendant cette période des dragueurs *Bir Hacheim* puis *Dompair*, aménagés sommairement pour l'hydrographie, et du bâtiment hydrographique côtier *Astrolabe*. Ces moyens flottants furent renforcés en juin 1969 par la mise en service de l'ancienne gabare de mer *La Découverte*. La MHCF poursuivit pendant cette période le levé des atterrages de Brest et entreprit le levé côtier à grande échelle de la côte finistérienne. Elle réalisa aussi plusieurs campagnes de géologie et de sédimentologie marine dans le cadre de conventions passées avec le BRGM (bureau de recherches géologiques et minières) et le CNEXO (centre national pour l'exploitation des océans) et effectua divers travaux dans les ports militaires de Brest et de l'île Longue. La mission déploya pour la première fois, à l'occasion du levé des atterrages de Brest, une nouvelle chaîne de radiolocalisation Toran 3G à longue portée, livrée en 1968, dont les essais et la mise en ordre de marche furent particulièrement laborieux. Elle procéda également, à

¹ Le hasard aura voulu que la première « question parlementaire » relative au budget de l'établissement public SHOM soit posée en 2009 par le député-maire de ... Brive, rapporteur du thème « soutien et logistique interarmées » pour avis de la commission de la défense nationale et des forces armées de l'Assemblée nationale.

bord du *Dompaire*, aux essais de fonctionnement et d'évaluation du sonar latéral dit « IFP »² destiné à résoudre le problème de la détection et de la localisation d'obstructions ou d'accidents de fond isolés. C'est également sous la direction d'André Roubertou que la MHCF procéda aux essais du nouveau sondeur acoustique vertical Atlas qui conduisirent à décider son acquisition et à installer un premier exemplaire sur l'*Espérance* au cours de l'hivernage 1969-1970.

Après ce dernier embarquement, A. Roubertou rejoignit le service central hydrographique, qui devint en 1971 la direction du service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM). Affecté en 1972 au bureau études générales, chargé de coordonner les relations extérieures, nationales et internationales, du SHOM ainsi que ses activités de prospective, il fut nommé chef du bureau en 1976. Il consolida dans ce nouveau cadre sa réputation nationale et internationale d'expert dans des domaines très variés incluant notamment, outre les levés hydrographiques, la radiolocalisation, la photogrammétrie, la cartographie, la toponymie, les délimitations maritimes et l'imprimerie. Cette réputation méritée résultait à la fois de sa grande érudition, de son expérience d'hydrographe et du rôle moteur qu'il avait joué dès 1960 pour mener le service sur la voie de l'automatisation de la cartographie et plus généralement sur la voie de l'informatisation.

Outre les enseignements en photogrammétrie, en cartographie et géodésie marines et en localisation en mer assurés à diverses périodes, non seulement au profit des ingénieurs hydrographes mais aussi à l'école nationale des sciences géographiques et à l'école nationale supérieure du pétrole et des moteurs, il pilota l'option « environnement marin » de l'école nationale supérieure de techniques avancées de 1981 à 1988.

Il continua de se passionner pour les questions de localisation en mer, assurant jusqu'en 1980 la présidence d'un groupe de travail national permanent sur la localisation en mer créé en 1970. Il présida le premier symposium sur la localisation en mer organisé à Brest en octobre 1979. On lui doit également la section sur le positionnement radioélectrique en mer de l'ouvrage « *Mesurer la Terre - 300 ans de géodésie française* » publié en 1988 sous la direction de Jean-Jacques Levallois.

Son expertise dans le domaine de la bathymétrie lui valut d'être membre dès sa création du comité de direction de la carte générale bathymétrique des océans (GEBCO) mis en place en 1974 par la commission océanographique intergouvernementale (COI) et par l'organisation hydrographique internationale (OHI). Il en fut le vice-président de 1985 à 1988.

² Par référence à l'institut français du pétrole qui avait fait réaliser le premier exemplaire.



L'amiral Tardy, inspecteur général de la marine, et l'ingénieur en chef André Roubertou au premier symposium sur la localisation en mer - Brest - octobre 1979

Nommé ingénieur général en 1980, André Roubertou devint directeur adjoint du SHOM en 1981, fonction qu'il occupa jusqu'à son admission dans la 2^e section du cadre des officiers généraux en 1988.

Il continua alors de mettre ses vastes compétences au service du SHOM, de la France et de la communauté internationale, que ce soit au sein de la commission nationale de toponymie, dans les instances de pilotage des programmes internationaux de cartographie bathymétrique ou en matière de délimitations maritimes. Il présida notamment le comité d'édition de la carte bathymétrique internationale de l'Atlantique centre-est, dès sa constitution en 1990, et intervint jusqu'en 2006 comme expert en délimitations maritimes auprès de divers gouvernements étrangers lors de négociations ou de procédures contentieuses devant la Cour internationale de justice ou de tribunaux d'arbitrage.

Sollicité par la direction du SHOM en 1994, il accepta d'assurer bénévolement, avec Jean Bourgoïn, André Comolet-Tirman et Bernard Schrumpf, le lourd travail de préparation du volume français de la 5^e édition du dictionnaire hydrographique international, publié en 1998.

André Roubertou était membre du comité français de cartographie et de la section de géodésie du comité national français de géodésie et de géophysique. De nombreuses distinctions françaises et étrangères ont récompensé les ser-

vices éminents qu'il a rendus. Récipiendaire du prix Giret de l'Académie de marine en 1974 et du prix Gay de l'Académie des sciences en 1977, il était officier de l'ordre national du Mérite depuis 1979, officier du Mérite maritime depuis 1984 et officier de la Légion d'honneur depuis 1986. Le président du conseil exécutif de la COI lui avait remis, lors de la 41^e session du conseil en 2008, un certificat d'appréciation de la COI pour sa contribution au projet GEBCO et à l'établissement de la carte bathymétrique internationale de l'Atlantique du centre-est.

Véritable polytechnicien, André Roubertou a su apporter beaucoup, en toute simplicité et avec une courtoisie inébranlable, à tous ceux qui ont eu le privilège de le côtoyer, tant sur le plan technique que sur le plan humain, comme en témoigne cet extrait du message adressé au directeur du SHOM par le président du comité de direction du Bureau hydrographique international lors de l'admission d'André Roubertou en 2^e section :

« Sa longue contribution aux activités de l'organisation hydrographique internationale et de la communauté hydrographique dans leur ensemble et en particulier sa compréhension rapide des problèmes et la bonne volonté qu'il mettait à suggérer des solutions ont été extrêmement précieuses. »

Avec la disparition d'André Roubertou, le SHOM a perdu une des personnalités remarquables auxquelles il doit sa pérennité et son rayonnement.

LES AXES DE RECHERCHE AU SHOM

Yves Morel

Chef du département recherches de la division « Hydrographie, océanographie et météorologie militaires » du SHOM, avec la collaboration de :

Fabrice Arduin, Rémy Baraille, Christian Batany, Stéphane Beurret, Gaëlle Casagrande, David Corman, Ronan Créach, Nathalie Debèse, Michel Even, Mathilde Faillot, Isabelle Gabelotaud, Thierry Garlan, Patrick Guyomard, Frédéric Jourdin, Marie-Françoise Lalancette, Cyril Lathuilière, Yann Le Faou, Yves Le Franc, Jean-Claude Le Gac, Marc Le Menn, Catherine Le Roux, Stéphanie Louazel, Laurent Louvart, Rudy Magne, Jean Meyrat, Yann Moysan, Gael Morvan, Michel Outré, Jérôme Paillet, Lucia Pineau-Guillou, Annick Pichon, Ronan Pronost, Didier Rouxel, Alain Serpette, Bernard Simon, Yann Stéphan, Bernard Thomas, Stéphanie Vrac, Christophe Vrignaud

RÉSUMÉ

Cet article présente une vue prospective de la recherche au SHOM dans le domaine de l'environnement marin, pour l'ensemble de ses missions. S'il couvre essentiellement le domaine de l'océanographie militaire, il traite néanmoins aussi, mais avec un moindre niveau de détail, les autres mandats du SHOM qui concernent la sécurité de la navigation et le soutien aux politiques publiques maritimes. Des enrichissements et une actualisation régulière sont prévus à l'issue de projets importants, de modifications des besoins exprimés par les clients du SHOM ou de ruptures technologiques identifiées.

ABSTRACT

This article introduces a long-term view of SHOM research in the field of marine environment, for all his assignments. If it mainly covers the domain of military oceanography, it deals also, with a lower level of detail, with others missions of SHOM as the security of navigation and the support of maritime public policies. Enrichments and regular updatings are scheduled according to results of research programs, when SHOM's customers express new needs and at identified technological breaks.

SOMMAIRE

1. MISSION ET MANDATS DU SHOM	2-3
2. LES BESOINS ET ENJEUX	2-3
2.1. Mandat NAU	2-3
2.2. Mandat HOM	2-4
2.3. Mandat MIP	2-5
3. PLANIFICATION DES ACTIONS	2-6
3.1. Généralités	2-6
3.2. Objectifs stratégiques et actions à moyen terme	2-6
3.3. Études et projets contribuant à la recherche	2-10
3.4. Valorisation de la R&D et action en boucle courte	2-15
3.5. Analyse transverse	2-15
4. THÉMATIQUES DE RECHERCHE ET ORIENTATIONS DES ÉTUDES AMONT	2-16
4.1. Finalité de la recherche au SHOM	2-16
4.2. Périmètre de la recherche au SHOM	2-16
4.3. Délimitations et axes de progrès	2-17
5. CONCLUSION, coopérations	2-26
ANNEXE : Liste des acronymes.....	2-28

1. MISSION ET MANDATS DU SHOM

La mission générale du SHOM telle qu'elle est définie dans le code de la défense est :

« ... de **connaître et de décrire l'environnement physique marin** dans ses relations avec l'atmosphère, avec les fonds marins et les zones littorales et **d'en prévoir l'évolution**. Il assure la diffusion des informations correspondantes. A ce titre :

1° Il **exerce les attributions de l'État en matière d'hydrographie nationale** dans les zones sous juridiction nationale et dans les zones où la France exerce des responsabilités du fait d'engagements internationaux particuliers, en assurant le recueil, l'archivage et la diffusion des informations officielles nécessaires à la navigation.

2° Il est responsable, dans ses domaines de compétence, de la **satisfaction des besoins d'expertise, d'évaluation des capacités futures et de soutien opérationnel de la défense**. Dans ces mêmes domaines, il a vocation à représenter le ministre de la défense dans ses relations avec les organismes de recherche. Il assure l'approvisionnement et la maintenance du matériel du domaine hydro-océanographique des armées dont la liste est fixée par arrêté du ministre de la défense.

3° Il **participe à la satisfaction des besoins en matière d'action de l'État en mer et sur le littoral**, dans toutes les zones sous juridiction nationale et dans les zones où la France exerce des responsabilités du fait d'engagements particuliers, notamment par les actions suivantes :

- la fourniture aux services de l'État de **l'expertise et des informations relatives à l'environnement physique marin** ;
- le concours aux collectivités territoriales et à la Nouvelle-Calédonie pour la collecte, la gestion ou la diffusion des informations marines ou littorales relatives à l'environnement physique marin ;
- la **gestion de bases nationales d'informations sur l'environnement physique marin** ;
- la mise à la disposition du public des produits non confidentiels qu'il élabore.

...

Pour remplir ses missions, le SHOM :

- **réalise et fait réaliser des études, recherches, travaux et levés** ;
- **conduit en particulier les études et travaux qui lui sont confiés par le ministre de la défense, notamment par le délégué général pour l'armement**.

... »

Les trois mandats précédents permettent d'identifier les clients majeurs du SHOM :

- les usagers de la mer en général pour ce qui touche à la sécurité de la navigation (mandat **NAU**) ;
- les composantes du ministère de la défense pour la connaissance hydrographique, océanographique et météorologique militaire (mandat **HOM**) ;
- les services de l'État, les collectivités territoriales et le grand public en général pour le soutien aux politiques publiques dans le domaine maritime (mandat **MIP**).

Les objectifs de cet article sont ainsi de donner une vue synthétique des orientations des études amont poursuivies au SHOM sur la base des mandats précédents, d'exposer les axes scientifiques des projets à venir et les évolutions pressenties en fonction des besoins, des résultats acquis et des innovations techniques et scientifiques importantes.

L'article est organisé comme suit. Le deuxième paragraphe rappelle les besoins des clients majeurs du SHOM. Le troisième paragraphe présente la démarche mise en place au SHOM pour répondre à ces besoins. Le quatrième paragraphe décrit les études en cours et propose des orientations pour les années à venir. Le dernier paragraphe présente les principaux acteurs du domaine et les axes de collaboration en cours ou à développer.

2. LES BESOINS ET ENJEUX

2.1. Mandat NAU

2.1.1. Besoins

Au titre de ses attributions en matière d'hydrographie nationale et conformément d'une part aux obligations internationales de la France définies par la convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) et par la convention des Nations Unies sur le droit de la mer, et d'autre part à la réglementation nationale traitant de l'action de l'État en mer, le SHOM doit réaliser, faire réaliser ou s'assurer que d'autres organismes réalisent les levés hydrographiques nécessaires à la sécurité de la navigation. Le SHOM assure le recueil, l'archivage et la diffusion des informations officielles nécessaires à la navigation. L'organisation hydrographique internationale (OHI) a édicté des normes pour les levés hydrographiques et les produits nautiques.

Les attributions du SHOM en tant que service hydrographique national s'exercent dans les espaces maritimes français (figure 1), sous l'égide de l'OHI, ainsi que dans les zones placées sous la responsabilité de la France, ou en application d'accords bilatéraux avec certains États de l'ex-Union française. Dans ces espaces, le SHOM doit satisfaire les besoins de tous les usagers, conformément aux obligations de la France et à la réglementation internationale. Outre les clients institutionnels nationaux (armées, administrations centrales, collectivités territoriales) et les entreprises et organismes scientifiques et techniques, le comité consultatif des utilisateurs des documents, levés et prestations du SHOM (CUSH) donne un avis sur le programme des levés hydrographiques d'intérêt général et les documents nautiques édités par le SHOM.

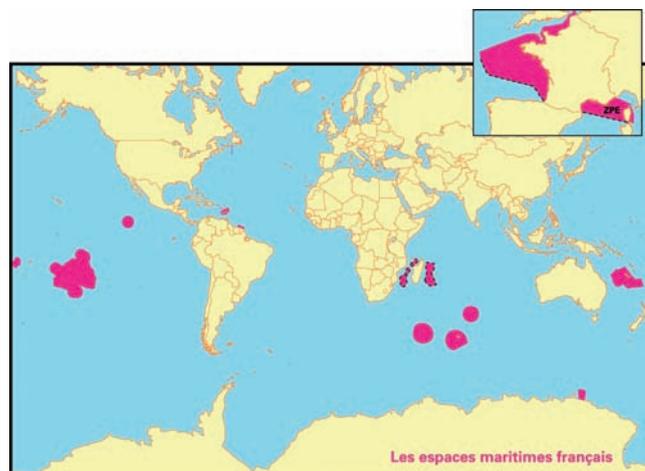


Figure 1 : Les espaces maritimes français représentent 11 millions de km².

2.1.2. Enjeux

Les travaux hydrographiques qui sont essentiels pour satisfaire les besoins relatifs à la sécurité de la navigation, concernent également :

- la gestion du littoral,
- le monitoring de l'environnement et la lutte contre les pollutions marines,
- l'assistance et le sauvetage en mer,
- l'exploitation des ressources (minérales, fossiles, halieutiques, etc.),
- la modélisation océanographique et météorologique,
- les travaux d'aménagement,
- les aspects juridiques et légaux (délimitations), etc. Ils contribuent ainsi grandement à la conduite des mandats MIP et HOM.

2.1.3. Défis

La fourniture d'informations pertinentes en matière de sécurité de la navigation demande de s'adapter aux évolutions rapides des modes de navigation : généralisation des moyens de positionnement par satellites précis et des dispositifs électroniques d'échange et de visualisation d'informations nautiques (e-navigation), accroissement du déplacement des navires, augmentation des tirants d'eau, banalisation des vitesses élevées, etc. Cela nécessite aussi l'accumulation de données sur le très long terme, avec remise à niveau (critères de qualification) en cas de sauts technologiques, ce qui est arrivé avec l'accessibilité généralisée au positionnement précis par GPS. Les observations devant principalement être effectuées en mer et la flotte hydro-océanographique étant largement insuffisante pour satisfaire l'ensemble des besoins à moyen terme, la planification des levés doit se faire sur le long voire très long terme et des arbitrages doivent être effectués en fonction des différents besoins exprimés et des risques identifiés.

Par ailleurs, face à l'augmentation des capacités d'acquisition de données et de traitement, la mise à disposition des informations (notamment sous forme numérique) dans des délais courts est un défi majeur (conception de chaînes automatisées mais délivrant des informations dont la validation est maîtrisée).

On constate aussi que le grand public dispose désormais d'un accès à une information surabondante parfois de qualité équivalente à celle qui prévalait au moment de la réalisation des documents nautiques (images satellitaires, géoportails, GNSS) mais en général non qualifiée. La mise en place de dispositif d'alerte sur la disponibilité de telles données officielles ainsi que leur vérification, puis leur éventuelle intégration dans les documents officiels de sécurité de la navigation, est un défi majeur. Cette situation nécessite une évolution de culture et des procédures adaptées : cartographie différentielle, assimilation et mise en œuvre de processus de recherches rapides et ciblés d'informations pertinentes, mises en réseau de responsables géographiques et thématiques, etc.

2.2. Mandat HOM

2.2.1. Besoins

Les objectifs stratégiques de la défense sont identifiés dans le plan prospectif à 30 ans (PP30). Celui-ci définit des systèmes de forces dont plusieurs requièrent une forte capacité

à maîtriser l'environnement GHOM (géographie, hydrographie, océanographie et météorologie). Les principaux systèmes de forces concernés par l'environnement océanique sont :

- le système de forces « Dissuasion », dans sa composante sous-marine nucléaire notamment, dont la discrétion est très sensible aux conditions d'environnement,
- le système de forces « Engagement Combat », concernant l'intervention en milieu hostile, et pour lequel la maîtrise de l'environnement est essentielle à la mise en œuvre de certains systèmes d'armes ou au déploiement de certaines unités de combat,
- le système de forces « Projection Mobilité Soutien », pour lequel les informations environnementales s'avèrent cruciales pour la conduite de l'action sur des théâtres extérieurs notamment,
- le système de forces « Protection Sauvegarde », pour lequel la dérive de polluants ou contaminants est très sensible aux conditions environnementales,
- le système de forces « Commandement et Maîtrise de l'Information », qui comprend par exemple les satellites d'observation, les systèmes d'information et de commandement ou encore les systèmes d'environnement.

Le livre blanc sur la « défense et sécurité nationale » (2008) identifie désormais les fonctions stratégiques suivantes :

- « Connaître et anticiper » au titre duquel il est souligné que la connaissance et l'anticipation des évolutions de l'environnement des zones d'opération sont identifiées comme un besoin transverse à tous les systèmes d'armes et systèmes de forces
- « Prévenir »
- « Dissuader »
- « Protéger »
- « Intervenir ».

Plus spécifiquement, les opérations militaires, ou domaines de lutte, bénéficiaires de connaissances environnementales du milieu maritime sont :

- la navigation en général (rejoint NAU, mais à noter la particularité de la navigation sous-marine pour les sous-marins et engins),
- la lutte sous la mer (discrétion/détection),
- la lutte au-dessus de la surface (influence des conditions atmosphériques, mais aussi de l'état de la mer),
- la guerre des mines (détection, enfouissement et dérive de mines, mise en œuvre d'AUV et sécurité des plongeurs-démineurs),
- les opérations de débarquement ou amphibies (profils de plage, courants extrêmes, traficabilité des plages, ...),
- les opérations commandos (figure 2) (discrétion/détection, visibilité sous-marine, courants extrêmes, ...).



Figure 2 : Opération terre-air-mer.

Les informations produites par les systèmes opérationnels de production des données d'environnement du SHOM seront ensuite recueillies par SIC21 et exploitées dans les modules métier « environnement » (CALYPSO) et « performance des senseurs et aide à la décision » (PSAD).

Les grands programmes d'armement bénéficiaires des systèmes de traitement de l'environnement sont en particulier : ceux des sous-marins (SNLE-NG, Barracuda), des navires de transport et de commandement (NTCD), de la composante frégate (FREMM, frégates Horizon), de la nouvelle plate-forme anti-mines (SLAMF, système de lutte anti-mine du futur) et les projets fédérateurs SQUALE et SQUAPIN (systèmes de systèmes qui visent la maîtrise des milieux terrestre et aéro-maritime, notamment sur des théâtres d'opérations extérieurs).

Un des besoins opérationnels transverse à ces systèmes de forces est ainsi d'être alimenté en informations environnementales pour la planification et la conduite des opérations ainsi que pour la maîtrise des systèmes d'armes (fonction « connaître et anticiper » - Livre blanc la « défense et sécurité nationale », 2008). Le besoin en informations GHOM a ainsi été identifié pour la défense au sein de la capacité technologique « environnement géophysique ». Un projet fédérateur de la Délégation Générale pour l'Armement y est rattaché : INFODEG. La constitution d'un patrimoine rassemblant les données d'environnement géophysique utiles aux utilisateurs de la défense en tenant compte des cycles de vie qui leurs sont propres (problématique de la fréquence de mise à jour ou de la fréquence de rafraîchissement) est ainsi un axe d'effort primordial pour les programmes d'études amont du domaine « environnement » auquel le SHOM doit contribuer. Un projet de chapitre transverse au Plan Prospectif à 30 ans de la Défense (PP30) dédié aux aspects GHOM a ainsi été rédigé en 2008 et un programme d'armement est en cours d'élaboration, GEODE4D, qui doit fournir les informations de géoréférencement et les données géographiques, hydrographiques, océanographiques et météorologiques (GHOM) nécessaires aux systèmes d'armes et d'information des armées.

2.2.2. Enjeux

Les enjeux opérationnels généraux de la maîtrise de l'environnement marin pour les opérations militaires et de sécurité nationale sont :

- l'aide à la décision pour la planification des opérations au niveau stratégique, opératif ou tactique, l'avantage étant obtenu par la connaissance du contexte environnemental des opérations et de son évolution, la maîtrise de la diffusion des informations pertinentes et qualifiées, à la juste résolution, en temps et en heure,
- l'optimisation de l'emploi des moyens et le réglage des senseurs,
- la protection et la sécurité des personnes et des moyens,
- l'alimentation des SIC en informations environnementales.

2.2.3. Défis

L'amélioration de la prise en compte de l'environnement passe par l'amélioration de notre connaissance des phénomènes environnementaux (observation, compréhension,

impact), par l'amélioration de leur modélisation pour la prédiction et par l'amélioration des outils d'exploitation tactique de l'environnement. La difficulté est de répondre à des besoins extrêmement variés avec des moyens limités :

- sur le plan technique : l'environnement marin fait appel à de nombreuses spécialités : pour chaque thématique du GHOM il est en effet nécessaire de maîtriser des outils complexes de modélisation numérique, observations in situ et télédétection,
- sur le plan géographique : le soutien GHOM est confronté à l'élargissement des théâtres d'intervention de surcroît souvent mal connus et complexes, notamment en zone côtière,
- sur le plan opérationnel : le soutien GHOM doit répondre aux besoins de l'ensemble des domaines de lutte, aux niveaux tactique, opératif et stratégique. Le développement d'outils adaptés aux besoins nécessite alors l'utilisation de plusieurs systèmes en général complexes et nécessitant une forte compétence technique.

Un effort constant doit ainsi être consacré, en liaison avec les opérationnels, à l'adaptation des produits et services aux seuils de fonctionnement des systèmes d'armes, à leurs performances et au personnel exploitant ces produits. Cette adaptation demande aussi une formation continue des opérationnels.

2.3. Mandat MIP

2.3.1. Besoins

En matière d'hydrographie littorale, la mise en place d'un référentiel géographique littoral (RGL) a été identifiée par le comité interministériel de la mer (CIMer) comme une composante essentielle de la GIZC (gestion intégrée des zones côtières). Le SHOM a établi une coopération avec l'institut géographique national (IGN) pour étudier et définir la composante « topo-bathymétrique » du RGL ainsi que les systèmes et moyens permettant sa réalisation. La satisfaction du besoin requiert le recueil des données sur le terrain et à la mer.

La maîtrise des risques liés à l'environnement marin (tsunamis, surcotes) doit se baser sur des réseaux d'observations et d'alerte. Des systèmes ont été expérimentés aux États-Unis, Japon et Allemagne et commencent à être développés en France. Le SHOM, pour ses missions liées à la sécurité de la navigation, entretient un réseau d'observation de niveau de la mer (RONIM) le long des côtes françaises. Un tel réseau constitue une composante du développement d'un système d'alerte national ou régional et le SHOM doit jouer un rôle sur cette thématique.

La cartographie de référence en matière d'environnement, la diffusion des données et l'identification de zones prioritaires suit les règles et normes des directives européennes (stratégie marine, directive européenne INSPIRE) ou nationales (Natura 2000).

Si le simple transfert technologique semble satisfaisant à l'heure actuelle, il est toutefois à noter que les développements en cours s'appuient sur des études et recherches effectuées 10 à 20 ans en arrière et qu'une vision prospective est donc nécessaire sur cette thématique. La mise en place d'appuis et de mutualisations avec les thématiques NAU et surtout HOM sur des études à vocation duale et bénéficiant d'un soutien en matière d'études amont et de recherche est aussi à rechercher.

2.3.2. Enjeux

Les enjeux généraux de la maîtrise de l'environnement pour le soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral sont :

- l'action de l'État en mer, notamment pour la protection et la sécurité des personnes et des biens et la prévention ou le suivi de pollutions,
- l'aide à la décision pour les acteurs des politiques publiques (développement durable, gestion des zones côtières, exploitation des ressources, aménagements du littoral),
- la mise en place de réseaux d'alerte multirisques (tsunamis, surcotes (figure 3)),
- l'information du grand public.

Les zones concernées sont ici celles sous juridiction française ou faisant l'objet d'accords particuliers.

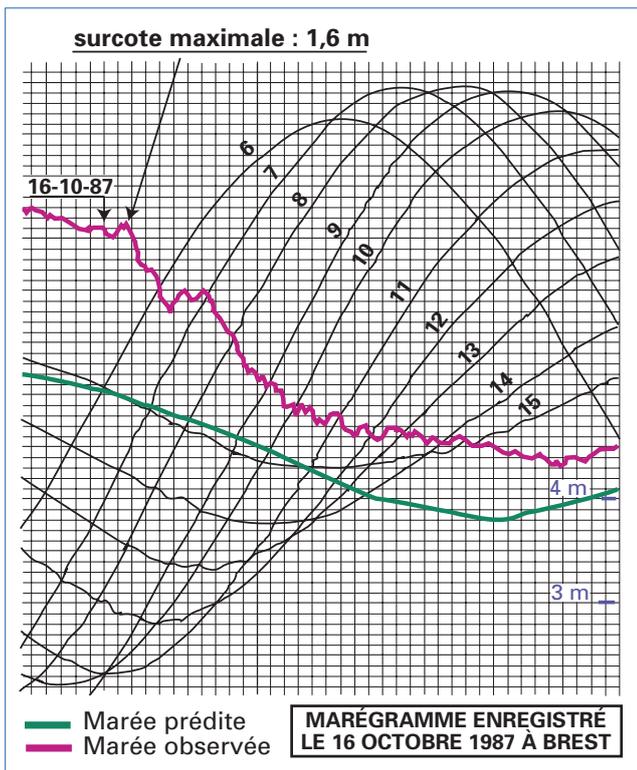


Figure 3 : Surcote à Brest lors de la tempête de 1987

2.3.3. Défis

L'élargissement des missions du SHOM implique une extension du périmètre de la couverture géographique, des évolutions dans les méthodes d'acquisition des informations et la nécessité de créer de nouveaux produits dédiés. Le spectre thématique de la recherche s'agrandit en conséquence. La mise en place de projets est toutefois dépendante de nouveaux modes de financements pour le SHOM qui restent à mettre en place.

Les principaux défis de la recherche en PPML sont les suivants :

- faciliter la diffusion et l'accès aux données, services et produits ;
- suivre l'évolution technologique en cohérence avec les besoins du secteur ;
- innover au juste besoin ;

- contractualiser les coûts et les délais avec les clients ;
- générer de nouvelles applications ;
- qualifier et valoriser les données et les applications existantes ;
- conserver une réactivité adaptée.

3. PLANIFICATION DES ACTIONS

3.1. Généralités

En réponse aux besoins, enjeux et défis décrits plus haut, le SHOM a défini des objectifs stratégiques (OS) pour planifier ses actions à moyen et long terme. Ces OS sont déclinés ensuite en projets, dont les programmes d'études amont (PEA) font partie (actions en boucle moyenne et longue).

D'autre part, le SHOM maîtrise tout ou partie des processus de recherche, développement et production liés à ses missions. Cette intégration verticale permet l'utilisation des résultats de R&D pour le soutien opérationnel -à titre prototype pouvant conduire, si le retour d'expérience est positif, à un service pérenne à terme- et, inversement, permet un retour d'expérience bénéfique à l'orientation des études amont (actions en boucle courte).

3.2. Objectifs stratégiques et actions à moyen terme

Les principaux objectifs stratégiques (OS) technologiques du SHOM sont :

- la connaissance hydrographique des espaces maritimes sous responsabilité française (OS **CHEMRF**), objectif stratégique associé principalement au mandat NAU ;
- la connaissance hydrographique, océanographique et météorologique des zones d'intérêt militaire (OS **CHOM**), objectif associé principalement au mandat HOM ;
- la prévision océanographique opérationnelle (OS **PRE-VOPS**), objectif stratégique justifié principalement par le mandat HOM mais pour lequel MIP est aussi largement concerné ;
- la connaissance du milieu physique littoral (OS **Littoral**), objectif stratégique associé principalement au mandat MIP mais concernant aussi HOM et NAU ;
- les plates-formes d'observations (OS **PFO**), objectif stratégique transverse associé à tous les mandats du SHOM ;
- les produits numériques (OS **PRONUM**), objectif stratégique transverse associé à tous les mandats du SHOM.

Les objectifs stratégiques mentionnés ci-dessus, bien qu'issus et rattachés à l'un des mandats principaux du SHOM, ont toutefois tous des intérêts transverses et contribuent aussi aux autres mandats.

3.2.1. Objectif stratégique CHEMRF

L'objectif est la planification, la réalisation et la publication des levés hydrographiques dans les zones sous responsabilité française, pour les besoins de la sécurité de la navigation et des autres applications dépendant de la connaissance de la bathymétrie (gestion du littoral ou des ressources en général, modélisation hydrodynamique, ...). L'inventaire et les priorités sur ces levés sont contraints en particulier par l'application au niveau national de la directive-cadre euro-

péenne « stratégie pour le milieu marin ». L'amélioration des techniques de sondage, de géodésie ou d'exploitation des résultats (procédures de validation et d'intégration, gestion des bases de données, ...) fait partie du périmètre de cet OS qui s'appuie sur les études et projets : sondeurs multifaisceaux (SMF), courants de marée 3D (produit DIGIMAR), bathymétrie rapportée à l'ellipsoïde (BATHYELLI). Le projet « évolution des dunes de sable » (DUNES), ou les projets d'acquisition de la connaissance sur différents théâtres (projets Afrique de l'Ouest, Atlantique Nord Est et Méditerranée) sont plutôt rattachés à l'objectif stratégique CHOM, mais contribuent aussi largement à l'objectif stratégique CHEMRF.

3.2.2. Objectif stratégique CHOM

L'objectif est d'améliorer les capacités du SHOM à mettre à disposition des utilisateurs opérationnels une description adaptée de l'environnement marin d'un théâtre d'opérations militaires, par le développement de systèmes d'observation, d'acquisition de données, d'archivage, de prévision et d'exploitation ainsi que de programmes et procédures de recueil de données (dont les campagnes à la mer).

Un autre objectif primordial est de fournir aux responsables des opérations d'armement et des programmes d'études, les éléments de connaissance de l'environnement nécessaires à la conception et réalisation des systèmes et à l'évaluation des capacités futures.

Plusieurs projets de recherche et développement contribuent au socle de l'OS CHOM, parmi lesquels le PEA

« Modélisation Océanique d'Un Théâtre d'Opération Navale » (MOUTON), « Étude et Caractérisation Opérationnelle des Routes et des Sols » (ECORS), le projet « TURBIDITÉ » (TURBI) et le PEA « Prévision Océanique, Turbidité, Écoulements, Vagues et Sédimentologie » (PROTEVS), le projet stratégique « Évaluation rapide de l'environnement » (REA), les programmes d'études amont « Système Temps réel d'Évaluation Rapide de l'Environnement Océano-acoustique » (STEREO), « Évaluation Rapide de l'environnement Acoustique par Tomographie Océanique » (ERATO), « ENVironnement GEOphysique » (ENVGEO), le projet « évolution des dunes de sable » (DUNES), ou les projets d'acquisition de la connaissance sur différents théâtres (Base de données sédimentologiques, projets Afrique de l'Ouest, Atlantique nord-est et Méditerranée) et le projet station gravimétrique de référence (STRAGRAV).

Pour les besoins militaires, les PEA et projets envisagés par le SHOM visent en particulier à contribuer aux axes d'effort identifiés dans le projet fédérateur INFODEG pour le domaine maritime. Ils s'enchaînent avec des projets de développement et des programmes d'armement. A noter en particulier la globalisation des PEA (études inter-thématiques et travaux au niveau des interfaces entre les différents domaines scientifiques, par exemple circulation/vagues/sédiments/biochimie) ainsi que leur évolution vers des démonstrateurs permettant un transfert accéléré vers les applications.

Niveaux / Domaines		LSM grands fonds	LSM petits fonds, GdM	LSM et GdM REA	Amphibie et opérations spéciales
Stratégique	Démonstrateur	ENVGEO, DUNES, PS Acquisition de la connaissance			
		EPOPEE PELICAN	SOPHOCLE PELICAN		
	Système opérationnel	GM/DIGIMAR	GM/DIGIMAR	GM/DIGIMAR	GM/DIGIMAR
Opératif	Démonstrateur	MOUTON PELICAN	MOUTON TURBI PELICAN PROTEVS ECORS	MOUTON TURBI PROTEVS	ECORS PROTEVS Litto3D TURBI
	Système opérationnel	SOAP CALYPSO	PREVOCEAN CALYPSO	PREVOCEAN CALYPSO	PREVOCEAN-FO CALYPSO V2
Tactique	Démonstrateur	SOAP PELICAN	MOUTON STEREO ERATO PELICAN	STEREO ERATO PS REA REA discret	ECORS PROTEVS TURBI PS REA REA discret
	Système opérationnel	SOAP PREVOCEAN CALYPSO	PREVOCEAN CALYPSO	SOUTIEN Renforcé PREVOCEAN CALYPSO	PREVOCEAN-FO CALYPSO

Tableau 1 : Programmation R&D et systèmes de production pour les besoins HOM.

	...	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Système de prévision temps réel		SOAP-P2			SOAP-P3			PREVOCEAN			PREVOCEAN-FO					
													Couplage littoral			
												Intégration biogéochimie				
										PROTEVS (PEA 082401)						
						Turbidité										
				ECORS (volet Sédim. Marine) (PEA 042401)												
										MOUTON (PEA 012401)						
		PEA 982401														
		PEA 982402														
		PEA 982403														
		PEA 982408														
Étude d'impact/conception de système																
							PELICAN (PEA 072401)									
REA		SDHM				REAI		REA2		REA3			REA4			
								ERATO-FO								
						ERATO (PEA 072403)										
			STEREO (PEA 032402)													
				REA discret (PEA 042402)												
		PEA 002401														
		PEA 982404														
		PEA 982405														
		PEA 982406														
Systèmes d'exploitation		GM3		GM3.1		GM3.2		CALYPSO		SYNERGIE FUTUR						
							POSTE PRÉVISIONNISTE (PEA 072402)									
								ENVGEO (PEA 072404)								

	Programmes de développement
	Démonstrateurs
	Études et Prospective

Tableau 2 - Enchaînement des études en cours et prévues pour les besoins HOM.

3.2.3. Objectif stratégique PREVOPS

L'objectif PREVOPS vise à améliorer la capacité d'analyse et de prévision de l'océan que ce soit en améliorant la qualité de celle-ci ou en étendant le domaine de validité des systèmes en service (extension aux différentes zones d'intérêt de la marine, extension des prédictions vers le domaine côtier ou littoral, évaluation de nouveaux paramètres environnementaux). Cet objectif s'appuie principalement sur le projet stratégique SOAP (Système Opérationnel d'Analyse

et de Prévision (figure 4)) et sur son successeur PREVOCEAN. Les projets et programmes d'études amont liés à cet objectif stratégique sont « Modélisation Océanique d'Un Théâtre d'Opération Navale » (MOUTON), « Étude et Caractérisation Opérationnelle des Routes et des Sols » (ECORS), le projet « TURBIdité » (TURBI) et le PEA « Prévision Océanique, Turbidité, Écoulements, Vagues et Sédimentologie » (PROTEVS).

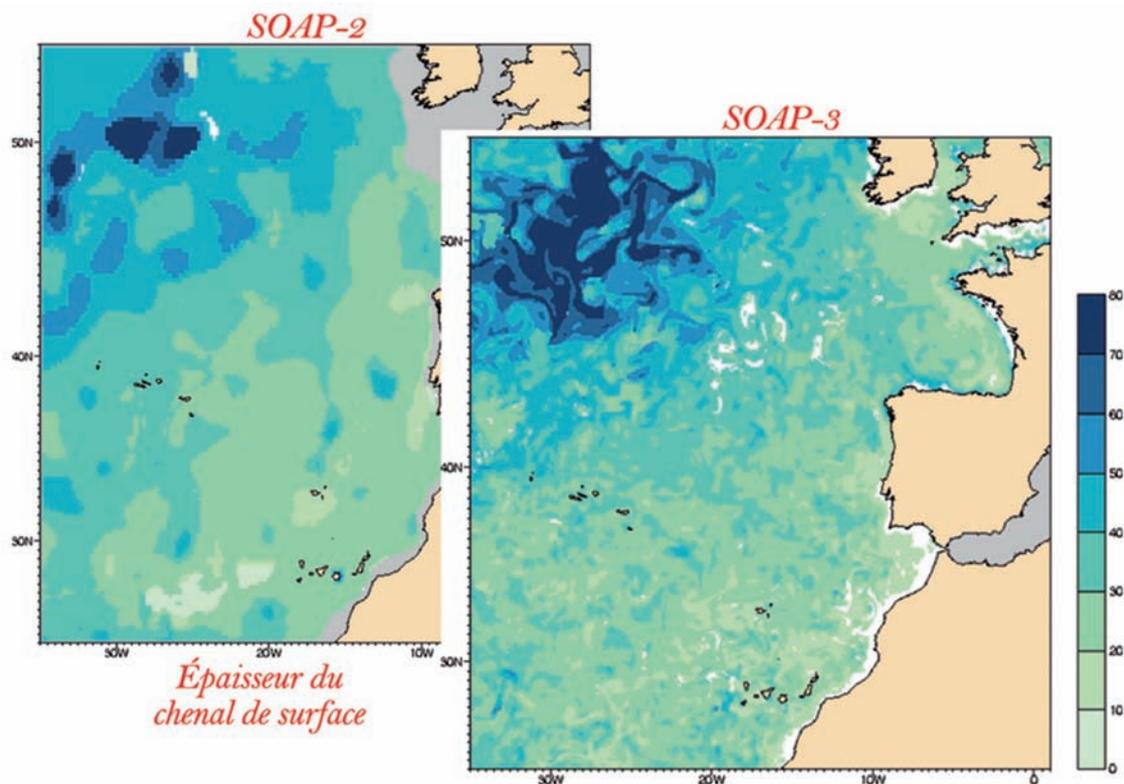


Figure 4 : Exemple d'évolution de la résolution de SOAP : épaisseur du chenal de surface en mètres.

3.2.4. Objectif stratégique Littoral

L'objectif est de fournir des informations géoréférencées concernant le domaine maritime littoral (et le domaine terrestre côtier) dans le cadre de la nouvelle mission du SHOM de soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral. Cet objectif est dual et la défense montre aussi un intérêt croissant sur ce sujet, mais principalement pour les théâtres d'opérations extérieures. La démarche se décline autour des axes d'effort suivants :

- acquérir la **maîtrise de l'emploi des nouveaux capteurs** (laser bathymétrique, GPS, marégraphe temps réel, ...) ;
- automatiser le traitement des mesures pour **accélérer la disponibilité des informations** sans nuire à leur fiabilité (projet CHATDHOC) ;
- améliorer l'interopérabilité des informations pour **faciliter les échanges** avec l'extérieur et la réutilisation des données (projet INFRAGEOS-H, qui contribue aussi aux OS CHEMRF et CHOM) ;
- anticiper les nouveaux usages puis décliner les produits correspondants pour mieux soutenir les PPML, pour **alimenter les SIG** et pour permettre une gestion intégrée de la zone côtière (**GIZC**) cohérente avec l'environnement, par exemple ;
- maîtriser les concepts, les standards et la progression des nouvelles technologies de l'information et de la communication pour **faciliter la diffusion et l'accès** à la plus large communauté d'utilisateurs possible (projets Géoportail, PCDR/SeaDataNet, EMODNET).

Cet objectif s'appuie principalement sur les projets Litto3D®, bathymétrie rapportée à l'ellipsoïde (BATHYELLI) et réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM).

3.2.5. Objectif stratégique PFO

L'objectif est de planifier l'utilisation des plates-formes d'observations dont dispose le SHOM (navires principalement mais aussi des systèmes acoustiques complexes, satellites, LIDAR, drones, AUV, GNSS, sources acoustiques), leur évolution et leur renouvellement en fonction des besoins, ressources et technologies disponibles. Cet objectif stratégique concerne l'ensemble des mandats du SHOM.

L'opération liée au renouvellement de la flotte des bâtiments hydrographiques côtiers (BH2) est le projet majeur de cet objectif stratégique.

3.2.6. Objectif stratégique PRONUM

L'objectif est de rationaliser la production des informations d'environnement, notamment pour l'intégration numérique de ces informations dans les systèmes de e-navigation et de soutien météo-océanographique. Cet objectif s'appuie notamment sur les projets stratégiques DIGIMAR et DIGI-NAV. Il bénéficie également des réflexions menées dans les programmes d'études amont, qui permettent de concevoir de nouveaux types de produits. A noter aussi le programme d'études amont « Plate-forme d'Évaluation Logicielle de l'ImpaCt de l'environnement pour l'ANalyse opérationnelle » (PELICAN) qui vise à évaluer le gain technico-opérationnel des systèmes d'évaluation de l'environnement développés au SHOM, afin de les dimensionner au mieux et d'optimiser la réponse au besoin opérationnel (réponse au « juste besoin »).

3.3. Études et projets contribuant à la recherche

3.3.1. BATHYELLI

Le projet « bathymétrie rapportée à l'ellipsoïde » (BATHYELLI) vise à produire des modèles numériques de terrain des différentes surfaces de références en hydrographie (zéro hydrographique, niveau moyen, niveau des plus basses mers, géoïde, IGN69, ellipsoïde GRS80 du système géodésique RGF93). Outre le fait de coter le zéro hydrographique dans un repère stable, précis et accessible, un des intérêts importants de BATHYELLI est de ne plus avoir à disposer de marégraphe pendant les levés, ni à corriger les sondages des effets météorologiques et de la marée, grâce à l'utilisation du GPS lors des levés hydrographiques. Un autre intérêt du projet est de pouvoir passer d'un système de référence à un autre, en particulier des références marines aux références terrestres (fusion de données terre-mer). Il sera aussi aisé de passer du zéro hydrographique au niveau moyen (figure 5), pour la modélisation par exemple.

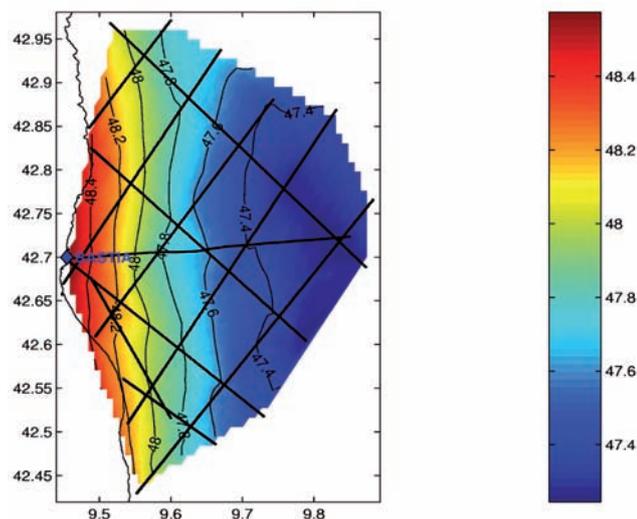


Figure 5 : Niveau moyen de la mer, en mètres, aux abords de Bastia : hauteur au-dessus de l'ellipsoïde GRS 80, système géodésique RGF 93.

3.3.2. Bathymétrie acoustique

L'objectif de recherche en bathymétrie acoustique est l'amélioration du traitement en temps différé des données bathymétriques. En particulier, l'algorithme de validation automatique des données bathymétriques initialement proposé en 1998, intégré dans les logiciels de post-traitement CARIS/HIPS et CARAÏBES a, compte tenu des enjeux qu'il représente, fait l'objet de constantes améliorations (figure 6). En effet, les volumes de données issues des sondeurs multifaisceaux opérant par petits fonds imposent une automatisation des traitements qu'il est nécessaire de maîtriser, si l'on veut pouvoir tenir compte des contraintes cruciales qu'impose la garantie de la sécurité de la navigation. Il s'agit ainsi de poursuivre ces études afin de maintenir l'expertise pour prendre en compte les évolutions technologiques à venir sur une étape cruciale des traitements.

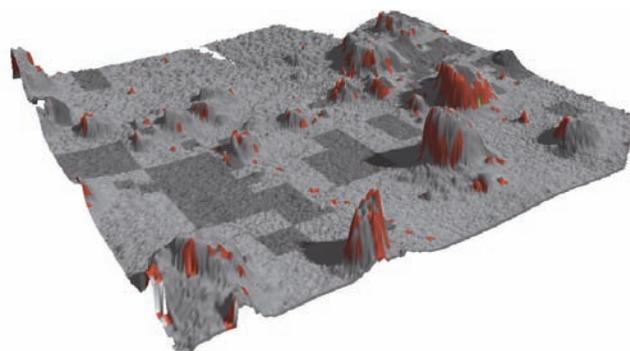


Figure 6 : Image 3D du relief sous-marin représentant une zone de pinacles coralliens. Le relief est texturé par la carte de confiance que produit l'algorithme de détection automatique des sondes aberrantes contenues dans le lot de données bathymétriques ayant servi à son élaboration.

3.3.3. Litto3D®

L'objectif du projet Litto3D® est l'étude technique et économique, et la mise en place de processus et de structures communs au SHOM et à l'IGN, pour satisfaire les besoins des acteurs et des gestionnaires de littoral marin et terrestre en information bathymétrique et topographique fine (figure 7), en métropole et dans les départements d'outre-mer (DOM). Combinée au modèle de marée du SHOM, cette information constitue la composante géométrique du référentiel géographique du littoral (RGL). Au travers de ce projet, le SHOM et l'IGN souhaitent doter leurs unités opérationnelles (centres de production et d'exploitation, bases de données, bâtiments, aéronefs) des systèmes permettant l'acquisition, le traitement et l'exploitation des données altimétriques nécessaires, ou à défaut de leur maîtrise d'ouvrage.

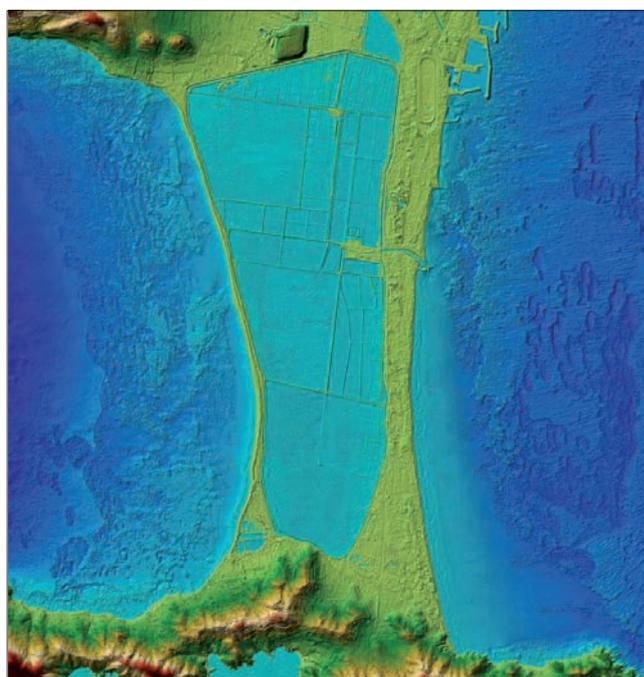


Figure 7 : Carte terre-mer de la presqu'île de Giens. Données sondeur multifaisceaux et laser aéroporté (terre et mer).

Le SHOM et l'IGN sont identifiés par le comité interministériel de la mer (CIMer) comme les seuls organismes compétents au niveau national pour réaliser le projet.

Ces travaux comprennent, du côté SHOM, la prise en compte des aspects militaires pour des théâtres extérieurs, ce qui permet de bénéficier de la synergie avec les aspects civils. L'essentiel du projet concerne le recueil et le traitement des données sur les zones terrestre et maritime côtières.

3.3.4. RONIM

Le projet « Réseau d'Observation du Niveau de la Mer » (RONIM) a pour objectif la mise en place d'un réseau d'observation permanente du niveau de la mer, pour l'amélioration des prédictions de marée sur les côtes de France et d'outre-mer, la réduction des sondages bathymétriques et la validation des modèles hydrodynamiques. Il est une aide à la navigation portuaire, aux études d'aménagement, à l'AEM...

Le réseau comprend, au 1^{er} mars 2009, 32 marégraphes en métropole (figure 8) et outre-mer. Les mesures sont mises à disposition d'une large communauté (au niveau local, régional, national, européen et mondial). Des applications nouvelles (exploitation des observations d'altimétrie satellitale, prévision opérationnelle des surcotes/décotes et des niveaux extrêmes ou encore réseaux d'alerte multirisques) supposent de disposer des informations marégraphiques en continu et en temps réel. Il convient ainsi, dans le cadre de l'océanographie côtière opérationnelle, de doter le réseau RONIM d'une capacité permanente de transmission en temps réel des mesures de hauteur d'eau. (France, Antilles-Guyane, océan Indien).

La composante veille technologique sur l'instrumentation (radar, ...) et les moyens de transmission temps réel des données de mesure de hauteur d'eau sont à développer dans le cadre de RONIM.

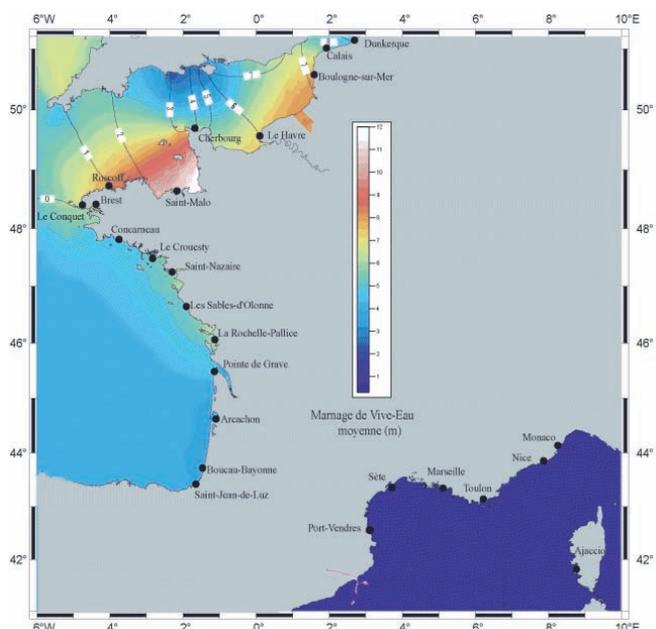


Figure 8 : Réseau RONIM en métropole – Le marégraphe du Conquet.

De nouveaux moyens de mesures émergents (GPS sur bouées) pourraient permettre des mesures au large (détection d'aléas marins). Ces moyens sont compatibles avec une problématique REA.

3.3.5. Courants de marée 3D

L'étude « courants de marée 3D » (produit DIGIMAR) vise à acquérir une meilleure connaissance des courants de marée selon la dimension verticale. Jusqu'à présent, les modèles de courants de marée réalisés par le SHOM et les produits issus de ces modèles (atlas et cédéroms de courants de marée) étaient issus d'une modélisation 2D et ne représentaient que les courants de surface. Plusieurs études ont permis de valider les outils numériques tridimensionnels utilisés (code Telemac-3D développé par EDF/Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement et commercialisé par SOGREAH). Le développement d'un premier prototype couvrant la rade de Brest a été réalisé en 2009 ; les produits issus de ce modèle seront les courants de marée en fonction de l'heure de la pleine mer du port de référence sur différentes couches verticales (par exemple : fonds, mi-profondeur, surface). D'autres modèles suivront en fonction des zones d'intérêt et de la ressource disponible.

3.3.6. PEA ENVGEO

Le PEA « environnement géophysique » (ENVGEO) s'intéresse à la modélisation multi-échelle du champ de pesanteur et du champ magnétique océanique. Une partie est dévolue à l'application sur deux zones différentes en termes de géodynamique et de géologie : la mer Méditerranée et l'océan Atlantique. L'apport de l'altimétrie satellitale pour la gravimétrie et la bathymétrie est aussi étudié pour aboutir à des spécifications techniques précises des futures missions satellitales.



L'objectif du PEA ENVGEO est double :

- d'une part la réalisation d'un démonstrateur de systèmes de production de modèles (figure 9) en Atlantique et en Méditerranée. Les modèles géophysiques seront réalisés à des échelles différentes suivant les applications opérationnelles visées ;
- d'autre part la préparation des missions altimétriques futures pour la caractérisation du champ de pesanteur et de la bathymétrie.

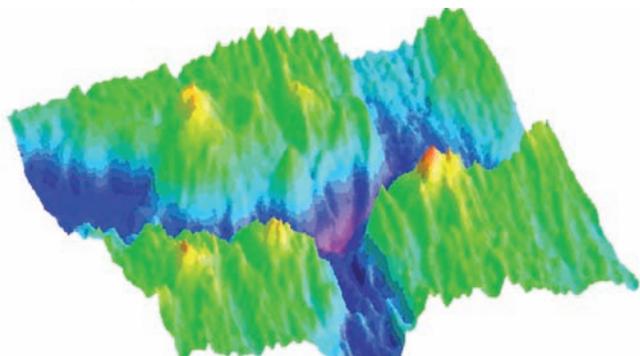


Figure 9 : Champ gravimétrique calculé à partir de la fusion de données gravimétriques et bathymétriques.

3.3.7. Projet STAGRAV

Le projet « station gravimétrique de référence » (STAGRAV) a pour objectif principal la mise en place d'une station de référence gravimétrique à Brest. Il intègre de plus l'étude des références combinant la gravimétrie, la géodésie et la marégraphie (surveillance scientifique et technique des gravimètres terrestres Scintrex, exploitation des mesures de gravimétrie absolue et suivi du GPS permanent dans le cadre du Réseau Géodésique Permanent (RGP) et de l'IGS – International GNSS Service).

3.3.8. PEA ECORS

L'objectif principal du volet 2 (sous pilotage SHOM) du PEA « Etude et Caractérisation Opérationnelle des Routes et des Sols pour la mobilité et la projection de forces par voies aéroterrestre » (ECORS) est de développer un démonstrateur de morphodynamique du sommet de plage à la limite inférieure d'action des houles, associant les moyens d'observation (figure 10) et les modèles. Il s'agit d'étudier et de caractériser la dynamique de la morphologie des plages et de déterminer l'évolution des paramètres d'environnement du domaine côtier, afin de répondre aux besoins d'aide à la décision et à l'évaluation de l'impact de l'environnement pour les opérations de projection de force aux niveaux stratégique, opératif et tactique.



Figure 10 : Observation de l'apparition de barres et baïnes sur une plage.

3.3.9. Projet évolution des dunes de sable

L'objectif du projet « évolution des dunes de sable » est la détermination et la cartographie des secteurs concernés par le déplacement des dunes et bancs de sable sur le plateau continental français (figure 11), afin de réaliser un outil d'aide à la décision pour la planification des levés et le suivi de l'évolution des fonds. Il s'agit de :

- définir l'importance du phénomène sur le plateau continental français,
- disposer d'un système de surveillance nationale adapté pour la gestion à long terme,
- développer les procédures et produits adaptés.

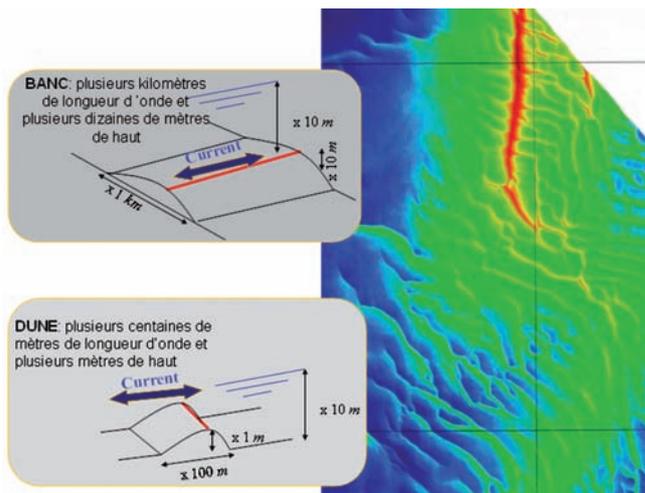


Figure 11 : Modèle numérique de terrain d'un champ de dunes de sable de la Mer du nord (levé SHOM 2008), montrant la transition des dunes isolées au sud venant s'amalgamer en un banc de sable caractérisé par sa crête (en rouge).

3.3.10. Projet turbidité

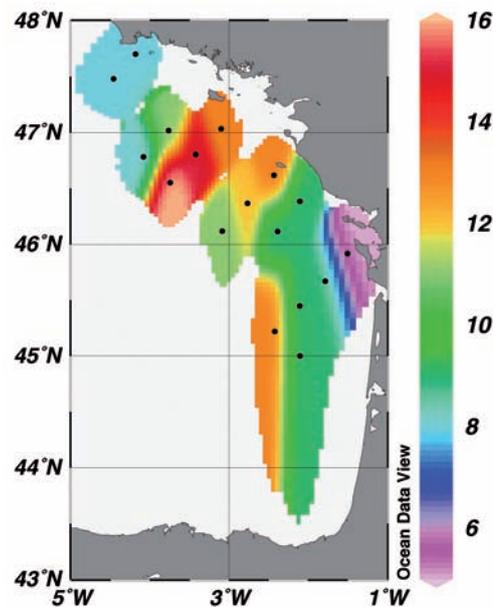


Figure 12 : Profondeur du disque de Secchi (visibilité verticale en mètres) dans le golfe de Gascogne.

L'objectif du projet « turbidité » est de préparer le développement de moyens opérationnels de prévision des conditions de visibilité sous-marine, pour leur exploitation dans les systèmes d'aide à la décision lors d'opérations navales (prévision de progression des plongeurs, immersion de sous-marins, ...). Il s'agit de réaliser une série d'études sur les méthodes d'observation et la modélisation de la turbidité océanique (figure 12) et plus généralement la détermination des propriétés optiques des eaux en environnement côtier.

3.3.11. PEA MOUTON

L'objectif du PEA « modélisation océanique d'un théâtre d'opérations navales » (MOUTON) est l'étude et la validation de démonstrateurs couvrant à la fois les domaines océaniques hauturier et côtier, afin de répondre aux besoins d'une force navale sur un théâtre d'opérations. Il s'agit ainsi d'adapter les modèles numériques d'évolution de l'océan, les systèmes d'assimilation de données ainsi que les procédures de validation développées dans le cadre des modèles hauturiers, aux modèles côtiers (figure 13).

La démarche proposée consiste à :

- démontrer la faisabilité d'une modélisation complète, des grands fonds au côtier, en suivant deux pistes : d'une part, en expérimentant des méthodes de couplages de modèles en se basant sur le modèle de circulation océanique OPA, d'autre part, en utilisant une nouvelle génération de modèles (HYCOM¹), permettant de traiter le problème globalement, grâce à l'utilisation de coordonnées hybrides ;
- améliorer la prise en compte, dans les modèles, des processus de mélange des masses d'eau, en particulier ceux influencés par les variations bathymétriques dans les zones de transition grands fonds / petits fonds (talus) ;
- établir les modalités d'application opérationnelles des modèles côtiers, en particulier en y intégrant l'assimilation de données ;
- développer des nouveaux capteurs, ou de nouvelles méthodes d'exploitation des capteurs, susceptibles de compléter les observations assimilables, notamment pour le domaine côtier ;
- améliorer les techniques d'assimilation pour optimiser l'utilisation des données assimilables et définir des stratégies d'observation ;
- obtenir des diagnostics pertinents pour la validation des modèles, en particulier sur la base d'observations issues de campagnes à la mer.

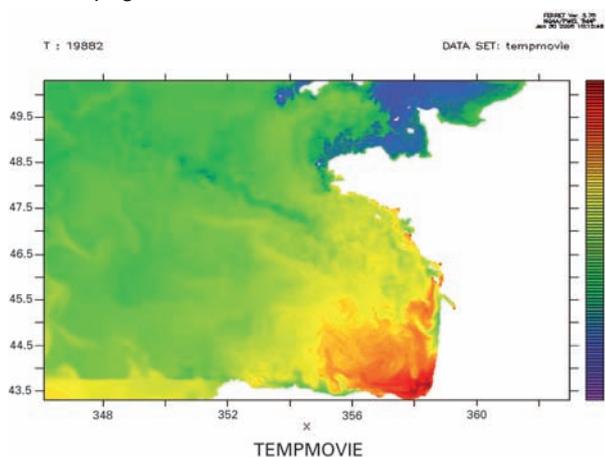


Figure 13 : Modélisation de la température de surface en Manche et dans le golfe de Gascogne.

3.3.12. PEA PROTEVS

L'objectif du PEA « prévisions océanique, turbidité, écoulements, vagues et sédimentologie » (PROTEVS) est :

- d'améliorer la connaissance des processus océaniques impactant les opérations militaires (action continue de « recherches amont ») ;
- d'étudier la faisabilité de systèmes permettant la reconstitution en temps réel (analyse) de l'environnement hydrodynamique (état de la mer, courants (figure 14), température, salinité) et biogéochimique (matière en suspension, mobilité des sols, transparence, visibilité) de l'océan, ainsi que de son évolution possible (prévision).

La démarche proposée consiste à :

- définir les processus océaniques physiques et biogéochimiques ayant un intérêt a priori pour les opérations militaires ;
- modéliser ces processus ;
- observer ces processus et valider leur modélisation ;
- développer des nouveaux capteurs, ou de nouvelles méthodes d'exploitation des capteurs, susceptibles de compléter les observations assimilables ;
- mettre en place les différents modules nécessaires à la réalisation de systèmes pré-opérationnels -ou démonstrateurs- représentant ces processus (l'intégration des processus biogéochimiques n'est pas prévue dans le cadre de ce projet) ;
- valider les démonstrateurs et préparer l'exploitation de leurs résultats.

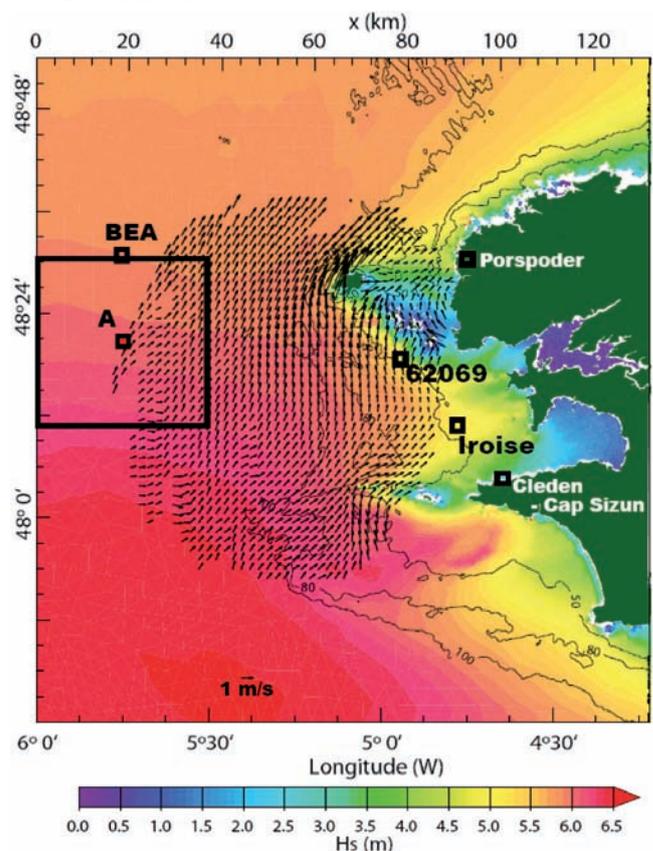


Figure 14 : Modélisation de la hauteur des vagues et observation des courants de surface en mer d'Iroise.

3.3.13. PEA ERATO

Le PEA « Évaluation Rapide de l'environnement Acoustique par Tomographie Océanique » (ERATO) a pour objectif principal de développer un système de démonstration de REA

¹ Voir l'article spécifique « Modélisation de la circulation océanique en Manche, Golfe de Gascogne, Ouest-Portugal et Golfe de Cadix » dans ces annales.

acoustiquement discret. Le PEA ERATO comporte pour deuxième objectif l'évaluation de la faisabilité d'un système complet (actif et passif, tout domaine de lutte) de REA acoustique.

3.3.14. PEA STEREO

Le PEA « système temps réel d'évaluation rapide de l'environnement océano-acoustique » (STEREO) a pour but l'évaluation des réflexions sur le fond à très basses fréquences (figure 15). Les objectifs du PEA sont :

- la réalisation du démonstrateur technologique d'un système d'évaluation des réflexions très basses fréquences en environnement simple (mais réaliste) et aisément déployable,
- la réalisation d'un ensemble d'outils pour l'amélioration des méthodes d'inversion et d'extension du concept d'emploi du système. Ces outils pourront être des démonstrateurs de petite échelle, des codes informatiques, des rapports et des publications.

3.3.15. PEA PELICAN

L'objectif du PEA « Plate-forme d'Évaluation Logicielle de l'ImpaCt de l'environnement pour l'ANalyse opérationnelle » (PELICAN) est de développer un ensemble cohérent d'outils d'aide à la décision stratégique pour les développements des systèmes d'environnement. Il s'agit de systématiser l'utilisation de l'analyse opérationnelle pour le développement des actions du domaine environnement. La démarche consiste en deux étapes :

- l'évaluation objective du gain apporté par la connaissance de l'environnement sur les gains de performances de systèmes, de systèmes de systèmes ou de capacités opérationnelles globales,
- l'utilisation de cette évaluation pour l'optimisation des actions (développements, programmes, recherches, acquisition de données, ...) du domaine environnement.

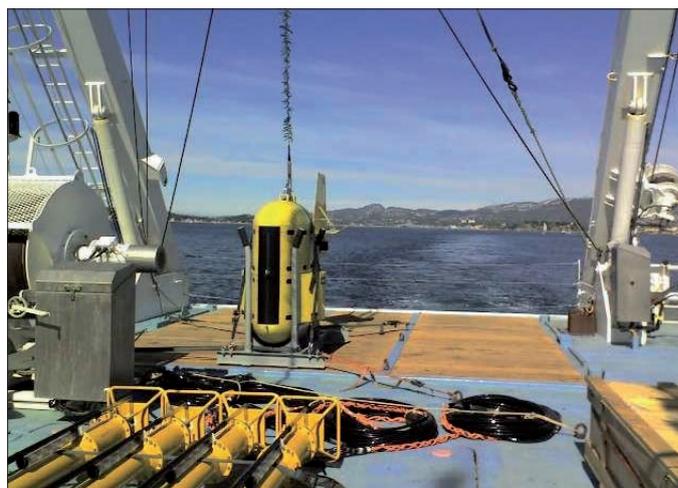
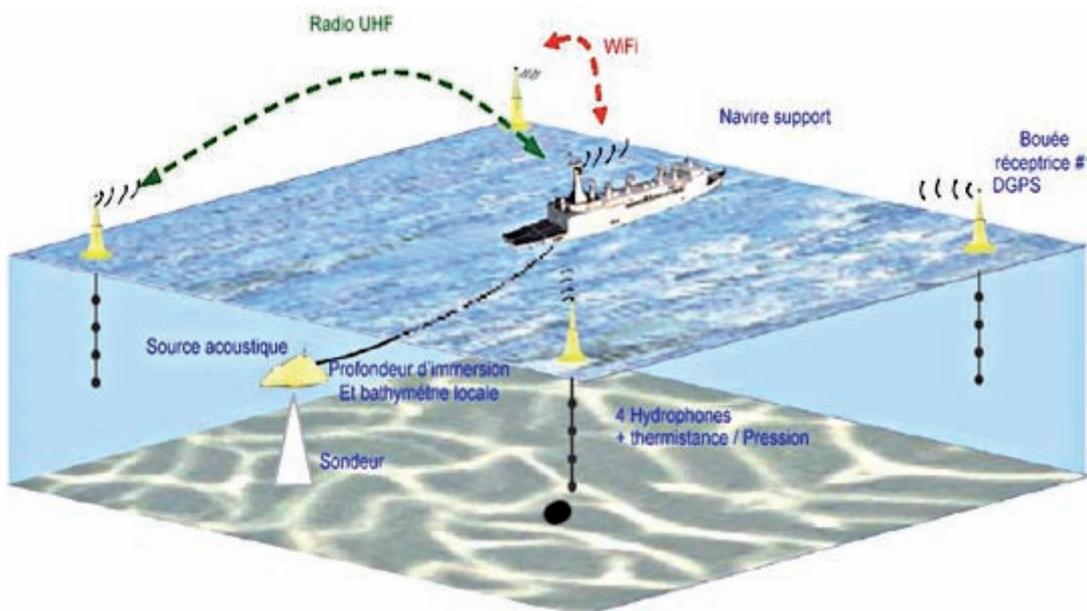


Figure 15 : Concept et dispositif de tomographie acoustique pour l'évaluation rapide de l'environnement acoustique d'un théâtre d'opération.

3.3.16. REA discret

Le PEA « REA discret » a pour but de démontrer la capacité à décrire précisément et de manière discrète les fonds marins (y compris les couches superficielles du sous-sol) et la colonne d'eau pour la préparation et la conduite des opérations côtières, à l'aide de véhicules autonomes sous-marins (AUV : Autonomous Underwater Vehicles (figure 16)) dans un contexte de soutien REA (Rapid Environmental Assessment).

Ce type de porteur sert donc de base technologique à ce programme dont les objectifs détaillés sont les suivants :

- réalisation d'un démonstrateur technologique d'un système discret d'évaluation rapide de l'environnement géophysique côtier,
- développement de méthodes et d'algorithmes permettant une utilisation optimale des données recueillies à l'aide de l'AUV, pour répondre aux besoins des opérationnels,
- traitement automatique ou semi-automatique des données, adapté à la mise en oeuvre des différents senseurs à partir d'un AUV,
- développement des capacités de traitement en temps réel à bord du véhicule,
- fusion de données multi-senseurs.

Afin d'illustrer l'ensemble de ces travaux, une maquette fonctionnelle d'un « système de production REA discret » sera réalisée. Cette maquette doit permettre, à partir des données collectées par l'AUV, d'aboutir aux produits finis requis pour les opérations côtières, un effort particulier sera porté sur :

- l'optimisation de l'emploi des AUV pour la conduite d'opérations REA Cat. 3 (REA discret),
- l'optimisation de la planification initiale de mission (avant le début de mission) : définition de trajectoires initiales optimales en fonction des objectifs de la mission, stratégie de déclenchement des charges utiles, de stockage et de transmission des données en temps réel, de recalage de la navigation, ...
- l'optimisation du comportement du porteur en cours de mission : capacité du système à reprogrammer sa mission en fonction des conditions réellement rencontrées avec une supervision la plus faible possible.



Figure 16 : AUV Daurade.

3.4. Valorisation de la R&D et action en boucle courte

Le SHOM a en charge le soutien des forces, en matière de connaissance de l'environnement GHOM, et l'élaboration de la documentation nautique nécessaire à la sécurité de la navigation, dans ses zones de responsabilité et dans les autres zones intéressant la défense.

Le soutien GHOM s'appuie sur une production standard et sur des soutiens renforcés à l'occasion d'exercices majeurs ou d'opérations réelles. La production standard (en particulier la production en temps différé) intègre notamment les développements scientifiques obtenus avec les PEA (par exemple, les fiches de synthèse opérationnelles reprennent la connaissance la plus récente des processus océaniques, connaissance qui a pu être développée au travers des PEA) et les travaux de la communauté scientifique internationale, après une phase de transfert de la recherche vers l'opérationnel. Concernant le soutien renforcé, des versions expérimentales de systèmes d'environnement (démonstrateurs en cours de réalisation ou achevés dans le cadre de PEA) peuvent être mises en place pour améliorer le soutien (extension de zones, mesures de nouveaux paramètres, test de méthodes, ...). Ceci permet la fourniture rapide de produits (éventuellement « non encore qualifiés ») dans des délais très courts. Ce transfert fait bénéficier les forces de systèmes à la pointe des développements scientifiques et techniques, il permet aussi, par retour d'expérience, d'affiner la prise en compte du besoin opérationnel et de guider les études amont. Finalement, cela permet aussi de raccourcir les durées de transfert « recherche vers opérationnel » qui sont, en général, relativement longues (typiquement 2 à 5 ans pour des modifications standards, 5 à 10 ans pour des modifications majeures de systèmes).

Cette organisation, mise en place initialement dans le cadre du mandat HOM au profit du client militaire, peut aussi être étendue aux autres clients et mandats du SHOM.

3.5. Analyse transverse

Comme déjà mentionné, les études entreprises dans le cadre d'un mandat, d'un objectif stratégique ou d'un projet ont des utilités transverses. Si les zones d'intérêt et d'application prévues pour l'une ou l'autre mission sont parfois disjointes, les développements technologiques et recherches menés dans le cadre de MIP, pour la réalisation d'une bathymétrie à haute résolution et bonne précision, sont de toute évidence utiles aux mandats HOM et NAU.

Par ailleurs, il y a de nombreuses convergences entre les besoins civils et militaires, au niveau des applications :

- la traficabilité des plages, pour laquelle des études sont menées dans le cadre du PEA ECORS, intéressent la sécurité civile pour acheminer les secours,
- la détection des mines sous-marines (et leur enlèvement) ou la localisation des zones de courants extrêmes est un préalable à l'aménagement de certains parcs éoliens en mer (ADEME),
- la prévention des risques et l'étude des aléas naturels associés s'appuient en partie sur l'exploitation des résultats obtenus en océanographie militaire (déferlement, ...),
- les études effectuées au profit de la sécurité de la navigation sont utilisées par la défense,
- ...

Au niveau de la planification de l'action, il est à noter que l'analyse, basée sur une vision de l'action en plusieurs niveaux décisionnels (stratégique, opératif, tactique) et déclinée pour chaque « domaine de lutte » (lutte amphibie, LSM, GdM, LASM, opérations spéciales, ...), peut avantageuse-

ment être adaptée aux besoins civils. On peut ainsi imaginer pour chaque « domaine d'action » (aide aux bâtiments, aide aux personnes, lutte contre les pollutions, dérive d'objet, opération de police, ...) une échelle de niveaux d'intervention du type :

1°/ Mode standard / surveillance

2°/ Mode « soutien renforcé » avec différents niveaux d'alerte :

- Prévention : identification des zones à risque, avis aux navigateurs, études de sites en vue d'une sélection de ports refuges (et veille approfondie sur ces sites), ...
- Assistance : routage de bâtiments, planification des opérations de secours, ...
- Sauvetage/intervention de moyens AEM : choix des moyens d'intervention, conduite des opérations, ...
- Crise : pour des opérations majeures (lutte contre les pollutions accidentelles, ...) : choix des moyens d'intervention, conduite des opérations, ...
- Évaluation des dommages et retour à la normale : cartes d'impact économique, accumulation de données sur un évènement, retour d'expérience.

Des produits adaptés à chaque domaine d'action et niveau d'intervention peuvent alors être imaginés, dont certains sont d'ores et déjà disponibles ou en cours de développement.

Il est ainsi à noter que la plupart des produits à vocation militaire développés par le SHOM sont utiles et facilement adaptables aux besoins civils, il en est de même pour l'organisation du soutien mise en place dans la marine et au SHOM. Tous les besoins en matière de connaissance de l'environnement marin ne sont toutefois pas couverts par les mandats confiés au SHOM (qualité de l'eau, évolution climatique, halieutique en particulier) et des synergies sont ainsi à trouver avec les autres organismes pour valoriser et mutualiser les études et productions du SHOM.

Toutefois, comme mentionné plus haut, les zones et champs d'intérêt prioritaire des différents « clients du SHOM » peuvent être parfois disjointes : il n'est plus possible de focaliser l'amélioration de la connaissance sur les voies navigables et de ne conserver que l'enveloppe de sécurité du fond, par exemple. L'acquisition et le post-traitement des mesures, traités parfois de façon spécifique, ne doivent plus préjuger des besoins, qui ne sont plus uniquement ceux de la navigation ou des forces : la réutilisation des données acquises par le SHOM ou ses partenaires pour le soutien aux PPML est un enjeu important. Par ailleurs, les exigences des acteurs des nouvelles PPML sont parfois différentes de celles liées à la navigation et au soutien des forces : une réactivité moyenne à forte est requise en permanence, pour rester compatible avec les mandats politiques, pour réussir à coordonner la multitude des acteurs et rester en phase avec les urgences des besoins. La nécessité de disposer d'outils de management distincts de ceux employés dans les programmes d'armement est aussi avérée. La sûreté de fonctionnement de produits non destinés à la navigation est aussi souvent différente, ce qui a des conséquences en terme de délai de mise à disposition des résultats de la recherche au public, en diminuant les exigences d'un plan de prévention des risques par exemple.

Enfin, la confidentialité et la protection des données (constantes harmoniques de la marée ...) et des résultats de la recherche (expertises, brevets, marques ...) doivent être allégées dans le cadre du soutien aux PPML, lorsque celui-

ci est suffisamment disjoint du domaine militaire. La production de modèle numérique de terrain ou de modèle hydrodynamique dans des endroits incluant des zones militaires sensibles doit pouvoir exploiter des données protégées si ces données ne constituent pas l'unique source d'information, si elles ne sont plus visibles ou accessibles en final, et si elles contribuent effectivement à mieux décrire l'environnement ou un phénomène.

Au niveau des études amont, la maîtrise de l'environnement physique marin est une nécessité pour le développement de nombreuses activités économiques et pour l'AEM (océanographie côtière notamment). Les besoins d'observation, de compréhension, de description et de modélisation du domaine maritime national en métropole et outre-mer sont en grande partie similaires à ceux que la défense a, en outre, sur les théâtres extérieurs d'intervention des forces. La recherche est par conséquent également fortement duale. C'est pourquoi l'analyse en matière d'orientation des recherches est réalisée par thématique de recherche et non par mandat ou objectif stratégique.

4. THÉMATIQUES DE RECHERCHE ET ORIENTATIONS DES ÉTUDES AMONT

4.1. Finalité de la recherche au SHOM

Les objectifs fixés à la recherche au SHOM sont :

- la préparation de l'avenir (choix stratégiques, évolutions à moyen et long terme) ;
- le maintien en interne d'un haut niveau d'expertise sur les thématiques d'intérêt du SHOM ;
- l'amélioration des systèmes de production (évolutions à court et moyen terme).

La préparation de l'avenir et le maintien d'un haut niveau d'expertise doivent nécessairement s'appuyer sur des recherches effectuées en interne. L'amélioration des systèmes de production peut être en partie externalisée, mais doit rester maîtrisée et donc pilotée par les chercheurs et ingénieurs du SHOM.

Ces objectifs doivent être compris pour être soutenus par les utilisateurs au sens le plus large. Cela suppose qu'ils soient évalués et présentés dans les instances idoines en relation directe avec le SHOM (processus « recherche ») et externes (Comité Scientifique de l'Océanographie Militaire pour les aspects militaires et duaux, Organisation Hydrographique Internationale pour certains aspects liés aux levés hydrographiques).

4.2. Périmètre de la recherche au SHOM

Sur la base des besoins et objectifs stratégiques du SHOM, les thématiques scientifiques -liées à la description de l'environnement physique marin- sur lesquelles le SHOM a des intérêts en matière de recherche ont été identifiées. On distingue ainsi :

- la géodésie : positionnement, niveaux de référence ;
- l'hydrographie : bathymétrie, imagerie, niveau de la mer ;
- l'océanographie physique : marée, hydrodynamique, thermodynamique océanique à moyenne et petite échelle ;
- météorologie marine : vagues, vent, propagation radar et IR ;

- la biochimie marine : bioluminescence et propriétés optiques de l'eau ;
- la géologie marine : nature et épaisseur des sédiments, dynamique des fonds en domaine marin et littoral ;
- la géophysique marine : connaissance de la pesanteur (gravimétrie), géomagnétisme ;
- l'océanographie acoustique : reconnaissance acoustique du milieu marin.

On distingue aussi deux axes transverses supportant les thématiques précédentes :

- physique de la mesure, techniques d'observation : télédétection, photogrammétrie, capteurs, métrologie, traitement de la mesure ;
- technologies de l'information : fusion de données, aide à la décision, généralisation, Système d'Information Géographique, traitement d'image, normalisation/base de données, échanges de données.

4.3. Délimitations et axes de progrès

4.3.1. Géodésie

4.3.1.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique concerne principalement le positionnement (géoréférencement) et les études des niveaux de référence. Le projet principal du SHOM sur cette thématique est BATHYELLI.

4.3.1.2. Actions à lancer

Le SHOM n'est pas présent, au niveau recherche, de manière active à l'heure actuelle sur cette thématique faute de compétence de pointe dans le domaine des technologies nouvelles (GPS, ...). Toutefois, les résultats issus du projet BATHYELLI devraient être porteurs de nouvelles actions pour le moyen terme.

4.3.2. Hydrographie

4.3.2.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique concerne principalement l'acquisition et le traitement de données bathymétriques, les techniques d'imagerie de fond de la mer, et l'étude des variations du niveau de la mer à haute fréquence pour les corrections bathymétriques (reliée à l'océanographie physique pour la marée, la météorologie pour la pression atmosphérique ou les vagues). Les liens avec la géodésie sont très forts (précision des niveaux de référence notamment).

Le cadre général des études est l'amélioration de l'acquisition et de la validation (résolution, précision et délai d'acquisition et traitement) des données de topographie du fond de la mer sur les zones pertinentes et dans la limite des besoins liés aux mandats du SHOM. Ceci concerne l'ensemble des données bathymétriques disponibles : télédétection, photogrammétrie, altimétrie, sondeurs multifaisceaux et bathymètres lasers par exemple.

Les études en cours concernent la refonte des algorithmes de traitement et validation automatique des données bathymétriques, notamment pour les petits fonds, l'entretien et l'exploitation des réseaux d'observation marégraphique, la

réalisation et l'exploitation de levés aéroportés dans le domaine littoral, pour lequel l'établissement des cartes de transition entre domaines immergés et émergés (couplage entre les cartes SHOM et IGN) est en cours, et l'étude de l'utilisation de l'ellipsoïde GRS80 comme référence pour les mesures bathymétriques. La modélisation tridimensionnelle de la marée est aussi en cours et devrait permettre d'améliorer les modèles de prévision de marée.

4.3.2.2. Actions à lancer

Dans le cadre du projet REA, l'identification de structures remarquables (*i.e.* d'obstructions par exemple) en temps réel (*i.e.* tant que l'UUV/ROV est immergé) doit permettre d'optimiser le levé. La mise à disposition d'une classification des données traduisant, de manière graduée, la présence d'erreurs ponctuelles ou d'obstructions, pourrait être mise à profit pour prévoir, lorsque nécessaire, l'acquisition de profils complémentaires. De par ses fonctionnalités, l'algorithme proposé dans le cadre de l'étape 3 du projet CHATDHOC, pourrait être mis à profit pour effectuer cette discrimination. Les algorithmes de traitement automatique des données bathymétriques s'appuient généralement sur une exploitation statistique du bruit des mesures ainsi que sur les critères qu'impose la norme hydrographique. Toute analyse morphologique de la structure des fonds marins peut notablement renforcer les contrôles visant à s'assurer du respect de la sécurité de la navigation. De par sa nature synthétique, elle pourrait conduire à proposer des outils d'interprétation de la structure spatiale des reliefs. Le suivi temporel de l'évolution spatiale de ces structures pourrait alors être mis en œuvre pour faciliter l'étape de critique d'un levé.

Des applications nouvelles peuvent être visées pour le Réseau national d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM) : exploitation des observations d'altimétrie satellitale, prévision opérationnelle des surcotes/décotes (le service Prévimar de Météo-France utilise RONIM pour ces modèles de surcotes) et des niveaux extrêmes ou encore réseaux d'alerte multirisques, ... Ceci suppose de disposer des informations marégraphiques en continu et en temps réel. Il convient donc aujourd'hui, dans le cadre de l'océanographie côtière opérationnelle, de doter le réseau RONIM d'une capacité permanente de transmission en temps réel des mesures de hauteur d'eau. (France, Antilles-Guyane, Océan Indien, Pacifique). La composante veille technologique sur l'instrumentation (radar, ...) et les moyens de transmission temps réel des données de mesure de hauteur d'eau sont à développer dans ce cadre.

4.3.2.3. Facteurs de rupture

L'évolution des capteurs, avec en particulier le développement de sondeurs multifaisceaux émettant en mode multipings (sondeur du *Pourquoi pas ?*) ou de caméras 3D pouvant équiper des robots sous-marins, devra faire évoluer le processus de validation pour prendre en compte des volumes toujours croissants de données et généraliser aux surfaces celui actuellement limité à l'acquisition de mesures ponctuelles.

Les techniques telles que les lasers topographique et bathymétrique aéroportés (figure 17), la télédétection haute résolution, l'imagerie hyperspectrale pour l'acquisition et le complètement des informations, la géostatistique pour le traite-

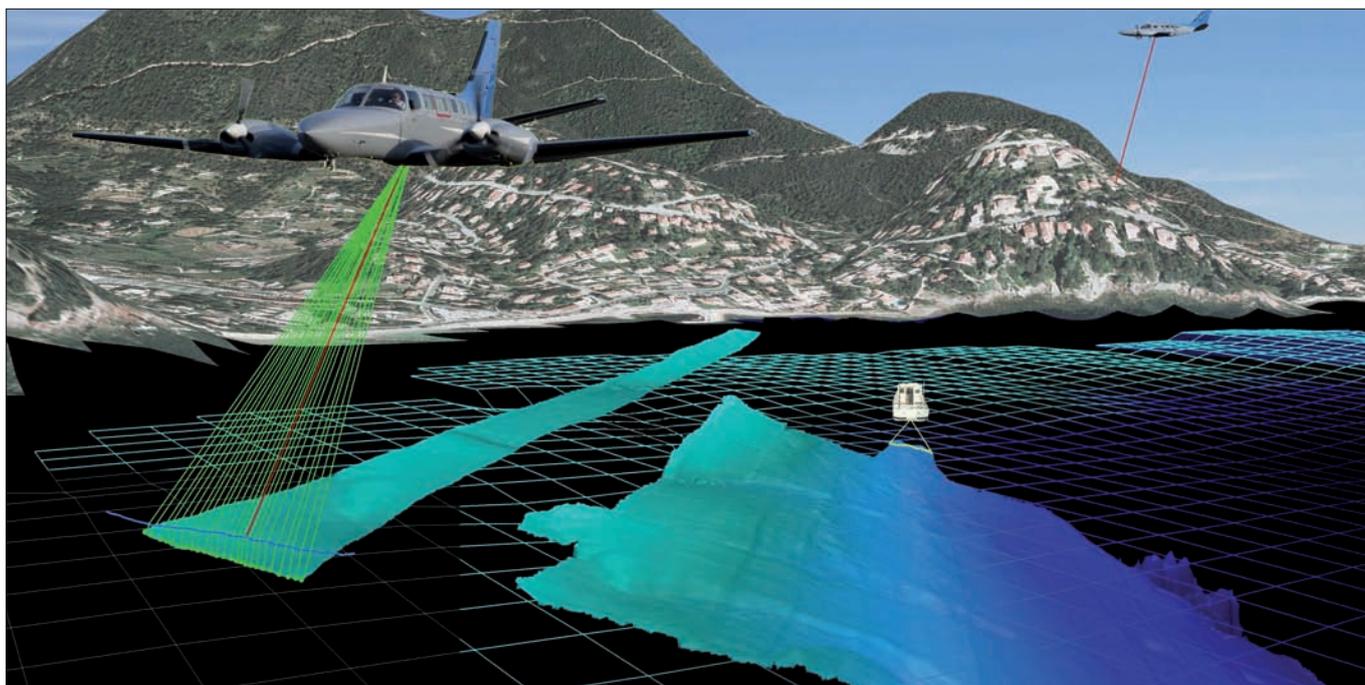


Figure 17 : Principe de levé terre/mer par lasers aéroportés et sondeur multifaisceaux

ment des mesures et les NTIC pour la diffusion des données de géosciences et des produits qui en sont dérivés, arrivent à maturité et le SHOM doit veiller à les maîtriser.

Concernant les réseaux d'observation du niveau de la mer, de nouveaux moyens de mesures émergents (GPS sur bouées) pourraient permettre des mesures au large (détection d'aléas marins). Ces moyens sont compatibles avec une problématique REA. Ces systèmes expérimentés aux États-Unis, Japon et Allemagne restent à développer en France.

De nouveaux capteurs satellitaires doivent permettre d'accroître les capacités à détecter et à décrire les petits fonds (génération ORFEO). Le SHOM doit participer à leur définition. Le potentiel des images hyperspectrales à haute résolution, prises sous différents angles du microsattellite PROBA-1 de l'ESA, reste aussi à évaluer.

Pour finir, il ne sert à rien d'acquérir et d'archiver efficacement en base de données, si la connaissance acquise n'est pas diffusée aussi efficacement vers les usagers.

L'efficacité des moyens de réalisation des produits diffusés doit ainsi être à la hauteur de l'efficacité des moyens d'acquisition et de traitement. C'est loin d'être le cas aujourd'hui : si les aspects engageant la sécurité immédiate de la navigation sont traités très vite (Avis urgents à la navigation), plusieurs années sont nécessaires avant qu'un levé n'apparaisse sur les cartes marines. Il existe un déséquilibre entre l'acquisition et le traitement des données sources d'une part et d'autre part leur compilation sur les cartes marines, qu'il serait primordial de combler. L'amélioration de l'intégration des processus (transversalité) pourrait être une piste, ainsi que l'automatisation de la généralisation cartographique.

La mise en œuvre des politiques européennes (stratégie marine) risquent par ailleurs d'obliger le SHOM à adapter ses techniques pour les orienter vers du REA à finalité « écologique » : cartographie différentielle des milieux marins, étalement « rapide » d'états de référence.

4.3.3. Océanographie physique

4.3.3.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique concerne la dynamique océanique à moyenne et petite échelle (typiquement quelques centaines de mètres à quelques centaines de kilomètres), pour des processus horaires (évolution de la couche de mélange, marée) à mensuels (tourbillons et courants océaniques de moyenne échelle) principalement, voire saisonniers (courants côtiers saisonniers, upwellings, ...). Les axes majeurs sont liés aux études de processus dans ces gammes d'échelles spatiales et temporelles, notamment dans le domaine côtier, sur la base d'analyse de données satellitaires et/ou in situ et de modélisation numérique, à l'amélioration de modèle, à la paramétrisation sous maille ou de processus non résolus (liés au développement de couches de mélange notamment), à l'assimilation de données et à la mise en place de modèle réaliste sur des régions d'intérêt de la Marine (en particulier : Atlantique Nord-Est, golfe de Guinée, Méditerranée, mer d'Arabie et mers adjacentes).

La circulation océanique intervient aussi comme élément essentiel dans les modèles biogéochimiques et les interfaces et couplages avec ces modèles ainsi qu'avec des modèles de météorologie marine, qui sont d'un intérêt particulier, tel que celui de la dynamique des vagues qui est traitée dans la thématique « météorologie marine ». Enfin, la modélisation de la marée est, comme mentionné plus haut, aussi fortement connectée à la thématique hydrographie. La modélisation 3D de la marée est en cours de test sur des zones réduites.

Du côté HOM, le besoin de maîtrise des composantes maritimes de l'environnement géophysique a motivé le lancement du développement du système opérationnel d'analyse et de prévision (SOAP), spécialisé dans la modélisation de la circulation de moyenne échelle en domaine hauturier, exploitant l'observation altimétrique satellite, AVHRR et in situ (ces

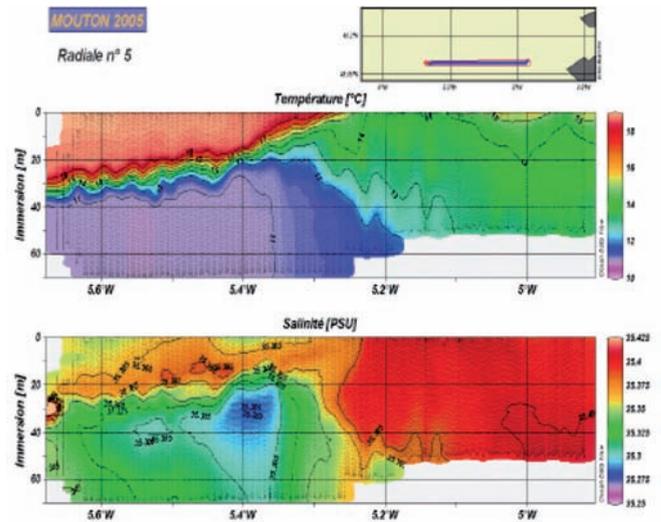


Figure 18 : Manoeuvre (SEASOAR) à bord du BHO *Beautemps-Beaupré* et coupes verticales de température et salinité sur le front d'Ouessant effectuées lors de la campagne MOUTON 2005.

deux derniers à terme). Le système opérationnel d'analyse et prévision auquel doit aboutir le programme d'études amont MOUTON (PREVOCEAN) devrait permettre la représentation de phénomènes hydrodynamiques océaniques (d'échelle supérieure à quelques kilomètres) sur des régions hauturières et côtières (fond supérieur à 5 mètres) (figure 18).

En mode standard, le système opérationnel d'analyse et de prévision sera basé sur des systèmes de prévisions océanographiques hauturiers, régionaux ou côtiers, civils ou militaires, opérés de façon permanente.

En soutien renforcé, il est prévu de se baser sur une approche multi-systèmes au niveau d'un théâtre d'opération :

- zooms basés sur le système HYCOM, assimilant des données particulières et donnant des analyses/prévisions journalières à haute résolution. Ce zoom sera forcé aux limites par les résultats issus du centre Mercator Océan,
- zooms basés sur un ou plusieurs autres systèmes donnant des analyses/prévisions journalières et dont les données seront disponibles.

Pour le soutien renforcé, l'approche multi-systèmes est préconisée, si elle est envisageable (surcoût faible), car chaque modèle numérique ou sous-système d'assimilation est en général réglé pour représenter correctement un nombre limité de processus, et la combinaison des résultats de systèmes complémentaires doit permettre d'assurer une qualité supérieure du système. Cette approche multi-systèmes permettra ainsi :

- de tirer partie de cette complémentarité pour représenter correctement l'ensemble des processus physiques,
- d'évaluer les incertitudes des analyses et prévisions, et ainsi d'accéder à une information sur le degré de confiance des produits,
- d'assurer le caractère opérationnel (en cas de « rupture » d'un des deux systèmes),
- en termes d'études amont : de bénéficier des avancées d'une plus grande partie de la communauté des océanographes (nationale et internationale) en termes de modélisation et ainsi de justifier d'une large coopération (nationale et internationale).

4.3.3.2. Actions à lancer

A moyen terme, pour prendre en compte les nouveaux besoins, notamment militaires, et améliorer les performances des systèmes d'analyse et prévision, les pistes qui semblent les plus intéressantes sont liées à l'extension du système opérationnel vers les zones côtières et littorales et au couplage des processus hydrodynamiques (courants, vagues) et biogéochimiques. Ceci sera abordé par le PEA PROTEVS lancé fin 2009.

Par ailleurs, des actions concernant le couplage de modèles océanique et atmosphérique ont été entreprises en coopération avec Météo-France.

4.3.3.3. Facteurs de rupture

Pour chaque module un modèle numérique, un sous-système d'assimilation et un sous-système d'exploitation doivent exister. Cela engendre en particulier, pour chaque champ physique, l'existence d'une base de données permettant d'initialiser les modèles, l'existence de données permettant de faire évoluer leur état (forçages), l'existence d'observations « temps réel » assimilables pour reproduire un état réaliste en « temps réel ». Sur ce dernier point, les missions satellites sont un aspect essentiel dont il faut assurer l'existence en temps utile puis dans la durée. Cela concerne en particulier :

- les données altimétriques : au moins deux satellites de missions complémentaires (du type JASON/ENVISAT), si possible un troisième pour atteindre un état nominal en termes de précision sur les caractéristiques des structures à moyenne échelle, voir un quatrième pour assurer le caractère opérationnel (défaillance d'un satellite). En particulier des mesures en bandes larges sur au moins un satellite sont souhaitables car elles doivent permettre d'accéder à des résolutions bien meilleures. A noter aussi que ce type d'altimètre rend compatible les observations pour les systèmes d'analyse et de prévision et la mesure des champs géophysiques (pour des satellites altimétriques mesurant sous la trace uniquement, les orbites

sont difficilement compatibles). Il est toutefois encore trop tôt pour estimer si la pérennité d'un capteur comme WSOA est nécessaire, en particulier son intérêt (ainsi que l'altimétrie en général) reste à évaluer pour le côtier. Ces données fournissent la hauteur dynamique de l'océan, reliée à la circulation (grande échelle et tourbillons de méso-échelle).

- la mesure de la structure fine du champ de gravité terrestre (missions GRACE, GOCE), notamment pour l'amélioration de la connaissance du géoïde (satellites gravimétriques CHAMP-GRACE-GOCE), avec une continuité terre-mer,
- l'imagerie SAR (Synthetic Aperture Radar), qui peut permettre d'accéder à des champs de vent à haute résolution et des données de courant de surface (en cours d'étude),
- la couleur de l'eau, pour la signature de certains processus physiques (upwelling, tourbillons, ...),
- la température de surface,
- la salinité de surface (SMOS, dont l'apport reste à évaluer, vu les incertitudes attendues sur la mesure).

Plusieurs missions existent actuellement mais, mis à part les mesures du champ de vent en surface, aucune pérennisation n'est envisagée pour le moment et un « trou » en données altimétriques se dessine à court terme (si NPOES n'est pas lancé et si SENTINEL3 ne comporte qu'un seul satellite altimétrique). Des satellites chinois (HY-1/2) ont été lancés mais l'accès à leurs données reste difficile. De plus il n'est pas envisageable de pouvoir faire reposer un système militaire sur une dépendance d'accès à ce type de données. Des études concernant des pistes alternatives à l'observation altimétrique (SAR, température de surface de la mer-SST, radiométrie-CE) ont été envisagées par le SHOM mais sans grand succès pour le moment. Il est primordial, pour la satisfaction des besoins militaires, que ce type de risque puisse être limité. L'action de la Défense ne suffit pas pour assurer la pérennité du système d'observation altimétrique qui dépend en bonne partie de la politique de coopération nationale (CDO) et internationale (Europe et USA notamment). L'utilisation des champs (SST notamment) issus de satellite géostationnaire, ayant une résolution moindre au sol mais doté d'une grande fréquence d'observation, est aussi une des pistes à privilégier, notamment pour le domaine côtier pour lequel les processus physiques à haute fréquence dominant.

L'importance des missions opérationnelles de projection de force et de projection de puissance s'est accrue cette dernière décennie. La préparation et la conduite de ces missions ont fondamentalement changé la nature des opérations de support météo-océanographique (METOC). Dans le présent et dans le futur, ce support devra fournir aux commandements opérationnels préparant le déploiement des forces une information détaillée et précise. Cette information devra être élaborée dans des délais très courts et elle concernera des milieux complexes, souvent mal connus a priori et extrêmement variables dans l'espace et dans le temps, que ce soit à l'échelle du théâtre d'opération ou à l'échelle du domaine d'action des unités. La réponse à cette problématique nouvelle a été identifiée par le concept de REA.

Ce concept, développé dans un contexte militaire, peut être utilement adapté à certains besoins civils, notamment pour l'AEM. Dans ce cadre, des systèmes d'observation in situ doivent aussi être envisagés, notamment lorsque les données satellites ne sont pas disponibles ou lorsque les zones d'opération sont de dimensions restreintes (et incompatibles avec la

résolution offerte par les capteurs satellites). Une instrumentation spécifique (système déployable, transmission des données en temps réel) reste à imaginer pour cela et le couplage des systèmes temps réel avec des actions de type REA doit ainsi être envisagé. Les champs physiques qu'il est envisageable de mesurer sont en particulier :

- température,
- salinité,
- profil de vitesse,
- champ de vent et flux en surface.

Les facteurs limitants sont liés aux capacités de transmission pour les données issues de systèmes déployables et aux capacités de calcul pour les systèmes d'analyse et prévision en général. L'acquisition de calculateurs puissants (ou leur extension) reste une priorité.

Concernant les observations à la mer, l'évolution des besoins se fait vers les régions côtières et littorales. Le SHOM doit orienter les évolutions technologiques de ses porteurs et capteurs en partie en ce sens. Les développements effectués en interne SHOM sur le SEASOAR, qui permet de découpler les résolutions spatiale et temporelle, sont à poursuivre et faire connaître à la communauté scientifique.

Concernant la modélisation, l'utilisation d'outils partagés avec une partie importante de la communauté scientifique internationale est un gage pour bénéficier d'une évolution rapide et d'une validation des codes de calcul. La mutualisation des outils de modélisation hydrodynamique pour la marée et la circulation océanique en général, le rapprochement des outils utiles aux missions MIP et HOM est en ce sens à étudier.

Pour finir, au niveau de la modélisation numérique et des systèmes d'analyse et de prévision, les travaux aux interfaces (couplage océan/atmosphère, circulation/vagues, module physique/module biogéochimique, ...) représentent des pistes de progrès essentielles. Pour les besoins du SHOM, dont le mandat est centré sur la physique de l'océan, les couplages de modèles d'océan et d'atmosphère à des fins de prévision immédiate apparaissent aussi comme des pistes de progrès majeures, les systèmes futurs seront sans doute intégrés et représenteront l'environnement dans son ensemble.

4.3.4. Météorologie marine

4.3.4.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique regroupe l'étude des vagues, du vent en domaine marin, et la propagation radar et IR. Les recherches menées en interne SHOM concernent uniquement les vagues², le SHOM jouant un rôle de soutien dans les développements concernant les autres domaines.

Les études d'intérêt concernant les vagues sont extrêmement étendues étant donné l'intérêt de cette thématique pour les mandats MIP et HOM, voire NAU. Elles couvrent les observations des vagues (direction, longueur d'onde, hauteur et période), les phénomènes qu'elles subissent (réflexion, réfraction, diffraction), les modifications de leur comportement en fonction de la bathymétrie, des courants marins et du vent, la modélisation de tous ces processus (figure 19). Dans la frange littorale l'intérêt porte aussi sur le déferlement de la houle et la création de courants littoraux, les interactions avec le fond et le transport de sédiments (évolution du profil de plage).

² Voir l'article spécifique « Observation et modélisation numérique des états de mer... » dans ces annales

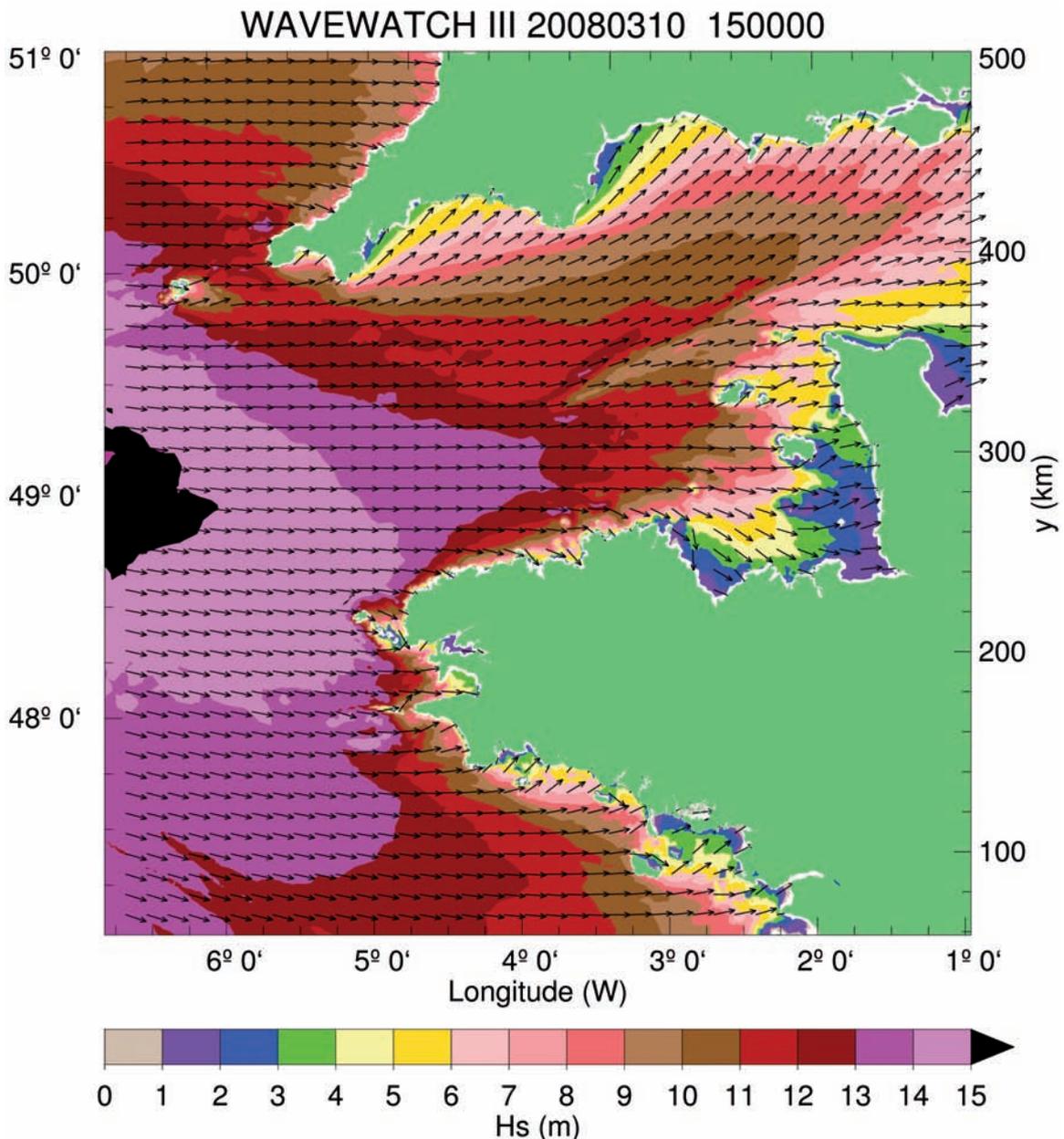


Figure 19 : Exemple de carte de hauteur de houle (Hs), obtenue avec le modèle de prévision développé au SHOM (à gauche), et vérification de la qualité des prévisions de hauteur de vagues, au large de la Bretagne par rapport aux observations de Météo-France. La prévision des vagues est ici faite à partir du vent seulement, sans prendre en compte les observations de vagues.

Les études en cours complètent la prévision des états de mer à grande échelle et des surcotes réalisée par Météo-France (service PréviMar). Pour les états de mer côtiers et les courants littoraux, des modules spécifiques sont mis en œuvre lors de soutiens renforcés.

4.3.4.2. Actions à lancer

Comme mentionné plus haut, les pistes qui se dégagent sont liées à l'extension du système opérationnel vers les zones côtières et littorales et au couplage des processus hydrodynamiques (courants, vagues) et biogéochimiques. Ceci sera abordé par le PEA PROTEVS lancé fin 2009.

L'estimation de paramètres physiques élaborés sera aussi abordée par le PEA PROTEVS. On peut citer :

- le bruit ambiant rayonné par le déferlement des vagues,
- la dérive en surface combinant vagues et courants.

Pour les états de mer, le système opérationnel envisagé permettra des zooms de résolution variable de 1° à l'échelle des bassins océaniques à 5 m sur les plages, avec une capacité d'emboîtement des zooms dans les modèles mis en œuvre par Météo-France. Le code mis en œuvre sera une évolution du code WAVEWATCH III et d'autres codes complémentaires si nécessaires. La cohérence entre les différents modules (interaction vagues/courants, ...) sera obtenue à terme par un couplage développé en commun avec le NOAA/NCEP/MMAB dans le cadre du PEA PROTEVS.

A plus long terme il est envisagé la mise en place d'un PEA pour le couplage de la dynamique littorale, fortement influencée par les vagues, et côtière/hauturière. Un tel PEA est prévu à l'horizon 2015 (post PROTEVS).

4.3.4.3. Facteurs de rupture

Comme pour la circulation océanique (océanographie physique) l'existence d'une base de données permettant d'initialiser les modèles, l'existence de données permettant de faire évoluer leur état (forçages), l'existence d'observations « temps réel » assimilables pour reproduire un état réaliste en « temps réel » ou valider les résultats des modèles, sont essentiels. Là encore, les missions satellites sont cruciales, avec en particulier :

- les données altimétriques qui permettent une mesure de la hauteur significative des vagues,
- l'imagerie SAR qui permet d'accéder au spectre des vagues (ENVISAT, Sentinel1 et CFOSAT).

Une instrumentation in situ déployable est aussi en cours de développement mais reste à mettre au point (système WAMOS notamment).

Par ailleurs le couplage entre les systèmes d'analyse et de prévision atmosphérique et océanographique présente vraisemblablement aussi une piste de progrès importante pour la météorologie marine.

4.3.5. Biochimie marine

4.3.5.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique recouvre la connaissance des processus impactant les propriétés optiques de l'eau ou turbidité (qui est associée aussi à la géologie marine) et la bioluminescence. Concernant la turbidité, l'intérêt se porte essentiellement sur la chaîne de production primaire (zoo et phytoplanctons) dont l'évolution est largement fonction de la dynamique océanique. Les interactions dynamique/production primaire ainsi que l'amélioration de la connaissance de l'évolution -à échelle journalière à saisonnière- de cette chaîne primaire (observations, amélioration des modèles) constituent les principaux axes d'intérêt. En résumé, il apparaît donc important de pouvoir reconnaître, par des mesures in situ, les organismes zoo et phytoplanctoniques, qu'ils soient bioluminescents ou non, les conditions optimales de leur apparition et de leur développement (variabilité spatiotemporelle, probabilité d'apparition). Au niveau satellital, cette thématique est principalement reliée à l'exploitation des mesures de « couleur de l'eau ».

Les travaux en cours concernent la modélisation de la production primaire et du transport des particules lithogéniques, l'étude du contenu quantitatif de la mesure satellite en matière de turbidité (en lien avec les observations in situ) et la compréhension de la dépendance des propriétés optiques de l'eau aux paramètres biochimiques.

4.3.5.2. Actions à lancer

Le développement d'un module biogéochimique est envisagé pour des zooms régionaux à moyen terme (PEA PROTEVS pour des actions de recherches amont et PEA futur pour intégration dans des démonstrateurs réalistes). Il

devrait permettre la fourniture de paramètres d'environnement liés à la turbidité de l'eau de mer (couplage de modèles hydrodynamiques et biogéochimiques).

Ainsi, le couplage des processus hydrodynamiques (courants, vagues) et biogéochimiques sera abordé dans un premier temps (PEA PROTEVS). Le couplage avec modèle réaliste sera pris en compte dans un PEA futur en fonction de la maturité des modèles et techniques d'observations et d'assimilation. A l'heure actuelle un tel PEA est prévu à l'horizon 2012.

4.3.5.3. Facteurs de rupture

Ici aussi, les missions satellites sont un aspect essentiel dont il faut assurer l'existence en temps utile, puis dans la durée, en particulier ici les missions concernant la couleur de l'eau.

L'assimilation de ce type de données pourrait permettre d'améliorer les systèmes existants par le biais de rétroactions vers les champs dynamiques. Ces rétroactions restent toutefois à étudier et paramétrer dans les systèmes d'assimilation de données.

Des systèmes d'observation in situ doivent aussi être envisagés pour obtenir des informations concernant la répartition verticale des nutriments et phytoplanctons. L'équipement des profileurs liés au réseau CORIOLIS/ARGO ainsi que le développement de stations multi-paramètres (physique et biogéochimique) est, en ce sens, d'intérêt.

Les méthodes empiriques pour obtenir la concentration en chlorophylle a à partir des radiances reste à déterminer ou au moins affiner pour les zones côtières, en tenant compte de la présence de nombreuses substances d'origine terrestre (substances jaunes ou CDOM - coloured dissolved organic matter, matières en suspension) ou de particules remises en suspension ou issues de panaches fluviaux. La conception d'algorithmes régionaux, s'appuyant sur des bases de données in situ propres à des zones précises (par exemple dans le Golfe de Gascogne), est la piste la plus prometteuse.

4.3.6. Géologie marine

4.3.6.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique concerne l'étude de la nature et de l'épaisseur des sédiments, ainsi que la dynamique des fonds en domaine marin et littoral.

Les études d'intérêt sont axées sur la détermination de la nature (propriétés physiques (figure 20) et géoacoustiques) et l'épaisseur des sédiments, la dynamique des fonds en domaine marin et littoral. En particulier, les axes majeurs concernent l'exploitation des mesures sédimentaires et le développement de techniques d'analyse de données sédimentaires (imagerie sondeur et sonar), le couplage entre modèles sédimentologiques et modèles hydrodynamiques (transport, remise en suspension, morphodynamique, impact de la rugosité sur les courants, ...).

Les études en cours concernent l'analyse et la cartographie sédimentaire de zones d'intérêt du SHOM, l'étude des effets la houle (état de mer) et des courants sur la remise en sus-



Figure 20 : Mesure de la résistance au cisaillement sur une carotte sédimentaire.

pension et le transport des sédiments notamment en zone littorale et côtière, l'étude des courants turbides dans des zones sensibles (canyons).

4.3.6.2. Actions à lancer

Le couplage des processus hydrodynamiques (courants, vagues) et biogéochimiques sera abordé, d'un point de vue exploratoire (études de processus), par le PEA PROTEVS lancé fin 2009.

Le couplage avec modèle réaliste sera pris en compte dans un PEA futur en fonction de la maturité des modèles et techniques d'observations et d'assimilation. A l'heure actuelle un tel PEA est prévu à l'horizon 2012.

Il convient par ailleurs de lancer des études systématiques d'impact régional sur les stratégies de levés en relation avec la sécurité de la navigation, l'âge des levés, les routes de trafic maritime.

4.3.6.3. Facteurs de rupture

L'exploitation des données d'imagerie-réflexivité (à des fins de cartographie sédimentaire ou de géoacoustique) n'est encore qu'embryonnaire (limité à l'archivage systématique de la donnée de réflexivité, mise en place à terme de procédures de calibration et de définition de zones-tests) et son intérêt en matière de reconnaissance de la nature du fond et en géoacoustique reste à étudier et pourrait offrir des perspectives très intéressantes.

4.3.7. Géophysique marine

4.3.7.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique recouvre la connaissance de la pesanteur (gravimétrie), le géomagnétisme, et se recouvre aussi avec les thématiques géodésie et hydrographie pour la bathymétrie.

L'objectif général est ici d'améliorer la résolution et la précision des champs géophysiques en utilisant l'ensemble des données disponibles : altimétrie et gradiométrie spatiales, satellites gravimétriques, sondeurs multifaisceaux, et bathymètres lasers, magnétomètres aéroportés ou marins. L'intérêt est aussi axé sur la détermination précise du géoïde (résolution aux moyennes à courtes longueurs d'onde) en relation avec l'amélioration de l'assimilation de données altimétriques pour les besoins de la modélisation de la circulation océanique, ainsi que la définition du zéro hydrographique en domaine littoral, avec rattachement des levés à la terre. Cette thématique regroupe l'étude du champ de gravité et de ses variations temporelles, des déformations globales de la terre, ainsi que des mouvements horizontaux et verticaux de la croûte terrestre qui sont à intégrer dans les modèles globaux.

De manière plus prospective, la connaissance fine des variations et anomalies du champ géomagnétique peut être utilisée pour aider à la compréhension de phénomènes liés aux effets et signatures électromagnétiques de processus hydrodynamiques (houle, courants, vortex, ...).

L'exploitation de campagnes de mesures (satellites et/ou in situ) et les développements d'instrumentation ou de techniques d'analyse de données géophysiques sont les axes majeurs de cette thématique.

Localement les variations du champ géomagnétique liées aux sources géologiques sont variables suivant les zones océaniques. En domaine côtier, outre les sources géologiques, les sources métalliques (épaves, câbles etc.) sont aussi très importantes. Une cartographie fine de ces anomalies peut permettre de satisfaire les besoins de la Défense.

4.3.7.2. Actions à lancer

En terme d'immunisation des bâtiments, l'environnement magnétique peut être exploité via un capteur extérieur. L'acquisition d'une mesure du champ peut permettre d'améliorer l'efficacité des circuits d'immunisation actuels. L'amélioration des capteurs pourrait permettre d'en augmenter la portée pour la détection aéroportée (avions, drones). En effet la portée est une limitation assez sévère de la détection magnétique aéroportée (MAD).

A plus long terme, on entrevoit aussi l'utilisation des champs magnétiques à des fins de :

- modélisation magnétohydrodynamique,
- connaissance de plus en plus fine des effets magnétiques de l'océan (caractérisation des courants, eddies...).

Pour le géomagnétisme, les axes de recherche doivent se situer du côté des capteurs à embarquer, de l'exploitation de la mesure, et de la représentation du champ géomagnétique stationnaire en domaine océanique.

Le satellite GOCE exploitera la technologie de mesures gradiométriques et devrait permettre l'accès à un géoïde mondial de résolution approchant la centaine de kilomètres. Cela doit permettre à terme d'estimer les effets de variabilité temporelle de la surface de la mer.

L'amélioration de la représentation de la pesanteur se fera dans les courtes longueurs d'ondes spatiales du champ, pour lesquelles l'exploitation des mesures satellitaires ne permet pas d'avancer.

Au niveau des mesures in situ il faut viser l'extension des zones de mesures, en continuant les levés marins, et en mettant en place des techniques permettant d'améliorer les mesures dans les petites longueurs d'ondes. Une évaluation de l'apport de la gradiométrie (mesure du gradient) doit aussi être réalisée.

L'amélioration du traitement et de l'exploitation des données se fera par la mise au point d'algorithmes de fusion de données d'origines diverses, pour la représentation de la pesanteur.

Les mesures marines acquises par les bateaux océanographiques pourraient permettre localement d'atteindre une résolution kilométrique du géoïde.

L'impact d'un mauvais géoréférencement sur la précision des mesures et sur les méthodologies d'assimilation dans les modèles (les mesures d'altimétrie satellitaire sont interprétées dans un système géodésique de référence) est à évaluer. Mais de nombreuses applications nécessitant l'utilisation d'une référence commune, des études sur l'amélioration du géoréférencement, sont à poursuivre.

La détermination du géoïde côtier permettra l'amélioration de la connaissance du zéro hydrographique en dehors des zones côtières et donc le rattachement des levés hydrographiques à la terre. Pour ce faire, des moyens d'exploration du domaine côtier doivent être installés sur des petits porteurs (GPS ou accéléromètres sur drone, vedette). La surface moyenne océanique pourra, de plus, être déduite avec plus de précision des mesures satellitaires, tout comme son rattachement aux mesures côtières des marégraphes.

4.3.7.3. Facteurs de ruptures

Les principaux facteurs de rupture tiennent :

- aux capteurs gravimétriques du fond de la mer (connaissance du gradient vertical permettant d'améliorer la cartographie de la pesanteur à des immersions différentes),
- aux satellites géomagnétiques précis,
- à l'exploitation gradiométrique du satellite GOCE. En effet dans un premier temps les résultats de la campagne GOCE ne seront exploités que sous forme de grille de géoïde et de champ de pesanteur (fourniture prévue par l'agence spatiale européenne). L'exploitation des mesures de gradients peut apporter des contraintes fortes localement, notamment dans les petites longueurs d'onde du champ qui nous intéresse,
- à l'existence de missions altimétriques dont l'orbite permet d'améliorer les résolutions actuelles. La future mission CRYOSAT2 est à suivre, ainsi que l'avènement des satellites altimétriques en bande large.

4.3.8. Océanographie acoustique

4.3.8.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique concerne plus précisément la reconnaissance acoustique du milieu marin.

Les études d'intérêt s'organisent autour des axes suivants :

- observation et caractérisation acoustiques du milieu, dont l'objet est de comprendre les effets de l'environnement sur la propagation acoustique, la réverbération acoustique et le bruit ambiant ainsi que de développer des systèmes d'observation du milieu,
- impact de l'environnement sur la conception et l'emploi des systèmes sonars afin d'optimiser leur utilisation et leur exploitation à la mer.

En matière d'observation acoustique du milieu, la France, par les travaux menés au SHOM successivement dans le développement exploratoire « tomographie acoustique », le PEA « Océanographie acoustique » et les PEA en cours STEREO et ERATO, est en pointe pour les applications de type REA. Au niveau des méthodes de caractérisation du milieu, elle se situe au même niveau que les pays leaders, dont les efforts sont majoritairement regroupés au sein du NURC. Le PEA STEREO a permis le développement d'un démonstrateur technologique de REA acoustique (pour répondre aux besoins spécifiques de la lutte sous-marine à très basses fréquences par petits fonds). Le PEA ERATO en cours vise le REA discret (instrumentation montée sur un engin sous-marin autonome).

4.3.8.2. Actions à lancer

Les deux programmes précités sont bien avancés. Il est déjà envisageable de poursuivre les développements sur les techniques de REA acoustique, pour étendre les concepts d'emploi du démonstrateur et améliorer les méthodes de traitements pour le REA discret. Le PEA ERATO devrait permettre à l'horizon 2010 de compléter notre capacité technologique à acquérir et diffuser l'information nécessaire et suffisante à l'emploi optimal des sonars très basses fréquences. Il paraît en outre nécessaire de lancer les actions suivantes :

- développer des techniques de caractérisation géoacoustique des milieux complexes (sédiments stratifiés, bathymétrie fortement variable, milieux réverbérants,...),
- relancer les études visant à assimiler les données de tomographie dans les modèles de prévisions côtières.

Un PEA faisant suite à ces thématiques est envisagé à l'horizon 2010. L'objet serait d'intégrer les techniques de REA acoustique sur porteur autonome (AUV).

4.3.8.3. Facteurs de rupture

En technologie, la France est en retard que ce soit pour le REA ou pour la tomographie « conventionnelle ». Les développements technologiques liés à la tomographie des bassins océaniques semblent en situation bloquée dans l'ensemble des pays et la France ne possède plus aucun programme de développement, que ce soit dans un organisme étatique ou chez les industriels. Dans le domaine du REA, le retard est comblé, voire transformé en avance, grâce au bon déroulement du programme STEREO.

Sur le plan politique et organisationnel, l'océanographie acoustique, pour ses applications militaires, est à l'interface des domaines techniques environnement géophysique et lutte sous-marine. L'objectif étant de satisfaire au besoin de prise en compte de l'environnement dans l'utilisation des systèmes d'armes sonars et l'optimisation de leurs performances, cette interface doit être organisée afin de fixer les éléments communs d'orientation de ces deux domaines et de mettre en place une synergie de travail nécessaire à la satisfaction du besoin.

4.3.9. Physique de la mesure, techniques d'observation

4.3.9.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique comprend la télédétection, la photogrammétrie, les capteurs in situ, la métrologie, le traitement de la mesure³.

La recherche et le développement dans ces domaines s'inscrivent, d'une part dans la démarche qualité engagée par le SHOM pour répondre aux recommandations de l'ISO 9001, d'autre part dans la nécessaire amélioration continue des techniques de mesure et aussi dans le soutien aux besoins exprimés dans les différents projets de recherche et développement du SHOM.

La démarche qualité nécessite la maîtrise des dispositifs de surveillance et de mesure et par ce biais, la mise en place d'un référencement des instruments utilisés et des grandeurs mesurées. Cela a conduit à mettre en place un laboratoire d'étalonnage adapté aux instruments hydro-océanographiques (figure 21), et qui est aussi le laboratoire commun du projet inter-organismes Coriolis. Pour ceux qui ne sont pas dans des domaines couverts par les chaînes de référence nationales (conductivité, courantométrie, marégraphie, O₂ dissous...), des moyens spécifiques sont ou ont été développés. Par exemple, une étude est en cours pour mettre en place un moyen d'étalonnage des compas magnétiques des courantomètres dans leurs cages de mouillage, à partir d'une technique innovante ayant fait l'objet d'une publication. Une autre s'intéresse, dans le cadre du projet Turbidité, aux liens entre les mesures de chlorophylle a en laboratoire et l'étalonnage des capteurs fluorimétriques.



Figure 21 : Étalonnage d'un flotteur prototype multicapteurs (ASIP) au laboratoire de métrologie du SHOM.

Dans le cadre de l'amélioration continue des techniques de mesure, un développement vise à améliorer un algorithme de correction du temps de réponse de capteurs de conductivité pour réduire les erreurs dans le calcul de la salinité. Un autre, ayant fait l'objet d'une labellisation par le pôle mer (projet NOSS), consiste à participer à la mise au point d'un capteur de mesure de l'indice de réfraction, permettant une mesure directe de la salinité absolue.

4.3.9.2. Actions à lancer

Il existe encore des instruments ou des grandeurs qui ne sont pas couverts par des moyens spécifiques de contrôle ou de référencement (radar HF, récepteurs GPS, profileurs de courant, néphélomètres...) et pour lesquels des développements sont à envisager. D'autre part, il est nécessaire d'adapter les moyens d'étalonnage existants aux nouveaux instruments acquis dans le cadre des différents projets du SHOM ou de ses activités de production.

4.3.9.3. Facteurs de rupture

A l'exception du projet NOSS qui peut constituer une évolution majeure en matière de mesure de la salinité, s'il arrive à son terme, le SHOM reste passif sur ce type de sujet à l'heure actuelle, n'ayant pas de potentiel humain spécifiquement consacré à cette thématique. Une veille technologique doit toutefois être entretenue pour pouvoir s'approprier dans des délais brefs les évolutions technologiques arrivant à maturité et qui sont en général des facteurs de rupture majeurs.

4.3.10. Technologies de l'information

4.3.10.1. Délimitation, état de l'art et études en cours

Cette thématique comprend la fusion de données, la production d'outils d'aide à la décision, les techniques de généralisation, le développement de Système d'Information Géographique, le traitement d'image, la normalisation et la gestion de base de données, les échanges de données. La fusion de données d'environnement géophysique comprend les fonds cartographiques et les couches thématiques, qui doivent rester cohérents. L'expérience du Guide METOC (outil d'exploitation des données décrivant l'environnement) a permis au SHOM d'acquérir une certaine expérience sur les difficultés à présenter des informations hétérogènes dans un environnement unique.

Faute de moyens humains, le SHOM reste toutefois essentiellement passif sur ce type de sujet à l'heure actuelle, notamment en ce qui concerne les travaux de recherche en e-navigation (intégration multicapteurs à terre et en passerelle) qui peuvent avoir un impact important à terme sur ses activités (transmission de données par système d'identification automatique des navires ou AIS, avis urgents aux navigateurs, corrections aux cartes électroniques de navigation, etc.).

4.3.10.2. Actions à lancer

Le SHOM doit évaluer les éventuels domaines des technologies de l'information sur lesquels il doit et peut investir au niveau recherche.

³ Voir l'article spécifique « Les mesures in situ en océanographie » dans ces annales

4.3.10.3. Facteurs de rupture

L'acquisition simultanée et l'exploitation conjointe de données de sonar latéral et sondeur multifaisceau fait l'objet de nombreuses recherches qui devraient à moyen terme s'intégrer au processus de validation des données bathymétriques et à l'exploitation des données pour la production d'informations HOM (en lien avec la recognized environmental picture, REP) ou MIP.

La mise à disposition des données ou l'adaptation de données à la finalité et au client, la fusion de données d'origines diverses pour améliorer la qualité de l'information, sont d'autres axes de recherche potentiellement porteurs de facteurs de rupture.

5. CONCLUSION, COOPÉRATIONS

Si, dans certains domaines, des établissements publics particuliers concentrent une grande partie du savoir-faire (ceci est particulièrement vrai pour les observations satellitaires et le CNES, les sciences atmosphériques et Météo-France), sur la plupart des thématiques hydro-océanographiques celui-ci est souvent détenu par un ensemble d'organismes sur lesquels le SHOM s'appuie pour faire avancer les projets exposés plus haut, mais aussi avec lesquels des synergies sont mises en place ou à développer, pour que les compétences acquises au SHOM puissent bénéficier à d'autres besoins.

En France, la bathymétrie n'est, par exemple, pas l'apanage du SHOM et de nombreux organismes : Ifremer, INSU (Institut National des Sciences de L'Univers), BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), IRD (Institut de Recherche pour le Développement), disposent de la capacité d'en acquérir pour leurs propres besoins. Des besoins de recherche similaires existent aussi avec L'Institut de Recherche de l'École Navale (IRENav) sur l'utilisation des systèmes d'information géographique et le laboratoire « Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique » (COGIT) de l'IGN, sur la cartographie vectorielle notamment.

Des besoins similaires existent aussi en matière de modélisation de la marée pour des besoins liés à l'hydrographie. Le SHOM participe aux réunions de travail de l'Organisation Hydrographique Internationale. Dans le cas particulier des inondations et des catastrophes naturelles, un groupe de travail est piloté par la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire auquel le SHOM participe.

En océanographie physique, l'Ifremer et Météo-France réalisent des applications opérationnelles pour les besoins des usagers de la mer. Des discussions sont en cours sur le sujet de l'océanographie côtière opérationnelle, visant à définir un partenariat et une mutualisation des ressources (projet SNOCO : service national d'océanographie côtière opérationnelle). Le CNES, le CNRS-INSU et l'IRD sont aussi impliqués dans cette démarche et sont depuis longtemps investis sur des études amont en océanographie opérationnelle, comme en témoignent les différentes instances de discussion existantes entre les organismes (CDO, LEFE par exemple). On remarquera en particulier :

- la mise en place du GIP Mercator Océan et du projet CORIOLIS, qui sont des exemples notables de coopération et de mutualisation. L'évolution du GIP Mercator Océan vers un COO (centre d'océanographie opérationnelle)

européen doit permettre d'obtenir les fonds européens nécessaires à sa pérennisation et ainsi permettre de consacrer plus de moyens aux étapes suivantes, en particulier la mise en place d'un service d'océanographie opérationnelle régional -notamment côtière- sur le territoire national et les zones d'intérêt français ;

- la mise en place, par l'Ifremer, du projet PREVIMER auquel le SHOM participe, qui vise à organiser une démonstration des capacités existantes dans ces organismes pour l'océanographie opérationnelle côtière ;
- la constitution en Bretagne d'un GIS « europôle mer », relié au pôle de compétitivité « mer », dans lequel le SHOM s'est investi ;
- la constitution d'un groupement « pôle terre vivante et espace » lié au RTRA STAE (Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace) sur Toulouse, auquel le SHOM participe ;
- la participation du SHOM à plusieurs projets inter-institutionnels proposés et financés par le programme national LEFE de l'INSU et l'agence nationale de la recherche (HEXECO, EPIGRAM).



Figure 22 : Participants au congrès "layered ocean model meeting" au RSMAS (Miami) en juin 2009. Cette réunion regroupe le consortium international autour du modèle HYCOM : USA, France, Norvège, Grande-Bretagne, Portugal, Brésil.

En modélisation biogéochimique, l'Ifremer et les laboratoires du CNRS/INSU détiennent la majeure partie des compétences et sont des acteurs avec qui une mutualisation des efforts est indispensable pour le SHOM. Le SHOM participe à l'union française des géologues, qui édite un journal scientifique mensuel à l'association des sédimentologues français (le SHOM étant représentant de la région Bretagne).

La participation au groupe de recherche en géodésie spatiale (GRGS) permet au SHOM de développer des coopérations et de coordonner ses activités de recherche en géophysique avec les laboratoires nationaux et internationaux dans ce domaine.

Concernant l'observation acoustique, les premiers efforts ont débuté fin des années 80. Un essor important du domaine a eu lieu dans les années 1990 (avec à son apogée un effort ayant amené le SHOM à disposer de 4 personnes sur la tomographie acoustique océanique et l'impact acoustique et la Délégation Générale pour l'Armement (DGA) à disposer

de plus de 10 personnes sur la modélisation acoustique et la conception d'outils de calculs de performances). Actuellement, le potentiel sur le domaine est réduit à environ 4 personnes entre le SHOM et la DGA.

L'Ifremer possède également une équipe de taille réduite travaillant essentiellement dans le domaine de la sismique. Enfin, l'ENSIETA (École Nationale Supérieure d'Ingénieurs des Études et Techniques d'Armement) a une équipe de recherche qui traite des applications de tomographie discrète.

Pour les technologies de l'information géoréférencée (analyse, traitement et fusion de données, généralisation, ...) et la géodésie spatiale, l'IGN est un partenaire naturel et incontournable du SHOM. Ses laboratoires « Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique » -COGIT-, « Laboratoire de REcherche en Géodésie » -LAREG- et « Méthodes d'Analyses et de Traitement d'Images pour la Stéréo-réstitution » -MATIS- le mettent à la pointe de l'innovation sur ces thématiques émergentes. Un renforcement des liens en matière de R&D avec cet institut a été amorcé avec des participations croisées aux comités scientifiques de chaque organisme.

A l'étranger, l'Université de Toronto (Canada), l'Université du Nouveau Brunswick (UNB, Canada) ou Université du New Hampshire (USA), entreprennent actuellement des recherches en bathymétrie par sondeur multifaisceaux et ou laser similaires aux nôtres ou dont les résultats intéressent le SHOM. En sus de collaborations avec les différentes instances internationales intéressées par la marée ou l'étude du niveau moyen des mers (GLOSS, ESEAS ...), des coopérations officielles sont envisagées avec des organismes étrangers, sous forme de séjour de plusieurs mois de personnels au SHOM : Institut Halieutique et des Sciences Marines de Madagascar et Service hydrographique brésilien par exemple.

Plusieurs pays ont entrepris des démarches similaires et là encore des synergies sont recherchées par le biais de conventions ou de coopérations officielles ou plus individuelles. On distinguera en particulier :

- les coopérations avec le NURC, essentiellement en acoustique et océanographie physique, sous la forme de joint research projects. Le REA constitue un des axes de développement majeur de l'OTAN ces dernières années, que ce soit pour le concept même des opérations ou les développements menés au NURC ;
- les coopérations dans le cadre du consortium HYCOM, concernant le développement d'un code de circulation océanique, piloté par les USA (COAPS, Thalhasee, NRL-Stennis Space center, ...), regroupant plusieurs dizaines de laboratoires à travers le monde et dont le SHOM est un participant actif reconnu (figure 22) ;
- les coopérations concernant le développement du code WAVEWATCHIII d'état de mer, regroupant plusieurs dizaines de laboratoires à travers le monde et dont le SHOM est là aussi un participant actif reconnu ;
- les coopérations avec l'Instituto hidrográfico de Lisbonne, équivalent portugais du SHOM, avec qui des échanges d'informations, des campagnes communes et des échanges de personnels ont été menés et restent très actifs dans le domaine de l'océanographie physique ;
- les coopérations avec l'Université du Nouveau Brunswick (UNB, Canada) ou Université du New Hampshire (USA) en bathymétrie ;
- dans le domaine de la géologie marine, la participation active du SHOM à l'animation de la communauté scientifique en pilotant le groupe de travail MARID (MARine and Rlver Dune dynamics) dont le comité scientifique (Université de Twente, Pays bas ; Université de Lille ; Université de Leeds, UK ; Université de l'Illinois, USA) se regroupe tous les trois ans. Le SHOM participe aussi à un groupe de travail scientifique sur la protection du littoral : European Union for Coastal Conservation (EUCC).

ANNEXE : LISTE DES ACRONYMES

AEM	: Action de l'État en Mer	LASM	: Lutte Anti-Sous-Marins
AUV	: Autonomous Underwater Vehicle	LIDAR	: Light Detection And Ranging - télédétection par laser aéroporté
AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer	LSM	: Lutte Sous la Mer
BATHYELLI	: BATHYmétrie rapportée à l'ELLipsoïde	MIP	: division « Maîtrise de l'Information et Produits mixtes » de la direction des opérations du SHOM (SHOM/DO/MIP). Dans cette fiche, ce sigle est aussi utilisé pour désigner le mandat du SHOM en matière de soutien aux politiques publiques maritimes
CDO	: Comité des Directeurs d'Organismes, traitant des programmes océanographiques liés aux changements climatiques globaux	NAU	: division « produits NAUtiques » de la direction des opérations du SHOM (SHOM/DO/NAU). Dans cette fiche, ce sigle est aussi utilisé pour désigner le mandat du SHOM en matière de sécurité de la navigation
CHATDHOC	: CHAînes d'Acquisition et de Traitement de Données Hydro-OCéanographiques	NURC	: Nato Underwater Research Center
DIGIMAR	: projet stratégique dont le but est de satisfaire les besoins de la défense en produits et informations numériques d'environnement dans les domaines suivants : météorologie marine, océanographie, géosciences marines et hydrodynamique (forte priorité aux besoins de la marine nationale)	OS	: Objectif Stratégique (du SHOM)
DIGINAV	: projet stratégique dont le but est de mettre à disposition des navigateurs civils et militaires une gamme de produits numériques pour la navigation	PEA	: Programme d'Étude Amont
GdM	: Guerre des Mines	PPML	: Politique Publique Maritime et du Littoral
GHOM	: environnement Géographique, Hydrographique, Océanographique et Météorologique marin	R&D	: Recherche et Développement
GNSS	: Global Navigation Satellite System	REA	: évaluation rapide de l'environnement (Rapid Environmental Assessment)
HOM	: division « Hydrographie, Océanographie et Météorologie militaires » de la direction des opérations du SHOM (SHOM/DO/HOM). Dans cette fiche, ce sigle est aussi utilisé pour désigner le mandat du SHOM en matière de soutien de la défense	SDHM	: Système Déployable d'Hydrographie Militaire
HYCOM	: HYbrid Coordinate Ocean Model (modèle numérique de circulation océanique utilisé au SHOM et développé en partenariat avec un consortium international)	SIC	: Système d'Information et de Commandement
		UUV/ROV	: Unmanned Underwater Vehicle / Remote Operated Vehicle
		WAVEWATCH III	: modèle numérique de calcul des états de mer, utilisé au SHOM et développé en partenariat avec le service météorologique des États-Unis (NOAA/NCEP) et d'autres contributeurs.

MODÉLISATION DE LA CIRCULATION OCÉANIQUE EN MANCHE, GOLFE DE GASCOGNE, OUEST-PORTUGAL ET GOLFE DE CADIX

Yves Morel 1, Annick Pichon 1, Stéphanie Louazel 1, Lucia Pineau-Guillou 1, Rémy Baraille 1, Alain Serpette 1, Cyril Lathuilière 1, Fabrice Ardhuin 1, Audrey Pasquet 1, Stéphanie Corréard 2, Michel Assenbaum 2, Sophie Casitas 3, Luis Quaresma Dos Santos 4, Cécile Renaudie 5, Gwenaëlle Hello 5, Hervé Giordani 5, Sébastien Lahaye 6, Xavier Carton 7

Affiliations

- 1 : Service hydrographique et océanographique de la marine
- 2 : Société Géosciences Ingénierie
- 3 : Société ACTIMAR
- 4 : Instituto Hydrografico, Portugal
- 5 : Météo-France
- 6 : Commissariat à l'Énergie Atomique
- 7 : Université de Bretagne Occidentale

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet « MOdélisation d'Un Théâtre d'Opérations Navales » (MOUTON), le SHOM, en partenariat avec de nombreux instituts et des sociétés spécialisées, a mis en place un système numérique de modélisation des courants océaniques sur des zones limitées. Basé sur le modèle numérique international HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model), qui a été largement amélioré dans le cadre du projet MOUTON, ce système vise à reproduire le plus fidèlement possible un certain nombre de phénomènes océaniques dont les principaux sont passés en revue ici. La validation du système a été effectuée sur la base de campagnes à la mer et sur une région couvrant la Manche, le golfe de Gascogne, l'Ouest du Portugal et le golfe de Cadix. Ces résultats montrent de bons accords entre la modélisation numérique et la réalité in situ.

ABSTRACT

The MOUTON project aims at constructing a numerical system to reproduce the oceanic circulation in restricted areas. In this framework, the HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) numerical model was improved and used to reproduce many oceanic processes that are listed here. The validation of the system is based on observations obtained during dedicated campaigns at sea. The area over which the system was tested is the Manche (English Channel), the bay of Biscay, West Portugal and the gulf of Cadiz. The results from the numerical model agree well with the observations.

1. INTRODUCTION – GÉNÉRALITÉS

La division hydrographie, océanographie et météorologie militaires de la direction des opérations du SHOM est responsable du soutien des forces navales dans le domaine de l'environnement océanographique. Dans ce domaine, son activité comprend le développement de systèmes d'analyse et de prévision d'état de la mer. La description de l'océan (analyse) et son évolution probable constituent, en effet, une partie fondamentale des informations « géographiques » nécessaires aux systèmes d'information et de commandement pour la conduite des opérations.

Ce besoin, précisément identifié depuis une quinzaine d'années pour la lutte anti sous-marine dans les grands fonds, a motivé le lancement du développement du système SOAP (système opérationnel d'analyse et de prévision) et la participation du SHOM au groupement d'intérêt public Mercator-Océan, spécialisé dans la modélisation des processus de moyenne échelle du domaine océanique hauturier, et exploitant l'observation altimétrique satellitale par assimilation dans les modèles.

Destinés à la description des grandes masses d'eau pour la lutte acoustique anti sous-marine, SOAP et Mercator-Océan ne répondront toutefois pas aux besoins d'exploitation de la connaissance de l'état de l'océan pour d'autres domaines de lutte, notamment parce que les modèles utilisés ne couvrent pas les approches des continents (talus et plateaux continentaux). Les besoins de la Marine ont évolué, et il s'avère maintenant nécessaire de pouvoir élargir la modélisation opérationnelle à de nouvelles régions, notamment côtières.

Dans ce cadre, le programme d'études amont (PEA) n° 012401 intitulé « MOdélisation d'Un Théâtre d'Opérations Navales » (MOUTON) vise à préparer l'extension des modèles opérationnels d'analyse et de prévision d'état de la mer vers les zones côtières, pour servir l'ensemble des opérations navales. Ce programme est financé par la Délégation Générale pour l'Armement (DGA).

Sur le plan technique, un système d'analyse et de prévision de l'état de l'océan repose en particulier sur un modèle numérique d'évolution de l'océan. Le choix s'est porté sur le modèle HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) pour les raisons suivantes :

- HYCOM est un modèle en « coordonnée verticale hybride », ce qui signifie que la grille de calcul peut être adaptée à chaque instant à la configuration de la zone et aux phénomènes physiques qu'on veut représenter. En particulier, cette grille évolutive peut s'adapter aux régions de fortes variations de densité. Cette propriété est particulièrement utile pour la modélisation d'un certain nombre de processus océaniques de fort intérêt, comme par exemple :
 - la dynamique des fronts thermohalins (panaches de fleuves, fronts de marée, upwellings et autres courants de bord) ;
 - la représentation des tourbillons océaniques ;
 - le passage des talus et la transition hauturier/côtier ;
 - la représentation des thermoclines très marquées (ce qui est le cas sur le plateau armoricain), voire la dynamique de la couche de mélange en général.

- la communauté des utilisateurs du code HYCOM est internationale et très vaste. Elle est constituée de plusieurs centaines de chercheurs, principalement situés aux États-Unis et en Norvège ; quelques laboratoires utilisent aussi ce code au Royaume-Uni, au Portugal, en Grèce et en France. Ceci permet de démultiplier les développements et validations du modèle (en particulier sur un vaste ensemble de régions océaniques, ce qui est hors de portée d'un laboratoire seul) et de mettre en place des coopérations, notamment avec les États-Unis et le Portugal.

Ce modèle, développé au départ pour des simulations à échelle de bassin, a toutefois dû être adapté à la simulation régionale, notamment côtière. Le présent article recense les améliorations effectuées au SHOM sur ce code et les résultats obtenus au cours du projet MOUTON.

2. AMÉLIORATIONS ET DÉVELOPPEMENTS EFFECTUÉS SUR LE CODE HYCOM

Si les équations hydrodynamiques, connues depuis le 19^e siècle, sont les mêmes pour la modélisation de l'océan hauturier et côtier, l'élargissement de la modélisation numérique réaliste à de nouvelles régions, notamment côtières, pose un certain nombre de difficultés : certaines hypothèses simplificatrices étant valides en hauturier mais pas en côtier. En particulier :

- les transitions grands fonds / petits fonds et les échanges côtes / large sont des zones particulièrement difficiles à modéliser, car les modèles actuels ne sont en général pas adaptés pour traiter correctement les zones de forts gradients bathymétriques ;
- la marée (et a fortiori la marée interne) n'est pas prise en compte dans les modèles hauturiers alors qu'elle s'avère primordiale pour la dynamique des zones côtières ;
- les schémas numériques des modèles hauturiers sont parfois inadaptés voire instables (ce qui signifie qu'une simulation va générer des résultats complètement fantaisistes avec des températures de plusieurs millions de degrés !) en zone de faibles fonds.

Pour faire face à ces problèmes, plusieurs développements ont été réalisés sur le modèle HYCOM. Les plus importants sont résumés ci-dessous.

En premier lieu, la modélisation de la marée en zone côtière a demandé de revoir les schémas numériques temporels du code HYCOM, qui avait été mis au point pour des fonds supérieurs à environ 20 m. Ce schéma originel s'est avéré instable (voir Figure 1) et a donc été corrigé (réf. a). Par ailleurs, les côtes de la Manche étant sujettes à de très fortes amplitudes de marée, certaines régions sont régulièrement couvertes et découvertes par la mer, ce qui s'avère difficile à gérer numériquement : des points de grilles peuvent se retrouver « sans eau », les champs physiques y étant calculés deviennent fantaisistes et peuvent polluer le reste de domaine. Un schéma numérique spécial a ainsi été développé pour prendre en compte ce processus. Pour finir, les modèles régionaux étant par nature d'emprise limitée, ils doivent être forcés à leurs limites par des modèles globaux ou de bassin. L'implémentation de ces conditions aux limites est assez délicate à mettre en place et, là encore, une solution numérique originale a été mise en place au SHOM : Elle

consiste à contraindre les flux d'eau aux frontières (plutôt que les vitesses ou les hauteurs d'eau) afin de garder un contrôle général sur les masses d'eau entrant et sortant du modèle régional, notamment à cause de la marée.

D'autres améliorations ont été réalisées :

- un schéma numérique d'ordre élevé a été mis en place pour l'évolution des vitesses (réf. b) ;
- une méthode d'adaptation de la résolution verticale, à la thermocline saisonnière et au développement de la couche de mélange, a été développée dans le cadre d'une coopération avec Météo-France.

Dans le cadre du projet MOUTON, plusieurs modèles réalistes ont été mis en place sur une partie de l'Atlantique Nord-Est comprenant : la Manche et le golfe de Gascogne, le large du Portugal et l'ouvert du golfe de Cadix. Ces maquettes régionales ont été réalisées à très haute résolution (1,7 à 3 km en horizontal). Elles sont initialisées et forcées aux limites par les systèmes globaux Mercator-Océan (dynamique à grande et moyenne échelle) et MOG2D (modèle de marée du CNRS/LEGOS utilisé pour le forçage de la marée). Les forçages atmosphériques (vent, flux de chaleur et précipitations) sont ceux du système ARPEGE de Météo-France. La bathymétrie est, bien entendu, fournie par le SHOM (source BATMANE, division SHOM/DO/MIP) avec quelques corrections pour la partie sud (contribution de l'Instituto Hydrografico du Portugal dans le cadre d'une coopération avec cet organisme).

Le paragraphe suivant présente quelques résultats issus de ces modèles réalistes.

3. LA VALIDATION DU MODÈLE

La validation d'un modèle numérique repose essentiellement sur la confrontation de ces résultats à des données in situ et satellitales. Les observations en domaine côtier étant assez rares, le projet MOUTON a aussi visé à la mise en place de campagnes de mesures en mer, pour acquérir des données ciblées sur un certain nombre de phénomènes océaniques et effectuer cette validation. Cinq campagnes de grande envergure (plus de 200 jours de mer en tout) ont ainsi été réalisées, au cours de ce projet, sur la période 2005 à 2009. Les données de ces campagnes ont, pour la plupart, été analysées et confrontées aux résultats du modèle numérique (réf. c), en sélectionnant les processus clés sur la zone Manche-golfe de Gascogne et Ouest Portugal-golfe de Cadix. Nous résumons ci-dessous ces résultats.

3.1. Dynamique tourbillonnaire

Les observations à la mer effectuées, notamment dans le cadre du projet MOUTON, indiquent qu'un facteur essentiel des échanges côte-large est la dynamique tourbillonnaire à moyenne échelle. Il est ainsi primordial de représenter correctement cette dynamique dans le modèle, notamment aux abords du talus continental. La figure 2 montre le développement de la turbulence à moyenne échelle dans la maquette Manche-Gascogne. Des tourbillons sont effectivement formés en quelques semaines, par instabilité des courants de pente dans la zone, et emplissent rapidement le bassin.

Leurs caractéristiques ont été comparées à des observations et sont en très bon accord pour ce qui est de leur extension. Leur durée de vie est toutefois trop courte dans le modèle -environ 6 mois pour 1 an voire parfois plus dans les observations- car ils semblent interagir fortement entre eux, les nouveaux tourbillons plus récents étirant les plus anciens jusqu'à leur filamentation et disparition.

3.2. Marée

La marée est bien entendu un phénomène majeur à bien représenter dans le modèle numérique, notamment en zone côtière. Plusieurs analyses ont ainsi été réalisées. Elles ont montré la capacité du modèle à représenter correctement la marée :

- la figure 3 montre une comparaison entre l'amplitude de la marée M4 (non-linéaire) en Manche dans les observations de Le Provost et dans le modèle HYCOM Manche-Gascogne ;
- la figure 4 représente une comparaison au large de Lisbonne (Cascas) pour les ondes M2, S2, N2, K2 ;
- la figure 5 représente les zones découvrantes dans le golfe Normand-Breton.

Le modèle donne ainsi une représentation correcte de la réalité pour ce phénomène.

La marée étant extrêmement forte aux abords des côtes bretonnes, elle donne naissance à des fronts thermohalins très intenses : c'est le phénomène de front de marée. En effet, en été, l'ensoleillement provoque un réchauffement des couches de surface sur une trentaine à une quarantaine de mètres. La colonne d'eau, homogène et froide au sortir de l'hiver, peut alors être représentée, de manière simplifiée, en deux couches : une couche de surface chaude et une couche de fond froide, séparées par une zone de forte variation de température : la « thermocline ». Les températures de surface atteignent 22 à 25°C au Sud du golfe de Gascogne et 17 à 20°C au Nord, pour des températures de 10 à 12°C dans les couches profondes.

En mer d'Iroise, autour des îles d'Ouessant et de Sein, les courants de marée atteignent 4 à 5, voire 6 nœuds localement. Ces forts courants engendrent un brassage vertical des eaux : les eaux chaudes estivales de surface se mélangent aux eaux froides des couches profondes donnant naissance à une eau dont la température varie entre 13 et 15°C sur l'ensemble de la colonne. En surface il existe alors de fortes variations de température liées à ce phénomène, avec un fort refroidissement dans les zones mélangées. La figure 6 représente une comparaison de températures de surface entre des observations et le modèle en juillet 2004. Noter le fort refroidissement autour des îles d'Ouessant et de Sein : la température de surface est d'environ 17,5°C au large et de 14°C seulement entre les îles et la côte. Les observations et le modèle sont, là encore, très proches.

3.3. Marée interne

La marée et la stratification engendrent aussi un autre phénomène de prime importance pour la dynamique de la zone Manche-Gascogne : la « marée interne ». Comme expliqué plus haut, en été l'océan est constitué d'une couche de surface chaude et une couche de fond froide, séparées par la « thermocline ». Quand le courant de marée rencontre une

remontée du fond, il génère des courants verticaux qui vont déplacer vers le haut (flux) puis vers le bas (reflux) la thermocline (voir figure 7). C'est le phénomène de marée interne. Ceci s'accompagne de fortes modifications du champ de vitesse de la marée initiale. En effet, comme le montre la Figure 8, les courants ne sont plus constants sur la verticale : la compression (l'étirement) de la couche de surface engendre des accélérations (décélérations) importantes, modifiant fortement le courant en surface. La figure 8 présente l'évolution du profil de vitesse avec la marée et la marée interne, en un point fixe au large de la mer d'Iroise. Noter les similarités entre observations et modèle avec un quasi-doublement du courant de marée « barotrope » dans la couche de surface par la marée interne. Ce phénomène est ainsi de prime importance pour représenter correctement la dérive en surface. Il est aussi suffisamment intense le long du talus continental pour être associé à un refroidissement de la température de surface : là encore les courants de marée interne engendrent du mélange et brassent les eaux de surface avec celles situées en profondeur (voir figure 15).

3.4. Panaches de fleuves

Les fleuves amènent sur le littoral des eaux dont les caractéristiques sont très marquées : elles ne sont bien sûr pas salées et souvent de températures assez différentes par rapport aux eaux côtières. Ceci forme également des fronts thermohalins donnant naissance à des courants locaux. Ce phénomène est aussi associé au développement d'une intense activité biologique. La figure 9 compare la température de surface du modèle aux observations sur le plateau du golfe de Gascogne, marqué par les apports de la Gironde, de la Loire, de l'Adour et d'autres rivières de moindre importance. En hiver, les eaux continentales sont plus douces que les eaux océaniques et les panaches des fleuves sont ainsi assez bien marqués. Noter en effet le refroidissement à la côte, associé aux crues hivernales. L'extension du panache semble correcte dans l'ensemble quoique la propagation soit trop limitée au Nord et sa température un peu trop chaude dans le modèle.

La figure 10 représente une comparaison entre des observations et le modèle pour la température à 10 m de profondeur à l'embouchure de la Gironde.

3.5. Évolution de la couche de mélange

La dynamique de la couche de surface est dominée par les interactions avec l'atmosphère, qui apporte chaleur et mouvement, voire brassage (action du vent). Cette couche de mélange va en grande partie déterminer la position de la thermocline et les caractéristiques thermiques et dynamiques des eaux de surface. Elle est assez délicate à modéliser. Une étude (réf. d) a été réalisée pour évaluer la capacité du modèle à représenter correctement ce processus de couche de mélange en zone côtière.

La figure 11 représente l'évolution du profil de température observé lors d'une campagne en mer en un point fixe situé à proximité de l'île Vierge. Ces mesures sont comparées aux résultats du modèle de couche de mélange utilisé dans HYCOM. En journée, les flux de chaleur atmosphériques réchauffent les couches de surface de 0,1 à 0,2°C. La colonne d'eau est toutefois homogénéisée fréquemment par le brassage lié au vent en surface et aux courants de marée

(atteignant environ 3 nœuds dans la zone) sur la partie plus profonde de la colonne d'eau. Ces phénomènes sont correctement représentés dans le modèle.

3.6. Courant de gravité

Dans l'océan, les grands bassins génèrent des masses d'eau dont les caractéristiques sont très marquées et différentes les unes des autres. Lorsque deux bassins sont séparés par un détroit, les échanges de masses d'eau donnent naissance à des courants parfois très intenses et dont l'évolution est souvent particulière. C'est le cas au niveau du détroit de Gibraltar où les bassins atlantique et méditerranéen interagissent. Le bassin méditerranéen est un bassin de concentration, ce qui signifie que, sous l'action de l'évaporation, ce bassin génère des eaux plus chaudes mais surtout très salées par rapport aux eaux atlantiques. Ces eaux méditerranéennes sont alors plus denses et coulent en profondeur vers l'Atlantique au niveau du détroit de Gibraltar, formant un « courant de gravité ». Les eaux atlantiques, plus « légères » entrent en surface en Méditerranée. Les eaux méditerranéennes coulent et se mélangent pour atteindre une profondeur d'équilibre de quelques centaines à environ 1000 m. Sous l'action de la force de Coriolis (la rotation de la terre dévie les mouvements vers la droite dans l'hémisphère Nord) elles vont être plaquées le long du talus continental ibérique et former un courant chaud et très salé. Ce courant est ensuite instable et va former des tourbillons qui vont se propager dans le bassin atlantique sur plusieurs milliers de kilomètres en gardant dans leurs cœurs des eaux méditerranéennes : les Meddies.

Les courants de gravité, comme la veine méditerranéenne décrite ci-dessus, sont des phénomènes complexes difficiles à représenter avec des modèles numériques. La maquette HYCOM sud a été testée pour ce phénomène. La figure 12 représente une coupe de salinité à travers le golfe de Cadix, le long de 8°20'W. Les campagnes SEMANE ont permis de recueillir des données et de caractériser précisément cette veine d'eau. Les observations ont montré qu'il se formait en fait au moins trois veines à différentes immersions : 600 m, 900 m et 1350 m. Ces veines sont associées à des maxima de salinité très marqués : jusqu'à 36,8 psu soit environ 1 psu de plus par rapport aux eaux environnantes. Le modèle Ouest-Portugal-golfe de Cadix reproduit correctement les immersions et caractéristiques physiques de ces veines. Celles-ci sont toutefois très sensibles à des détails de la topographie dans le détroit de Gibraltar et au frottement sur le fond.

3.7. Upwellings côtiers

Un dernier phénomène de fort intérêt, car associé à des fronts thermiques et des courants côtiers très intenses, est le développement d'upwellings à la côte sous l'action du vent. Reprenons notre représentation simplifiée de l'océan sous la forme d'une couche de surface chaude et une couche de fond froide, séparées par la « thermocline ». Lorsqu'un vent souffle parallèlement à la côte, il va avoir tendance à pousser les eaux de surface dans son sens. Toutefois, la force de Coriolis va dévier le mouvement vers la droite et, si le vent laisse la côte à gauche, va chasser les eaux chaudes de surface de la côte vers le large. Celles-ci vont alors être remplacées par des eaux profondes, bien plus froides : c'est le phénomène d'upwelling.

En été, l'anticyclone des Açores remonte vers le Nord et s'intensifie, engendrant des flux de Nord le long des côtes portugaises et Ouest espagnoles, propices au développement d'upwellings. La figure 13 présente la température de surface en septembre 2005 le long de ces côtes (observations et résultats du modèle). Noter le fort refroidissement à la côte (la température passe de 22°C au large à 13°C à la côte), marquant le phénomène d'upwelling. Noter aussi les méandres qui se détachent de la côte : le courant d'upwelling est en effet instable et des filaments qui s'en détachent sont très localisés. Le modèle reproduit ces phénomènes assez précisément. La figure 14 est une coupe verticale de température perpendiculaire à la côte, montrant la structure de l'upwelling dans les couches profondes. Le modèle semble toutefois trop chaud sur l'ensemble de la colonne d'eau et notamment dans la couche de surface.

4. CONCLUSION

La figure 15 représente une vue d'ensemble de la température de surface sur la zone Manche-Gascogne et compare de façon générale observations et résultats du modèle pour les processus discutés plus haut liés à des fronts thermiques (front de marée, de marée interne, panache de fleuve, upwelling, ...). Elle résume la bonne concordance entre le modèle développé et les observations réalisées dans le cadre du projet MOUTON.

Cette maquette numérique a fonctionné en temps réel au SHOM et a été utilisée récemment dans le cadre d'un exercice POLMAR de suivi de polluants. La figure 16 montre une comparaison entre les résultats de cette maquette Manche-Gascogne et ceux du système opérationnel MOTHY de Météo-France, montrant une bonne concordance et l'intérêt d'un tel modèle pour la dérive en surface et le soutien aux politiques publiques maritimes.

Enfin, des tests de portabilité de ces maquettes sont réalisés régulièrement dans le cadre d'exercice (ou d'opérations) de la Marine. Un test pré-opérationnel a ainsi été réalisé en mer d'Arabie lors de l'exercice GAN07. La figure 17 présente une comparaison entre les profils bathythermiques in situ, réalisés lors du déploiement, et ceux résultant d'une simulation numérique du modèle sur la zone. Là encore les accords sont bons, montrant que la démarche d'analyse et validation, sur la base de phénomènes physiques particuliers, permet une exportabilité du modèle.

Les pistes futures de développement sur ce modèle de circulation sont multiples. Pour commencer, des études sont en cours pour y intégrer l'assimilation de données et rendre le modèle encore plus réaliste et opérationnel (en positionnant en temps réel les structures, notamment tourbillonnaires et frontales, à « la bonne place au bon moment »). Enfin, les pistes d'amélioration majeures des modèles s'orientent vers le couplage de modèles de circulation avec des modèles de vagues ou biogéochimiques, permettant de prendre en compte les interactions dynamiques entre phénomènes de différentes échelles (par exemple entre courant de moyenne échelle et vague, voir l'article de Fabrice Ardhuin dans ce même numéro). Un nouveau programme vient d'être lancé en ce sens au SHOM : PROTEVS (PRévision Océanique, Turbidité, Écoulement, Vagues et Sédimentologie).

Références

a/ YVES MOREL, RÉMY BARAILLE ET ANNICK PICHON, 2008. « Time splitting and linear stability of the slow part of the barotropic component ». *Ocean Modelling* (23, PP. 73-81. doi:10.1016/j.ocemod.2008.04.001).

b/ NINA WINTHER, YVES MOREL ET GEIR EVENSEN, 2007. « Efficiency of high order numerical schemes for momentum advection ». *Journal of Marine Systems* (67, pp. 31-46).

c/ SOCIÉTÉS GÉOSCIENCES INGÉNIERIE ET ACTIMAR « Projet HYCOMANE, Maquette Gascogne-Manche, simulations sur l'année 2005 ». *Rapport d'activité scientifique*.

d/ RENAUDIE, YVES MOREL, GWENAËLLE HELLO ET HERVÉ GIORDANI, RÉMY BARAILLE, 2009. « Study and validation of an oceanic mixed layer model in a tidal and wind-mixed coastal region ». En révision pour publication dans *Ocean Modelling*.

FIGURES

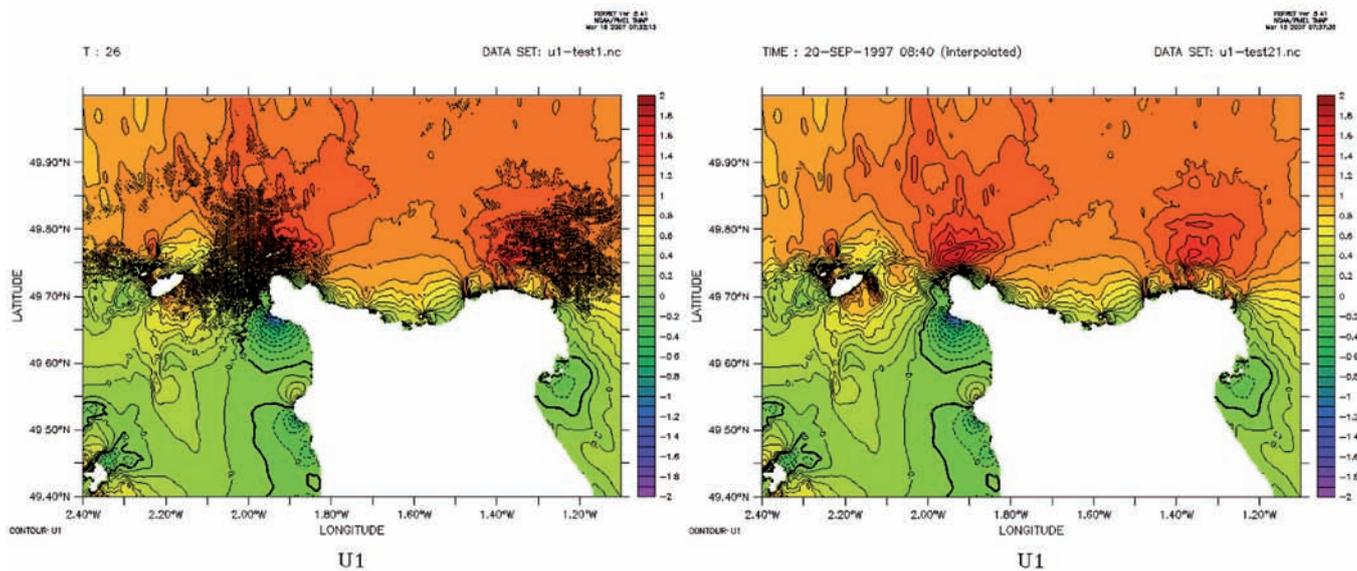


Figure 1 : Courant de surface au large du Cotentin avec le schéma numérique temporel originel du code (à gauche) et le nouveau schéma numérique (à droite). Noter la disparition du « bruit numérique » pour le nouveau schéma.

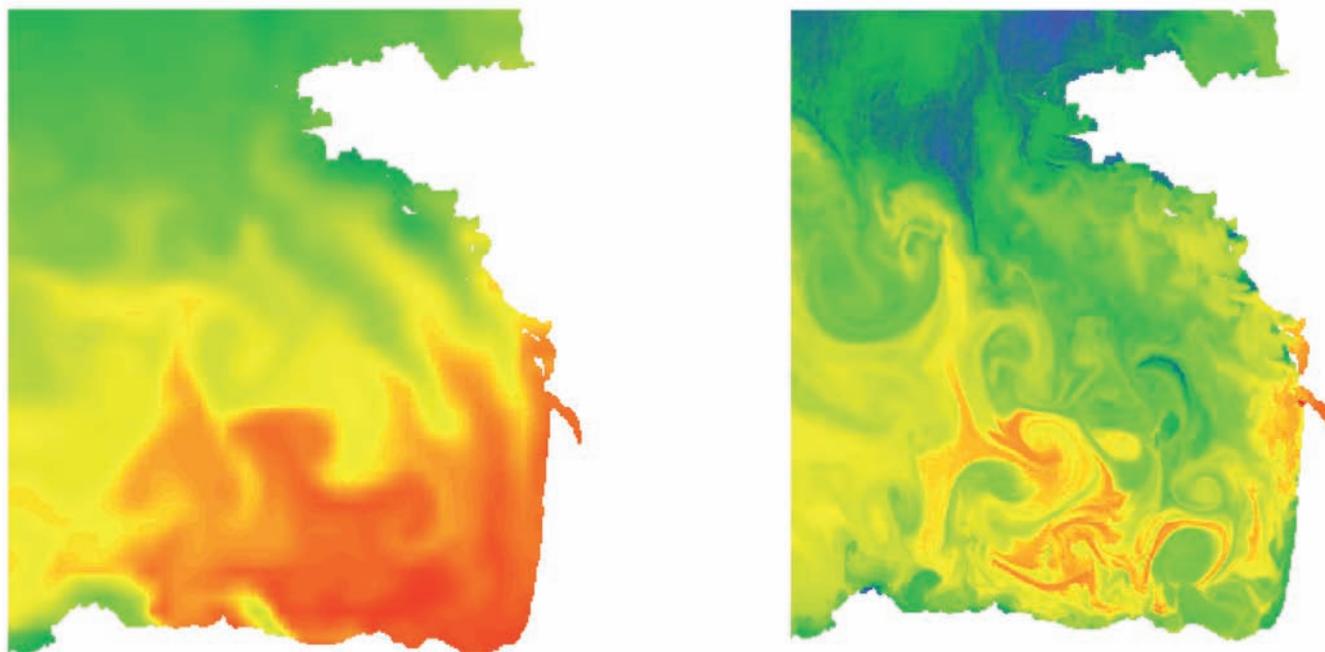


Figure 2 : Évolution de la température de surface depuis l'état initial donné par Mercator-Océan (à gauche) et après 2 semaines de simulation dans la maquette à haute résolution HYCOM (à droite). Noter le développement des tourbillons, dont les échelles (diamètre de 30 à 100 km) sont très réalistes.

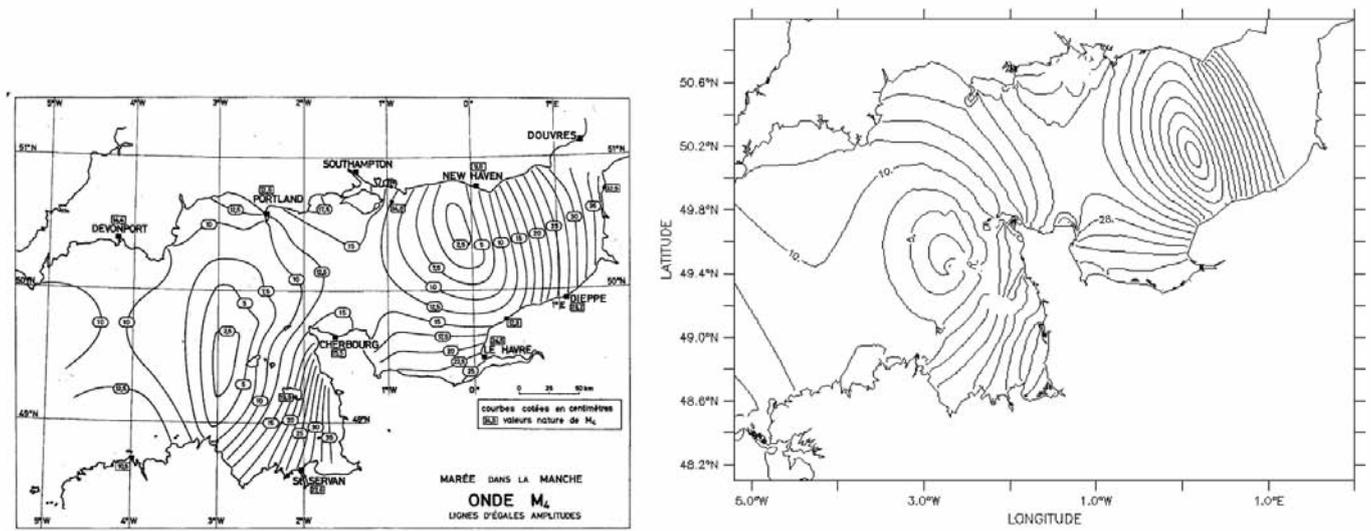


Figure 3 : Amplitude de la marée M4 en Manche dans les observations de Le Provost (à gauche) et dans le modèle HYCOM Manche-Gascogne (à droite). Noter la bonne concordance générale du modèle avec les observations.

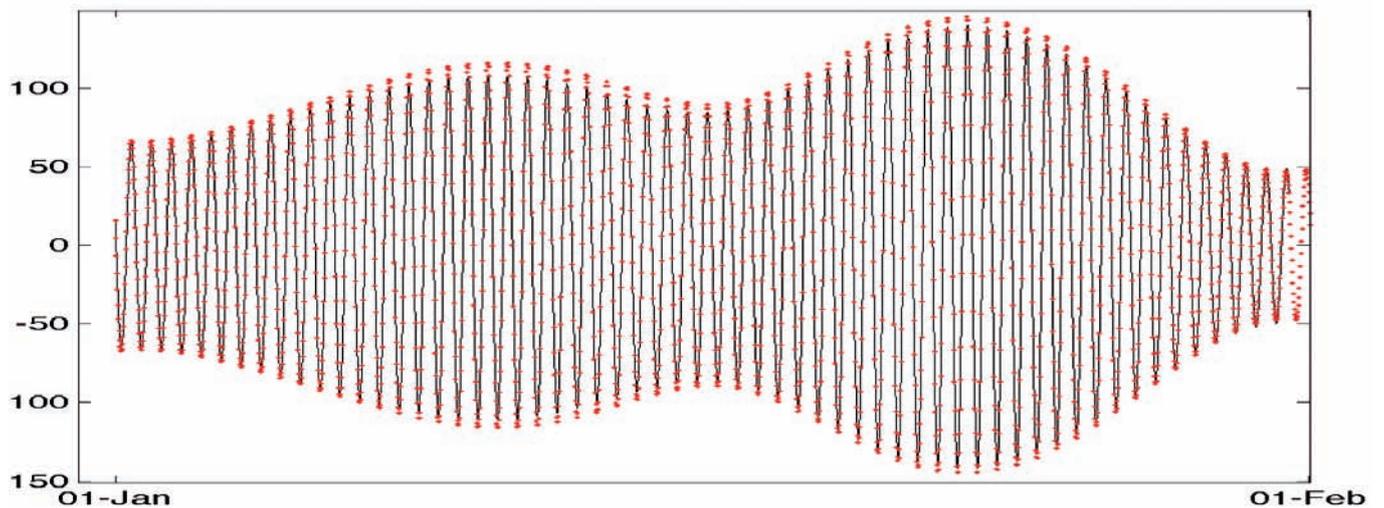


Figure 4 : Amplitude de la marée (en cm, ondes M2, S2, N2, K2), sur le mois de janvier 2004, donnée par le modèle HYCOM Ouest-Portugal-Cadix (trait noir) et le marégraphe de l'Instituto Hydrografico de Cascais (sur le plateau du Tage, points rouges).

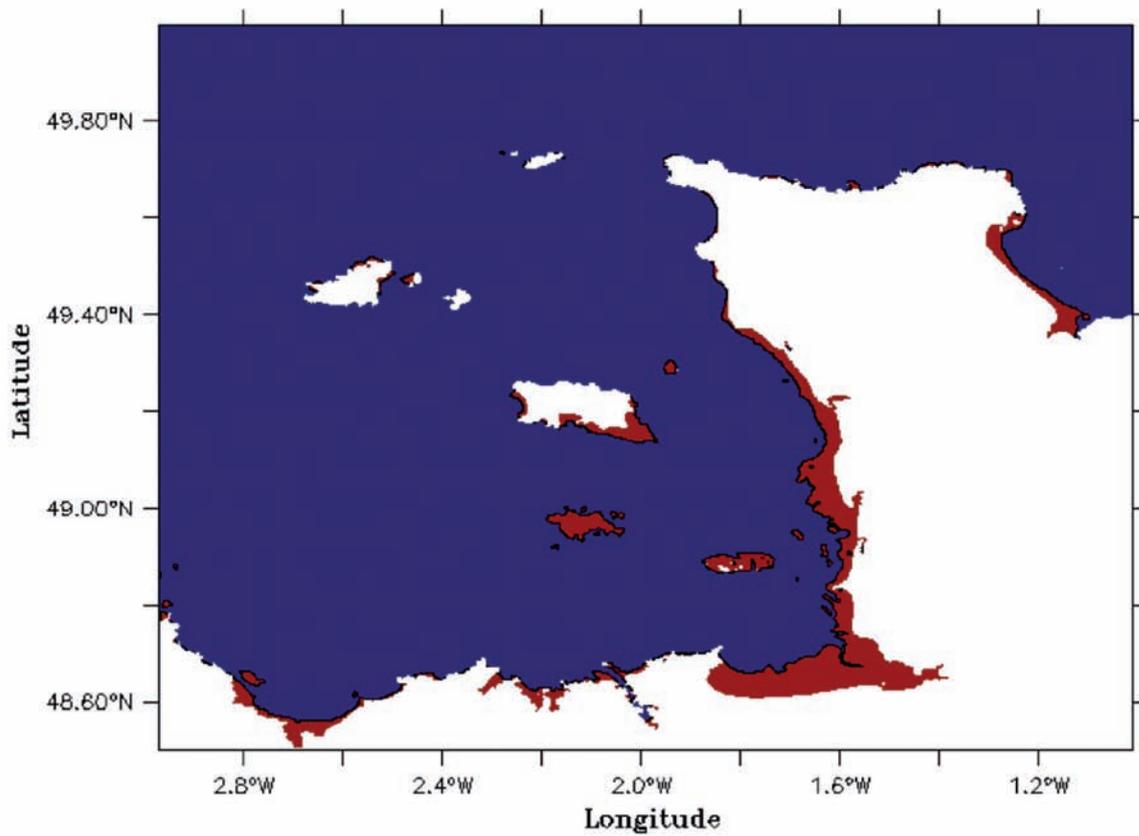


Figure 5 : Zoom sur le golfe Normand-Breton donnant les zones découvrantes sur le modèle HYCOM (en marron).

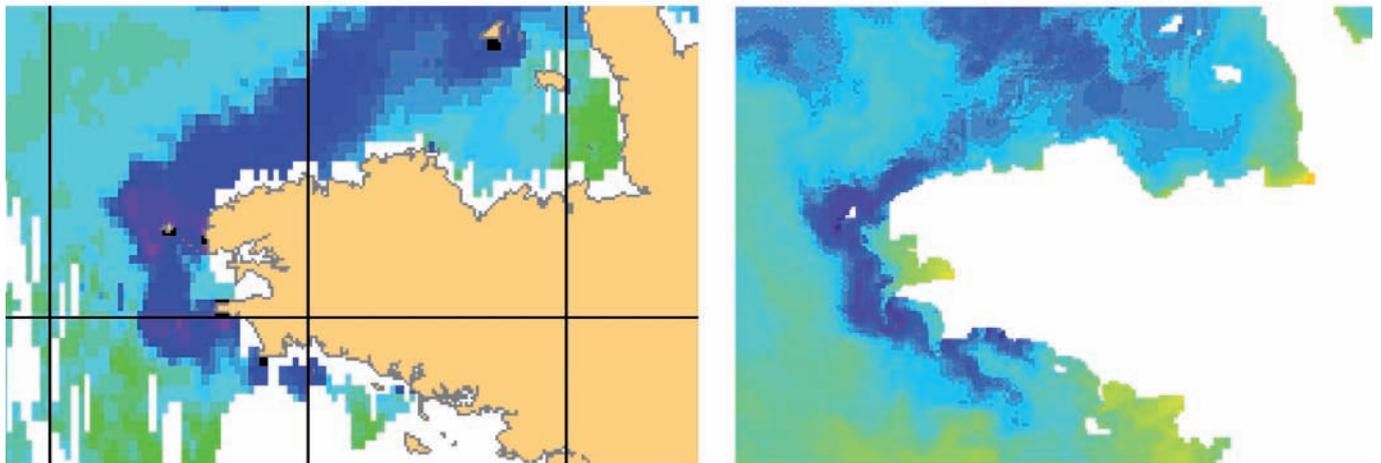


Figure 6 : Température de surface de la mer au 06 juillet 2004 observée par satellite (à gauche) et donnée par le modèle HYCOM (à droite). Noter le fort refroidissement autour des îles d'Ouessant et de Sein (la température de surface est d'environ 17,5°C au large et de 14°C seulement entre les îles et la côte)

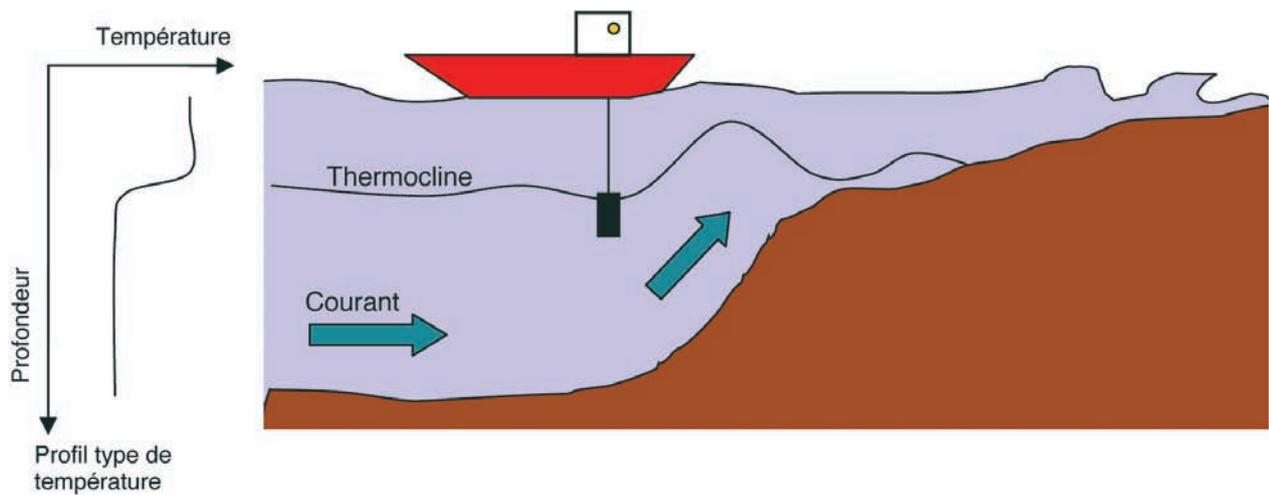


Figure 7 : Principe du développement de la marée interne. L'ensoleillement estival réchauffe les couches de surface océanique et la colonne d'eau peut être représentée, de manière simplifiée, en deux couches : une couche de surface chaude et une couche de fond froide, séparées par une zone de forte variation de température, la « thermocline ». Quand le courant de marée rencontre une remontée du fond, il génère des courants verticaux qui vont déplacer vers le haut (flux) puis vers le bas (reflux) la thermocline. C'est le phénomène de marée interne. Ceci s'accompagne de fortes modifications du champ de vitesse de la marée initiale.

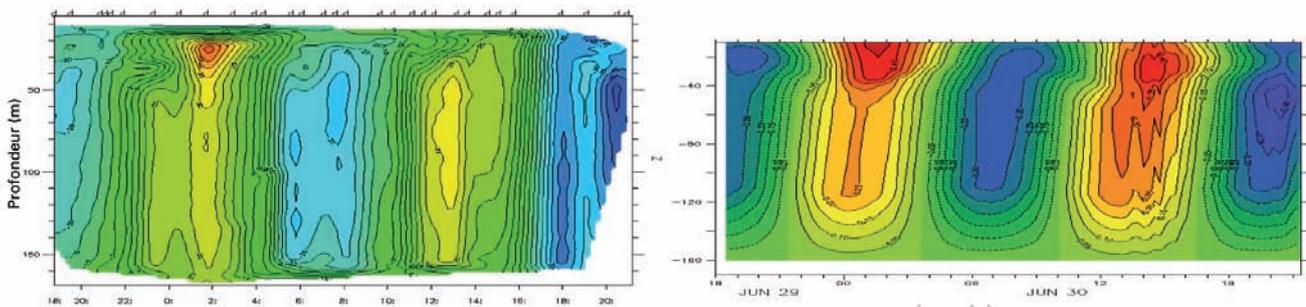


Figure 8 : Évolution du profil de vitesse avec la marée et la marée interne, au large de la mer d'Iroise dans les observations (à gauche) et le modèle (à droite). Noter les similarités entre observations et modèle. Noter en particulier l'intensification des courants dans la couche de surface : la marée interne engendre un quasi-doublement du courant de marée « barotrope ».

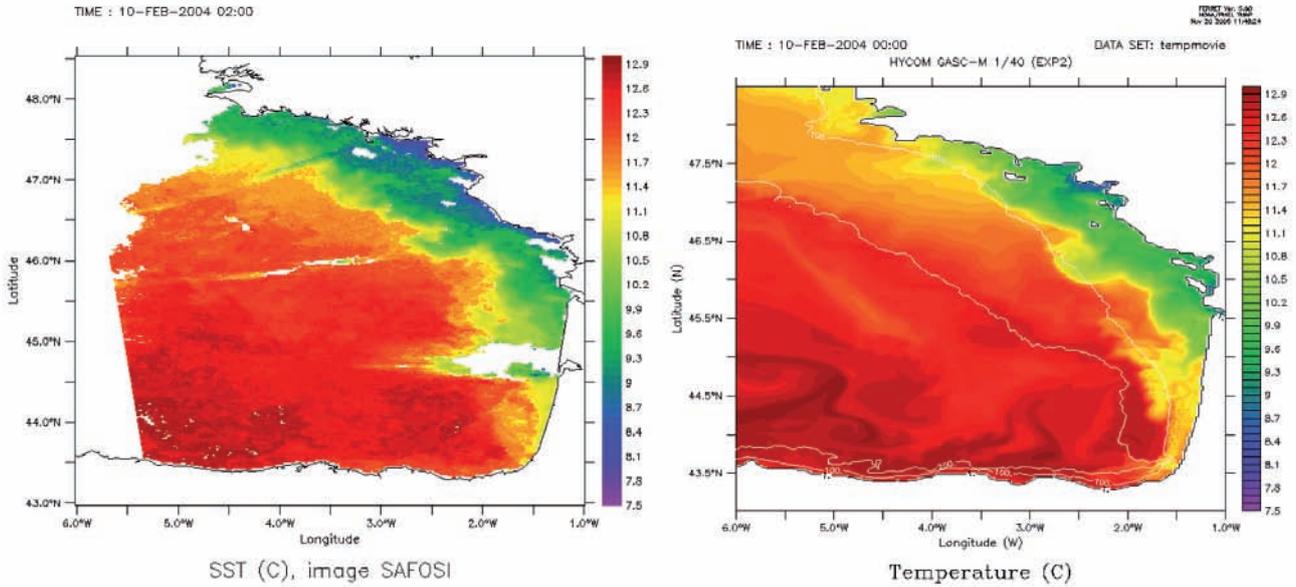


Figure 9 : Température de surface de la mer autour du 12 février 2004 observée par satellite (à gauche) et donnée par le modèle (à droite). Noter le refroidissement à la côte, associé aux crues hivernales. L'extension du panache semble correcte dans l'ensemble, quoique la propagation soit trop limitée au nord et sa température un peu trop chaude dans le modèle.

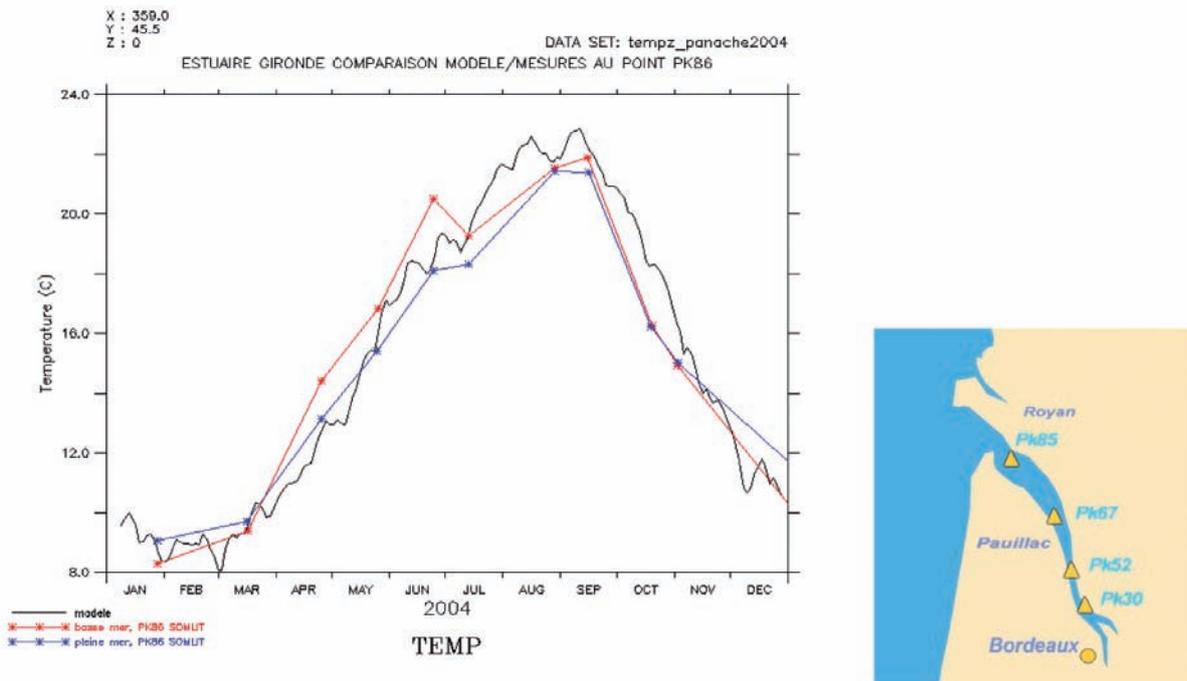


Figure 10 : Évolution de la température à 10 m à l'embouchure de la Gironde (point Pk85, donnée SOMLIT) observée par marée haute (trait bleu) et marée basse (trait rouge) et donnée par le modèle (trait noir).

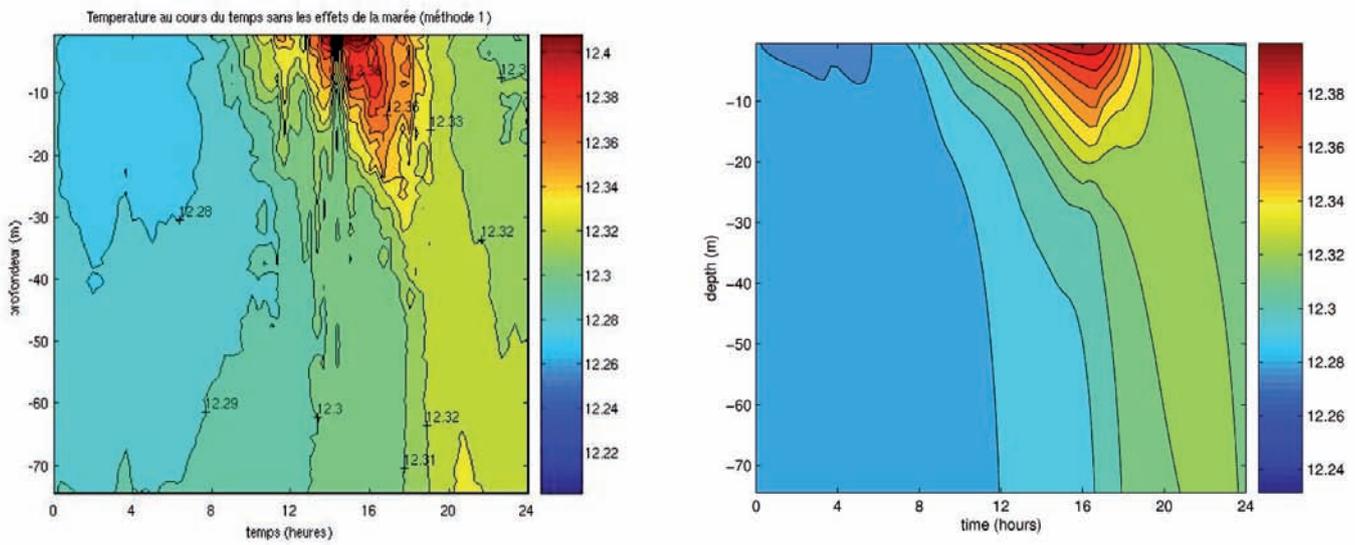


Figure 11 : Évolution du profil de température au Nord de l'île vierge, observée lors de la campagne MOUTON2007-1 (à gauche) et donnée par un modèle simplifié de couche de mélange (à droite).

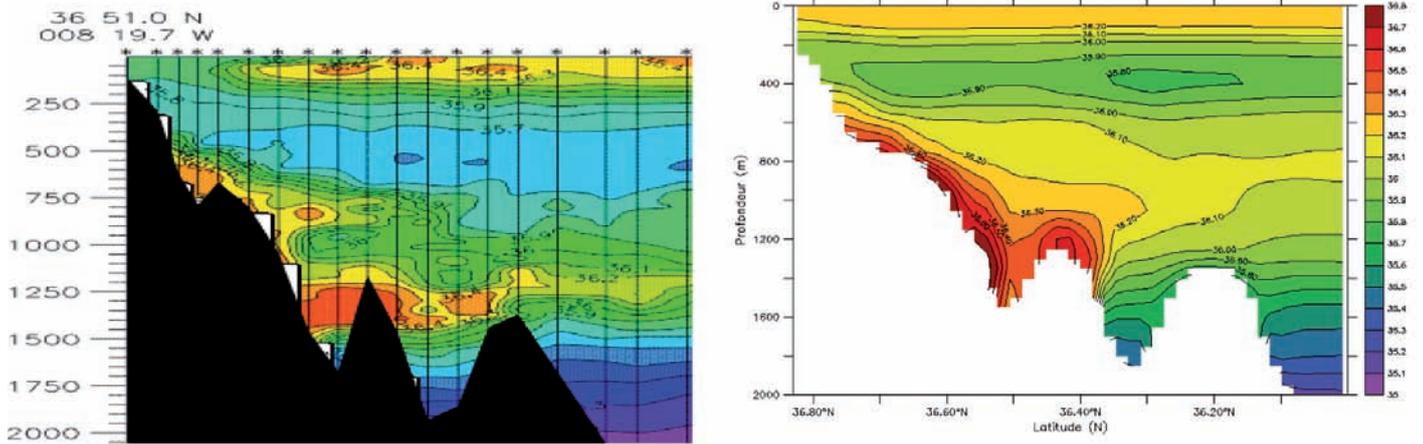


Figure 12 : Coupe de salinité dans le golfe de Cadix (8°20' W), observée lors de la campagne SEMANE1997 (à gauche) et modélisée par HYCOM. Noter les trois maxima de salinité sur le talus : à 600 m, 900 m et 1350 m, correspondant à l'écoulement des eaux d'origine méditerranéenne.

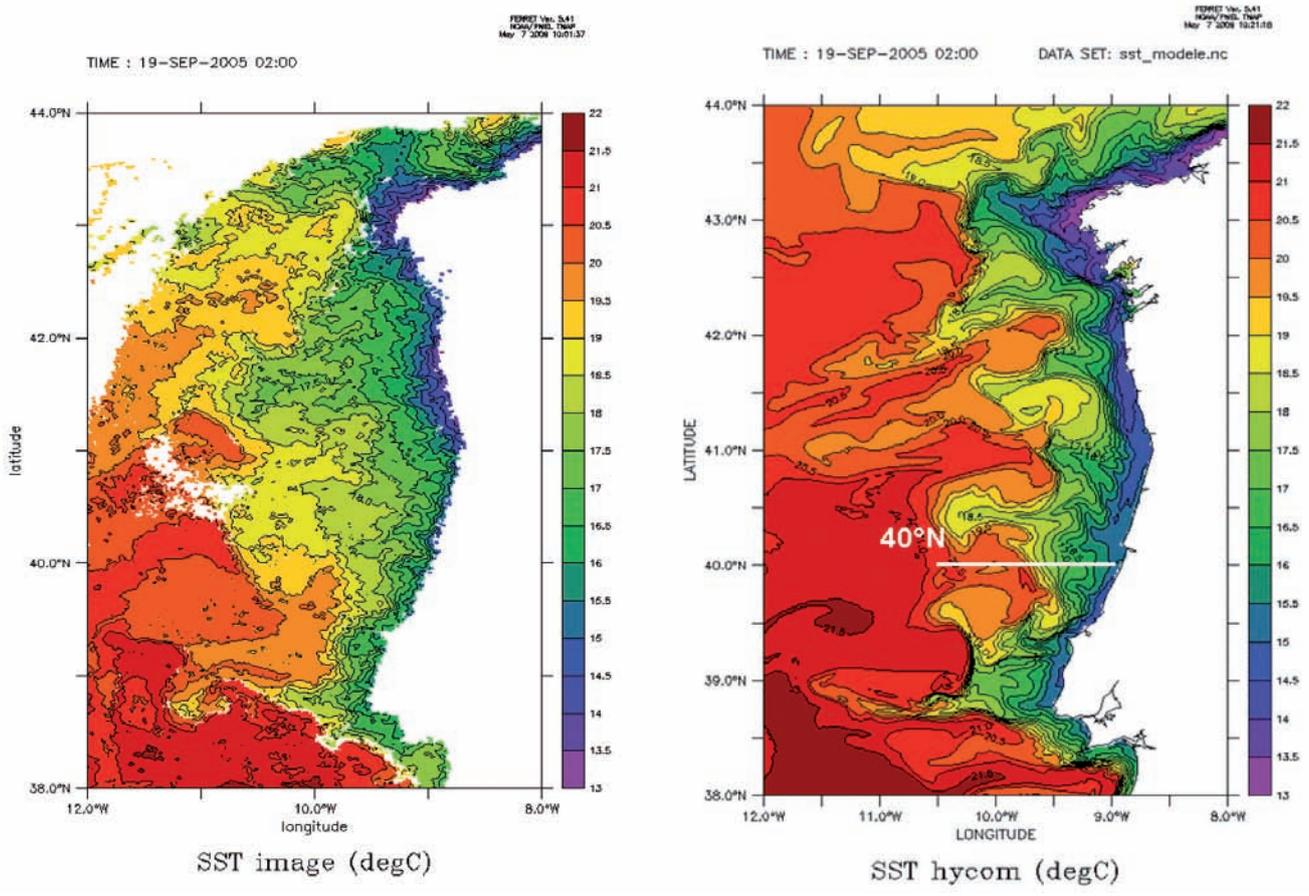


Figure 13 : Température de surface le 19 septembre 2005 observée par satellite (à gauche) et donnée par le modèle HYCOM sur la région Ouest Portugal. Noter le fort refroidissement à la côte (la température passe de 22°C au large à 13°C à la côte), marquant le phénomène d’upwelling. Noter aussi les filaments et méandres qui se détachent de la côte.

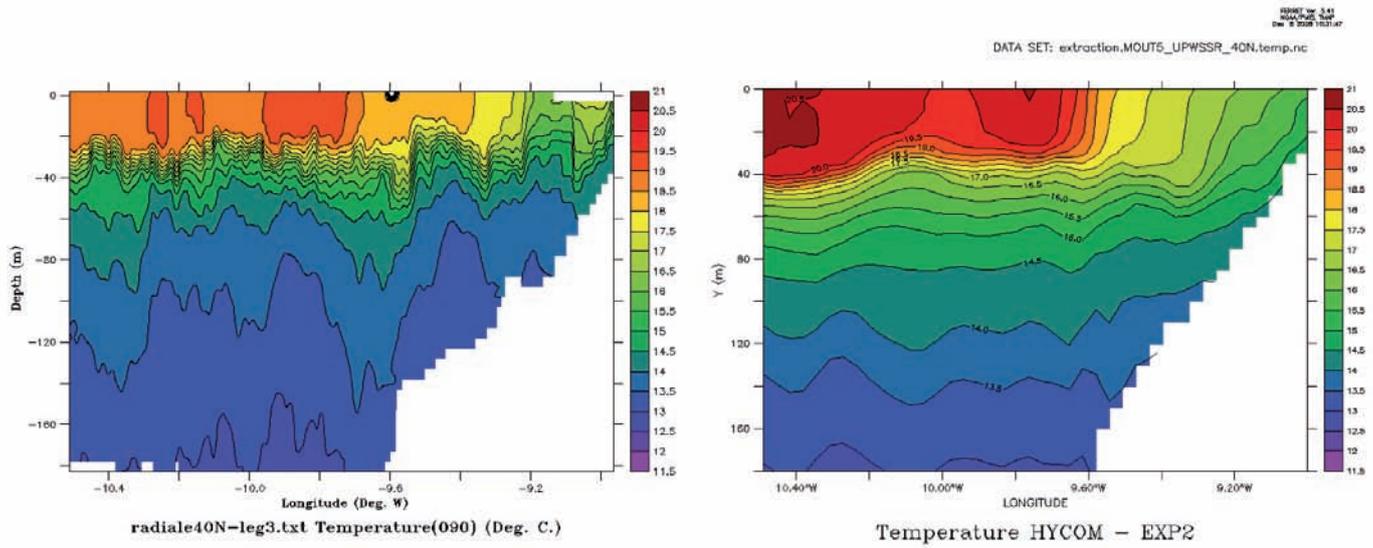


Figure 14 : Coupe verticale de température à 40° N observée lors de la campagne MOUTON2005-3 (à gauche) et modélisée par HYCOM (à droite). Noter la remontée d’eaux froides provenant des couches profondes à la côte. Noter que le modèle semble trop chaud sur l’ensemble de la colonne d’eau.

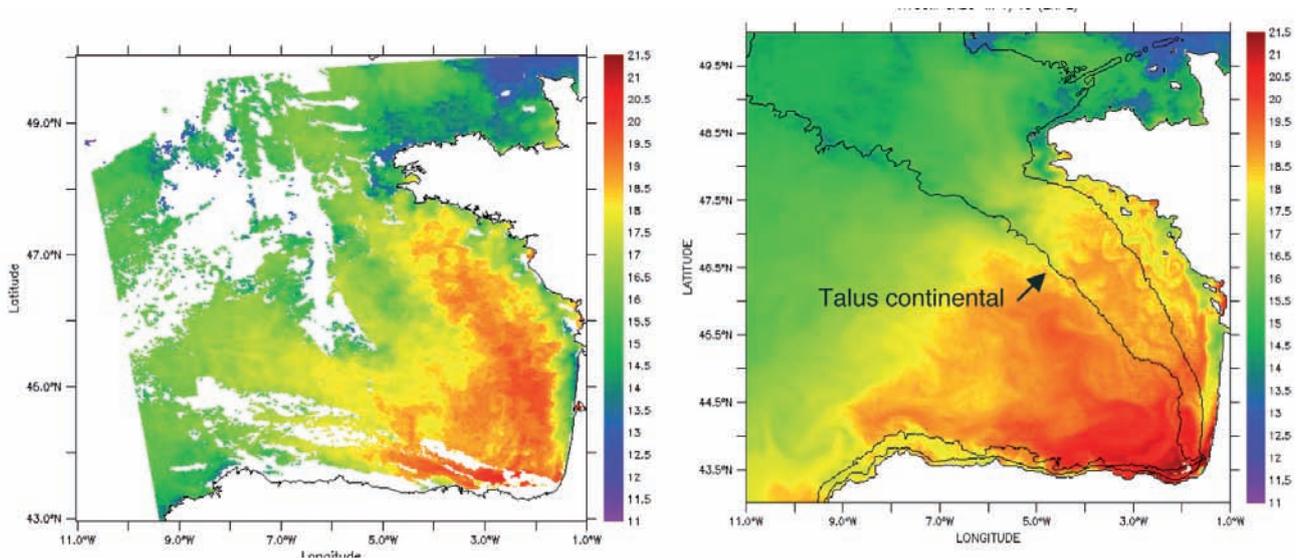


Figure 15 : Température de surface en juin 2004 observée par satellite (à gauche) et donnée par le modèle HYCOM sur la région Manche-Gascogne (à droite).

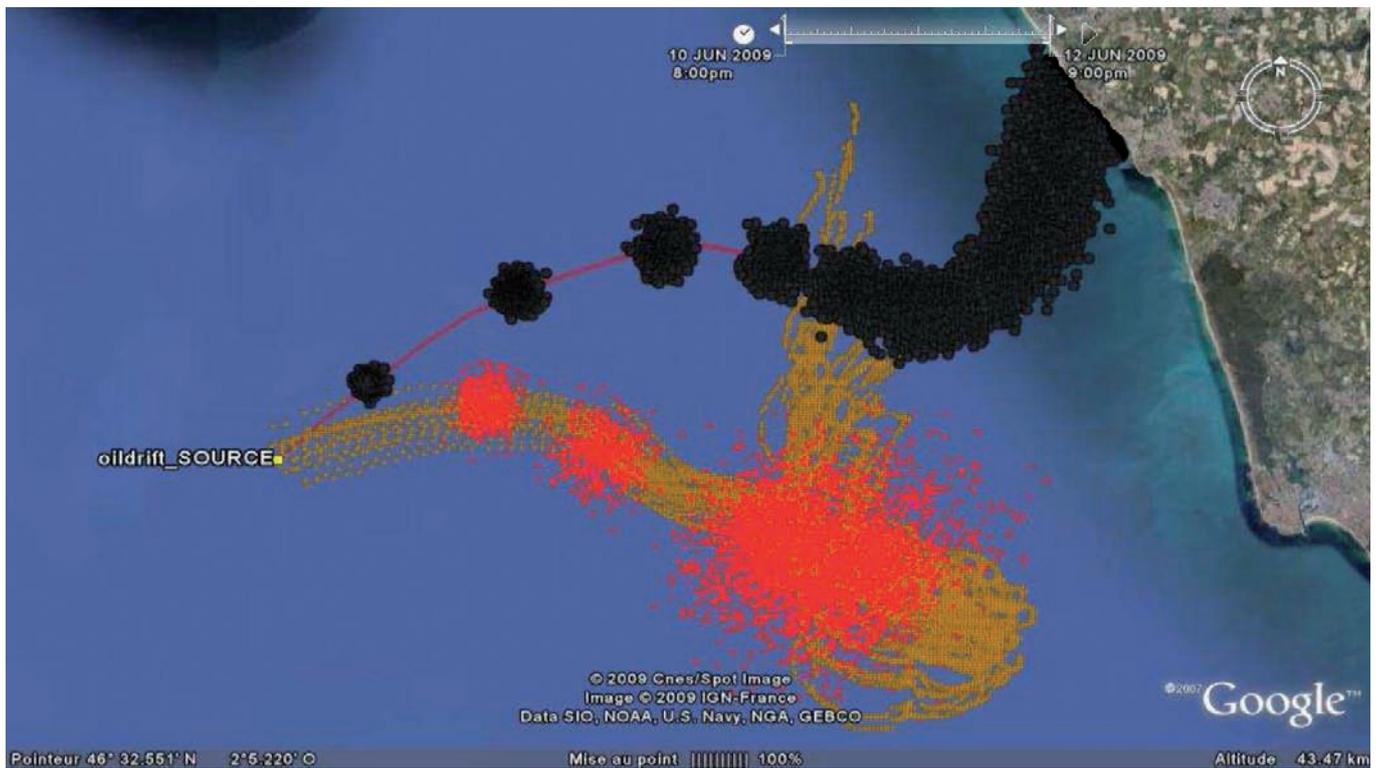


Figure 16 : Trajectoires de polluants donnés par le modèle opérationnel de Météo-France, MOTHY, (en rouge), le modèle HYCOM « temps réel » (marron) et un troisième modèle. Noter la bonne concordance entre le modèle HYCOM et MOTHY.

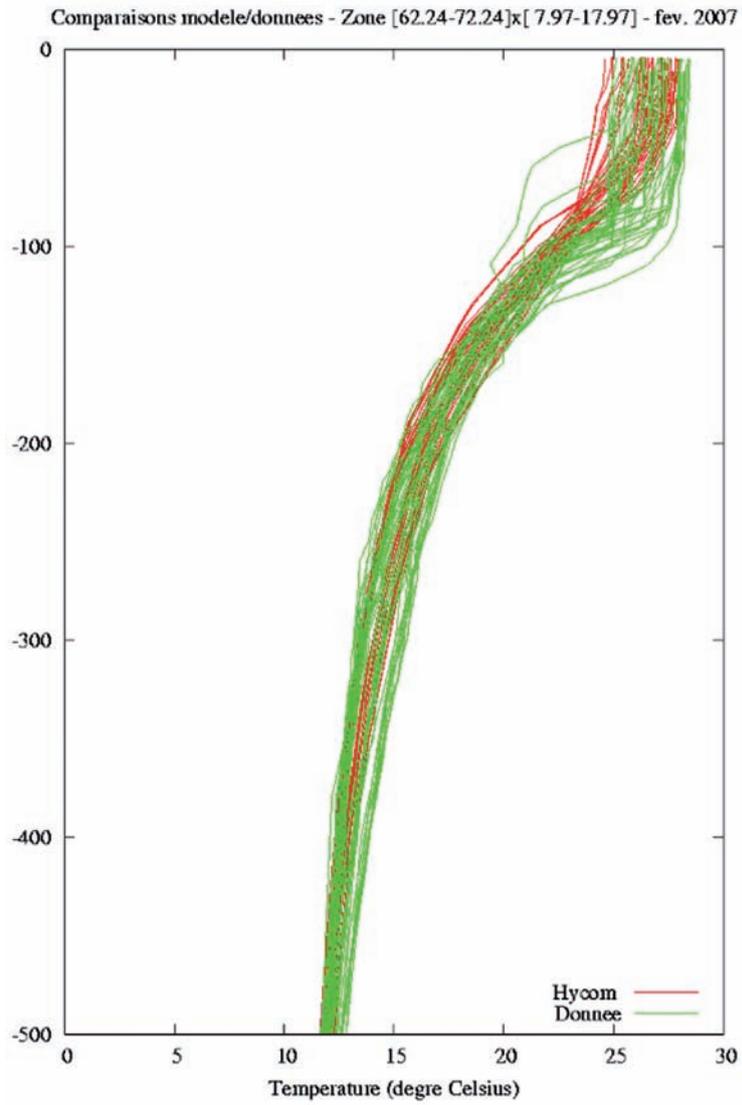


Figure 17 : Comparaison modèle/mesures (modèle en rouge, observations en vert) sur la mer d'Arabie lors de l'exercice GAN07.

OBSERVATION ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE DES ÉTATS DE MER OU VERS UNE DESCRIPTION RÉALISTE DE LA SURFACE MARINE INCLUANT LES DÉFERLEMENTS

par Fabrice ARDHUIN, ingénieur en chef de l'armement, Rudy MAGNE, ingénieur sous contrat et Jean-François FILIPOT doctorant au département de la recherche du SHOM

RÉSUMÉ

Les travaux de recherche entrepris au SHOM depuis 2002 ont permis une amélioration significative de la prévision des états de mer à grande échelle et en zone côtière. Les développements ont jusqu'à présent porté sur un paramétrage empirique des phénomènes de dissipation associés au frottement air-mer, et au déferlement. En particulier, les résultats de modèles prédictifs, fondés sur une représentation spectrale de l'état de la mer, sont désormais cohérents avec les observations et certains comportements déduits des mesures de la rugosité de la surface par les altimètres satellites. Ces avancées sont décrites tout en soulignant le très faible nombre de mesures disponibles pour certains paramètres, en particulier les directions des vagues, et l'imperfection des modèles associée au caractère empirique du calcul de la dissipation par déferlement. Sur ce point, les développements en cours permettront, dans les quelques années qui viennent, d'obtenir une prévision fiable des statistiques d'occurrence du déferlement des vagues de différentes échelles. Une discussion prospective des applications découlant de cette nouvelle capacité souligne l'intérêt de ces prévisions pour la dissipation d'énergie associée au déferlement. Au delà de cet aspect, cette modélisation explicite du déferlement ouvre aussi la voie à de nombreuses applications importantes qui sont évoquées ici : correction de mesures par télédétection et modélisation de la surface océanique associée (albédo, vitesse de surface, température de brillance et donc mesure de la salinité ou imagerie infrarouge), estimation du bruit ambiant d'origine météorologique, génie océanique (caractérisation des efforts d'impact et de la fatigue des structures qui y est associée), étude du climat (modélisation des échanges gazeux, y compris des gaz à effet de serre, entre océan et atmosphère).

ABSTRACT

Research at SHOM since 2002 has led to significant improvement in the quality of large scale sea state models, with beneficial impacts on coastal results. So far work has been focused on empirical parameterization of dissipative processes related to air-sea friction and wave breaking. Besides significant wave heights and mean periods, today's wave spectral models are now capable of reproducing surface roughness changes with wind speed and wave height that are observed with radar altimeters. This progress is described here. Of particular concern for further work is the lack of wave observations for some parameters, in particular the directional distribution of wave energy, and the yet empirical nature of the wave breaking parameterizations. For that aspect, ongoing research should yield, in the next few years, new forecasting methods for the statistics of breaking waves of different scales. New applications are likely to emerge from this novel capability. These include the correction of remote sensing observations (albedo, surface velocities, brightness temperature used to estimate sea surface salinity ...), the estimation of weather-related ambient noise, the calculation of forces on structures and the estimation of air-sea fluxes of gases and aerosol production.

1. INTRODUCTION

Il est remarquable que cette même revue ait publié, il y a près d'un siècle, la première méthode satisfaisante pour la prévision des houles (Gain AH n° 704 3^e série Tome deuxième 1918) ainsi que sa vérification grâce au premier service opérationnel de prévision des houles, celui mis en place au Maroc après la première guerre mondiale (Montagne AH n° 709 3^e série Tome cinquième 1922). Il convient aussi de citer un autre article historique, publié dans le Bulletin du COEC (Comité central d'Océanographie et d'Étude des Côtes), faisant la première description des modèles numériques modernes de prévision de l'état de la mer (Gelci et al. 1957), tels qu'ils sont utilisés encore aujourd'hui. Cette modélisation est fondée sur la notion de spectre. En tout point de la surface océanique, le spectre est une décomposition de l'énergie des vagues selon les périodes et directions des vagues. La modélisation de l'état de mer consiste alors à décrire l'évolution dans le temps et dans l'espace de l'énergie de chacune de ces composantes.

En près d'un siècle le progrès a été fulgurant. On comprend, au moins qualitativement, comment les vagues sont générées par le vent (Miles 1958, groupe WISE 2007), comment elles évoluent en se dispersant et se déformant (Barber et Ursell 1948, Hasselmann 1962, Dulov et Kosnik 2009). Les mécanismes de dissipation ne font pas encore l'objet d'un consensus, mais entre le déferlement des vagues (Melville 1994), le frottement à l'interface air-mer (Ardhuin et al. 2009), qui dissipe la houle, et les phénomènes particuliers associés aux vagues plus courtes (Kudryavtsev et al. 1999), nous avons probablement une compréhension générale des principaux phénomènes. La compréhension quantitative de la génération, de l'évolution et de la dissipation est toutefois assez sommaire et la quantité d'énergie gagnée ou perdue

par un train de vagues du fait de l'un de ces effets n'est probablement connue qu'avec une erreur relative supérieure à 50 %. Malgré cela, les savants de la première moitié du XX^e siècle auraient été abasourdis par la précision des prévisions actuelles des états de mer qui ne cesse de s'améliorer. Lorsque l'on considère des valeurs moyennes sur 3 heures, la prévision immédiate de la hauteur significative des vagues (H_s) atteint ainsi des précisions de 5 % au milieu des zones d'alizé, et cette précision est meilleure que 10 % sur la moitié de la surface des océans (figure 1).

Certes, cette amélioration doit beaucoup à celle de la météorologie en général, qui s'appuie largement sur des moyens d'observations, des méthodes numériques performantes (assimilation de données), une meilleure compréhension des phénomènes atmosphériques et des moyens de calcul qui se développent très rapidement. C'est aussi la méconnaissance des vents côtiers qui limite souvent la précision des prévisions côtières des états de mer. C'est particulièrement le cas pour les côtes bordées de reliefs élevés dans des mers semi fermées, comme par exemple en mer Ligure, en Adriatique, ou sur la côte sud de la Crimée. Une partie importante des améliorations récentes est toutefois associée à une meilleure compréhension de l'évolution des vagues (Janssen 2008, Ardhuin et al. 2009, Magne et Ardhuin 2008). Nous en rappellerons les grandes lignes en partie 2. Par ailleurs, la performance qui consiste à obtenir un résultat à 10 % près à partir de théories qui individuellement ne donnent qu'un résultat à 50 % près ou pire, n'est pas que le résultat de la théorie des grands nombres avec beaucoup d'erreurs indépendantes qui s'annulent en moyenne. C'est aussi le fruit d'une analyse de nombreuses observations et de la calibration lucide des paramètres du modèle. Or la H_s n'est pas le seul paramètre qui définit l'état de la mer et d'autres aspects

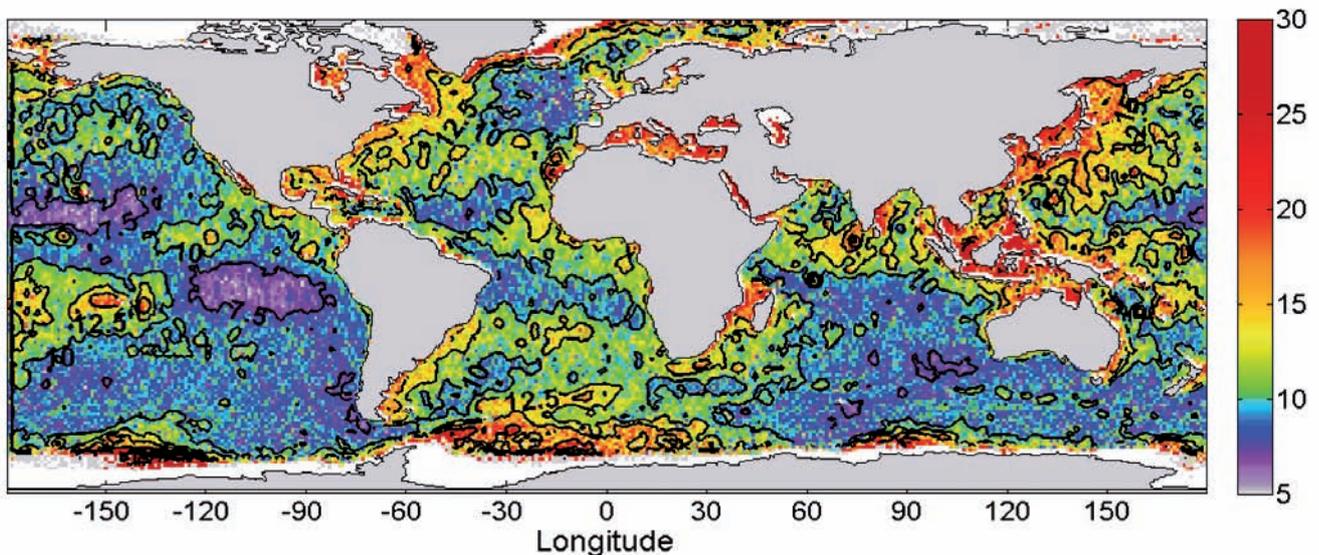


Figure 1 : Moyenne des erreurs du modèle constatées sur l'année 2007, normalisée par la moyenne des observations (en %). Les observations sont issues de tous les altimètres en vol (voir Rascle et al. 2008 pour la méthode). Le modèle est le domaine global à 0,5° de résolution mis en oeuvre par le SHOM dans le cadre du projet Prévimer (<http://www.previmer.org>). Outre les erreurs dans les mers fermées qui sont en partie associées à la faible résolution du modèle, des erreurs importantes subsistent dans les zones de forts courants (qui ne sont pas pris en compte ici), autour de l'Antarctique (probablement du fait de la présence d'icebergs, qui ne sont pas représentés ici), et sur les bords ouest des bassins. Ce dernier point peut être lié à un biais du paramétrage et/ou l'absence de prise en compte de la stabilité atmosphérique (eau plus chaude que l'air).

sont malheureusement assez mal prévus, en particulier parce qu'ils sont encore peu observés. C'est ainsi le cas de la distribution angulaire de l'énergie des vagues, qui est toutefois déterminante pour la hauteur des vagues à la côte. Nous discuterons ainsi en partie 3 de l'apport de nouvelles méthodes d'observations et nous finirons, en partie 4, par des perspectives offertes par leur utilisation, en particulier via une prévision réaliste des statistiques de déferlement.

2. PARAMÉTRAGE DES PHÉNOMÈNES D'ÉVOLUTION DES VAGUES

2.1. Génération des vagues par le vent

Les variations de pression à la surface de la mer, qui engendrent les vagues, ont fait l'objet de quelques campagnes de mesure, très délicates, qui renseignent sur la vitesse de croissance des vagues pas trop courtes, en l'absence de forte houle et pour des vents assez faibles, de moins de 10 m/s (Snyder et al. 1981, Hasselmann et Bosenberg 1991). La généralisation de ces observations aux vents plus forts s'appuie donc sur des théories qui ne peuvent être validées que par des paramètres indirects comme la tension de vent, qui est à peu près l'intégrale du flux d'énergie vent-vagues divisée par la vitesse de phase des vagues. Malheureusement cette tension est elle-même difficile à mesurer pour des vents dépassant 25 m/s (Powell et al. 2003). Le peu d'observations permet donc une assez grande liberté dans le choix des paramétrages. Les modélisations numériques indiquent que pour les vagues dominantes le paramétrage de Janssen (1991) est probablement du bon ordre de grandeur (Arduin et al. 2007). Toutefois, plusieurs études montrent qu'il est trop élevé pour les vagues les plus courtes, rendant impossible l'équilibre observé pour des dissipations réalistes (Banner et Morison 2006, Arduin et al. 2008).

2.2. Évolution non-linéaire des vagues

L'évolution des vagues est a priori bien connue théoriquement depuis les travaux de Hasselmann (1962), même si elle révèle encore des surprises en eau peu profonde (Janssen et Onorato 2007), ou bien pour les vagues courtes (Dulov et Kosnik 2009). Le problème pratique est plutôt le calcul rapide du terme d'évolution théorique, qui reste encore un peu trop coûteux pour les moyens de prévision utilisés généralement par les centres de prévision météorologique. Ce calcul est désormais faisable à grande échelle avec des résolutions acceptables en utilisant les moyens de calcul les plus performants. La règle est donc, encore pour quelques années, l'usage de l'ingénieux paramétrage de Hasselmann et al. (1985), qui introduit des erreurs notoires : un élargissement du spectre en fréquence et direction, ainsi qu'un transfert d'énergie trop fort vers les vagues courtes.

2.3. Dissipation de l'énergie des vagues

Enfin, les processus dissipatifs qui reçoivent enfin un intérêt digne de leur importance, commencent à être mesurés plus ou moins directement. En particulier, la première mesure fiable de la « rapidité » avec laquelle la houle est dissipée vient d'être réalisée par Arduin et al. (2009). Les guillemets

sont là pour souligner que ce phénomène est tout de même assez lent et ne se détecte qu'à l'échelle des bassins océaniques après quelques jours de propagation. La distance de propagation sur laquelle des houles longues, de 13 à 18 s de période, perdent la moitié de leur énergie varie de 2 000 à plus de 20 000 km en fonction de la cambrure de la houle (figure 2).

La dissipation de la houle, si elle n'est pas prise en compte, entraîne des erreurs moyennes de l'ordre de 1 m sur la hauteur significative, et ce dans tous les bassins océaniques.

L'autre phénomène essentiel qui dissipe l'énergie des vagues est le déferlement. Pour des vagues de longueurs d'onde supérieures à 1 m ce déferlement est accompagné de formation : de bulles, d'embruns et d'écume qui sont facilement visibles, avec une signature acoustique caractéristique. Les vagues plus courtes déferlent aussi mais leur signature est moins facile à mettre en évidence car il n'y a pas de bulles d'air entraînées dans l'eau. On peut tout de même en trouver la signature sur des images infrarouge : la variation de quelques dixièmes de degré, associée à l'effet de peau de la surface océanique, est en effet supprimée par un renouvellement de la surface.

L'étude quantitative du déferlement est en pleine expansion et fait l'objet de nombreux travaux expérimentaux. Il reste toutefois difficile de relier des mesures statistiques du déferlement au spectre d'état de mer. Par petits fonds, les relations empiriques montrent une forte relation entre la cambrure des vagues et la probabilité de déferlement, sans distinction de période (Thornton et Guza 1983). En eau profonde, l'avancée essentielle en la matière est le travail de Banner et al. (2000) qui ont montré, sur la base d'un assez grand nombre d'observations (océan austral et mer Noire), que la cambrure moyenne des vagues dominantes était liée à leur probabilité de déferlement. Les travaux en cours au SHOM visent à réconcilier ces deux approches et définir un paramétrage générique de la probabilité de déferlement en fonction du spectre des vagues. C'est en particulier le travail réalisé par J.F. Filipot, dans le cadre de sa thèse. La figure 3 montre ainsi un assez bon accord avec ce paramétrage générique et les observations rassemblées par Banner et al. (2000), ainsi que des observations par plus petits fonds.

3. QUELLES OBSERVATIONS POUR METTRE AU POINT LES MODÈLES DE DEMAIN ?

L'observation *in situ* reste indispensable, ne serait-ce que pour la validation et calibration des méthodes de mesure par télédétection. Cela demande des instruments robustes, tels que les bouées houlographes (figure 4a), qui fournissent déjà un ensemble important de paramètres : répartition de l'énergie en fonction des fréquences, directions moyennes et étalement directionnel.

Toutefois, les bouées ou tout instrument ponctuel ne peuvent donner beaucoup de détails sur la répartition angulaire de l'énergie des vagues. Or ces détails peuvent modifier considérablement l'état de la mer, en particulier lors de la propagation vers une côte découpée (figure 5).

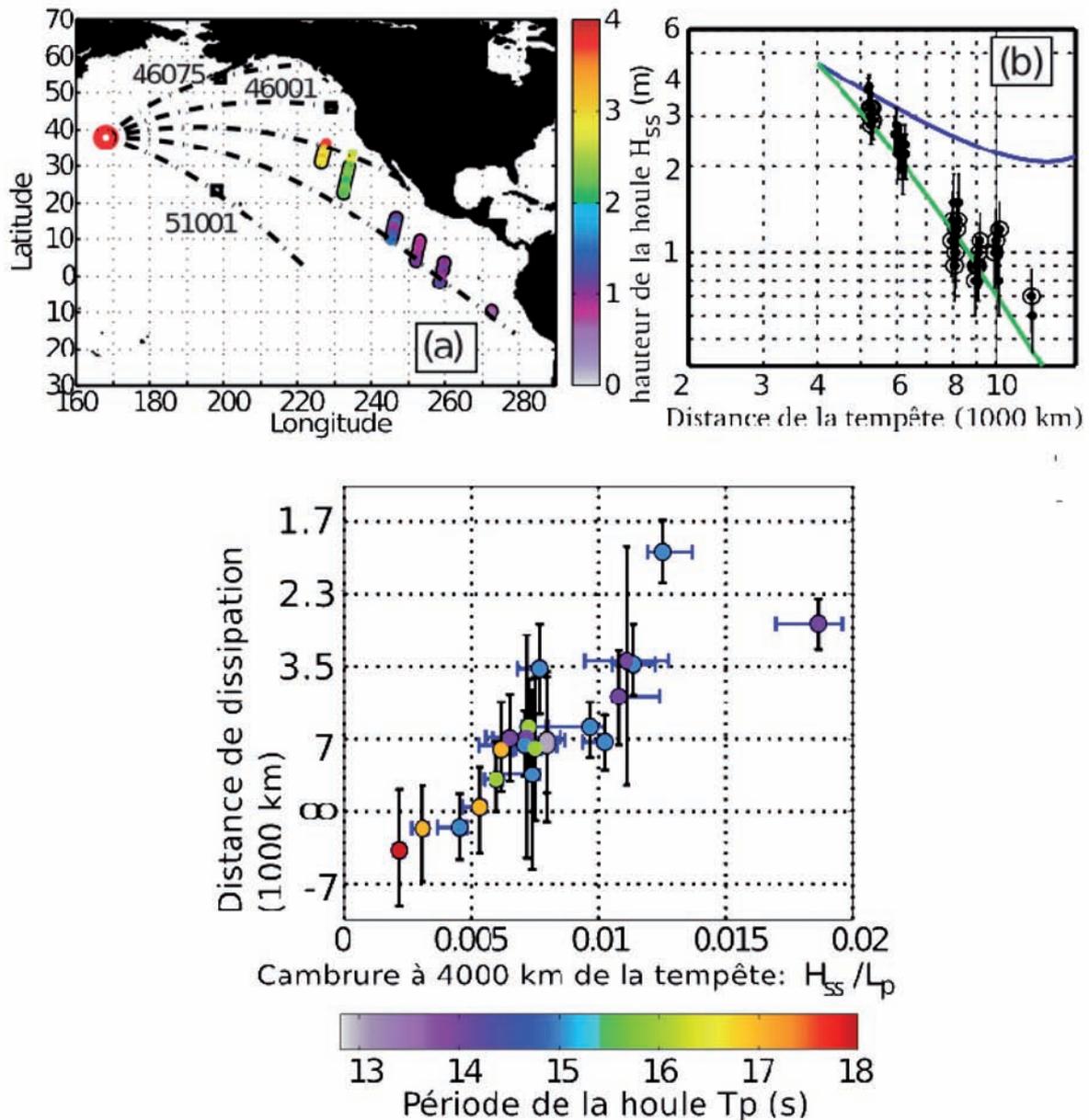


Figure 2 : En haut à gauche, exemple de suivi d'un champ de houle par le satellite ENVISAT. Cette houle a été générée par la tempête du 12 février 2007 dans le Pacifique nord-ouest (rond rouge). Les observations ont été sélectionnées pour correspondre à la date d'arrivée, dans le champ de vue du satellite, de houles de 15 s de période. En haut à droite, décroissance de la hauteur des vagues de ce même champ de houle en fonction de la distance. En absence de dissipation la décroissance doit suivre la ligne bleue. La ligne verte correspond à une dissipation constante. Ce taux de dissipation a été estimé pour 10 tempêtes et plusieurs périodes. Ces estimations sont résumées en bas. La distance de dissipation est la distance sur laquelle la moitié de l'énergie est perdue. Les distances négatives correspondent à un gain d'énergie. La cambrure de la houle est définie comme le rapport de la hauteur H_{ss} et de la longueur d'onde L_p des vagues dominantes.

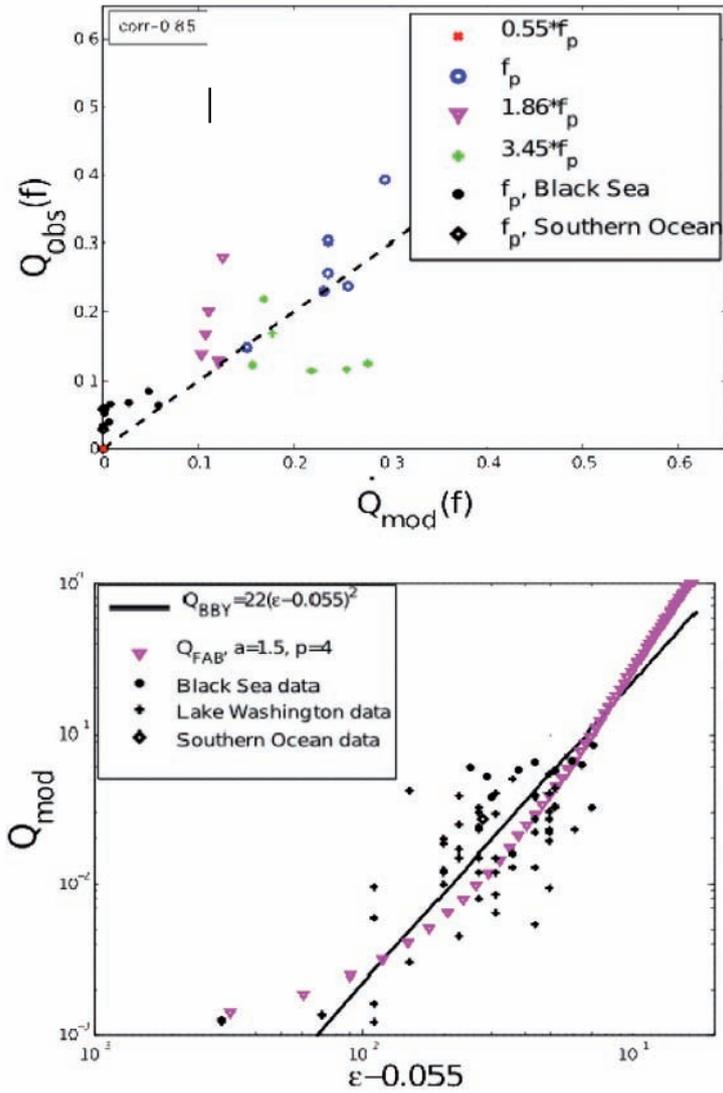


Figure 3 : En haut, comparaison entre les probabilités de déferlement Q observées et modélisées par le paramétrage de Filipot et al. (2009), pour différentes fréquences de vagues, dans le cas du lac George (lac peu profond en Australie). En bas : comparaison du même paramétrage avec les observations, en fonction de la cambrure $\epsilon = 3,14 H_p/L_p$ des vagues dominantes (ce paramètre est ici un facteur 3,14 plus grand que celui utilisé pour la houle en figure 2).

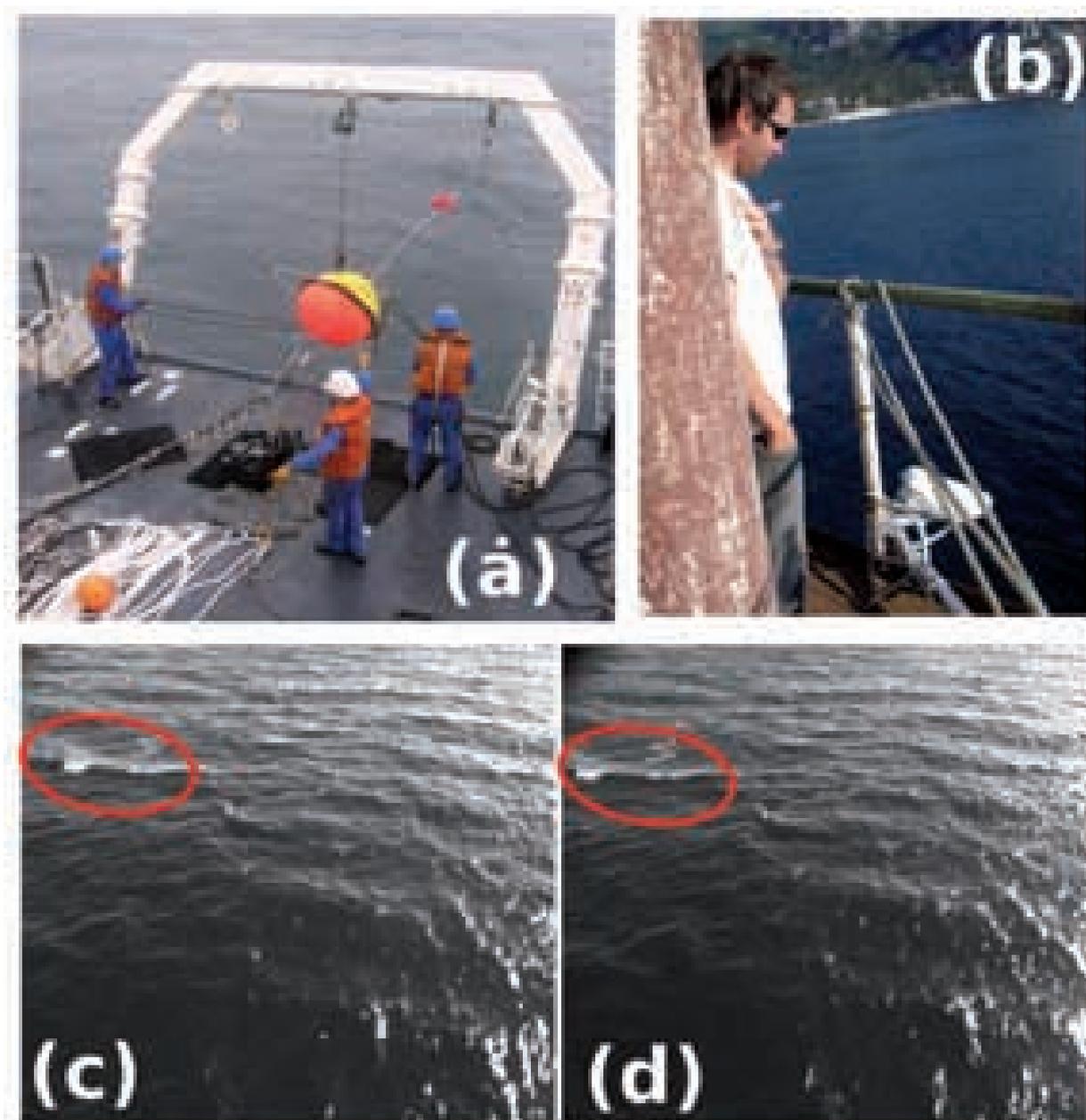


Figure 4 : Instrumentation pour la mesure des vagues. (a) bouée houlographe mise à l'eau à partir du BH2 *Lapérouse* en 2007, (b) caméra vidéo sur la plateforme de recherche du Marine Hydrophysics Institute (Sébastopol, Ukraine, le 30 septembre 2009, (c) et (d) vue de la surface par une paire de caméras, en stéréo. Outre les reflets du soleil en bas à droite de l'image on voit la présence d'écume associée au déferlement (entouré en rouge).

L'imagerie radar, à partir de radars de navigation ou de radars à synthèse d'ouverture, permet d'accéder à ces détails, mais la relation entre l'élévation de la surface et la section efficace radar n'est pas simple (Krogstad 1992, Dankert et Rosenthal 2004).

Une source intéressante et quasiment inexploitée est aussi offerte par le bruit de fond sismique enregistré par les sismographes large bande. En effet, entre deux séismes, qui sont heureusement peu fréquents, les stations sismiques enregistrent les « microséismes » provoqués par les variations de pression associées aux trains d'ondes de directions opposées et de même période.

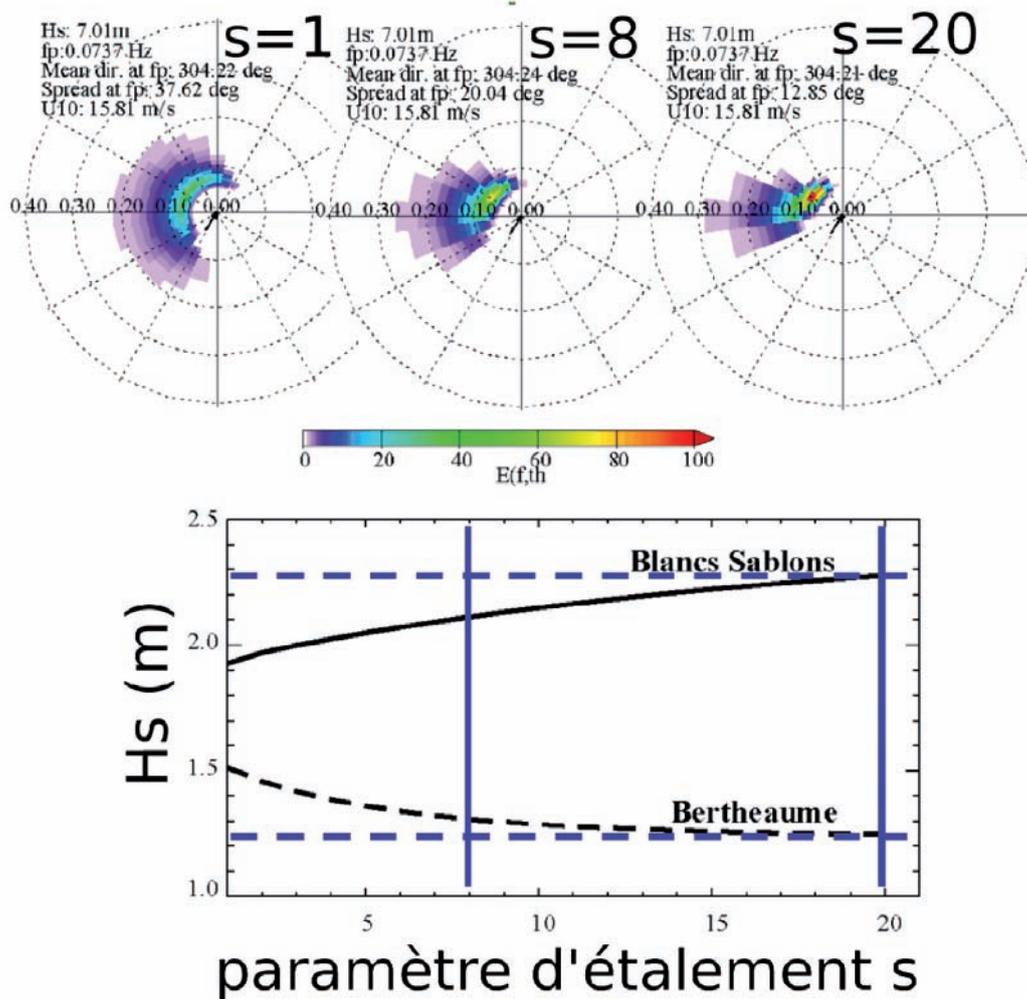


Figure 5 : Effet attendu de la directionnalité des vagues sur les hauteurs de vagues à la côte. Un état de mer au large du Finistère est prescrit par un spectre d'énergie (en haut), de la forme $E(f, \theta) = E(f) \cos^{2s}[(\theta - \theta_m)/2]$. En modifiant la largeur angulaire du spectre, définie par le paramètre s , les hauteurs prévues à la côte peuvent varier sensiblement sur deux sites exposés soit au nord-ouest (Blancs Sablons) soit au sud-ouest (Bertheaume). Une telle variation du spectre au large peut se mesurer avec une bouée houlographe. Par contre la bouée ne verra pas des variations plus subtiles (pics multiples pour différentes directions) qui peuvent tout autant modifier l'état de mer à la côte.

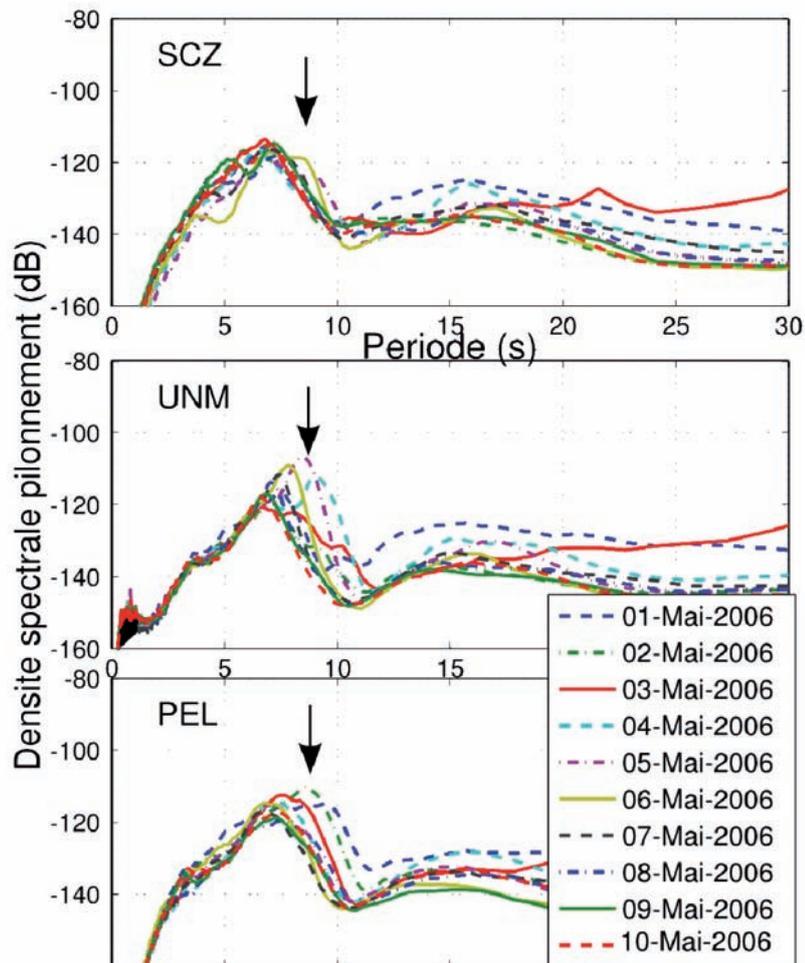


Figure 6 : Spectres de déplacement vertical enregistré par les stations sismiques du réseau GEOSCOPE, situées à terre (données traitées et fournies par E. Stutzmann) : PEL (Chili), UNM (Mexique) et SCZ (Californie, États-Unis). Les spectres sont moyennés sur une journée. Le 2 mai, on voit très clairement un signal sismique de période 8,5 s (flèche). Ce signal sismique coïncide avec l'arrivée d'une houle de période double (17 s) au même instant au large de la station PEL, comme prévu par la théorie (Longuet-Higgins et Ursell 1948). Cette houle a été générée par une tempête située entre la Nouvelle Zélande et le Cap Horn (58°S 150°W) le 27 avril ; elle est très bien vue par le radar d'ENVISAT. Cette même houle arrive au sud du Mexique 3 jours plus tard, le 5 mai, puis en Californie entre le 6 et le 7. On peut ainsi suivre cette houle jusqu'en Alaska. Pour chaque sismographe, de PEL au sud à SCZ au nord, le maximum d'agitation terrestre coïncide avec l'arrivée de la houle à la côte la plus proche.

La période sismique est alors la moitié de la période de la houle. Ce phénomène bien connu (Bernard 1937) explique la partie la plus énergétique du spectre sismique pour des périodes de 4 à 10 s (houles de 8 à 20 s).

Sans donner accès à la répartition angulaire détaillée, cette mesure apporte donc, pour chaque période, une information sur la présence de houles opposées. Il semble que la source principale de ces microséismes est située au voisinage des côtes (figure 6). Ainsi il a été démontré que l'on peut reconstruire, dans certaines conditions la hauteur des vagues à partir de l'amplitude du bruit sismique (Bromirski et al. 1999). Ainsi, au large de San Francisco, des vagues de hauteur significative 1 m produisent un déplacement significatif de 1 micron à la station de Berkeley. Cette reconstitution des hauteurs de houle doit encore être validée pour d'autres sites, ce qui n'est pas simple : la station MPG du réseau Géoscope, située en Guyane, enregistre des signaux correspondant à la houle du Pacifique, atténués de seulement 30 dB par rapport aux signaux enregistrés sur la côte Pacifique elle-même. Les houles de très grande période ($T > 15$ s) étant peu nombreuses on peut s'appuyer sur un modèle d'état de mer pour discriminer les différentes sources possibles.

Toutefois, les modèles actuels négligent la réflexion des vagues à la côte. Cela n'est pas très grave pour prévoir la hauteur des vagues car on néglige de 2 à 20 % de l'énergie ce qui fait une erreur de 1 à 10 % sur la hauteur des vagues. Par contre, si on veut estimer l'intensité de la source sismique, ces quelques pour cents sont déterminants. Sans réflexion à la côte le modèle prévoit une source sismique nulle. Modéliser cette réflexion demande de connaître la morphologie de la côte, en particulier la pente des falaises ou des plages. On peut probablement déduire cette réflexion des mesures sismiques, et donc indirectement la nature géomorphologique des côtes. Cette estimation, possible avec un sismographe, n'est pas réalisable avec un houlographe, qui n'est assez précis, sauf si la réflexion dépasse environ 20 %.

Depuis l'espace, une mesure du spectre directionnel est possible en exploitant la modulation du signal reçu par un radar à ouverture réelle. C'est le principe du radar à vagues SWIM qui sera embarqué sur la mission spatiale China-France Ocean Satellite (CFOSAT). Cette modulation est intrinsèquement plus simple que celle obtenue après ouverture synthétique. CFOSAT devrait ainsi fournir la première cartographie globale des propriétés directionnelles des vagues y compris dans les tempêtes, là où le SAR était rendu aveugle par les vitesses rapides de la surface. Toutefois les mesures de CFOSAT demandent tout de même une calibration et validation. Ces travaux seront effectués grâce à des vols aéroportés, ainsi que par le développement de méthodes plus fines pour la mesure directionnelle. Dans ce contexte le SHOM, en partenariat avec l'Ifremer, évalue les capacités de méthodes stéréo-vidéo (Benetazzo 2006, Fedele et al. 2008). Une synchronisation à moins de 1 ms de deux caméras peut permettre une restitution de la surface de la mer en quatre dimensions : les trois dimensions de l'espace et le temps. Des premiers essais à la mer sur la plateforme du Marine Hydrophysics Institute, au large de Katsiveli, à l'extrémité sud de la Crimée, se sont déroulés du 20 septembre au 6 octobre 2009 (figure 4b,c,d). La zone commune aux deux champs de vue est d'environ 20 par 20 mètres pour une hauteur des caméras de 11 m au dessus de la mer et une séparation de 2 m entre les deux caméras.

Les traitements sont en cours pour reconstituer l'évolution de la surface. Ce nouveau type de données peut être traité comme des données classiques de réseau de perche à houle en considérant les séries temporelles d'élévation aux différents points de l'image, ce qui permet une résolution fine (de l'ordre de 10°) du spectre directionnel pour des vagues de longueur d'ondes entre quelques pixels (ici 30 cm environ) et quelques fois la taille de la zone de couverture commune (Herbers et Guza 1990). Ce genre de technique permet ainsi de résoudre le spectre de vagues plus longues que la taille de la zone vue en exploitant la quasi-linéarité des vagues. Par ailleurs la vidéo montre aussi les déferlements (figure 4c, d). La combinaison de la surface en 4 dimensions avec la détection des déferlements devrait ainsi permettre d'affiner le modèle de Filipot et al. (2009) pour le paramétrage des déferlements, mais aussi d'estimer directement la dissipation d'énergie dans une vague déferlante.

Au delà de l'utilisation faite pour estimer la couverture d'écume à la surface de la mer, l'amélioration continue des caméras vidéo (résolution, fréquence d'acquisition) dans le domaine optique ou infrarouge permet désormais une mesure quantitative des vagues. Le traitement numérique de ces observations et l'automatisation de la détection et caractérisation des déferlements (Mironov et al. 2006) ouvrent ainsi des possibilités énormes à l'étude des vagues avec un saut qualitatif important de la série temporelle en un point à la surface en quatre dimensions. Il reste toutefois la question pratique du support sur lequel installer de tels systèmes vidéo. Peu de plateformes de mesure en mer sont encore en activité et il est probable que des plateformes pétrolières, des navires d'opportunité ou des navires océanographiques seront nécessaires pour réaliser des mesures en routine, telles que nécessaires dans un plan de calibration-validation de missions spatiales. Pour l'embarquement sur navire, il reste toutefois à démontrer la robustesse de tels systèmes aux mouvements de plateforme.

4. ETATS DE MER ET APPLICATIONS

La prévision des états de mer est liée historiquement à la sécurité de la navigation militaire et de commerce. Pour ces applications, on s'intéresse alors d'abord à la hauteur significative des vagues et à la période moyenne, mais aussi à la décomposition de l'état de mer en mer du vent et houles caractérisées par des hauteurs, périodes et directions, car le mouvement d'un navire dans un état de mer dépend fortement de ses dimensions par rapport aux longueurs d'ondes des vagues. Toute activité marine est utilisatrice des prévisions des états de mer sous différentes formes. Ainsi le remorquage de grandes installations (barges, plateformes de forage) et leur utilisation peut demander des informations détaillées sur la hauteur des crêtes, l'énergie des ondes longues qui peuvent susciter des résonances dans les ancrages.

Le développement des techniques de télédétection est aussi un utilisateur potentiel important pour la modélisation des états de mer. Ainsi, alors que les marées étaient une source d'erreur importante au début des missions d'altimétrie spatiale, la mesure du niveau de la mer par altimétrie est aujourd'hui limitée par le biais d'état de mer (Vandemark et al. 2002). Demain, l'état de la mer jouera probablement, pour la

mesure de la salinité de surface depuis l'espace, le rôle qu'a pu jouer la marée au début de l'aventure altimétrique : la sensibilité de la température de brillance à la forme de la surface est telle que la simple correction en fonction du vent ne sera peut-être pas suffisante pour arriver à la précision voulue. La modélisation des états de mer est désormais assez fiable, même pour des vagues assez courtes de 3 à 10 m de longueur d'onde, pour estimer la pente moyenne de la surface qui intervient dans l'erreur de mesure de la salinité (Reul et Chapron 2003). Toute mesure par télédétection présente des biais d'état de mer qui devraient pouvoir être corrigés ; c'est aussi le cas de la mesure du courant de surface par effet Doppler (Chapron et al. 2005). Cette meilleure compréhension de la surface océanique devrait aussi bénéficier à l'ensemble des techniques radar, en permettant aussi de mieux supprimer le « fouillis » de mer.

Enfin les états de mer jouent un rôle important dans le mélange à la surface de l'océan et la circulation littorale avec des effets qui commencent à être bien compris (Rascle et Ardhuin 2009, Ardhuin et al. 2009, Ardhuin et al. 2008), mais le sujet est loin d'être épuisé. Ainsi l'amplitude des ondes longues forcées par les vagues, responsable de la génération des seiches dans les petits ports (Okiihiro et al. 1993), et la circulation littorale peuvent être reliées empiriquement aux paramètres d'état de mer, mais leur explication détaillée et quantitative n'est pas encore résolue. La structure verticale des courants littoraux et leur rôle dans les échanges entre la côte et le large sont encore très mal connus : c'est pourtant le véhicule des sels minéraux, nutriments, plancton et polluants, ce qui rend la gestion des zones côtières très délicate.

L'utilisation de la prévision des états de mer devrait donc trouver de nouvelles et nombreuses applications dans les années qui viennent en s'enrichissant. La prévision des statistiques de déferlement est en particulier un enjeu important pour l'interprétation de la télédétection mais aussi l'estimation des flux de gaz, oxygène et gaz à effet de serre, à la surface de la mer.

REMERCIEMENTS

Les déploiements in situ du SHOM ont été réalisés grâce aux précieux concours de David Corman et de l'ensemble du service MGS de soutien du SHOM. L'expérience Katsivelli-4D-2009 a été financée par le Centre National d'Études Spatiales dans le cadre de la mission CFOSAT, avec la participation d'Alvise Benetazzo (PROTECNO Srl) et d'Alessio Boscolo (PHOENIX). Enfin, les études dont il a été question ici ne seraient pas possibles sans la fourniture de données à titre gracieux par les agences spatiales européenne (ESA) et française (CNES) ainsi que l'U.S. Navy, les différents organismes réalisant des mesures à la mer et le développement du code WAVEWATCH III, d'abord écrit par Hendrik Tolman du service météorologique des États-Unis (NOAA/NWS/NCEP) et maintenant développé en partenariat avec le SHOM.

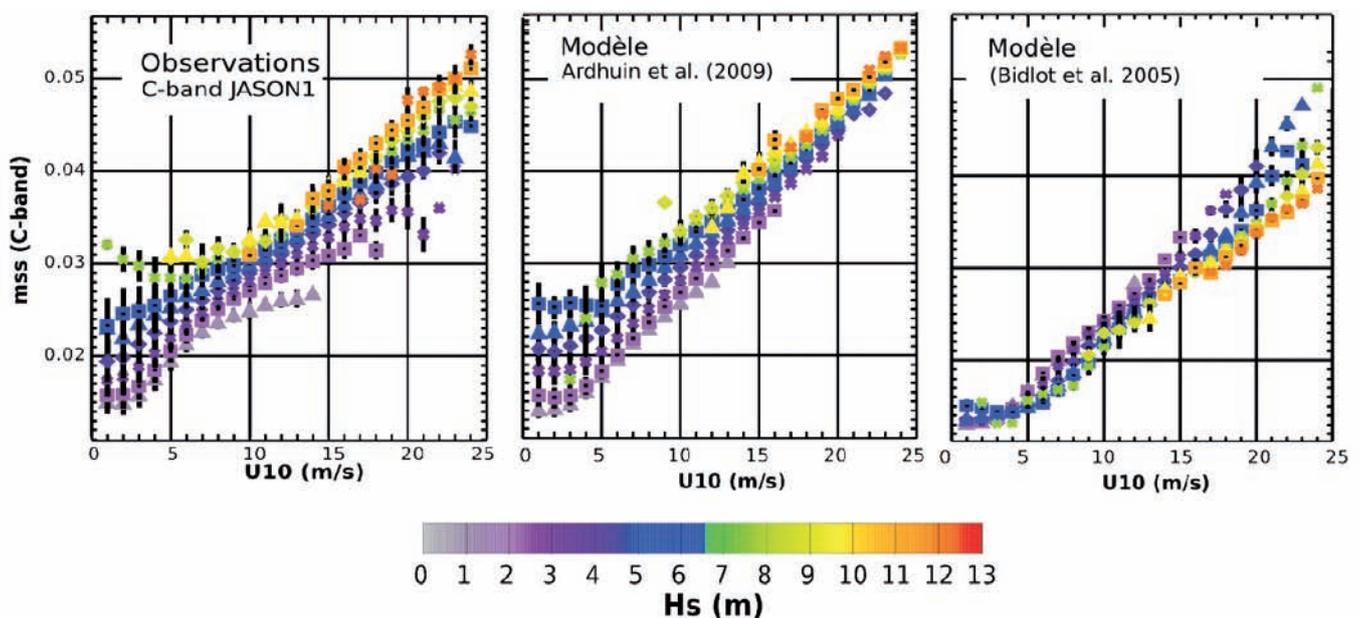


Figure 7 : Variation de la pente moyenne de la surface (mss) déduite de mesures altimétriques en bande C (satellite JASON-1, à droite) et modélisées (au centre et à droite). 6 mois d'observations sur l'ensemble du globe ont été regroupés par classes de vitesse de vent (abscisse) et hauteur de vagues (couleurs). Clairement le modèle de Ardhuin et al. (2009) reproduit une partie de la variabilité observée en fonction du H_s , alors que le modèle plus ancien de Bidlot et al. (2005) ne permet pas de retrouver cette variabilité.

BIBLIOGRAPHIE

- F. ARDHUIN, F. COLLARD, B. CHAPRON, P. QUEFFEULOU, J.-F. FILIPOT and M. HAMON: «Spectral wave dissipation based on observations: a global validation». In Proceedings of Chinese-German Joint Symposium on Hydraulics and Ocean Engineering (Darmstadt, Germany, pp. 391-400 2008).
- F. ARDHUIN, B. CHAPRON and F. COLLARD: «Observation of swell dissipation across oceans» *Geophys. Res. Lett.* (Vol. 36, p. L06607, 2009).
- F. ARDHUIN, L. MARIÉ, N. RASCLE, P. FORGET and A. ROLAND: «Observation and estimation of Lagrangian, Stokes and Eulerian currents induced by wind and waves at the sea surface» *J. Phys. Oceanogr.* (2009; sous presse. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00331675/>).
- F. ARDHUIN, E. ROGERS, A. BABANIN, J.-F. FILIPOT, R. MAGNE, A. ROLAND, A. VAN DER WESTHUYSEN, P. QUEFFEULOU, J.-M. LEFEVRE, L. AOUF and F. COLLARD: «Semi-empirical dissipation source functions for wind-wave models: part i, definition, calibration and validation». *J. Phys. Oceanogr.* (accepted with minor revisions, 2009).
- M. L. BANNER, A. V. BABANIN and I. R. YOUNG: «Breaking probability for dominant waves on the sea surface». *J. Phys. Oceanogr.* (Vol. 30, pp. 3145-3160, 2000).
- M. L. BANNER and R. P. MORISON: «On modelling spectral dissipation due to wave breaking for ocean wind waves» In Proceedings of the 9th International workshop on wave hind-casting and forecasting (Victoria, Canada, 2006).
- N. F. BARBER and F. URSELL: «The generation and propagation of ocean waves and swell. I wave periods and velocities». *Phil. Trans. Roy. Soc. London A* (Vol. 240, pp. 527-560, 1948).
- A. BENETAZZO: «Measurements of short water waves using stereo matched image sequences». *Coastal Eng.* (Vol. 53, pp. 1013-1032, 2006).
- P. BERNARD: «Relation entre la houle sur la côte nord du Maroc et l'agitation microséismique en Europe occidentale». *C. R. Acad. Sci. Paris* (Vol. 205, pp. 163-165, 1937).
- J. BIDLOT, S. ABDALLA and P. JANSSEN: «A revised formulation for ocean wave dissipation in CY25R1». *Tech. Rep. Memorandum* (R60.9/JB/0516 Research Department, ECMWF, Reading, U. K., 2005).
- P. D. BROMIRSKI, R. E. FLICK and N. GRAHAM: «Ocean wave height determined from inland seismometer data: implications for investigating wave climate changes in the NE Pacific». *J. Geophys. Res.* (Vol. 104, no. C9, pp. 20753-20766, 1999).
- B. CHAPRON, F. COLLARD and F. ARDHUIN: «Direct measurements of ocean surface velocity from space: interpretation and validation». *J. Geophys. Res.* (Vol. 110, no. C07008, 2005. doi: 10.1029/2004JC002809).
- F. COLLARD, F. ARDHUIN and B. CHAPRON: «Monitoring and analysis of ocean swell fields using a spaceborne SAR: a new method for routine observations». *J. Geophys. Res.* (Vol. 114, p. C07023, 2009).
- V. A. DULOV and M. V. KOSNIK: «Effects of three-wave interactions in the gravity-capillary range of wind waves» (Vol. 45, no. 3, pp. 380-391, 2009).
- F. FEDELE, G. GALLEGRO, A. BENETAZZO, A. YEZZI and M. A. TAYFUN: «Euler characteristics and maxima of oceanic sea states». In Proceedings of the Rogue waves workshop (October 2008, Brest, France, pp. 145-154, Ifremer, 2009).
- J.-F. FILIPOT, F. ARDHUIN and A. BABANIN: «A unified deep-to-shallow-water spectral wave breaking dissipation formulation. Part 1. Breaking probability» *J. Geophys. Res.* (2009, accepted with minor revision).
-] L. GAIN: «La prédiction des houles au Maroc». *Annales Hydrographiques* (pp. 65-75, 1918).
- R. GELCI, H. CAZALÉ and J. VASSAL : «Prévision de la houle. La méthode des densités spectroangulaires». *Bulletin d'information du Comité d'Océanographie et d'Étude des Côtes* (Vol. 9, pp. 416-435, 1957).
- K. HASSELMANN: «On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum, part 1: general theory». *J. Fluid Mech.* (Vol. 12, pp. 481-501, 1962).
- D. HASSELMANN and J. BOSENBERG: «Field measurements of wave-induced pressure over wind-sea and swell». *J. Fluid Mech.* (Vol. 230, pp. 391-428, 1991).
- T. H. C. HERBERS and R. T. GUZA: «Estimation of directional wave spectra from multicomponent observations». *J. Phys. Oceanogr.* (Vol. 20, pp. 1703-1724, 1990).
- P. A. E. M. JANSSEN: «Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting». *J. Phys. Oceanogr.* (Vol. 21, pp. 1631-1642, 1991).
- P. A. E. M. JANSSEN: «Progress in ocean wave forecasting». *J. Comp. Phys.* (Vol. 227, pp. 3572-3594, 2008).
- V. N. KUDRYAVTSEV, V. K. MAKIN and B. CHAPRON: «Coupled sea surface-atmosphere model. 2. spectrum of short wind waves» *J. Geophys. Res.* (Vol. 104, pp. 7625-7639, 1999).
- R. MAGNE and F. ARDHUIN : «Prévisions et jeux des états de mer du globe à la plage». In Actes des X^{èmes} journées Génie côtier-Génie civil (Sophia Antipolis, Centre Français du Littoral, 2008).
- W. K. MELVILLE: «Energy dissipation by breaking waves». *J. Phys. Oceanogr.* (Vol. 24, pp. 2041-2049, 1994).
- J. W. MILES: «On the generation of surface waves by shear flows». *J. Fluid Mech.* (Vol. 3, pp. 185-204, 1957).
-] R. MONTAGNE : «Le service de prédiction de la houle au Maroc». *Annales Hydrographiques* (pp. 157-186, 1922).

M. OKIHIRO, R. T. GUZA and R. J. SEYMOUR: «Excitation of seiche observed in a small harbor». *J. Geophys. Res.* (Vol. 98, no. C10, pp. 18201-18211, 1993).

M. D. POWELL, P. J. VICKERY and T. A. REINHOLD: «Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones». *Nature* (Vol. 422, pp. 279-283, 2003).

N. RASCLE and F. ARDHUIN: «Drift and mixing under the ocean surface revisited. stratified conditions and model-data comparisons». *J. Geophys. Res.* (Vol. 114, p. C02016, 2009. doi:10.1029/2007JC004466).

N. REUL and B. CHAPRON: «A model of sea-foam thickness distribution for passive microwave remote sensing applications». *J. Geophys. Res.* (Vol. 108, no. C10, p. 3321, 2003. doi:10.1029/2003JC001887:).

R. L. SNYDER, F. W. DOBSON, J. A. ELLIOT and R. B. LONG: «Array measurement of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves» *J. Fluid Mech.* (Vol. 102, pp. 1-59, 1981).

E. B. THORNTON and R. T. GUZA: «Transformation of wave height distribution». *J. Geophys. Res.* (Vol. 88, no. C10, pp. 5,925-5,938, 1983).

M. S. LONGUET-HIGGINS and F. URSELL: «Sea waves and microseisms». *Nature* (Vol. 162, p. 700, 1948).

D. VANDEMARK, N. TRAN, B. D. BECKLEY, B. CHAPRON and P. GASPAR: «Direct estimation of sea state impacts on radar altimeter sea level measurements». *Geophys. Res. Lett.* (Vol. 29, no. 24, p. 2148, 2002. doi:10.1029/2002GL015776).

WISE Group: «Wave modelling - the state of the art». *Progress in Oceanography* (Vol. 75, pp. 603-674, 2007).

LES MESURES *IN SITU* EN OCÉANOGRAPHIE

par Marc LE MENN, ingénieur divisionnaire d'études et de fabrication
au département ingénierie des équipements scientifiques du SHOM

RÉSUMÉ

Par ses recherches, l'océanographie physique tente de répondre aux nombreux problèmes posés par les propriétés thermiques, optiques et dynamiques de l'océan. Cet article traite, d'une façon résumée, des moyens utilisés pour déterminer ces propriétés. Après une définition des grandeurs mesurées et des grandeurs qui en sont déduites par calcul, il passe en revue quelques capteurs et instruments utilisés pour évaluer les paramètres utiles aux océanographes : température, salinité, pression, vitesse et direction des courants marins, hauteur d'eau, état de la mer, turbidité et propriétés physico-chimiques. Il décrit succinctement quelques moyens employés pour les mesures en mer ainsi que les évolutions et autres procédés de mesure en développement.

ABSTRACT

Through its research, physical oceanography tries to answer to the numerous problems stated by thermal, optical and dynamical properties of the ocean. This paper deals with the means used to determine these properties. After the definition of measured quantities and the quantities deducted by processing, it reviews some sensors and instruments used to provide the oceanographers useful parameters: temperature, salinity, pressure, speed and direction of sea currents, water height, state of the sea, turbidity and chemical-physical properties. It describes briefly some means employed for measurements at sea and other process under development.

1. INTRODUCTION

Les mesures qui sont réalisées en océanographie physique, ont deux buts principaux : améliorer nos connaissances fondamentales de l'océan ainsi que le fonctionnement de notre planète, et optimiser l'emploi des instruments acoustiques, qui nous servent aussi parfois à connaître l'océan.

L'amélioration des connaissances fondamentales s'intègre dans une préoccupation plus générale qui est celle de l'évolution du climat. Pour essayer de modéliser cette évolution, un programme de recherche mondial a été lancé en 1979 : le WCRP ou World Climate Research Programme [1]. Le WCRP est financé par la World Meteorological Organization (WMO) et l'UNESCO. Dans cette optique, afin d'optimiser les efforts des différents pays en matière de mesures océanographiques, la National Science Foundation des USA a lancé, en 1982, un autre programme appelé WOCE (World Ocean Circulation Experiment) et créé en 1989 un bureau, le WOCE Hydrographic Programme Office, dont le but est de coordonner, superviser et assurer la qualité des mesures réalisées. Pour assurer la qualité des données collectées, il a été demandé que : « *les références à approcher en matière d'exactitude et de répétabilité concernant les mesures ponctuelles soient les plus élevées possibles en l'état actuel des techniques de mesure* ». Concernant les mesures « de routine », ces références doivent être approchées de façon suffisante pour satisfaire les objectifs recherchés localement.

Cette demande trouve plusieurs justifications. Les données collectées pourront servir à déterminer l'évolution à long terme de la circulation océanique. Pour pouvoir détecter de faibles changements dans le temps, il est nécessaire d'effectuer des mesures avec une faible résolution et une grande reproductibilité. Les données doivent pouvoir être comparées d'un pays à l'autre et utilisées dans des modèles communs. Les mesures doivent donc être réalisées avec une grande exactitude par rapport à des références communes que l'on met en pratique durant les phases d'étalonnage des instruments. Enfin, aux grandes profondeurs, la stabilité thermique des masses d'eau est très grande. Là encore, pour pouvoir détecter de faibles changements dans le temps et dans l'espace, et pour que d'autres centres ou organismes, que celui qui a réalisé les mesures, puissent vérifier la réalité de ces changements, les mesures doivent être faites avec une résolution importante, une grande reproductibilité et une grande exactitude.

2. LES GRANDEURS MESURÉES ET LES GRANDEURS CALCULÉES

La circulation océanique dépend en grande partie de la masse volumique des masses d'eau. Il est bien connu que la masse volumique d'un fluide dépend de sa température, de sa pression et de sa composition.

La composition de l'eau de mer ne peut pas être mesurée en routine par des capteurs spécifiques. Elle varie localement en fonction des quantités de substances dissoutes ; ces quantités se traduisent en terme de salinité absolue. La salinité est un paramètre caractéristique des masses d'eau. Elle devrait désigner le rapport entre la masse totale des matières dissoutes et la masse totale de l'eau de mer, cependant, ce rapport est difficile à établir concrètement. Pour

contourner cette difficulté, une échelle de salinité pratique (Practical Salinity Scale) à été définie en 1978 (d'où son nom : PSS-78) [2]. Elle permet de calculer une salinité pratique à partir de la mesure simultanée de la température, de la pression et de la conductivité électrique d'un échantillon d'eau de mer.

Température, pression et conductivité sont donc les trois grandeurs dont la mesure est essentielle pour déterminer la masse volumique des océans. Celle-ci est calculée à partir d'équations empiriques appelées équations d'état de l'eau de mer (Equation of State of Sea Water) datant de 1980 ou EOS-80 [3].

L'amélioration des connaissances fondamentales de l'océan passe aussi par la mesure de la vitesse et de la direction des courants marins à différentes profondeurs. Outre l'utilisation de courantomètres, ces paramètres peuvent aussi être déterminés par le suivi de traceurs chimiques ou par « l'ancrage » d'instruments appelés flotteurs dérivants, dans des masses d'eaux.

Toutes ces mesures ne peuvent être effectuées sans l'aide de systèmes satellitaires de positionnement et de datation du type Argos ou GPS (Global Positioning System).

Pour compléter les modèles, il est nécessaire de connaître d'autres éléments comme l'état de mer à partir de la mesure de la hauteur et de la fréquence des vagues, les variations basses fréquences de la hauteur d'eau ou marée et, en milieu côtier ou pour les premières couches de l'océan, la turbidité qui fait intervenir des notions de biologie et de chimie marine.

3. L'INSTRUMENTATION MISE EN ŒUVRE

3.1. Pour connaître la température, la salinité et la pression

Pour tous les paramètres décrits précédemment, des capteurs et des instruments spécifiques ont été développés. Ainsi, pour mesurer la température, la conductivité et la pression il existe des bathysondes scientifiques. Ce sont de vraies centrales de mesure qui numérisent sous l'eau l'information issue des capteurs et la transmettent en temps réel au bateau par un câble dit « électroporteur ». Elles peuvent être descendues à plus de 6 000 m et mesurent la température à mieux que 0,002 °C près dans la gamme 0 - 40 °C. Cette exactitude est assurée par des technologies particulières de capteurs dont la stabilité dans le temps est maîtrisée et vérifiée périodiquement (cf. Figure 1) par rapport à des références raccordées à l'Echelle Internationale de Température de 1990 (ou EIT-90) [4]. Ce raccordement se fait directement à l'aide de cellules points fixes qui sont, pour le domaine des températures océanographiques, le point triple de l'eau (à 0,01 °C), le point de fusion du Gallium (à 29,764 6 °C) et en toute rigueur le point de fusion du Mercure (à -38,834 4 °C) lorsque des températures négatives doivent être mesurées.

Les bathysondes sont équipées de capteurs de pression du type Paroscientifique dont la résolution et l'exactitude rivalisent avec les meilleures références de pression qui existent. La stabilité de ces caractéristiques est vérifiée à l'aide d'instruments appelés « balances de pression » dont le principe consiste à générer des pressions à l'aide de masses calibrées posées sur un piston lui-même calibré [5]. Une relation de calcul permet de corriger ces pressions des effets de différentes grandeurs d'influence, pour en faire des valeurs de référence.

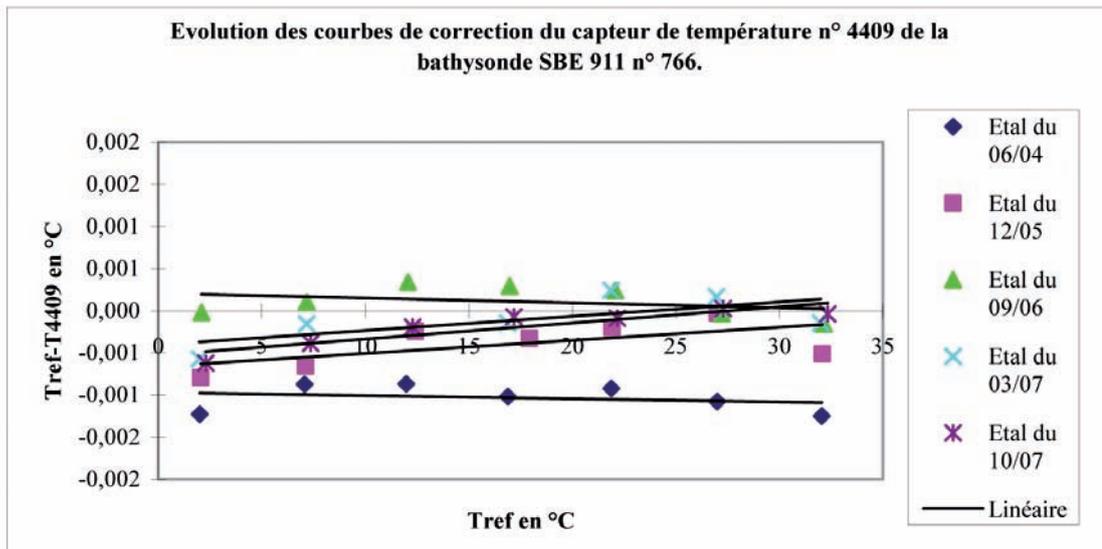


Figure 1 : Exemple de graphique permettant d'assurer le suivi de l'exactitude des mesures de température réalisées par une bathysonde.

Les capteurs de conductivité sont fabriqués également à partir de technologies qui permettent d'approcher des exactitudes de l'ordre 0,002 mS/cm [6]. Cependant, la maîtrise de la dérive de leurs caractéristiques initiales est plus difficile à assurer car les cellules de mesure restent sensibles au bio-fouling et aux pollutions marines [7]. L'autre problème posé par ces capteurs est celui de la maîtrise de leur temps de réponse et de l'alignement de ce temps sur celui des capteurs de température afin de limiter les artefacts liés à l'introduction de ces mesures dans les relations de la PSS-78, pour en déduire des valeurs de salinité. Ce problème a fait l'objet d'études très poussées portant sur la thermo et l'hydrodynamique des capteurs [8] et [9].

Pour ces mêmes grandeurs, des instruments moins coûteux et moins précis existent également. On trouve par exemple des sondes perdables appelées XBT ou XCDT. Lancées depuis un bateau, elles permettent de connaître la température, voire la conductivité des premières centaines de mètres sous la surface avec une exactitude meilleure que le dixième. Ces informations sont remontées à un PC d'acquisition par un simple fil de cuivre qui se déroule au fur et à mesure que la sonde descend. En fin de course, le fil casse et la sonde est perdue. Chaque année, des milliers de sondes de ce genre sont lancées tant par des bateaux civils que militaires. Ces profils de température-conductivité sont archivés dans des bases de données qui servent à la réalisation d'atlas climatologiques.

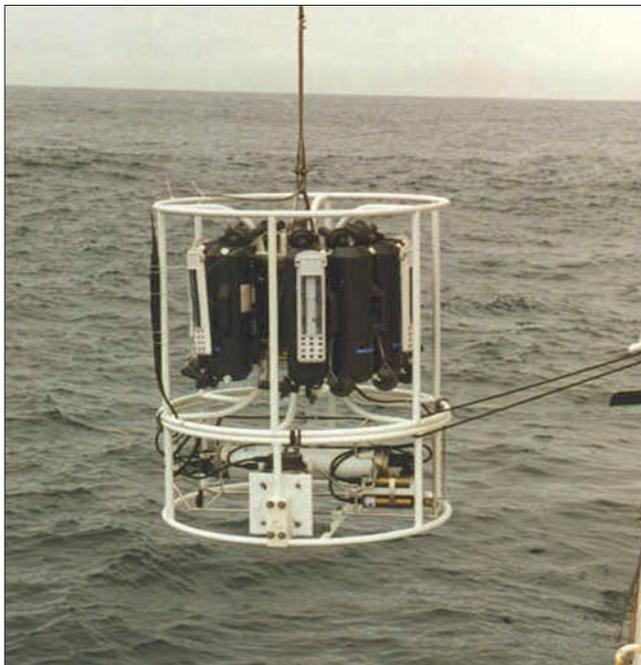


Figure 2 : Rosette de prélèvement avant sa mise à l'eau. Les bouteilles sont munies de supports (blancs) de thermomètres à renversement. Une bathysonde est gréée horizontalement sous les bouteilles.

3.2. Pour connaître la vitesse et la direction des courants

Les mesures ponctuelles de vitesse et direction des courants marins étaient réalisées ces dernières années à l'aide de courantomètres à rotors. Avec l'évolution des techniques, ils sont progressivement remplacés par des courantomètres émettant des ondes acoustiques et qui utilisent l'effet Doppler généré par le déplacement des particules présentes dans les masses d'eau. L'avantage substantiel de cette technologie réside dans l'absence de pièces en mouvement, ce qui permet de réaliser des mesures de courants faibles alors que les courantomètres à rotor sont limités par leur seuil de démarrage.

Sur la base des outils utilisés en traitement des signaux radar, cette technologie a été perfectionnée et elle permet à l'heure actuelle de mesurer avec un seul instrument appelé « profileur Doppler », des profils de courant sur une colonne d'eau. Au lieu de disposer d'une seule mesure à profondeur fixe, on peut obtenir alors, instantanément, plusieurs dizaines de mesures localisées dans des cellules réparties vers le fond, sur quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, selon la fréquence des ondes employées. Il existe différentes technologies de profileurs Doppler (narrow-band, broad-band, pulse-coherent...) [10] dont le perfectionnement permet de repousser les limites des problèmes posés par les ambiguïtés portée-vitesse maximale détectable [11] et fréquence - résolution.

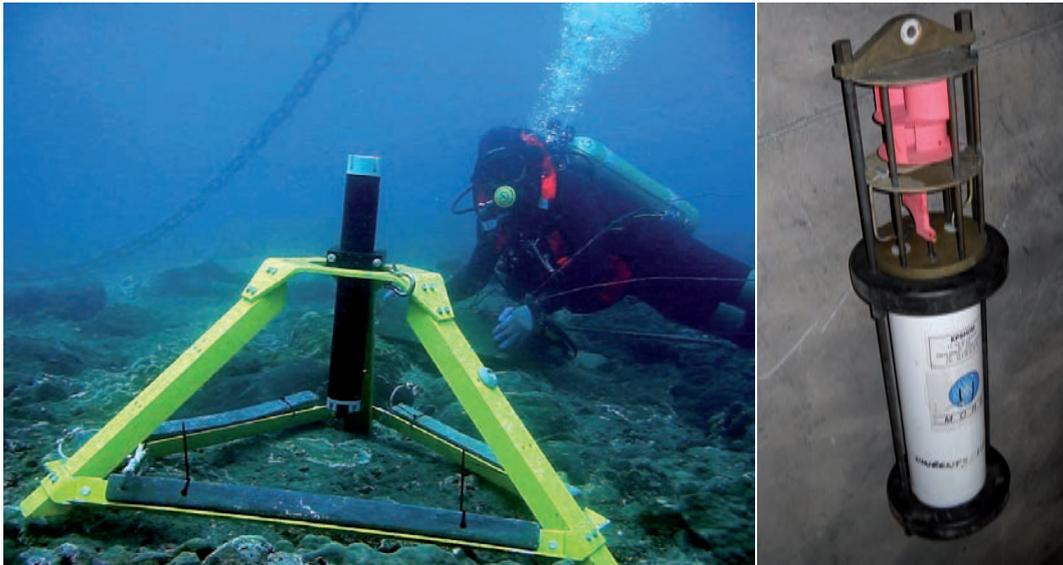


Figure n° 3 : Courantomètres acoustique NORTEK Aquadopp et à rotor MORS MC 3x0 (Doc. Oceano Technologie).

Pour recalibrer les mesures angulaires réalisées par ces courantomètres, ils sont équipés de compas (le plus souvent de technologie « flux-gate ») qui permettent de retrouver la direction de l'instrument durant les mesures, par rapport au Nord magnétique [12]. Ce recalage ne peut être réalisé sans la connaissance de leur inclinaison qui est obtenue à l'aide de capteurs appelés « tilt sensors ».

Ces mêmes technologies de courantomètres sont utilisées pour connaître l'état de la mer. Lorsque la houle se propage à la surface de l'océan, elle génère des ondes de pression en profondeur qui entraînent les particules dans des mouvements circulaires. Par la mesure de la vitesse orbitale de ces particules, et par un traitement du signal assez complexe, les profileurs Doppler permettent de déterminer l'amplitude, la fréquence et sous certaines conditions, la direction des vagues. Ces mesures étant ponctuelles, il existe également

des systèmes d'antennes disposés le long des côtes qui, à partir d'ondes radar, permettent de cartographier les courants de surface et dans une certaine mesure l'état de la mer, sur plusieurs kilomètres carrés [13]. Vis-à-vis des ondes émises, les vagues se comportent comme un réseau diffractant de Bragg. Le spectre du signal rétrodiffusé renseigne principalement sur leur fréquence et sur la vitesse des courants.

3.3. Pour connaître la marée

La technologie radar est également employée pour connaître la marée, dans des stations de mesure appelées « marégraphes côtiers numériques » qui sont installées dans de nombreux ports [14]. Ces observatoires de marée servent à déterminer le niveau des plus basses eaux qui est une information capitale pour la navigation mais aussi à étalonner les

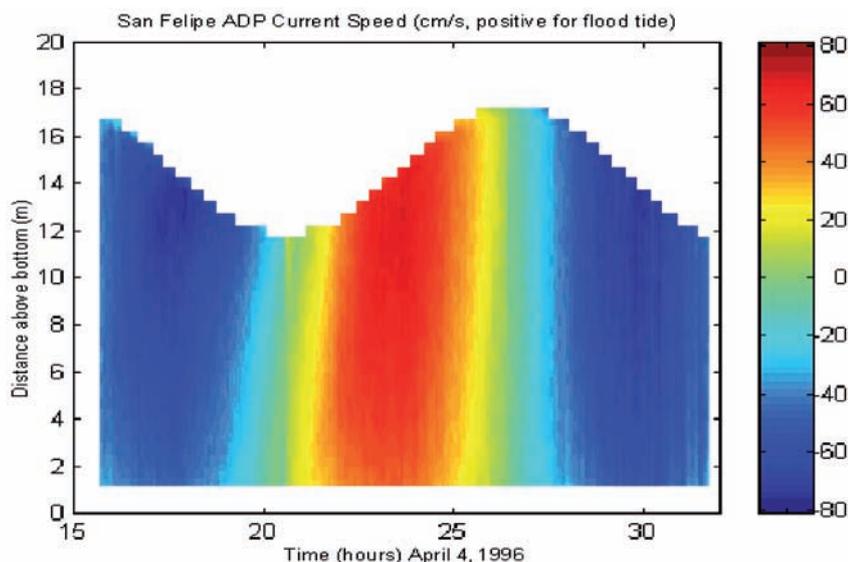


Figure n° 4 : Exemple de carte de vitesse de courants que l'on peut obtenir avec un ADP (Acoustic Doppler Profiler) disposé en mouillage sur le fond. La variation de hauteur observée correspond à la marée. (Doc. SonTek/YSI, Inc).

données d'altimétrie spatiale et à étudier les variations des niveaux moyens des mers. Lorsqu'il est nécessaire de connaître ces informations à distance des côtes, ce sont des marégraphes immergés qui sont utilisés. Ces instruments sont installés dans des cages pourvues de lests et déposés sur des fonds dont on connaît la bathymétrie. Ils sont dotés de capteurs de pression du même type que ceux des bathysondes et ils permettent de déterminer les variations de hauteur d'eau par l'emploi de la relation de l'hydrostatique.

3.4. Pour connaître la turbidité et quelques propriétés physico-chimiques

L'océan est aussi un milieu chimiquement complexe, où règne le vivant. La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que limon, argiles, matières organiques et inorganiques, plancton et autres micro-organismes. De ce fait elle est couramment définie comme la propriété optique qui fait que la lumière incidente est diffusée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite. Ces phénomènes sont mesurés à l'aide de transmissiomètres [15], néphélomètres [16], fluorimètres [17]. Les transmissiomètres permettent de retrouver le coefficient d'atténuation du milieu. Les néphélomètres réalisent des mesures de l'intensité de la diffusion dans un angle déterminé, sachant que celle-ci n'est pas homogène dans toutes les directions. Les fluorimètres fournissent une évaluation du coefficient d'absorption par l'intermédiaire de la mesure de l'intensité lumineuse ré-émise par certaines molécules lorsqu'elles sont excitées à des longueurs d'ondes particulières. On trouve ces molécules dans le plancton ou les matières organiques dissoutes.

Chimie et biologie interagissent donc avec la physique du milieu en modifiant entre autre ses propriétés optiques mais aussi sa stoechiométrie ou sa composition gazeuse, que l'on peut évaluer avec des capteurs d'oxygène [18]. Tous ces capteurs peuvent être grésés sur les bathysondes qui permettent alors une étude complète du milieu.

4. LES MOYENS DE MESURE EN MER

L'instrumentation décrite précédemment ne peut être mise en œuvre sans le déploiement de moyens spécifiques tels que les navires océanographiques. Ces bateaux se distinguent par les moyens dont ils disposent pour descendre et remonter les instruments, se positionner dans l'espace, sonder les fonds pour en connaître la bathymétrie, stocker et transmettre les informations recueillies, mais aussi par les laboratoires et zones de travail dont ils sont pourvus et par les porteurs ou moyens de mesure océanographiques dont ils sont dotés.

Ces bateaux permettent de mettre à l'eau des lignes instrumentées conçues pour se maintenir en position fixe en milieu marin. Ce sont des mouillages [19], [20]. Ils permettent de connaître l'évolution d'un ou plusieurs paramètres sur de longues périodes temporelles. On distingue les mouillages dits « eulériens » par référence aux repères d'Euler qui sont fixes par rapport à la terre, des mouillages dits « lagrangiens » par référence aux repères mobiles de Lagrange. Dans un cas, les instruments réalisent des mesures en position fixe par rapport au milieu en mouvement et dans l'autre, ils sont « ancrés » dans la masse d'eau en mouvement et ils

suivent son déplacement. Selon la profondeur des fonds et les moyens de flottabilité utilisés, ces mouillages peuvent être : « de surface », « de subsurface » ou « de fond ». Dans le cas des mouillages eulériens, des systèmes électro-mécaniques appelés largueurs acoustiques permettent de récupérer, à l'issue de la campagne, les instruments grésés sur la ligne et dont la mémoire contient l'essentiel des mesures.

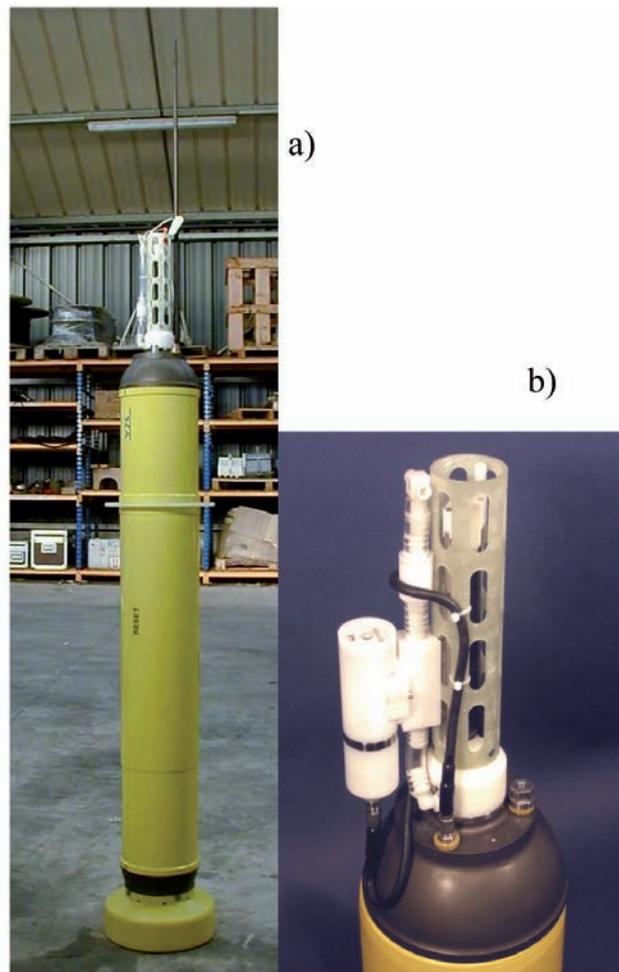


Figure n° 5 a) Flotteur APEX équipé d'un capteur de conductivité sur sa partie supérieure. A la base on distingue le système mécanique permettant de régler sa flottabilité.

b) Tête d'un flotteur APEX équipée de capteurs de température - conductivité Sea Bird et d'un capteur d'oxygène dissous du type Clarc polarimétrique (Doc. S.C. Riser, Université de Washington).

Mais, lorsqu'il est nécessaire d'étudier l'évolution des propriétés du milieu sur de grandes échelles de temps et d'espace, on utilise des flotteurs dérivants [21]. Ces technologies ont ouvert la voie à ce que l'on appelle l'océanographie opérationnelle. Un programme international appelé ARGO, vise à déployer depuis 2001, un réseau de l'ordre de 3 000 flotteurs sur toutes les mers du globe. De nombreux pays dont la France apportent leur contribution à ce réseau en larguant des flotteurs à partir de leurs navires océanographiques et en récupérant et traitant leurs données

afin de les rendre disponibles sous 24 heures pour tout utilisateur qui en aurait besoin. Conçus initialement pour étudier les courants de subsurface, ces flotteurs sont devenus au fil du temps de vraies centrales de mesure qui transmettent par les systèmes ARGOS ou Iridium des informations de : température, conductivité, pression, avec des exactitudes qui tentent d'approcher celles des bathysondes. Ils sont programmés pour descendre à une profondeur de consigne située entre 400 et 2 000 m où ils se laissent alors dériver durant plusieurs jours avant de remonter en réalisant un profil de mesures et transmettre leurs données. Ce cycle peut être répété 100 à 250 fois selon leur programmation et l'énergie qu'ils transportent. A l'issue de 3 à 4 ans de dérive, ils sont perdus.

5. ÉVOLUTIONS ET AUTRES CONCEPTS DE MESURE

L'instrumentation océanographique évolue avec le perfectionnement des techniques de mesure. Ainsi, de nouveaux procédés, basés [22] sur la mesure de l'indice de réfraction de l'eau, sont en développement pour approcher le concept de salinité absolue et pallier les défauts des mesures de conductivité. D'autre part, afin de pouvoir connaître rapidement les caractéristiques physiques et dynamiques des océans et leur évolution dans l'espace, une technique baptisée tomographie acoustique a été mise au point [23]. Elle est basée sur l'étude de la propagation d'ondes acoustiques et l'inversion d'équations pour retrouver des champs de : pression, température, salinité et courants.

Ces dernières années, d'autres moyens d'exploration de l'océan ont vu le jour. Il s'agit des UUV ou Unmanned Underwater Vehicles. Ce sont des porteurs autonomes, pilotables à distance et pourvus d'instruments de mesure [24]. Les AUV ou Autonomous Underwater Vehicles sont une des catégories d'UUV. Ce sont des engins totalement autonomes conçus pour naviguer sur de grandes distances avec un système de propulsion et sans lien physique avec la surface. Ils peuvent être de taille et de poids variables (de 50 kg à plus de 1 tonne) et prendre différents aspects. Leur autonomie énergétique et leur positionnement sur de longues distances restent parfois des problèmes dans leur mise en œuvre. Un autre type de véhicule autonome appelé Glider ou planeur sous-marin tend également à se développer [25]. Il se distingue de l'AUV par le fait qu'il ne dispose pas de système de propulsion. Il se laisse porter par les courants mais il peut toutefois être piloté à distance, ce qui le distingue du concept des flotteurs dérivants.

Ainsi, l'océanographie est une science en pleine évolution. L'instrumentation qu'elle met en œuvre s'appuie en permanence sur les dernières évolutions technologiques afin de conquérir ce milieu complexe et hostile qu'est l'océan.

(Article résumé du livre : « *Instrumentation et métrologie en océanographie physique* » paru aux éditions Hermes-Lavoisier en juin 2007. A consulter pour en savoir plus sur les principes physiques, l'étalonnage, le fonctionnement et l'utilisation des instruments océanographiques).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - T. M. JOYCE: «The WOCE Hydrographic Program: a status report». *Woce Newsletter* (n° 6, octobre 1988).
- [2] - UNESCO: «Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale, 1978». *Unesco Technical Papers in Marine Science* (n° 37, 144 pages, 1981).
- [3] - N. P. FOFONOFF: «Physical Properties of Seawater: A New Salinity Scale and Equation of State for Seawater». *Journal of Geophysical Research* (Vol. 90, n° C2, 3332-3342, 1985).
- [4] - H. PRESTON - THOMAS: «The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)». *Metrologia* (Vol. 27, 3-10, 1990).
- [5] - R. S. DADSON, S. L. LEWIS, G. N. PEGGS: «The pressure balance, theory and practice». *National Physical Laboratory, HMSO* (London, 290 pages, 1982).
- [6] - LE MENN M.: «Capteurs de conductivité en océanographie : état de l'art et perspectives». *Revue des Sciences et Techniques de la Défense* (RSTD n° 64, 107-111, juin 2004).
- [7] - M. J. COWLING, T. HODGKIESS, A. KERR, A. PARR, M. SMITH, C. BEVERIDGE: «Biofouling of oceanographic sensors - is there a solution?». *Oceanology International 98 - The global ocean* (Vol.1, 203-214, Brighton U.K., Ocean House, Surrey TK3 3LZ, 10-13 march 1998).
- [8] - R. G. LUECK: «Thermal inertia of conductivity cells: theory». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol.7, 741-755, 1990).
- [9] - V. MENSAH, M. LE MENN, Y. MOREL: «Thermal mass correction for the evaluation of salinity». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol. 26, 665-672, 2008).
- [10] - W. T. YOST, J. H. CANTRELL, P. W. KUSHNICK: «Fundamental aspects of pulse phase-locked loop technology-based methods for measurement of ultrasonic velocity». *The journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 91, 3, 1456-1468, 1992).
- [11] - LHERMITTE R., SERAFIN R.: «Pulse-to-pulse coherent Doppler sonar signal processing techniques». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Vol.1, n° 4, 293-308, 1984).
- [12] - PRIMDHAL F.: «The fuxgate magnetometer». *Journal of Physics E: Scientific Instrument* (12, 241-253, 1979).
- [13] - C. C. TEAGUE, J. F. VESECKY, D. M. FERNANDEZ: «HF radar instruments, past to present». *Oceanography* (Vol. 10, 2, 40-44, 1997).
- [14] - R. LEROY: «Apport des télémètres radar en hydrographie et évaluation de leurs performances». *Annales Hydrographiques* (Vol.5, n° 774, 2009).
- [15] - R. BARTZ, J. R. V. ZANNEVELD, H. PAK: «A transmission meter for profiling and moored observation in water». *Ocean Optics* (60, 102-108, 1978).
- [16] - T. F. SUTHERLAND, P. M. LANE, C. L. AMOS, J. DOWNING: «The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness level». *Marine Geology* (162, 58 -597, 2000).
- [17] - A. BRICAUD et al.: «Variation of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case1) waters: analysis and implications for bio-optical models». *Journal of Geophysical Research* (Vol. 103, n°C13, pages 31,033-31,044, 1998).
- [18] - ATKINSON M.J., THOMAS F.I.M., LARSON N., TERRILL E., MORITA K., LIU C.C.: «A micro-hole potentiostatic oxygen sensor for oceanic CTDs». *Deep Sea Research* (Vol. 42, n° 5, 761-771, 1995).
- [19] - GOULD W. J., SAMBUKO E.: «The effect of mooring type on measured values of ocean currents». *Deep-Sea Research* (Vol. 22, 55-62, 1974).
- [20] - M. H. BERTEAUX: «Coastal and oceanic buoy engineering». *Woods Hole Oceanographic Institution, Wiley Interscience* (New York).
- [21] - W. J. GOULD: «From Swallow floats to Argo-the development of neutrally buoyant floats». *Deep-Sea Research II* (52, 529-543, 2005).
- [22] - D. MALARDÉ, ZY WU, P. GROSSO, J.-L. DE BOUGRENET DE LA TOCNAYE, M. LE MENN: «High-resolution and compact refractometer for salinity measurements». *Measurement Science and Technology* (20, 1, 2009).
- [23] - W.H. MUNK, C. WUNSCH: «Ocean acoustic tomography: a scheme for large monitoring». *Deep-Sea Research* (Vol. 26A, 123-160, 1978).
- [24] - S. WOOD, A. NULPH, B. HOWELL: «Application of Autonomous Underwater Vehicles». *Sea technology* (10-14, December 2004).
- [25] - D. C. WEBB, P. J. SIMONETTI, C. P. JONES: «SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy». *IEEE Journal of Oceanic Engineering* (26(4):447-452, 2001).

DEUXIÈME PARTIE

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

(27 juillet 2001 – 1^{er} août 2003)

par Jérôme PAILLET, ingénieur en chef de l'armement (hydrographe)

SOMMAIRE

1. OBJET DU DOCUMENT	6-3
2. GLOSSAIRE	6-3
3. CONTEXTE ET ÉVÈNEMENTS MARQUANTS	6-3
3.1. Une mission, deux bases, des attributions différentes	6-3
3.2. Une réduction de format	6-3
3.3. Une mutation importante des moyens logistiques.....	6-3
3.4. Une association nécessaire et souhaitée avec la cellule hydrographique civile de Polynésie	6-4
4. TRAVAUX EFFECTUÉS	6-5
4.1. Levés de passes et voies recommandées en hydrographie générale	6-5
4.1.1. Passes et voies recommandées en Polynésie Française	6-5
4.1.2. Passes et voies recommandées en Nouvelle-Calédonie	6-5
4.2. Levés de zones de navigation extérieures aux lagons	6-5
4.2.1. Zones de navigation extérieures aux lagons en Polynésie Française.....	6-5
4.2.2. Zones de navigation extérieures aux lagons en Nouvelle-Calédonie	6-6
4.3. Géodésie et spatiopréparations.....	6-6
4.3.1. Géodésie et spatiopréparations en Polynésie Française	6-6
4.3.2. Géodésie et spatiopréparation en Nouvelle-Calédonie	6-7
4.4. Levés de plageage et d'abords de quais.....	6-7
4.4.1. Levés de plageage et d'abords de quais en Polynésie Française.....	6-7
4.4.2. Levés de plageage et d'abords de quais en Nouvelle-Calédonie	6-7
4.5. Levés d'hydrographie civile	6-7
4.5.1. Levés d'hydrographie civile en Polynésie Française.....	6-7
4.5.2. Levés d'hydrographie civile en Nouvelle-Calédonie	6-7
5. ORGANISATION - MOYENS - MÉTHODES	6-7
5.1. Organisation.....	6-7
5.2. Ressources humaines	6-8
5.3. Moyens nautiques et drome.....	6-8
5.4. Véhicules	6-9
5.5. Matériel hydrographique	6-9
5.6. Informatique	6-9
5.7. Méthodes	6-9
5.7.1. Hydrographie	6-9
5.7.2. Géodésie	6-10
5.8. Formation	6-10
6. BILAN ET PERSPECTIVES	6-10
6.1. Travaux restant à réaliser.....	6-10
6.2. Moyens techniques et humains	6-11
ANNEXE I : Rapports particuliers publiés	6-12
ANNEXE II : Convention	6-14
ANNEXE III : Photographies	6-18

1. OBJET DU DOCUMENT

Ce document constitue le rapport de mission de la mission océanographique du Pacifique (MOP) pour la période s'étendant du 27 juillet 2001 au 1^{er} août 2003, période durant laquelle la MOP était dirigée par l'ICA Jérôme Paillet, et ci-après désignée par "la période".

2. GLOSSAIRE

BH2	: bâtiment hydrographique de deuxième classe.
BHNC	: base hydrographique de Nouvelle-Calédonie.
BHO	: bâtiment hydro-océanographique.
BHPF	: base hydrographique de Polynésie Française.
COMAR NC, COMAR PF	: commandants de la marine en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française.
DITTT	: direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres (Nouvelle-Calédonie).
FIG-OHI	: fédération internationale des géomètres - organisation hydrographique internationale.
IRD	: institut de recherche pour le développement
MOA	: mission océanographique de l'Atlantique.
MOP	: mission océanographique du Pacifique.
OMH	: officier marinier hydrographe (PROG si programmeur).
OMS	: officier marinier supérieur.
P400	: patrouilleur de 400 tonnes.
RP	: rapport particulier.
SOLAS	: convention internationale "safety of life at sea".
VH (7,8)	: vedette hydrographique (de 7 m, de 8 m).

3. CONTEXTE ET EVÈNEMENTS MARQUANTS

3.1. Une mission, deux bases, des attributions différentes

La mission océanographique du Pacifique est constituée de deux entités, dénommées fin 2003 "base hydrographique de Polynésie Française" et "base hydrographique de Nouvelle-Calédonie". La première est basée à Papeete, la seconde à Nouméa.

Malgré le qualificatif "d'océanographique", la MOP a des missions et une activité qui tournent presque exclusivement autour de l'hydrographie, de la géodésie et de l'information nautique. La zone d'activité de la MOP couvre l'ensemble des territoires français du Pacifique, y compris Wallis et Futuna ou Clipperton qui n'ont toutefois pas fait l'objet de travaux durant la période.

Installée dans des entités territoriales en pleine mutation institutionnelle (de "territoires d'outre-mer" (TOM) en 2000 vers "pays d'outre-mer" (POM) en 2003), la MOP remplit les obligations réglementaires de l'Etat français, qui se traduisent de façon différente dans les deux entités.

- En Nouvelle-Calédonie, la responsabilité de l'hydrographie générale (notamment au sens de la convention SOLAS) n'a pas été revendiquée par les autorités territoriales, qui ont néanmoins accepté de soutenir cette activité, très importante pour l'économie locale. Une convention entre l'Etat et le Territoire, décrivant les responsabilités et soutiens mutuels pour le fonctionnement de la BHNC, a donc été

signée début 2001 (voir annexe II). Une commission hydrographique, animée par la MOP et regroupant l'essentiel des entités institutionnelles de Nouvelle-Calédonie susceptibles de demander des travaux hydrographiques, a été mise en place et a tenu ses deux premières réunions au cours de la période.

- En Polynésie Française, la loi organique de 1996 impliquait que le Territoire assumait les responsabilités relatives à la sécurité de la navigation "dans les eaux intérieures", notamment les lagons, tandis que l'Etat en restait responsable hors des eaux intérieures. En conséquence, le Territoire a fait former à l'hydrographie deux techniciens polynésiens, à l'école des hydrographes du SHOM. Ces deux techniciens ont reçu leur qualification FIG-OHI début 2001 après une période de pratique à la MOP. Durant la période, la MOP a donc réalisé principalement des travaux ne concernant pas les eaux intérieures de Polynésie.

3.2. Une réduction de format

La réduction de format de la MOP avait débuté en 1999 avec le retour en métropole du BH2 *Laplace*, alors basé à Nouméa, et la transformation de l'unité hydrographique de Nouvelle-Calédonie (UHNC) en base hydrographique de Nouvelle-Calédonie (BHNC), avec un format nettement réduit.

Cette réduction de format de la MOP s'est poursuivie durant la période, avec le retour en métropole du BH2 *Arago*, qui a quitté Papeete en avril 2002. L'unité hydrographique de Polynésie Française (UHPF) s'est elle aussi transformée en base (BHPF), à l'été 2002, et a vu son personnel se réduire en deux temps : lors des mutations de juillet-août 2002 (passage de 19 à 10 personnes), puis de juillet-août 2003 (passage de 10 à 7 personnes, incluant le transfert du poste de directeur de Papeete à Nouméa).

Sur les deux bases, la réduction de format s'est traduite par des difficultés à mener de front les travaux à la mer demandés et la rédaction des travaux réalisés auparavant. La situation étant problématique pour la BHNC, dont le plan de charge était très fourni, ses effectifs ont en revanche été regonflés à l'été 2003 (passage de 5 personnes dont 3 hydrographes à 8 personnes dont le directeur et 4 hydrographes).

3.3. Une mutation importante des moyens logistiques

En Nouvelle-Calédonie : en application de la convention Etat-territoire, la BHNC a déménagé début 2001 depuis la base navale de Nouméa vers des locaux neufs mis à disposition par la DITTT, accolés aux locaux de la subdivision des phares et balises, sur la presqu'île de Numbo en banlieue de Nouméa. Ces locaux se sont avérés agréables et fonctionnels, mais présentent l'inconvénient d'un éloignement de la base navale induisant des déplacements relativement longs pour des liaisons de routine (poste navale, services administratifs, infirmerie...), l'absence de restauration d'entreprise, et des déplacements domicile-travail accrus pour tous les personnels.

Le Territoire a par ailleurs réalisé de gros efforts de mise à disposition de temps bateau au profit de la BHNC :

- la vedette de travail (catamaran) *Eugène Morignat* (photo n° 6), dotée de capacités de sondage hydrographique, était mise à disposition environ 30 jours par an durant la période et a donné toute satisfaction ;
- une vedette hydrographique neuve de 7 m, commandée par le Territoire en Nouvelle Zélande, a été livrée en mars 2002 et baptisée VH7 *Chambeyron*. Après une période d'armement et d'essais (photo n° 4), elle a été mise à disposition de la BHNC à plein temps à partir de septembre 2002. Transportable par voie routière sur une remorque, et capable de transits à 15 noeuds sur l'eau, il s'agit d'un moyen idéal pour des levés lagonnaires par états de mer inférieurs ou égaux à 3 ;
- enfin, le Territoire a souhaité équiper pour l'hydrographie son nouveau baliseur, le *Louis Hénin* (photo n° 5), mis à disposition de la subdivision des phares et balises en novembre 2002. Le *Louis Hénin* doit être mis à disposition de la MOP entre 60 et 80 jours par an, toutefois cette utilisation n'a débuté qu'après août 2003.

En revanche, la disponibilité de la VH8 *Popinée*, maintenue à Nouméa après le départ du BH2 *Laplace*, a été très limitée.

En Polynésie Française : le retour en métropole du BH2 *Arago* en avril 2002 a limité, mais pas annulé, les capacités d'intervention de la BHPF. Les vedettes hydrographiques (VH8 *Hunter* et *Matthew*, photo n° 3) ont en effet été transférées à la MOP et maintenues à Papeete, l'*Arago* étant destiné à être transformé en patrouilleur de service public. Par ailleurs, l'équipe technique de la BHPF a fait évoluer la coralline de 5,50 m de la base en un véritable moyen de levé hydrographique portuaire ou lagonnaire, avec une capacité de mise en oeuvre du sondeur latéral sur perche. Les moyens de la BHPF ont été mis en oeuvre après le départ de l'*Arago* de différentes manières :

- embarquées sur le bâtiment de transport léger *Dumont D'Urville* ou sur le remorqueur ravitailleur *Revi* (photo n° 11), les VH8 peuvent être transportées sur des zones distantes et mises à l'eau par les grues de ces bâtiments (ou éventuellement par le portique arrière du *Revi*). Toutefois cette mise à l'eau n'est possible que sur une mer parfaitement calme. Trois missions aux îles Marquises ont eu lieu durant la période, avec un rendement assez faible du fait de cette limitation d'emploi. La coralline de sondage a également été transportée pour ces missions et a montré ses capacités pour des levés en eaux très abritées ;
- une VH8 a également été transportée par voie routière (photo n° 2) pour un levé aux alentours du port de Faratea à Tahiti, à l'opposé de l'île par rapport à Papeete. Ce mode de transport est bien sûr limité à l'île de Tahiti, toutefois l'autonomie de la VH8 lui permet également d'intervenir sur l'île voisine de Moorea ;
- enfin, la BHPF a poursuivi son programme de mesures de spatiopréparation au moyen d'équipes pédestres transportées par bateau ou par hélicoptère (Super Puma de l'armée de l'air, photo n° 7).

En ce qui concerne les locaux de la MOP à Papeete, l'équipe technique aurait dû déménager en 2002 de ses hangars de Motu Uta vers des locaux reconconditionnés pour cela au sein de la base navale, mais les nouveaux locaux n'ont pas été prêts durant la période et l'urgence de quitter ceux de Motu Uta ne s'est jamais confirmée. En juillet 2003, le déménagement était prévu pour la fin de l'année 2003.

Enfin, on peut noter que la privatisation (et, en Polynésie, la dissolution) de la DCN, qui était chargée à Papeete de l'entretien des sondeurs et Sonals de la MOP, n'a pas eu de conséquence directe : en effet les personnels et attributions concernés ont été transférés au sein d'un "atelier militaire de la flotte", géré par la marine.

3.4. Une association nécessaire et souhaitée avec la cellule hydrographique civile de Polynésie

La réduction des attributions de l'Etat en matière d'hydrographie en Polynésie Française (limitation aux eaux non "intérieures", donc à l'extérieur des lagons), a eu pour conséquence une réduction de ses moyens (retour de l'*Arago* en métropole et diminution importante du plan d'armement de la BHPF), une fois que les travaux d'hydrographie générale nécessaires dans les eaux extérieures ont pu être considérés comme achevés. Il était néanmoins nécessaire de maintenir en Polynésie une équipe de la MOP, pour les raisons suivantes :

- poursuivre le transfert de compétences vers le Territoire et formaliser le partage de responsabilités ;
- maintenir le niveau de l'hydrographie et de l'information nautique dans les domaines de responsabilité étatique ;
- répondre aux besoins spécifiques de la marine ;
- achever la rédaction des travaux réalisés auparavant.

L'idée **d'associer les moyens de l'Etat et du Territoire** afin de maintenir une capacité de réalisation de l'ensemble des missions nécessaires à l'hydrographie de la Polynésie s'est rapidement imposée : en effet, d'une part la distinction entre eaux intérieures et extérieures, bien que légalement définie (par les "lignes de base"), ne répond pas à une logique maritime ou hydrographique (pourquoi limiter le levé d'une passe, ou d'une baie, à un côté ou l'autre de la ligne de base ?) ; d'autre part les moyens alloués à chacune des deux parties étaient trop limités pour permettre leur réelle autonomie : plan d'armement de 7 personnes, dont seulement deux hydrographes, pour la BHPF après l'été 2003, tandis que la capacité hydrographique du Territoire est restée limitée, durant la période, aux deux hydrographes polynésiens formés par le SHOM et affectés à la subdivision des phares et balises.

Aussi, un projet d'accord-cadre Etat-territoire sur l'hydrographie en Polynésie Française, allant dans le sens d'une association formelle des moyens consacrés à l'hydrographie, a été élaboré par le directeur de la MOP en concertation avec ses interlocuteurs du Territoire (l'arrondissement maritime du ministère de l'équipement ter-

ritorial, qui supervise également la subdivision des phares et balises), puis soumis au visa des autorités : ministère de l'équipement puis présidence du gouvernement de Polynésie, direction du SHOM puis état-major de la marine, et haut-commissariat du Territoire. Malheureusement ce dossier n'a pu aboutir avant la fin 2003, faute de réponse des autorités territoriales.

Afin de faciliter la montée en puissance de la capacité hydrographique territoriale, la MOP a régulièrement fait participer les deux hydrographes polynésiens à ses levés, et a par ailleurs assisté l'arrondissement maritime dans son acquisition de matériel hydrographique, et la spécification d'une vedette hydrographique, destinés à la cellule hydrographique territoriale.

4. TRAVAUX EFFECTUÉS

Les travaux effectués par la MOP durant la période, sont récapitulés ici ainsi que les moyens de support maritime ou aérien utilisés. Si les rapports particuliers de ces travaux ont été publiés au cours de la période, ils sont également mentionnés. La liste des rapports particuliers rédigés durant la période est par ailleurs récapitulée en annexe I.

4.1. Levés de passes et voies recommandées en hydrographie générale

4.1.1. Passes et voies recommandées en Polynésie Française.

Malgré le fait que cela ne dépendait plus strictement des attributions du SHOM au vu de la loi organique de Polynésie Française, le levé de certaines passes a néanmoins été effectué au début de la période (avant le départ de l'*Arago*) lorsqu'il s'agissait de résidus de lignes de programmes anciennes de la MOP, l'objectif étant d'avoir une qualité de levé relativement homogène sur l'ensemble des passes pratiquées en navigation, avant que le Territoire ne prenne la suite pour l'entretien de cette hydrographie.

- Atoll de Manihi (archipel des Tuamotu) : contrôle bathymétrique des abords et de la passe Tairapa de Manihi en octobre 2001 avec l'*Arago*. RP n° 103 MOP/NP du 06 juin 2003.
- Atoll d'Ahe (archipel des Tuamotu) : reconnaissance en août 2001, puis levé de la passe principale et du chenal balisé entre la passe et le village de Tenukupa en octobre et novembre 2001 avec l'*Arago*. RP n° 59 MOP/NP du 18 mars 2002.
- Atoll de Takaroa (archipel des Tuamotu) : contrôle bathymétrique des abords et de la passe Teauonae en octobre 2001 avec l'*Arago*. RP n°114 MOP/NP du 06 juin 2002.
- Atoll de Raraka (archipel des Tuamotu) : levé de la passe Manureva, de ses abords et des accès au village de Motu Tapu en novembre 2001 avec l'*Arago*. RP n°235 MOP/NP du 05/11/2002.
- Le levé du chenal d'accès au village de Rairua à Raivavae (îles Australes) a eu lieu en novembre et décembre 2001 avec l'*Arago*. RP n°124 MOP/NP du 01 juillet 2003.

- Atoll de Taenga (archipel des Tuamotu) : levé de la passe Tiritepakau en janvier 2002 avec l'*Arago*. RP n° 141 MOP/NP du 17 juillet 2003.
- Le levé de la passe Teporioha à Faaité, de la passe Porofai à Arutua (archipel des Tuamotu) ainsi que des passes Matauvau et Avarapa à Moorea (îles de la Société) ont été réalisés au cours de la dernière mission de l'*Arago* en Polynésie en février 2002. Pour le levé de Faaité : RP n° 59 MOP/NP du 27 mars 2003.
- Des compléments (recherche de roche par plongeurs) à un levé antérieur de la voie d'accès à la baie de Haurei à Rapa (îles Australes) ont été réalisés en juin 2002 (plongeurs et hydrographe de la MOP transportés par le P400 *La Railleuse*) : RP n° 275 MOP/NP du 13 décembre 2001.
- Pour mémoire, le levé d'une voie recommandée reliant le village de Rotoava et la passe de Tumakohua était classé en hydrographie civile : voir le § 4.5.1.

4.1.2. Passes et voies recommandées en Nouvelle-Calédonie

Les levés des passes et voies recommandées suivantes sont classées en hydrographie générale, répondant à des instructions techniques de 1998 :

- le levé de voies recommandées aux abords de Nouméa s'est poursuivi en août 2001, en avril et mai 2002 (*Eugène Morignat*), et achevé en juillet 2003. Pour le tronçon 1 de la voie recommandée, RP n° 147 MOP/NP du 22 juillet 2002 ;
- le levé d'une voie recommandée entre la passe de Koumac et le mouillage de Paagoumène s'est poursuivi en octobre et novembre 2001 (VH8 *Popinée*), août 2002 (recherches de roches par plongeurs et coralline), et avril 2003 (compléments de levé et recherches de relèvements de fond, VH7 *Chambeyron*) ;
- compléments au levé de la Passe de Deverd à la Coupée de l'Alliance en avril 2003 (recherches de roches et natures de fond, par plongeurs). RP provisoire : NE n° 100 BHNC/NP du 26 juin 2003.

4.2. Levés de zones de navigation extérieures aux lagons

4.2.1. Zones de navigation extérieures aux lagons en Polynésie Française

Avant le départ du BH2 *Arago*, plusieurs missions ont été consacrées à lever des abords de points de débarquement d'atolls fermés ou quasi fermés. Ces levés de reconnaissance (au 1/10 000^{ème}, sur une largeur de 1 km) étaient destinés à permettre au Territoire d'évaluer la faisabilité d'installation de coffres de mouillage destinés à des cargos ainsi qu'à d'éventuels navires en difficulté. Des minutes provisoires ont été transmises au territoire simultanément à l'envoi des rapports particuliers à la direction du SHOM. Ont ainsi été levés les abords des points de débarquement des atolls suivant de l'archipel des Tuamotu :

- > l'atoll de Niau en août 2001 (RP n° 262 MOP/NP du 22 novembre 2001) ;
- > l'atoll de Takapoto en octobre 2001 (RP n° 68 MOP/NP du 26 mars 2002) ;
- > l'atoll de Kaukura en novembre 2001 (RP n° 36 MOP/NP du 14 février 2002) ;
- > les atolls de Taenga (RP n° 141 MOP/NP du 17 juillet 2003), Nihiru, Fangatau, Fakahina, Tatakoto, Reao, Pukarua, Vahitahi, Nukutavake, Tureia, Vairaatea, Tematangi et Hereheretue (pour tous sauf Vairaatea : RP n° 152 MOP/NP du 29 juillet 2003) en janvier 2002 ; le levé de Vairaatea n'est pas décrit par le RP n° 152, en effet les approches de cet atoll n'ont été levées qu'avec l'*Arago*, la mise à l'eau d'une vedette ayant été impossible : il devait faire l'objet d'une rédaction à part ;
- > les atolls de Mataiva (RP n° 149 MOP/NP du 28 juillet 2003), Takume, Pukapuka, Napuka, Tepoto nord et Arutua (pour Arutua seul : RP n° 120 MOP/NP du 23 juin 2003) en février 2002.

D'autre part, des sondes douteuses ont fait l'objet de contrôles par le BH2 *Arago* à proximité des atolls de Tepoto et de Fakarava en août 2001, et de l'île de Mataiva en mars 2002 : RP n° 120 MOP/NP du 10 juin 2002.

Plusieurs missions aux îles Marquises ont été organisées après le départ de l'*Arago* afin de réaliser des levés de plageage et des compléments d'hydrographie dans des zones non hydrographiées. Ces compléments sont indiqués ici, même si globalement ces missions étaient classées en hydrographie militaire :

- > levé de la Baie d'Aneou et de ses abords à Ua Pou, en septembre-octobre 2002, puis compléments en novembre 2002 avec le *Revi* et la VH8 *Hunter* ;
- > levé de deux zones non hydrographiées situées à l'ouest de l'île de Tahuata en novembre 2002 (*Revi* et *Hunter*).

Un levé scientifique des tombants extérieurs des îles de la Société (mission ZEPOLYF 3 : programme d'inventaire des ressources de la zone économique exclusive de Polynésie Française) a été réalisé par des équipes civiles avec l'*Alis* (photo n°10), affecté à l'IRD Nouvelle-Calédonie, et son sondeur multifaisceaux EM 1002. La MOP a contribué au positionnement par DGPS et à la réalisation du levé mais, durant la période, pas à sa rédaction.

4.2.2. Zones de navigation extérieures aux lagons en Nouvelle-Calédonie

Néant durant la période.

4.3. Géodésie et spatiopréparations

Les travaux de spatiopréparation permettent le calage géographique d'images satellitaires. Pour cela, on topographie à l'aide d'un GPS différentiel des limites de zones ayant des

signatures bien distinctes en imagerie satellitaire (limite sable-végétation, sable-mer ou sable-platier par exemple). Il est nécessaire de disposer localement de points géodésiques, aussi le rattachement géodésique d'une île ou atoll par rapport à une île voisine est-il souvent nécessaire. La totalité des rattachements géodésiques de point à point, ou de positionnement divers (balisage etc...) réalisés par la MOP au cours de la période n'est pas récapitulée ici (ils font l'objet de fiches géodésiques) : seuls les rattachements d'îles ou atolls nouveaux, et les travaux de spatiopréparation, sont notés. Sauf mention contraire, ces travaux ont eu lieu dans l'archipel des Tuamotu. Divers supports logistiques ont été employés, le plus performant pour ce type de travaux étant l'hélicoptère Super Puma lorsque son rayon d'action le permet.

4.3.1. Géodésie et spatiopréparations en Polynésie Française

- > Rattachement et spatiopréparation de l'atoll de Tikei en août 2001 (*Arago*) ; RP n° 136 MOP/NP du 04 juillet 2002 ;
- > rattachement spatiopréparation des atolls de Anuanuraro, Anuanurunga et Nukutepipi (îles du Duc de Gloucester, archipel des Tuamotu) en septembre 2001 (P400 *La Raillieuse*). RP n° 136 MOP/NP du 04 juillet 2002 ;
- > spatiopréparation des atolls d'Ahe (RP n° 59 MOP/NP du 18 mars 2002), Manihi (RP n° 103 MOP/NP du 06 juin 2003), Takarua (RP n° 114 MOP/NP du 06 juin 2002) et Takapoto (RP n° 68 MOP/NP du 26 avril 2002) en octobre 2001 (*Arago*) ;
- > spatiopréparation de l'atoll de Raraka en novembre 2001 (*Arago*). RP n° 235 MOP/NP du 05 novembre 2002 ;
- > spatiopréparation de contrôle de l'Atoll d'Anaa en décembre 2001 (Super Puma) ; RP n° 136 MOP/NP du 04 juillet 2002 ;
- > compléments de spatiopréparation de l'atoll de Makemo en janvier 2002 avec l'*Arago* (RP n° 141 MOP/NP du 17 juillet 2003) ;
- > rattachement et spatiopréparation des atolls de Takume, Faaite (RP n° 59 MOP/NP du 27 mars 2003), Arutua (RP n° 120 MOP/NP du 23 juin 2003) et Kaukura (RP n° 136 MOP/NP du 04 juillet 2002) en février 2002 (*Arago*) ;
- > rattachement et spatiopréparation de l'atoll de Tematangi et de Tureia et rattachement de l'atoll de Vanavana en avril et mai 2002 (Super Puma) ;
- > spatiopréparation de l'atoll de Vanavana, rattachement et spatiopréparation de l'atoll de Hereheretue en septembre 2002 (avion Casa et hélicoptère Super Puma) ;
- > rattachement et spatiopréparation de l'île de Ua Pou (archipel des Marquises) en octobre 2002 (*Revi*).
- > rattachement et spatiopréparation des atolls de Tuanake, Tepoto (sud) et Marokau, spatiopréparation des atolls de Katiu, Apataki, Tikehau (déjà rattachés) en avril 2003 (Super Puma).

4.3.2. Géodésie et spatiopréparation en Nouvelle-Calédonie

- Une spatiopréparation de la scène SPOT de la zone de Koumac dans la Province Nord a été réalisée en août 2002.
- Des travaux de spatiopréparation du plateau des Bellona ont été commencés en avril 2003 à l'aide du P400 *La Railleuse* mais interrompus à cause de la météo.

4.4. Levés de plageage et d'abords de quais

Des levés de plageage ou d'abord de quais ont été réalisés au profit de la marine, suite à des besoins exprimés par les COMARs NC et PF, en relais de demandes des bâtiments ou parfois des pilotes maritimes. Ils sont donc classés en hydrographie militaire. Compte tenu du resserrement des profils et de la difficulté de manoeuvre, ces levés (généralement au 1/1 000^{ème}) sont autant que possible réalisés avec des corallines plutôt que des vedettes hydrographiques.

4.4.1. Levés de plageage et d'abords de quais en Polynésie Française

- Levés de plageage dans les villages de Hakahau et Hakahetau à Ua Pou (archipel des Marquises), en octobre 2002 avec le *Revi* ;
- levé de la plage et du débarcadère en baie de Hanaiapa (Hiva Oa), de l'embeckage et des abords de quai à Tahauku (Hiva Oa), en janvier 2003 avec le *Dumont d'Urville* ;
- levé de l'embeckage, des abords de quais et du plageage "résidence" en baie de Taiohae (Nuku Hiva) en février 2003 avec le *Dumont D'Urville* ;
- levé des abords de quais de Vaitape et Farepiti, et levé de reconnaissance des approches d'un possible embeckage pour BATRAL au nord de la baie Faanui, à Bora Bora (îles sous le vent) avec le *Dumont d'Urville* en février 2003 ;
- levés de plageage à Uturoa et Nao Nao dans l'île de Raiatea, à Haamene, Patio, Vaiorea et Tapuamu dans l'île de Tahaa, levé de plageage et des abords de quais de Fare, à Huahine (îles sous le vent), avec le *Revi* en mai 2003.

4.4.2. Levés de plageage et d'abords de quais en Nouvelle-Calédonie

- Contrôle de la petite darse de la manoeuvre et des abords du nouvel appontement du BATRAL à l'îlot Brun - base navale de Nouméa, en septembre 2001 (RP n° 50 MOP/NP du 21/02/2002).

4.5. Levés d'hydrographie civile

4.5.1. Levés d'hydrographie civile en Polynésie Française

- Le levé d'une voie recommandée reliant le village de Rotoava et la passe de Tumakohua, au sud de l'atoll de Fakarava (archipel des Tuamotu), a été achevé en août 2001 avec l'*Arago*. Ce levé était couvert par une convention SHOM/Polynésie Française. RP n° 44 MOP/NP du 19 février 2002.

- Un levé préparatoire aux travaux d'agrandissement du Port de Faratea, dans la commune de Taravao sur l'île de Tahiti a été réalisé en juin et juillet 2002, par un détachement isolé utilisant la VH8 *Hunter*, transportée depuis Papeete par voie routière (photo n° 2). L'arrondissement maritime de la direction de l'équipement du Territoire a couvert les frais de levé, dans le cadre d'une convention avec le SHOM. RP n° 193 MOP/NP du 11 septembre 2002.

4.5.2. Levés d'hydrographie civile en Nouvelle-Calédonie

- Des compléments de travaux hydrographiques en grande rade de Nouméa (recherche de relèvements de fond par plongeurs) ont été réalisés par la BHNC au titre de la convention entre le SHOM et le port autonome de Nouméa, en mars 2002. Il s'est avéré que le très grand nombre de recherches à effectuer pour assurer une qualité d'ordre 0 ou 1 au levé, avec un seuil de navigation utile, et le faible volume horaire de travaux prévu par la convention (40 h par an), ne permettraient pas d'achever ces travaux avant plusieurs années. Ce constat a été communiqué aux autorités du port autonome, qui ont décidé de revoir l'expression de leur besoin. Les travaux en grande rade ont donc été suspendus jusqu'à la fin de la période.
- Des mesures courantométriques ont été réalisées au profit de la Province Nord : en baie de Nekoro en avril 2002, baie de Poya en avril-mai 2002, baie de Kaala Gomen en juin-juillet 2002 ; village de Hienghène en septembre-octobre 2002 puis juillet 2003 ; émissaire de sortie d'eaux usées à Poindimié en juin 2003. Pour la "tranche 1" de ces travaux : RP n° 93 MOP/NP du 06 mai 2003.
- Un levé entre la passe du Duroc et la baie de Chasseloup, en Province Sud, a été repris et complété en septembre et octobre 2002 (*Eugène Morignat* et VH7 *Chambeyron*), puis en mars 2003 (vérification de sondes par VH7 *Chambeyron* et plongeurs).

5. ORGANISATION - MOYENS - MÉTHODES

5.1. Organisation

Après le départ du BH2 *Arago*, la MOP s'est organisée en 2 bases très similaires : la BHNC et la BHPF. Placées sous l'autorité du directeur de la MOP, ces 2 bases étaient gérées au quotidien par un OMH (MJR à Nouméa et MP à Papeete). Le service logistique de la MOP, de nature transverse aux deux bases, était dirigé par l'ingénieur électronicien basé à Papeete. Cette situation se traduit forcément par une dissymétrie de la capacité de soutien, même si le chef du service logistique visite la base distante à intervalles réguliers (une fois par an durant la période).

Le major, chef de la BHNC, assurait également un rôle de représentation du directeur auprès des autorités locales, notamment dans le cadre de l'application de la convention Etat-territoire sur l'hydrographie et de la préparation des commissions hydrographiques.

5.2. Ressources humaines

La réduction de format vécue par la BHPF et consécutive au retour en métropole du BH2 *Arago*, est décrite au § 3.2. A l'issue (effectif réalisé fin 2002), le personnel de la MOP se répartissait comme suit :

Echelon de la MOP	Personnel (militaire)			Total
	Officiers (ingénieurs)	Officiers mariniers	Equipage	
Nouvelle-Calédonie (BHNC)		5 dont 3 OMH	0	5
Polynésie Française (BHPF)	2	8 dont 5 OMH (3 au plan d'armement)	0	10

Bien que son plan d'armement stipulait la présence de trois OMH seulement, la BHPF a bénéficié entre mi-2002 et mi-2003 de deux OMH en supplément, pour des raisons administratives. Cela a permis d'entreprendre, au cours de cette deuxième année de la période, des travaux un peu plus ambitieux, mais aussi de renforcer ponctuellement la BHNC en deux occasions par des missions d'un mois d'un OMH d'une base vers l'autre. De plus, les hydrographes civils du territoire ont été sollicités à plusieurs reprises pour venir renforcer les équipes de terrain et ainsi entretenir leurs compétences.

L'effectif réalisé fin 2002 ne correspondait plus à la répartition des besoins en travaux hydrographiques entre la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie. C'est pourquoi la direction du SHOM, suivant les recommandations du directeur de la MOP, a décidé de transférer vers la Nouvelle-Calédonie le poste de directeur de mission et l'un des postes d'OMH. L'ingénieur chargé du service logistique a été maintenu à titre provisoire en Polynésie pour assurer les négociations avec les autorités locales en vue d'une association des moyens hydrographiques de l'Etat et du Territoire. Enfin, le poste de secrétaire a été maintenu en Polynésie dans la mesure où seule la Nouvelle-Calédonie avait accepté de pourvoir un poste civil de secrétaire pour la BHNC.

Enfin, début 2003, les deux bases de la MOP ont obtenu auprès de leurs COMARs respectifs l'ajout à leur plan d'armement d'un militaire du rang pour renforcer les équipes logistiques.

5.3. Moyens nautiques et drome

Les navires et vedettes dont a disposé la MOP pour ses travaux hydrographiques ont connu de grands changements au cours de la période, décrits au § 3.3.

Le bilan à la fin de la période (mi-2003) peut être synthétisé comme suit :

Base	Type de moyen	Descriptif	Commentaire
BHPF	navires porteurs	RR <i>Revi</i> ; BATRAL <i>Dumont d'Urville</i> ; patrouilleurs P400.	Mise à disposition marine nationale.
	moyens légers de sondage	Deux VH8 (<i>Matthew</i> et <i>Hunter</i>) ex- <i>Arago</i> ; une coralline de sondage de 5,50 m (moteur 75 CV).	Une seule VH8 maintenable à la fois, l'autre pour rechanges. Le moteur 75 CV n'est pas au "standard marine".
	drome	Deux corallines 4,50 m ; un semi-rigide (moteurs 40 CV).	
	navires porteurs et sondage	Vedette (catamaran) <i>Eugène Morignat</i> , 30 j/an ; BATRAL <i>Jacques Cartier</i> et P400 pour hydro militaire.	Mise en service imminente du baliseur mixte <i>Louis Hénin</i> (30 m) pour 60 à 80 j/an.
BHNC	moyens légers de sondage	Une VH8 (<i>Popinée</i>) ; une vedette civile (marque RAMCO) de 7 m ; une coralline de 5,50 m	Maintenance locale VH8 très délicate ; vedette RAMCO mise à disposition par le territoire ; pas de moteur pour la coralline.
	drome	Deux semi-rigides.	Difficultés de maintenance et de remplacement des remorques.

5.4. Véhicules

La BHPF disposait mi-2003 de deux véhicules relativement récents fournis par la marine, un Boxer et une 306 Break. Cette dotation est nécessaire et suffisante. Lors des missions d'hydrographie aux îles Marquises, l'armée de terre (le RIMAP) a consenti un prêt de véhicules 4 x 4 avec chauffeur.

La BHNC dispose de deux véhicules 4 x 4 et d'un VL fournis par la marine. Au titre de la convention, la Nouvelle-Calédonie devrait fournir un 4 x 4 et un VL, et la marine revenir à une dotation équivalente. La dotation de la BHNC en 4 x 4 reste indispensable malgré l'évolution des techniques et du réseau routier.

5.5. Matériel hydrographique

Durant la période, le matériel hydrographique de la MOP, qui n'était en général pas le plus moderne du parc du SHOM, n'a guère été renouvelé et a connu de nombreuses avaries.

- La MOP a été la dernière à utiliser les GPS NR 103 et les GPS géodésiques Ashtech, les courantomètres à rotor SLS21 (en Nouvelle-Calédonie), ainsi que les valises d'acquisition Sonal analogiques, dont les réglages étaient délicats et la qualité de restitution très variable. Les premiers ensembles de GPS Aquarius sont arrivés au cours de la période, mais leur fonctionnement en ambiance tropicale s'est avéré assez aléatoire.
- Le parc de sondeurs Deso 20 et Deso 17 et de poissons Sonal EGG260 était vieillissant et difficile à maintenir. De nombreuses pannes ont donc ralenti les travaux.
- Certains équipements modernes mais uniques, tels qu'un courantomètre doppler de la BHNC et qu'un bathycélérimètre de la BHPF, sont restés durablement en panne ou en révision à Brest, obligeant les équipes à utiliser des moyens plus rustiques.

Cependant dans l'ensemble, le parc d'équipements n'ayant pas été réduit en rapport avec la diminution de volume des deux entités de la MOP, il restait relativement important et permettait donc de pallier, par échange standard, les diverses pannes. Le renouvellement du parc de sondeurs, de GPS, de courantomètres et de systèmes d'acquisition Sonal de la MOP est programmé et sera le bienvenu.

En Polynésie, l'arrondissement maritime du ministère de l'équipement s'est doté au cours de la période d'équipements hydrographiques destinés à la cellule hydrographique du territoire. La MOP, avec le soutien de l'EPSHOM, a joué un rôle de conseil pour l'évaluation des offres commerciales. Cependant, ces offres ne comportaient que peu de matériels similaires à ceux acquis par le SHOM, ce qui n'a pas permis une convergence des moyens (l'exception notable et indispensable étant l'acquisition par le Territoire de logiciels Hypack pour l'acquisition et le traitement des données hydro - logiciel également prévu pour les deux bases de la MOP à partir de mi-2003).

Enfin, on peut noter que les deux implantations de la MOP sont confrontées à un problème important, compliquant les échanges entre elles et avec l'EPSHOM : les contraintes de douanes. Les difficultés liées à la douane retardent les acheminements de matériel, induisent des frais et consomment du potentiel humain de la mission.

5.6. Informatique

Les deux bases de la MOP utilisaient au cours de la période un réseau Unix propre (non relié au réseau SHOM) et doté des applications développées par le SHOM pour les traitements hydrographiques, notamment Tradoc et Marée. L'acquisition des données était assurée par le logiciel Aqidoc NG sur PC. Toutefois la BHPF était encore équipée de très vieilles (et lentes) stations HP avec l'application Tradoc 4.0. L'usage de l'application Tradoc, sur les deux bases, a nécessité une formation ou une importante révision pour l'ensemble des personnels hydro arrivant, et a causé divers soucis techniques ralentissant la rédaction. L'arrivée du logiciel Hypack sur les deux bases, et l'installation de stations Sun à la BHPF, étaient prévues pour la mi-2003, avec le renouvellement des personnels programmeurs.

Le rôle des personnels programmeurs est essentiel sur les bases hydrographiques de la MOP puisque le soutien par le service informatique de l'EPSHOM est forcément réduit. Le temps qu'ils consacrent aux diverses tâches de gestion et de dépannage du réseau et du matériel limite leur potentiel pour la rédaction de levés.

Entre mi-2002 et mi-2003, en raison notamment du départ du SHOM de plusieurs OMH PROG, il n'a pas été possible d'en affecter un à la BHPF : un OMH ayant un certain intérêt pour la micro-informatique a donc pris le relais, après une passation de suite par l'OMH PROG en poste jusqu'à mi-2002 et ce jusqu'à l'arrivée du nouveau personnel programmeur.

5.7. Méthodes

5.7.1. Hydrographie

La MOP ne bénéficiant pas des technologies les plus récentes en matière d'hydrographie (sondeurs multifaisceaux, sonals numériques, GPS cinématiques etc...) les méthodes employées y sont classiques, voire "à l'ancienne", et ne nécessitent pas d'être détaillées ici. Les spécificités relatives aux différents types de travaux sont décrites au chapitre 4.

Un point particulier mérite cependant d'être soulevé : lors des travaux hydrographiques sur les passes des atolls ou îles avec barrière corallienne (surtout les passes étroites, exemple photo n° 8), la mesure de la marée pour la réduction des levés est particulièrement délicate : en effet, en raison du phénomène d'ensachage (les vagues de l'océan remplissent le lagon) et du contrôle hydraulique effectué par les passes (leur débit est limité), le niveau de la mer et l'amplitude de la marée sont sensiblement différents à l'intérieur et à l'extérieur des passes : par exemple pour des amplitudes typiques de la marée de l'ordre du mètre dans les Tuamotu, l'amplitude dans les lagons n'est souvent que de

quelques dizaines de cm. La configuration des passes, le manque de points de nivellement et le manque d'ouvrages depuis lesquels observer directement le niveau de la mer, ne permettent cependant pas d'installer suffisamment de marégraphes pour réaliser une modélisation fine, a posteriori, de la marée. A plusieurs occasions il a donc été nécessaire d'utiliser les marées prédites par l'EPSHOM (pour les zones de grands fonds) comme si elles étaient une observation, et de réduire les sondages avec cette marée océanique plutôt qu'avec la marée lagonnaire, ce qui va dans le sens de la sécurité, tout en prenant un pied de pilote de plusieurs dizaines de cm pour fixer le zéro de réduction de sonde afin de modéliser une situation où la hausse du niveau lagonnaire dû à l'ensachage serait nul (c'est-à-dire en l'absence de houle).

5.7.2. Géodésie

La MOP est quasiment le seul organisme qui entretient le réseau géodésique de Polynésie Française (RGPF), même si des compétences en la matière existent à l'université de Polynésie Française et à l'arrondissement maritime. En Nouvelle-Calédonie, la DITTT et l'université contribuent concrètement, mais ponctuellement, à l'entretien et à la croissance du réseau géodésique de Nouvelle-Calédonie (RGNC).

Durant la période, les rattachements de point à point ont été réalisés, sur des bases courtes comme sur des bases longues, au moyen de récepteurs GPS bifréquences Ashtech Z12 et MD12 dont les données ont été post-traitées par le logiciel Prism (dont l'abord est assez difficile mais, dont la restitution des informations est très complète et précise).

Les travaux de spatiopréparation, décrits au § 4.3, constituent une part assez importante des travaux récents de la MOP. Destinés au calage précis d'images satellitaires en vue de leur utilisation comme fond de carte, ces travaux ne nécessitent pas une grande expertise métier et permettent de faire participer à la collecte des données les personnels non hydrographes de la mission.

En fin de période, des GPS Aquarius ont été utilisés en mode cinématique (photo n° 9), pour des spatiopréparations, en parallèle à des GPS Ashtech pour pallier les pannes d'une partie de ces récepteurs. Le logiciel Geogenius a alors été utilisé pour les calculs a posteriori, le logiciel Prism ne connaissant pas le format issu des récepteurs Aquarius.

5.8. Formation

Compte tenu de la distance à la métropole, le personnel n'a reçu que peu de formation professionnelle durant son séjour dans le Pacifique.

Les exceptions sont les suivantes :

- la nécessaire formation, en interne, aux outils et logiciels utilisés par la mission (par exemple Tradoc ou Aqidoc NG) ;
- une initiation à la démarche qualité, dispensée par une société locale dans le cadre d'un contrat global passé par l'EPSHOM ;
- diverses formations dispensées au sein des bases navales (mécanique hors bord, HSCT, premiers secours...).

6. BILAN ET PERSPECTIVES

6.1. Travaux restant à réaliser

En Polynésie.

Le levé des passes navigables, des monts sous-marins avérés ou douteux, et des zones potentielles d'installations de coffres d'amarrage à proximité des atolls fermés, a été achevé avant le départ de l'*Arago*. Le programme des spatiopréparations est quasiment achevé.

L'hydrographie dans les eaux "intérieures" (les lagons et quelques baies) n'est que très partielle, se résumant en général au levé de la passe principale et de l'accès au village. Ces levés sont très utilement complétés par l'utilisation par le SHOM d'images satellitaires comme fond de carte, permettant à minima la navigation lagonnaire des embarcations de faible tirant d'eau. Cette production de "spatiocartes" doit donc continuer. La navigation de croisière en Polynésie a semblé avoir achevé sa croissance, et aucune nouvelle demande de levé lagonnaire au profit des paquebots n'a été émise durant la période. Quant à la navigation commerciale, l'accès au port de commerce de Papeete pour les grands navires ne pose pas de difficulté et les transports locaux inter-îles se font sur des voies maritimes bien rodées, et suffisamment bien hydrographiées.

Des zones non hydrographiées dans les eaux "extérieures" subsistent, en particulier aux Marquises, dont le levé est régulièrement demandé par la marine. Cependant le levé de ces zones ne peut être considéré comme primordial, et il est très difficile à réaliser avec les moyens de la MOP restant en Polynésie.

Malgré ce bilan, le maintien d'une base du SHOM en Polynésie reste jugé nécessaire, pour les raisons invoquées au § 3.4.

Dans le cadre de la convention entre l'Etat et le territoire, qui formalisera les relations entre la MOP et la cellule hydrographique territoriale, il est prévu la constitution d'une commission hydrographique de Polynésie Française : comme en Nouvelle-Calédonie, cette commission (consultative) aura alors un rôle primordial pour l'expression et la priorisation du besoin en nouveaux travaux hydrographiques.

En Nouvelle-Calédonie.

Les travaux nécessaires à la sécurité de la navigation dans les eaux "extérieures" de Nouvelle-Calédonie étaient également achevés au départ du BH2 *Laplace* en 1999. Le levé précis, au sondeur multifaisceaux, des tombants et des grands fonds extérieurs a lieu dans le cadre du programme ZONECO (programme d'évaluation des ressources marines de la zone économique de Nouvelle-calédonie), et sera poursuivi par le navire océanographique l'*Alis* de l'IRD Nouméa (photo en annexe III).

En ce qui concerne les eaux "intérieures" :

- le levé des voies recommandées prescrites par les instructions techniques d'avril 1998 est très avancé, toutefois le renforcement de la BHNC décidé en 2003 est nécessaire pour permettre que l'achèvement de ces travaux ne prenne pas de très nombreuses années ;

- les besoins exprimés en matière d'hydrographie générale ou civile, et recensés par la commission hydrographique, représentent un potentiel de plusieurs années de travaux qui ne devrait pas s'éteindre, car de nouveaux besoins apparaissent régulièrement ;
- de nombreuses zones restent peu ou pas hydrographiées, ce qui est, là aussi, partiellement contourné par l'utilisation d'images satellitaires comme fond de carte (moyen qui n'est toutefois pas parfaitement adapté à certaines zones turbides du lagon de la Grande Terre).

La commission hydrographique est un outil bien adapté au recueil des besoins hydrographiques, et il a été constaté lors des premières réunions de cette commission que ses membres font preuve de pragmatisme et de responsabilité dans l'arbitrage des priorités.

Dans les autres territoires français du Pacifique.

Les seules demandes de travaux exprimées durant la période concernent l'île de Clipperton : un scientifique de l'université de Nouvelle-Calédonie souhaiterait que soit réalisé un levé du lagon (isolé de la haute mer), ce qui ne semble possible, vu l'absence de port ou d'abri, qu'au moyen d'un hélicoptère transportant une embarcation légère de sondage directement d'un bâtiment vers ce lagon. Par ailleurs l'opportunité d'un levé des approches extérieures de Clipperton, lors du retour de l'*Arago* vers la métropole (via Panama), a été évaluée mais abandonnée devant la faible valeur ajoutée d'un tel levé, et pour des raisons logistiques.

6.2. Moyens techniques et humains

Mener de front les travaux hydrographiques demandés, la rédaction de levés anciens, l'entretien du matériel, la maintenance informatique, le recensement des besoins nouveaux et la réponse à de nombreuses sollicitations extérieures (liée à une expertise unique sur ces territoires) s'avère très difficile avec des équipes réduites et éloignées du soutien de l'EPSHOM. L'expérience de la période mi-2001 à mi-2003 a montré que, si la BHPF était correctement dimensionnée pour cela, la BHNC ne l'était pas et devait faire des choix et des impasses : en l'occurrence la rédaction a souffert, sans que les travaux n'avancent formidablement pour autant. En contrepartie la BHNC a réussi la mise en oeuvre de la convention Etat-territoire (déménagement à Numbo, mise en place de la commission hydrographique, communication et prise de contacts importants, aide à l'acquisition d'une VH civile et à la spécification du futur baliseur polyvalent) tout en achevant plusieurs levés entamés de longue date, et en satisfaisant aux demandes les plus urgentes (tels que l'assistance à une campagne de déminage, ou des travaux de vérification consécutifs au passage du cyclone Erica en mars 2003).

Sachant qu'une croissance globale de la MOP était difficilement envisageable dans le contexte du moment (réduction du potentiel de la marine dans le Pacifique, nécessité de croissance de la MOA avec l'arrivée des nouveaux BHO), il a été décidé, à bilan nul, de renforcer provisoirement la BHNC au détriment de la BHPF, et de mettre en oeuvre une politique de rapprochement des moyens de la MOP et de

ceux du Territoire en Polynésie Française, afin d'y atteindre à nouveau la taille critique. Dans l'attente de ce rapprochement, il apparaît souhaitable que la BHPF se concentre sur l'achèvement de la rédaction des levés anciens et diminue très significativement le volume de ses nouveaux levés.

Au bilan, et alors que la question du maintien ou non d'une mission du SHOM dans le Pacifique se pose nécessairement alors que les bâtiments hydrographiques n'y sont plus, de nombreux arguments militent en faveur de ce maintien, et ce quelles que soient les difficultés techniques rencontrées :

- de nombreuses zones de ces territoires demeurent parmi les moins bien hydrographiées de la ZEE française ;
- les autorités territoriales ne sont pas prêtes à prendre intégralement le relais, et souhaitent de toute façon s'appuyer sur un service expert comme le SHOM ;
- la présence des hydrographes du SHOM garantit la qualité des travaux, donc de la cartographie, qui reste de la responsabilité du SHOM ; elle garantit aussi la qualité et le maintien de la formation professionnelle des équipes territoriales ;
- une affectation à la MOP permet aux personnels du SHOM de découvrir des méthodes de travail différentes et d'y acquérir une plus grande autonomie ; elle est par ailleurs un élément incontournable de l'attrait de la spécialité d'hydrographe ;
- le coût du maintien de petites équipes comme la BHNC et la BHPF avec leur volume de fin 2003 est nettement inférieur à celui de la MOP des années 1990 ; la part d'investissement des autorités territoriales dans le soutien logistique de ces bases va d'ailleurs en augmentant ;
- la MOP constitue un exemple remarquable et souvent cité de collaboration entre l'Etat et les territoires français du Pacifique. Il s'agit d'un "laboratoire" pour de telles collaborations, d'ailleurs souvent visité par diverses autorités, et qui contribue au renom du SHOM.

ANNEXE I

Rapports particuliers publiés

Titre du rapport particulier	Référence
En Polynésie Française	
Reconnaissance des approches de deux points de débarquement et compléments de spatiopréparation à Niau (archipel des Tuamotu).	RP n° 262 MOP/NP du 22/11/2001 S200202100
Reconnaissance bathymétrique des îlots Marotiri, levé des sondes douteuses localisées au large de ces îlots, archipel des Australes sud.	RP n° 267 MOP/NP du 27/11/2001 S200206300
Travaux hydrographiques en baie d'Haurei, île de Rapa, archipel des Australes.	RP n° 275 MOP/NP du 13/12/2001 S200301100
Levé bathymétrique en transit en 2000.	RP n° 35 MOP/NP du 14/02/2001 S200303400
Travaux hydrographiques à Kaukura.	RP n° 36 MOP/NP du 14/02/2002 S200300400
Levé d'une voie recommandée dans le lagon de Fakarava (Archipel des Tuamotu) - du village de Rotoava à la passe de Tumakohua.	RP n° 44 MOP/NP du 19/02/2002 S200301200
Travaux hydrographiques et spatiopréparation sur l'atoll de Ahe. Archipel des Tuamotu.	RP n° 59 MOP/NP du 18/03/2002 S200302300
Travaux hydrographiques et spatiopréparation de l'atoll de Takapoto (Tuamotu).	RP n° 68 MOP/NP du 26/03/2002 S200301400
Travaux hydrographiques sur le Banc Président Thiers - Archipel des Australes.	RP n° 95 MOP/NP du 02/05/2002 S200300900
Travaux hydrographiques à Takaroa, archipel des Tuamotu.	RP n° 114 MOP/NP du 06/06/2002 S200301700
Recherche de sondes douteuses dans l'archipel des Tuamotu.	RP n° 120 MOP/NP du 10/06/2002 S200205400
Travaux hydrographiques au large de Rapa, archipel des Australes (banc Neilson, banc Maaki, sondes GEBCO).	RP n° 133 MOP/NP du 02/07/2002 S200300500
Géodésie et spatiopréparation dans l'archipel des Tuamotu des atolls de Anuanuraro, Anuanurunga et Nukutepipi (îles du Duc de Gloucester), de Tikei, d'Anaa et de Kaukura (îles Palliser).	RP n° 136 MOP/NP du 04/07/2002 S200205200
Travaux hydrographiques à Faratea, île de Tahiti.	RP n° 193 MOP/NP du 11/09/2002 S200303700
Travaux hydrographiques et spatiopréparation à Raraka, archipel des Tuamotu.	RP n° 235 MOP/NP du 05/11/2002 S200302000
Travaux hydrographiques et spatiopréparation à Faaite, archipel des Tuamotu.	RP n° 59 MOP/NP du 27/03/2003 S200303900
Travaux hydrographiques et spatiopréparation à Manihi, archipel des Tuamotu.	RP n° 103 MOP/NP du 06/06/2003 S200304300
Travaux hydrographiques à Arutua - archipel des Tuamotu.	RP n° 120 MOP/NP du 23/06/2003 S200304100

Titre du rapport particulier	Référence
Travaux hydrographiques à Raivavae - archipel des Australes.	RP n° 124 MOP/NP du 01/07/03 S200308100
Reconnaissance de la passe de Taenga et de ses approches extérieures, et compléments de spatiopréparation à Makemo (archipel des Tuamotu). Levé des abords du point de débarquement de l'atoll de Mataiva, archipel des Tuamotu.	RP n° 141 MOP/NP du 17/07/2003 S200307400 RP n° 149 MOP/NP du 28/07/2003 S200307500
Reconnaissance des approches de points de débarquement extérieurs aux atolls de Nihiru, Fangatau, Fakahina, Tatakoto, Reao, Pukarua, Vahitahi, Nukutavake, Reao, Pukarua, Vahitahi, Nukutavake, Tureia, Tematangi et Hereheretue (archipel des Tuamotu).	RP n° 152 MOP/NP du 29/07/2003 S200307600
En Nouvelle-Calédonie	
Reconnaissance de sites de plageage à Fayaoué (îles Loyauté - Ouvéa).	RP n° 48 MOP/NP du 21/02/2002 S200204200
Reconnaissance de sites de plageage en baie de Uala (île Art - Belep).	RP n° 49 MOP/NP du 21/02/2002 S200204100
Levé bathymétrique de la petite darse de la manoeuvre et des abords du nouvel appontement du BATRAL, à l'îlot Brun - base navale de Nouméa.	RP n° 50 MOP/NP du 21/02/2002 S200204000
Levé de voies recommandées aux abords de Nouméa - tronçon 1 au 109°/289°.	RP n° 147 MOP/NP du 22/07/2002 S200303300
Mesures de courant au profit de la Province Nord (Nouvelle-Calédonie) - tranche 1.	RP n° 93 MOP/NP du 06/05/2003 S200303600

ANNEXE II

Convention

Entre

- Le ministre de la Défense représentant le gouvernement de la République française, d'une part,
- La Nouvelle-Calédonie représentée par le président du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie d'autre part,

Vu

- la loi organique n° 99-209 du 19 mars 1999 relative à la Nouvelle-Calédonie ;
- la loi 99-210 du 19 mars 1999 relative à la Nouvelle-Calédonie ;
- le décret n° 62-811 du 18 juillet 1962 modifié, fixant les attributions du ministre des armées ;
- le décret n° 71-396 du 25 mai 1971 fixant les attributions du service hydrographique et océanographique de la marine ;
- le décret n° 77-1343 du 06 décembre 1977 modifié, portant organisation de l'administration centrale du ministère de la défense ;
- l'arrêté n° 2001-1394/GNC-Pr du 05 avril 2001 constatant la prise de fonction du président et du vice-président du gouvernement de Nouvelle-Calédonie ;
- l'instruction n° 172 DEF/EMM/PL/EG du 3 juillet 1989 relative à l'exécution par le service hydrographique et océanographique de la Marine de travaux et d'études spécifiques demandés par des organismes n'appartenant pas à la Défense ;
- vu le visa du 09 février 2001 donné par le délégué du gouvernement, haut-commissaire de la République en Nouvelle-Calédonie.

Sont convenu de ce qui suit :

ARTICLE 1 : Objet de la convention

Le service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), agissant pour le compte de l'Etat, et la Nouvelle-Calédonie décident de poursuivre en partenariat les travaux hydrographiques en Nouvelle-Calédonie nécessaires au développement économique et à la sécurité de la navigation, en mettant en commun leurs compétences respectives.

Les travaux sont réalisés par la base hydrographique de Nouvelle-Calédonie (BHNC), unité de la marine dépendant de la mission océanographique du Pacifique (MOP) et installée au sein de la direction des infrastructures de la topographie et des transports terrestres (DITTT).

La Marine par l'intermédiaire du SHOM fournit tous les moyens en personnels techniques et en équipements scientifiques indispensables pour la réalisation de levés aux normes internationales qui permettent l'entretien et la mise à jour de la documentation nautique officielle. La Nouvelle-Calédonie prend à sa charge les soutiens nautiques et terrestres par l'intermédiaire de la DITTT.

En tant que partenaire, la Nouvelle-Calédonie participe, par l'intermédiaire de la commission hydrographique mentionnée dans l'article 2, à la définition des orientations du programme annuel des travaux de la BHNC.

ARTICLE 2 : Activité de la BHNC

Un projet de programme annuel de la BHNC est préparé par le directeur de la mission océanographique du Pacifique (MOP) en fonction des demandes formulées par les différentes parties à la convention ou éventuellement par des tiers et des possibilités humaines, techniques et matérielles de la BHNC. Les demandes sont recueillies par le commandant de la Marine en Nouvelle-Calédonie.

Ce projet est ensuite examiné par une commission hydrographique dont la composition est du ressort de la Nouvelle-Calédonie ; elle peut indiquer des priorités aux projets de travaux et indiquer les moyens qu'il serait souhaitable de mettre en oeuvre.

Le projet, amendé des propositions de la commission hydrographique, est adressé au SHOM. Après approbation par le chef d'état-major de la Marine, le SHOM ordonne au directeur de la MOP les travaux de la BHNC.

Le directeur de la MOP est responsable de l'exécution de ces travaux en fonction des impératifs locaux liés à la sécurité, au matériel ou à la météorologie.

La Marine n'est pas responsable des retards dans l'exécution des travaux, en cas de force majeure ou de cas fortuit.

Les missions d'hydro-océanographie militaire restent prioritaires sur toute autre mission.

En cours d'année, des demandes urgentes et motivées de travaux pourront exceptionnellement être examinées par la commission hydrographique et adressées au SHOM par l'intermédiaire du directeur de la MOP pour inscription au programme de la BHNC.

ARTICLE 3 : Nature des apports fournis par les deux partenaires

3.1. L'Etat, par l'intermédiaire de la Marine, fournit les moyens spécifiques en personnel et en matériel nécessaires à la réalisation des travaux hydrographiques. Elle en assure la gestion et la maintenance. Elle s'engage ainsi à fournir :

- cinq personnes, trois techniciens hydrographes expérimentés et deux plongeurs constituant la BHNC, et à en assumer les salaires, l'alimentation et l'administration ;
- les instruments scientifiques et les logiciels dédiés, ainsi que le matériel électronique et les équipements spécifiques nécessaires pour l'acquisition et le traitement des données, dont le recueil a été ordonné ;
- l'entretien et la maintenance des équipements précités, ainsi que l'assistance technique associée ;
- le matériel nécessaire à l'activité, en toute sécurité, des plongeurs, et son entretien ;
- l'encadrement par un ingénieur hydrographe du SHOM qui se déplacera régulièrement à Nouméa. Les frais liés aux missions de cet ingénieur sont à la charge de la Marine (sur crédits SHOM) ;

Conformément à l'article 1 de la convention, la Nouvelle-Calédonie prend à sa charge les soutiens nautiques et terrestres. Cependant, dans un premier temps la Marine fournit à la BHNC :

- une vedette hydrographique type VH8, une embarcation légère type plate en aluminium et deux embarcations pneumatiques, et leur entretien ;
- trois véhicules : un véhicule de liaison et deux véhicules tout terrain, ainsi que leur entretien et leurs coûts de fonctionnement ;

Lorsque ces matériels arriveront à échéance, la Nouvelle-Calédonie assurera les coûts de fonctionnement et leur remplacement, (cf. paragraphe 3.3), à l'exception d'un des deux véhicules tout terrain qui reste à la charge de la Marine.

3.2. La Marine s'engage en outre à :

- assurer la production et la tenue à jour de la documentation nautique officielle couvrant les eaux de Nouvelle-Calédonie (cf. paragraphe 3.4) ;
- à définir les procédures de levé adaptées aux objectifs des travaux et en accord avec les normes internationales ;
- à transmettre l'ensemble des données acquises et traitées à la structure de gestion et de valorisation locale des données (SGVL) du programme d'évaluation des ressources marines de la zone économique de Nouvelle-Calédonie (ZoNéCo).

3.3. La Nouvelle-Calédonie assure la plupart des soutiens. Elle s'engage ainsi :

- à abriter la BHNC dans des locaux adaptés au traitement et à l'archivage des données et au stockage du matériel et à en assumer les coûts de fonctionnement (entretien, téléphone, électricité, etc) ;
- à mettre à la disposition de la BHNC, lorsqu'elle s'en sera dotée, un navire baliseur polyvalent entre 60 et 80 jours par an pour les travaux inscrits au programme de la BHNC. L'allocation exacte sera précisée tous les ans par accord entre les deux partenaires à la fin de l'année précédente afin de planifier l'activité de ce navire et de la BHNC ;
- à défaut du navire mentionné ci-dessus pendant des durées suffisantes, à mettre à disposition de la BHNC la vedette de travail *EUGENE MORIGNAT* entre 20 et 30 jours par an, pour réaliser les travaux inscrits au programme de la BHNC ;

Les mises à disposition du navire baliseur ou de la vedette précités pour les missions de la BHNC font l'objet d'une convention entre le directeur du SHOM et la Nouvelle-Calédonie.

- à mettre à la disposition de la BHNC, les véhicules et les embarcations arrivées à échéance (cf. paragraphe 3.1.) nécessaires à l'exécution des travaux dont la Nouvelle-Calédonie est bénéficiaire ;
- à assurer le maintien en état opérationnel des outils de bureautique (micro-ordinateur, onduleur, imprimante, suites logicielles de bureautique Pack Office version standard) à partir d'un inventaire établi et validé par le service des méthodes administratives et de l'informatique (SMAI) et ce dans le cadre des procédures en vigueur en Nouvelle-Calédonie.

3.4. La Nouvelle-Calédonie s'engage en outre à faire parvenir au SHOM (établissement principal), l'ensemble des informations utiles pour la tenue à jour de la documentation nautique officielle couvrant les eaux de la Nouvelle-Calédonie (cf. paragraphe 3.2).

ARTICLE 4 : Fonctionnement de la BHNC au sein de la MOP

Les ingénieurs hydrographes du SHOM sont personnellement garants de la qualité des levés et engagent leur responsabilité lorsqu'ils les valident. C'est pourquoi, la BHNC continuera à dépendre de la MOP et de son directeur technique.

La qualité, les règles d'exécution de chaque levé, les décisions concernant ce que l'on peut garantir comme tirant d'eau en assurant la sécurité de la navigation et en conservant une productivité optimale, resteront donc du ressort du directeur technique de la MOP qui viendra régulièrement contrôler, valider et orienter l'avancement des levés en cours.

Le chef de la BHNC, qui a suivi avec succès une formation homologuée en catégorie B selon les normes de compétences OHI/FIG (organisation hydrographique internationale/fédération internationale des géomètres) pour les hydrographes, est responsable de la bonne exécution technique des travaux hydrographiques prescrits dans le programme annuel.

ARTICLE 5 : Matériel

Chaque partie conserve la responsabilité de l'entretien de son matériel. Toutefois la Nouvelle-Calédonie prend à sa charge les opérations de mise en oeuvre et de fonctionnement (électricité, mise à disposition de local en tant que de besoin) pour une station "GPS différentiel/HF" de la MOP actuellement installée sur le pic du Mandjéla, le SHOM fournissant l'entretien et l'assistance technique à distance. Le remplacement éventuel de cette station ne sera pas assuré par la Marine.

ARTICLE 6 : Responsabilité

Chacune des parties prend à sa charge la réparation de l'ensemble des dommages de toute nature subis par son personnel ou matériel causés par le personnel ou matériel de l'autre partie, ainsi que la réparation des dommages causés à des tiers par son personnel ou matériel du fait ou à l'occasion des missions objets de la présente convention.

Chacune des parties s'engage à ne pas exercer de recours contre l'autre partie pour les chefs de préjudice cités ci-dessus, et à se garantir mutuellement, en cas de condamnations prononcées contre une des parties dans l'hypothèse où sa responsabilité viendrait à être recherchée, en raison des dommages relevant de l'autre partie.

Mise en oeuvre des embarcations

Les capitaines des navires mis à disposition de la BHNC par la DITTT sont responsables de la mise en oeuvre et de la sécurité de leurs bâtiments.

Les conditions d'utilisation des navires et embarcation mis à disposition par chacune des parties font l'objet de la convention citée à l'article 3, paragraphe 3.3.

Sur les embarcations de la Marine Nationale, le chef d'embarcation appartient au personnel de la Marine.

Mise en oeuvre des plongeurs

Les plongeurs de la Marine, sauf dérogation explicite d'ALFAN (amiral commandant la force d'action navale), plongeront uniquement dans le respect des règles établies par ALFAN et sous la responsabilité de la BHNC, selon les ordres édictés par le directeur de la MOP.

ARTICLE 7 : Déplacements

La Nouvelle-Calédonie prend à sa charge les frais de déplacement des personnels lors des déplacements occasionnés par les levés hydrographiques d'intérêt général, en Nouvelle-Calédonie c'est-à-dire les indemnités forfaitaires au en vigueur dans l'administration de la Nouvelle-Calédonie.

ANNEXE III

Photographies



Photo n° 1 : *L'Arago* à quai à Rapa, îles Australes, début 2001.



Photo n° 2 : VH8 hissée sur camion en vue d'un transport routier dans la base navale de Papeete.



Photo n° 3 : VH8 de l'*Arago* à l'oeuvre dans les Tuamotu.



Photo n° 4 : portique Sonal à l'arrière de la VH7 *Chambeyron* de la DITTT dans les ateliers de la BHNC à Nouméa.



Photo n° 5 : le baliseur polyvalent *Louis Hénin* de la DITTT.



Photo n° 6 : la vedette de travail *Eugène Morignat* de la DITTT.



Photo n° 7 : géodésie avec le concours d'un hélicoptère Super Puma de l'ETOM (Tuamotu).



Photo n° 8 : géodésie près d'une petite passe des Tuamotu.



Photo n° 9 : spatiopréparation au GPS Aquarius à l'aide d'un porte-bébé adapté comme "kit piéton" pour la circonstance.



Photo n° 10 : le navire océanographique l'*Alis* à quai à Papeete.



Photo n° 11 : le *Revi* aux îles Sous le Vent (Huahine) pour des travaux avec la MOP.

MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(1^{er} septembre 2001 – 31 juillet 2002)

par Henri DOLOU, ingénieur en chef des études et techniques de l'armement

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	7-3
2. CONTEXTE	7-3
2.1 Généralités	7-3
2.2 Présentation de la MOA	7-3
2.2.1 Environnement hiérarchique et organisation	7-3
2.2.2 Ressources humaines	7-3
3. TRAVAUX RÉALISÉS	7-3
3.1 Atlantique nord-est	7-3
3.1.1 Campagnes océanographiques POMME 1, 2 et 3	7-3
3.1.2 Campagne océanographique SEMANE_2001	7-4
3.1.3 Campagne océanographique GYROSCOPE CORIOLIS Phase 1	7-4
3.1.4 Campagne océanographique MODYCOT	7-4
3.1.5 Gravimétrie en transit du BO <i>D'Entrecasteaux</i> en 2000 et 2001	7-4
3.1.6 Marégraphie RONIM	7-4
3.2 Méditerranée	7-4
3.2.1 Levé d'environnement des chenaux d'accès au port de Toulon	7-4
3.2.2 Levé hydrographique de la petite rade de Toulon	7-4
3.2.3 Levés hydrographiques dans le port militaire de Toulon	7-4
3.2.4 Guidage du porte-avions <i>Charles de Gaulle</i>	7-5
3.2.5 Levé hydrographique aux abords du port du Cannier	7-5
3.2.6 Levés de plageages en Corse et en Provence	7-5
3.2.7 Levé de Sardaigne	7-5
3.2.8 Transits du BSR <i>Gazelle</i> en 2000 et 2001.....	7-5
3.2.9 Marégraphie RONIM	7-5
3.2.10 Géophysique en Méditerranée orientale (MEDOR 01)	7-5
3.3 Océan Indien.....	7-5
3.3.1 Courantométrie et marégraphie dans le détroit de Bab El Mandeb	7-5
3.3.2 Levés bathymétrique et d'environnement des environs de Djibouti (2001 - 2002)	7-5
3.3.3 Océanographie et levés hydrographiques au large du sultanat d'Oman (zone MARABIE 2002)	7-6
3.3.4 Courantométrie dans le détroit d'Ormuz	7-6
3.3.5 Levés bathymétriques d'opportunité	7-6
3.4 Zones multiples	7-6
3.4.1 Transits en Atlantique, Méditerranée et océan Indien en 2002	7-6
4. MOYENS FLOTTANTS, VÉHICULES	7-7
4.1 Moyens flottants	7-7
4.2 Véhicules.....	7-7
5. ÉQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES, MÉTHODES ET TECHNIQUES	7-7
5.1 Localisation, géodésie, topographie	7-7
5.2 Marégraphie, bathymétrie	7-7
5.3 Géophysique	7-7
5.3.1 Gravimétrie.....	7-7
5.3.2 Magnétisme	7-7
5.3.3 Sédimentologie	7-8

5.4	Météo-océanographie.....	7-8
5.4.1	Courantométrie	7-8
5.4.2	Bathysondages	7-8
5.4.3	Acoustique	7-8
5.4.4	Météorologie	7-8
5.4.5	Divers	7-8
5.5	Systèmes d'acquisition et de traitement de données.....	7-8
5.6	Informatique, réseaux, télécommunications	7-8
5.7	Méthodes, qualité, formations	7-8
5.8	Pertes de matériels	7-9
6.	ORGANISATION DE L'ACTIVITÉ	7-9
6.1	Programmation, contrôle de gestion	7-9
6.2	Conduite des levés hydrographiques et des campagnes d'océanographie	7-9
6.2.1	Levés hydrographiques	7-9
6.2.2	Campagnes océanographiques	7-9
7.	CONCLUSIONS	7-9
	ANNEXE I : liste des rapports des levés et campagnes	7-11
	ANNEXE II : principales zones d'activité	7-13
	ANNEXE III : illustrations photographiques	7-14

1. INTRODUCTION

Ce rapport rend compte de l'activité de la mission océanographique de l'Atlantique (MOA) du 1^{er} septembre 2001 au 31 juillet 2002, période pendant laquelle j'ai exercé les fonctions de directeur technique et de mission. Cette activité fut à forte dominante d'hydro-océanographie militaire, dont plus particulièrement un déploiement de 6 mois du bâtiment océanographique (BO) *D'Entrecasteaux* en Méditerranée (MEDOR 01) et en océan Indien (MARABIE 2002).

Il présente les travaux à la mer ou sur le terrain et leurs traitements effectués pendant la période considérée ainsi que les traitements des travaux antérieurs non achevés au départ des directeurs techniques précédents.

La MOA a essentiellement employé le BO *D'Entrecasteaux*. D'autres bâtiments ont cependant été mis à sa disposition comme les bâtiments de soutien de haute mer (BSHM) *Alcyon* et *Ailette* et le bâtiment d'expérimentation de la guerre des mines (BEGM) *Thétis*. Des missions ont également été conduites sur le chasseur de mines tripartite (CMT) *Persée* et l'engin de débarquement d'infanterie et de chars (EDIC) *Sabre*. Des missions ont enfin été également conduites à bord du navire *Marion Dufresne*.

La production de la MOA a été essentiellement dirigée vers l'établissement principal du SHOM (EPSHOM) pour y intégrer des bases de données avant exploitation pour réalisation de produits et services du SHOM. Certaines prestations furent cependant exécutées en direct au profit des forces comme celle de guerre des mines et le groupe aéronaval français.

2. CONTEXTE

2.1 Généralités

J'ai pris la direction et la direction technique de la MOA le 1^{er} septembre 2001 en remplacement de l'ICA Christophe Le Visage (voir AH 772). L'ingénieur sur contrat Yves Camus et l'IPA Jean Meyrat m'ont succédé respectivement en tant que directeur et directeur technique de la mission.

2.2 Présentation de la MOA

La MOA était placée sous l'autorité organique directe de la direction du SHOM. Elle comprenait deux unités : l'UOA (unité océanographique de l'Atlantique) et la BOM (base océanographique de la Méditerranée).

2.2.1 Environnement hiérarchique et organisation.

UOA

L'UOA, principale unité de la MOA, regroupait à Brest, au centre marine de la Villeneuve, puis en mai 2002, dans de nouveaux locaux situés dans la base navale (ancien bâtiment DIVENT restauré) :

- le service « hydrographie-océanographie » responsable de la conduite des levés et campagnes et du traitement des données,
- le service « logistique » responsable des équipements spécifiques, de l'informatique, des mises à disposition de logiciels et enfin de la préparation logistique des levés et campagnes.

BOM

La BOM qui était au début soutenue par la direction du port (DP) de Toulon fut ensuite rattachée organiquement à la base navale (BN de Toulon).

2.2.2 Ressources humaines.

UOA

Ses effectifs comprenaient des :

- ingénieurs et officiers : 6 au plan d'armement (7 dans la pratique : ICETA Henri Dolou, IPA Jean Meyrat, IETA Serge Lannuzel, IETA Daniel Levieuge pour la logistique, IETA Frédéric Herpers, IETA Mickaël Le Gléau, EV1 Gildas Delachienne),
- officiers mariners hydrographes (OMH) : 20 dont le MP Frank Verona qui assurait les fonctions de chef de la salle de dessin et de « coach » des officiers mariners hydrographes,
- officiers mariners, quartiers-maitres et matelots d'autres spécialités (mécaniciens, manoeuvriers, radio, détecteur anti-sous-marins, informaticiens) : 14.

Total : 40

Observations :

- l'UOA devait connaître une période à fort déficit en OMH, elle s'est ainsi trouvée, à l'automne 2001, avec un effectif réel de 13 OMH sur 20. L'encadrement supérieur avait en particulier été touché, il ne restait ainsi plus aucun premier-maitre sur 5 (personnel occupant nominalement les fonctions de chef d'équipe). L'effectif moyen en OMH pendant la période considérée fut de 14 OMH soit 30 % en dessous de l'effectif autorisé. Cette situation était néanmoins gérable dans la mesure où, depuis le retrait de service du BH1 *l'Espérance*, la participation de la MOA aux missions de bâtiments d'opportunité était flexible et qu'il était possible, pour certaines (ex : *Marion Dufresne 2*), d'y renoncer,
- s'il manquait un ingénieur logisticien (2 au plan d'armement), l'UOA bénéficiait cependant de deux jeunes (sortie d'école) ingénieurs hydrographes en supplément. Cette situation offrit globalement un potentiel important d'étude mis à profit pour des activités de fond méthodologiques et d'amélioration de chaînes de traitement de données (gravimétrie : IPA Jean Meyrat, multifaisceaux Fansweep : IPETA Serge Lannuzel, acquisition de données Hypack : IETA Frédéric Herpers, sonar latéral numérique : EV1 Gildas Delachienne).

BOM

Ses effectifs comprenaient :

- un officier marinier hydrographe : le PM Camerlo, chef de base,
- deux autres officiers mariners : un de spécialité mécanicien, l'autre manoeuvrier.

Total : 3

3. TRAVAUX RÉALISÉS

3.1 Atlantique nord-est

3.1.1 Campagnes océanographiques POMME 1, 2 et 3.

Les campagnes POMME s'inscrivaient dans un cadre multidisciplinaire et pluriorganismes (CNRS dont INSU, Ifremer, Météo France, SOC : Southampton oceanography center) et se sont déroulées en Atlantique nord-est.

POMME 1

Cette campagne de courantométrie (travaux à la mer réalisés sous la direction de l'ICA Le Visage avec l'IPA Jérôme Paillet comme directeur scientifique de POMME) en mode L-ADCP (lowered acoustic doppler current profiler) s'est déroulée du 4 février au 9 mars 2001 sur le BO *D'Entrecasteaux*. Les mesures ont fait l'objet d'un rapport de présentation de données référencé en annexe.

POMME 2

Conduite dans les conditions précédemment décrites, cette campagne (POMME 2_01) a permis de recueillir des données hydrologiques (P, T, S, fluo) à bord du BO *D'Entrecasteaux* du 25 mars au 7 mai 2001. Les mesures ont fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

POMME 3

Toujours dans le cadre de coopération cité ci-dessus cette campagne comprenait le repêchage et le mouillage de flotteurs, bouées et sources acoustiques, des radiales Seasoar (poisson remorqué) et le mouillage d'un courantomètre. Elle a été conduite à partir du BSHM *Ailette* du 29 août au 2 octobre 2001 (le NO *Thalassa* de l'Ifremer participait de façon simultanée à cette campagne). Les mesures ont fait l'objet d'un rapport de campagne et d'un rapport particulier (données Seasoar) référencé en annexe.

3.1.2 Campagne océanographique SEMANE_2001.

Les grands objectifs de cette campagne (ici les résultats d'hydrologie) menée en coopération avec l'Ifremer (travaux à la mer réalisés sous la direction de l'ICA Christophe Le Visage) étaient d'étudier les propriétés des veines d'eau méditerranéennes dans le proche Atlantique en aval de leur sortie au détroit de Gibraltar. Elle s'est déroulée du 13 juin au 13 juillet 2001 sur le BO *D'Entrecasteaux*. Les mesures (trois médies et deux cyclones détectés) ont fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.1.3 Campagne océanographique GYROSCOPE CORIOLIS Phase 1.

Les objectifs de cette campagne menée en coopération avec l'Ifremer, l'université de Bretagne occidentale et le CNRS étaient de relever des lignes courantométriques, des balises de positionnement acoustique, de repêcher des flotteurs et des bouées Marisondes et enfin de mouiller une bouée Surdrift. Elle s'est déroulée du 5 au 29 novembre 2001 sur le BSHM *Alcyon*. Les travaux réalisés mais aussi les pertes de matériels constatées ont fait l'objet d'un rapport de campagne référencé en annexe.

3.1.4 Campagne océanographique MODYCOT.

Les objectifs de cette campagne MODYCOT (modélisation de la dynamique côtière) étaient le mouillage et la récupération de deux cages anti-chalutage équipées de courantomètres doppler. Ces opérations se sont soldées par deux échecs. Les travaux ont été conduits à partir du BSHM *Alcyon* d'une part les 20 et 21 mars 2002 et d'autre part les 17 et 18 juin 2002. Le détail des opérations est consigné dans les trois rapports de campagne référencés en annexe.

3.1.5 Gravimétrie en transit du BO *D'Entrecasteaux* en 2000 et 2001.

Les deux rapports particuliers référencés en annexe présentent les mesures de gravimétrie réalisées au cours de transits effectués à l'occasion de campagnes diverses (GEOGRAV, SEMANE, POMME) en Atlantique nord-est conduites à partir du BO *D'Entrecasteaux* (travaux à la mer réalisés sous la direction de l'ICA Christophe Le Visage).

3.1.6 Marégraphie RONIM.

Dans le cadre du projet RONIM la mission a apporté son concours à l'EPSHOM pour le contrôle de marégraphes côtiers numériques : Brest, Le Conquet, Le Crouesty.

3.2 Méditerranée

3.2.1 Levé d'environnement des chenaux d'accès au port de Toulon.

Ces travaux ont été conduits pour le compte des forces de guerre des mines dans les chenaux d'accès au port de Toulon à partir du BEGM *Thétis* en juin et septembre 2001. Les besoins à satisfaire concernaient essentiellement la nature du fond. De nouveaux systèmes d'acquisition et de traitement numérique de données de sondeur latéral ont été mis en oeuvre permettant de fournir aux forces des données numériques (ex : mosaïques) exploitables par leurs propres systèmes d'exploitation d'information. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

Nota : les mesures bathymétriques effectuées à partir d'un sondeur Furuno, ne répondant pas aux normes de qualité pratiquées en hydrographie, n'ont pu être exploitées.

3.2.2 Levé hydrographique de la petite rade de Toulon.

Ce levé (bathymétrie, topographie) qui concernait la petite rade de Toulon a été réalisé à la demande de CECMED (commandant en chef pour la Méditerranée) afin de préparer l'arrivée à Toulon du porte-avions *Charles de Gaulle*. Il a été conduit par la BOM entre le 8 décembre 1998 et le 24 février 1999 (IPA Michel Even, ICA Christophe Le Visage). L'investigation (310 points pour un seuil de 11,5 m) et le retrait d'obstructions se sont terminés le 20 décembre 2000. Les travaux ont été conduits en concertation avec différents services de la marine en particulier le groupe des plongeurs démineurs de la Méditerranée (GPD MED). Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.2.3 Levés hydrographiques dans le port militaire de Toulon.

Darse Missiessy

Ce levé (bathymétrie, sondeur latéral, topographie) a été réalisé à la demande de la direction des travaux maritimes de Toulon (zone de manoeuvre de porte de bassin) par la BOM avec sa coralline entre le 7 et 10 décembre 1999. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

Quai de l'Artillerie

Ce levé (bathymétrie, topographie) a également été réalisé à la demande de la direction des travaux maritimes de Toulon (construction d'un nouveau quai et dragage) par la BOM avec sa coralline les 17 et 24 octobre 2001. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier simplifié référencé en annexe.

3.2.4 Guidage du porte-avions *Charles de Gaulle*.

L'échelon de la BOM, en mettant en oeuvre un système de guidage précis, a apporté son concours pour la sortie du bassin du porte-avions *Charles de Gaulle* le 11 octobre 2001.

3.2.5 Levé hydrographique aux abords du port du Cannier.

Ce levé (bathymétrie, topographie, nature du fond) a été réalisé dans la presqu'île de St-Mandrier à la demande de la direction des travaux maritimes de Toulon (définition d'un chenal) par la BOM avec sa coralline entre le 24 août et le 1^{er} septembre 1999. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.2.6 Levés de plageages en Corse et en Provence.

Corse 2000 et 2002

A la demande de la flottille amphibie (FLOPHIB) des relevés de plage ont été conduits pour permettre l'échouage de bâtiments spécialisés de la marine nationale (CTM, EDIC, CEDIC).

En 2000, les sites hydrographiés, entre le 28 septembre et le 4 octobre (ICA Christophe Le Visage), étaient situés dans le golfe de Roccapina et celui de Sant'Amanza. Le levé a été conduit à partir de l'EDIC *Sabre* et a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

En 2002, dans les mêmes conditions que précédemment, des plages situées dans le golfe de Propriano et dans la région de Solenzara ont été hydrographiées du 11 au 26 mars. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

Provence 2000 et 2001

Toujours à la demande de la flottille amphibie des relevés de plage ont été conduits à Fréjus et dans la baie de Cavalaire-sur-Mer. Les sites ont été hydrographiés en coralline, d'une part entre le 30 août et le 16 septembre 2000 et d'autre part entre le 24 et le 27 septembre 2001. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.2.7 Levé de Sardaigne.

Ce levé (bathymétrie monofaisceau, magnétisme, bathythermie) a été conduit sous la direction de l'ICA Christophe Le Visage à partir du BSR *Gazelle* entre le 7 mai et le 27 juin 2001. La zone explorée est comprise entre la Sardaigne, la Sicile et la Tunisie. Il s'agissait des derniers travaux réalisés par la *Gazelle* au profit du SHOM. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.2.8 Transits du BSR *Gazelle* en 2000 et 2001.

Les transits entre Toulon et les zones de travail de 2000 et 2001 ont été mis à profit pour recueillir des données bathymétriques consignées dans le rapport particulier simplifié référencé en annexe.

3.2.9 Marégraphie RONIM.

Dans le cadre du projet RONIM, à la demande de l'EPSHOM, la BOM a apporté son concours le 27 novembre 2001 pour le contrôle du nivellement du MCN d'Ajaccio (BAN Aspretto) en Corse. Ces travaux étaient rendus nécessaires : à la suite des travaux de renforcement de l'installation qui avaient eu lieu et en prévision du lancement du satellite Jason 1 (l'observatoire étant utilisé lors de sa phase de calibration). Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier simplifié référencé en annexe.

3.2.10 Géophysique en Méditerranée orientale (MEDOR 01).

Ce levé avait pour principal objectif le contrôle (validation, qualification) et la détermination éventuelle de corrections de mesures gravimétriques réalisées par des organismes civils français à bord du NO *Atalante* de l'Ifremer. Il s'agissait aussi de recueillir de nouvelles mesures dans les zones non couvertes et, selon besoin, de densifier les levés existants.

Le levé a été conduit avec le BO *D'Entrecasteaux* entre le 6 novembre et le 7 décembre 2001 puis pour un dernier profil les 7 et 8 janvier 2002. Des mesures de magnétisme ont également été réalisées. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier simplifié référencé en annexe. L'ensemble de la chaîne de traitement a été revu par l'IPA Jean Meyrat et de nouvelles procédures rédigées. La stratégie de contrôle de levés externes a fait l'objet de retours d'expérience.

3.3 Océan Indien

3.3.1 Courantométrie et marégraphie dans le détroit de Bab El Mandeb.

Le rapport particulier simplifié référencé en annexe détaille les travaux réalisés en janvier et avril 2002 à partir du BO *D'Entrecasteaux* à savoir :

- mouillage de deux marégraphes grand fond en mer Rouge (des mesures de marée de longue durée étaient réalisées en parallèle dans le port de Djibouti),
- mouillage d'un courantomètre doppler dans le détroit (ce dernier n'a cependant pas fonctionné),
- observation de courants avec les deux courantomètres de coque à effet doppler (VMADCP) du BO *D'Entrecasteaux* depuis le NW des îles Hanish jusqu'à l'ouvert du détroit dans le golfe d'Aden.

Nota : les déplacements du BO *D'Entrecasteaux* ont été mis à profit pour conduire simultanément des mesures de bathymétrie et de gravimétrie dont les résultats sont consignés dans des rapports distincts (voir MARABIE 2002).

3.3.2 Levés bathymétrique et d'environnement des environs de Djibouti (2001 - 2002).

Ces levés comprenaient un ensemble de travaux destinés à la mise à jour (bathymétrie, topographie) des cartes marines françaises de la région de Djibouti et au recueil de données d'environnement pour le compte des forces de guerre des mines en prévision du passage du groupe aéronaval français.

Ils ont été conduits d'une part :

- entre le 3 et le 14 décembre 2001 à partir du CMT *Persée* à bord (photo n° 11) duquel avait embarqué une équipe de la MOA et d'ALFAN/CDF/Mines, ce levé peut être qualifié de REA (rapid environmental assessment),
- entre le 27 janvier et le 5 février 2002 à partir du BO *D'Entrecasteaux* et sa drôme.

Les travaux ont eu lieu dans les zones suivantes :

- nouveau port de pêche de Djibouti,
- zone large de Djibouti pouvant convenir au mouillage du groupe aéronaval français,
- mouillage des Boutres (photo n° 3) à l'extrémité ouest du golfe de Tadjoura ainsi qu'un passage de contrôle bathymétrique du BO *D'Entrecasteaux* dans le Ghoubbet El Kharab (photo n° 2).

Les levés ont fait l'objet de rapports particuliers référencés en annexe.

3.3.3 Océanographie et levés hydrographiques au large du sultanat d'Oman (zone MARABIE 2002).

Hydrologie et acoustique

Le rapport particulier référencé en annexe fournit les résultats obtenus, au large d'Oman, par bathysondage *Seasoar* remorqué par le BO *D'Entrecasteaux* entre le 10 mars et le 4 avril 2002 lors d'une évaluation d'un REA. Ce REA mené conjointement par la MOA et l'EPSHOM (coordonnateur : ISC Yves Camus) avait pour objectifs de :

- mettre en évidence les domaines à améliorer (planification, gestion des interférences sous-marines, relations avec alliés, implications avec la convention sur le droit de la mer...),
- collecter les informations indispensables à l'élaboration d'un modèle réaliste d'environnement,
- valider ce modèle d'environnement par des mesures acoustiques très basses fréquences,
- déterminer les zones favorables (ou défavorables) à une détection acoustique par réflexions bathymétriques.

La campagne comprenait plusieurs phases :

1. collecte de données (transmission temps réel vers les équipes de l'EPSHOM chargées de la modélisation et la cellule d'environnement de la marine) avec recherche de structures tourbillonnaires et déploiement de flotteurs lagrangiens,
2. soutien à un déploiement aérien organisé par l'EPSHOM (2 vols d'Atlantique 2 de la patrouille maritime),
3. mesures acoustiques,
4. nouvelle collecte de données d'environnement de contrôle des prévisions océaniques.

Nota : la campagne, si elle pu atteindre les objectifs d'évaluation d'un REA, fut néanmoins perturbée du fait des activités de la coalition contre les réseaux du terrorisme dans la région suite aux événements du 11 septembre 2001. Le BO *D'Entrecasteaux* participa ainsi, par sa présence sur zone pendant plus trois mois, au soutien de l'opération « Héraclès ». L'attribution de la médaille commémorative française fut accordée à l'ensemble du personnel embarqué : bord et mission océanographique du SHOM.

Bathymétrie

Le rapport particulier simplifié référencé en annexe fournit les résultats obtenus, au large du sultanat d'Oman, par le sondeur monofaisceau du BO *D'Entrecasteaux* lors d'un transit le 10 février 2002 puis lors de l'évaluation d'un REA (rapid environmental assessment) du 9 mars au 4 avril 2002.

Nota : un levé planifié n'a pu être conduit faute d'autorisation de le conduire dans la ZEE Omanaise. Il s'agit du levé de Masirah qui devait étudier la possibilité de mouillage du groupe aéronaval français.

Magnétisme

Le rapport particulier simplifié référencé en annexe fournit les résultats obtenus, au large du sultanat d'Oman, par un magnétomètre SMM II Thomson Geomag remorqué par le BO *D'Entrecasteaux* lors d'un transit les 9 et 10 février 2002 puis lors d'une évaluation d'un REA du 10 mars au 4 avril 2002.

3.3.4 Courantométrie dans le détroit d'Ormuz.

Le rapport particulier simplifié référencé en annexe fournit les résultats obtenus par les deux courantomètres de coque à effet doppler (VMADCP) du BO *D'Entrecasteaux* lors du franchissement du détroit le 12 février 2002 en entrée dans le Golfe Persique et les 7 et 8 mars 2002 en sortie vers l'océan Indien.

3.3.5 Levés bathymétriques d'opportunité.

Golfe d'Aden et mer d'Arabie (ENCENS-SHEBA)

Ce levé correspond à des travaux d'opportunité réalisés à bord du P/R *Marion-Dufresne* du 3 juin au 17 juillet 2000 dans la zone intermédiaire du golfe d'Aden et de la mer d'Arabie. Il a été conduit dans le cadre du protocole SHOM-IFRTP (institut français de recherche et de technologie polaires devenu plus tard IPEV : institut Paul-Emile Victor) n° 001/00. Deux opérateurs de la MOA étaient à bord pour assurer l'acquisition des capteurs scientifiques pendant la campagne. La MOA a traité les données bathymétriques (sondeur multifaisceaux Sea Falcon de TMS). Ce levé ne respecte pas les critères habituels de qualité des levés hydrographiques du SHOM, il apporte néanmoins une connaissance générale morphologique dans une zone méconnue. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

Transit entre les îles de la Réunion, Amsterdam, Saint-Paul, Kerguelen, Crozet et l'Afrique du Sud (OISO6)

Ce levé de bathymétrie correspond également à des travaux d'opportunité réalisés à bord du *Marion-Dufresne* du 2 janvier au 1^{er} février 2001. Le levé a fait l'objet d'un rapport particulier référencé en annexe.

3.4 Zones multiples

3.4.1 Transits en Atlantique, Méditerranée et océan Indien en 2002.

Bathymétrie, magnétisme, bioluminescence

Le rapport particulier référencé en annexe détaille les travaux de bathymétrie, de magnétisme, de bioluminescence et

de luminosité nocturne réalisés à partir du BO *D'Entrecasteaux* entre le 3 janvier (appareillage de Toulon) et 30 avril 2002 (retour à Brest) lors de ses transits dans le cadre du déploiement MARABIE 2002.

Gravimétrie

Le rapport particulier simplifié référencé en annexe détaille les travaux de gravimétrie réalisés à partir du BO *D'Entrecasteaux* entre le 3 janvier et 30 avril 2002 en particulier ceux de la zone MARABIE 2002 (9 mars - 4 avril 2002).

4 MOYENS FLOTTANTS, VÉHICULES

4.1 Moyens flottants

BO *D'Entrecasteaux*

Le BO *D'Entrecasteaux* fut commandé par le capitaine de frégate Anne Cullère. Principal vecteur d'intervention à la mer de la MOA, ce bâtiment connu d'importants problèmes de propulsion en particulier en mer Rouge lors de son transit vers la mer d'Arabie. La présence de moyens de la marine sur zone (*Loire, Jules Verne*) lui permit néanmoins de remplir les missions prévues.

Le bâtiment était adapté aux campagnes d'océanographie et de géophysique ; non équipé de sondeurs multifaisceaux, il l'était beaucoup moins pour l'hydrographie. Ses trois vedettes, elles mêmes toujours équipées de sondeurs monofaisceaux, n'avaient aussi que des capacités à l'hydrographie du passé. Ces vedettes étaient par ailleurs très souvent indisponibles.

Le BO *D'Entrecasteaux* innova en matière d'entretien en réalisant, hors de France, un passage au bassin à Bahrein (photo n° 1).

BSHM *Alcyon* et *Ailette*

Ces bâtiments offraient toutes les capacités requises pour les opérations de mouillages et de relevage de lignes océanographiques ainsi que le remorquage d'engin d'exploration comme le *Seasoar*. Ils étaient cependant inaptes à l'hydrographie.

BEGM *Thétis*, CMT *Persée*

Ces bâtiments d'opportunité ont permis de recueillir des données d'environnement, l'absence de sondeurs hydrographiques a néanmoins limité leur capacité de recueil de données.

UOA-VH 90

Cette vedette (photo n° 12) était mise à disposition par la mission hydrographique de l'Atlantique. Malgré l'important potentiel accordé à son entretien, elle fut indisponible pendant toute l'année 2001 interdisant ainsi les levés prévus en Manche ouest. Elle fut essentiellement utilisée à Brest, en 2002, pour les essais du sondeur multifaisceaux Fansweep 20 d'Atlas.

BOM

La BOM disposait d'une VH9 et d'une coralline (moteurs de 20 et 50 CV).

4.2 Véhicules

UOA

L'UOA disposait d'une fourgonnette J5, d'un véhicule tout-terrain Auverland, d'une 405 et d'un Master avec remorque pour coralline.

BOM

La BOM disposait d'un Boxer Combi avec remorque pour coralline.

5. ÉQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES, MÉTHODES ET TECHNIQUES

Ce chapitre rappelle les principaux équipements utilisés par la mission. On ne saura trop rappeler l'importance de la logistique dans le succès des opérations. Celles-ci devaient être parfois conduites simultanément sur plusieurs bâtiments dans des zones très éloignées. Le service logistique de la MOA était dirigé par l'IETA Daniel Leveuge.

5.1 Localisation, géodésie, topographie

La localisation était réalisée au GPS avec des récepteurs Aquarius, Sercel NR 103, et Ashtech Z12. Des dispositifs DGPS pouvaient être activés (par satellite avec Seastar ou par station terrestre UHF).

5.2 Marégraphie, bathymétrie

La marée pouvait être observée par des marégraphes plongeurs autonomes installés dans des cages petits ou grands fonds : SLS 23 de Suber, OT660 de Mors.

La bathymétrie fut essentiellement fournie par des sondeurs monofaisceaux : Atlas Deso 20 (BO *D'Entrecasteaux* et VH), Deso 17 (essai Hypack), Simrad EA300P, Raytheon (BO *D'Entrecasteaux*).

Les tentatives d'emploi d'un sondeur Furuno, mis à disposition par DCN pour le BEGM *Thétis* et le CMT *Persée*, ne permirent pas d'obtenir de données de qualité suffisante.

Un sondeur multifaisceaux fut néanmoins exploité pour essai sur la VH90 : un Fansweep 20 d'Atlas (centrales d'attitude Seapath 200 de Seatex, Octans d'Ixsea, TSS POS/MV HDMS). Beaucoup de potentiel y fut consacré, un logiciel de traitement manqua cruellement. Aucun levé opérationnel ne fut conduit avec ce sondeur.

5.3 Géophysique

5.3.1 Gravimétrie.

Les mesures (BO *D'Entrecasteaux*) ont été réalisées par un gravimètre marin KSS31 de Bodenseewerk. Les calages gravimétriques étaient effectués à l'aide d'un gravimètre terrestre Scintrex.

5.3.2 Magnétisme.

Les mesures étaient réalisées par un magnétomètre SMM II de Thomson Geomag.

5.3.3 Sédimentologie.

Différents moyens pouvaient être utilisés :

- le sonar latéral EGG TD272 couplé au système d'acquisition et de traitement Isis Sonar associé (photo n° 11),
- le sondeur de sédiments du BO *D'Entrecasteaux*,
- le système RoxAnn de classification des fonds (logiciel de traitement et d'analyse Traitox) connecté aux bases de sondeurs verticaux,
- la benne Shipeck,
- le carottier Kullenberg (photo n°6),
- les plongeurs (observation visuelle, prélèvements manuels).

5.4 Météo-océanographie

5.4.1 Courantométrie.

Les mesures de courantométrie furent conduites :

- au point fixe avec des profileurs de courants ADP Nortek installés dans des cages,
- en transit en deux occasions (détroits de Bab El Mandeb et d'Ormuz) à partir des courantomètres de coque du BO *D'Entrecasteaux*.

5.4.2 Bathysondages.

Seasoar

Les bathysondages furent essentiellement conduits en mettant en oeuvre le poisson remorqué Seasoar (photo n° 7).

Bathysondes, sondes perdables

Il n'y a pas eu de mise en oeuvre de bathysondes (hormis celle du Seasoar) pendant la période considérée. Soit les données Seasoar convenaient mieux soit l'emploi de sondes perdables (XBT, XCTD) s'avérait suffisant. Des sondes AXBT, AXCTD et CMOD furent par ailleurs utilisées à partir d'un avion Atlantique 2 pendant la campagne MARABIE.

Bathycélérimètres

Des bathycélérimètres (Mors SV 60) ont également été utilisés pour les besoins de la bathymétrie.

5.4.3 Acoustique.

Les mesures de la campagne MARABIE 2002 ont été réalisées en mettant en oeuvre le système Télémaque (photos n° 8, 9 et 10) de l'EPSHOM composé d'une source d'émission Intimate et une bouée d'écoute.

5.4.4 Météorologie.

Les mesures étaient réalisées avec des centrales météo Milos (Vaissala). Pour les besoins de la campagne PREVI-LUNO un luxmètre IL 1700 a été mis en oeuvre.

5.4.5 Divers.

Des flotteurs furent utilisés : Surdrift, APEX.

5.5 Systèmes d'acquisition et de traitement de données

Acquisition

Les principaux systèmes d'acquisition de données étaient les suivants :

- Aqidoc_NG
- Hypack qui devait mobiliser beaucoup de potentiel (mais cela s'avéra un excellent investissement)
- Isis Sonar (sonars latéraux)
- Delph Seismic (sondeur de sédiments)
- Hydromap Online (Fansweep 20)

Traitement

Les principaux systèmes de traitement de données étaient les suivants :

- Tradoc
- Hypack
- Circe (traitement de la bathymétrie SMF)
- Caris (Fansweep 20)
- Caraibes
- Isis Sonar (sonar latéraux)
- Delph Map

5.6 Informatique, réseaux, télécommunications

Des réseaux informatiques embarqués étaient mis en place avec les équipements informatiques classiques (stations, PC, traceurs, imprimantes, supports stockage importants, tour de gravage...).

Des connexions Inmarsat (courriel, fichiers) étaient disponibles (emploi de station Inmarsat Mini M pour les BSHM). Ces capacités devaient permettre :

- de réduire les équipes embarquées pour les campagnes d'océanographie (les experts de l'EPSHOM pouvant être facilement joignables),
- d'optimiser les travaux à la mer (observation satellitaire permettant de reconfigurer les réseaux d'observations dans les zones les plus intéressantes),
- de transférer en temps réel les observations réalisées au cours d'opération de type REA.

5.7 Méthodes, qualité, formations

La mise en oeuvre de capteurs a toujours été l'occasion de préciser les conditions dans lesquelles devaient se conduire les mesures pour répondre aux besoins. De nombreuses procédures (mise en ligne sur l'Intranet du SHOM « Agora ») furent ainsi rédigées en particulier :

- deux procédures relatives à la mise en oeuvre et au traitement des données océanographiques issues du Seasoar,
- une procédure relative au traitement des bathysondes,
- une procédure relative à l'emploi du courantomètre L-ADCP,
- une nouvelle procédure relative à la conduite des levés de plage,
- une procédure relative à la rédaction de produits au profit de FLOPHIB (fruit d'une collaboration avec COMFLOPHIB),
- trois fiches furent rédigées en matière de gravimétrie, elles concernaient :
 - le lissage des données,
 - les procédures de validation des levés gravimétriques extérieurs au SHOM,
 - les déterminations de la dérive des gravimètres et de la pesanteur absolue.

La MOA participa enfin à la rédaction des cahiers des charges des futurs outils de traitement de marégraphie, de courantométrie et de contrôle des données de bathymétrie développés par l'EPSHOM.

Des formations accompagnèrent les nouvelles mises en oeuvre de capteurs et d'outils de traitement en particulier pour : Aqidoc, Tradoc, Argos, GMT, Hypack, RoXann, Fansweep 20, Geogenius ...

5.8 Pertes de matériels

Même si les pertes de matériels ne sont pas très nombreuses (courantomètres de campagnes océanographiques), celles-ci constituent néanmoins des événements dont les coûts, au-delà de la valeur des appareils eux-mêmes, peuvent être très élevés quand il est tenu compte des temps navires consacrés aux opérations à la mer et des mesures perdues.

Les mesures préventives mises en oeuvre comme la conception de cages anti-chalutage n'ont pas toujours été suffisantes.

6 ORGANISATION DE L'ACTIVITÉ

6.1 Programmation, contrôle de gestion

La mission recevait un programme annuel en regard duquel elle devait rendre compte mensuellement (compte rendu périodique d'activité : CPA) et annuellement (rapport annuel d'activité) en justifiant les écarts entre les prévisions et les résultats. Une attention particulière était portée aux potentiels navires et unités d'oeuvre des personnels. Les écarts furent parfois importants : potentiel OMH réduit, levés imprévus demandés par les forces, indisponibilité de vedettes, non autorisation de travaux dans les eaux étrangères, sous-estimation de travaux de traitement de données, conditions météorologiques...

6.2 Conduite des levés hydrographiques et des campagnes d'océanographie

6.2.1 Levés hydrographiques.

Ces levés étaient conduits en totalité par la mission avec ses personnels et ses moyens matériels autonomes. Les résultats communiqués à l'EPSHOM étaient constitués de données validées et qualifiées prêtes à être intégrées dans les bases de données. Le directeur technique de la mission engageait sa responsabilité pour ces données.

6.2.2 Campagnes océanographiques.

A la différence des levés hydrographiques, ces campagnes nécessitaient des organisations plus ouvertes pour les raisons suivantes :

- ces campagnes étaient souvent organisées en coopération avec d'autres organismes (Ifremer, CNRS...), un responsable scientifique de campagne pouvait être nommé, les responsabilités entre ce dernier et le directeur technique de la mission (ou son représentant embarqué) devaient alors être précisées,

- la mission n'avait pas toujours toutes les compétences nécessaires (ex : sédimentologie, préparation de mouillages, acoustique...).

Ces campagnes furent pour la mission l'occasion de prendre à sa charge de plus en plus de tâches auparavant conduites exclusivement par l'EPSHOM, en particulier pour la planification des moyens à la mer et l'exécution même des opérations, dès lors qu'il s'agissait de mises en oeuvre de capteurs à emploi récurrent (ex : Seasoar). Du moins pour les acquisitions de données à la mer, les ingénieurs et officiers mariners hydrographes se devaient, en terme de compétence, devenir hydro-océanographes.

Le maintien des compétences (dont celle des logisticiens chargés du maintien en condition opérationnelle des systèmes de mesure) pouvait cependant devenir problématique lors de mutations ou quand un matériel n'était que très rarement utilisé. Il aurait ainsi été impossible de développer des capacités en acoustique.

7. CONCLUSIONS

Moyens flottants

Toute activité est source d'enseignement, la MOA des années 2001 et 2002 était une mission de « fin de règne ». Après avoir perdu le bâtiment hydrographique *L'Espérance* en 2000, il ne restait plus à la MOA que le bâtiment océanographique *D'Entrecasteaux* vieillissant et surtout non équipé d'un sondeur multifaisceaux (SMF), autant dire inapte à l'hydrographie moderne. Le BO fut néanmoins fortement employé, il fut ainsi absent de son port de base pendant près de six mois sur les onze mois de la période considérée. Ses vedettes hydrographiques avaient elles-mêmes beaucoup perdu de leurs capacités, tant du point de vue de leur fiabilité que de leurs équipements (absence de sondeur multifaisceaux).

L'aptitude de la MOA à remplir ses missions fut néanmoins préservée en profitant des capacités restantes du BO *D'Entrecasteaux* (géophysique, océanographie) et par l'emploi d'autres bâtiments comme les BSHM pour les campagnes d'océanographie.

Force est de reconnaître que le SHOM connaissait à cette époque un creux en matière de moyens flottants, creux qui allait être comblé plus tard en 2003 avec l'arrivée du *Beautemps-Beaupré* et en 2005 avec celle du *Pourquoi pas ?* sans oublier, à partir de 2005, les nouvelles vedettes hydrographiques.

Systèmes hydro-océanographiques, capacité RH à les mettre en oeuvre

Le bilan est moins sévère dans la mesure où le SHOM, indépendamment des porteurs et hors SMF, mettait à disposition de la mission des systèmes d'acquisition modernes (qu'on retrouvera d'ailleurs sur les nouveaux porteurs cités ci-dessus), ce fut particulièrement le cas en matière de géophysique et d'océanographie.

En matière de bathymétrie très petits fonds des compétences nouvelles furent développées grâce aux essais du sondeur multifaisceaux Fansweep 20 d'Atlas.

Toutes ces activités furent mises à profit pour capitaliser les expériences. Parmi les enseignements (certains ont très probablement une certaine récurrence...) on pourra citer en particulier :

- la nécessité d'éviter des trous capacitaires comme on a pu le voir en matière de moyens flottants (*L'Espérance* non encore remplacé) et de RH (déficit de 30 % en personnel OMH), les solutions étant dans la programmation très en amont de construction de nouveaux bâtiments et la GPEEC (gestion prévisionnelle des emplois, des effectifs et des compétences) lancée plus tard au SHOM,
- la nécessité d'avoir des systèmes d'acquisition complets (il manquait par exemple des logiciels de traitement pour le sondeur multifaisceaux Fansweep 20) et maîtrisés par le personnel : le SHOM saura ensuite évoluer en organisant de manière exhaustive les mises en service de système (le matériel dont son MCO, ses interfaces, les compétences à associer ...) et leur gestion de configuration,
- la nécessité de documenter les mises en oeuvre des systèmes : le SHOM saura consolider ces documentations et les pérenniser grâce aux outils mis en place lors de la certification ISO 9001,
- la nécessité de maîtriser les interfaces entre systèmes hydro-océanographiques (SHOM) et leurs porteurs (bâtiments et vedettes de la marine),
- corollaire du point précédent, la nécessité de savoir dialoguer entre partenaires pour, à titre d'exemple, bien préciser les conditions dans lesquelles, au-delà de leur mise en oeuvre, le maintien en condition opérationnelle des systèmes en interface est bien maîtrisé (planification des entretiens, etc.). Des conventions seront ultérieurement établies entre le SHOM et la marine (le service de soutien de la flotte étant particulièrement concerné) dans ce but,
- la nécessité de fiabiliser les systèmes de mesures immergés ou remorqués pour réduire les pertes de matériels, la « fortune de mer » ne pouvant toujours être invoquée,
- la nécessité de disposer de systèmes d'information efficaces dont des capacités de transmissions performantes (essentiel pour les opérations de REA),
- la nécessité de mieux maîtriser les interventions dans les eaux étrangères,
- la nécessité de développer les compétences des hydrographes au-delà de la mise en oeuvre des capteurs d'hydrographie (océanographie, sédimentologie),
- la nécessité de savoir en toute circonstance s'adapter aux situations (maîtrise des priorités, plan « B »...).

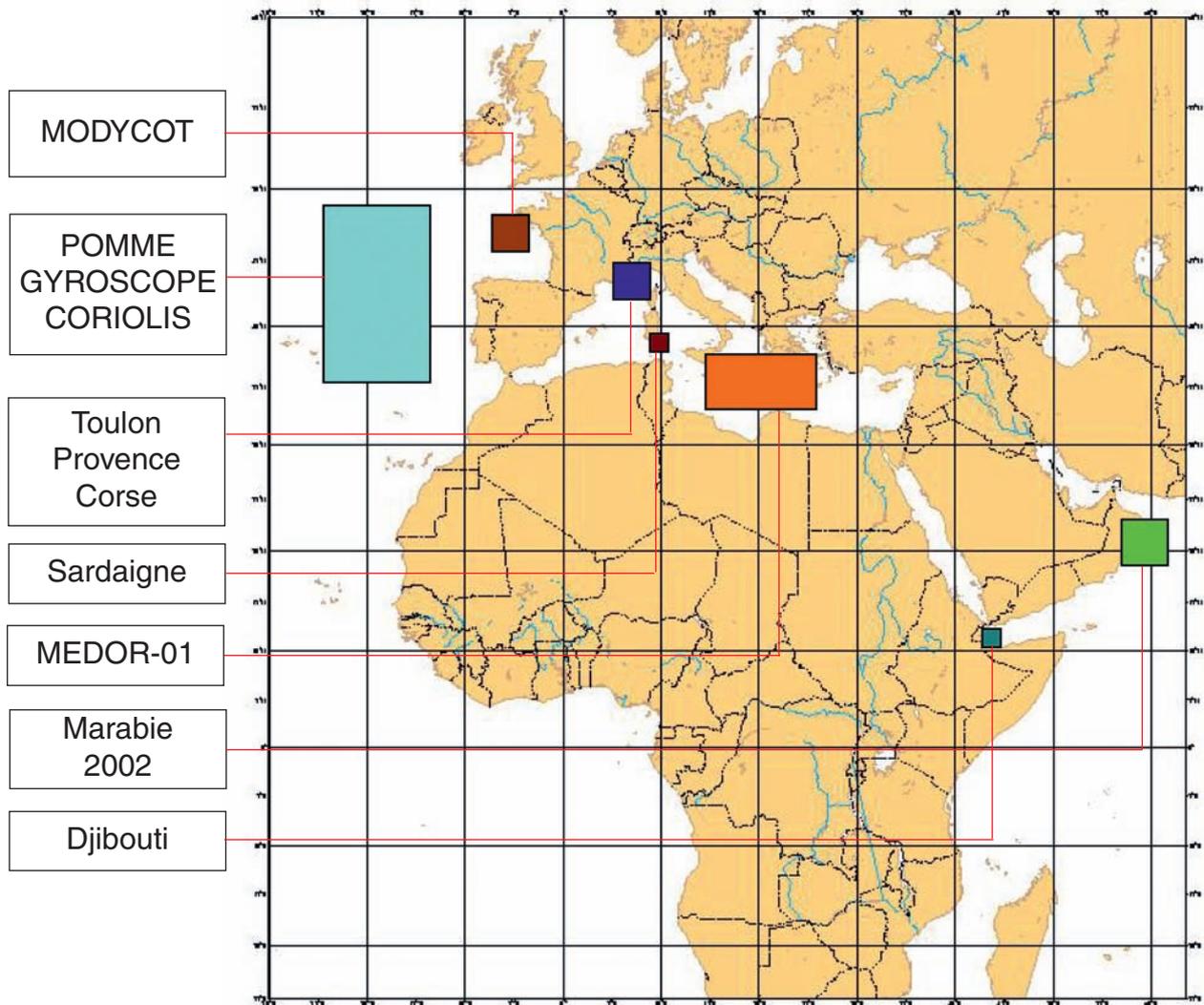
ANNEXE I : liste des rapports des levés et campagnes

RD : rapport de présentation de données
 RP : rapport particulier (RPS si simplifié)
 RC : rapport de campagne (RCS si simplifié)

N° des chapitres	Objets	Références
2.1	Océan Atlantique	
2.1.1	Données L-ADCP Campagne POMME 1 du 04 février au 09 mai 2001	RD n° 225 MOA/NP du 18-09-01
2.1.1 2.1.4	Campagnes POMME 3, MODYCOT et sources en Atlantique nord est du 29 août 2001 au 02 octobre 2001	RC n° 268 MOA/NP du 26-10-01
2.1.1	Données SEASOAR Campagne POMME 2_01 du 25 mars au 07 mai 2001	RP n° 272 MOA/NP du 30-10-01
2.1.1	Données SEASOAR Campagne POMME 3 du 29 août au 02 octobre 2001	RP n° 299 MOA/NP du 03-12-01
2.1.2	Données de bathysondes Campagne SEMANE_2001 du 13 juin au 13 juillet 2001	RP n° 282 MOA/NP du 09-11-01
2.1.3	Campagnes GYROSCOPE CORIOLIS Phase du 05 au 29 novembre 2001	RC n° 305/MOA/NP du 19-12-01
2.1.4	06 et 07 novembre 2001 Campagnes MODYCOT du 20 au 21 mars 2002 du 17 au 18 juin 2002	RC n° 304 MOA/NP du 18-12-01 RC n° 76 MOA/NP du 16-04-02 RCS n° 108 MOA/NP du 02-07-02
2.1.5	Gravimétrie en transit BO <i>D'Entrecasteaux</i> 2000	RP n° 80 MOA/NP du 30-04-02 S200202800
2.1.5	Gravimétrie en transit BO <i>D'Entrecasteaux</i> 2001	RP n° 81 MOA/NP du 02-05-02 S200202900
2.2	Mer Méditerranée	
2.2.1	Levé d'environnement des chenaux d'accès au port de Toulon	RP n° 63 MOA/-- du 29-03-02 S200202000
2.2.2	Levé <i>Charles De Gaulle</i> (1998-2000)	RP n° 40 MOA/NP du 28-02-02 S200204400
2.2.3	Levé hydrographique dans le port militaire de Toulon (darse Missiessy)	RP n° 279 MOA/NP du 07-10-01 S200203900
2.2.3	Levé bathymétrique du quai de l'Artillerie	RPS n° 288 MOA/NP du 15-11-01 S200200700
2.2.5	Levé hydrographique aux abords du port du Cannier, presqu'île de St-Mandrier	RP n° 278 MOA/NP du 07-11-01 S200203600
2.2.6	Levés de plageages en Corse (2000 et 2002)	RP n° 115 MOA/-- du 09-07-02 S200302700 RP n° 116 MOA/-- du 09-07-02 S200302800

2.2.6	Levés de plageages en Provence Côte d'Azur (2000 - 2001)	RP n° 70 MOA/.. du 08-04-02 S200205500
2.2.7	Levé de Sardaigne - 2001	RP n°75 MOA/.. du 16-04-02 S200205800
2.2.8	Mesures bathymétriques en transit par le BSR <i>Gazelle</i> - 2000/2001	RPS n° 110 MOA/NP du 05-07-02 S200205000
2.2.9	Marégraphie RONIM Aspretto/Ajaccio	RP n° 302 MOA/NP du 12-12-01
2.2.10	Géophysique en Méditerranée orientale (MEDOR 01)	RP n° 32 MOA/-- du 21-02-0 S200202500
2.3	Océan Indien	
2.3.1	Travaux dans le détroit de Bab El Mandeb	RPS n° 79 MOA/.. du 29-04-02 S200302100
2.3.2	Levé des environs de Djibouti (2001 - 2002)	RC n° 01 MOA/-- du 11-01-02 RC n° 24 MOA/-- du 12-02-02 RP n° 55 MOA/NP du 22-03-02 S200206200 RP n° 61 MOA/-- du 28-03-02 S200201900
2.3.3	Campagne MARABIE 2002	RC n° 66 MOA/-- du 05-04-02
2.3.3	Données Seaosoar campagne MARABIE 2002	RP n° 95 MOA/-- du 10-06-02 S200203500
2.3.3	Mesures bathymétriques par le BO <i>D'Entrecasteaux</i> - MARABIE 2002	RPS n° 64 MOA/NP du 04-04-02 S200206000
2.3.3	Mesures de magnétisme par le BO <i>D'Entrecasteaux</i> - zone MARABIE 2002	RPS n° 65 MOA/NP du 04-04-02 S200203200
2.3.4	Travaux dans le détroit d'Ormuz	RP n° 60 MOA/-- du 25-03-02
2.3.5	Levé ENCENS-SHEBA bathymétrie Golfe d'Aden - Mer d'Arabie	RP n° 36 MOA/NP du 25-02-02 S200302500
2.3.5	Travaux OISO6 bathymétrie Océan Indien	RP n° 99 MOA/NP du 19-06-02 S200301000
2.4	Zones multiples	
2.4.1	Transits MARABIE 2002 (03 janvier - 30 avril 2002)	RP n° 98 MOA/NP du 18-06-02) S200302100 et S200302200
2.4.1	Travaux de gravimétrie - MARABIE 2002	RPS n° 104 MOA/NP du 27-06-02 S200204300

ANNEXE II : principales zones d'activité



ANNEXE III : illustrations photographiques



Photo n° 1 : le BO *D'Entrecasteaux* au bassin à Barhein



Photo n° 2 : le BO *D'Entrecasteaux* franchissant le Ghoubbet El Kharab



Photo n° 3 : une vedette hydrographique du BO *D'Entrecasteaux* au mouillage des Boutres



Photo n° 4 : la coralline *Aïsha* de la BOM



Photo n° 5 : l'EDIC Sabre

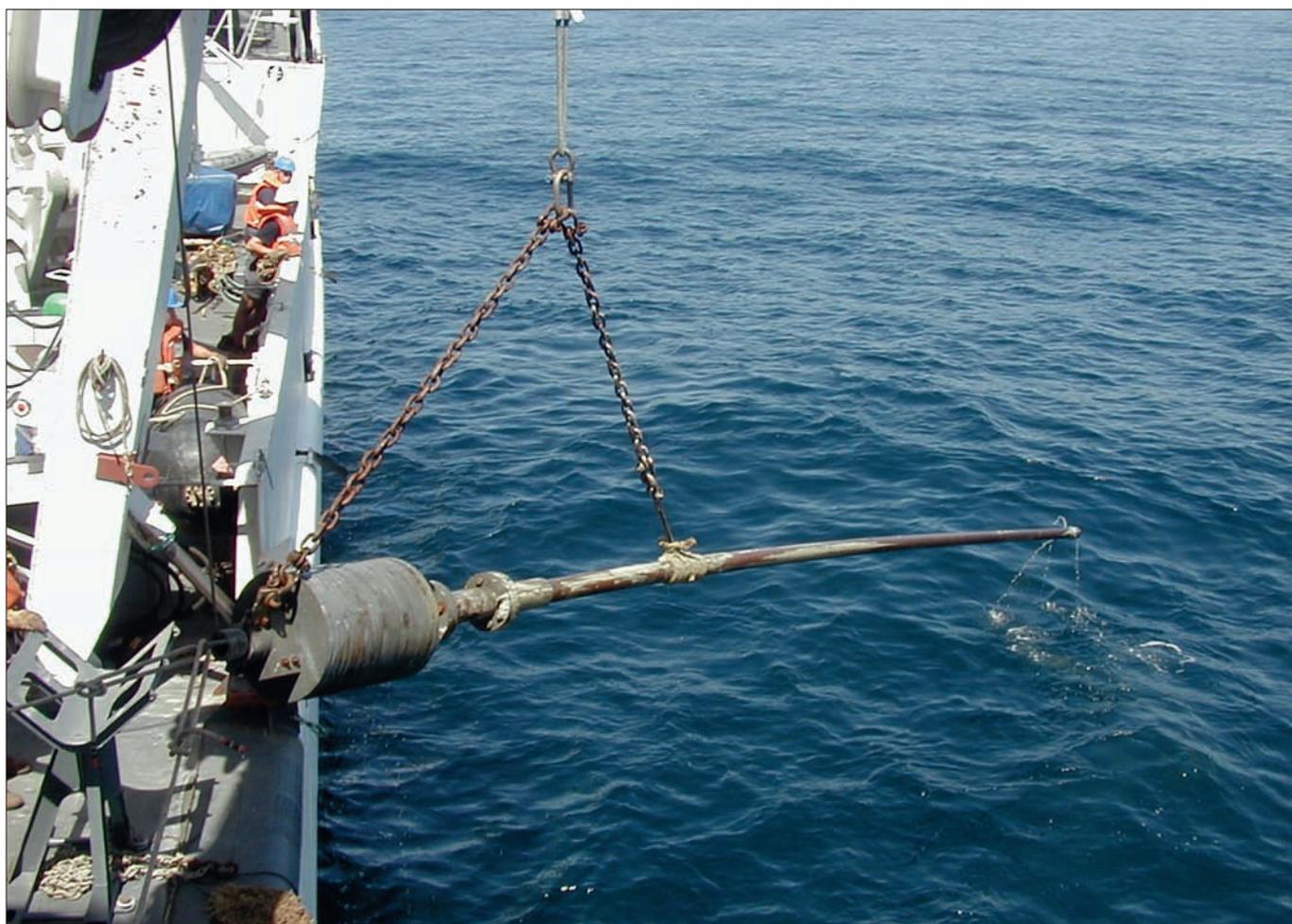


Photo n° 6 : le carottier Kullenberg mis en œuvre à bord du BO D'Entrecasteaux



Photo n° 7 : remontée du Seasoar à bord du BO *D'Entrecasteaux*



Photo n° 8 : source acoustique Télémaque BO *D'Entrecasteaux*



Photo n° 9 : préparation de la bouée d'écoute acoustique Télémaque BO *D'Entrecasteaux*

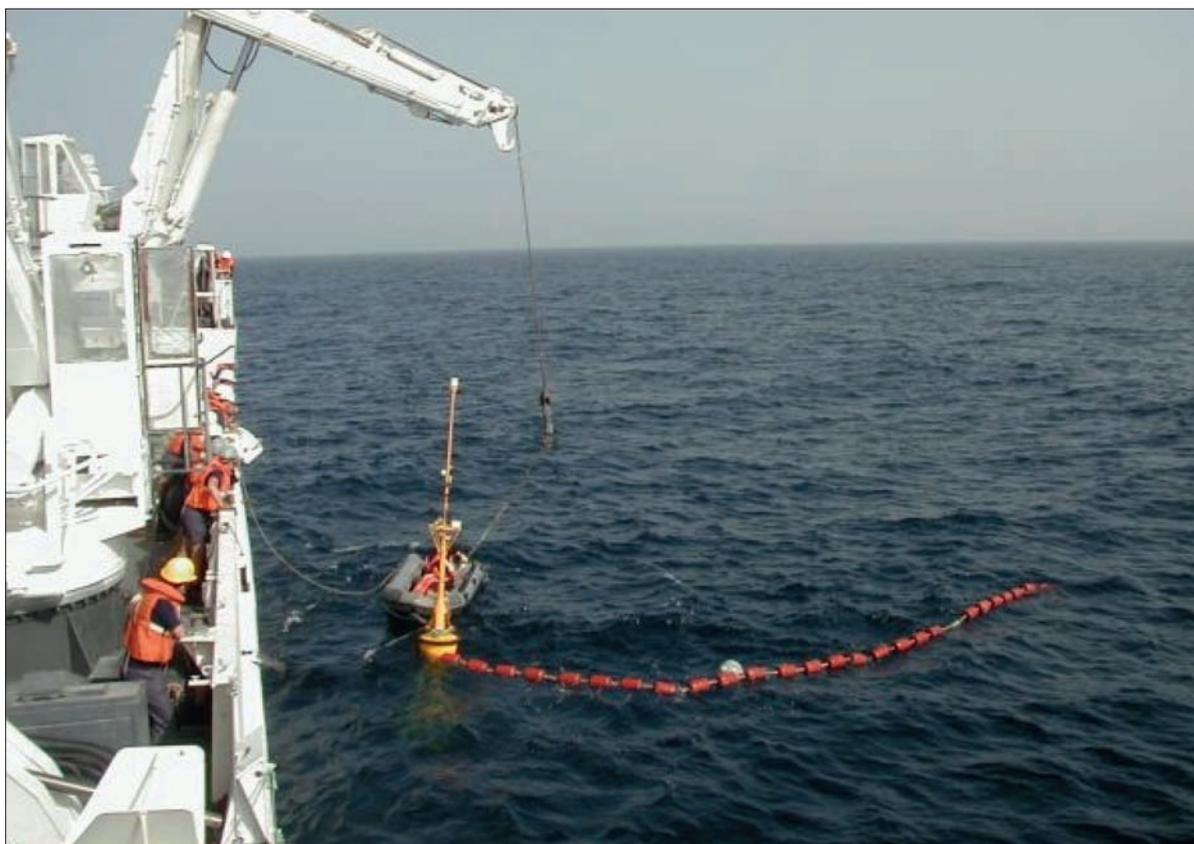


Photo n° 10 : mise à l'eau de la bouée d'écoute acoustique Télémaque BO *D'Entrecasteaux*



Photo n° 11 : PC scientifique à bord du CMT *Persée*, mise en œuvre du sonar latéral numérique



Photo n° 12 : la VH 90

L'ARRIVÉE DES NOUVEAUX PORTEURS MIS À DISPOSITION DU SHOM : LE BHO *BEAUTEMPS-BEAUPRÉ* ET LE NO *POURQUOI PAS ?*

par David MOREAU, ingénieur en chef des études et techniques de l'armement

RÉSUMÉ

Le navire reste le moyen le plus adapté pour recueillir les données d'hydrographie, d'océanographie, de géophysique et de sédimentologie marine. Le SHOM, disposant au début des années 90 de deux bâtiments hauturiers vieillissant, le BH1 *L'Espérance* et le BO *D'Entrecasteaux*, a contribué au projet de remplacement de ces derniers, qui a finalement abouti à la naissance d'un partenariat avec Ifremer pour construire et utiliser en commun le BHO *Beautemps-Beaupré* et le NO *Pourquoi pas ?*.

Cet article décrit le début de l'histoire de ces deux navires, de la phase de faisabilité à leur première année d'utilisation opérationnelle.

ABSTRACT

Ships are still the best way to acquire data of the sea sphere: bathymetry, oceanography, geophysic and marine sedimentology. The french hydrographic and oceanographic service (SHOM) employed two old ships at the beginning of the 90's, and contributed of their replacement. This project ended by a partnership with Ifremer for the building and the using of the BHO Beautemps-Beaupré and NO Pourquoi pas?. This article deals with the story of theses two ships.



Beautemps-Beaupré



Pourquoi pas ?

SOMMAIRE

1 PRÉSENTATION

1.1	Introduction.....	8-3
1.2	Cadre général	8-3

2 LE BHO *BEAUTEMPS-BEAUPRÉ*

2.1	La genèse du programme	8-3
2.2	La phase de réalisation	8-3
2.2.1	Construction	8-3
2.2.2	Essais en mer	8-4
2.3	Retour sur Beautemps-Beaupré	8-4
2.3.1	L'ingénieur hydrographe Beautemps-Beaupré	8-4
2.3.2	Les anciens navires du même nom	8-4
2.4	Les caractéristiques techniques du BHO.....	8-5
2.4.1	Caractéristiques générales	8-5
2.4.2	Caractéristiques des équipements scientifiques et appareils spécifiques	8-5
2.5	Le double défi.....	8-6
2.5.1	Fonctionnement type marine marchande : un équipage réduit	8-6
2.5.2	Fonctionnement à double équipage	8-6
2.6	L'évaluation technico-opérationnelle (ETO)	8-6
2.6.1	Le personnel dans son nouveau cadre de vie	8-6
2.6.2	Le périple et l'évaluation des systèmes scientifiques	8-7
2.7	L'admission au service actif (ASA).....	8-8
2.8	2004 : première année opérationnelle	8-8
2.8.1	Sharm El Sheikh	8-8
2.8.2	Agapanthe	8-8
2.8.3	MOUTON	8-8
2.8.4	MEDOR.....	8-8
2.9	Bilan	8-9

3 LE NO *POURQUOI PAS ?*

3.1	La genèse du projet	8-9
3.2	La phase de réalisation	8-10
3.2.1	Construction	8-10
3.2.2	Essais en mer et livraison	8-10
3.2.3	Validation du fonctionnement des équipements scientifiques.....	8-10
3.3	Jean Charcot et le <i>Pourquoi pas ?</i>	8-10
3.4	Les caractéristiques techniques du <i>Pourquoi pas ?</i>	8-11
3.4.1	Caractéristiques générales	8-11
3.4.2	Équipements scientifiques et appareils spécifiques	8-11
3.5	Les problèmes de SMF et de bullage	8-12
3.5.1	Sondeurs non recettés fin 2007	8-12
3.5.2	Présence de bulles sous la gondole	8-12
3.6	2006 : première année opérationnelle	8-12
3.6.1	CONGAS 2006-2	8-12
3.6.2	MOUTON 2006	8-12
3.6.3	Essais Newtsuit.....	8-13
3.7	Bilan	8-13

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... 8-13

5 GLOSSAIRE

1. PRÉSENTATION

1.1. Introduction

Ce rapport comprend deux parties, l'une consacrée au bâtiment hydrographique et océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré* et l'autre au navire océanographique (NO) *Pourquoi pas ?*. Il décrit leur jeune histoire débutant en fin des années 90, en passant par leur construction, leurs essais en mer, leur évaluation technique, et une partie de leur première année de fonctionnement opérationnel, 2004 pour le premier, 2006 pour le second.

L'article « groupe océanographique de l'Atlantique » de Laurent Kerléguer présent dans cette même édition des annales hydrographiques, restitue la suite de l'emploi de ces navires jusqu'en août 2008.

1.2. Cadre général

En 2000, les deux ministres de la Recherche et de la Défense ont signé une lettre (référéncée n° 02198 en date du 17 Juillet 2000) décidant d'entreprendre une démarche de partenariat pour la réalisation et l'utilisation commune de deux nouveaux bâtiments sur la base de contributions croisées. En application d'une convention conclue le 12 avril 2001 (référence Ifremer 01/1.213.932/F), le ministère de la Défense (marine nationale) et le ministère de la Recherche (l'Ifremer) ont convenu des modalités d'acquisition du BHO *Beautemps-Beaupré* de la marine nationale et du NO *Pourquoi pas ?* de l'Ifremer. Ainsi, l'Ifremer s'est engagé à participer à l'acquisition du BHO *Beautemps-Beaupré* à hauteur de 5 % de son prix tandis que le ministère de la Défense s'est engagé à participer à l'acquisition du NO *Pourquoi pas ?* à hauteur de 45 % de son prix.

Dans le cadre de la convention d'exploitation référencée 02/1.214.370/B, signée le 16 mai 2003, la participation financière de chacun des partenaires à l'acquisition de ces navires leur ouvre les droits d'utilisation suivants :

- pour l'Ifremer, un droit de disposer du BHO *Beautemps-Beaupré* de la marine nationale pendant une moyenne de dix jours annuels.
- pour la marine nationale, un droit de disposer du NO *Pourquoi pas ?* de l'Ifremer pendant une moyenne de cent cinquante jours annuels.

2. LE BHO BEAUTEMPS-BEAUPRÉ

2.1. La genèse du programme

L'origine du lancement du programme remonte au début des années 1990, lorsque la date du retrait du service actif du BO *D'Entrecasteaux* ainsi que celle du BH1 *L'Espérance* avaient déjà été reportées une première fois et approchaient de la fin des années 2000.

Le SHOM a été sollicité à cette époque pour la rédaction des premières fiches de caractéristiques militaires de besoin concernant les équipements scientifiques et les locaux embarqués dédiés au SHOM.

Il faut cependant attendre 1994 pour que le programme BHO, comprenant deux navires identiques, soit lancé officiellement par le service de programmes navals (SPN) de la délégation générale pour l'armement (DGA), dans une phase de prospective.

L'Ifremer a de son côté entrepris une réflexion pour remplacer l'un de ses navires en 1997 (le *Nadir*). Une synergie des moyens entre la marine et l'Ifremer semblant possible en réponse à ces deux programmes séparés, les ministres de la Recherche et de la Défense ont demandé en 1998 à l'Ifremer, à la marine nationale et au SPN, de réfléchir en commun au renouvellement de leurs moyens maritimes. Cette réflexion a montré que, pour une large part, les besoins de deux organismes pouvaient être satisfaits avec deux bâtiments exploités en commun, et permettre de dégager pour l'État des économies d'échelle tant au niveau de l'investissement que de la gestion. A partir de 2000, le partenariat entre le ministère de la Recherche et celui de la Défense est entré dans une phase plus concrète (cf. paragraphe 1.2) avec la décision de construire d'abord un BHO plus particulièrement dédié à la marine nationale, puis un navire répondant aux attentes de la communauté scientifique civile française, et armé par la filiale de l'Ifremer : Genavir.

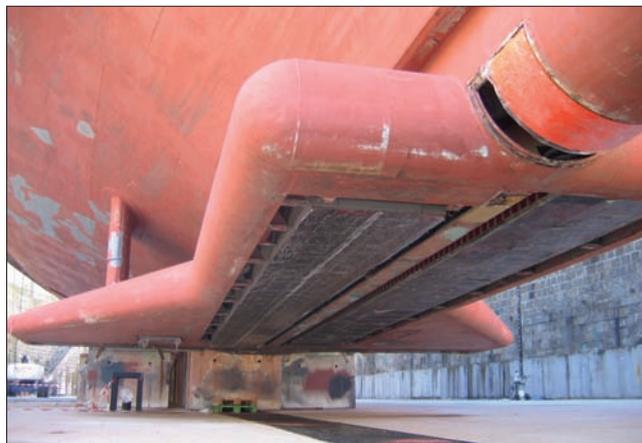
Concernant le futur BHO, des avant-projets sommaires réalisés par la DCN Lorient ont été analysés, des solutions d'acquisition, de modernisation ou de refonte de porteurs existants ont également été envisagées, pour finalement aboutir à un marché passé directement entre le SPN et ALN (Alstom Leroux Naval), notifié en mai 2001. Il était basé sur un produit à moindre coût, s'inspirant d'un navire existant et construit en 1995 par le chantier Leroux et Lotz, le NO *Thalassa* de l'Ifremer.

ALN était le maître d'oeuvre pour l'ensemble du porteur, équipements scientifiques compris. Le SPN avait toutefois un droit de veto sur les équipements proposés, celui-ci n'a pas été appliqué, la première proposition du chantier répondant au cahier des charges.

2.2. La phase de réalisation

2.2.1. Construction

La phase de construction a débuté par la mise en place de la première tôle au chantier du Rohu à Lorient, en septembre 2001. Le *Beautemps-Beaupré* a vu le jour le 5 novembre de la même année, lors de l'assemblage des deux premiers blocs.



Gondole



La première mise à l'eau a fait l'objet d'une cérémonie officielle, associée à un baptême, en mai 2002. Cette mise à l'eau a été réalisée par descente de cale, assistée toutefois par des chariots automatiques.

Une phase de finition et une autre d'essais à quai s'en sont suivies.

2.2.2 Essais en mer

Essais :

Les premiers essais à la mer se sont déroulés les 18 et 19 octobre 2002. Ils concernaient le porteur en général et la machine en particulier.

La deuxième série d'essais à la mer s'est déroulée du 18 au 22 novembre. Une équipe du SHOM (personnel de la mission océanographique de l'Atlantique (MOA)) a embarqué afin de tester certains équipements scientifiques et d'éprouver les différents appareils de manutention (treuils, portiques).

Enfin, la dernière sortie en mer réservée aux essais officiels a permis la recette des sondeurs multifaisceaux. Celle-ci a été signée avec des réserves notamment à cause de la calibration du SMF petits fonds qui nécessitait des ajustements logiciels de la part du constructeur.

Livraison à la marine :

Le bâtiment a été accepté en janvier 2003 avec quelques réserves mineures dont la principale concernait la validation du treuil du carottier. Il a été livré à la marine le 11 février 2003, à Lorient, au cours d'une cérémonie officielle en présence de représentants d'Alstom, du chef du SPN, de l'amiral adjoint commandant la force d'action navale (FAN) et représentant la marine, du président d'Ifremer et du directeur du SHOM. Cette cérémonie a permis de reconnaître également le capitaine de frégate Petit, premier commandant du BHO.

Le *Beautemps-Beaupré* a été accueilli pour la première fois à Brest le 14 février 2003.

2.3. Retour sur Beautemps-Beaupré

2.3.1. L'ingénieur hydrographe Beautemps-Beaupré

Charles-François Beautemps-Beaupré est né le 6 août 1766 à La Neuville au Pont (Marne). Il fut initié à l'art de dresser

les cartes par son cousin Nicolas Buache, entré en 1780 comme hydrographe au dépôt des cartes et plans de la marine. Il y est admis comme élève à son tour en 1783. Il collabore alors à la préparation de cartes que La Pérouse emportera dans son voyage.

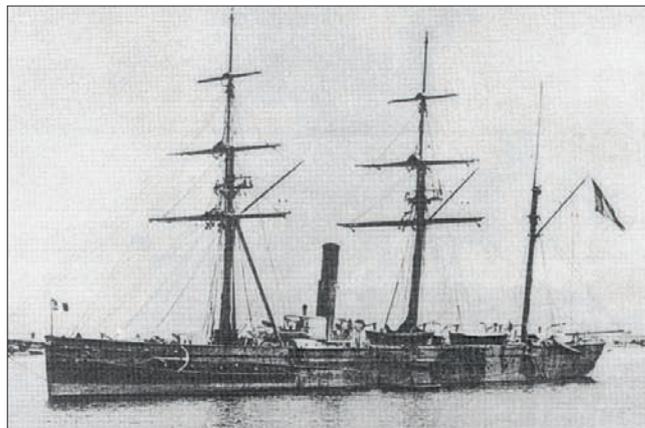
En 1789, il est chargé des côtes de la ville de Dunkerque ; il part ensuite en 1791 à bord de la *Recherche* avec l'Amiral d'Entrecasteaux et reste absent cinq ans. Au cours de cette campagne, il met au point des procédés entièrement nouveaux de levé sous voile des cartes. S'affranchissant des relevements à la boussole, les points remarquables de la côte sont relevés au cercle à réflexion, imaginé par Borda, en mesurant les angles avec un point éloigné ou avec le soleil. Pour la détermination des sondages, il emploie les propriétés de l'arc de cercle capable d'un angle donné. Napoléon 1^{er} le nomme en 1799 sous-conservateur du dépôt des cartes et plans de marine.

En 1816, Beautemps-Beaupré commence la réfection complète de l'hydrographie des côtes de France. Les opérations à la mer dureront 23 ans. Le *Pilote français*, terminé en 1844, résultat de ses travaux, fit l'admiration de l'ensemble du monde maritime.

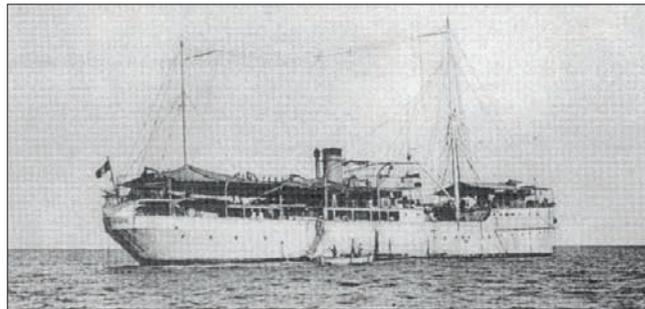
Chevalier de Saint-Louis, chevalier de Saint-Michel, grand officier de la Légion d'honneur, il disparaît en 1854, à l'âge de 88 ans. Il laissera à ses compagnons le souvenir d'un homme simple, modeste, judicieux, courageux et bon. Prêchant l'exemple lors des travaux, formant ses ingénieurs, Beautemps-Beaupré a bien mérité le titre de père de l'hydrographie qui lui a été attribué.

2.3.2. Les anciens navires du même nom

- 1872 à 1896 : croiseur de troisième classe :



- 1919 à 1935 : patrouilleur transformé en bâtiment hydrographique entre 1919 et 1920 :



- bâtiment hydrographique sabordé avant la fin de sa construction en 1940 : non illustré.

- 1946 à 1969 : ravitailleur d'aviation, transformé à la libération en escorteur, puis en bâtiment hydrographique :



2.4. Les caractéristiques techniques du BHO

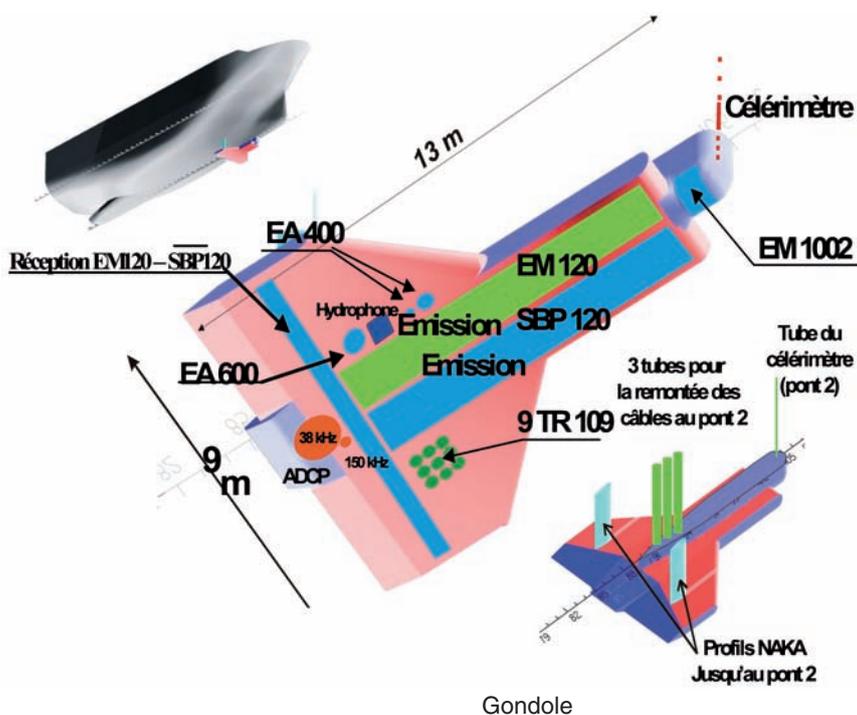
2.4.1. Caractéristiques générales

Le BHO mesure 80 mètres de long, 15 mètres de large, dispose d'un déplacement à pleine charge de 3 300 tonnes et son tirant d'eau est de 7 mètres (à cause de la gondole, cf. paragraphe suivant). Il est équipé de 4 groupes diesel alternateurs (900 kW chacun) qui distribuent toute l'énergie nécessaire, à la fois pour la propulsion et les équipements. En général, pas plus de 2 groupes sont utilisés en même temps et suffisent pour une vitesse de l'ordre de 12 noeuds et un état de mer de 4. Il est équipé d'une seule ligne d'arbre, d'un propulseur d'étrave et de 2 propulseurs arrière couplés. Son autonomie à 12 noeuds est de 45 jours. Par ailleurs, il dispose de 50 places à son bord, dont 21 sont réservées aux personnels hydrographes ou scientifiques embarqués.

2.4.2. Caractéristiques des équipements scientifiques et appareils spécifiques

Tous les transducteurs acoustiques des équipements du BHO sont regroupés dans un appendice de coque, appelé gondole, mesurant 11 mètres de long et 8 mètres de large. Ceci permet de garantir l'absence de bulles sur les faces actives des transducteurs et donc un fonctionnement très performant des systèmes acoustiques. Seules les bases acoustiques des systèmes de positionnement « Posidonia » et « Geonet » ne sont pas situées dans cette gondole.

- Le SMF grands fonds :
Le sondeur multifaisceaux EM120 de Kongsberg-Simrad fonctionne sur la fréquence centrale 12 kHz ; sa résolution est de 1° x 1°, ce qui correspond à des antennes d'émission et de réception de plus de 8 mètres de long. Son antenne d'émission est associée au pénétrateur de sédiment SBP120, développé également par le constructeur Kongsberg-Simrad. Son fonctionnement est particulièrement remarquable sur le BHO, sa fauchée par 4 000 mètres de fond atteignant les 20 km pour des fonds de réflectivité moyenne. Sa plage de fonctionnement varie de 100 à 10 000 mètres.
- Le SMF petits fonds :
Le sondeur multifaisceaux EM1002 de Kongsberg-Simrad fonctionne à 100 kHz, sa plage de fonctionnement varie entre 5 et 800 mètres, et dispose d'une portée latérale proportionnelle à 5 fois la profondeur.
- Les centrales d'attitude :
Le BHO est équipé de 2 centrales d'attitude, une Seapath200 du constructeur Seatex, hybridée aux systèmes GPS, et une Phins système uniquement inertiel fabriqué par Ixsea.



- Les pénétrateurs de courant de coque :
Les ADCP à 150 et 38 kHz du constructeur RDI disposent de transducteurs directement en contact avec l'eau de mer.
- Le gravimètre :
Le BHO est équipé d'un gravimètre marin de type KSS31 fabriqué par la société Bodenseewerk, associé à un gravimètre portatif Scintrex CG5 utilisé pour les calages à quai.
- Les autres équipements scientifiques :
Le BHO dispose également de 2 récepteurs GPS Thales Aquarius II, de sondeurs monofaisceau petits et grands fonds EA400 et 600, d'un thermosalinomètre de coque de type Seabird SBE 21, d'un bathythermographe Sippican MK21, d'un célérimètre de coque SVT de Valeport, d'une centrale horaire, de magnétomètres Thomson SMM2, de sondeurs latéraux Edgetech type MPX, de systèmes informatiques pour l'acquisition, le traitement et l'archivage des données, de 2 stations Inmarsat type B, d'un système de synchronisation des équipements acoustiques SSU de Kongsberg-Simrad.
- Les vedettes Fassmer et leur bossoir associé :
Le BHO embarque également 2 vedettes Fassmer sur bossoir monobras, elles-mêmes capables de sonder de 0 à 80 mètres grâce à leur sondeur multifaisceaux très petits fonds Kongsberg-Simrad EM3002.



- Le système de carottage.
- Le système de bathysondage.
- Les treuils : Sonal, magnétomètre, Seasoar.
- La grue.
- Divers (cale arrière, extension PC scientifique).

2.5. Le double défi

Le programme BHO était novateur sur plusieurs aspects : la DCN n'a pas été retenue pour la construction d'un bâtiment de la marine de ce tonnage, un fonctionnement type navire civil à équipage réduit était envisagé et une activité à la mer de 300 jours devait entraîner la mise en place de deux équipages. Ces deux derniers points représentaient un véritable challenge pour la marine.

2.5.1. Fonctionnement type marine marchande : un équipage réduit

Le succès de ce défi provient du système de navigation intégrée qui équipe la passerelle, de l'automatisation de la machine, ainsi que de la mise en place progressive de l'externalisation du soutien.

Concernant le porteur, il faut souligner les avantages du système propulsif :

- il fournit une souplesse d'exploitation optimale en passerelle ;
- la suppression de tout quart au PC machine favorise grandement la motivation du personnel, recentré sur son métier de maintenance ;
- les dispositions de conception du local DA (DA : diesel alternateur) assurent une bonne maintenabilité et un bruit rayonné faible ;
- par l'application des normes constructeur, l'entretien préventif sur les DA est réduit.

Concernant le soutien, une coopération poussée avec le SSF a été mise en place et a débouché sur la création d'une ERBI (équipe responsable bâtiment intégrée). Elle associe étroitement les compétences du SSF à celles du bord (noyau d'équipage à terre) et permet l'interfaçage efficace avec le titulaire du contrat d'externalisation pour l'entretien et le MCO (maintien en conditions opérationnelles).

2.5.2. Fonctionnement à double équipage

Les 300 jours d'activité ne pouvaient s'envisager que par la mise en place d'un deuxième équipage. Le rythme retenu tourne sur deux ans avec des relèves à périodes fixées, début avril, début août et début décembre. Cette mise en place n'a posé aucune difficulté, la marine ayant déjà expérimenté ce fonctionnement sur quelques bâtiments de surface et surtout l'utilise au sein des flottilles de sous-marins nucléaires d'attaque.

Concernant la MOA, le fonctionnement à double équipe a été également mis en place en 2004 et 2005, en collant au mieux aux relèves des équipages du BHO. Par la suite, les relèves des hydrographes ont été déphasées.

2.6. L'évaluation technico-opérationnelle (ETO)

La campagne d'évaluation technique du *Beautétemps-Beaupré* marquait l'aboutissement du programme BHO.

Au-delà des essais de fiabilité du matériel et de la démonstration que le BHO allait devenir une référence comme navire hydrographique, le challenge « effectif réduit » a pu être testé également.

2.6.1. Le personnel dans son nouveau cadre de vie

Les meilleures chances de réussite dans l'entreprise de réduction des effectifs passent à l'évidence par l'amélioration du cadre de vie offert au personnel.

En la matière, un certain nombre de points positifs sont à souligner :

- la passerelle est ergonomique et offre une excellente visibilité ;
- le local DA, conçu de façon suffisamment large, facilite le travail des mécaniciens ;
- la plage arrière est vaste, modulaire et bien pensée pour les manœuvriers ;
- les locaux de stockage de vivres sont vastes et le dispositif d'embarquement permet une corvée limitée à trois personnes seulement ;
- le navire est spacieux, avec des coursives larges et d'un aspect bien fini ;
- le navire offre un confort sonore très appréciable ;
- les chambres à deux (maximum) avec bloc sanitaire intégré constituent un progrès très apprécié de l'équipage ;
- l'installation d'un réseau informatique permettant les communications internes et externes est un atout essentiel, qui dope le rendement et soutient le moral.



2.6.2. Le périple et l'évaluation des systèmes scientifiques

L'ETO a débuté le 9 avril 2003 à l'appareillage du BHO de Brest ; le périple consistait à réaliser le tour de l'Afrique, en mettant en œuvre successivement les différents équipements scientifiques, et le retour était programmé début août.

2.6.2.1. Transit du 9 au 26 avril 2003 :

Sur le transit vers Dakar, le BHO a mis à l'eau un certain nombre de bouées et flotteurs type « Surdrifts », « Marisonde » et « Marvor ». Les conditions météorologiques particulièrement mauvaises n'ont permis de récupérer qu'un des 3 mouillages de sources acoustiques, mais globalement il est ressorti que les manipulations sur la plage arrière étaient facilitées par la grande surface offerte, le navire était parfaitement manoeuvrant par mauvaise mer et le comportement des sondeurs était au premier abord satisfaisant.

2.6.2.2. Travaux hydrographiques à Dakar :

Le premier levé aux sondeurs multifaisceaux petits fonds EM1002 du BHO et EM3000 de la vedette *Cormoran* a été entrepris dans le port, les passes et ses atterrages. Le BHO a quitté Dakar le 2 mai 2003.

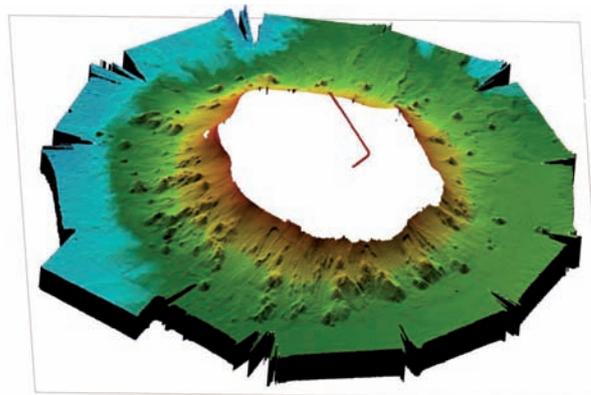
2.6.2.3. Période du 2 mai au 27 mai 2003 :

Du 2 au 16 mai, le BHO a transité jusqu'à Cape Town où il est resté en escale technique pendant 4 jours. Il a repris sa route vers l'océan Indien en traversant le canal du Mozambique pour réaliser autour de chacune des îles Eparses un levé hydrographique de 4 000 m à 50 m, révélant ainsi la structure externe de ces atolls, jusque là inconnue.

Au cours de ces transits, différents mouillages et mises à l'eau de flotteurs ont été effectués dans le cadre de conventions passées entre le SHOM, l'Ifremer et l'IRD, et au profit du projet national d'océanographie pré-opérationnelle « CORIOLIS ».

2.6.2.4. Période du 27 mai au 4 juin 2003 :

Cinquante ans après la mission hydrographique de Madagascar, le BHO aborda l'île d'Europa le 27 mai, puis celle de Bassas da India (28 et 29 mai) et enfin celle de Juan de Nova du 30 au 1^{er} juin. Des travaux hydrographiques, en utilisant à la fois le SMF grands fonds EM120, celui petits fonds EM1002 et même celui de la vedette *Cormoran*, ont été réalisés pour enrichir la connaissance des fonds autour de ces îles peu connues et mettre à jour la documentation nautique. L'aboutissement de ces travaux s'est concrétisé par le chenilage et le mouillage du bâtiment devant Juan de Nova.



Juan de Nova

2.6.2.5. Travaux hydrographiques à Mayotte :

Le 4 et 5 juin 2003, le BHO s'est arrêté à Mayotte, et des travaux hydrographiques dans les passes au nord, ainsi que devant le petit port de Mamoudzou ont été réalisés.

2.6.2.6. Travaux au profit de la guerre des mines à Diego :

Après un transit de 4 jours, le *Beautemps-Beaupré* a atteint le port d'Antsiranana pour réaliser un levé de la baie et des travaux de plageage dans la baie entre le 9 et 16 juin 2003.

Tous ces travaux hydrographiques ont montré les qualités excellentes des SMF grands fonds et petits fonds, et ont permis une mise en service de ces équipements.

2.6.2.7. Transit du 16 au 19 juin 2003 :

Ce transit a été mis à profit pour réaliser des mesures de bruits propres en compagnie de personnel de la NAVOCEANO. Celles-ci ont confirmé l'excellente qualité acoustique de la gondole ainsi que l'absence de bulles sous cette même gondole à 10 noeuds, mer 5 et de l'avant.

2.6.2.8. Période 19 juin au 19 juillet 2003 :

Cette période a essentiellement été consacrée au transit retour jusqu'à l'île de Malte. Après une escale aux îles des Seychelles (au cours de laquelle, des travaux de géodésie ont été d'ailleurs réalisés pour le compte des autorités hydrographiques locales) du 19 au 24 juin, un transit vers Djibouti du 24 au 30 juin 2003, une escale à Djibouti les 1 et 2 juillet, un transit vers Malte du 2 au 16 juillet, le BHO s'est arrêté à La Valette pour embarquer du matériel océanographique ainsi que du personnel du CNRS (Roscoff).

2.6.2.9. Stations bathysondes du 19 au 23 juillet 2003 :

Entre le canal de Sicile et la principauté de Monaco, les capacités de tenue de station du BHO et de fiabilité du treuil pour bathysonde ont pu être validées en réalisant une vingtaine de stations de bathysonnage.

2.6.2.10. Période du 23 juillet au 5 août 2003 :

Lors de l'escale à Monaco, le *Beautemps-Beaupré* a eu l'honneur de faire partie de l'inauguration, au musée océanographique, de l'exposition consacrée aux navires océanographiques. Il a quitté Monaco pour rejoindre enfin Brest le 5 août.

2.7. L'admission au service actif (ASA)

L'ETO a mis en évidence les performances hors pair des équipements scientifiques du *Beautemps-Beaupré* et a confirmé également l'amélioration de la vie à bord. Cependant des réparations mineures et quelques adaptations ont été entreprises à partir du mois d'août, et il a été décidé d'attendre la fin de ces travaux pour prononcer l'admission au service actif du bâtiment.

En fin d'année 2003, seul le treuil du carottier n'était pas validé, et la commission supérieure d'armement prononçait l'admission au service actif (avec réserve sur le système de carottage) le 13 décembre 2003. La réserve a été levée mi 2004 après la refonte totale du treuil et les tests de bon fonctionnement dans les eaux chaudes du golfe d'Aden.

2.8. 2004 : première année opérationnelle

L'année 2004 a débuté par un appareillage de Brest le 3 janvier 2004 pour une longue campagne d'hydrographie en océan Indien et dans le golfe Persique ; s'en sont suivies une campagne d'océanographie en Atlantique et une de géophysique en Méditerranée orientale. Elle s'est terminée par un retour sur Brest le 8 décembre 2004.

2.8.1. Sharm El Sheikh

Le crash d'un Boeing 737 de la compagnie Flash-Air au large de Sharm El Sheikh, survenu le 3 janvier 2004, a entraîné le déroutement du BHO afin de rallier au plus vite la zone du crash, et de participer aux recherches en mettant en œuvre ses moyens hydro-océanographiques. Un levé bathymétrique très précis et une analyse hydrologique temporelle de la zone ont été réalisés entre le 16 et le 19 janvier, et les documents et produits nécessaires à la localisation des boîtes noires, à la mise en œuvre des ROV, ainsi qu'aux besoins de l'enquête ont été délivrés aux divers acteurs présents sur zone.

2.8.2. Agapanthe

La première partie de cette campagne consistait à lever une zone non hydrographiée carrée, de 20 milles de côté, de profondeurs comprises entre 12 et 40 m, pour permettre au groupe aéronaval (GAN) d'évoluer en toute sécurité.

Plus d'un million de sondes ont été traitées et validées, entre le 1^{er} février et le 14 avril 2004. Les documents nautiques relatifs à cette zone ont été fournis au porte-avions le 19 mars à son arrivée sur zone.

La première quinzaine du mois d'avril a été l'occasion de tester la faisabilité des visites techniques de deux diesels-alternateurs dans un port étranger (Dubai). Ce fut également la première relève des équipages du BHO et de la MOA à l'étranger.

La seconde partie concernait le levé d'une zone de mouillage pour le porte-avions *Charles de Gaulle*, dans la baie de Massirah au sud du Sultanat d'Oman.

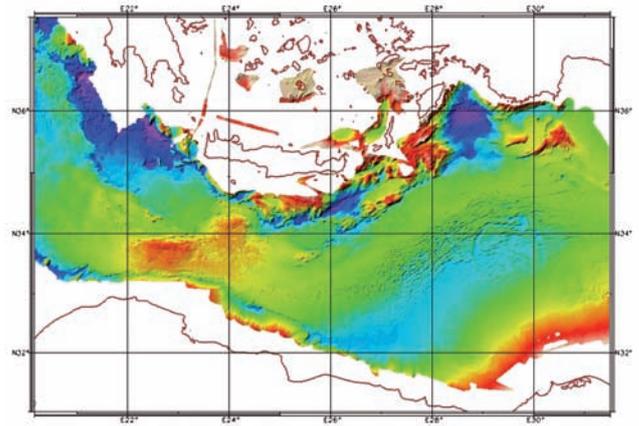
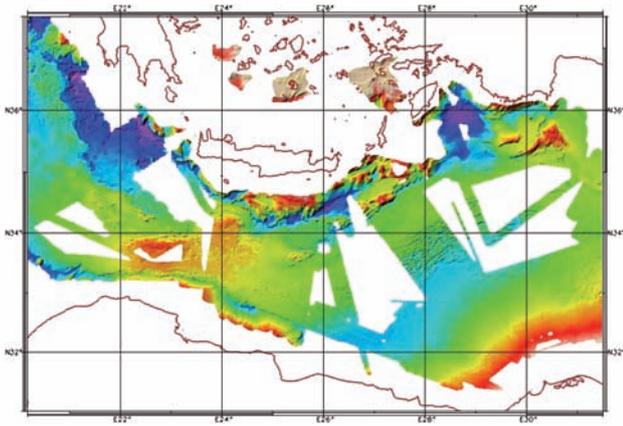
2.8.3. MOUTON

Dans le cadre d'études amont de modélisation océanique d'un théâtre d'opérations navales (MOUTON), le BHO a réalisé, au large du Portugal, du 16 au 27 août 2004, des stations bathysondes, des radiales nord-sud en remorquant le poisson ondulant type « Seasoar » et des mouillages de flotteurs lagrangiens.

2.8.4. MEDOR

La connaissance de l'environnement géophysique en Méditerranée orientale (MEDOR) est à la fois nécessaire pour la connaissance générale de la bathymétrie et pour la connaissance géologique de cette région du monde. Du 30 septembre au 4 décembre 2004, la MOA embarquée sur le BHO a poursuivi ces opérations et, pour la première fois, une équipe d'Ifremer et de la communauté scientifique civile a pris place à bord du BHO dans le cadre du partenariat d'exploitation et des 10 jours annuels de droit d'utilisation du bâtiment.

La superficie totale du fond de mer ainsi cartographiée est voisine de 160 000 km².



Couverture insonifiée avant et après la campagne MEDOR

2.9. Bilan

Le programme BHO est une réussite, tant sur le domaine des performances des équipements scientifiques, et plus précisément le sondeur multifaisceaux grands fonds, que sur l'organisation interne à équipage réduit, et sur la mise en place du fonctionnement à deux équipages.

Soulignons que le *Beautemps-Beaupré* est un bâtiment disposant d'une bonne manœuvrabilité, d'une excellente tenue à la mer en route comme en station et optimisée pour l'Atlantique nord en priorité, d'une très grande souplesse d'utilisation de sa propulsion, qui est silencieuse.

Il possède des moyens de levage lui permettant de mettre en œuvre des matériels scientifiques lourds, des véhicules, des vedettes hydrographiques. Il offre un environnement compatible avec un travail scientifique à la mer.

Rappelons que le *Beautemps-Beaupré* est un navire polyvalent dont les missions principales consistent à réaliser des travaux d'océanographie et d'hydrographie d'intérêt militaire pour répondre aux besoins des forces, ainsi que des travaux d'hydrographie générale, dont le SHOM est responsable dans le cadre de sa mission de service public. C'est aussi un bâtiment militaire, mais les concepts de REA (rapid environmental assessment) ou de support à des opérations amphibies ou de guerre des mines définis par la marine nationale diffèrent substantiellement des orientations prises par la marine britannique. Ils n'imposent pas de doter le BHO de capacités de survivabilité et d'autodéfense lui permettant d'opérer dans un environnement opérationnel très probablement hostile. Le bâtiment doit pouvoir évoluer en zone non sûre mais aucune menace militaire, qui puisse être dimensionnante, n'est prise en compte.

Terminons enfin par quelques mots sur le concept d'emploi : ce bâtiment est destiné à une utilisation intensive de recueil de données dans une approche quasi industrielle. Il opère le plus souvent seul, de façon autonome, sans aide de première nécessité. Les campagnes ont lieu tout au long de l'année. Les campagnes hydrographiques hauturières se déroulent essentiellement en Atlantique nord-est, jusqu'à des latitudes élevées, mais libres de glaces, en Méditerranée, dans le nord de l'océan Indien, et plus généralement dans les zones d'intérêt de la marine. Principalement axées sur la bathymétrie par grandes profondeurs (à partir de 100 mètres) dans

les zones d'intérêt prioritaire de la marine, ces campagnes comportent également de nombreuses mesures géophysiques : gravimétrie, magnétisme, épaisseur et nature des sédiments, géo-acoustique, propagation de signaux radio-électriques de navigation, hydrologie. Ces trois dernières catégories de mesures peuvent demander des observations au point fixe (c'est-à-dire en station) complémentaires aux observations en route ; toutes les autres sont exécutées en route et simultanément. Les campagnes océanographiques sont des opérations complexes, le plus souvent menées en coopération avec d'autres organismes, de la Défense ou extérieurs à la Défense, français ou étrangers. Elles sont l'occasion d'observations très variées (acoustiques, physiques, chimiques, biologiques, etc.). Les campagnes d'hydrographie côtière sont réalisées par l'utilisation conjointe du BHO et des deux vedettes qu'il transporte à cette fin.

3. LE NO POURQUOI PAS ?

3.1. La genèse du projet

Les premières études de dimensionnement d'un navire d'exploration profonde (NEP) ont été engagées en 1997 par l'Ifremer. A partir de 1998, des contacts ont eu lieu entre l'Ifremer, le SHOM et le SPN pour aboutir au partenariat Ifremer/marine nationale pour la construction et l'utilisation en commun de deux navires (cf. paragraphes 1.2 et 2.1).

Le projet NEP est véritablement lancé dans sa phase de définition par la création d'un groupe de travail, dénommé « groupe ad-hoc » en mai 2001, qui a confirmé les scénarii de missions de la communauté scientifique et de la Défense pour un grand navire polyvalent :

- ayant une capacité tous océans (hors zones polaires) ;
- adapté à la mise en œuvre optimale en station des engins sous-marins (*Victor 6000* et *Nautilie*) ;
- équipé de sondeurs multifaisceaux performants, capteurs acoustiques, équipements de sismique, dragues, carottiers (30 m), permettant des campagnes de bathymétrie, de géophysique et d'hydrographie ;
- équipé pour des travaux de reconnaissance générale en route ou en station de la tranche d'eau (océanographie) : mise en œuvre de bathysondes, filets, mouillages, courantomètres, etc ;
- disposant d'une capacité d'accueil plus importante que celle de *L'Atalante* (40 scientifiques et techniciens).

Le premier comité directeur du projet s'est réuni le 28 septembre 2001 et a acté les conclusions du groupe « ad-hoc » et le calendrier du projet. Le groupe de suivi de projet (GSP), mis en place début octobre 2001, a initié de nombreuses réunions de définition du besoin avec les futurs utilisateurs. Elles se sont déroulées au sein de cinq groupes de travail (Vie à bord, Locaux scientifiques, Pont, Motorisation/acoustique et Equipements scientifiques). Cette expression fine du besoin a été entérinée par le comité directeur lors de sa réunion du 4 décembre 2001 et a fait l'objet d'un document détaillé présenté au conseil d'administration de l'Ifremer au mois de mars 2002.

Suite à des appels d'offres européens, le choix du constructeur du navire, des fournisseurs des sondeurs multifaisceaux et des treuils grands fonds et la configuration initiale du projet ont été approuvés par le comité directeur du projet le 16 octobre 2002. La commission des marchés de l'Ifremer puis le conseil d'administration de l'Ifremer ont approuvé les marchés de construction du navire, des sondeurs multifaisceaux et des treuils grands fonds les 10 et 12 décembre 2002.

3.2. La phase de réalisation

3.2.1. Construction

Le contrat a été signé fin 2002 avec les chantiers de l'Atlantique, et les premiers éléments ont commencé à être assemblés à partir de l'été 2003 dans une des formes de Saint-Nazaire. La mise à l'eau, réalisée par remplissage de la forme, s'est déroulée le 14 octobre 2004 en présence du Ministre de la Recherche et du chef d'état major de la marine (EMM). La fin de construction et les essais à quai se sont ensuite poursuivis jusqu'au printemps 2005.



3.2.2. Essais en mer et livraison

La première sortie d'essais en mer s'est déroulée du 16 au 19 mars 2005 ; elle était dédiée essentiellement aux essais du porteur et de la machine.

Au cours de la deuxième sortie d'essais, du 25 au 29 avril, un passage sur les boucles de démagnétisation (rade de Brest) a été effectué, et un problème de bruit provenant des hélices a été détecté.

La troisième sortie à la mer du NO *Pourquoi pas ?* a eu lieu du 2 au 6 mai 2005. À l'issue, le navire a rejoint Saint-Nazaire et est allé au bassin à plusieurs reprises afin d'améliorer le profil de ses hélices et d'éliminer le problème de bruit. Il a accosté à Brest la première fois le 1^{er} juillet 2005. Le 5 juillet, il a été livré à l'Ifremer.

3.2.3. Validation du fonctionnement des équipements scientifiques

Contrairement au BHO *Beautemps-Beaupré*, une campagne d'évaluation technique n'a pas été programmée, mais afin de mettre en service les équipements scientifiques et les appareils spécifiques, de nombreuses sorties en mer se sont déroulées à la petite semaine, de septembre 2005 à mars 2006. Seuls les sondeurs multifaisceaux, à cette date, n'étaient pas opérationnels.

3.3. Jean Charcot et le *Pourquoi pas ?*

Jean-Baptiste Charcot est né le 15 juillet 1867 à Neuilly-sur-Seine. Médecin de formation, il consacre tous ses loisirs aux bateaux et à la mer. Durant l'été 1901, il accomplit à la voile un raid aux îles Féroé (Atlantique Nord). Un an plus tard, il se rend à l'île Jan Mayen au delà du cercle polaire arctique.

En 1903, il débute la construction du navire le *Français* avec lequel il réalise une première expédition australe de 1903 à 1905. Tout au long de l'hiver, plusieurs expéditions et ascensions permettent de mener des observations astronomiques et topographiques, d'inventorier une partie de la faune et des roches et minéraux.

Le 18 mai 1908, le *Pourquoi pas ?*, quatrième du nom et plus grand que le *Français* est mis à l'eau à Saint-Malo. Une nouvelle expédition, patronnée par l'académie des sciences, le muséum d'histoire naturelle et l'institut d'océanographie, embarque quatre scientifiques qui étudient la botanique, la zoologie, la géologie et le magnétisme, lors de l'expédition australe 1908/1910. Les résultats de cette nouvelle expédition sont édifiants : la connaissance de la péninsule Antarctique s'est considérablement enrichie, de nombreuses cartes marines et terrestres ont été dressées. L'ensemble des données permet de rédiger un traité en 28 volumes, illustré de quelque 8 000 photographies.

Pendant le premier conflit mondial, Jean-Baptiste Charcot est lieutenant de vaisseau sur un bâtiment de lutte anti-sous-marin.

En 1919, il reprend ses campagnes océanographiques. Dans la nuit du 15 septembre 1936, le *Pourquoi pas ?* est victime d'une tempête au large de l'Islande. Il n'y aura qu'un seul survivant.

Par fidélité à Jean-Baptiste Charcot, l'Ifremer a choisi de reprendre l'orthographe *Pourquoi pas ?* et l'abréviation *Pp?* qu'il utilisait dans sa correspondance pour désigner son navire.

3.4. Les caractéristiques techniques du *Pourquoi pas ?*

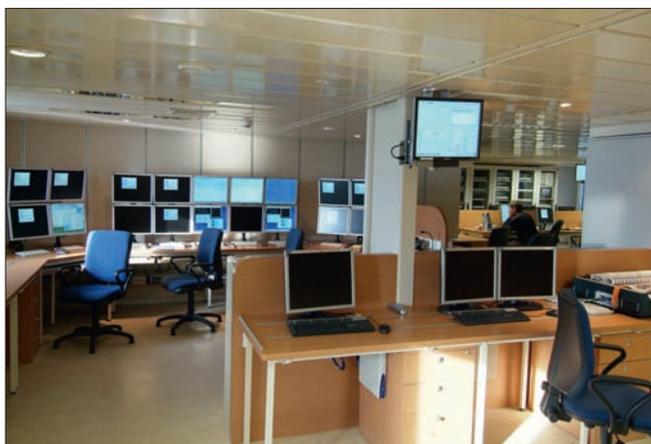
3.4.1. Caractéristiques générales

Le NO *Pourquoi pas ?* mesure 107 mètres de long, 20 mètres de large, dispose d'un déplacement à pleine charge de 6 600 tonnes et son tirant d'eau atteint les 7 mètres.

Il est équipé de 4 groupes diesel alternateurs Wartsila (1 450 kW chacun) qui distribuent toute l'énergie nécessaire, à la fois pour la propulsion aux 2 moteurs électriques et pour les équipements.

Il est équipé de deux lignes d'arbre à pales fixes et de 4 propulseurs d'étrave (3 à l'avant et un à l'arrière). Son autonomie à 11 noeuds est de 64 jours, il peut produire jusqu'à 45 tonnes d'eau douce par jour.

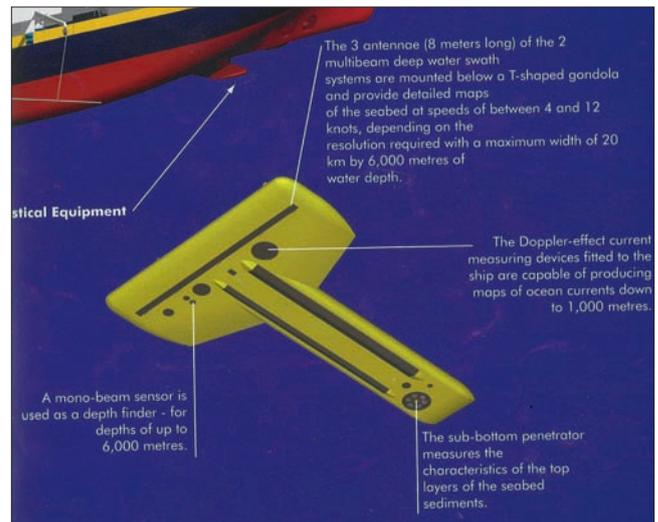
Le nombre de scientifiques peut atteindre 40, celui de l'équipage 35 (un minimum de 23 personnes est nécessaire pour naviguer sans opérations).



PC scientifique nouvelle génération

3.4.2. Equipements scientifiques et appareils spécifiques

Le *Pourquoi pas ?* est équipé comme le BHO d'une gondole installée sous la coque et composée de la plupart des équipements acoustiques. Ces gondoles n'ont pas la même silhouette, mais leurs dimensions sont similaires.



Les principaux équipements scientifiques présents à bord sont listés ci-après :

- sondeur multifaisceaux 7111 100 kHz – Reson : sondeur petits fonds dont les performances théoriques sont proches de celles de l'EM1002 ;
- sondeur multifaisceaux 7150 12 kHz – Reson : sondeur grands fonds dont les performances théoriques sont proches de celles de l'EM120 ;
- sondeur multifaisceaux 7150 24 kHz – Reson : sondeur grands fonds, de résolution plus fine que le 7150 mais de fauchée latérale plus étroite ;
- systèmes de positionnement précis par satellites type Aquarius – Thalès ;
- pénétrateur de sédiments large bande – Ixsea ;
- gravimètre Bodenseewerk type KSS31 ;
- pénétrateurs de courant à effet Doppler RDI (38 et 150 kHz) ;
- bathythermographe Win MK21 – Sippican ;
- base ultra courte Posidonia – Ixsea ;
- célérimètre SVP-C – Reson ;
- centrale horaire Sofy M90 EXP 320 – ACEB ;
- magnétomètre SMM II – Thomson ;
- magnétomètre vectoriel VM 300D – Ixsea ;
- centrale météo Batos – Météo France ;
- sonde de température numérique SBE 6 – Seabird ;
- sondeur monofaisceau EA600 12,38 200kHz – Simrad ;
- thermosalinomètre SBE 21 Seacat – Seabird ;
- synchronisation équipements acoustiques SADS – Ifremer ;
- CTD SBE 19 plus – Seabird ;
- centrale intégrée de navigation – CINNA ;
- 2 gyrocompas modèle Octans – fabricant Ixsea ;
- centrale d'attitude modèle Phins – fabricant Ixsea.

Concernant les appareils, on retiendra :

- Le portique arrière de 22 tonnes permettant d'opérer des engins habités (vedettes hydrographiques comprises) et inhabités ;

- le treuil océanographique (CMU 15 tonnes, 2 enrouleurs de 10 000 mètres de câble) permettant le carottage, le dragage, la traction d'engins remorqués, le déploiement au fond d'engins lourds ;
- les 2 treuils et le portique associé pour l'hydrologie (8 000 mètres de câble sur chacun) ;
- la grue midship (toit du hangar à tribord) : 15 tonnes à 15 mètres à quai - 3 tonnes à 15 mètres à la mer ;
- la grue océanographique (tribord arrière) : 20 tonnes à 15 mètres à quai - 8 tonnes à 13 mètres à la mer ;
- la grue arrière bâbord : 15 tonnes à 12 mètres à quai - 3 tonnes à 12 mètres à la mer ;

On notera enfin, pour asseoir définitivement les dimensions hors normes de ce navire, qu'il dispose de 950 m² de surface de locaux scientifiques, qu'il peut transporter 20 conteneurs de 20 pieds, et qu'en plus des deux vedettes hydrographiques sur bossoirs monobras, il est capable de transporter 4 vedettes supplémentaires et de les mettre à l'eau soit, par le portique arrière, soit par la grue océanographique.

3.5. Les problèmes de SMF et de bullage

3.5.1. Sondeurs non recettés fin 2007

Que ce soit le SMF petits fonds 7111 ou les deux SMF grands fonds 7150 à 12 et 24 kHz, leur recette n'a pas encore été prononcée fin 2007. Ces sondeurs de nouvelle génération n'existaient pas encore en production chez le constructeur Reson lors du choix du titulaire fin 2003, mais personne au moment de la signature du contrat n'aurait imaginé les difficultés rencontrées pour leur mise au point, pendant plus de deux années.

Le SHOM et l'Ifremer avaient défini 3 besoins : celui petits fonds, celui grands fonds à large couverture et celui grands fonds à très haute résolution (au détriment de la couverture). L'originalité de la proposition Reson venait de l'utilisation commune pour les 24 et 12 kHz de l'antenne de réception, permettant ainsi d'être nettement moins cher que la proposition de 3 SMF de la part du constructeur concurrent Kongsberg. Les performances globales des deux constructeurs étaient approximativement similaires.

Les premiers essais en mer des SMF ont débuté à l'été 2005, ils se sont poursuivis régulièrement pendant deux ans, avec des recettes programmées mais finalement reportées, entraînant par ailleurs des avenants au contrat initial. Finalement, les pénalités successives dont une partie a été versée en pièces de rechange, dépassent le million d'euros, pour un montant de contrat initial de 2,6 mEuros ; malheureusement, fin 2007, les performances des SMF n'atteignent pas encore celles demandées dans le cahier des charges.

Il faudra attendre la fin de l'année 2008 pour que soient acceptés contractuellement les sondeurs. Cependant, pour le sondeur grands fonds (12 et 24 khz), le problème fondamental de données très bruitées qui demandent un temps de traitement de 2 à 3 fois plus long que celui du traitement des données issues du BHO, et surtout qui peuvent masquer certaines obstructions, est toujours présent lorsque les fonds sont perturbés. La cause semble provenir d'un défaut de conception des transducteurs, qui ne seront pour autant pas remplacés avant début 2010.

3.5.2. Présence de bulles sous la gondole

Au problème de mise au point des SMF, s'ajoute celui du passage de bulles sous la gondole. Très vite en effet, par de l'écoute acoustique puis des mises en place de caméras sous-marines, il est apparu que des bulles se formaient très en avant au niveau de l'étrave et descendaient sous la gondole, par une mer de face pas très formée (2 à 3) et à une vitesse de 8 nœuds. La cause a été identifiée assez vite (erreur du bassin des carènes choisi par le chantier Alstom aux Pays-Bas) mais les solutions sont lourdes de conséquences ; il faut en effet soit retravailler la forme avant du navire (inimaginable aujourd'hui), soit descendre la gondole sous la coque d'au moins un mètre supplémentaire.

Cette dernière proposition est envisagée en 2011, mais il faut résoudre dans un premier temps le problème des données bruitées par grands fonds, avant de se lancer dans des travaux assez coûteux en temps et en financement (800 kEuros estimés).

3.6. 2006 : première année opérationnelle

La mission ZMAG devait être la première campagne pour le SHOM sur le *Pourquoi pas ?*. Elle devait permettre d'une part, à l'instar de ce qui a été effectué pendant l'ETO du *Beautemps-Beaupré*, des essais des équipements sur un temps assez long ainsi qu'une qualification des sondeurs multi-faisceaux, et d'autre part de formaliser les relations de la MOA et de l'équipage en s'adaptant au fonctionnement type civil.

Le fonctionnement des équipements scientifiques autres que les SMF a été dans les faits, validé au cours de différentes campagnes en 2006, et le personnel du SHOM embarqué a trouvé immédiatement ses repères dès les premières sorties en mer.

3.6.1. CONGAS 2006-2

La première campagne officielle du *Pourquoi pas ?* a été réalisée par le SHOM à partir du 24 avril 2006, elle concernait le deuxième volet de la campagne CONGAS consistant en l'étude de la circulation océanique au-dessus de la pente continentale du Golfe de Gascogne. Des flotteurs type « Surdrifts » et « Apex » ont été largués au cœur des tourbillons découverts au moyen de radiales Seasoar et de tirs Sippican ; des bathysondages ont également été effectués. Un des mouillages d'une source acoustique a également été remplacé pendant cette campagne, qui s'est terminée le 13 mai 2006, et qui a été marquée également par une escale de 2 jours à La Corogne pour valider le concept d'escale à l'étranger et effectuer une rotation de personnel.

3.6.2. MOUTON 2006

La deuxième campagne du SHOM sur le *Pourquoi pas ?* a été effectuée du 11 au 30 juillet 2006, il s'agissait d'une campagne d'océanographie d'étude de la marée interne dans le golfe de Gascogne s'inscrivant dans le cadre du programme MOUTON (modélisation océanique d'un théâtre d'opérations navales). De nombreux mouillages et relevages d'équipements ont été réalisés ainsi que des radiales Seasoar et des stations bathysondes.

Une escale à La Corogne a également permis des rotations de personnels scientifiques.

3.6.3. Essais Newtsuit

La dernière mise à disposition en 2006 du *Pourquoi pas ?* au profit de la marine l'a été pour le compte du CEPHISMER (section intervention/engins (SIE)) du 16 au 30 septembre, pour valider l'implantation et la mise en œuvre du scaphandre atmosphérique Newtsuit et du ROV *Ulysse* associé. Le scaphandre a été mis en œuvre au mouillage sans système de positionnement dynamique, en raison de l'indisponibilité de son système de mise à l'eau standard (LARS). Le ROV a été mis en œuvre depuis la plage arrière et depuis le poste tribord de mise à l'eau du Newtsuit. Le système de ventilation SLAS, non accepté à la date des essais, ainsi que la mise en œuvre du Newtsuit par le LARS seront à valider ultérieurement, mais ne présentaient aucune difficulté apparente.

3.7. Bilan

Deux ans après l'admission en service du BHO, le NO *Pourquoi pas ?* a débuté ses campagnes opérationnelles. Ce navire est également un succès concernant la maniabilité, le silence de la propulsion et la stabilité du flotteur, le classant ainsi au premier plan mondial des navires océanographiques. Malheureusement, le retard pris sur la mise au point des sondeurs multifaisceaux n'a pas encore permis aujourd'hui de statuer sur ces capacités hydrographiques. Il peut toutefois embarquer jusqu'à 6 vedettes type Fassmer, s'avérant être ainsi une véritable force de frappe pour l'exécution de levés côtiers.

D'autre part, les relations entre le personnel du SHOM et l'équipage civil ne posent aucune difficulté, au contraire la MOA apprécie à chaque sortie la compétence et le dévouement de l'équipage.

Le NO *Pourquoi pas ?* est un navire polyvalent dont les missions principales consistent à réaliser des travaux d'océanographie et d'hydrographie générale, dont le SHOM est responsable dans le cadre de sa mission de service public. Il est capable également, compte tenu de la redondance de ses systèmes propulsifs, de mettre en œuvre le système de secours de ventilation des sous-marins, le Newtsuit. Il ne sera pas en revanche déployé au sein d'une force, ni envoyé en avance de phase dans le cadre d'opérations de REA.

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La fin des années 90 a été marquée par le désarmement du BH1 *L'Espérance* et, en 2008, du BO *D'Entrecasteaux* (transformé en bâtiment de soutien), mais l'arrivée des remplaçants que sont le BHO *Beautemps-Beaupré* et le



Beautemps-Beaupré



Pourquoi pas ?

NO *Pourquoi pas ?* permettent au SHOM de récupérer une capacité océanographique à la pointe de la technologie, ainsi que de disposer de navires capables de déployer une importante capacité hydrographique autonome et sur tout océan (excepté les zones polaires).

Ces bâtiment et navire, ultra modernes, possèdent un taux d'emploi très élevé (300 jours d'absence du port base) et leur rentabilité n'est plus à démontrer, mais une attention toute particulière devra être portée à leur entretien, pour éviter un vieillissement prématuré du fait de leur taux d'emploi élevé.

5. GLOSSAIRE

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiling	IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ALN	Alstom Leroux Naval	MCO	Maintien en Condition Opérationnelle
ASA	Admission en Service Actif	MOA	Mission Océanographique de l'Atlantique
BHO	Bâtiment Hydro-Océanographique	NAVOCEANO	Naval Oceanographic Office
BO	Bâtiment Océanographique	NEP	Navire d'Exploration Profonde
BH1	Bâtiment Hydrographique de 1ère classe	NO	Navire Océanographique
CEPHISMER	CEllule Plongée Humaine et Intervention Sous la Mer	OHI	Organisation Hydrographique Internationale
CMU	Charge Maximale Utile	REA	Rapid Environment Assesment
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	ROV	Remote Operated Vehicle
DA	Diesel Alternateur	SMF	Sondeur Multifaisceau
DCN	Direction des Constructions Navales	SONAL	Sonar Latéral
ETO	Evaluation Technique et Opérationnelle	SPN	Service des Programmes Navals
GAN	Groupe Action Naval	SSF	Service du Soutien de la Flotte
Ifremer	Institut français de recherche sur la mer		

GROUPE OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(1^{er} octobre 2005 - 31 août 2008)

par Laurent KERLEGUER, ingénieur en chef de l'armement

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	9-3
2. LES MISSIONS DU GOA	9-3
3. COMPOSANTES, ORGANISATION	9-3
4. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES RÉALISÉS	9-5
4.1. Travaux d'hydrographie générale	9-5
4.1.1. Levé bathymétrique aux îles Eparses (cf. annexe 2-3 et 2-8)	9-5
4.1.2. Campagne hydrographique en mer Rouge et dans le golfe d'Aden (cf. annexe 2-9 et 2-10)	9-6
4.1.3. Revue d'amers en Corse	9-6
4.1.4. Campagne d'évaluation des sondeurs bathymétriques du NO <i>Pourquoi pas ?</i> (cf. annexe 2-19, 2-20 et 2-32)	9-6
4.1.5. Campagne GEOMED (cf. annexe 2-17)	9-7
4.1.6. Levés hydrographiques à Madagascar (cf. annexe 2-11, 2-12 et 2-13)	9-7
4.1.7. Levés demandés par les bases navales (cf. annexe 2-16, 2-23, 2-24, 2-25 et 2-26)	9-7
4.1.8. Réseau RONIM, mesures de marée et de courant en métropole (cf. annexe 2-22)	9-8
4.1.9. Transits valorisés (cf. annexe 2-35)	9-8
4.1.10. Mise à jour de l'information nautique	9-8
4.2. Campagnes au profit de la Défense	9-8
4.2.1. Campagnes d'océanographie au profit du programme de modélisation océanographique opérationnelle MOUTON (cf. annexe 2-29,2-30 et 2-31)	9-8
4.2.2. Campagne de sédimentologie au profit des programmes SEDIMANE et FANINDIEN	9-9
4.2.3. Campagne océanographique OPTICMED au profit du projet d'étude de la turbidité	9-9
4.2.4. Campagne MIRAMER	9-10
4.2.5. Campagne d'acoustique sous-marine au profit du projet STEREO (cf. annexe 2-14)	9-10
4.2.6. Levé bathymétrique dans le golfe Persique au profit d'ALFAN (cf. annexe 2-4)	9-10
4.2.7. Participation au volet de « rapid environmental assessment » (REA) de l'exercice OTAN Noble Midas (cf. annexe 2-18)	9-10
4.2.8. Système déployable d'hydrographie militaire (SDHM) (cf. annexe 2-21)	9-11
4.2.9. Levés au profit de la guerre de mines (cf. annexe 2-15)	9-11
4.2.10. Service de navigation de précision apporté par la base océanographique de la Méditerranée	9-11
4.3. Campagnes au profit des politiques publiques maritimes	9-11
4.3.1. Levé bathymétrique à Mayotte (cf. annexe 2-7)	9-11
4.3.2. Levés bathymétriques au profit du projet Litto3D (cf. annexe 2-33)	9-12
4.3.3. Campagnes de localisation au profit du projet BATHYELLI (cf. annexe 2-34)	9-12
4.3.4. Recherche d'une épave au profit du Bureau d'Enquête et d'Analyses (BEA) pour la sécurité de l'aviation civile à La Réunion	9-12
4.3.5. Levé bathymétrique au profit du programme EXTRAPLAC (cf. annexe 2-1)	9-13
4.4. Campagnes hors SHOM	9-13
4.4.1. Campagnes pour l'Ifremer (cf. annexe 2-2 et 2-5)	9-13
4.4.2. Campagne Newtsuit	9-13
5. QUALITÉ	9-14
6. COMMUNICATION	9-14
7. POINTS À AMÉLIORER, AXES DE RÉFLEXION	9-14
7.1. Moyens	9-14
7.2. Rédaction des levés	9-15
7.3. Personnel	9-15

8. CONCLUSION	9-15
Annexe I Récapitulatif des rapports particuliers (octobre 2005- septembre 2008)	9-16
Annexe II Synoptique des travaux du GOA (octobre 2005- août 2008)	9-19

LISTE DES ENCARTS

Encart n° 1 Les locaux à terre du GOA à Brest et à Toulon	9-57
Encart n° 2 Le bâtiment hydrographique et océanographique <i>Beautemps-Beaupré</i>	9-62
Encart n° 3 Le navire océanographique <i>Pourquoi pas ?</i>	9-64
Encart n° 4 Les vedettes hydrographiques	9-66
Encart n° 5 La préparation logistique des missions	9-68

1. INTRODUCTION

Ce rapport de mission couvre la période du 1^{er} octobre 2005 au 31 août 2008 dont il retrace les activités principales.

La période précédant 2005 avait été marquée par une modernisation exceptionnelle de la flotte hauturière employée par le groupe océanographique de l'Atlantique (GOA) du fait du renouvellement complet de la flotte hydrographique hauturière du SHOM avec l'entrée en service en 2003 du bâtiment hydrographique et océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré* (marine nationale) et la livraison en 2005 du navire océanographique (NO) *Pourquoi pas ?* (Ifremer).

La période 2005-2008 a été marquée par l'achèvement de la mise au point des appareils scientifiques et notamment des sondeurs du *Pourquoi pas ?*, par la réalisation des premières campagnes opérationnelles au moyen de ce navire et par l'exploitation du *Beautemps-Beaupré* au niveau maximum des capacités d'emploi prévues.

Le paragraphe 4 donne un aperçu de la très grande variété des levés et campagnes réalisés par le GOA et de la grande diversité des objectifs poursuivis par les commanditaires de ces travaux.

L'événement majeur qu'a représenté pour le SHOM le passage en établissement public à caractère administratif (EPA) en mai 2007 ne poursuivait pas d'objectif particulier pour les groupes hydrographique et océanographique (GHO) et il n'a eu pour le GOA qu'un impact marginal. L'organisation du GOA et notamment la nouvelle manière de définir ses relations au sein de la marine, qui lui apporté de nombreux soutiens, a cependant dû être mise à plat.

2. LES MISSIONS DU GOA

Le SHOM compte pour la réalisation des levés en mer sur trois GHO : le groupe océanographique du Pacifique (GOP) basé à Nouméa et Papeete, et doté de moyens légers pour l'hydrographie côtière, le groupe hydrographique de l'Atlantique (GHA) basé à Brest qui emploie les bâtiments hydrographiques côtiers de la classe *La Pérouse* (1 000 t) et le GOA.

La mission spécifique du GOA dans cette organisation est la réalisation de levés hauturiers, et des levés en projection sur des zones éloignées de la base à terre, réalisés dans le cadre de déploiements de longue durée outre-mer.

Pour cette raison le GOA exploite les bâtiments de plus fort tonnage, disposant d'une très forte autonomie et dotés des systèmes de mesure très complets requis pour les campagnes océanographiques pluridisciplinaires.

Le GOA a contribué aux travers des levés et campagnes réalisés aux trois grandes missions du SHOM :

- la sécurité de la navigation,
- le soutien de la Défense,
- le soutien aux politiques publiques de la mer.

La grande variété des levés réalisés par le GOA au service de ces trois missions est présentée au paragraphe 4.

En outre les interventions fréquentes du GOA dans les eaux étrangères et les escales réalisées dans les ports étrangers l'ont amené à jouer opportunément le rôle d'ambassadeur du SHOM en poursuivant son action diplomatique notamment pour le développement de coopérations.

Les missions effectuées par le GOA l'ont conduit à exercer ce rôle essentiellement en océan Indien.

Enfin comme toutes les composantes du SHOM mais avec les atouts de disposer des moyens à la mer très valorisants pour l'image du SHOM, le GOA contribue assez fortement à l'action de communication du SHOM.

3. COMPOSANTES, ORGANISATION

Qu'on le désigne mission océanographique de l'Atlantique (MOA) avant la refondation du SHOM ou groupe océanographique de l'Atlantique (GOA) suivant les termes du décret n° 2007-800 du 11 mai 2007 constitutif de l'EPA SHOM, l'organisation générale de l'ensemble n'a pas évolué.

Il est constitué de deux éléments (cf. encart n°1) :

- l'unité océanographique de l'Atlantique (UOA) implantée dans la base navale de Brest, chargée des levés hydro-océanographiques à partir des navires et bâtiments employés par le GOA,
- la base océanographique de la Méditerranée (BOM) implantée dans la base navale de Toulon et équipée d'une vedette hydrographique (VH), en charge pour l'essentiel de la réalisation des levés d'entretien côtiers et littoraux entre Marseille et Hyères. Son personnel est placé en service à terre.

La BOM est une petite unité de 5 personnes, l'essentiel de l'effectif du GOA étant regroupé à Brest au sein de l'UOA (~ 50 personnes).

Les nombreux soutiens apportés par la marine au GOA doivent, depuis le passage du SHOM en EPA, faire l'objet de conventions entre la marine et le SHOM dont le texte était en discussion à l'été 2008.

Pour la réalisation de travaux à la mer le GOA emploie deux fleurons de la flotte océanographique française :

- le BHO *Beautemps-Beaupré* (3 300T) entré en service en 2003,
- le NO *Pourquoi pas ?* (6 600T) entré en service en 2005.

Ces deux plates-formes ont été acquises en partenariat entre le ministère de la Défense et le ministère de la Recherche. La première est un bâtiment de la marine nationale financé à hauteur de 5 % par le ministère de la Recherche, la seconde est un navire de l'Ifremer financé à hauteur de 45 % par le ministère de la Défense.

Une convention entre la marine et l'Ifremer relative à l'exploitation du bâtiment BHO *Beautemps-Beaupré* de la marine nationale et du NO *Pourquoi pas ?* de l'Ifremer fixe les modalités de partage de ces moyens.

La marine bénéficie d'un droit d'utilisation annuel de 290 jours du BHO et de 150 jours du NO et l'Ifremer de 10 jours du BHO et de 180 jours de NO.

Il est à noter qu'un mécanisme d'équivalence, prenant en compte pour la comptabilité en jours les capacités des différents moyens, permet d'utiliser *L'Atalante*, la *Thalassa* ou le *Suroît* en substitution du *Pourquoi pas ?* et un BH2 en substitution du BHO.

Ainsi le GOA a déjà réalisé des campagnes sur *L'Atalante*, la *Thalassa* et le *Suroît*.

Les performances du BHO *Beautemps-Beaupré* et du NO *Pourquoi pas ?* sont remarquables, un article leur est consacré dans ces mêmes annales AH 775. Des encarts (n° 2 et n° 3) rappellent leurs caractéristiques principales.

Le *Beautemps-Beaupré* se caractérise par la parfaite intégration des systèmes de mesures. En particulier la gondole (appendice rapporté sous la coque accueillant les transducteurs des sondeurs multifaisceaux) a démontré tout son intérêt pour la qualité des mesures (rapport signal sur bruit amélioré). Les équipements très complets couvrent l'hydrographie, la sédimentologie, la géophysique, l'océanographie. Le BHO peut emporter deux VH dont la mise en oeuvre par deux bossoirs monobras, bâtiment en route, est très rapide et sûre. Les locaux spacieux permettent d'effectuer le traitement des données à bord.

A l'usage la capacité de logement limitée du bâtiment est son seul vrai handicap. Transitant régulièrement dans des zones d'insécurité (notamment en raison de la piraterie) il doit embarquer un détachement de 7 personnes du groupe d'intervention régional (GIR), dont le logement n'a pas été prévu dans le concept initial, ce qui oblige à embarquer des conteneurs vie supplémentaires qui limitent les espaces de manoeuvre sur la plage arrière.

Il reste également à le doter des moyens de communication efficaces qui font défaut à un bâtiment de cette catégorie. Il ne dispose en effet actuellement que d'un lien Internet à faible débit et coûteux car utilisant la constellation Inmarsat, l'installation du système VSAT était programmée pour la fin de 2009 au plus tôt.

Le *Beautemps-Beaupré* est armé par deux équipages désignés A et B qui se succèdent tous les quatre mois aux commandes du BHO. Afin de permettre les déploiements lointains une des trois relèves d'équipage annuelles est effectuée à l'étranger en profitant des points d'appui français outre-mer. Sur la période octobre 2005 - septembre 2008 trois relèves furent ainsi effectuées outre-mer à La Réunion en juillet 2006 et en mars 2008 et à Djibouti en mars 2007. Ces relèves purent bénéficier de transport par voie aérienne militaire. Ainsi les équipages de conduite et scientifique sont au service du moyen.

La marine a confié fin 2007 à un maître d'oeuvre le maintien en conditions opérationnelles du BHO pour une durée de 5 ans dans le cadre d'un contrat de disponibilité qui fait obligation de résultat à l'industriel. Ce contrat est de très bon augure pour assurer la disponibilité du BHO dans les années qui viennent.

Au total, le BHO est un bâtiment très productif, moderne avec des normes de logement au standard marine marchande, très apprécié des marins.

Le *Pourquoi pas ?* reprend en très grande partie les mêmes concepts et équipements. Il se distingue par sa taille (tonnage double de celui du BHO) et en corollaire une capacité d'emport de charges utiles additionnelles très importante (jusqu'à 20 conteneurs peuvent être embarqués). Cette capacité en fait d'ailleurs un navire figurant dans la liste des navires capables d'accueillir le système OTAN de sauvetage de sous-marins (système Newtsuit).

Cet atout de taille du navire lui confère une stabilité très intéressante pour les mesures en station nombreuses en océanographie et pour le confort du personnel.

Le *Pourquoi pas ?* est armé par Genavir dont les équipages de conduite sont mobiles sur l'ensemble de la flotte et se relaient tous les deux mois où que le navire se trouve. Là aussi les équipages sont au service du navire.

La seule ombre au tableau concernant le *Pourquoi pas ?* sur la période 2005-2008 fut le temps désespérément long mis par le fournisseur pour mettre au point les sondeurs multifaisceaux (grands et petits fonds) dont la recette partielle ne put être prononcée qu'avec deux ans de retard au mois de décembre 2007. De plus la gondole qui abrite les sondeurs n'est pas implantée de façon complètement satisfaisante, ce qui a comme conséquence une perturbation des sondeurs par le bullage lorsque le navire évolue par mer formée de l'avant. Une modification de l'implantation de la gondole est envisagée pour corriger ce défaut.

Il faut souligner que le BHO et le NO s'ils sont très performants sont de plus très économiques à de nombreux points de vue : sobriété de la consommation en gazole, autonomie totale en eau douce, autonomie totale pour le retraitement des déchets et des rejets, construction et conséquemment entretien simples...

C'est un point à souligner compte tenu de la maîtrise des coûts de possession de la flotte.

L'entrée en service de ces deux moyens a permis de réaliser des gains de productivité substantiels. Ces gains tiennent pour l'essentiel à leur endurance à la mer, à une organisation efficace de leur maintien en conditions opérationnelles, aux performances des senseurs mais aussi à des solutions d'organisation qui quoique différentes pour les deux sont également productives.

L'emploi du *Beautemps-Beaupré* fait l'objet d'une convention entre ALFAN (autorité organique du bâtiment) et le SHOM son employeur opérationnel quasi-exclusif. Les volumes annuels d'emploi autorisés du BHO sont fixés par le volet « moyens » du contrat d'objectifs et de moyens (COM) de l'EPA SHOM. Une planification à trois ans des campagnes à la mer est préparée par la direction de la stratégie de la planification et des relations extérieures (DSPRE) du SHOM prenant en compte les besoins de travaux. Le directeur du GOA prépare alors le programme annuel dans ce cadre.

L'emploi du *Pourquoi pas ?* et en particulier la mise au point de son programme annuel d'activité est réalisé à deux niveaux, entre l'Ifremer et le SHOM (le SHOM représentant

l'ensemble des intérêts de la marine) pour la définition du programme en grandes masses puis entre le directeur du GOA et le responsable de la programmation des navires de l'Ifremer pour le réglage fin du programme de principe et le suivi de cette programmation tout au long de l'année.

Le régime mer/escale est plus productif sur le *Pourquoi pas* ? (1 jour d'escale pour 7 jours de mer contre 4 jours d'escale pour 11 jours de mer sur le BHO).

Les trois VH de type Fassmer *Albatros*, *Cormoran* et *Pélican* qui peuvent travailler de manière autonome ou que le GOA peut déployer sur le BHO et, plus rarement, sur le NO, complètent remarquablement le dispositif étant elles-mêmes très bien équipées et performantes (encart n° 4).

La VH la *Zélée* basée à Toulon, d'un type différent des VH de type Fassmer et embarquant un sondeur spécifique (Fansweep 20) n'a en revanche pas connu le même niveau de performances.

Les difficultés de fonctionnement de la BOM ont conduit fin 2007 à s'interroger sur son organisation. Le fort taux de panne de sa VH, la spécificité des équipements en place (vedette et sondeur en exemplaires uniques) et l'absence à Toulon d'ingénieur en charge de la maintenance nuisent fortement au rendement de cette unité. Une nouvelle organisation a été proposée sur la base d'un équipement standard pour le SHOM puisqu'il reprend les bases du système déployable d'hydrographie militaire (SDHM) utilisé par le SHOM pour faire des levés opérationnels au moyen d'équipes projetées sur des théâtres d'opération.

Cet équipement plus simple est cohérent avec les missions de levés portuaire et littoral de la BOM.

La nouvelle organisation devait être mise en place au deuxième semestre de 2008 dès la réception du nouvel équipement.

Enfin pour être complet concernant les vecteurs utilisés pour les opérations à la mer, il convient de signaler que le GOA :

- a réalisé des campagnes au moyen des bâtiments de soutien et d'assistance pour la dépollution (BSAD) gérés par CECLANT. Ces bâtiments sont utilisés pour des campagnes logistiques qui nécessitent simplement des mises en place ou des relevages de mouillages instrumentés sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des mesures (les BSAD ne disposant d'aucun système de mesure spécifique pour l'hydrographie ou l'océanographie).
- a réalisé ces trois dernières années trois campagnes sur le navire de l'institut Paul Emile Victor (IPEV) *Marion Dufresne* dans l'océan Indien sud et en Antarctique.

Au total le GOA effectue près de 500 jours d'activité à la mer par an dont 450 sur ses deux porteurs principaux *Beautemps-Beaupré* et *Pourquoi pas* ?.

Sur la période du 1^{er} octobre 2005 au 31 août 2008 le *Beautemps-Beaupré* a été absent de son port base de Brest 870 jours et le *Pourquoi pas* ? et ses substituts ont effectué 424 jours de campagne au profit de la marine et du SHOM. Cette activité soutenue réalisée dans le cadre de déploie-

ments lointains et sur des durées pouvant atteindre une année exige un savoir faire logistique et une forte autonomie pour la maintenance de premier niveau des systèmes. Le service logistique du GOA a joué un rôle fondamental pour assurer la disponibilité opérationnelle des moyens spécialisés (cf. encart n° 5).

4. TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES RÉALISÉS

Dans le cadre de sa triple mission (sécurité de la navigation, soutien de la Défense, soutien aux politiques publiques maritimes), le SHOM conduit de nombreux programmes dans des domaines variés de la connaissance et de la maîtrise de l'environnement.

La collecte de données et d'information in situ est un dénominateur commun à tous ces programmes et place les GHO au coeur du dispositif.

Ainsi le GOA a collecté des données suivant les spécifications des chefs de projet concernés. Ces données sont selon les cas des données de description et de cartographie de l'environnement, des données de « vérité terrain » (par exemple pour l'initialisation, l'assimilation de données ou le contrôle de systèmes de prévision) ou des données nécessaires pour la compréhension, l'analyse ou la modélisation de phénomènes.

Tous les travaux réalisés ont fait l'objet de rapports particuliers auxquels il convient évidemment de se référer parce qu'ils font foi et parce qu'ils sont bien plus détaillés que cette synthèse. La liste exhaustive de ces rapports est fournie en annexe I, l'emprise géographique des travaux réalisés par le GOA sur la période fait l'objet de l'annexe II.

Dans la suite les campagnes ont été classées suivant la grande mission du SHOM à laquelle elles se rattachent et par projet (le SHOM a une organisation de son activité par projet depuis 2004).

Un travail de synthèse a été réalisé pour retenir les travaux les plus significatifs, le but étant ici de montrer la grande variété des travaux et des objectifs poursuivis.

4.1. Travaux d'hydrographie générale

4.1.1. Levé bathymétrique aux îles Eparses (cf. annexe 2-3 et 2-8)

Lors du déploiement du BHO dans le sud de l'océan Indien en 2006 le GOA réalisa des levés dans les îles Eparses à Tromelin sur le banc de la Feuillée et aux îles Glorieuses, acheva les levés du récif du Geyser et du banc de la Zélée entrepris en 2003 lors de la campagne d'essais technico-opérationnels du BHO, et y effectua les travaux de spatio-préparation.

Les travaux entrepris à la demande de l'adjoint mer du COMSUP La Réunion visaient à assurer la sécurité des bâtiments de la marine qui ravitaillent ces îles et, pour le récif du Geyser et le banc de la Zélée, à permettre l'établissement des lignes de base nécessaires à la définition de la ZEE française en océan Indien.

4.1.2. Campagne hydrographique en mer Rouge et dans le golfe d'Aden (cf. annexe 2-9 et 2-10)

La France a des responsabilités de cartographie internationale dans le sud de la mer Rouge. Dans ce cadre, le GOA a effectué au premier semestre 2007 une campagne d'hydrographie dans le sud des îles Hanish et dans le golfe d'Aden (campagne REDADEN) avec le BHO *Beautemps-Beaupré*. Ces levés contribuent à assurer la sécurité de la navigation notamment au profit du groupe aéronaval qui fréquente très régulièrement ces eaux lors de transits vers ses zones d'opérations en océan Indien. De plus les levés furent mis à profit pour améliorer la connaissance bathymétrique au profit de la navigation sous-marine (campagne REDISO).

Ce levé fut pour le GOA l'occasion de mettre en oeuvre pour la première fois le Sonal Edgetech MPX 4300 qui présente l'avantage, par rapport au Sonal Edgetech 272-TD utilisé auparavant sur le BHO (et encore aujourd'hui sur les VH), d'une résolution accrue. La capacité « multiring » du Sonal MPX permet de conserver une haute résolution sans réduction de la vitesse de sondage car la séparation en fréquence des émissions permet d'émettre sans attendre le retour d'écho de l'émission précédente.

Comme tous les levés réalisés dans des eaux sous juridiction étrangère ce levé fit l'objet d'une demande d'autorisation transmise par voie diplomatique avec le préavis important de six mois requis pour ces démarches. Malgré cela l'accord des autorités yéménites fut difficile à obtenir pour des raisons liées à des explications dans le dossier de demande jugées insuffisantes et par le fait que des levés récents avaient été réalisés par le service hydrographique du Royaume-Uni (levés dont le SHOM malgré ses démarches répétées n'avait pu obtenir les résultats).

La leçon qui en fut tirée est que lorsque des levés sont à réaliser dans les eaux de pays où la France a peu l'habitude d'intervenir, une mission d'explication de ses motivations doit être envisagée.

L'attente à Djibouti, jusqu'à l'obtention de l'autorisation de sonder dans la ZEE du Yémen en mer Rouge, fut consacrée à la réalisation de levés au profit du port autonome de Djibouti dans le cadre de l'arrangement technique franco-djiboutien sur la coopération en hydrographie et au profit de l'unité marine.

En 2006 et 2007, le GOA fut d'ailleurs très actif dans le domaine de la coopération avec Djibouti puisque tous les passages du BHO dans ce port furent mis à profit pour effectuer des levés et répondre ainsi au très grand nombre de demandes des autorités djiboutiennes et notamment du port autonome international de Djibouti (PAID) :

- levé du nouveau terminal pétrolier de Dorâlé,
- levé des postes 9 (poste de la marine), 10, 11 (utilisable par le PA *Charles de Gaulle*) et 12,
- levé du terminal des conteneurs,
- levé de l'escale marine,
- contrôle de sondes d'un levé du port de Djibouti effectué pour le naval oceanographic office par un détachement du US Navy surveys,
- levé d'une zone de mouillage dans le Ghoubbet-El-Kharab en prévision d'un projet d'exploitation du sel du lac Assal et de son transport par la mer.

4.1.3. Revue d'amers en Corse

La BOM a réalisé en 2006 la revue d'amers de la Corse. Cette revue a donné lieu à la rédaction de plus de 200 fiches d'amers et de balisage et à la réalisation de photographies des côtes de Corse et des îles italiennes. Ces éléments seront exploités pour la mise à jour de la documentation pour la navigation et notamment pour les Instructions Nautiques D2.3 du SHOM.

4.1.4. Campagne d'évaluation des sondeurs bathymétriques du NO *Pourquoi pas ?* (cf. annexe 2-19, 2-20 et 2-32)

Le NO *Pourquoi pas ?* possède deux sondeurs multifaisceaux fournis par la société Reson, un sondeur petits fonds 7111 et un sondeur grands fonds 7150. La mise au point de ces sondeurs a été très difficile en raison d'un écart initial important à la spécification, que la société Reson a mis un long temps à réduire. La recette des sondeurs put finalement être prononcée au mois de décembre 2007 soit avec deux ans de retard.

Le SHOM au-delà des opérations de recette contractuelle a souhaité réaliser une campagne d'évaluation détaillée des capacités hydrographiques des sondeurs notamment en raison des délais de traitement anticipés plus long que l'état de l'art.

L'objectif de la campagne était d'évaluer à la fois les performances des sondeurs mais aussi le rendement global de l'acquisition à la remise de la minute de sondage définitive.

Pour cela un levé en vraie grandeur fut réalisé sur un mois incluant des sondages par petits fonds, des sondages d'épaves artificielles et de hauts-fonds rocheux et des sondages par grands fonds.

Cette campagne mit en évidence des capacités intéressantes du sondeur 7111 (petits fonds) qui présente en outre un potentiel d'évolution important. Toutefois ce sondeur a révélé un manque de robustesse inacceptable pour un emploi opérationnel. En outre un certain nombre d'améliorations indispensables à l'utilisation de ce sondeur étaient encore attendues en août 2008 sans qu'il soit possible de dire avec certitude la capacité de la société Reson à apporter ces améliorations. Le sondeur 7150 (grands fonds) a, quant à lui, révélé des limites rédhibitoires pour une utilisation en hydrographie. Son utilisation sera de facto limitée à des levés de reconnaissance ou sans objectif de conformité aux normes de l'OHI.

La campagne EVALHYDRO fut l'occasion d'effectuer le premier travail d'hydrographie du *Pourquoi pas ?* au large du Maroc où deux sondes douteuses furent investiguées.

Ce travail est une action concrète du SHOM dans le cadre de l'arrangement technique en hydrographie signé avec le Maroc.

4.1.5. Campagne GEOMED (cf. annexe 2-17)

La campagne GEOMED réalisée du 18 septembre au 4 octobre 2007 à bord du NO *L'Atalante* avait pour objectif la couverture géophysique (SMF, magnétisme et gravimétrie) de la zone située en mer Tyrrhénienne, à l'est de la Corse et de la Sardaigne. Cette zone présente une forte rugosité bathymétrique et des anomalies gravimétriques d'intérêt scientifique.

L'amélioration de la connaissance géophysique de cette zone devrait permettre de cartographier précisément les courants océaniques, dont le courant Liguro-provençal en particulier.

Les campagnes d'observation géophysique in situ restent indispensables pour l'établissement de modélisation gravimétrique à haute résolution spatiale, car les longueurs d'onde du signal gravimétrique résolues par l'observation spatiale (mesures directe de la gravité ou indirecte via l'altimétrie) sont de l'ordre de 100 km au minimum.

4.1.6. Levés hydrographiques à Madagascar (cf. annexe 2-11, 2-12 et 2-13)

Historiquement la France édite les cartes de Madagascar et y assume de fait la responsabilité cartographique. Cette situation est transitoire en attendant que Madagascar soit en mesure d'assumer cette charge ce qui est une obligation liée à la convention SOLAS à laquelle la grande île est partie prenante.

Or les levés hydrographiques les plus récents à Madagascar datent de 1964 et l'ensemble est en voie d'obsolescence. Un effort conséquent de renouvellement de l'information hydrographique est nécessaire.

Pour créer les conditions d'une prise en main de son hydrographie par Madagascar, le SHOM a entrepris une action sur deux fronts :

- aider Madagascar à bénéficier de projets internationaux susceptibles d'apporter les fonds nécessaires au développement de capacités hydrographiques dans les pays en voie de développement. C'est notamment le cas du capacity building committee de l'OHI et du projet du global environment facility pour le développement d'autoroutes de la mer dans l'ouest de l'océan Indien,
- réaliser les levés les plus prioritaires en attendant que des capacités nationales malgaches puissent prendre le relais.

Concernant le premier point, le GOA contribua en assistant la DSPRE du SHOM, en charge de ce dossier, pour l'exposé des enjeux auprès des autorités techniques et politiques malgaches. Concrètement cette action se traduisit par des prises de contact :

- avec les autorités techniques : l'institut géographique national (FTM) identifié comme organisme technique pilote en charge de l'hydrographie, l'autorité portuaire maritime et fluviale (APMF) et la marine malgache,
- avec des acteurs économiques comme le directeur général de la Société du Port à gestion Autonome de Toamasina (également député à l'assemblée nationale en février 2007 et nommé ministre des transports le 30 avril 2008)
- et avec les autorités politiques à Antananarivo en avril 2008.

En 2008 une coopération tripartite entre Madagascar, la France et la Norvège était sollicitée officiellement par Madagascar.

Parallèlement et conformément aux recommandations de l'OHI, le SHOM cherche à établir un arrangement administratif en hydrographie avec Madagascar afin de clarifier son rôle d'autorité cartographique pour ce pays. Il est en effet admis que le transfert de compétence en cartographie est un processus plus long que la création de la capacité à réaliser des levés hydrographiques et que ces deux actions peuvent être traitées séparément : la première par accord bilatéral avec la France et la seconde par le biais d'une coopération fondée sur les projets internationaux évoqués ci-avant.

Concernant le second point, le GOA effectua en 2008 deux levés d'une durée totale de deux mois dans les ports désignés comme prioritaires par Madagascar : Toamasina qui est le port de la capitale et Mahajanga qui est le port principal de la côte ouest.

Les levés réalisés étaient urgents pour réhabiliter l'hydrographie et rétablir le trafic dans les ports de Madagascar, jugés dangereux par les compagnies d'assurance. Ils ne représentent évidemment qu'une petite partie du travail colossal qui reste à effectuer.

Néanmoins les premiers résultats ont permis de mettre à jour l'hydrographie des voies d'accès principales, et les renseignements cartographiques aux ports de Toamasina et de Mahajanga. La forte évolution des fonds à Mahajanga (située dans le delta du fleuve Betsiboka qui draine de grands volumes de sédiments) et les projets importants d'aménagement d'infrastructures à Toamasina nécessiteront une mise à jour régulière de l'hydrographie.

Des observateurs du FTM et de l'APMF furent embarqués à bord du BHO pour ces travaux.

Enfin pour être complet sur les travaux hydrographiques réalisés à Madagascar il convient de signaler le travail de spatiopréparation effectué lors d'une escale du BHO à Antsiranana au mois d'août 2006.

4.1.7. Levés demandés par les bases navales (cf. annexe 2-16, 2-23, 2-24, 2-25 et 2-26)

A Brest et Toulon, le GOA a effectué des levés bathymétriques d'entretien au profit des bases navales. On note en particulier à Brest le levé de la Penfeld, les levés effectués à la demande de la direction des travaux maritimes et, sous forte contrainte de délai, à l'île Longue pour préparer les aménagements du port dans l'anse du Fret (construction d'un ouvrage pour accueillir des navires rouliers) et dans l'Aulne pour préparer l'arrivée du croiseur *Colbert* au cimetière des bateaux.

Ces levés furent réalisés à Brest au moyen de la troisième VH, c'est-à-dire celle qui n'embarque pas sur le BHO lors de ses déploiements, et à Toulon au moyen de la VH la *Zélee*.

Les moyens en personnel et en matériel à consacrer aux levés à Brest sont assez faibles lorsque le BHO et le NO sont en campagne ce qui implique un étalement important dans le temps peu propice à la réalisation d'un travail de qualité.

L'unité de lieu et l'unité de personne (ou au minimum du chef d'équipe) sont des facteurs favorables à la conduite efficace et à la bonne maîtrise d'un travail d'hydrographie.

Ces conditions furent d'autant moins faciles à réunir que des demandes impromptues et urgentes (notamment celles concernant les travaux à réaliser à l'île Longue) contribuèrent à un fort étalement du levé de la Penfeld.

Une organisation fut définie avec la base navale de Brest reposant sur une partition du port pour permettre d'effectuer des demandes de travaux par « morceaux » pouvant être levés dans un délai maîtrisé. A partir de 2009 les demandes de travaux hydrographiques dans le port pourront être effectuées en utilisant le canevas ainsi défini.

A Toulon la BOM réalisa de nombreux travaux d'entretien de l'hydrographie : quai et darse de Port Saint-Louis du Mourillon (travaux réalisés suite à des talonnages de vedettes), chenal d'accès au fort de Brégançon, pour l'accostage de la « vedette présidentielle » au ponton du fort, quai et abords du quai Noël, contrôle bathymétrique de la zone Caline au profit du groupe des plongeurs démineurs, quai et abords des quais Milhaud et levé réalisé en urgence du quai Ingénieur Isabelle en prévision de l'accueil de la frégate *Forbin*.

Les travaux à la BOM furent souvent perturbés par des dysfonctionnements de la vedette hydrographique.

4.1.8. Réseau RONIM, mesures de marée et de courant en métropole (cf. annexe 2-22)

Les groupes hydrographique et océanographique apportent leur concours pour le contrôle des marégraphes côtiers numériques (MCN) du réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM).

Ils effectuent en outre, et en complément des observations de marée et de courant associées aux levés hydrographiques, les observations de marée et de courant prescrites annuellement par le département du SHOM en charge du courant et de la marée.

Le GHA et le GOA se répartissent les travaux en fonction des opportunités offertes par leurs zones de déploiement.

Le GOA réalisa sur la période octobre 2006 - septembre 2008 le contrôle des MCN de Brest, Le Conquet, Le Crouesty, Nice, Port Bloc, Toulon, effectua des observations de marée au port du Vorlen (Plogoff), au Chaudronnier (rivière d'Etel), à La Trinité sur Mer, à Loquémeau, à Saint-Denis d'Oléron, à la Rotonde Ferret (Cap Ferret), à Royan, à La Cotinière (Oélon), à Calvi et contrôla et rattacha les observatoires de marée du Moulin Blanc (Brest) et de l'Herbaudière (Noirmoutier) au RGF 93.

Le GOA effectua les observations de courant à Loquémeau, Trébeurden, Brest (trois sites : bouée Lanvéoc 1, Banc du Capelan, Pen Ar Vir), la Teignouse (Basse Nouvelle), à la pointe de Penmarc'h et dans la Loire (2 sites).

Le faible effectif en personnel plongeur nécessaire pour la plupart des mises en place des marégraphes et courantomètres limite la capacité du GOA dans ces domaines.

4.1.9. Transits valorisés (cf. annexe 2-35)

L'observation des paramètres géophysiques (bathymétrie, gravimétrie), de l'hydrologie, des courants, de l'état de mer... est réalisée systématiquement lors des transits afin d'améliorer la connaissance générale des océans pour la navigation (y compris sous-marine) et les opérations.

Les déploiements annuels en océan Indien du BHO donnèrent lieu à des transits importants en Atlantique, en Méditerranée et en océan Indien qui furent ainsi valorisés. Le transit réalisé par le BHO entre Mayotte et Le Cap en mai 2008 fut notamment mis à profit pour lever une partie de la route maritime recommandée par le projet d'autoroute maritime de l'ouest de l'océan Indien.

Des dispositions similaires seront appliquées sur le *Pourquoi pas ?* à l'entrée en service de ses sondeurs multifaisceaux.

4.1.10. Mise à jour de l'information nautique

Lors des arrivées en escale l'information nautique fut systématiquement mise à jour.

4.2. Campagnes au profit de la Défense

4.2.1. Campagnes d'océanographie au profit du programme de modélisation océanographique opérationnelle MOUTON (cf. annexe 2-29, 2-30 et 2-31)

Le programme d'études amont MOUTON a pour objet la mise au point des systèmes de prévision océanographique (modélisation d'un théâtre d'opérations navales).

Ce projet inclut un volet campagne important. Les campagnes effectuées en 2006, 2007 et en 2008 par le GOA furent des campagnes océanographiques complexes mettant en jeu une instrumentation nombreuse : réseaux de bathysondes, réseaux Sippican, radiales Seasoar, mouillage de flotteurs variés (Rafos, SLDMB ...), mesures de courantométrie Doppler, fluorimétrie....

Ces observations in situ apportent la vérité terrain nécessaire à la mise au point des systèmes de prévision numérique.

Les campagnes réalisées en Manche, dans le golfe de Gascogne et au large des côtes du Portugal ont notamment contribué à l'étude de la marée interne sur le plateau armoricain et sur son extension en Manche, à l'étude des structures tourbillonnaires évoluant par petits fonds dans le golfe de Gascogne, à l'étude des courants de pente sur le plateau continental du golfe de Gascogne (campagnes CONGAS), à l'étude de l'upwelling de la côte ouest du Portugal et du phénomène de la Navidad, à la mise en place de systèmes d'observation contribuant à des programmes nationaux et internationaux...

Sur la période un total de sept campagnes représentant 170 jours fut effectué pour le compte du programme MOUTON et de ses thèmes d'étude rattachés.

Ces campagnes furent pour la plupart réalisées au moyen du *Pourquoi pas ?* dont la première campagne opérationnelle d'ampleur fut d'ailleurs la campagne MOUTON du mois d'avril 2006.

Le navire océanographique put lors de ces travaux démontrer ses excellentes capacités pour l'océanographie dans des conditions météorologiques parfois difficiles.

4.2.2. Campagne de sédimentologie au profit des programmes SEDIMANE et FANINDIEN

SEDIMANE (cf. annexe 2-27 et 2-28)

Le projet SEDIMANE (étude des déplacements sédimentaires en Atlantique Nord-Est) s'intéresse à la dynamique sédimentaire sous l'effet des courants marins dans le but de comprendre le processus de dépôt et son influence sur les caractéristiques géoacoustiques des sédiments superficiels.

Le GOA a contribué à ce programme par la réalisation de deux campagnes en 2007 au moyen du *Pourquoi pas ?* et du BSAD *Alcyon*.

Ces campagnes réalisées sur les « têtes » de trois canyons du golfe de Gascogne, Audierne, Blackmud et Gouf du Capbreton sélectionnés pour leur propriétés morphologiques, ont permis d'établir la description détaillée de sédiments au moyen de carottages (carottier Calypso et carottier d'interface), par des systèmes de classification acoustique (système RoxAnn), par la mise en oeuvre du module géoacoustique de l'Ifremer (mesure de dureté des sédiments notamment) et de recueillir des séries d'observation longues des courants au moyen de chaînes de mouillage de courantomètres.

Les observations réalisées sont exploitées par le projet SEDIMANE pour évaluer la performance des modèles hydrodynamiques d'une part et pour établir les relations entre les courants de fond et la dynamique sédimentaire d'autre part.

FANINDIEN (cf. annexe 2-6)

Les fréquences acoustiques exploitées par les sonars modernes de lutte anti sous-marine ont fortement diminué notamment avec l'entrée en service de Sonars actifs à très basse fréquence tels que le SLASM. Pour cette raison la propagation acoustique dans le sédiment est un thème d'étude d'importance au SHOM. Le programme STEREO (cf. § 4.2.5) cherche à établir l'impact de cette propagation et la possibilité de la modéliser acoustiquement et de l'exploiter de façon opérationnelle pour optimiser les performances des Sonars. Le projet FANINDIEN se place en amont, il a pour objet de décrire des zones singulières du point de vue de leurs formations sédimentaires.

L'intérêt de se focaliser sur ces zones est qu'elles sont propices à donner un avantage à celui qui en a la connaissance.

Deux campagnes FANINDIEN furent effectuées par le GOA.

L'enjeu principal des campagnes FANINDIEN est l'étude des éventails sableux formés par dépôts gravitaires répartis tout au long du glacis (pied du talus continental) ou provenant de reliefs sous-marins dans certaines régions. Ces dépôts sédimentaires sont amenés par des canyons dans les grands fonds par des avalanches sous-marines.

Les campagnes effectuées par le BHO *Beautemps-Beaupré* furent réalisées suivant un scénario désormais bien rôdé, un premier passage le long des pentes permettait de repérer par méthode acoustique (imagerie SMF et sondeur de sédiment SBP120) les éventails sédimentaires sur lesquels des carottages (par 1 000 à 3 000 m de fond) étaient effectués dans un second temps. Les mesures des propriétés physiques des sédiments ainsi que des mesures géotechniques permettant de caractériser l'évolution des sédiments et de leurs propriétés après extraction furent effectuées en temps très peu différé à bord par du personnel spécialisé de la division HOM du SHOM.

La première campagne (campagne FANINDIEN 2006) se déroula tout au long du glacis (pied du talus continental) du détroit d'Ormuz au canal du Mozambique. Les conditions météorologiques lors de cette campagne effectuée contre la mousson de sud-ouest en juillet 2006 limitèrent les possibilités de carottage. Les résultats obtenus se sont cependant révélés très intéressants pour les sédimentologues du SHOM.

La campagne FANINDIEN 08 se déroula le long de la pente orientale de Madagascar (Bassin des Mascareignes). Cette campagne permit de détecter des éventails sableux ignorés des rares cartes générales figurant dans des atlas américains et soviétiques.

Les carottages effectués sur les structures sédimentaires ainsi détectées furent riches d'enseignements pour les scientifiques du SHOM en charge de ces études.

4.2.3. Campagne océanographique OPTICMED au profit du projet d'étude de la turbidité

Au mois de mai 2008 le GOA effectua une campagne d'étude des propriétés optiques et bio-chimiques de l'eau de mer à bord de *L'Atalante* en rade de Toulon, en zone côtière et au large entre Toulon et le golfe d'Aigues-Mortes. Cette campagne menée en coopération avec le laboratoire des environnements et paléoenvironnements océaniques de l'université de Bordeaux I, le laboratoire océanographique de Villefranche sur Mer, le laboratoire d'optique atmosphérique de Lille et le laboratoire de physique hydrodynamique et sédimentaire de l'Ifremer, était la première d'un cycle de trois campagnes au profit du projet Turbidité dont l'objectif est le développement de moyens opérationnels de prévision des conditions de visibilité sous-marine. Un objectif particulier de cette campagne était d'établir la relation entre la composition et la couleur de l'eau pour permettre d'exploiter pleinement les images de couleur de l'eau des satellites.

Pour déterminer précisément la composition et les propriétés optiques de l'eau de mer, une bathysonde fut créée avec des capteurs optiques, des bouteilles de prélèvement et des capteurs d'hydrologie. Différents capteurs optiques de surface furent aussi utilisés ainsi qu'une mini-bathysonde mise en oeuvre par la BOM pour faire des mesures dans la rade de Toulon avec la VH90 la *Zélee*. Pour déterminer l'impact de la turbidité sur la visibilité sous-marine, des plongées d'expérimentation furent également effectuées dans différentes conditions d'éclairement, dans des eaux claires à turbides.

Cette campagne est symbolique de l'extension constante du spectre des domaines à couvrir par le GOA en matière d'observation et d'acquisition de données à la mer. En particulier l'intégration dans les programmes d'études amont du SHOM de volets biochimique et optique impose aux hydrographes une évolution de leurs compétences. La formation continue permet de former le personnel à ces nouvelles techniques et la formation initiale du brevet supérieur d'hydrographe sera adaptée pour intégrer certaines disciplines nouvelles dès la formation initiale.

4.2.4. Campagne MIRAMER

Cette campagne fut réalisée dans le cadre du programme d'études amonts (PEA) mesures infrarouges du rayonnement (MIRA) qui a pour but de disposer à terme d'une modélisation validée du rayonnement de fonds et de la propagation dans l'atmosphère dans le domaine infrarouge. L'objectif particulier de la campagne réalisée sur le NO *L'Atalante* du 17 au 29 mai, en zone côtière et au large entre Nice et Marseille, était d'établir une vérité terrain dans le but de valider le générateur de scènes de fonds naturels MATISSE-v2.0 (modélisation avancée de la terre pour l'imagerie et la simulation des scènes et de leur environnement) en cours de développement par l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales).

La campagne fit appel aux moyens des divers organismes coopérant au programme : ONERA, LEPI (laboratoire d'études des échanges particuliers aux interfaces), RDDC (recherches et développement pour la Défense au Canada) et SHOM (service hydrographique et océanographique de la marine). Du matériel spécifique fut mis en oeuvre depuis *L'Atalante* et le site du centre technique des systèmes navals (CTSN) : capteur TIMBRE POSTE (télescope d'imagerie multispectrale à barrettes enregistrées pour l'étude satellitaire de la terre), caméras infra-rouge, corps noirs. Des visées vers la terre et vers la mer furent effectuées depuis *L'Atalante*. Des mesures furent effectuées depuis le CTSN : des visées sur *L'Atalante* et d'autres porteurs comme des embarcations légères.

Le GOA avait en charge les mesures de contexte atmosphérique (radiosondages, soutien météorologique) et chimiques (prélèvements de surface).

4.2.5. Campagne d'acoustique sous-marine au profit du projet STEREO (cf. annexe 2-14)

Le projet STEREO étudie la propagation acoustique à très basse fréquence dans la colonne d'eau et dans le sédiment et développe des techniques d'analyse et d'interprétation des signaux de propagation jusqu'à l'esquisse de techniques opérationnelles d'évaluation rapide de l'environnement au moyen des sonars opérationnels (techniques dites « through the sensor »).

Deux campagnes furent réalisées au profit de ce projet au moyen du BHO. La première se déroula au voisinage du détroit de Messine au mois de novembre 2006 et la seconde sur le plateau de Malte dans le sud de l'île éponyme au mois de juin 2007.

Ces campagnes consistent à établir la situation environnementale de référence au moyen d'observations hydrologiques et de carottages puis à effectuer des mesures de tomographie acoustique au moyen d'un réseau de sources et de récepteurs acoustiques mouillés ou remorqués.

La campagne de 2007 fut effectuée en coopération avec trois unités du NURC (NATO undersea research center), les NRV *Alliance*, *Planet* et *Océanus*.

4.2.6. Levé bathymétrique dans le golfe Persique au profit d'ALFAN (cf. annexe 2-4)

Les déploiements fréquents de la marine en océan Indien et particulièrement dans le golfe Persique dans le cadre de l'opération « enduring freedom » entraînent des besoins de mise à jour de la connaissance hydrographique pour assurer la sécurité de la navigation.

Le SHOM a ainsi été sollicité pour effectuer en 2006 le levé d'une zone située à l'est de la péninsule du Qatar. Ce levé devra être poursuivi pour assurer la mise à jour de la connaissance bathymétrique du golfe Persique.

Il s'agit de levés effectués par faibles profondeurs ce qui rend la progression assez lente (les profils doivent, pour assurer la couverture hydrographique complète, être espacés proportionnellement à la profondeur des lieux) d'autant que les exigences de qualité sont élevées (ordre 1 de la « norme OHI »).

En 2006 (du 10 mai au 12 juin) en mettant en oeuvre simultanément le BHO et deux VH 30 % de la zone fut levé.

Il était prévu de poursuivre ces travaux lors d'un déploiement programmé en 2009 et avec une efficacité accrue du fait de la mise en service du nouveau Sonal MPX dont le GOA dispose depuis 2007.

4.2.7. Participation au volet de « rapid environmental assessment » (REA) de l'exercice OTAN Noble Midas (cf. annexe 2-18)

Le GOA, embarqué à bord du BHO *Beautemps-Beaupré*, participa du 7 au 26 septembre 2007 à l'exercice OTAN « Noble Midas 07 », exercice majeur de l'OTAN réunissant aux abords de Split (Croatie) 40 bâtiments de surface, 5 sous-marins et 8 500 militaires, placés sous commandement français.

Le GOA intervint dans une phase dite « REA précurseur » visant à recueillir et à fournir les informations d'environnement nécessaire à la préparation et à la conduite des opérations maritimes juste avant l'arrivée des forces sur zone.

Les principaux équipements du BHO *Beautemps-Beaupré* : sondeur multifaisceaux, sonar latéral, sondeur de sédiments, benne de prélèvements de sédiments, ainsi que 2 VH équipées également de sondeurs multifaisceaux et de sonars latéraux, furent mis en oeuvre. Deux sites d'opérations amphibie, une zone de mouillage en baie de Split, 250 Nq de chenaux de guerre des mines, et une zone d'exercice pour

sous-marins de 1 200 km² furent ainsi levés pour répondre aux différents besoins des bâtiments impliqués dans l'exercice (sécurité de la navigation des bâtiments de surface et des sous-marins, opérations amphibies et lutte contre les mines).

Le principal défi d'un tel exercice réside dans le respect des échéances malgré des objectifs très ambitieux et les aléas associés à ce type de travaux (aléas météorologiques, pannes de matériels, modification de programme...). L'ensemble du travail réalisé pendant la phase REA ne présente d'intérêt que s'il peut être délivré à temps et sous forme adéquate aux utilisateurs.

Les dix-neuf membres du GOA présents à bord relevèrent parfaitement ce défi, avec le concours efficace de l'équipage du *Beautemps-Beaupré*. Plus de 180 Go de données, 600 millions de sondes furent traités, analysés et mis en forme en un temps record pour réaliser 48 minutes de sondage, qui purent être livrées aux échéances fixées à l'ensemble des participants de l'exercice lors de la conférence de début d'exercice le 28 septembre à Split.

Le contre amiral commandant la force aéromaritime de réaction rapide a pu mesurer et a d'ailleurs salué l'excellence de la qualité des résultats produits. Il est à noter que cet exercice était particulièrement important pour la France puisque qualifiant la capacité de COMFRMARFOR à prendre le commandement maritime tournant de la « NATO response force ».

4.2.8. Système déployable d'hydrographie militaire (SDHM) (cf. annexe 2-21)

Le SDHM est un ensemble regroupant un sondeur vertical, un système de localisation et un sondeur latéral remorqué qui peut être mis en oeuvre de façon très réactive par une équipe de deux à trois hydrographes à partir d'une embarcation légère standard (pneumatique).

L'ensemble personnel plus matériel peut être projeté sur un théâtre d'opération avec un préavis de 5 jours.

Ce système est entré en service en 2007 et le GOA a formé deux hydrographes qui font désormais partie du réservoir de personnel titulaire de la mention « SDHM » apte à conduire un déploiement au moyen de ce système.

Depuis l'entrée en service du SDHM, du personnel qualifié du GOA a été mis en oeuvre à quatre reprises pour des déploiements opérationnels : à Djibouti en coopération avec les forces de Guerre des Mines, au profit de la base navale de Cherbourg, au Liban au profit de l'opération Baliste sur le TCD *Siroco* et en Afrique de l'Ouest au profit de l'opération Corymbe sur le BPC *Tonnerre*. Il s'agissait le plus souvent de réaliser des levés de sécurité de la navigation nécessaires pour le bon déroulement des opérations et exercices.

Le personnel qualifié pour servir le SDHM est, du fait de la très grande disponibilité exigée (une équipe SDHM doit être disponible à 5 jours), difficilement employable pour d'autres travaux. Des discussions étaient encore en cours en 2008 pour parfaire l'organisation de la capacité SDHM au sein du

SHOM, l'alternative étant la constitution et le rattachement organique d'une entité SDHM à un GHO (GOA ou GHA) ou bien la distribution du personnel qualifié SDHM sur plusieurs entités (SHOM / Brest / Bergot, GHA et GOA).

4.2.9. Levés au profit de la guerre de mines (cf. annexe 2-15)

Des levés de chenaux ont été effectués à la demande de la force de guerre des mines.

Les travaux à Toulon, à Fos sur Mer et à Marseille furent pour l'essentiel réalisés par la BOM avec des concours de l'UOA et les travaux dans le goulet de Brest furent effectués par l'UOA.

Le service apporté par le GOA dans ce domaine ne permet pas de couvrir tous les besoins des forces de guerre des mines car les capacités des sondeurs latéraux utilisés en hydrographie ne sont pas suffisantes pour les besoins de classification.

L'apport potentiel du SHOM et ses limites pour les prestations de levés au profit de la guerre des mines devront être précisés en accord avec ALFAN guerre des mines.

4.2.10. Service de navigation de précision apporté par la base océanographique de la Méditerranée

L'entrée au bassin du porte-avions *Charles de Gaulle* (à l'occasion de sa période d'entretien programmé) est une manoeuvre délicate nécessitant une grande précision puisque le PA remplit largement le bassin au point même qu'il en déborde au niveau du pont.

La BOM a mis au point en liaison avec l'officier de manoeuvre du PA, un protocole pour la localisation du PA CDG lors de ces manoeuvres.

A chaque manoeuvre d'entrée sortie du bassin, la BOM mit en oeuvre deux systèmes GPS pour déterminer en continu l'attitude du PA lors de son entrée dans le bassin tout au long de la manoeuvre, le PA n'est dès lors plus positionné comme un point mais comme un solide d'encombrement connu.

La BOM a apporté son concours pour ces manoeuvres en 2007 (entrée au bassin) et en 2008 (sortie du bassin).

4.3. Campagnes au profit des politiques publiques maritimes

4.3.1. Levé bathymétrique à Mayotte (cf. annexe 2-7)

A Mayotte, la MOA a réalisé au mois d'août 2006 un levé important essentiellement en soutien à l'action de l'Etat en mer dans le cadre de la lutte contre l'immigration illégale. La problématique est la suivante : des embarcations « kwassa kwassa » qui transportent des immigrés illégaux (en provenance des Comores) empruntent des passages dans le récif qui ne sont pas, jusqu'à présent, finement cartographiés car sans intérêt pour la navigation régulière. Pour pouvoir assurer les missions de police des frontières, il faut désormais recenser et hydrographier ces « chemins de traverses » maritimes.

Quatre passes et des chenaux de navigation à l'intérieur du lagon furent hydrographiés. Les zones de travail étaient définies en accord avec le COMAR La Réunion. De plus la présence à Mayotte fut mise à profit pour réaliser le levé d'une zone d'étalonnage au profit du projet LITTO3D (cf. § 4.3.2), un levé par bathymètre laser, dont la présentation a été effectuée aux décideurs locaux, étant seul à même d'apporter une réponse efficace au besoin d'une hydrographie complète des zones littorales souhaitée par la collectivité départementale. Des travaux de spatiopréparation furent également effectués suivant les données communiquées par l'EPSHOM.

Enfin un site prévu pour l'implantation d'un marégraphe du réseau RONIM et du système d'alerte tsunami en océan Indien (SATOI) fut visité à la demande de l'EPSHOM et les contacts pris avec les représentants locaux de la direction de l'équipement afin de préparer les travaux d'installation.

Le BHO devait quitter précipitamment l'île de Mayotte, après 1 mois de travaux aux mois d'août et septembre 2006, pour participer à une opération de sauvetage suite au naufrage dans le sud de l'île d'un bateau comorien.

4.3.2. Levés bathymétriques au profit du projet LITTO3D (cf. annexe 2-33)

Le projet LITTO3D a pour objet d'établir un référentiel géographique du littoral en assurant la continuité entre la bathymétrie du littoral et la topographie terrestre (transition terre / mer « sans couture »).

Les levés au moyen de bathymètres laser aéroportés nécessitent la réalisation préalable de levés bathymétriques in situ au moyen des VH équipées de sondeurs multifaisceaux pour disposer de zones de calibration du système de mesure laser aéroporté à chaque vol opérationnel.

Le GOA effectua tout au long de l'année 2007 le levé des pastilles de calibration selon les spécifications du projet LITTO3D dans les sites suivants : Porto-Vecchio, Bastia, Calvi, Marseille, Nice, Saint-Tropez, Port-Vendres, Cherbourg, Roscoff, Giens.

En outre suite à l'exécution d'un levé laser autour de la presqu'île de Giens, un levé de contrôle et de complément fut effectué par le GOA afin d'étendre le levé vers le large au-delà des profondeurs atteintes par le laser bathymétrique.

Les concours apportés par la BOM pour la préparation puis en soutien lors des levés réalisés au profit des projets BATHYELLI et LITTO3D facilitèrent grandement ces opérations.

4.3.3. Campagnes de localisation au profit du projet BATHYELLI (cf. annexe 2-34)

Le projet BATHYELLI (bathymétrie sur l'ellipsoïde) a pour objet d'établir la situation du niveau moyen par rapport à l'ellipsoïde de la côte au large pour permettre à terme de réaliser des observations bathymétriques référencées à l'ellipsoïde, le référencement au zéro hydrographique pouvant alors s'en déduire grâce aux résultats de BATHYELLI.

La problématique est la suivante : le niveau moyen des océans est bien établi dans les ports auprès des observatoires de marée où il est référencé par rapport au nivellement général et au large grâce aux séries d'observation longues des satellites altimétriques qui permettent de le situer par rapport à l'ellipsoïde de référence GRS-80.

Cependant les mesures altimétriques ne permettent pas d'estimer le niveau moyen en deçà de quelques kilomètres de la côte (en raison de l'empreinte au sol de la mesure altimétrique qui fait elle-même quelques kilomètres). Il est par conséquent nécessaire de compléter la connaissance de l'altitude du niveau moyen en effectuant les mesures complémentaires in situ en partant du marégraphe et jusqu'à recouvrir la zone plus au large à partir de laquelle le niveau peut être déterminé par satellite.

Les travaux du GOA consistèrent d'une part à rattacher précisément à l'ellipsoïde GRS-80 le niveau moyen à proximité immédiate du marégraphe par des mesures géodésiques de longue durée et d'autre part à effectuer des mesures d'altitude de précision centimétrique d'une VH ou du BHO naviguant dans la zone où le zéro restait à déterminer pour que, après réduction de la marée, le niveau moyen de la mer exprimé par rapport à l'ellipsoïde GRS-80 puisse être estimé sur les traces de la VH ou du BHO.

Le niveau de précision recherché nécessita d'analyser finement la chaîne de localisation et notamment les effets de l'attitude de la VH et du BHO au cours des sondages. Des mesures d'accroupissement des porteurs en fonction de la vitesse furent établies pour la première fois à cette occasion.

Le GOA effectua, selon la méthodologie définie avec le chef de projet BATHYELLI, le levé des sites suivants : Brest, Bastia, Marseille, Nice, Saint-Tropez, Port-Vendres, Cherbourg, Roscoff, Le Conquet.

Les résultats obtenus furent d'excellente qualité (précisions de détermination du niveau moyen meilleures que 5 cm) et conformes aux exigences de précision du projet.

4.3.4. Recherche d'une épave au profit du bureau d'enquête et d'analyses (BEA) pour la sécurité de l'aviation civile à La Réunion

A la demande de l'état major de la marine (EMM) saisi par le BEA, le SHOM donna instruction à la MOA d'effectuer des travaux de recherche d'une épave d'avion bimoteur « PA 23 » abîmé en mer peu après son décollage de l'aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds (La Réunion) le 4 mai 2006. Les recherches furent effectuées au moyen d'une VH et du BHO *Beautemps-Beaupré* les 14 et 15 juillet 2006.

Le temps limité à consacrer à la recherche et le peu d'information sur la localisation précise du crash ne permirent pas de localiser avec certitude la position de l'épave.

Les conclusions furent communiquées à la gendarmerie de La Réunion.

4.3.5. Levé bathymétrique au profit du programme EXTRAPLAC (cf. annexe 2-1)

EXTRAPLAC (extension raisonnée du plateau continental) est un programme piloté par le gouvernement français, visant à recueillir l'information nécessaire pour étayer une revendication de l'extension des zones sous juridiction française au delà des limites de la ZEE. Ces extensions vers la haute mer peuvent être revendiquées sur le plateau continental (fonds marins et sous-sol) adjacent à leurs côtes. Des critères géologiques, morphologiques et géophysiques définissent ce plateau continental juridique.

Des détachements du GOA participèrent à trois reprises à des campagnes du *Marion Dufresne* pour effectuer le recueil des données bathymétriques nécessaires à l'élaboration des dossiers de revendication :

- Du 15 septembre au 1^{er} novembre 2005 (campagne MD150-Del Cano Rise- KERGUEPLAC II-EXTRAPLAC) pour la définition du plateau continental juridique entre Crozet et les îles du Prince Edward à la fois pour la France et pour l'Afrique du Sud et dans le nord-est des îles Kerguelen,
- du 1^{er} septembre au 31 octobre 2006 (campagne MD157-PLURIEL-EXTRAPLAC) pour la réalisation de levés autour des îles de Saint-Paul et Amsterdam,
- du 2 janvier au 7 février 2008 (campagne KERGUEPLAC III-EXTRAPLAC) pour la réalisation de levés aux îles Kerguelen.

Ces travaux effectués dans le cadre du protocole d'accord passé entre l'IPEV, le SHOM et les TAAF, permirent au SHOM, d'acquérir à moindres frais et avec un gain de temps appréciable, des données bathymétriques surfaciques de qualité dans ces régions lointaines où la bathymétrie générale est méconnue et aussi de renforcer son partenariat avec l'IPEV et les TAAF.

4.4. Campagnes hors SHOM

Le BHO et le NO, sont deux bâtiments partagés entre la marine et l'Ifremer.

Ainsi l'Ifremer dispose d'un droit annuel de 10 jours de BHO et la marine d'un droit annuel de 150 jours du NO dont le SHOM est le gestionnaire.

L'Ifremer a réalisé deux campagnes (ERODER et AOC) sur le BHO. Les droits sont annuels mais peuvent être regroupés, si bien que ces deux campagnes réalisées en 2006 épuisèrent les droits acquis pour la période octobre 2005 - septembre 2008.

Concernant le NO, son emploi par la marine fut pour l'essentiel au profit de campagnes du SHOM relatées dans les paragraphes ci-dessus, sauf pour la campagne d'essais du Newtsuit au profit de la cellule plongée humaine et intervention sous la mer (CEPHISMER cf.§ 4.4.2).

4.4.1. Campagnes pour l'Ifremer (cf. annexe 2-2 et 2-5)

ERODER

La campagne ERODER (érosion et démantèlement de l'édifice volcanique de La Réunion) qui s'est déroulée du 19 au 26 juillet 2006, autour de l'île de La Réunion s'intéressait à l'étude des processus de démantèlement des édifices volcaniques, aux rôles respectifs des déstabilisations de flanc et de l'érosion ainsi qu'à la dynamique du transfert de matériaux sur les flancs de l'édifice volcanique.

La direction scientifique de cette campagne était assurée par des chercheurs de l'Ifremer cependant que la direction technique était assurée par un ingénieur de la MOA.

La campagne permet :

- de cartographier (bathymétrie et imagerie issue des sondeurs multifaisceaux EM120 et EM 1002S) la partie haute de l'édifice, en complément du levé FOREVER réalisé par le NO *L'Atalante* autour de La Réunion en mars et avril 2006,
- d'acquérir des données de magnétisme et de gravimétrie durant le levé,
- de réaliser des carottages sur les structures sédimentaires détectées au sondeur de sédiments SBP120.

AOC

La campagne AOC (Aden, Owen, Carlsberg) fut réalisée au profit du laboratoire de tectonique de Jussieu. Les instruments scientifiques étaient mis en oeuvre et opérés par les ingénieurs et techniciens de la MOA. Cette campagne se déroula dans le nord-ouest de l'océan Indien, elle avait pour but de déterminer la géométrie actuelle du point triple Arabie-Inde-Somalie et sa cinématique depuis le début de l'océanisation dans le golfe d'Aden il y a 20 millions d'années. La position et la nature de ce point triple qui connecte les dorsales d'Aden-Sheba, de Carlsberg, et la zone de fracture d'Owen, sont actuellement mal connues. Les mesures réalisées furent des mesures de géophysique : bathymétrie, sédimentologie, magnétisme, et gravimétrie.

Les scientifiques embarqués à l'occasion de ces deux campagnes se déclarèrent extrêmement satisfaits de la qualité des mesures effectuées au moyen du BHO et des conditions de travail et de mise en oeuvre des instruments par l'équipage du BHO et par la MOA.

4.4.2. Campagne Newtsuit

Le système d'intervention pour ventilation de sous-marins en détresse Newtsuit, ainsi que le ROV 1000 m *Ulysse*, ont été intégrés à bord du NO *Pourquoi pas ?* et testés avec succès du 15 au 30 septembre 2006. Les systèmes furent opérés par la section interventions/engins de la CEPHISMER. Le système de ventilation SLAS intégrable à bord du navire ne put être testé car il était indisponible pour les essais, cette qualification devait avoir lieu en novembre 2008. En dépit de limitations identifiées sur les grues du bord, l'installation du Newtsuit et du ROV *Ulysse* fut validée sur le navire.

Le *Pourquoi pas ?* devrait à très court terme figurer sur la liste des bâtiments capables de mettre en oeuvre le système de sauvetage pour sous-marins.

5. QUALITÉ

Le SHOM est certifié ISO 9001. Les GHO sont des acteurs importants du processus « Acquisition (levés, gestion des fonds hydro et océanographiques) ».

L'efficacité est un axe majeur de la charte qualité du SHOM.

Les GHO ont un rôle essentiel à cet égard et leurs performances sont mesurées par les temps d'intégration des levés. Le GOA a toujours atteint les objectifs fixés par le pilotage du processus dans ce domaine.

Toutefois la définition d'objectifs toujours plus ambitieux nécessite d'effectuer sans cesse des ajustements d'organisation et de recherche des optimisations. L'intégration des levés à la première présentation est l'axe sur lequel la marge de progrès est probablement la plus importante.

Les exigences de qualité sur la forme et sur le fond sont fortes et très supérieures aux exigences qui prévalaient il y a encore quelques années. Une meilleure connaissance de la documentation normative de référence regroupée dans le référentiel documentaire est nécessaire. Des réflexes sont encore à acquérir dans ce domaine pour lutter contre une certaine tradition orale et inciter les hydrographes à retourner à la source (le référentiel documentaire) pour y consulter l'information faisant foi.

Une amélioration du référentiel documentaire, très touffu et peu « engageant » est à envisager. Il reste que, pour des questions de déficience des moyens de communication sur le BHO (cf. § 7.1), la consultation en mer du référentiel par les hydrographes embarqués est impossible, ce qui présente l'inconvénient de ne pouvoir accéder à la documentation et d'apprendre à s'en passer...

La consultation de l'intranet SHOM en mer est en revanche possible depuis le *Pourquoi pas ?*.

6. COMMUNICATION

Deux manifestations dédiées à la communication furent organisées : une conférence de presse à bord du BHO à Brest au retour de mission du *Beautemps-Beaupré* en décembre 2006, et un voyage de presse en octobre 2007 à Toulon au profit de journalistes et d'invités du SHOM (trente et une personnes dont plus de la moitié de journalistes prirent passage à bord du BHO pour la journée).

Le voyage de presse avait été demandé lors de la réunion plénière du comité consultatif des utilisateurs des documents, levés et prestations du SHOM (CUSH).

Ces deux manifestations connurent un très bon retentissement dans les médias locaux et nationaux. Au-delà de la stricte mission du GOA et du BHO elles donnèrent l'occasion de présenter un large éventail de projets du SHOM (LITTO3D, RONIM, la carte électronique...).

Par ailleurs la grande majorité des escales effectuées donna l'occasion de diffuser des communiqués de presse sur les travaux réalisés par le GOA.

Enfin deux escales furent plus particulièrement dédiées à la présentation du BHO à Djeddah (Arabie Saoudite) et au Cap (Afrique du Sud). Dans les deux cas ces présentations faisaient suite à des demandes des pays concernés adressées par la voie diplomatique.

7. POINTS A AMÉLIORER, AXES DE RÉFLEXION

7.1. Moyens

Le *Pourquoi pas ?*, outre la mise au point compliquée et non achevée de ses sondeurs, souffrait encore en septembre 2008 d'un phénomène de bullage par mer de l'avant perturbant le fonctionnement des sondeurs abrités dans la gondole. Ceci est d'autant plus gênant que le NO est de loin le navire de la flotte le plus apte à affronter des mers formées grâce à une stabilité de plate-forme très supérieure à celle des autres BHO.

Les solutions palliatives (modification de la position de la gondole) ont été étudiées, elles nécessiteront pour leur mise en oeuvre un arrêt technique dédié avec passage au bassin envisagé en 2009.

Le *Beautemps-Beaupré* est un bâtiment remarquable dont la productivité a déjà été soulignée. La pérennisation de ces qualités semble assurée jusque décembre 2013 grâce à un contrat de disponibilité signé par la marine.

Une ombre au tableau concernait en 2008 l'inadaptation des moyens de communication.

Le BHO dispose de moyens de communication par Inmarsat qui permettent d'envoyer et de recevoir des courriers électroniques. Le débit limité de ce service et son coût d'utilisation élevé conduisent cependant à limiter drastiquement la taille des mails (200 ko environ) et interdisent toute possibilité d'accès à Internet (et donc à l'intranet du SHOM).

Ce point s'est avéré particulièrement pénalisant pour les opérations de REA (cf. § 4.2.7) pendant lesquelles il ne fut pas possible d'adresser les gros volumes de données et d'information traitées par le GOA par des moyens adaptés.

L'installation du système VSAT déjà repoussée deux fois est programmée lors de l'arrêt technique de décembre 2009, elle permettra de régler cette difficulté.

Le nombre de logements limité à 50 personnes à bord du BHO a eu pour mérite de dissuader par la force des choses les tentations inflationnistes et ainsi de valider le concept novateur, devenu depuis une référence, de bâtiment à faible équipage.

Cependant les faibles capacités d'autodéfense du bâtiment (que ses commandants soulignent avec constance dans leurs rapports) nécessitent l'embarquement d'un détachement de 7 marins du groupe d'intervention régional (GIR) lors des déploiements fréquents dans les zones d'insécurité et de piraterie. Des solutions d'appoint par mise en place de conteneurs vie sont alors utilisées mais limitent la place disponible sur les aires de manoeuvre. Ce point est gênant mais pas rédhibitoire.

7.2. Rédaction des levés

L'hydrographie moderne est caractérisée par une propension à générer de très grands volumes de données. Un levé réalisé à l'ordre spécial dans des fonds de 20 m représente ainsi plus de 6 millions de sondes au km².

Ces volumes sont la conséquence évidente de la résolution sans cesse accrue des sondeurs mis en oeuvre (sondeurs multifaisceaux et sondeurs latéraux) mais ils présentent des inconvénients de deux natures :

- les capacités des systèmes informatiques sont rapidement repoussées à leurs limites dans le domaine du calcul, du graphisme et du stockage,
- la supervision par l'hydrographe d'un nombre de sondes toujours plus important constitue un goulot d'étranglement dans le processus de rédaction d'un levé.

Concernant le premier point, un ajustement permanent et coûteux est nécessaire. On se bornera à souligner dans le domaine du calcul qu'à puissance équivalente une adaptation de la configuration/architecture (équilibre calcul, mémoire, capacités graphiques) des machines aux logiciels mis en oeuvre est probablement une piste à creuser plus que cela n'a été le cas jusqu'à présent.

Concernant le second point, les solutions logicielles en service au GOA reposaient encore en 2008 uniquement sur des solutions d'ergonomie de la présentation des informations pour améliorer l'efficacité des contrôles. L'hydrographe en charge du contrôle peut ainsi faire appel facilement aux éléments d'environnement tels que l'attitude, la position, enquêter sur l'origine d'une sonde, faire apparaître son profil d'appartenance en colorant les profils en recouvrement avec une couleur spécifique, visualiser le terrain en perspective 3D... Ces solutions font reposer la décision d'invalidation sur l'hydrographe pour l'ensemble des sondes du levé. La prochaine étape consistera à apporter une aide à la décision algorithmique pour faciliter le travail de l'hydrographe et améliorer la productivité ce qui est une nécessité pour rétablir l'équilibre entre les temps d'acquisition et les temps de traitement.

De telles solutions étaient en cours d'évaluation sous le pilotage du projet CHATDHOC du SHOM en 2008, elles reposent sur l'identification de sondes douteuses suivant des critères statistiques. L'intérêt évident est de permettre de concentrer l'attention de l'hydrographe sur les seuls cas difficiles nécessitant une décision pouvant aller jusqu'à la réalisation d'un levé de doute sur le terrain.

A terme le recours à des méthodes de traitement automatisées présenterait l'avantage d'objectiver les décisions de validation de sondes et ainsi de rendre les traitements moins « opérateurs-dépendants ».

7.3. Personnel

Le GOA n'a pas connu de déficit quantitatif grave de son plan d'armement sur la période. Une difficulté récurrente est cependant le déficit en hydrographes expérimentés aptes à assurer des fonctions d'encadrement (chef de salle de dessin embarquée et chef d'équipe). Ces fonctions ont souvent par défaut été attribuées à de jeunes hydrographes.

Ce manque d'expérience est plus pénalisant pour les tâches de rédaction et de contrôle, qui font appel pour une large part à des principes relativement immuables, que pour la préparation et l'exécution des levés qui font appel à la mise en oeuvre de systèmes et de logiciels assez évolutifs.

8. CONCLUSION

Cette longue liste des principaux travaux réalisés par le GOA révèle à la fois la grande multiplicité des systèmes mis en oeuvre et des compétences à maîtriser par le personnel. La variété des missions, des objectifs poursuivis et des clients servis par les levés effectués, est une source importante de motivation pour le personnel. C'est aussi une difficulté spécifique du GOA, puisqu'il faut maintenir un niveau d'excellence sur un domaine très vaste. En effet lorsqu'à une campagne acoustique succède une campagne géophysique, puis une campagne océanographique hauturière, puis un levé d'hydrographie côtière, une grande agilité est nécessaire pour retrouver les automatismes et les bonnes pratiques dans la réalisation des ces opérations. A cet égard il est à souligner que la qualité généralement excellente de la formation des ingénieurs et techniciens hydrographes est un atout.

Le rythme des missions est soutenu et la charge annuelle d'embarquement assez élevée (135 jours en moyenne par personne mais pouvant monter jusqu'à 200 jours pour certains). Toutefois la flotte utilisée par le GOA, très moderne offre des conditions de vie en mer (confort des cabines, espace des lieux de vie...) qui sont généralement très appréciées du personnel. En outre le groupe océanographique de l'Atlantique est un ensemble opérationnel dont il est aisé de mesurer la production (étendue des surfaces levées, volume des données générées, nombre de minutes produites...), ce qui facilite le management par objectif. Les hydrographes, qui ont conscience de mettre en oeuvre des moyens précieux, sont très sensibles aux notions de productivité.

Les quatre commandants et leurs équipages du *Beautemps-Beaupré* A et B qui se sont succédés sur la période ont largement contribué au succès des opérations relatées ici. Leur sens de la mission, la qualité excellente des relations entretenues avec le GOA ont permis d'apporter ensemble une pierre significative à l'édifice de la connaissance hydrographique.

Diriger le groupe océanographique de l'Atlantique pendant trois ans avec le sentiment d'avoir bien utilisé les moyens mis à la disposition de cet ensemble fut une expérience enthousiasmante. Le GOA est un ensemble de 60 hommes et femmes doté d'équipements d'une grande sophistication et d'une grande productivité pour la collecte et le traitement des mesures en mer et où l'on prend un grand plaisir à travailler.

La disparition tragique du MP Jean-François Cagnon, embarqué sur le Pourquoi pas ? en mission pour le SHOM, survenue le 27 mai 2007 a marqué les esprits. Cet événement restera gravé dans nos mémoires. Les activités à la mer présentent une part de risque contre laquelle il nous faut lutter sans cesse.

Au moment de conclure ce survol de trois ans d'activité du GOA, nos pensées vont à sa famille.

ANNEXE I

**RECAPITULATIF DES RAPPORTS PARTICULIERS
ENTRE OCTOBRE 2005 ET SEPTEMBRE 2008**

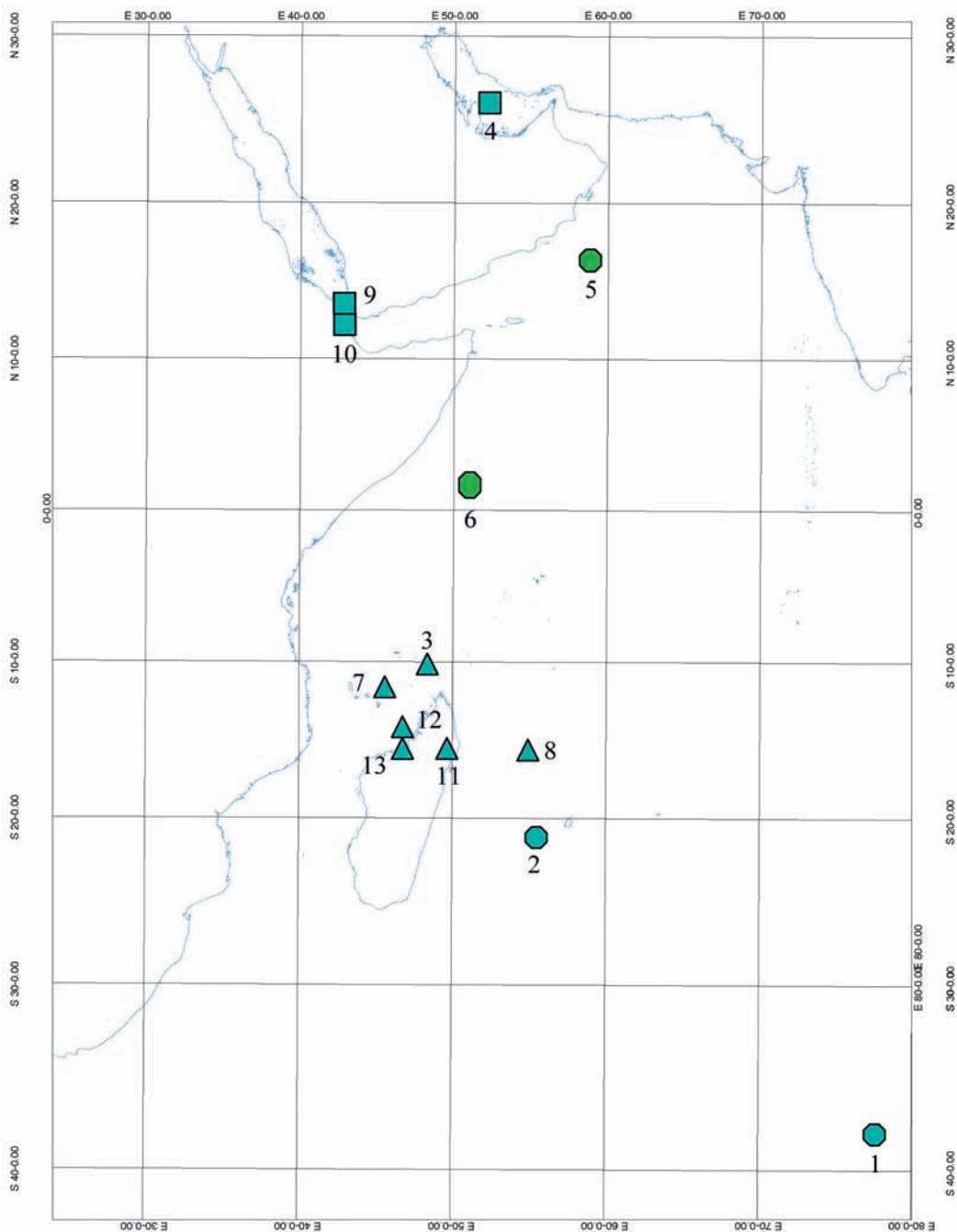
Timbre	Date	Objet
Année 2005		
205 MOA/NP	19 septembre	Sondes acquises lors des transits du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » en 2005 (GEBCO)
206 MOA/NP	19 septembre	Travaux hydro - océanographiques réalisés pendant la campagne MOUTON 2005
217 MOA/NP	27 septembre	Revue d'amers du Cap Croisette à la frontière italienne (S200505400)
260 MOA/NP	15 novembre	Levé n°S200507500 - Campagne MD150 / DEL CANO RIS -KERGUEPLAC 2
280 MOA/NP	30 novembre	Levé SHOM n°S200507700 - Sondes acquises lors des transits du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » en 2005 (GEBCO)
Année 2006		
35 MOA/NP	2 février	Levé SHOM n°S200600700 - Bathymétrie du port Saint-Louis du Mourillon
37 MOA/NP	2 février	Levé SHOM n°S200600600 - Campagne CONGAS 1/2006 à bord du N/O « <i>Pourquoi pas ?</i> »
103 MOA/NP	23 mars	Levé Milhaud1 - S200508500
141 MOA/NP	21 avril	Travaux hydrographiques devant l'île Longue
179 MOA/NP	31 mai	Levé n°S200602600 - Campagne CONGAS 2/2006 à bord du N/O « <i>Pourquoi pas ?</i> »
180 MOA/NP	31 mai	Travaux hydrographiques à Djibouti en avril et mai 2006
244 MOA/NP	27 juin	Levé SHOM n°S200602500 - Sondes acquises lors des transits non protégés du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » lors de la campagne CANARIES 06 (GEBCO)
251 MOA/--	28 juin	Campagne bathy-gravimétrique « CANARIES 06 » réalisée à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » du 11 janvier au 29 mars 2006
271 MOA/NP	12 juillet	Campagne Fan Indien 2006 - S 2006 03 900
275 MOA/NP	1er août	Campagne Ifremer ERODER - Levé S 2006 04 100
280 MOA/NP	4 août	Campagne MOUTON 2006
282 MOA/NP	07 août	Travaux de marégraphie à Brest
283 MOA/NP	07 août	Travaux de marégraphie au Conquet
284 MOA/NP	07 août	Travaux de marégraphie au Crouesty
288 MOA/--	04 septembre	Levé SHOM n°S200605100 - Levé bathymétrique dans le Golfe Arabo-Persique (NE Qatar) en 2006 (Levé S200605100)
289 MOA/NP	04 septembre	Levé bathymétrique aux abords de Saint-Pierre de La Réunion - Levé SHOM n°S200605200
292 MOA/NP	06 septembre	Levé SHOM n°S200604600 - Levé bathymétrique à l'île Tromelin
293MOA/NP	07 septembre	Qatar 2006-version anglaise du rapport 288 MOA/- du 04 septembre
329 MOA/NP	09 octobre	Sondes acquises lors des transits du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » au cours du Leg 2 - Levé SHOM n°200606100
345 MOA/NP	27 octobre	Levé SHOM n°S200606200 - Campagne AOC au profit de l'IFREMER
350 MOA/NP	8 novembre	Travaux de spatiopréparation à Antsiranana (Madagascar) - Levé S2006 04800
364 MOA/NP	15 novembre	Levé SHOM n°S200604700 - Levé bathymétrique à l'île Glorieuse
380 MOA/NP	28 novembre	Levé SHOM n°S200607100 - Levé bathymétrique du quai de Dorâlé

382 MOA/NP	4 décembre	Levé SHOM n°S200604900 - Levé bathymétrique et travaux de spatiopréparation au récif du Geyser et au banc de la Zélée
Timbre	Date	Objet
Année 2007		
4 MOA/NP	10 janvier	Levé n° 200607900 - Campagne MD157 PLURIEL-EXTRAPLAC-DEFLOHYDR.
21 MOA/NP	22 janvier	Levé SHOM n° S200607500 - Valorisation des transits à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » au cours du leg3 en 2006
34 MOA/NP	29 janvier	Levé n° S200700800 - Travaux de marégraphie à Toulon
35 MOA/NP	29 janvier	Levé n° S200700800 - Travaux de marégraphie à Nice
36 MOA/NP	29 janvier	Mesure de courantométrie en Atlantique
39 MOA/NP	31 janvier	Travaux de marégraphie et courantométrie en Atlantique et en Manche
51 MOA/NP	14 février	Levé n° S200608900 - Campagne CONGAS 3/2006 à bord du N/O « <i>Pourquoi pas ?</i> »
69 MOA/NP	6 mars	Travaux de marégraphie en Atlantique
70 MOA/NP	07 mars	Levé n° S 200602600 - Campagne CONGAS 2/2006 à bord du N/O « <i>Pourquoi pas ?</i> »
72 MOA/NP	08 mars	Levé n° S200608900 - Campagne CONGAS 3/2006 à bord du N/O « <i>Pourquoi pas ?</i> »
109 MOA/--	23 mars	Levé S200506300 - Travaux hydrographiques dans le chenal d'accès à Toulon (Levé d'environnement pour la guerre des mines)
111 MOA/NP	26 mars	Levé bathymétrique des accès au fort de Brégançon
149 MOA/NP	18 avril	Travaux réalisés pendant la campagne COACH06
217 MOA/NP	19 juin	Mesures de marée et de courants dans le sud de la mer Rouge et à Djibouti
231 MOA/NP	26 juin	Campagne SEDIMANE 2007
233 MOA/--	28 juin	Levé d'environnement pour la guerre des mines du chenal d'accès à Fos-sur- Mer
234 MOA/NP	28 juin	Travaux de mesures de marées et courants en Atlantique
23 GOA/NP	10 août	Levé n° S 200703900 - Campagne Mouton 2007-1
92 SHOM/GOA/NP	23 octobre	Levé SHOM n° S200708900 - Levé GPS à Bastia au profit du PC BATHYELLI
93 SHOM/GOA/NP	23 octobre	levé SHOM n° S200708100 - Levé de pastille de calibration pour le projet Litto3D à Bastia
94 SHOM/GOA/NP	23 octobre	levé SHOM n° S200708200 - Levé de pastille de calibration pour le projet Litto3D à Porto Vecchio
95 SHOM/GOA/NP	23 octobre	levé SHOM n° S200708300 - Levé de pastille de calibration pour le projet Litto3D à Calvi
252 SHOM/GOA/NP	26 novembre	Levé n° S200710600 - Campagne GEOMED
134 SHOM/GOA/NP	3 décembre	Levé SHOM n° S200710900 - Valorisation des transits à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » au cours du leg2 en 2007
135 SHOM/GOA/NP	3 décembre	Levé REDISO - S200710800
140 SHOM/GOA/NP	7 décembre	levé SHOM n° S200708400 - Travaux réalisés pendant la campagne STEREO-BASE07
145 SHOM/GOA/NP	7 décembre	Levé pastille de calibration Giens - plage de la Garonne au profit du projet Litto3D
149 SHOM/GOA/NP	11 décembre	Levé SHOM n° S200705300 - Levé bathymétrique dans l'Aulne
151 SHOM/GOA/NP	12 décembre	Levé SHOM n° S200711100 - Levé GPS à Marseille au profit du PC BATHYELLI
152 SHOM/GOA/NP	12 décembre	levé SHOM n° S200711200 - Levé de pastille de calibration pour le projet Litto3D à Marseille

Timbre	Date	Objet
Année 2008		
006 SHOM/GOA/NP	08 janvier	Levé SHOM n°S200605000 - Levé bathymétrique à Mayotte
11 SHOM/GOA/NP	10 janvier	Levé n° S200712500 - Campagne CONGAS 2007 sur le N/O « <i>Thalassa</i> »
12 SHOM/GOA/NP	10 janvier	Levé n° S200712600 - Campagne SEDIMANE 2007 Leg 2 et CONGAS 2007 (Opération sur les courants de 100 mètres mis à l'eau lors de SEDIMANE 2007 Leg 1)
33 SHOM/GOA/NP	11 janvier	Levé SHOM n° S200710700 - Levé GPS a Brest au profit du PC BATHYELLI
63SHOM/GOA/NP	07 Février	Levé hydrographique à Toamasina - Campagne MADA2008
82 SHOM/GOA/--	29 février	Campagne bathy-gravimétrique "NONZA" réalisée à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » (levé S200711300)
89 SHOM/GOA/NP	13 mars	Campagne Mouton 2007 legs 2 et 3
100 SHOM/GOA/NP	25 mars	Levé shom S200801500 - Campagne Kerguelac III
107 SHOM/GOA/NP	27 mars	Levé SHOM n° S200710000 - Levé GPS à Port-Vendres au profit du PC BATHYELLI
109 SHOM/GOA/NP	06 avril	Travaux réalisés pendant la campagne CALIMERO 4
124 SHOM/GOA/NP	23 avril	Levé SHOM n° S200802300 - Rapport particulier de la campagne STEREOEST
138 SHOM/GOA/NP	20 mai	Levé SHOM n°S200705200 - Levé bathymétrique dans l'Anse du Fret
149/GOA/NP	30 mai	Levé SHOM n°S200801600 - Valorisation des transits à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » au cours du leg1 2008
150 SHOM/GOA/NP	02 juin	Levé bathymétriques des accès au fort de Brégançon
153 SHOM/GOA/NP	03 juin	Levé n° S2008026 - Levé bathymétrique dans la Penfeld
163 SHOM/GOA/NP	04 juin	Levé n° S200803700 - Levé bathymétrique sur la sèche des Sarraniers
164 SHOM/GOA/NP	05 juin	Levé SHOM n° S200804500 -Revue d'amers de Corse et de certaines îles italiennes
168 SHOM/GOA/NP	11 juin	Levé SHOM n° S200803600 - Rapport particulier de la campagne MIRAMER
170 SHOM/GOA/NP	13 juin	Levé SHOM n° S200704800 - Travaux hydrographiques à Djibouti
189 SHOM/GOA/--	17 juin	Campagne gravimètre "CENTURI" réalisée à bord du BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> » du 03 août au 02 septembre 2007 - (levé S200711300)
196 SHOM/GOA/NP	20 juin	Levé au quai Noël
198 SHOM/GOA/NP	23 juin	Levé n° S200803300 - Campagne FANINDIEN 2008 sur le BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> »
199 SHOM/GOA/NP	23 juin	Levé n° S200804300 - Levé Sedim-Réunion sur le BHO « <i>Beautemps-Beaupré</i> »
217 SHOM/GOA/NP	09 juillet	Levé SHOM N° S200704700 - Levé bathymétrique en Mer Rouge
228 SHOM/GOA/NP	28 juillet	Levé SHOM n° S200803200 - Rapport particulier de la campagne OPTICMED 2008
234 SHOM/GOA/NP	28 juillet	Bathymetric survey carried out in the Red Sea
255 SHOM/GOA/NP	28 août	Levé SHOM n° S200709600 - Levé de pastille de calibration pour le projet Litto3D à Nice
247 SHOM/GOA/NP	20 août	Levé SHOM n° S200804200 - Levé des autoroutes du canal du Mozambique

**ANNEXE II
SYNOPTIQUE DES TRAVAUX RÉALISÉS PAR LE GOA ENTRE
OCTOBRE 2005 ET AOUT 2008**

OCEAN INDIEN



Légende

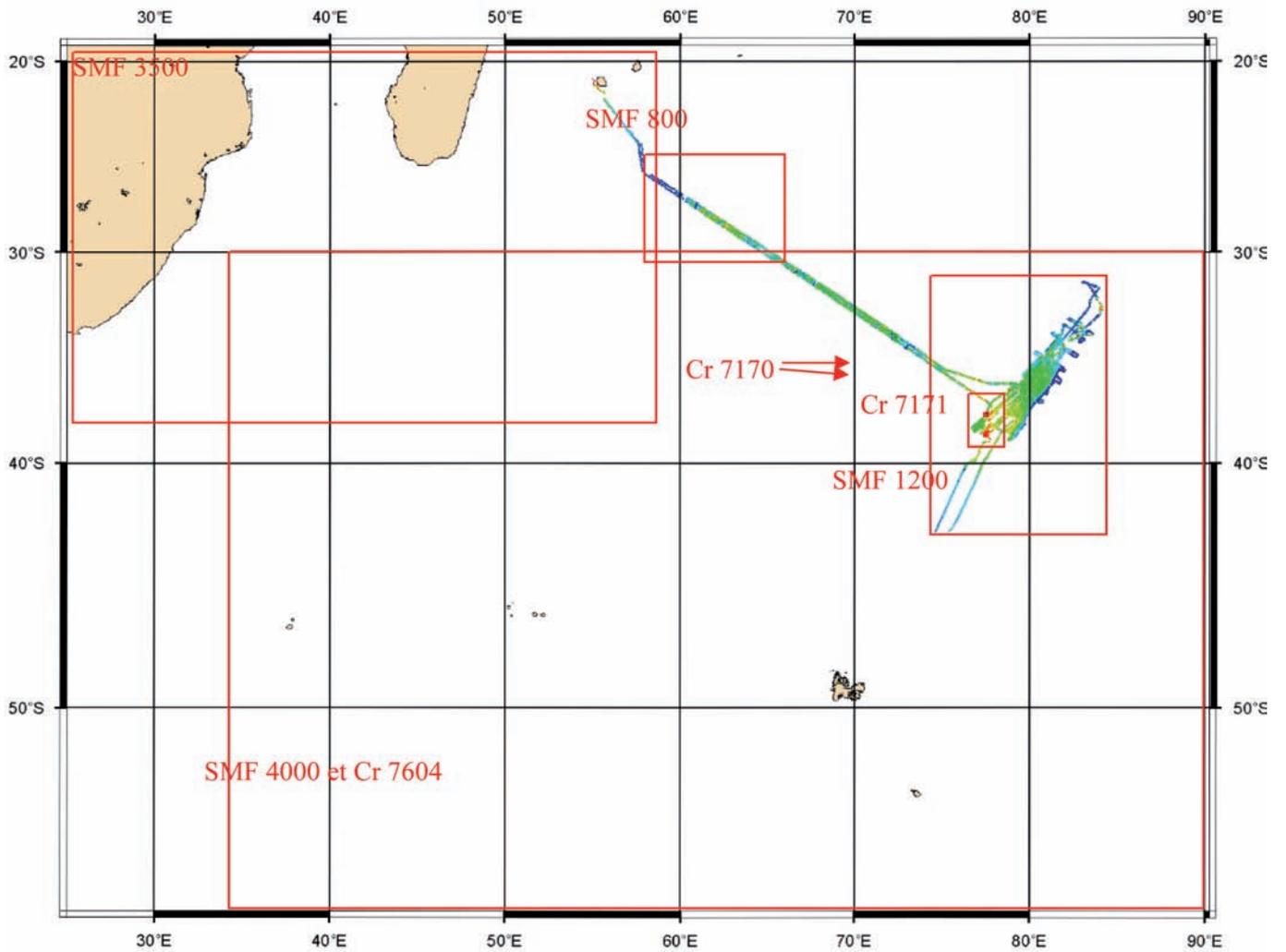
Missions du SHOM

-  SOLAS
-  Soutien Défense
-  Soutien Politique publique

Natures des missions

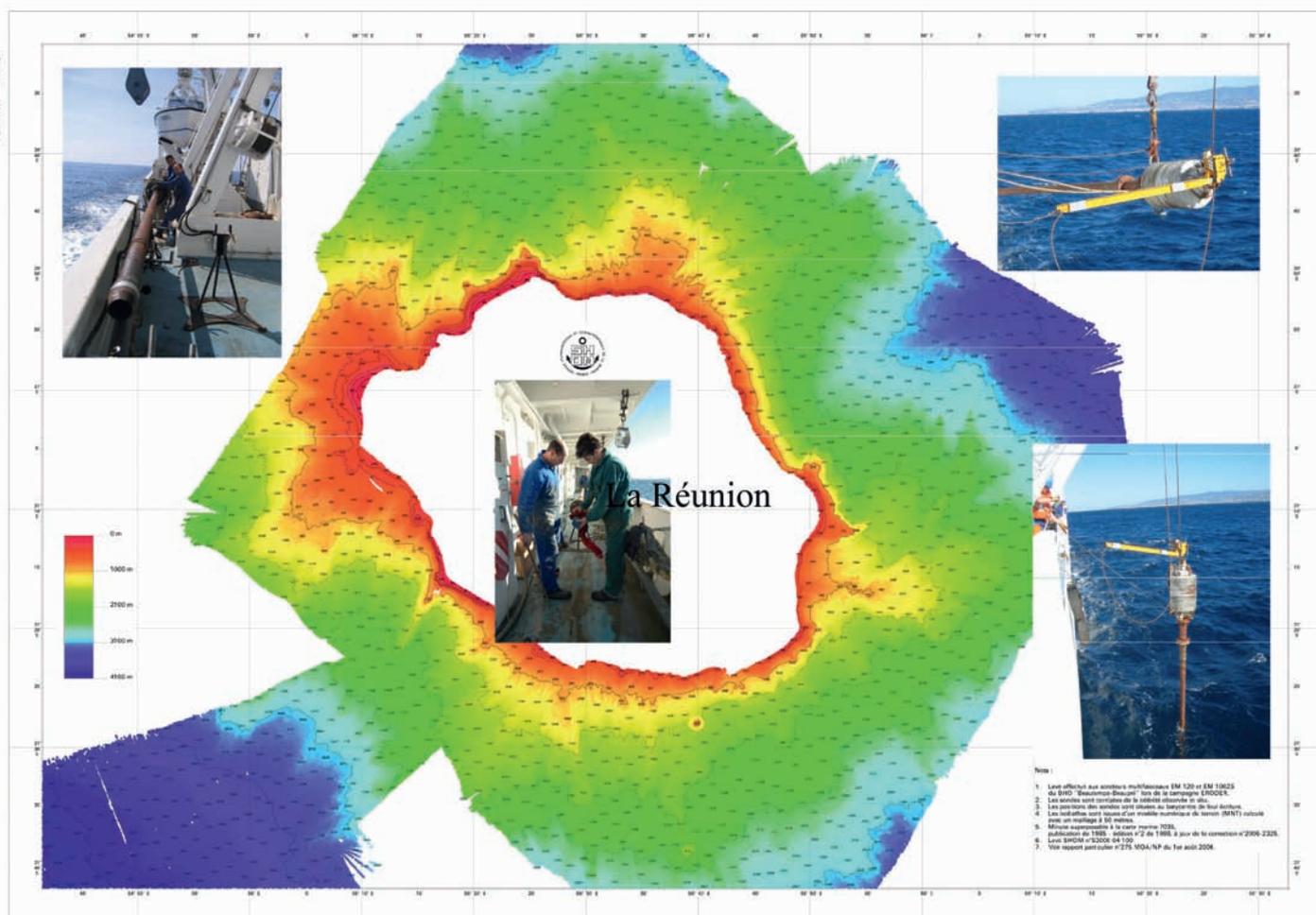
-  Bathymétrie
-  Océanographie
-  Gravimétrie

1 - LEVÉ KERGUEPLAC PLURIEL - « MARION DUFRESNE » (cf. § 4.3.5)



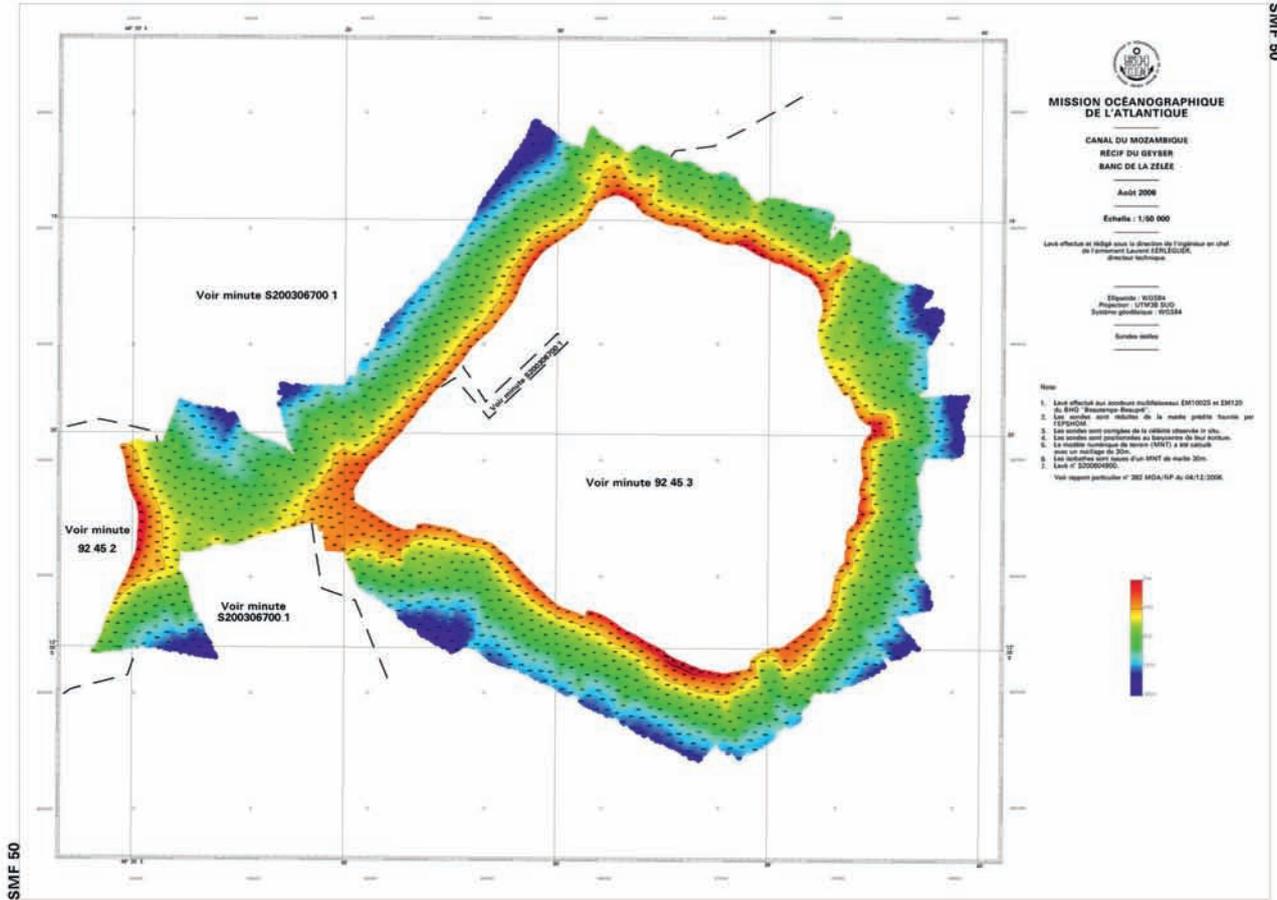
2 - CAMPAGNE ERODER AU PROFIT DE L'IFREMER (cf. § 4.4.1)

SMF 175



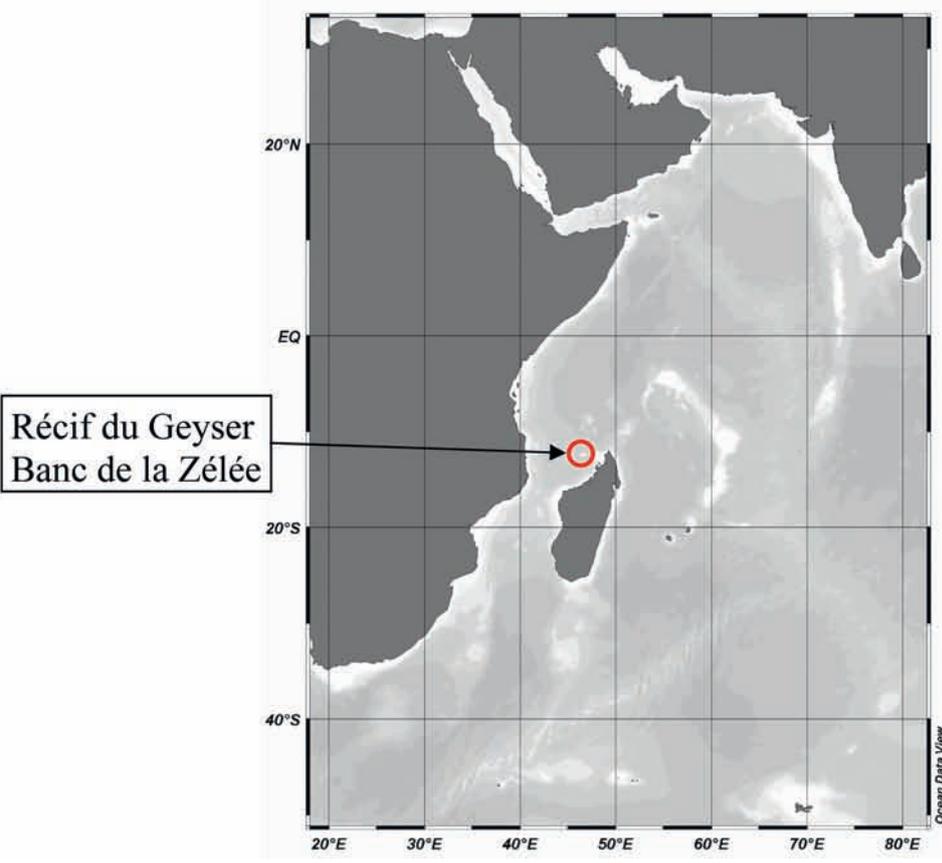
SMF 175

3 - LEVÉ DU RECIF DU GEYSER ET DU BANC DE LA ZÉLÉE (cf. § 4.1.1)

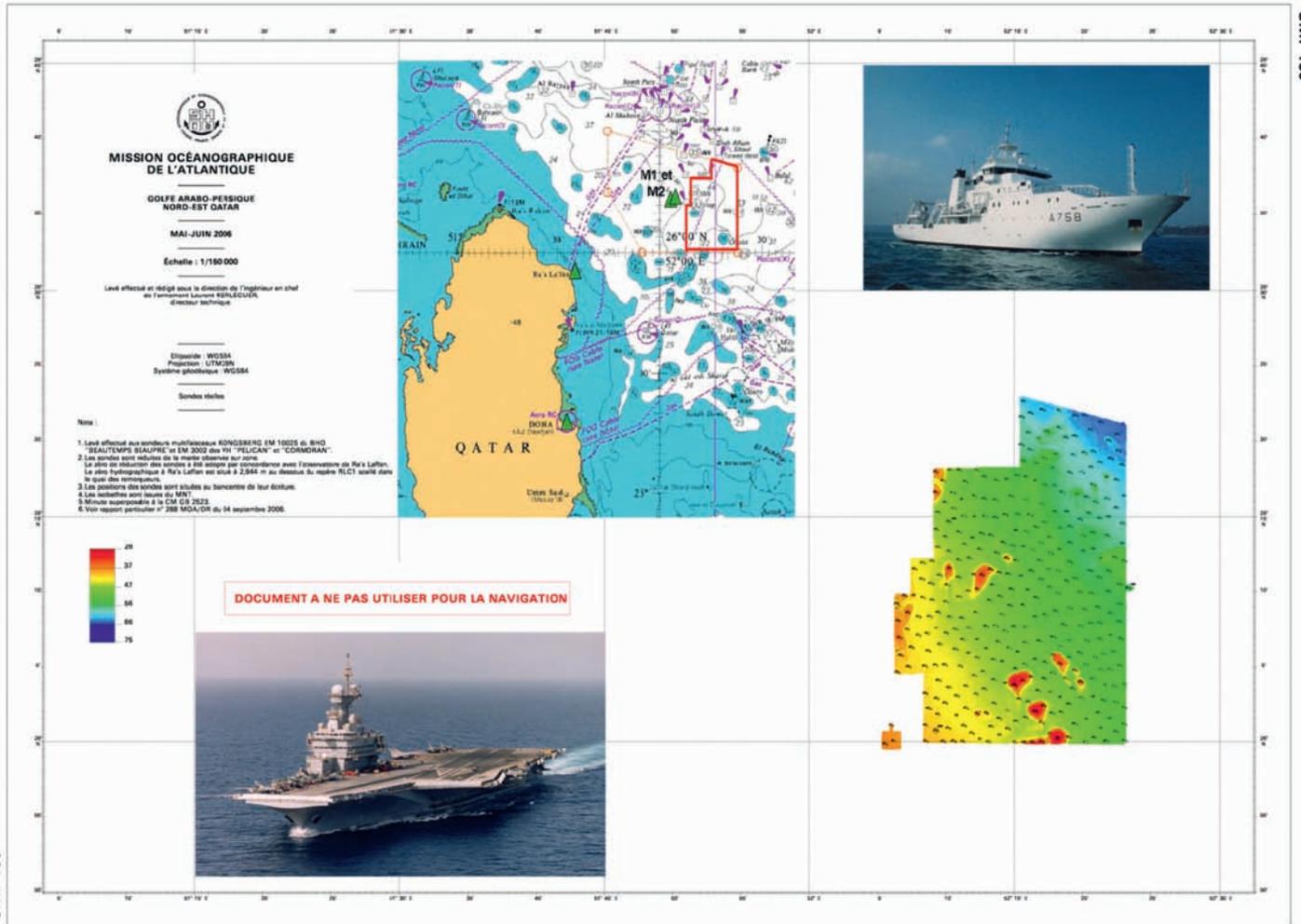


SMF 50

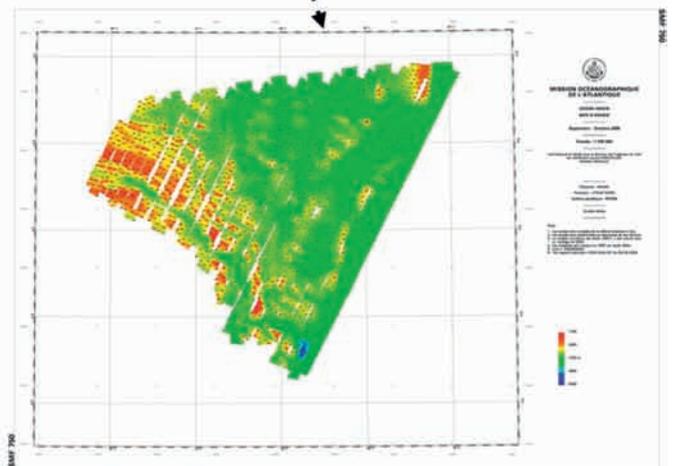
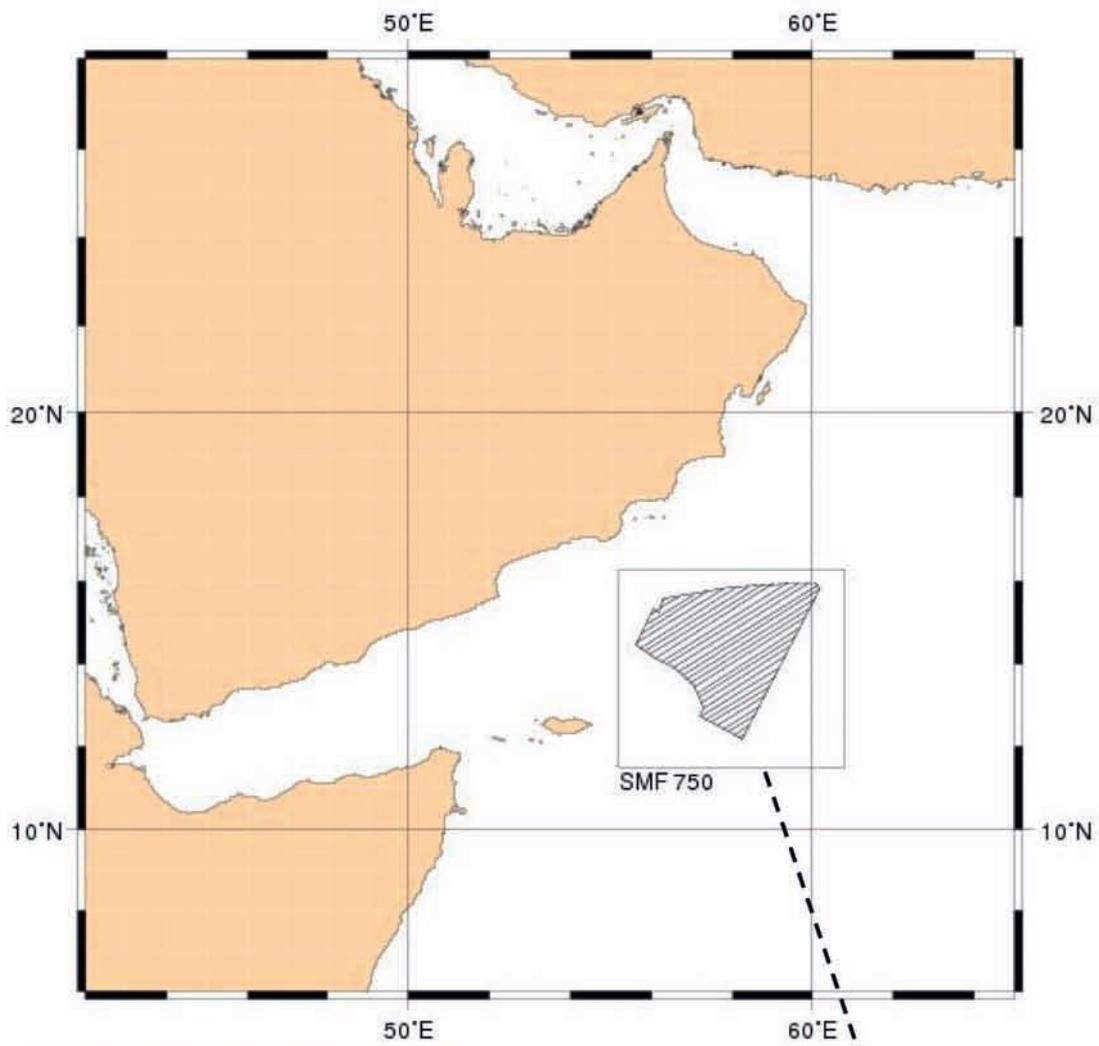
SMF 50



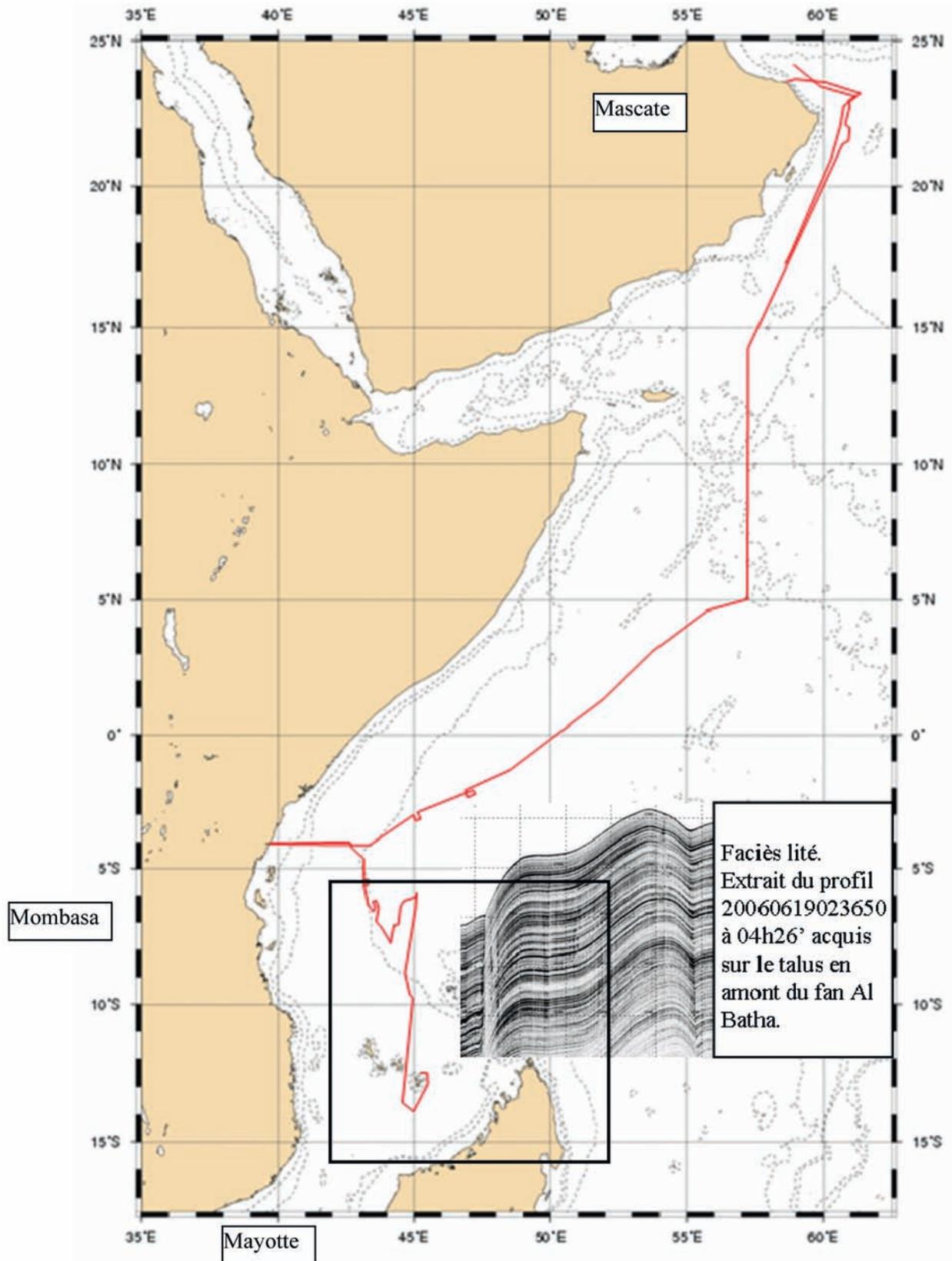
4 - LEVÉ AU PROFIT DU GAN DANS LE GOLFE PERSIQUE (cf. § 4.2.6)



5 - CAMPAGNE AOC AU PROFIT DE L'IFREMER (cf. § 4.4.1)

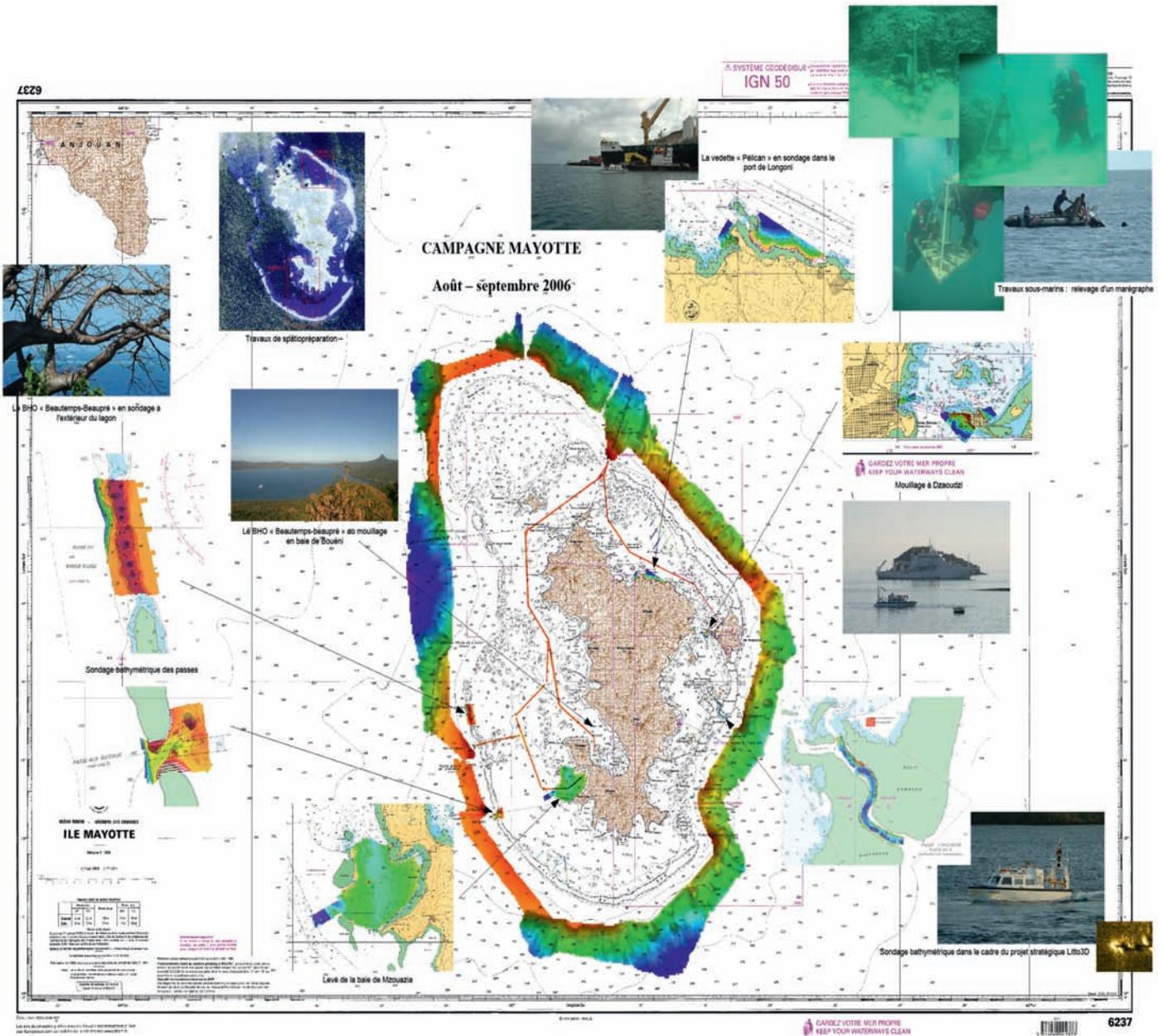


6 - CAMPAGNE SÉDIMENTOLOGIQUE « FANINDIEN » (cf. § 4.2.2)

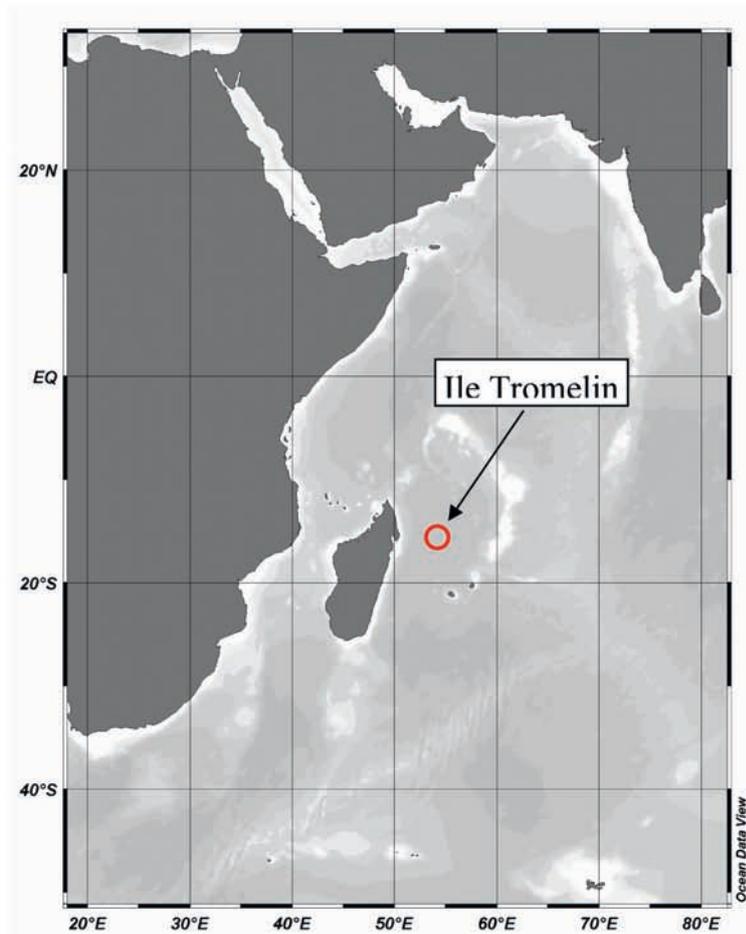
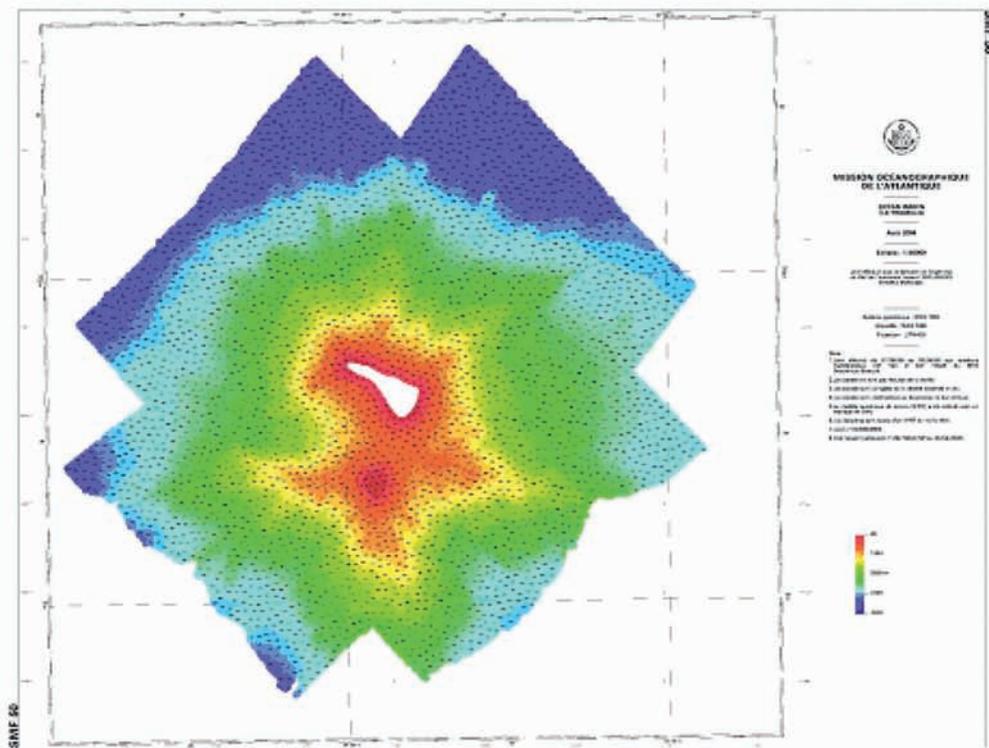


Extrait de carte xdmapp

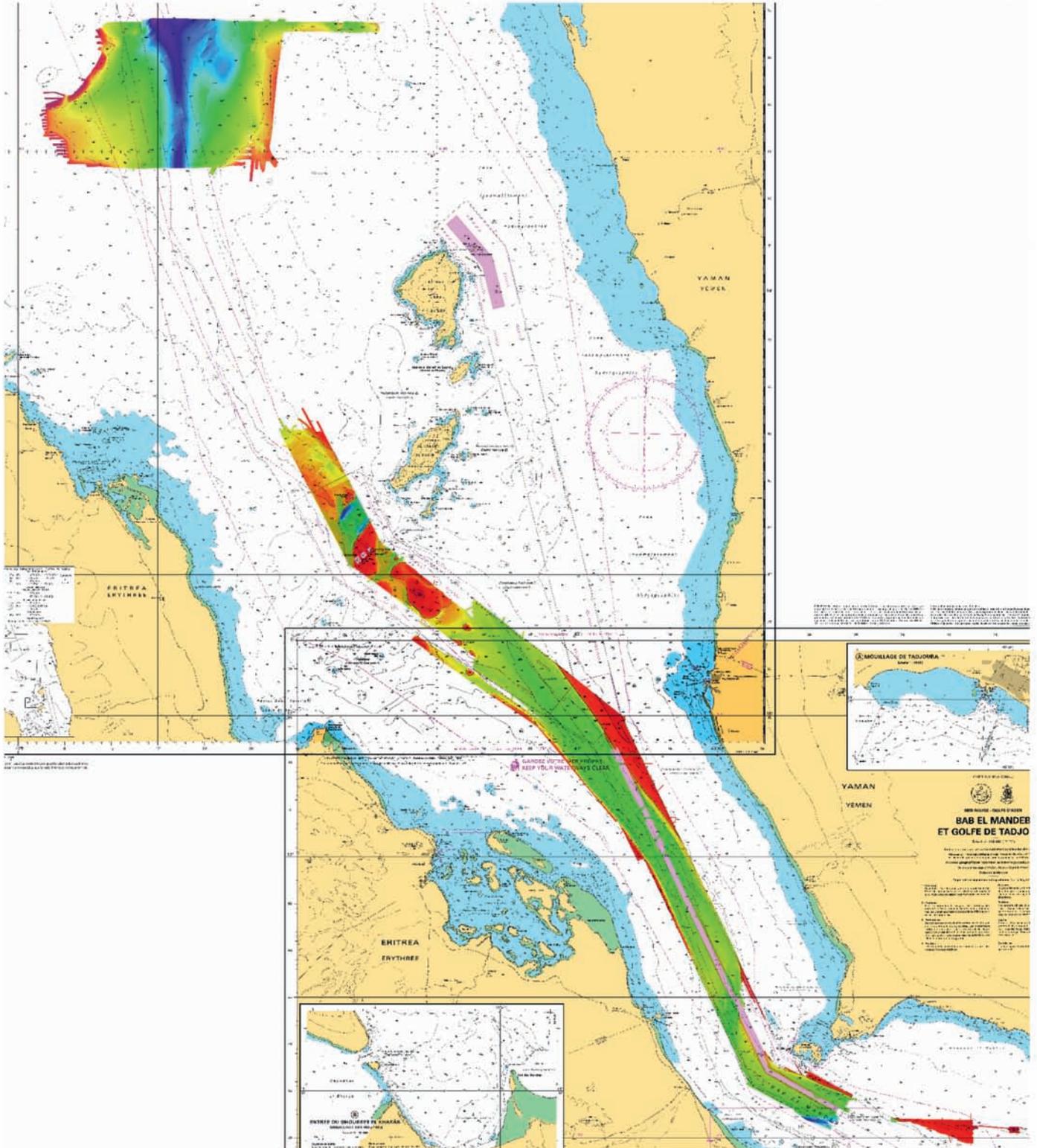
7 - LEVÉ HYDROGRAPHIQUE À MAYOTTE (cf. § 4.3.1)



8 - LEVÉ BATHYMÉTRIQUE À TROMELIN (cf. § 4.1.1)

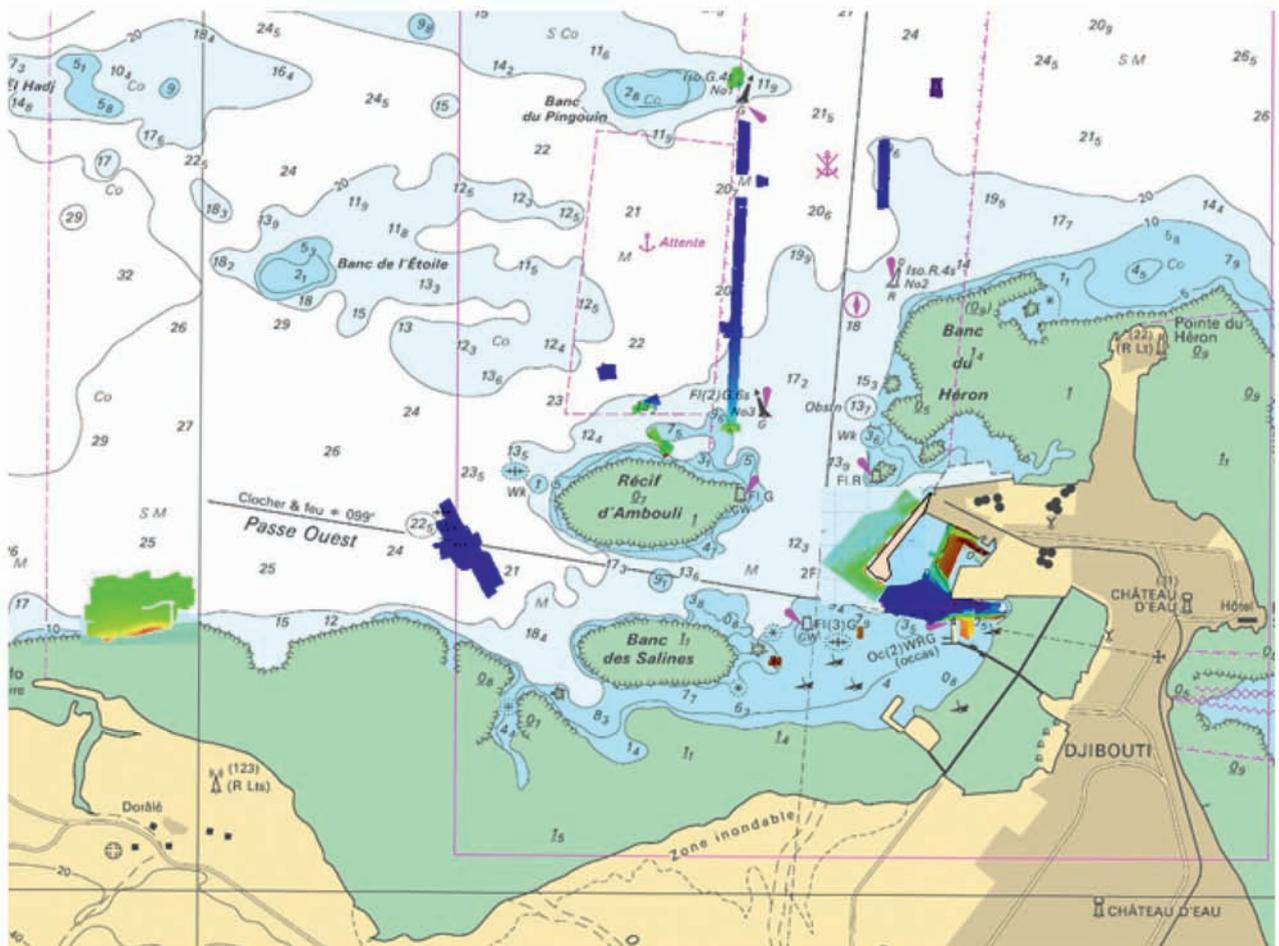


9 - TRAVAUX EN MER ROUGE (REDISO) ET AU DÉTROIT DE BAL EL MANDEB (REDADEN) (cf. § 4.1.2)



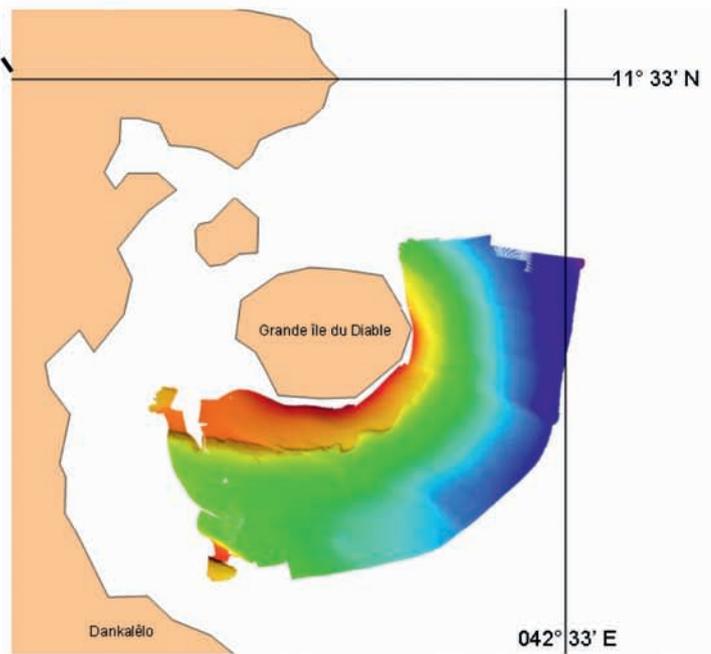
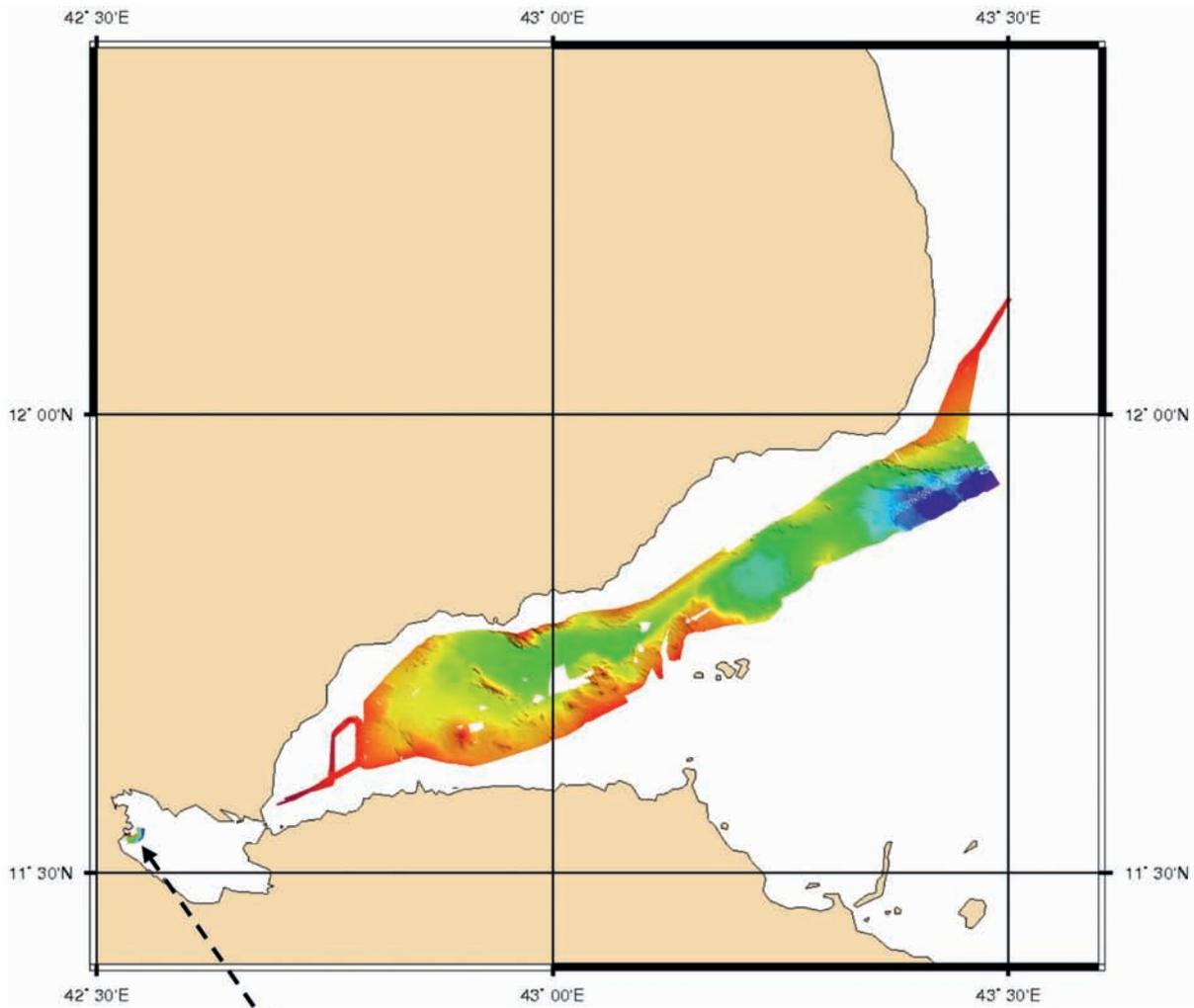
Extrait CM 7518 et CM 7519

10 - TRAVAUX AUX ABORDS DE DJIBOUTI (cf. § 4.1.2)



Extrait CM 7520 cartouche B

Golfe de Tadjoura et Ghoubbet El Kharab



11 - LEVÉ DU PORT ET DES APPROCHES DE TAMATAVE (MADAGASCAR) (cf. § 4.1.6)

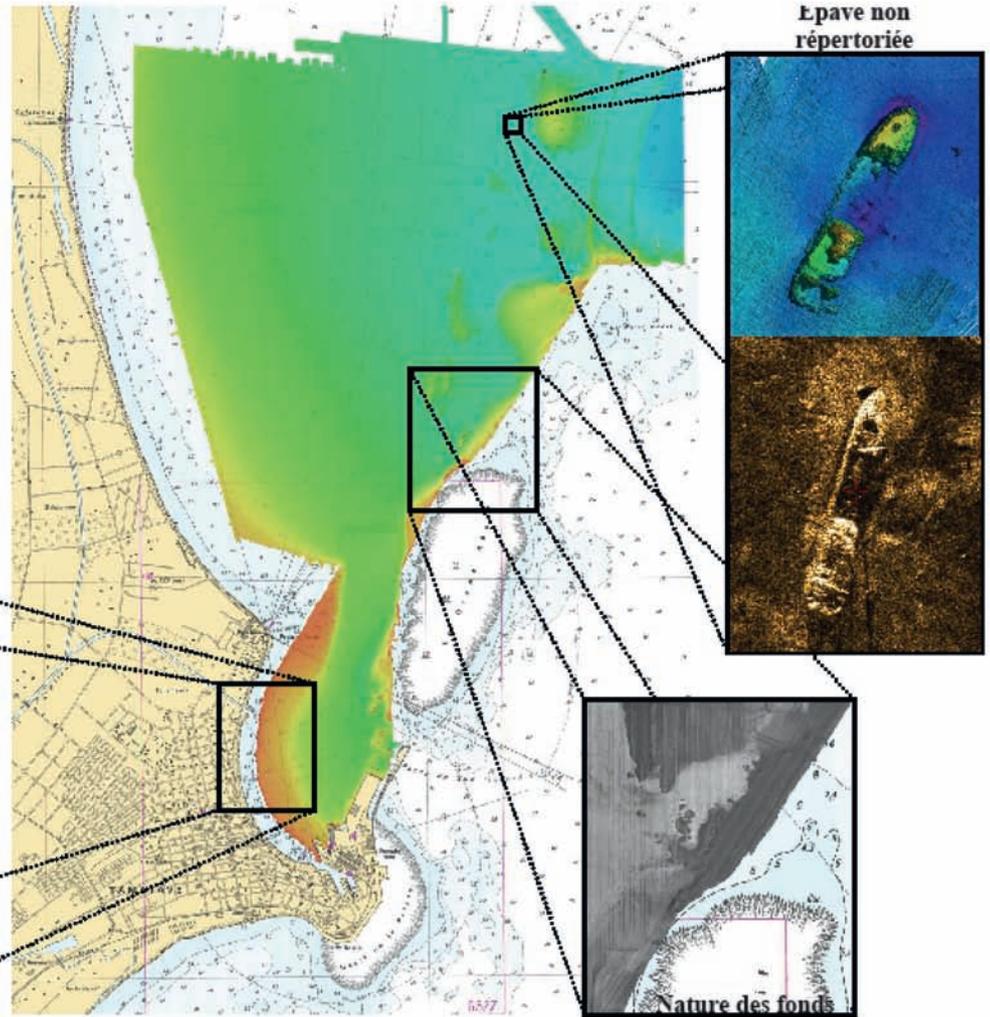
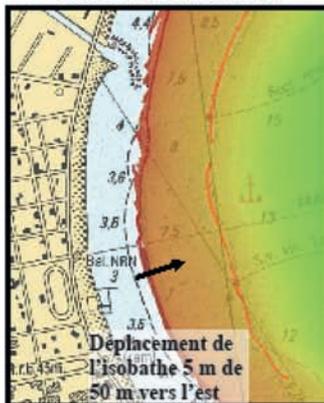
CAMPAGNE MADA 08

TOAMASINA

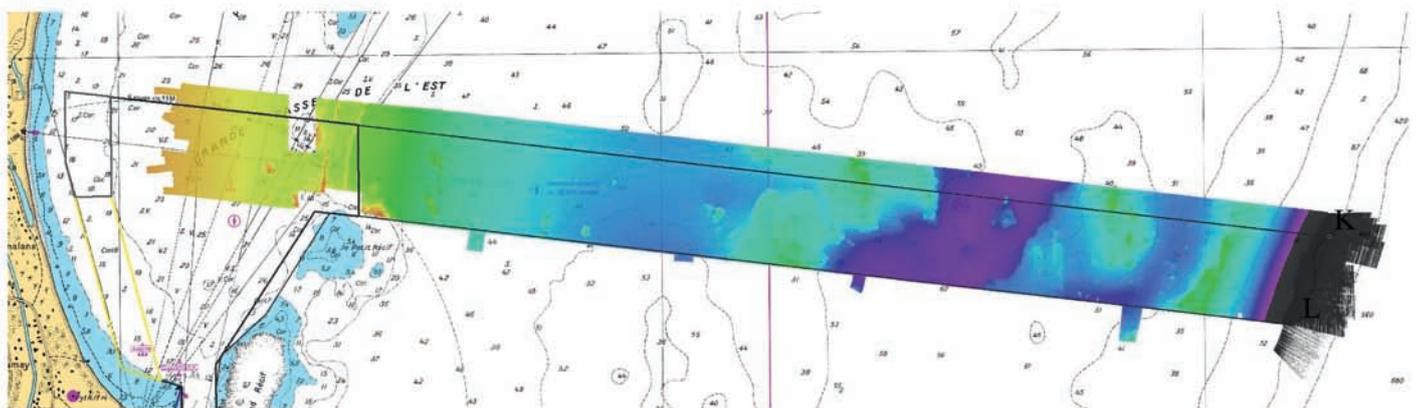
Avancement des travaux au
05/03/2008



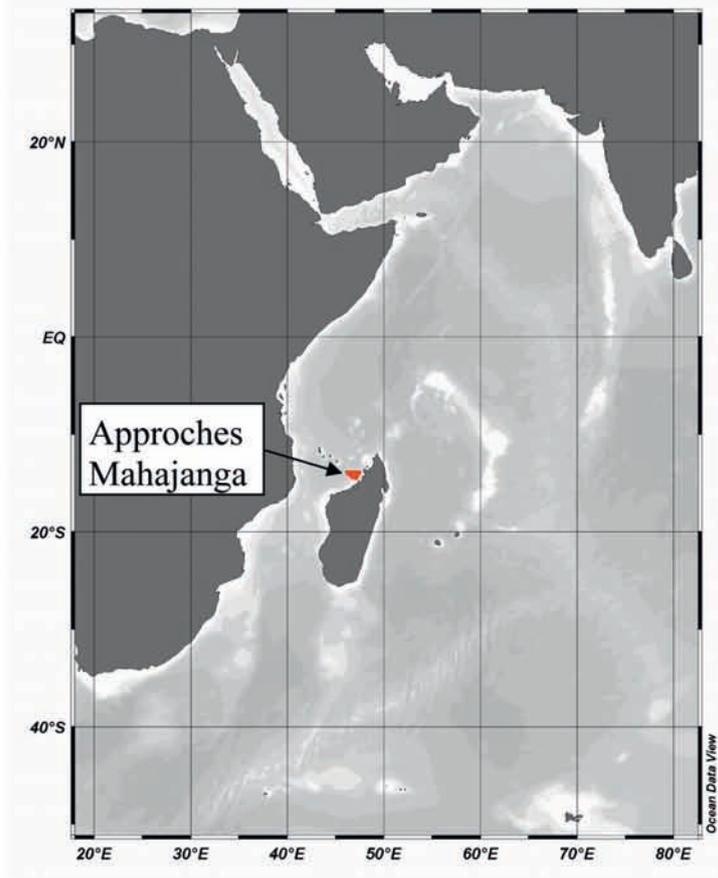
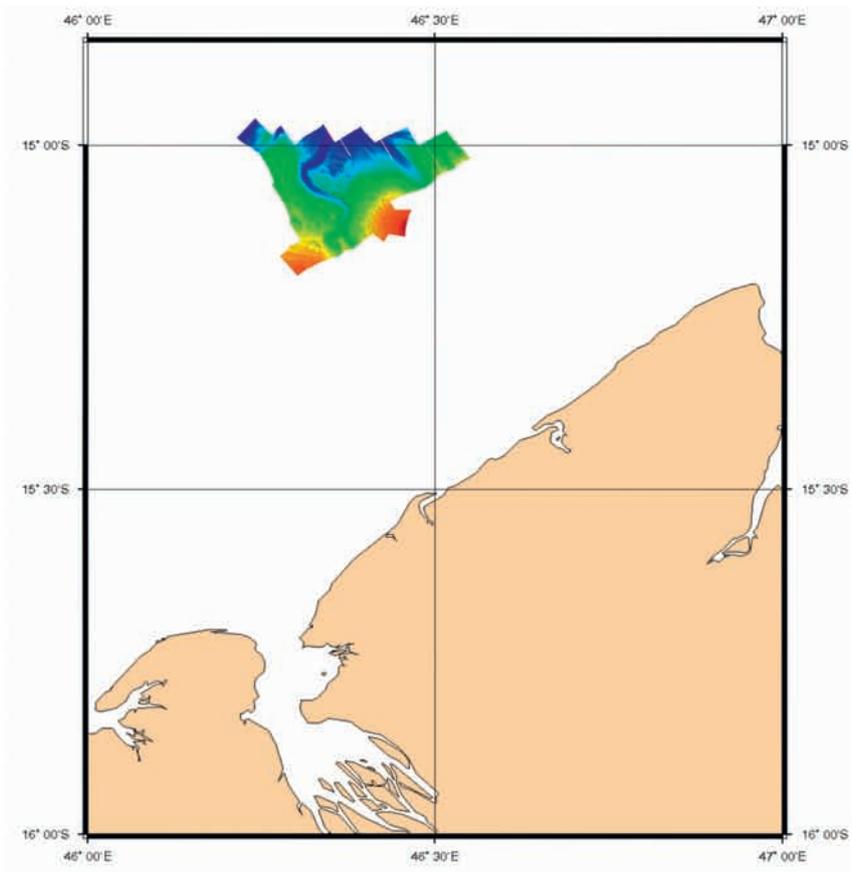
Engraisement de la plage
en bordure de la zone
d'évitage des navires
entrant en darse sud.



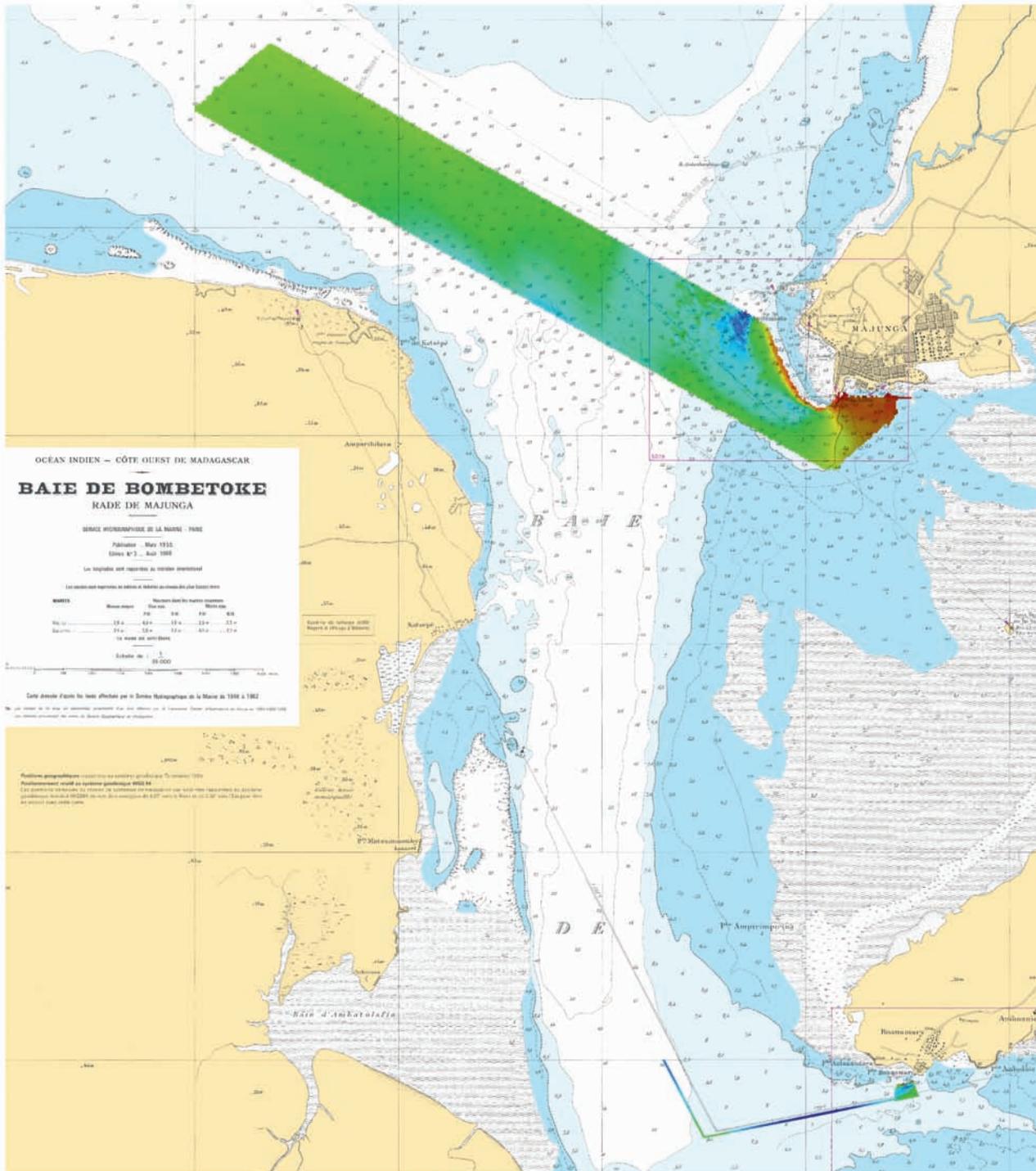
Levé d'une voie recommandée d'accès à TOAMASINA (Madagascar)



12 - APPROCHES DE MAHAJANGA (cf. § 4.1.6)

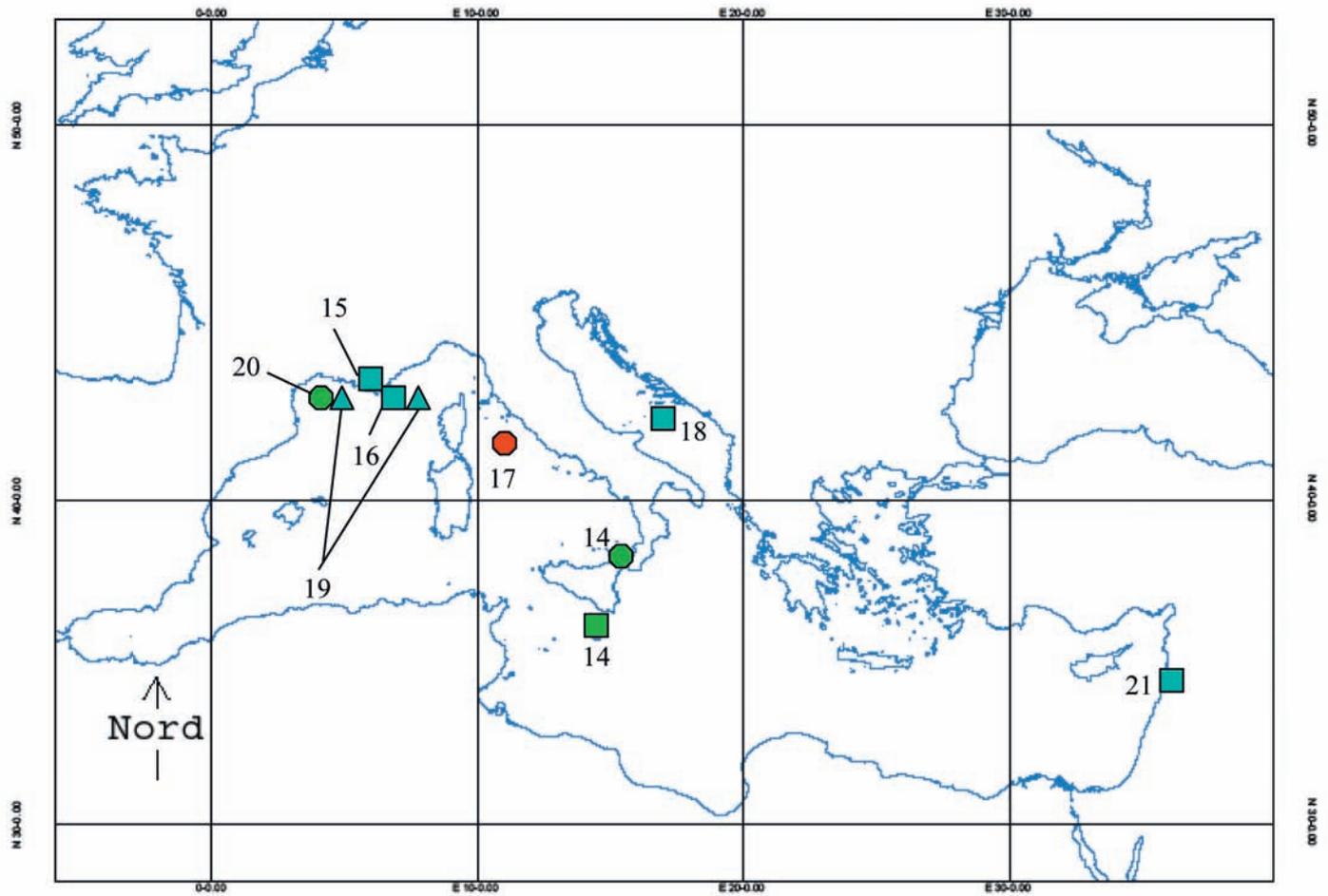


13 - LEVÉ DU PORT DE MAHAJANGA ET DU QUAI DE BOANAMARY (cf. § 4.1.6)



Extrait CM 6077

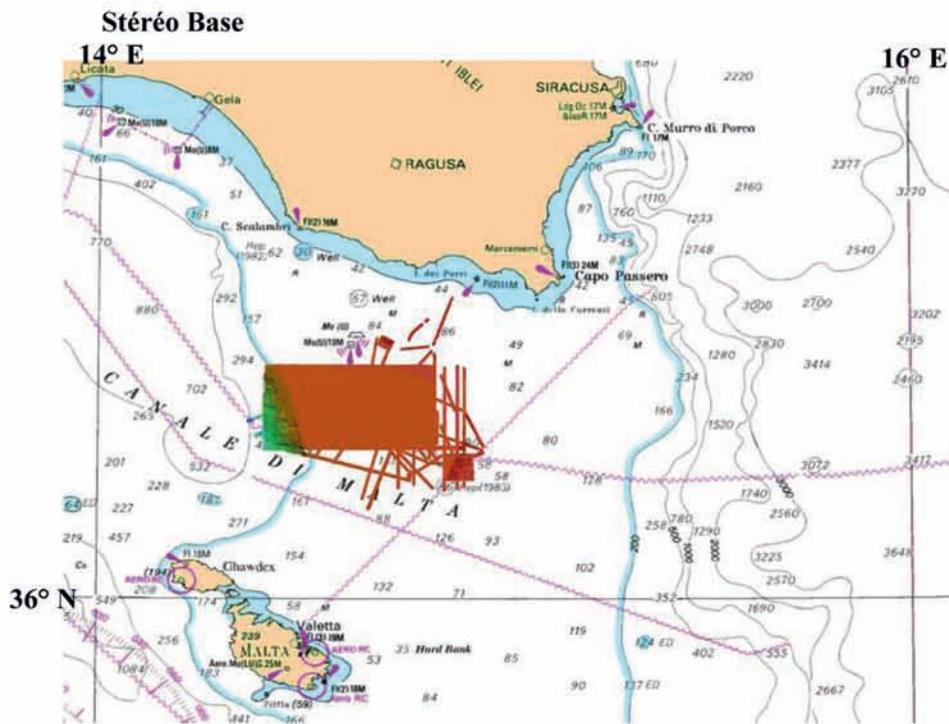
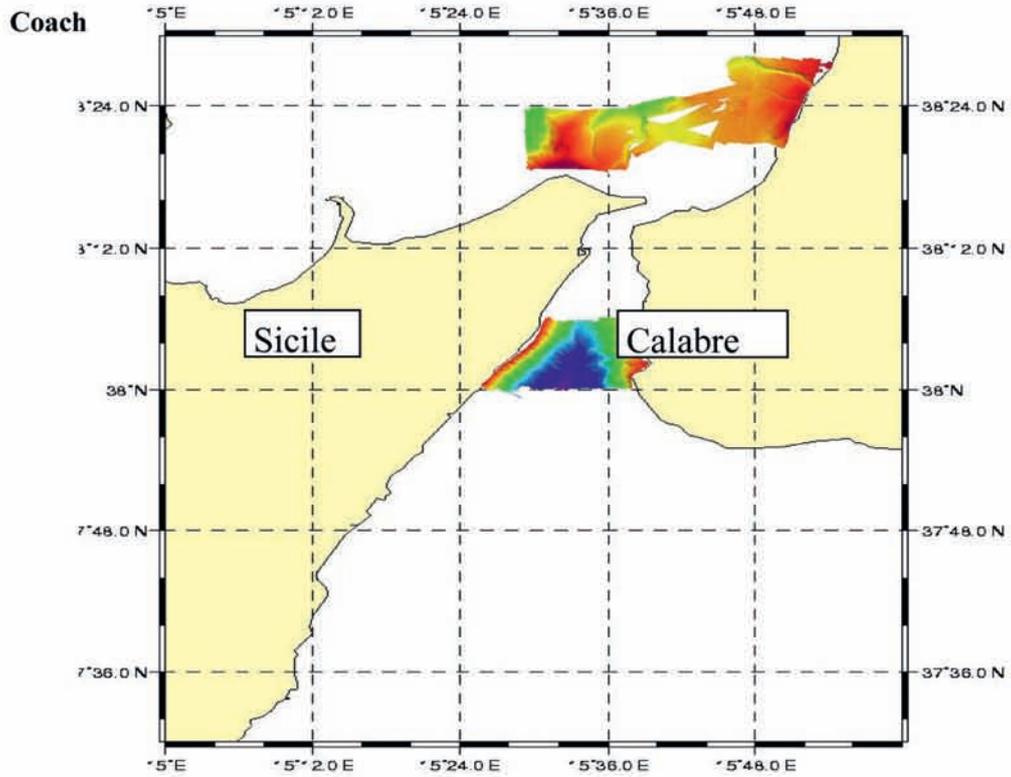
MÉDITERRANÉE



Légende	
Missions du SHOM	
	SOLAS
	Soutien Défense
	Soutien Politique publique

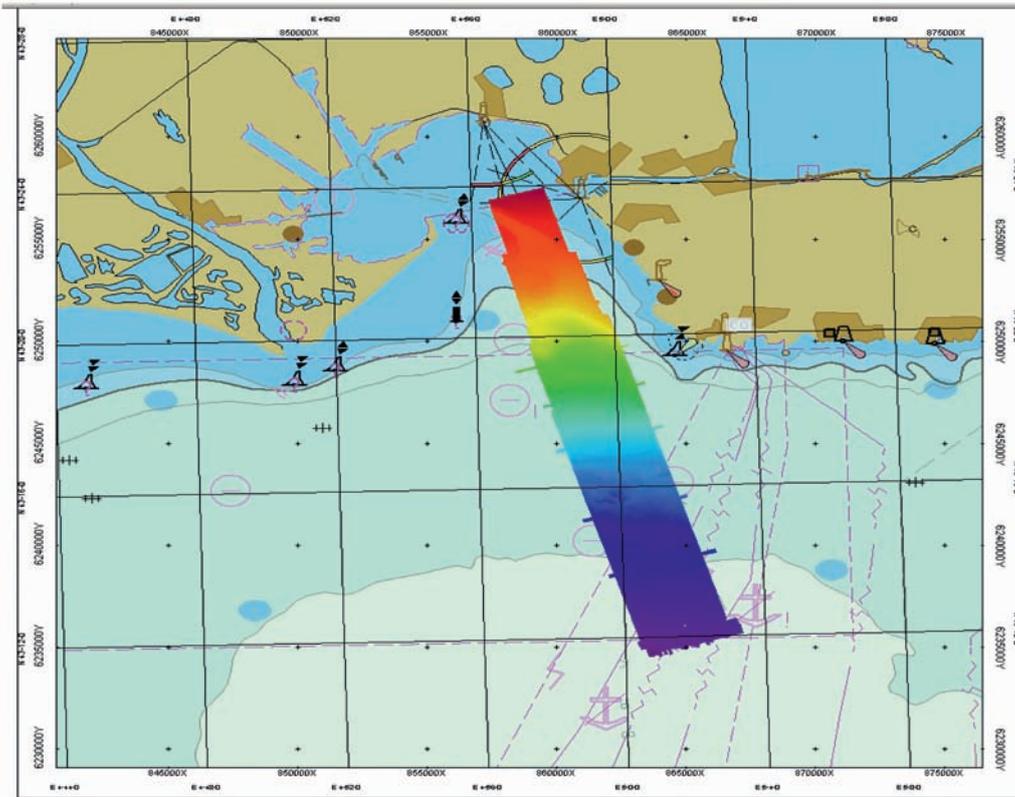
Nature des missions	
	Bathymétrie
	Océanographie
	Gravimétrie

14 - CAMPAGNES AU PROFIT DES PROGRAMMES STÉRÉO et COACH (cf. § 4.2.5)



MNT de bathymétrie sous Hypack

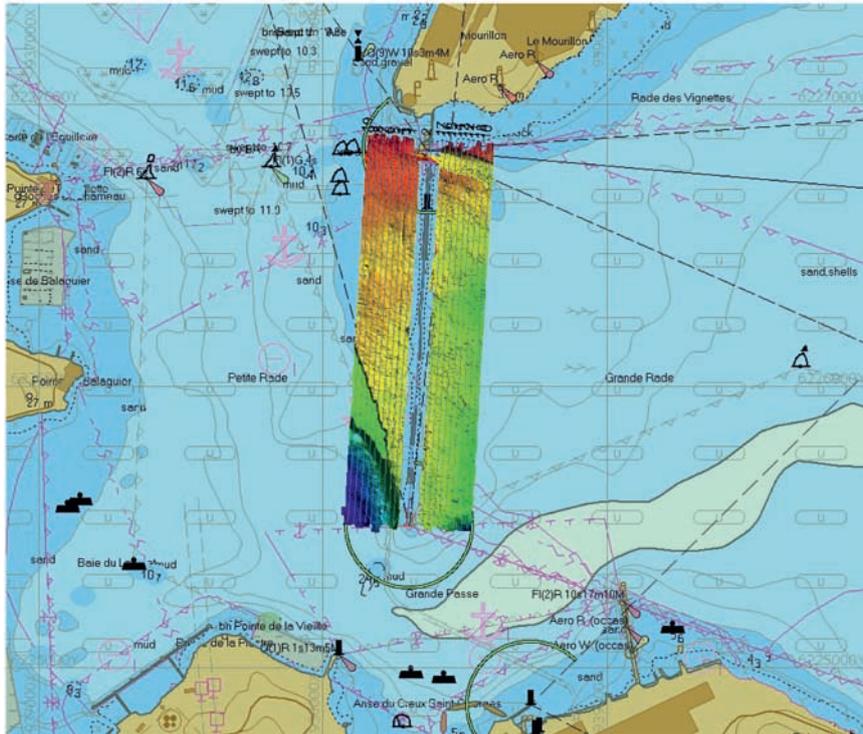
15 - LEVÉ DES ACCÈS À FOS SUR MER (cf. § 4.2.9)



16 - TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES DANS LE PORT DE TOULON (cf. § 4.1.7)

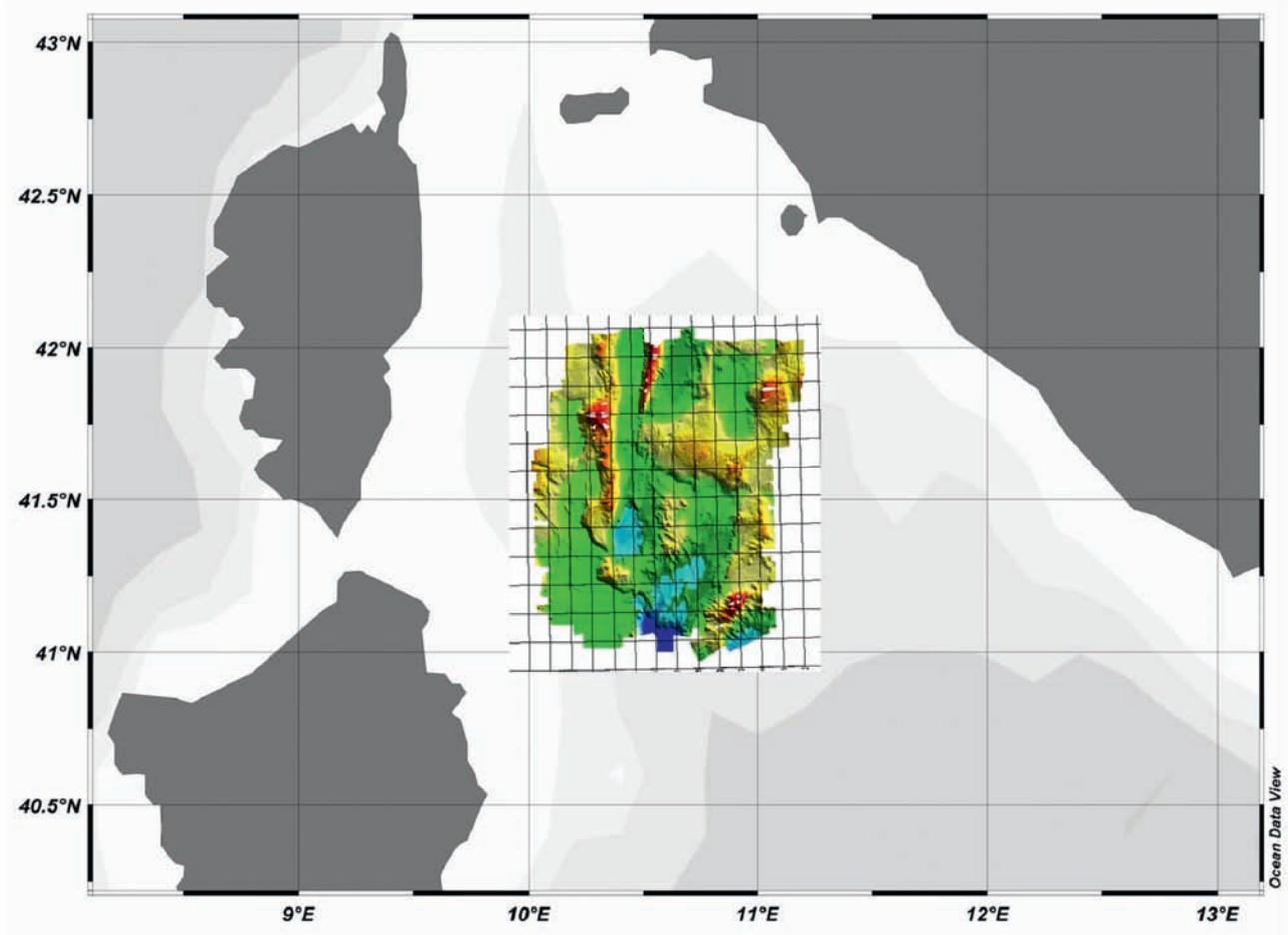


Sondage au niveau des appontements Milhaud dans la zone d'intérêt de la guerre des mines



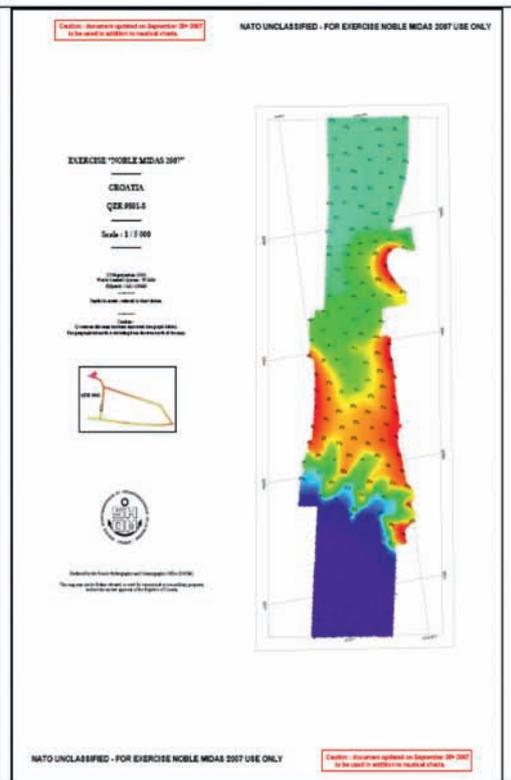
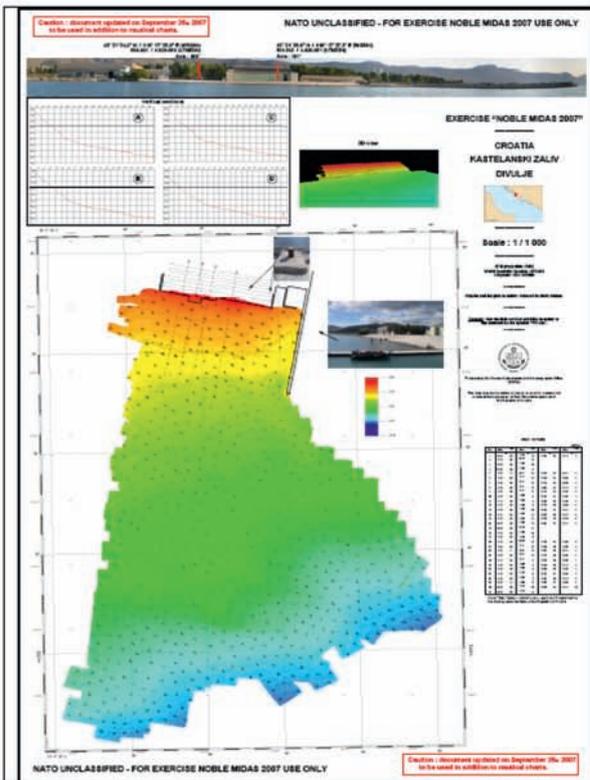
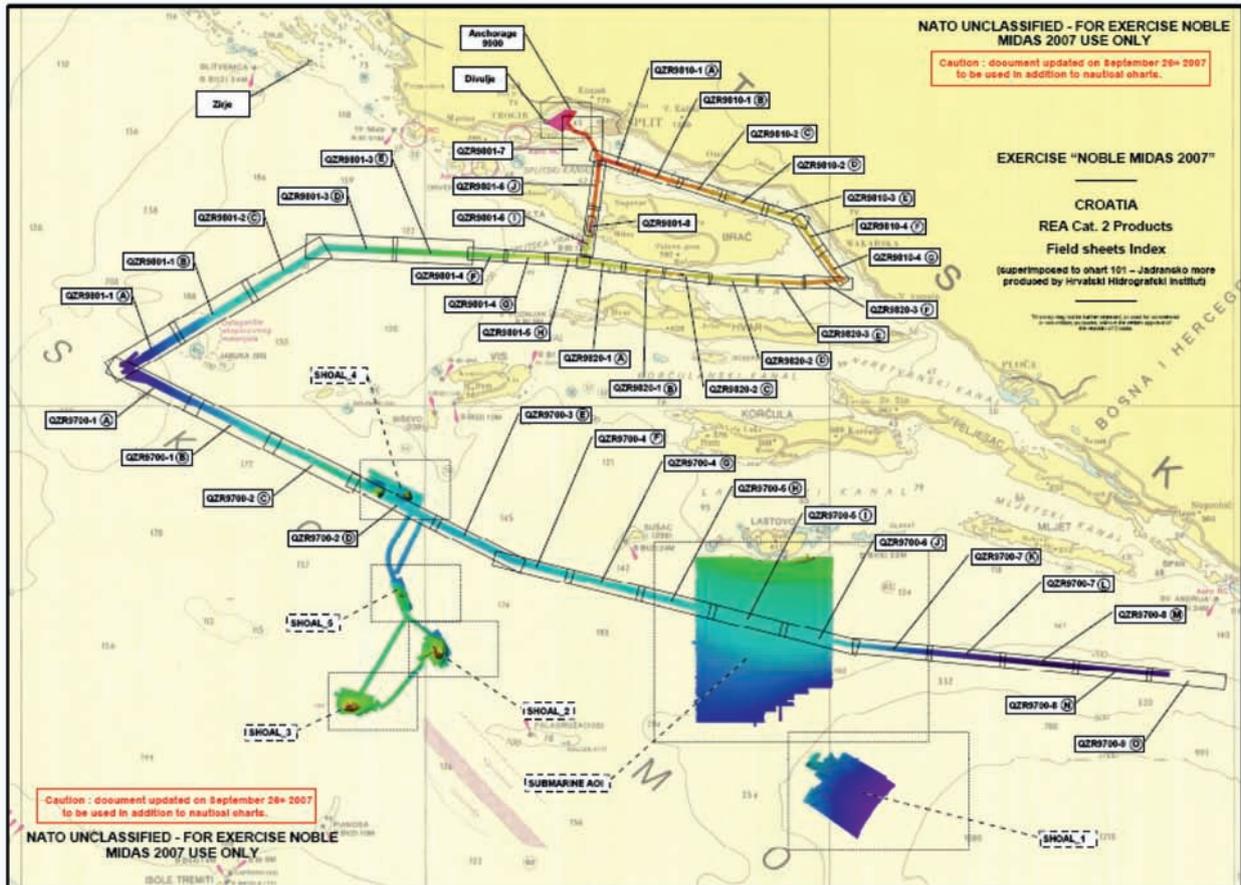
Levé de la grande jetée Toulon

17 - GEOMED (cf. § 4.1.5)

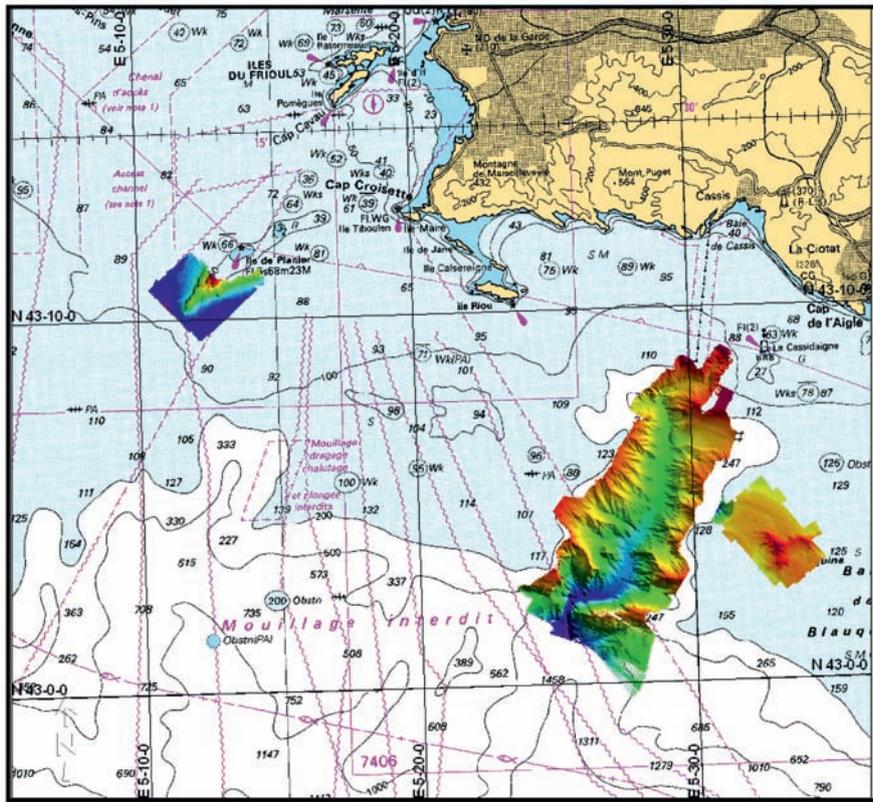


MNT de bathymétrie issue du sondeur EM12 Dual du N/O « Atalante »

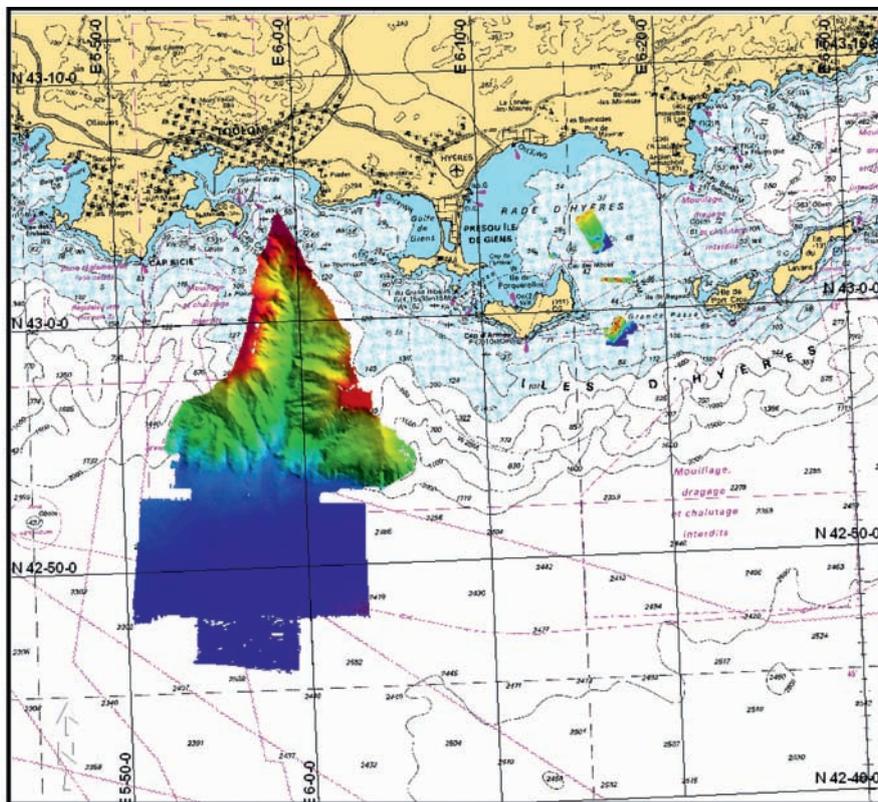
18 - EXERCICE DE RAPID ENVIRONNEMENTAL ASSESSEMENT (REA)
 « NOBLE MIDAS 07 » (Croatie aux abords de Split) (cf. § 4.2.7)



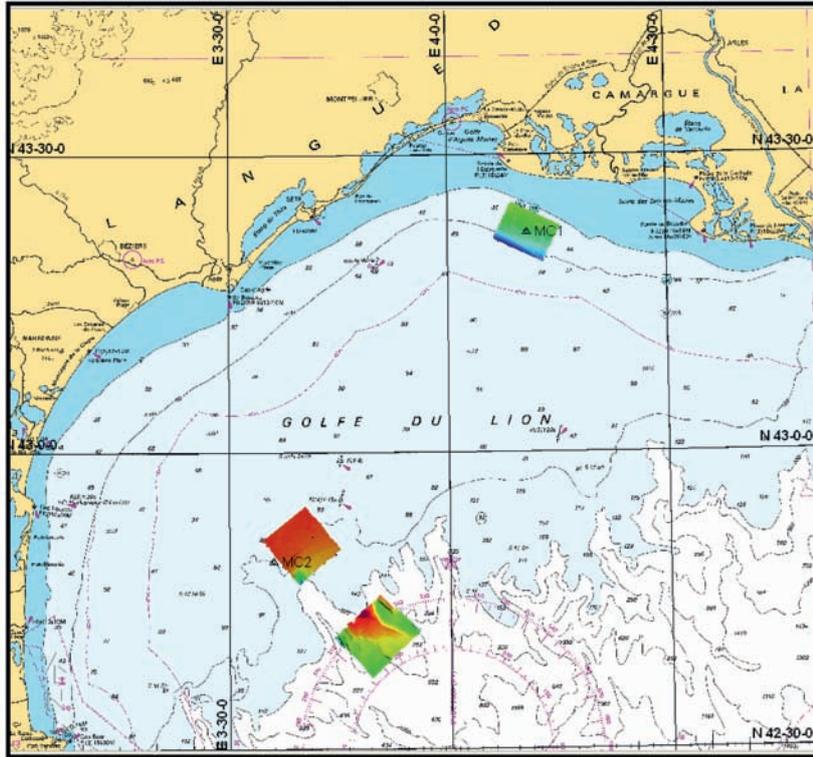
19 - LEVÉ DU PLANIER, CANYON DE CASSIS, LEVÉ ESQUINE (cf. § 4.1.4)



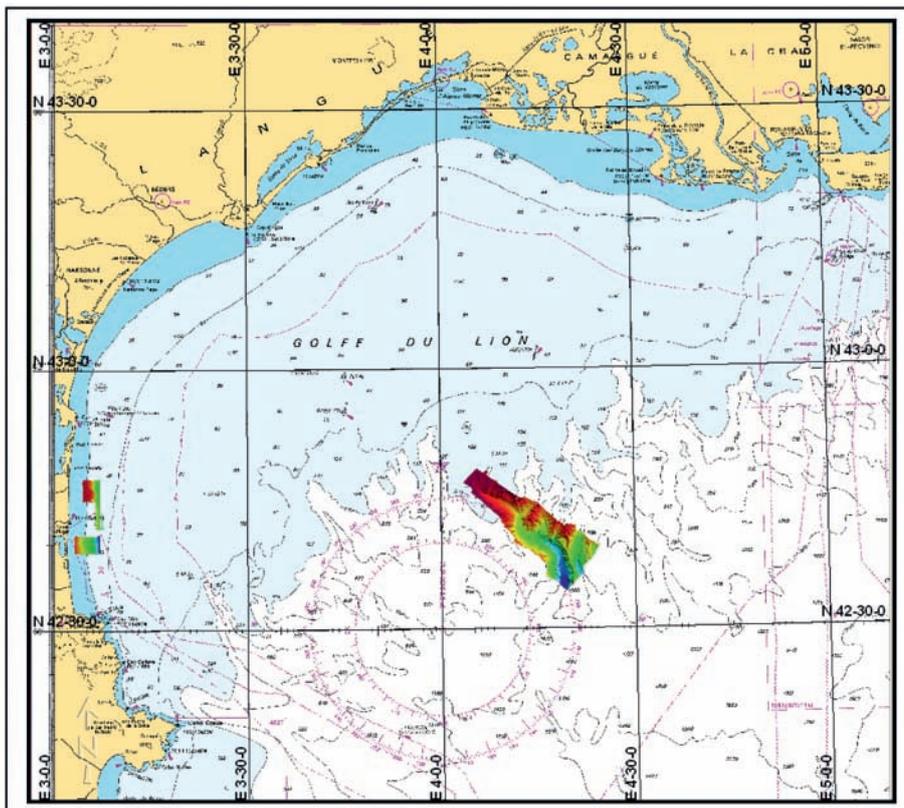
COMPLÉMENTS SARRANIERS, CANYON DE TOULON, LEVÉ RADE D'HYÈRES, ÉPAVES FERRANDO ET MARCEL (RADE D'HYÈRES), CALIBRATION SMF (cf. § 4.1.4)



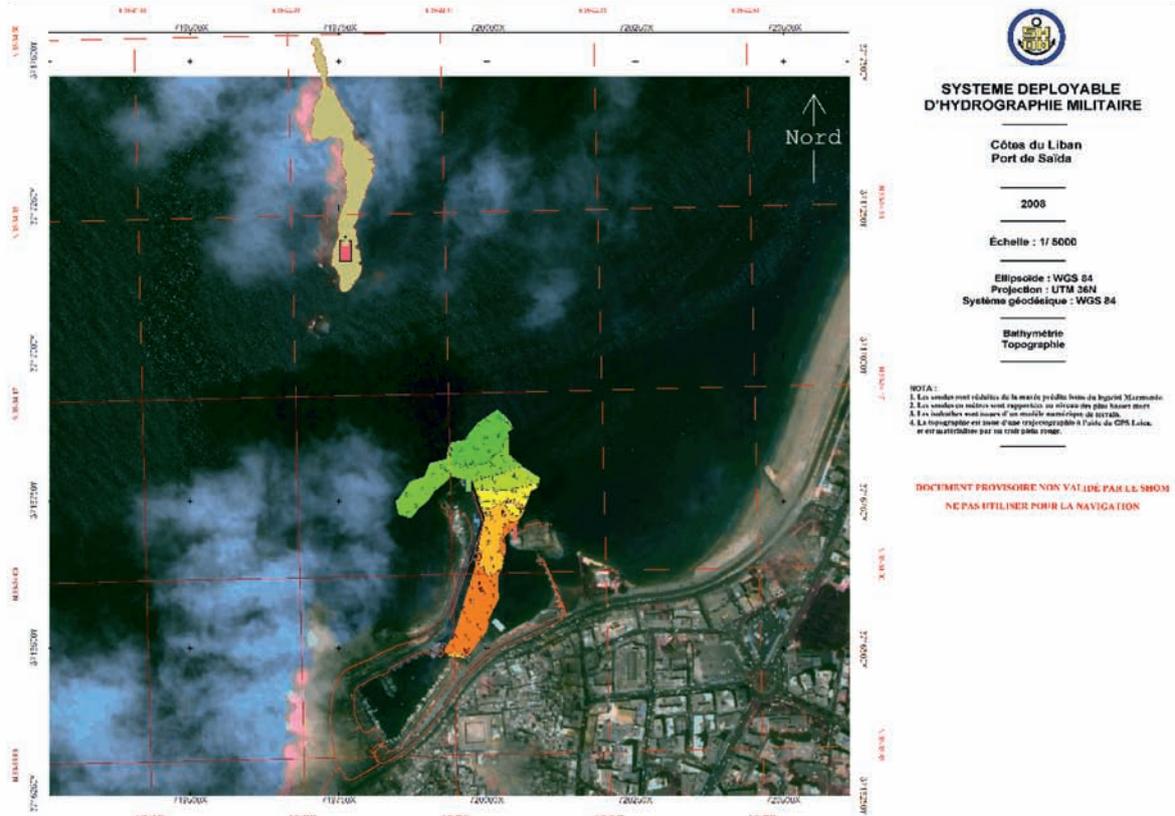
**20 - LEVÉS AU PROFIT DU PROGRAMME CALIMERO
ZONES CALIMERO A, ÉPAVE DERNA, CALIMERO B ET C
MARÉGRAPHES GRAND FOND MC1 ET MC2**



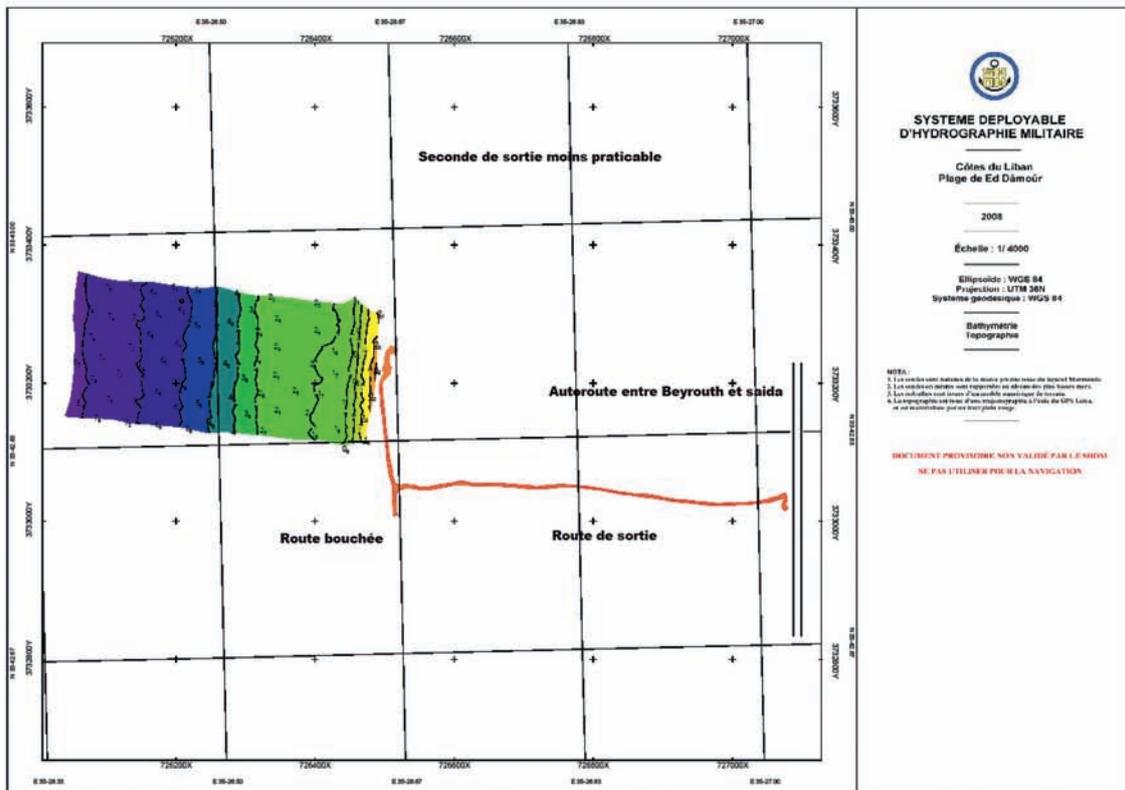
LEVÉS DU CANET, DES ROCHES DE SAINT LAURENT, DU CANYON DE SÈTE (cf. § 4.1.4)



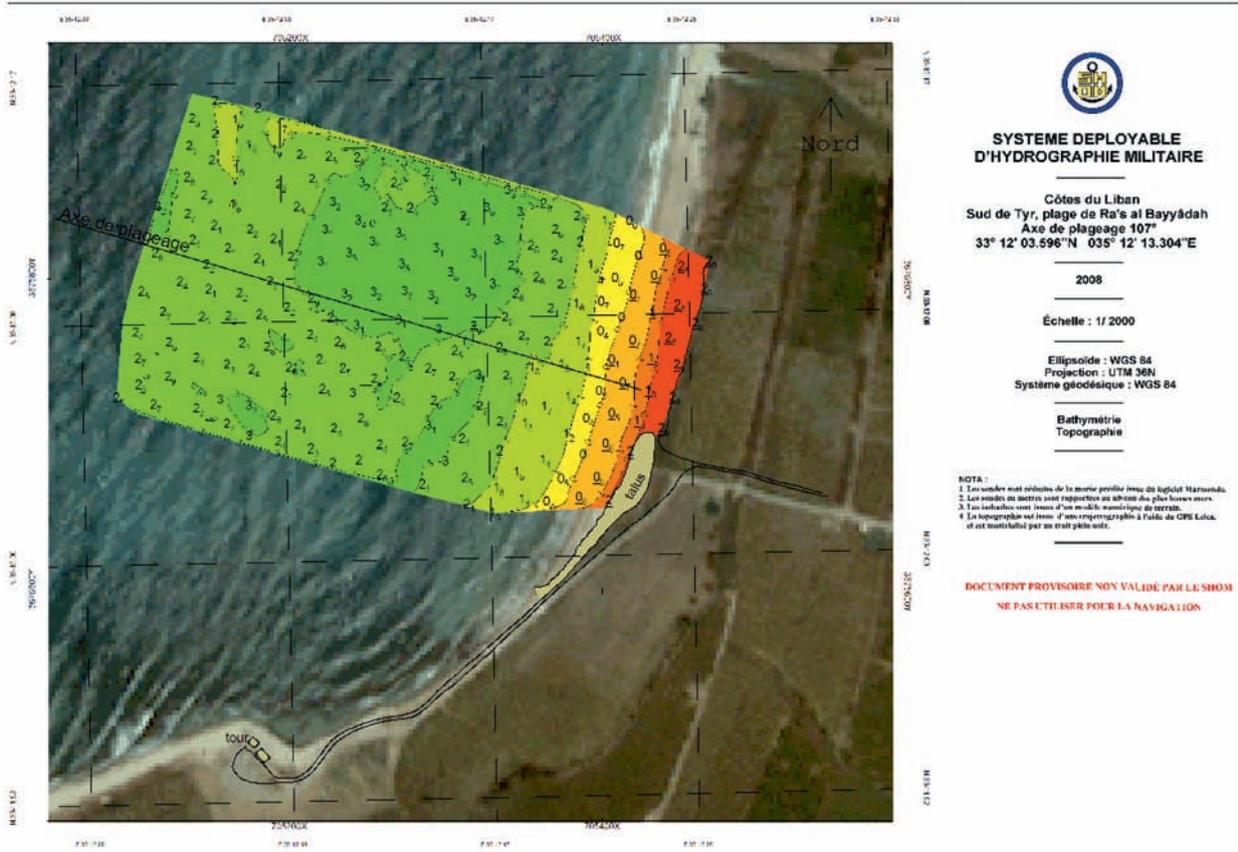
21 - OPÉRATION BALISTE SDHM AU LIBAN (cf. § 4.2.8)



« Port de Saïda »

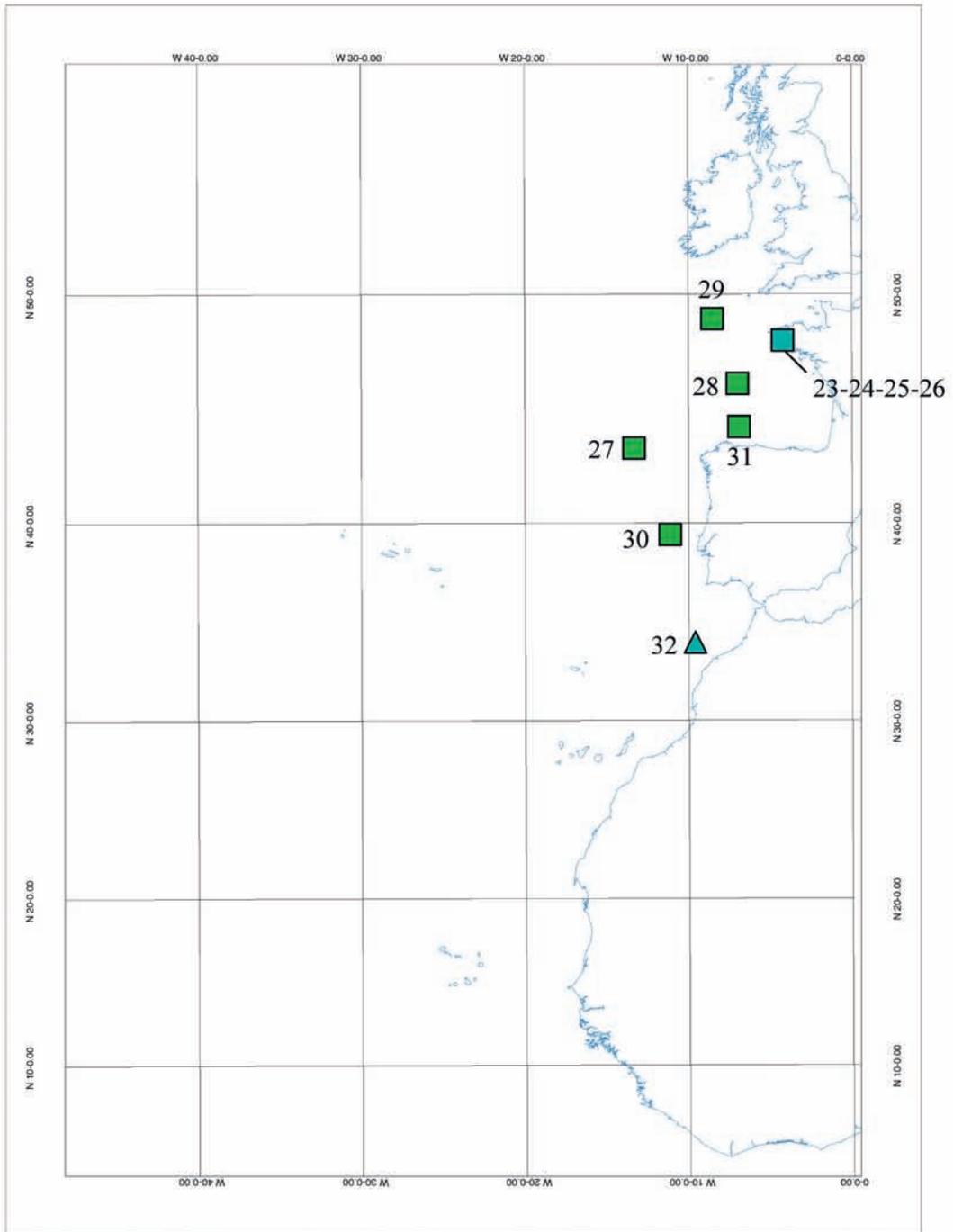


Plageage de « Ed Dâmoûr »



Plageage Sud de « Tyr »

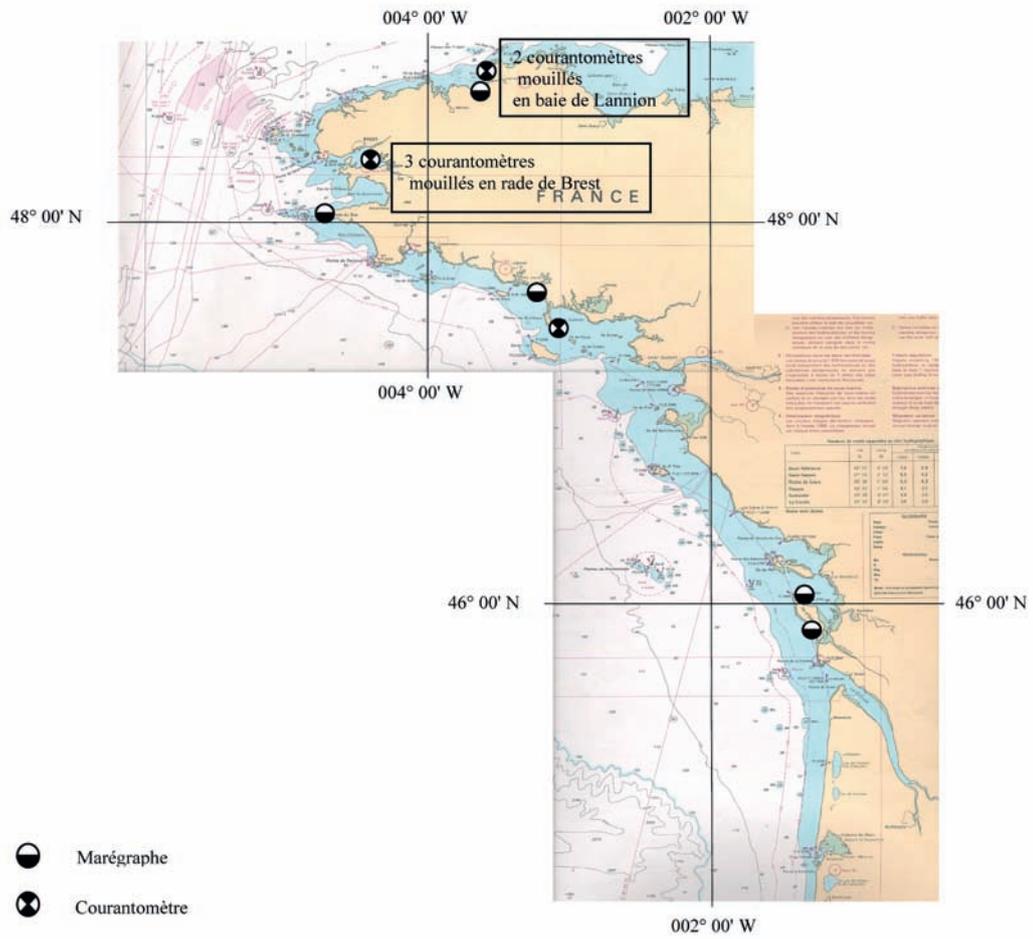
ATLANTIQUE



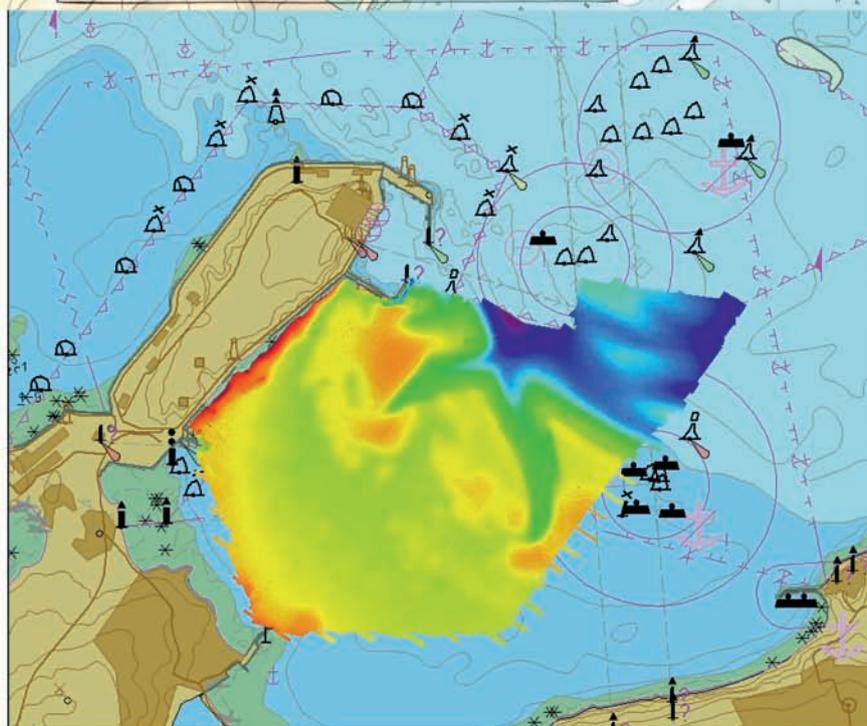
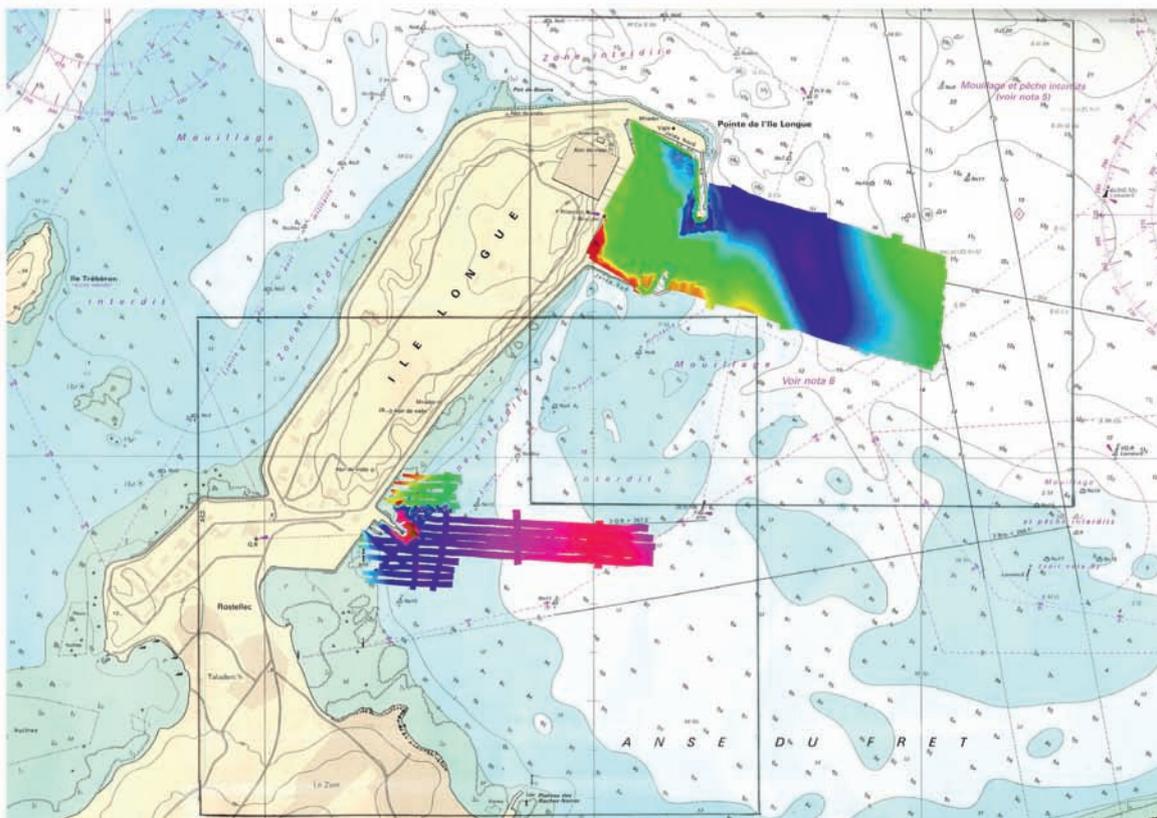
Légende	
Missions du SHOM	
△	SOLAS
□	Soutien Défense
○	Soutien Politique publique

Natures des missions	
■ (Cyan)	Bathymétrie
■ (Green)	Océanographie
■ (Red)	Gravimétrie

22 - RONIM (cf. § 4.1.8)

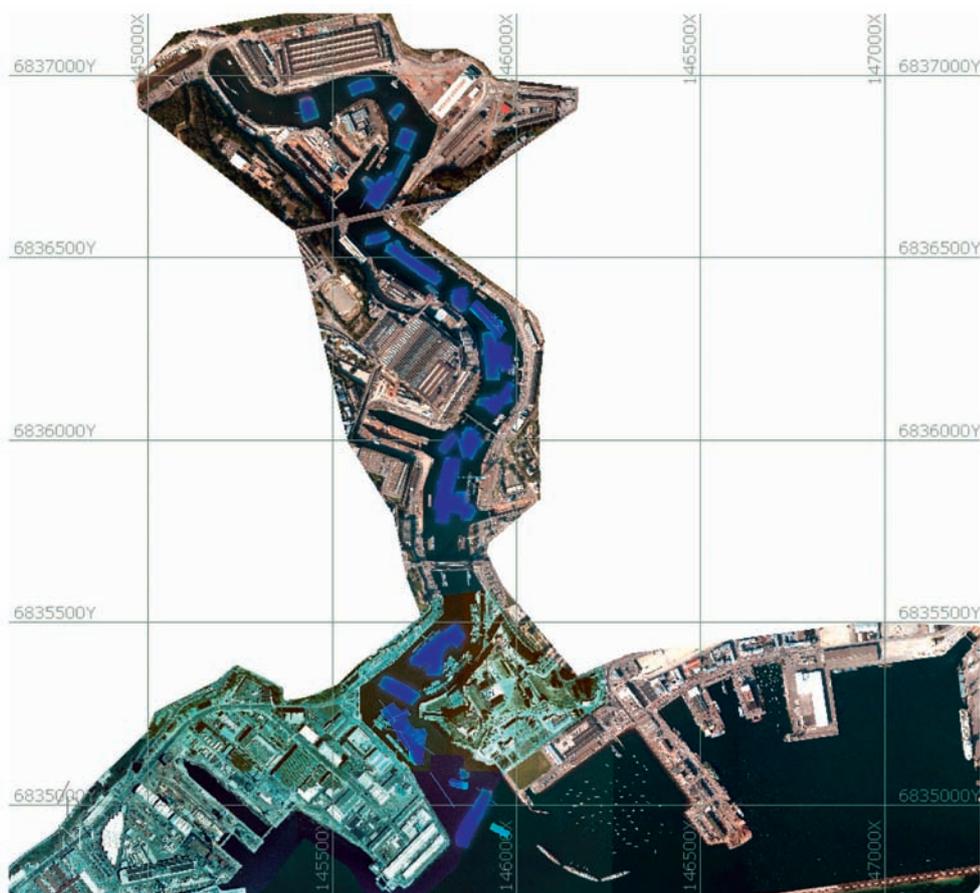


23 - LEVÉ DES ACCÈS AUX PORTS PRINCIPAL ET SECONDAIRE DE L'ILE LONGUE (cf. § 4.1.7)

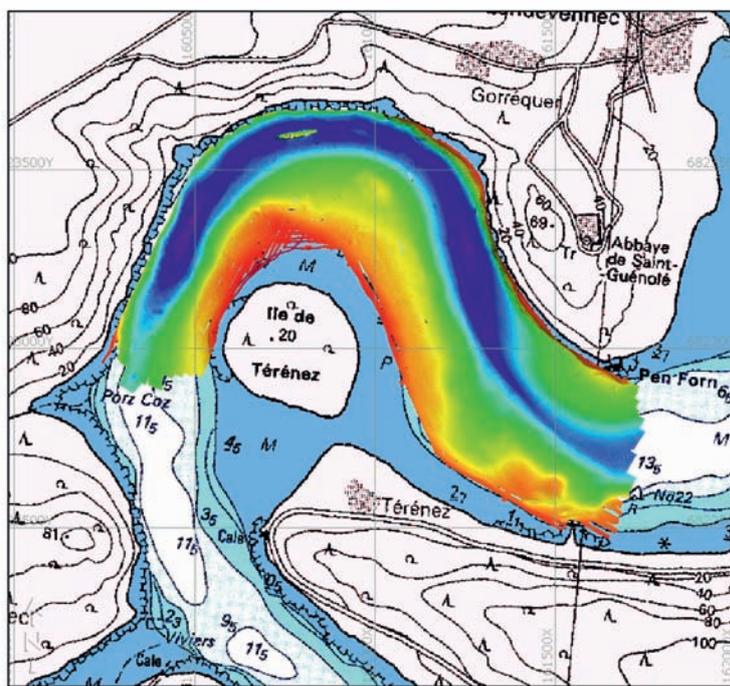


24 - ANSE DU FRET. (cf. § 4.1.7)

25 - TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES DANS LE PORT MILITAIRE DE BREST (cf. § 4.1.7)

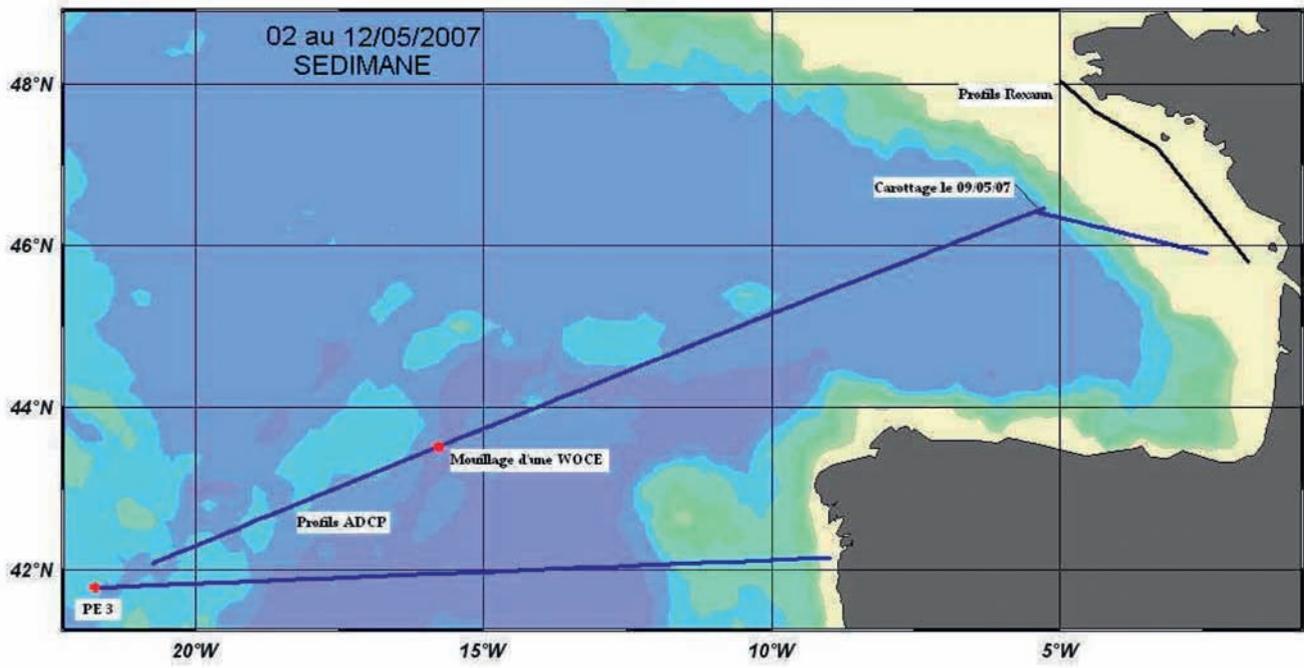


26 - LEVÉ DE L'AULNE (CIMETIÈRE DES BATEAUX) (cf. § 4.1.7)

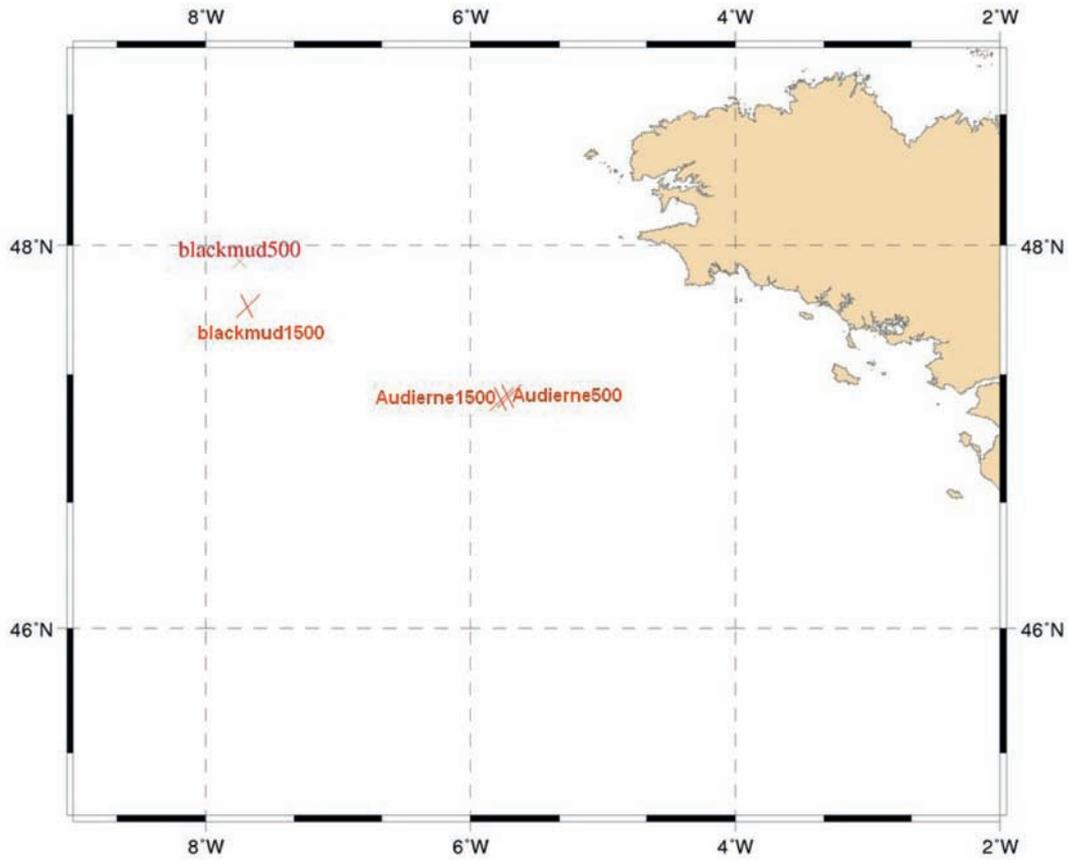


MNT de bathymétrie sous Hypack

27 - CAMPAGNE SEDIMANE (cf. § 4.2.2)

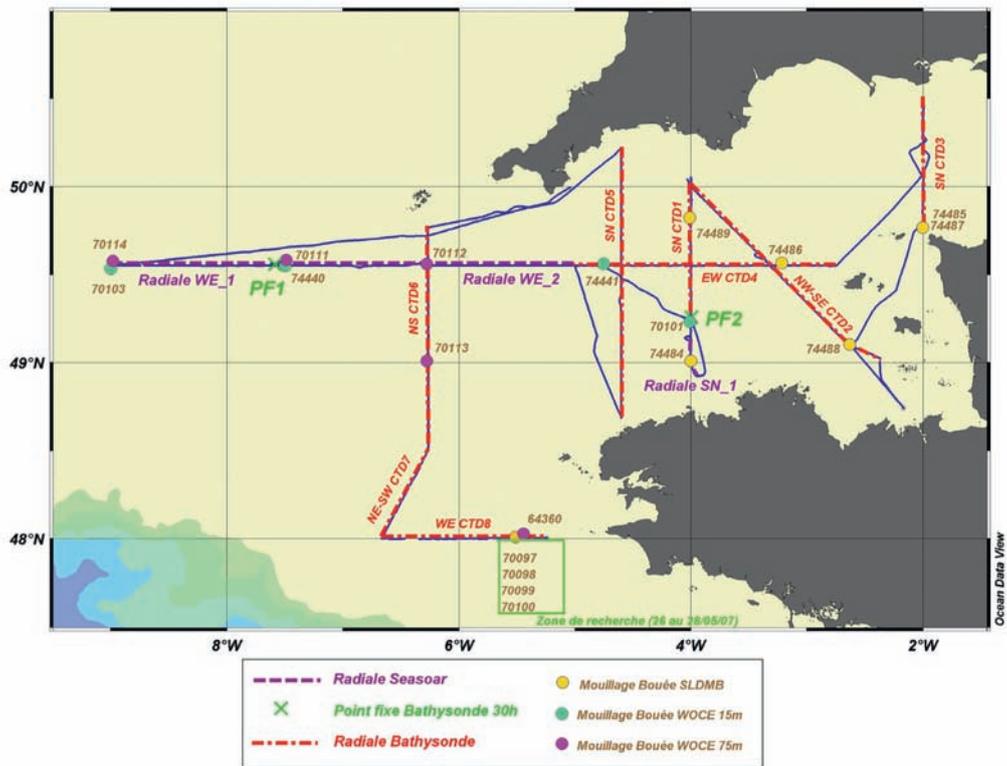


28 - CAMPAGNE SEDIMANE-2 (cf. § 4.2.2)

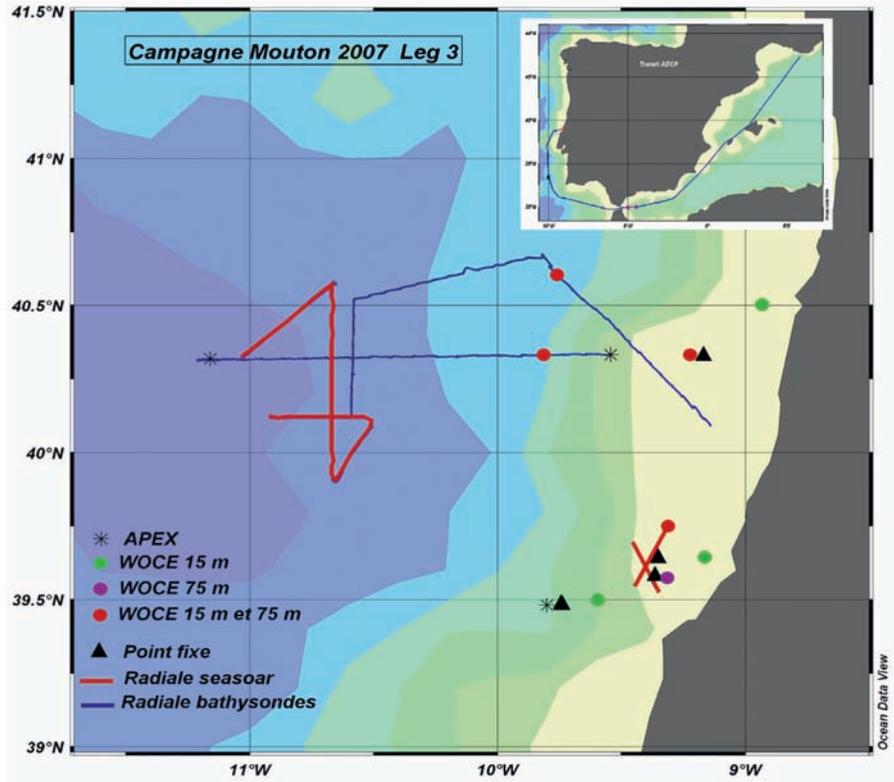


29 - CAMPAGNE MOUTON 07/01 (cf. § 4.2.1)

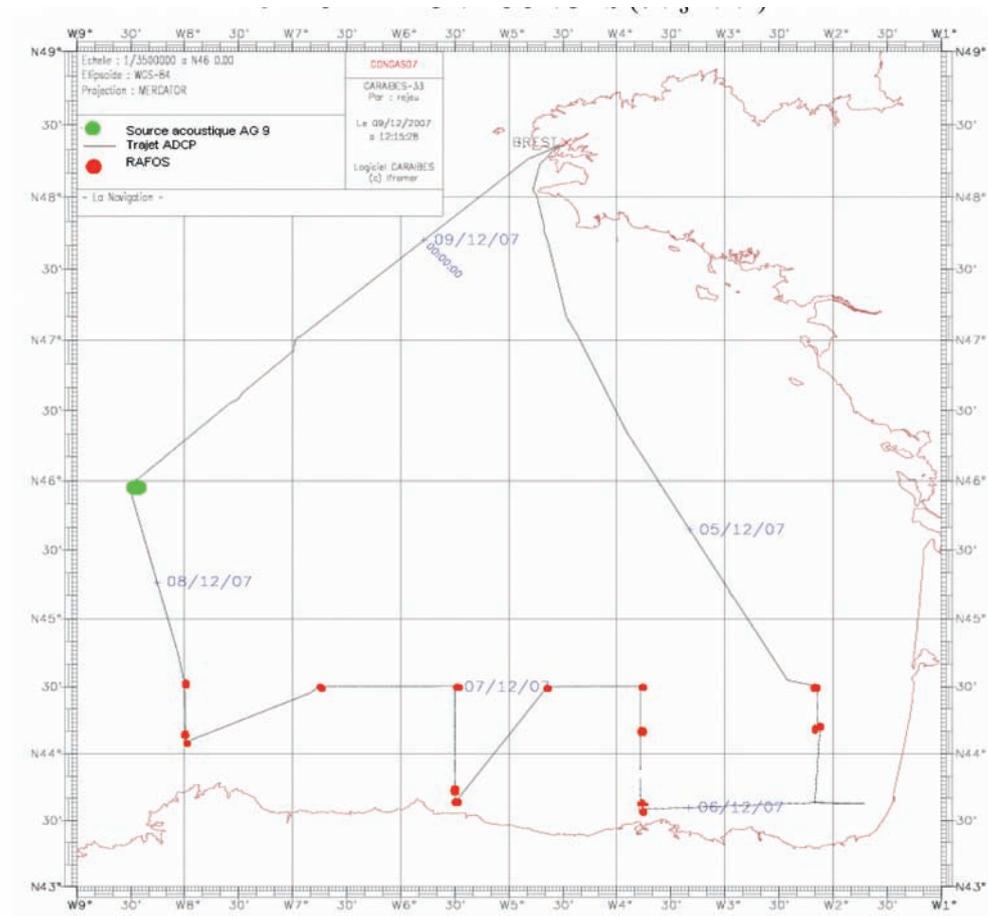
MOUTON 2007-1



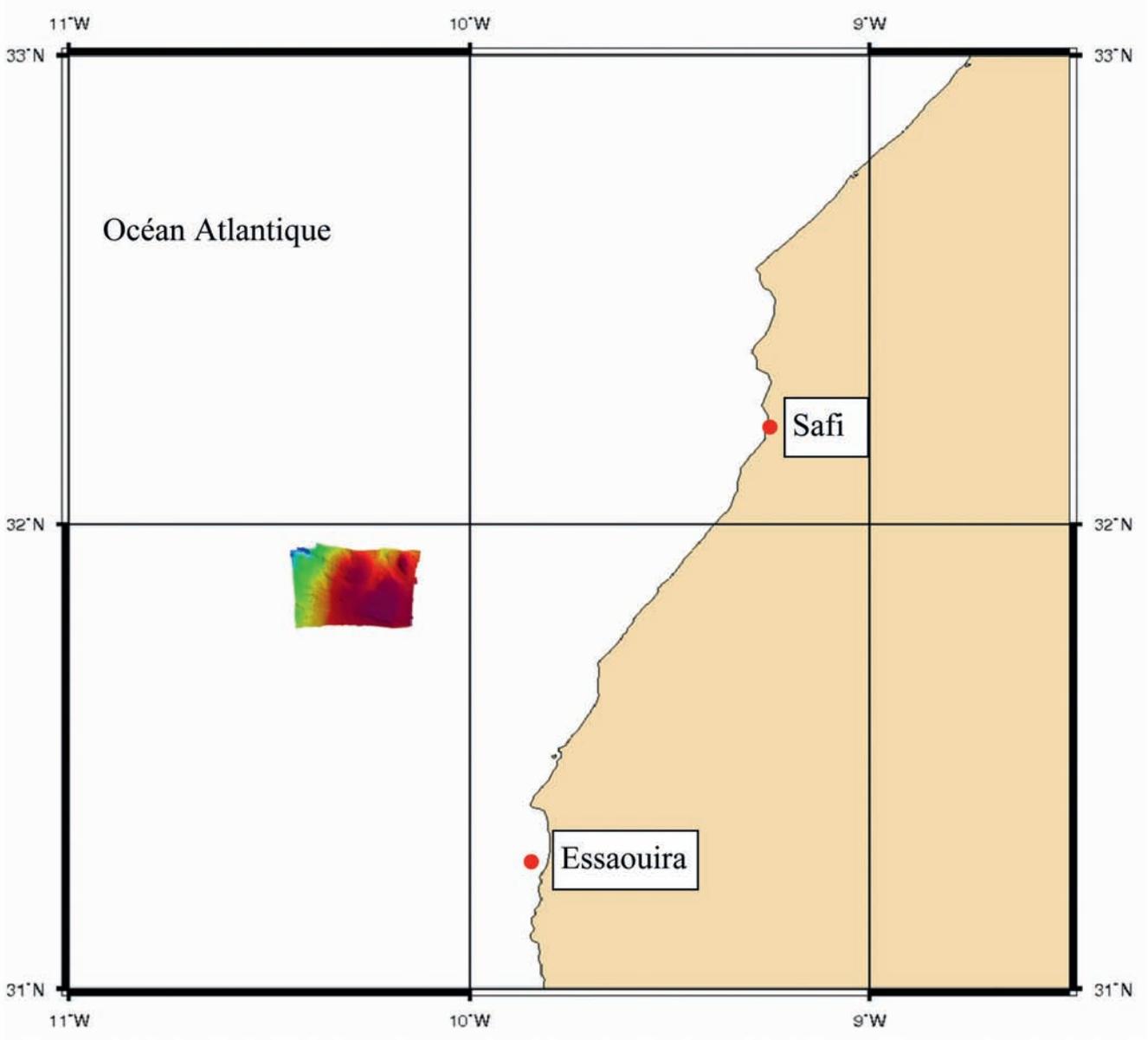
30 - CAMPAGNE MOUTON 07/02 ET 07/03 (cf. § 4.2.1)



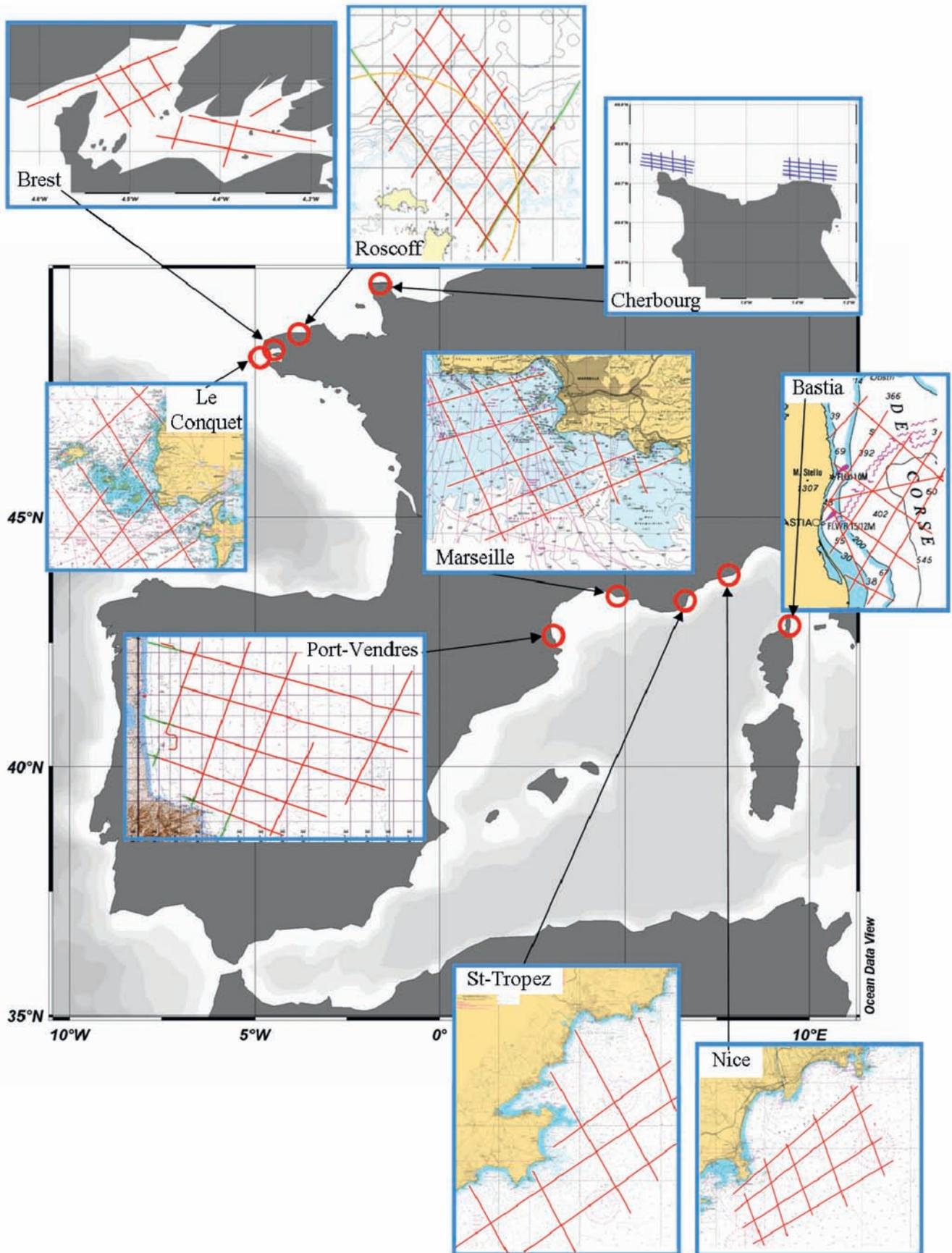
31 - CAMPAGNE CONGAS (cf. § 4.2.1)



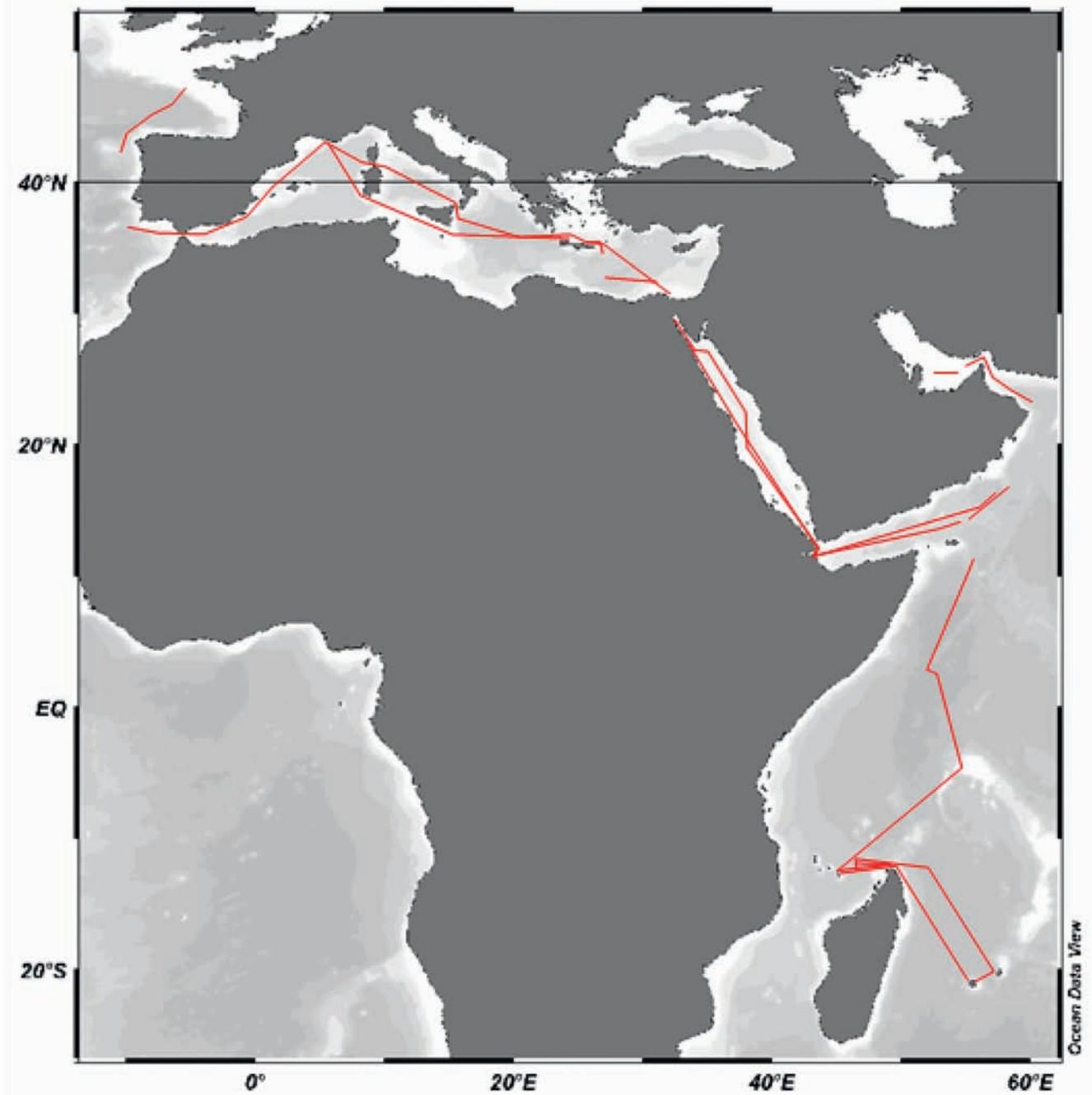
32 – LEVÉ DE CONTROLE BATHYMÉTRIQUE AU MAROC (cf. § 4.1.4)



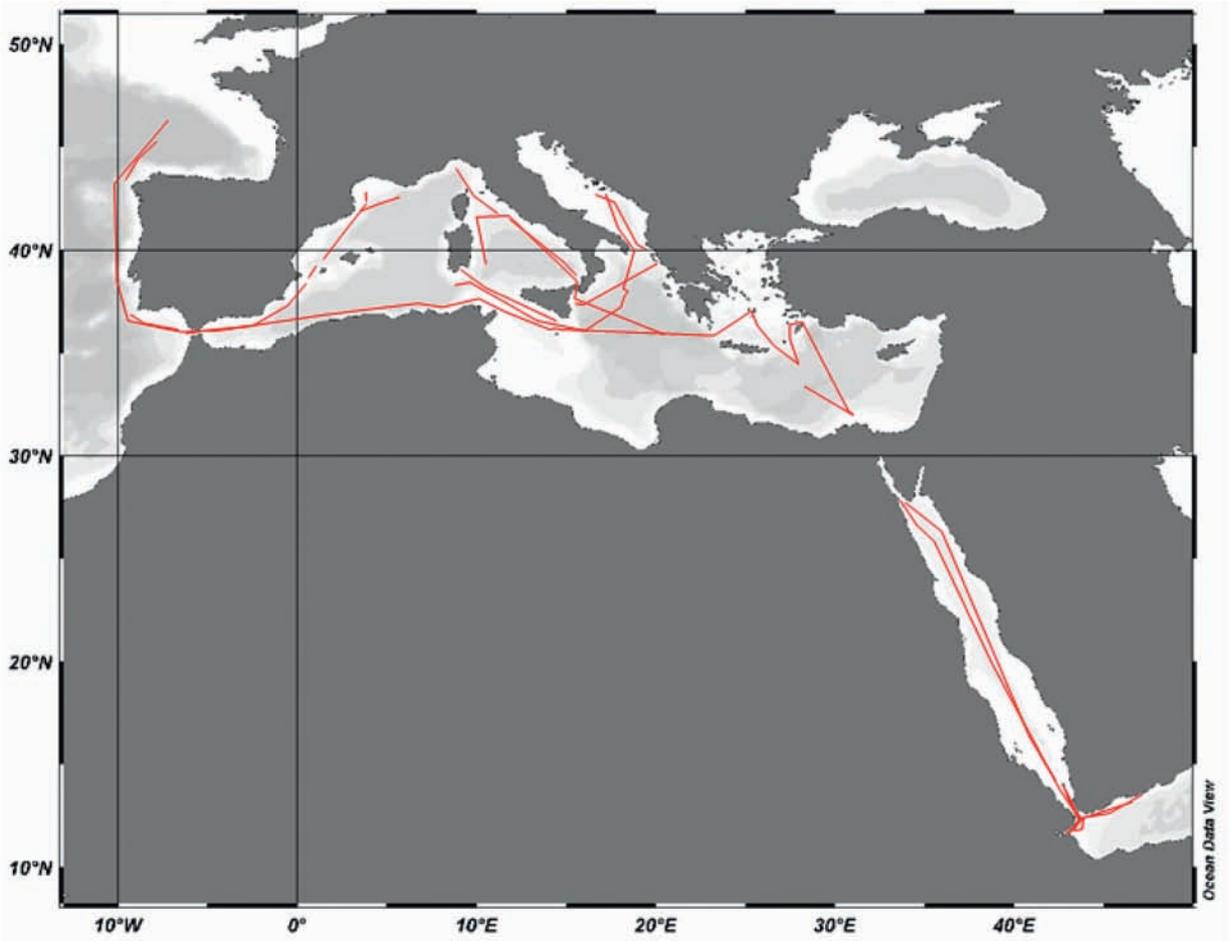
34 - PARTICIPATION AU PC BATHYELLI EN MÉDITERANÉE
ET EN ATLANTIQUE (cf. § 4.3.3)



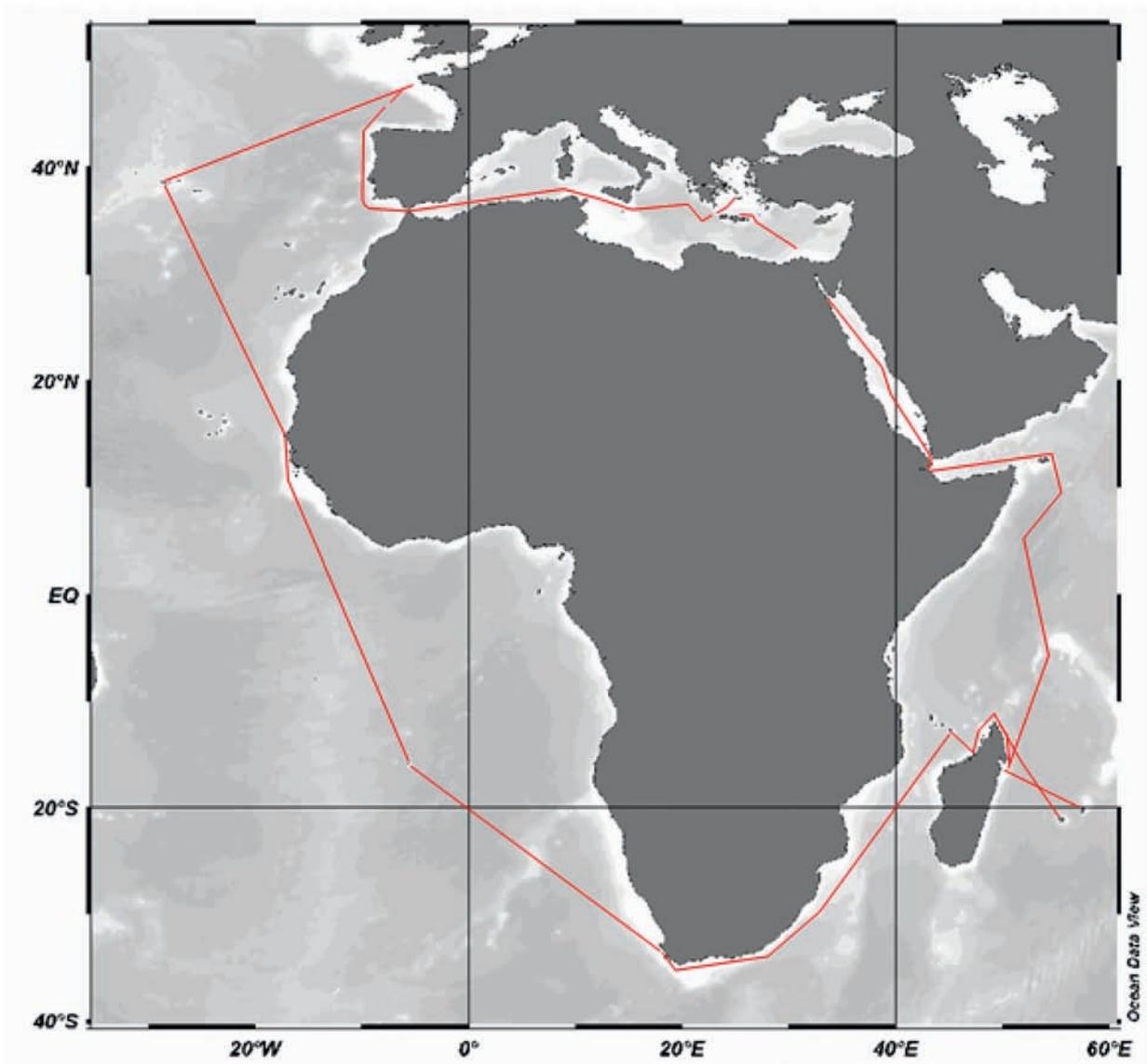
35 - GEBCO (cf. § 4.1.9)
TRANSITS VALORISÉS 2006



TRANSITS VALORISÉS 2007



TRANSITS VALORISÉS 2008



ENCART N° 1

Les locaux à terre du GOA à Brest et à Toulon

A Brest le GOA partage avec le GHA des locaux très fonctionnels au sein de la base navale. Ces locaux situés à l'extrémité ouest de la base navale, à proximité de la porte des "Quatre pompes", facilitent l'accès au BHO *Beautemps-Beaupré* lors des arrêts techniques.

Le bâtiment principal accueille les salles de traitement, le secrétariat et les bureaux des ingénieurs sur plus de 450 m². Le GOA y occupe le deuxième étage et partage avec le GHA les locaux communs du rez-de-chaussée.

Le bâtiment "logistique" partagé avec le GHA abrite un laboratoire d'électronique où sont réalisés la préparation et le conditionnement du matériel, les opérations de réparation et de maintenance.

Le GOA dispose également d'alvéoles, dans les souterrains creusés dans la falaise enserrant l'arsenal, pour le stockage des matériels encombrants.

Une place est réservée sur les parkings pour la mise au sec des vedettes hydrographiques (VH) lorsqu'elles ne sont pas embarquées sur le BHO ou le NO, pour faciliter les opérations de maintenance.



Le bâtiment principal du GOA partagé avec le GHA

Parking Est utilisé également pour la mise au sec des VH





Bâtiment logistique



Salle de traitement "*Espérance*" (photo prise à l'occasion d'une visite du directeur du SHOM en décembre 2005)



Salle de traitement "D'Entrecasteaux"



Laboratoire électronique

A Toulon la base océanographique de la Méditerranée (BOM) occupe depuis 1998 le rez-de-chaussée de l'ancien foyer de la Corvette (foyer des avisos d'ALFAN) situé sur l'îlot Castigneau au sein de la base navale de Toulon.

Ces locaux sont fonctionnels et bien adaptés. Ils se composent d'une grande salle de dessin, d'une salle informatique, d'un atelier, d'un magasin de stockage de matériel, d'un vestiaire, d'un secrétariat et d'un bureau représentant une surface d'environ 270 m².

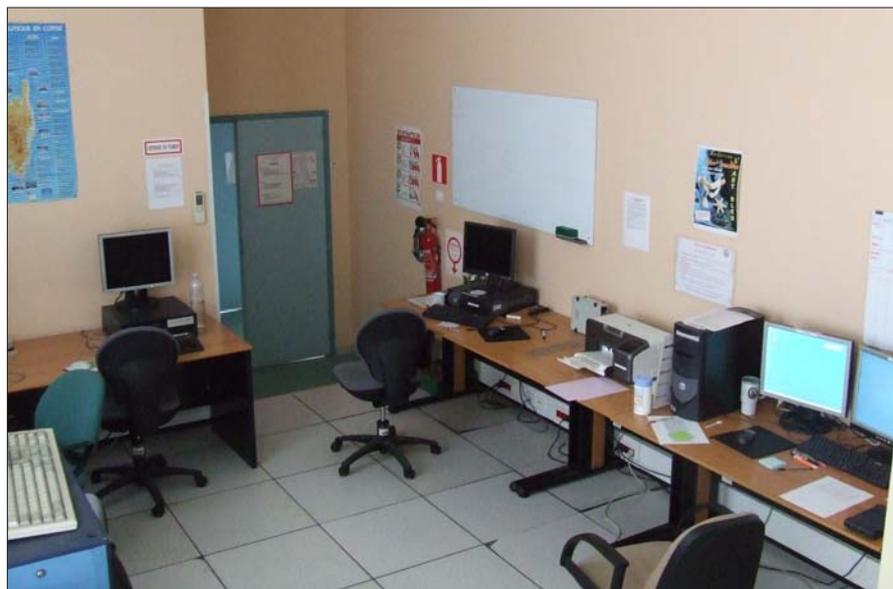
Les aires de parking permettent d'accueillir le véhicule utilitaire de la BOM et la coralline et sa remorque.



Vue générale du bâtiment de la BOM (entrée Sud)



La salle de dessin



La salle informatique



Atelier



La drome de la BOM : la VH 90 (10,5 m de long, équipée d'un sondeur multifaisceau "FS-20") et une coralline

ENCART N° 2

Le bâtiment hydrographique et océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré*

Le *Beautemps-Beaupré*, admis au service actif en décembre 2003, est un bâtiment hydrographique et océanographique de 80 m de long pour un déplacement de 3 300 t. Le SHOM a particulièrement veillé à équiper ce bâtiment des instruments scientifiques les plus performants pour assurer les missions d'hydrographie et d'océanographie. Le bâtiment dispose en particulier de deux sondeurs bathymétriques multifaisceaux, de courantomètres de coque Doppler permettant la mesure des courants en route et d'un sondeur de sédiment à très basse fréquence. Les instruments acoustiques sont intégrés dans une gondole déportée de la coque afin de s'affranchir des perturbations d'écoulement.

Le BHO dispose également d'un carottier pour le prélèvement de sédiments dans les couches superficielles, d'un gravimètre pour la mesure du champ de pesanteur, d'un magnétomètre remorqué, d'une bathysonde pour l'étude des caractéristiques physique de l'eau de mer sans limite de profondeur, de systèmes de positionnement acoustique en base courte... De plus le bâtiment peut embarquer deux vedettes hydrographiques pour la réalisation des levés dans les eaux littorales (cf. encadré n° 4 sur les vedettes hydrographiques).

Cette instrumentation, très complète et complexe, est servie par une équipe de 21 ingénieurs et officiers marins hydrographes de la mission puis, du groupe océanographique de l'Atlantique, en charge de l'acquisition et du traitement des données. Les espaces qui ont été libérés à bord pour installer les moyens informatiques de traitement permettent de réaliser la totalité de la rédaction des levés à bord.

La conduite du bâtiment et la mise en œuvre des appareils sont assurées par un équipage de 29 personnes. Cet équipage, limité en nombre, est suffisant en raison du haut niveau d'automatisation du bâtiment. Un officier de quart et un adjoint sont présents pour mener le navire grâce aux nombreuses aides à la navigation intégrées à la passerelle : carte électronique, pilotage automatique, tenue de station grâce à un système de positionnement dynamique. Il n'est pas nécessaire de faire du quart à la machine, un système de gestion automatique des alarmes permettant de rappeler le chef machine dès que nécessaire.

Deux équipages se relèvent tous les 4 mois pour assurer un programme d'activité de 300 jours par an.

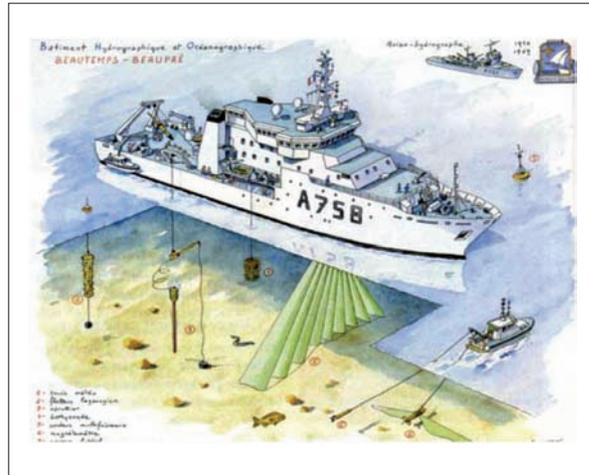
Enfin il faut noter que le bâtiment est particulièrement économique puisque sa consommation moyenne est de l'ordre de 6 t de gazole par jour, ce qui lui confère en outre une très grande autonomie (supérieure à 100 jours) et un coût de fonctionnement particulièrement compétitif.

Beautemps-Beaupré

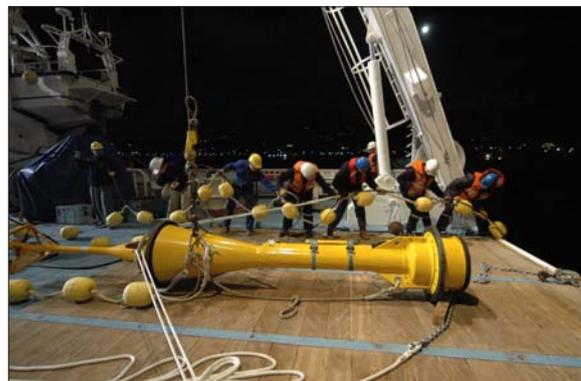


Longueur :	80 m
Largeur :	15 m
Tonnage :	3 000 t
Tirant d'eau :	6,50 m
Disponibilité :	300 j/an
Equipage :	Conduite 29 p. Scientifiques et hydrographes 21 p.

Caractéristiques principales
 Autonomie de 100 jours, déploiements opérationnels de plus de 300 jours
 Economique (sobriété en gazole, autonomie en eau, armement réduit)
 Très manoeuvrant
 Bruit acoustique très faible



La gondole du Beautemps-Beaupré



Espaces de travail vastes et confortables

ENCART N° 3

Le navire océanographique (NO) *Pourquoi pas ?*

Le NO *Pourquoi pas ?* est un navire de 6 600 t pour 107 m de long, 20 m de large et 7 m de tirant d'eau. Il est ainsi le navire de plus fort tonnage utilisé par le SHOM pour ses campagnes océanographiques et hydrographiques. Pour autant l'équipage de conduite de ce navire est à peine plus nombreux que celui du *Beautemps-Beaupré* (35 contre 29). La capacité d'accueil de scientifiques est en revanche nettement supérieure puisque 40 personnes peuvent prendre passage pour y effectuer la grande variété des opérations permises par les équipements très complets du navire.

Le *Pourquoi pas ?* dispose en effet de trois sondeurs multifaisceaux couvrant toute la gamme de fonds, un sondeur de sédiment, des profileurs de courant montés sur la coque, un gravimètre, un thermosalinomètre, un célérimètre de coque...

Le *Pourquoi pas ?* est également extrêmement bien doté en appareils de manœuvre (treuils, grues) prévus pour les opérations de mouillages océanographiques et la mise en œuvre des engins de robotique sous-marine. Un bossoir monobras devrait en outre compléter cet équipement dès 2009 pour faciliter la mise en œuvre d'une vedette hydrographique. Enfin le *Pourquoi pas ?* dispose d'un hangar.

La taille du bâtiment lui confère une excellente stabilité, mais aussi des locaux scientifiques vastes et fonctionnels représentant un total de 950 m². Les surfaces de pont permettent en outre d'embarquer jusqu'à 20 conteneurs de 20 pieds.

A l'été 2008 les problèmes épineux de performance des sondeurs multifaisceaux étaient en voie de règlement. Il restait encore à traiter un problème de bullage au niveau de la gondole.

Ce phénomène, particulièrement sensible mer de l'avant, et qui altère fortement le fonctionnement des systèmes acoustiques intégrés dans la gondole, devrait être résolu par une modification de carène, à programmer à l'occasion d'un arrêt technique en 2009.

Si les performances du NO pour l'hydrographie sont en voie d'amélioration, ses performances pour les campagnes océanographiques ont été unanimement saluées par les scientifiques et chefs de projet du SHOM qui ont embarqué à bord de ce navire.

Le NO *Pourquoi pas ?* est équipé de 4 groupes diesel alternateurs Wartsila (1 450 kW chacun) qui distribuent toute l'énergie nécessaire, à la fois pour la propulsion aux 2 moteurs électriques, et pour les équipements.

Il est mû par deux lignes d'arbre portant des hélices à pales fixes, et par 4 propulseurs d'étrave (3 à l'avant et un à l'arrière). Son autonomie à 11 nd est de 64 jours, il peut produire jusqu'à 45 tonnes d'eau douce par jour.

Pourquoi pas ?

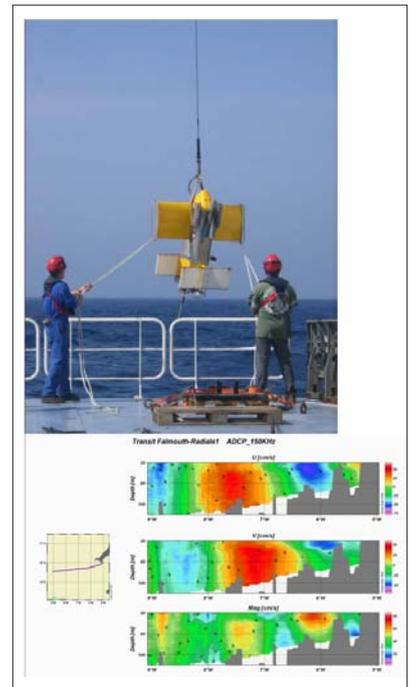


Longueur :	107 m
Largeur :	20 m
Tonnage :	6 600 t
Tirant d'eau :	7 m
Disponibilité :	330 j/an
Equipage :	Conduite 35 p. Scientifiques et hydrographes jus qu'à 40 p

Caractéristiques principales
 Autonomie de 64 jours à 11 nd, déploiements opérationnels de plus de 330 jours dont 150 jours au profit de la marine
 Economique (sobriété en gazole, autonomie en eau, armement réduit)
 Vastes locaux et aires de manœuvre, très grande stabilité



Le robot *Ulysse* (CEPHISMER)



Aires de manœuvre vastes et locaux scientifiques vastes et confortables

ENCART N° 4

Les vedettes hydrographiques (VH)

Le littoral n'est pas accessible au bâtiment en raison de son tirant d'eau.

Dans les petits fonds le BHO passe le relais aux deux vedettes hydrographiques qu'il emporte et qu'il peut mettre en œuvre aisément grâce à deux bossoirs monobras.

Ces vedettes de 7,6 m et 5,5 t sont un concentré de haute technologie : elles disposent d'un sondeur multifaisceau petits fonds de précision décimétrique, d'un système de positionnement hybridant les informations GPS (le plus souvent en mode différentiel) avec la navigation inertielle fournie par une centrale d'attitude de haute précision, d'un célérimètre de coque, d'un système de prélèvement de sédiments, d'un système d'observation de la visibilité sous-marine verticale... Elles peuvent remorquer des sonars latéraux qui fournissent l'imagerie du fond, et garantir ainsi l'absence d'obstruction sur les zones critiques pour la navigation, comme par exemple les voies recommandées.

Les VH sont en outre très bien adaptées aux déploiements de longue durée : leur motorisation Z-drive, d'un fabricant très bien implanté, permet de disposer de pièces dans les ports fréquentés par le *Beautemps-Beaupré*.

La MOA, puis le GOA, possède en tout trois vedettes de ce type, *Albatros*, *Cormoran* et *Pélican*, qu'elle peut déployer indifféremment sur le *Beautemps-Beaupré*, sur le *Pourquoi pas ?* ou mettre en œuvre en rade de Brest pour assurer des levés portuaires au profit de la base navale notamment.



Mesure visibilité verticale au disque de Secchi



Mise en œuvre par portique sur le Pourquoi pas ?

Caractéristiques principales

Dimensions : 7,6 m ; 5,5 t
 Nombre : le GOA possède 3 VH
 Mise en œuvre : par bossoir monobras sur le BHO
 par le portique ou par la grue sur le NO
 Charge utile : sondeur multifaisceau EM3002,
 sonar latéral remorqué



Mise en œuvre par bossoir monobras sur le *Beautemps-Beauprè*



ENCART N° 5

La préparation logistique des missions

Le service logistique du GOA comprend à Brest : deux ingénieurs, 2 officiers mariniers électroniciens, 5 officiers mariniers et quartier maîtres mécaniciens, 5 officiers mariniers et quartier maîtres manœuvriers, 3 quartier maîtres ou matelots du service général ; et à Toulon : 1 quartier maître manœuvrier et 1 quartier maître mécanicien.

Le service logistique a une mission très étendue puisqu'il doit assurer la préparation logistique des missions, la mise en œuvre des embarcations, le maintien en conditions opérationnelles des systèmes du GOA et notamment de : ses quatre vedettes hydrographiques, deux zodiacs et deux embarcations légères de type Coralline.

Le service logistique gère un parc de plus de 600 appareils scientifiques dont il faut assurer la gestion, le MCO et la mise en œuvre. La moitié d'entre eux est embarqué sur le *Beautemps-Beaupré*, le reste étant réparti entre la BOM à Toulon, les navires de l'Ifrémer (*Pourquoi Pas ?*, *Atalante*, *Suroît*) ou les missions de circonstance à terre.

La politique qualité du SHOM fait partie des préoccupations premières du service logistique qui gère l'étalonnage périodique de plus de 60 appareils. Cette gestion est contrainte par les déploiements longs de 10 à 11 mois pour le BHO et le *Pourquoi pas ?*.

A bord du *Beautemps-Beaupré*, l'ingénieur logistique est chargé d'assurer le MCO et la mise en œuvre de plus de 20 systèmes complexes tels que : SMF, gravimètre, bathysonde, carottage, centrales d'attitude.... Il assure aussi la gestion de configuration de tous ces matériels, élément essentiel à l'acquisition de données de qualité.

Les consommables hydro-océanographiques sont également légions : tout au long de l'année les prélèvements d'eau (au minimum 500), de sédiments (200), les carottages vont s'accumuler et venir remplir progressivement les frigos du BHO (chambre 4°C, congélateurs -20°C ou surgélateur -80°C).

La réalisation d'une vingtaine de carottages se traduit concrètement par l'embarquement de 4 m³ de consommables (tubes aciers de 5 m, tubes PVC de 5 m, boîtes d'archive pour stocker les carottes une fois découpées en tronçons de 1 m...).

Un besoin hydrographique simple tel que "mesurer le courant" ne se résume pas au chargement d'un courantomètre ponctuel ou d'un profileur de courant avec des batteries : il se décline également par la préparation de cages Antirion avec largueurs, de cages tripodes pour plongeurs, ou encore de lignes de pare-battage, d'ailerons et de fixations, selon la mise à l'eau qui sera finalement retenue.

Tous ces éléments sont répartis dans les différents locaux de stockage du GOA à bord du BHO : en cale, dans les ateliers, au local hydrologie..., pour un volume global estimé à 20 m³.

En une année, le BHO se délesterá en revanche des 900 sondes Sippican, au gré des observations hydrologiques indispensables pour l'exploitation des données des sondeurs multifaisceaux, il laissera aussi des lests en béton de 500 kg et des lests d'acier qui accompagnent les courantomètres et marégraphes au fond des océans (seuls ces derniers étant récupérés à la fin des périodes de mesure).

Les ingénieurs du service logistique du GOA ont un métier très "exposé", car le bon fonctionnement du matériel est une condition essentielle de la qualité et de la productivité du travail.

C'est également un métier très varié puisqu'il recouvre à la fois la logistique, l'encadrement des personnels chargés de la maintenance du matériel dans les domaines de la mécanique et de l'entretien des vedettes, l'intervention de premier niveau ou deuxième niveau sur tous les matériels électroniques mis en œuvre (système de localisation, sondeurs, instruments de géodésie, sondeurs latéraux...).



Embarquement du 4 x 4 du GOA à l'issue des travaux réalisés sur le terrain à Mahajanga

Imprimerie du Service hydrographique et
océanographique de la marine
13 rue du Chatellier
CS 92803
29228 BREST CEDEX 2
Janvier 2010

Dépôt légal premier trimestre 2010
Numéro d'éditeur : 2783

SOMMAIRE

Première partie

Biographie de l'IGA André ROUBERTOU,
par l'IGA G. BESSERO

Les axes de la recherche au SHOM,
par l'ICA Y. MOREL (collectif)

Modélisation de la circulation océanique en
Manche, Golfe de Gascogne, Ouest -
Portugal et Golfe de Cardix,
par l'ICA Y. MOREL (collectif)

Observation et modélisation numérique
des états de mer : vers une description
réaliste de la surface marine incluant les
déferlements,
*par l'ICA F. ARDHUIN, l'ISC R. MAGNE et
J-F. FILIPOT*

Les mesures in situ en océanographie,
par l'IDEF M. LE MENN

Deuxième partie

Mission océanographique du Pacifique -
(août 2001 - juillet 2003),
par l'ICA J. PAILLET

Mission océanographique de l'Atlantique -
(septembre 2001 - juillet 2002),
par l'ICETA H. DOLOU

L'arrivée des nouveaux porteurs mis à la
disposition du SHOM : le BHO Beautemps
- Beaupré et le NO Pourquoi pas ?,
par l'ICETA D. MOREAU

Groupe océanographique de l'atlantique
(octobre 2005 - août 2008),
par l'ICA L. KERLEGUER

ANNALES HYDROGRAPHIQUES 775



ISBN 978-2-11-097258-3