

# Annales Hydrographiques



6<sup>e</sup> série - Vol. 9  
n° 778



2013



778 - ZTL

# ANNALES HYDROGRAPHIQUES

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
<b>Première partie</b>	
Biographie de l'IGA Jean Bourgoïn par <i>B. FRACHON</i> .....	1
Biographie de l'IGA Michel Le Gouic par <i>B. FRACHON</i> .....	3
Éditorial par <i>B. FRACHON</i> .....	5
Généralisation de courbes de niveau en cartographie marine par <i>E. SAUX</i> et <i>E. GUILBERT</i> .....	7
De l'image satellite à la spatiocarte marine au SHOM - La télédétection satellitaire : un outil incontournable pour la mise à jour cartographique du littoral par <i>J-P. TOURNAY</i> et <i>P. QUEMENEUR</i> .....	25
Cartographie marine et informatique - Les systèmes informatiques pour la rédaction des cartes marines (papier et électronique) par <i>E. LE GUEN</i> et <i>G. DUBOIS</i> .....	37
Évolution des méthodes de production des cartes marines par <i>O. CANN</i> .....	47
Réalisation d'une infrastructure géospatiale au SHOM par <i>C. TEXIER</i> .....	53
S-100 et normes déclinées (S-101 en particulier) par <i>J. POWELL</i> et <i>B. GREENSLADE</i> .....	59
La toponymie maritime : traitement sur les cartes marines par <i>J-L. BOUET-LEBOEUF</i> .....	69
Plan de production des ENC 2011-2014 : méthodologie et critères par <i>Y. KERAMOAL</i> .....	77
Critères de composition du portefeuille de cartes marines papier (eaux étrangères, hors zone de responsabilité cartographique) par <i>G. THEUILLON</i> .....	83
La cartographie marine à l'ère numérique : de la normalisation à la co-production par <i>G. BESSERO</i> .....	89
Rénovation de la cartographie marine sur les côtes d'Afrique : une nouvelle dynamique par <i>O. PARVILLERS</i> .....	97
Deux siècles de cartographie des sédiments marins par <i>T. GARLAN</i> .....	105
Cartographie maritime pour l'AEM : de la carte papier aux services cartographiques en ligne par <i>N. LEIDINGER</i> .....	115
AML : la supériorité tactique fournie par l'information dans le domaine maritime par <i>M. LE GLEAU</i> .....	121
La e-navigation par <i>A. ROUAULT</i> et <i>G. SCRIVE</i> .....	127
Carte marine : 40 ans d'évolution de la carte nationale à la carte internationale numérique, une révolution par <i>J-L. BOUET-LEBOEUF</i> .....	133
<b>Deuxième partie</b>	
Groupe océanographique de l'Atlantique (1 <sup>er</sup> septembre 2008 - 30 avril 2011) par l'ICA <i>M. EVEN</i> .....	147

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

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

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

Le SHOM est certifié ISO 9001 pour l'ensemble de ses activités.

# ***PREMIÈRE PARTIE***

-----



# BIOGRAPHIE DE L'INGÉNIEUR GÉNÉRAL JEAN BOURGOIN (1925-2013)

Par l'ingénieur général de l'armement Bruno Frachon directeur général du SHOM

Cet article paru initialement dans le n°134 de la revue XYZ, est repris, légèrement modifié, avec son autorisation.

Jean Bourgoïn est né en 1925 à Cahors. Élève de l'École polytechnique (promotion 1945), il opte à sa sortie pour le corps des ingénieurs hydrographes. Après avoir suivi l'enseignement de l'école du Service central hydrographique (SCH), il embarque sur la *Jeanne d'Arc* pour compléter sa formation maritime.

Au début de sa carrière, il est détaché quelques mois pour une mission au Groenland dans le cadre des Expéditions polaires françaises dirigées par Paul-Émile Victor, chargé avec son équipe de procéder à des mesures de nivellement de la surface de l'inlandsis.



À partir de 1950, il suit une carrière plus classique d'ingénieur hydrographe, alternant embarquements pour des missions hydrographiques et séjours parisiens au SCH. Il est ainsi à bord du *Beautemps-Beaupré* sur les côtes d'Afrique de l'ouest, puis en Manche et mer du Nord sur l'*Ingénieur Nicolas*. Au milieu des années 50, il exerce ses premières responsabilités de chef de mission à la mission amphibie à

bord de l'*Amiral Mouchez* sur les côtes de France et d'Afrique du nord. Il termine cette décennie comme chef de la mission de l'Atlantique sud, à bord du *Beautemps-Beaupré*, qu'il retrouvera en 1963 pour une dernière affectation à la mer.

Pendant cette période, Jean Bourgoïn participe de manière significative à la rénovation de la cartographie de la côte ouest de l'Afrique : au Gabon, levés de l'estuaire du Gabon, de la côte de Mayumba à la rivière Nianga, du cap Lopez à Tessi, de la baie de Port-Gentil, de l'entrée de la rivière Djomboss, de l'estuaire de la rivière Komo, de la baie de Nazaré, de l'embouchure de la rivière Yombé ; en Côte d'Ivoire, de Grand Bassam à Grand Lahou ; l'estuaire de la Casamance. La cartographie résultante est très supérieure à celle existant avant 1947, de par la qualité des travaux, s'appuyant sur des efforts significatifs en matière de géodésie : emploi du géodimètre, construction de nombreux signaux, dont certains de très grande hauteur, rattachement géodésique des premières chaînes de radiolocalisation de la région (chaîne Toran, déployée par la Compagnie générale de géophysique).

Après une douzaine d'années d'embarquement, dont la moitié comme chef de mission, Jean Bourgoïn participe aux activités du SCH comme chef de la section « études et recherches » et se spécialise dans le régime des côtes dont il assure l'enseignement. En tant qu'expert, il assure dans les années 60 une mission au Nicaragua, au profit des Nations unies et de la Banque mondiale.

En 1971, à la transformation du Service central hydrographique en Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), il prend les fonctions de chef du bureau « études générales » de la direction. Combinant son intérêt pour l'enseignement - il avait été notamment instructeur des officiers marins au milieu des années 50 - et sa passion pour l'océanographie, il s'occupe de la création, puis de l'animation, de l'option "océanologie" de la toute nouvelle École nationale supérieure de techniques avancées.

En 1976, il devient directeur de l'établissement principal du SHOM, à Brest, poste dans lequel il est nommé ingénieur général. En 1981, il prend la direction du SHOM, fonction qu'il remplira jusqu'en 1987. Chef de la délégation française à la conférence hydrographique internationale de 1982, il convient avec ses homologues espagnol et portugais de créer la commission hydrographique de l'Atlantique oriental dont il accueille la première conférence à Paris en 1986.

Admis en 2<sup>ème</sup> section en 1987, il continue jusqu'en 2005 à être actif au sein du monde des sciences et techniques de

la mer, poursuivant la publication d'articles sur l'histoire et l'actualité des sciences de la mer. Il apporte fréquemment son concours au SHOM, dont il fréquente régulièrement les locaux parisiens, acceptant notamment de contribuer à la préparation de la 5<sup>ème</sup> édition du volume en français du dictionnaire hydrographique publiée en 1998.



Au cours de toutes ces années, l'expérience et l'ouverture de Jean Bourgoïn pour l'ensemble des questions concernant les océans l'amènèrent à faire profiter de ses compétences et de son esprit d'initiative un grand nombre d'organes touchant à la mer. Il présida ainsi la section des sciences physiques de l'océan du Comité national français de géo-

désie et de géophysique (CNFGG) de 1981 à 1984, après en avoir été le secrétaire de 1966 à 1980. Déjà membre du comité scientifique du Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO), et animateur d'un groupe de travail sur les estuaires et deltas, en 1985, il devint membre du comité scientifique de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) et, en 1990, membre du comité de perfectionnement de l'Institut océanographique. Membre du Comité des travaux historiques et scientifiques (CTHS), et auteur de plusieurs travaux sur l'histoire maritime, il y fut vice-président de la section « Histoire des sciences et des techniques » de 1991 à 1997. Il avait été distingué par le prix Givry de l'Académie des sciences en 1968 et avait été élu membre titulaire de la section « navigation et océanologie » de l'Académie de marine en 1989.

Enfin, profondément convaincu de l'atout que représente pour le service le profil professionnel « unique en son genre » des officiers mariniers hydrographes et souhaitant renforcer le lien entre les générations, il s'associa en 1981 à la création de l'amicale des hydrographes, dont il avait le titre de président d'honneur - fondateur.

Jean Bourgoïn était commandeur de la Légion d'honneur, commandeur de l'ordre national du Mérite, officier de l'ordre du Mérite maritime, chevalier des Palmes académiques et chevalier de l'Étoile noire (Bénin).

# BIOGRAPHIE DE L'INGÉNIEUR GÉNÉRAL MICHEL LE GOUIC (1953-2013)

Par l'ingénieur général de l'armement Bruno Frachon directeur général du SHOM



Michel Le Gouic est né à Andernach (Allemagne) en 1953. Élève de l'École polytechnique de la promotion 1973, il embrasse la carrière d'ingénieur hydrographe en 1976, et suit les cours de l'École nationale supérieure de techniques avancées.

Embarquant en août 1978 à la mission hydrographique de l'Atlantique, il y effectue ses premières armes à un moment où d'importantes évolutions, dans les domaines de la radiocalisation électrique et de l'informatisation du traitement des données, affectent la conduite des travaux hydrographiques.

Il est ensuite désigné en juin 1981 pour la section « Géodésie-Géophysique » de l'établissement principal du SHOM, à Brest. Il est particulièrement chargé du développement des applications de télédétection satellitale, et, s'appuyant sur le démarrage du programme des satellites d'observation de la Terre Spot, il entreprend des travaux pionniers au profit de la cartographie marine. Il initie également les premières exploitations hydrographiques au SHOM des sondeurs

multifaisceaux sur les talus continentaux. Il mène également à bien pendant cette période un travail approfondi sur l'étalonnage du LORAN-C en Atlantique nord.

En décembre 1988, il part diriger l'échelon de Polynésie de la mission océanographique du Pacifique, mission dont il prend la direction en avril 1990. Au cours de dix-neuf mois d'activité intense, il conduit levés hydrographiques et travaux géodésiques dans les archipels des Marquises, des Tuamotu, des Australes et de la Société. Sur le plan méthodologique, il développe et met en œuvre le concept de spatiopréparation, permettant l'application pratique de la télédétection, qui se traduira par la publication en 1990 des premières cartes marines utilisant des données bathymétriques déduites de l'observation satellitale. Il défriche également l'utilisation du GPS dans les travaux géodésiques et bathymétriques. Enfin, l'exploitation des inversions géophysiques des données altimétriques du satellite Seasat lui permettent de détecter lors de levés à la mer des montagnes sous-marines inconnues.

À son retour de Polynésie en août 1990, Michel Le Gouic est affecté à la direction du SHOM à Paris, au bureau « Études Générales », dont il prend la tête après quelques mois. C'est alors une période de forte évolution pour le SHOM, avec notamment le développement de la carte électronique de navigation, dans toutes ses dimensions technique, juridique, internationale, dans lesquelles il s'engage pleinement. Il joue en particulier un rôle actif dans la définition des principes de l'organisation hydrographique internationale régissant la base de données mondiale de cartes électroniques de navigation.

Chargé en 1994 des responsabilités de directeur de la mission océanographique de la Méditerranée, Michel Le Gouic rejoint en 1996 l'EPSHOM à Brest, pour remplir les fonctions de chef du centre d'hydrographie. En décembre 1997, il devient directeur-adjoint de l'établissement. Outre son activité administrative, il œuvre avec détermination à maintenir une cohérence technique et humaine entre des activités de plus en plus diversifiées, les fédérant autour des technologies numériques.

En 2000, il retourne à la tête du bureau « Études Générales » de la direction du SHOM. Les développements techniques et juridiques (convention SOLAS) en matière de cartographie marine conduisent à repenser la coopération internationale en hydrographie, et Michel Le Gouic s'attelle avec énergie et imagination à la coopération avec les pays d'Afrique de l'Ouest, contribuant à une évaluation des capacités de 16 pays africains, et du même coup à ouvrir la voie à la modernisation de l'assistance technique entre membres

de l'OHI. Par ailleurs, ses relations confiantes avec ses homologues des organismes partenaires jouent un rôle essentiel dans la construction du groupement d'intérêt public Mercator-Océan, préfigurateur de la composante « océanographie opérationnelle » du système européen global de surveillance pour l'environnement et la sécurité.

En 2005, Michel Le Gouic est nommé directeur adjoint du SHOM. Il est à ce titre un acteur clé de la transformation du service en établissement public. Il supervise pour le SHOM les travaux de préparation et de suivi de la transition et pilote la préparation du premier contrat d'objectifs et de performance du nouvel établissement public. Sa grande expérience du SHOM et de son personnel sont déterminants pour la mise en place de l'EPA dans les meilleures conditions. Admis en 2<sup>ème</sup> section en 2010, Michel Le Gouic continue à œuvrer avec passion pour la coopération internationale en hydrographie, et aboutit en particulier à faire finaliser l'adhésion du Cameroun à l'OHI.

Excellant dans le traitement des dossiers complexes aux facettes multiples, l'ingénieur général de l'armement Le Gouic avait une vision d'ensemble extrêmement forte de l'hydrographie et de ses différents enjeux dans un monde ouvert à la « maritimisation ». Peu soucieux de se mettre en avant, mais homme de convictions, il aimait guider les jeunes ingénieurs sur les voies techniques porteuses d'avenir en leur laissant la liberté d'innover. Avec discrétion, il attachait une grande importance aux relations humaines, que ce soit dans le cadre professionnel ou vis-à-vis des cultures diverses que sa vocation d'hydrographe l'ont conduit naturellement à rencontrer.

## ÉDITORIAL

La première partie de ce nouveau numéro des *Annales Hydrographiques* est consacré à la cartographie des zones maritimes et à quelques unes de ses nombreuses facettes. La cartographie est au cœur des métiers du SHOM, et notamment de sa mission de service hydrographique national avec la réalisation des cartes marines pour la navigation dans les zones de responsabilité française ou sur d'autres zones fréquentées par la marine nationale. Les métiers de la cartographie sont aussi déterminants pour les deux autres grandes missions du SHOM que sont le soutien de la défense et le soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral, qui reposent le plus souvent sur l'élaboration de produits cartographiques thématiques d'aide à la décision des zones maritimes et littorales concernées.

Comme le lecteur le découvrira dans ce numéro, si les travaux cartographiques réalisés par le SHOM, et tout particulièrement ceux relatifs à l'élaboration des cartes marines de navigation, présentent de nombreuses spécificités, ils bénéficient comme la cartographie en général des avancées récentes de la géomatique. Les progrès dans les techniques géomatiques et dans leurs applications cartographiques étaient au centre de la 25<sup>e</sup> conférence cartographique internationale qui s'est tenue au Palais des congrès de Paris du 3 au 8 juillet 2011. Trois des articles de ce numéro reprennent les communications faites à l'occasion de cette conférence, sur des thèmes aussi variés que la normalisation internationale de la cartographie marine, la cartographie marine sur les côtes d'Afrique et la cartographie des sédiments marins. L'association cartographique internationale qui nous a permis de publier ces trois articles doit en être remerciée.

La lecture de ce numéro permettra d'aborder d'autres dimensions du domaine, à différents stades de maturité. Le délicat problème de la généralisation automatique des isobathes, en respectant les critères de sécurité de la navigation, en est ainsi encore au stade de la recherche. L'IRENav (laboratoire de recherche de l'École navale) fait part dans ce numéro des différentes pistes de progrès concernant ce sujet.

L'élaboration de produits cartographiques repose sur l'acquisition des données *in situ*, dont l'exploitation de l'imagerie satellitale, la gestion de l'ensemble des données nécessaires au travers d'une infrastructure de données géospatiales, la mise en forme (formats papier et numérique) de ces données grâce à des systèmes informatiques de production, la définition pour les zones de responsabilité d'un portefeuille de cartes (papier et numérique) adapté aux besoins des usagers. Autant de sujets traités dans les articles qui suivent.

La cartographie a ainsi connu de nombreuses évolutions ces 40 dernières années. La carte marine numérique et plus généralement l'information nautique mise à disposition sous forme numérique constitue l'une des briques de base du concept de e-navigation qui se met progressivement en place pour améliorer la sécurité et la sûreté de la navigation ainsi que la protection de l'environnement marin. Bon voyage dans l'univers de la cartographie, bonne lecture de ces annales, téléchargeables gratuitement sur le site Internet du SHOM ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)), sans oublier leur deuxième partie consacrée classiquement aux rapports des groupes hydro-océanographiques, et pour cette édition à celui du groupe océanographique de l'Atlantique pour la période 2008 – 2011.

L'ingénieur général de l'armement Bruno Frachon  
directeur général du SHOM

## EDITORIAL

*The first part of this new issue of the "Annales Hydrographiques" covers the cartography of maritime zones and some of the many aspects involved. Creating charts is one of the core activities of the SHOM, in particular its mission to provide a national hydrographic service for navigation charts of French waters and other areas in which the French navy operates. Mapping technology is also required for the other two main missions of the SHOM which are the defence service and to support government maritime and coastal policies which are usually based on charts specially designed for decision making in specific maritime and coastal areas.*

*As readers will discover in this issue, although the mapping projects undertaken by the SHOM, in particular those relating to drawing up navigation charts, call on a wide range of specialist skills, they, like cartography in general, benefit from recent advances in geomatics. The progress made in geomatics and cartography software were the subject of the 25<sup>th</sup> international cartographic conference held at the Palais des Congrès in Paris on 3 to 8 July 2011. Three of the articles in this issue are papers presented at this conference on the international standardisation of marine cartography, marine cartography on the shores of Africa and cartography of seabed sediment. We are very grateful to the international cartography association for allowing us to publish these three articles.*

*Other articles in this issue cover other cartographic technologies at various stages of development. Research is still being carried out into the sensitive problem of automatic generalisation of isobaths while ensuring the safety of navigation. The issue includes an article by the French Naval Academy Research Institute (IRENav) describing the various lines of approach on this subject.*

*Charts are drawn up using data collected in situ, including satellite images, extracting the data required from a geospatial database, presenting this data on charts (paper and digital formats) using computer systems and defining a portfolio of charts (paper and digital formats) for zones of responsibility in a suitable form for the end users. These are the subject of some of the articles in this issue.*

*Cartography has changed considerably over the past 40 years. Digital marine maps and, more generally, maritime information available in digital format are the building bricks of e-navigation which is gradually being developed to improve the safety and security of navigation and protect the marine environment.*

*I hope that you will enjoy reading about cartography and the related subjects covered in these "Annales" which can be downloaded free from the SHOM website ([www.shom.fr](http://www.shom.fr)), as well as the second part which, as usual, includes reports from the Hydro-Oceanographic Groups and, in this issue, the Atlantic Oceanographic Group for the period 2008 – 2011.*



# GÉNÉRALISATION DE COURBES DE NIVEAU EN CARTOGRAPHIE MARINE

Éric Saux, maître de conférences à l'Institut de recherche de l'école navale (IRENav)<sup>1</sup>  
Éric Guilbert, assistant professor à l'Université polytechnique de Hong Kong<sup>2</sup>

## RÉSUMÉ

La problématique scientifique abordée dans cet article est la généralisation des isobathes en cartographie marine. Concernant la modélisation par courbes de niveau, un des apports est l'introduction de la modélisation par fonctions paramétriques de type B-spline comme moyen de représentation des courbes et de traitement des processus cartographiques. Les processus mis en place intègrent les contraintes cartographiques fortes à respecter et faibles pouvant être ignorées. Les premiers travaux de recherche ont montré l'intérêt des courbes B-splines pour la modélisation des isobathes et pour le traitement des opérations de généralisation. Les approches proposées sont initialement mises en place dans le cadre du traitement indépendant des courbes ou traitement « mono-courbe » avant d'être généralisées à une approche globale pour la gestion d'un ensemble de courbes puis à une approche intégrée pour le traitement simultané de plusieurs opérations de généralisation. Les travaux actuels proposent la prise en compte des relations de voisinage entre les isobathes afin d'identifier les entités morphologiques du relief sous-marin. Généralisations cartographique et modèle sont alors conjuguées pour aider le cartographe dans sa mission et valider ses choix.

## ABSTRACT

*The scientific issue discussed in this paper is the generalization of isobaths in marine cartography. Regarding modelling of isobathymetric lines, one of the contributions is the introduction of parametric B-spline functions as a mean for representation and processing of cartographic lines. Processes include strong cartographic constraints that must be respected as well as low ones that can be ignored. Early research works showed the value of B-spline curves for modelling isobaths and for performing generalization operations. The original approach focused on the independent processing of curves or "single curve" processing before being extended to a more global approach for processing a set of curves and then into an integrated approach for dealing with several generalization operations simultaneously. Current work proposes the inclusion of neighborhood relations between isobaths to identify morphological entities of the submarine relief. Cartographic and model generalizations are then combined to assist cartographers in their mission and validate their choices.*

<sup>1</sup> Adresse : BCRM Brest – Ecole navale et Groupe des écoles du Poulmic – Institut de recherche de l'école navale – Groupe SIG – Lanvéoc-Poulmic  
29240 Brest - Cedex 9 (France)  
Email : eric.saux@ecole-navale.fr

<sup>2</sup> Adresse : Department of Land Surveying and Geo-Informatics – Hong Kong Polytechnic University – Hung Hom – Kowloon – Hong Kong  
Email : eric.guilbert@inet.polyu.edu.hk

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	9
<b>2. GÉNÉRALISATION DES CARTES MARINES</b> .....	9
2.1 Généralisation cartographique.....	9
2.2 Contraintes de généralisation cartographique de la bathymétrie.....	10
2.3 Généralisation cartographique des isobathes.....	11
<b>3. MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE DES ISOBATHES</b> .....	12
3.1 Représentation par lignes polygonales.....	12
3.2 Représentation par courbes B-splines.....	12
3.3 Construction des courbes B-splines.....	12
<b>4. OPÉRATEURS DE GÉNÉRALISATION</b> .....	12
4.1 Revue des différentes approches.....	12
4.2 Sélection des points critiques.....	13
4.3 Approche mécanique.....	13
4.3.1 Réseaux de barres.....	13
4.3.2 Déplacement.....	14
4.3.3 Agrégation.....	14
4.4 Approche énergétique.....	15
4.4.1 Contours actifs.....	15
4.4.2 Correction des intersections entre isobathes.....	15
4.4.3 Lissage des isobathes.....	17
4.5 Gestion intégrée des opérations de généralisation.....	18
<b>5. INTÉGRATION DE L'INFORMATION TOPOLOGIQUE</b> .....	19
5.1 Définition des relations topologiques.....	19
5.2 Généralisation des entités morphologiques.....	20
<b>6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	20
<b>7. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	22

## 1. INTRODUCTION

La carte papier a longtemps constitué le vecteur essentiel de la représentation des données géographiques. Alors que le support de visualisation change avec le temps -- on parle actuellement de carte numérique -- des problèmes nouveaux liés à la visualisation de ces cartes viennent s'ajouter aux problèmes traditionnels liés à la construction de ces dernières. Les problèmes apparaissent lors des changements de résolution, dès que la résolution est plus grossière que la résolution principale. Si nous travaillons sur un des différents produits cités, par exemple une carte papier, les problèmes viennent de la représentation multi-échelle : la taille de la carte diminue ainsi que les objets représentés mais leur nombre reste inchangé. Nous avons alors une concentration d'éléments (symboles, courbes de niveau, etc.) d'autant plus grande que l'échelle est petite, d'où des problèmes de conflits (intersection d'éléments), de lisibilité (phénomène d'empâtement, de chevauchement). Il faut par conséquent généraliser les données.

L'IRENAV travaille depuis une dizaine d'années en partenariat avec le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) afin de tendre vers un système automatique ou semi-automatique pour la généralisation cartographique des cartes marines. Un des objectifs de notre recherche est d'aider le cartographe dans la construction des cartes mais aussi de mettre à disposition des méthodes et outils visant à vérifier et valider ses choix. Ce partenariat s'est renforcé avec la collaboration du « Department of Land Surveying and Geo-Informatics » (LSGI) de l'Université polytechnique de Hong Kong dans lequel un ex-membre de l'IRENAV travaille activement dans ce domaine.

Cet article a pour vocation de faire une synthèse des activités de recherche réalisées en généralisation de cartes marines. Après avoir rappelé le contexte de la généralisation de données géographiques dans la partie 2, nous montrons les particularités et les contraintes spécifiques associées à la généralisation des cartes marines. Nous distinguons la généralisation cartographique et la généralisation modèle qui constituent les deux grandes orientations en matière de généralisation de données géographiques. Nos premiers travaux de recherche se sont consacrés à traiter uniquement la problématique de la généralisation cartographique des isobathes. Une des originalités a été de modéliser les isobathes, traditionnellement représentées par des lignes polygonales, par des courbes continues définies à partir de fonctions de base de type B-spline. Quelques rappels relatifs à ces modes de représentation sont énoncés dans la partie 3. La partie 4 présente les différents opérateurs mis en place pour la généralisation des isobathes. Deux approches constituent les fondements des traitements de ces opérateurs. D'un côté, l'approche mécanique est fondée sur l'analogie entre le polygone de contrôle de la courbe B-spline et un réseau de barres mécaniques en équilibre. Le traitement des opérateurs de généralisation est alors obtenu par une déformation de ce réseau de barres. D'un autre côté, l'approche énergétique aborde les opérateurs de généralisation comme un problème physique de minimisation d'énergie. Une isobathe est alors déformée jusqu'à atteindre une position d'équilibre stable, fonction de l'opérateur à traiter, dans laquelle l'énergie est minimale. Dans cet

article, seule la problématique du traitement des opérateurs de généralisation à échelle fixe est abordée. Nous orientons le lecteur sur l'article [Saux 2003] pour le traitement des opérateurs de généralisation à différentes échelles. Dans une cinquième partie, les travaux récents sur l'intégration d'information topologique sont présentés. L'objectif de ces travaux est de prendre en compte les relations de voisinage entre les isobathes ainsi que la valeur de certaines sondes afin d'identifier les entités morphologiques du relief sous-marin. La généralisation n'est plus abordée à partir d'un ensemble d'isobathes et de sondes mais à partir d'un ensemble d'entités : l'orientation choisie vise ainsi à renforcer la généralisation cartographique par la prise en compte de la généralisation dite modèle. Les relations de voisinage et les entités morphologiques sont modélisées par l'intermédiaire d'arbre de courbes de niveau et d'arbre d'entités. La partie 6 conclut cet article et expose nos travaux de recherche à venir.

## 2. GÉNÉRALISATION DES CARTES MARINES

### 2.1 Généralisation cartographique

La *généralisation* regroupe l'ensemble des transformations utilisées lors des changements de résolution qui permettent d'avoir des sorties lisibles et proches de la réalité. La généralisation vise donc à réduire le nombre d'objets, à simplifier et déformer leur forme, à les agréger et les espacer afin qu'ils soient perceptibles à l'échelle de la carte, tout en restant représentatifs de la réalité.

Comme toutes cartes, la *carte marine* est une représentation plane d'une partie de la surface du globe. Comme les autres, elle doit permettre à l'utilisateur de se localiser dans son environnement naturel par l'intermédiaire d'un graphisme et d'une symbolique adaptés aux besoins (Figure 1). Ce sont ces besoins qui font la particularité de la carte marine. En effet, cette carte est avant tout un outil de navigation qui doit privilégier la sécurité de son utilisateur. Celui-ci étant rendu aveugle par la présence de l'eau, une des priorités est la mise en évidence du relief sous-marin et de ses dangers.

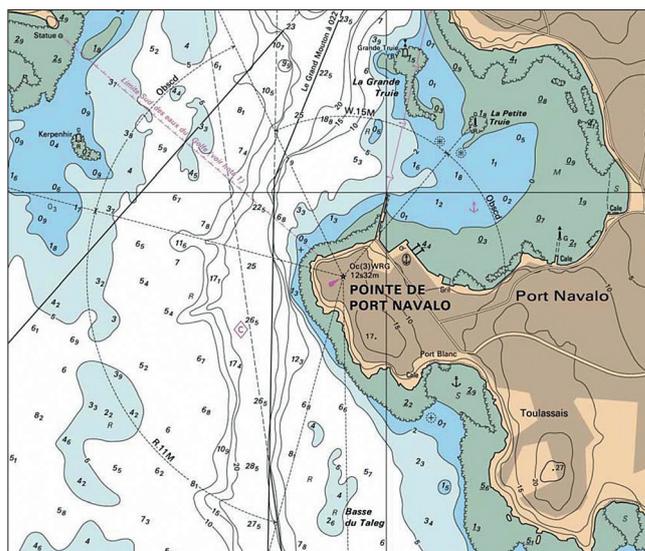


Figure 1 : Exemple de carte marine du goulet donnant sur le golfe du Morbihan entre les pointes de Port-Navalo et de Kerpenhir. Figure extraite de la carte marine n° 7107 publiée par le SHOM en 2008

Ce relief est défini à partir de *sondes* (relevés de profondeur identifiés sur la carte par leur valeur) et d'*isobathes* (courbes de profondeur constante identifiées sur la carte par des courbes d'épaisseur fixe). À toutes les échelles de visualisation, ces éléments doivent être visibles et clairement identifiables. En conséquence, la généralisation cartographique est un processus fondamental. Il est cependant nécessaire de l'adapter aux spécificités des données marines. Cet aspect ainsi que la chaîne de traitement a été mis en évidence dans [Saux et al., 2002].

L'acquisition des données bathymétriques est effectuée essentiellement par l'intermédiaire de sondeurs multifaisceaux (SMF). La principale conséquence est qu'un nombre considérable de données (sondes) est enregistré. Par exemple, par petits fonds (inférieurs à 20 mètres), une journée d'acquisition peut représenter un volume de plus de 50 millions de sondes, soit environ 600 sondes par seconde. Ces données sont filtrées afin d'obtenir une pseudo-minute de bathymétrie lisible à l'échelle de la carte (Figure 2 à gauche) à laquelle sont ajoutées les courbes de niveau. Dans les phases de traitement de données effectuées avant la rédaction de la carte (aide à la préparation des cartes marines), les étapes de généralisation, que sont essentiellement le choix des sondes et le dessin des isobathes, sont jusqu'à présent très peu automatisées et réalisées par le cartographe en raison de son savoir-faire. De plus, l'édition papier est de plus en plus délaissée au bénéfice de la production de *cartes électroniques* (ENC<sup>1</sup>) destinées aux systèmes d'information et d'affichage de cartes électroniques (ECDIS<sup>2</sup>). Dans ce contexte, afin de traiter le grand volume de données numériques, et d'aider le cartographe dans la réalisation des cartes, il est nécessaire de faire évoluer les modes de représentation des données et les opérations manuelles par des traitements informatiques mieux adaptés à cette nouvelle demande.

Les recherches en matière de généralisation tendent à différencier les notions de *généralisation de données* et de *généralisation cartographique*. En généralisation de données (ou *généralisation modèle*), l'information sémantique entre les objets est primordiale. Les opérations se font sous la contrainte de respect de la logique interne à la base de données [Peng et al., 1996]. Le traitement sémantique comprend l'élimination ou la sélection des thèmes à représenter, mais aussi des opérations plus complexes, telles que les modifications d'attributs, les regroupements de classes et les agrégations d'objets.

La généralisation cartographique (ou *généralisation géométrique*) s'attache à préparer des sorties graphiques lisibles. Il faut à ce niveau gérer les conflits de lisibilité. Cette opération consiste schématiquement à sélectionner les objets à retenir à l'échelle visée, à simplifier les caractères géométriques non pertinents des objets retenus et à amplifier les formes géométriques importantes, puis à déplacer ces objets sans détériorer les formes locales et globales et finalement à harmoniser l'aspect global, notamment en gérant les conflits intervenant entre objets voisins. La différence entre l'approche modèle et l'approche cartographique vient du fait que

l'approche modèle permet la manipulation des objets indépendamment de leur représentation. Ces deux axes ne sont cependant pas totalement indépendants et la généralisation modèle peut être vue comme un processus préliminaire à la généralisation cartographique (cf. partie 5).

La première attente envers la généralisation cartographique (semi-)automatique est de fournir une base théorique en répondant à des questions telles que : quoi, pourquoi, quand et comment doit-on généraliser ? Il faut pour cela fournir une liste d'objectifs à atteindre [McMaster et Shea, 1988]. La seconde étape consiste à faire un inventaire des outils disponibles en vue d'atteindre les objectifs précédents. La liste et la définition de ces outils varient selon les spécialistes parce qu'ils omettent de faire la différence entre la transformation appliquée à un objet et les opérateurs utilisés pour parvenir à cette transformation [Ruas et al., 1993]. Par exemple, dans le processus de simplification, nous pouvons énumérer différents opérateurs incluant la sélection, la suppression, l'agrégation, la compression, le lissage, la caricature et la déformation. Un catalogue des opérateurs de généralisation a été implémenté par INTERGRAPH incluant sélection/élimination, simplification, agrégation, déformation, classification, symbolisation, exagération, déplacement et raffinement esthétique [Lee, 1993]. Anne Ruas et Jean-Philippe Lagrange montrent que les opérateurs de généralisation cartographique sont divisés en quatre grandes parties [Ruas et al., 1993] :

- réduction du nombre d'objets : sélection, agrégation, structuration ;
- réduction du nombre de points : compression (ou filtrage) ;
- simplification des formes : lissage, exagération, changement d'implémentation ;
- amélioration de la visibilité : agrandissement, déplacement.

La dernière attente est de modéliser le processus de généralisation en planifiant les différentes étapes et en les associant aux opérateurs adéquats. Le schéma dépend du type de cartes à traiter [Lichtner, 1979, Müller, 1991, Müller et Wang, 1992].

## 2.2 Contraintes de généralisation cartographique de la bathymétrie

La carte marine devant assurer juridiquement à toutes les échelles la sécurité de l'utilisateur, la généralisation cartographique de la bathymétrie (voir un exemple à la Figure 2) est caractérisée par l'existence de contraintes imposées par les normes de l'OHI<sup>3</sup> [OHI, 1988]. En relation avec la classification des contraintes (applicatives, graphiques, structurales, procédurales) définie par K. Beard [Beard, 1991], nous identifions [Saux et al., 2002] :

- *les contraintes applicatives de sécurité* : la représentation issue du processus de généralisation doit fournir une « enveloppe haute » de la représentation initiale. En conséquence, les profondeurs sur la carte ne doivent jamais être supérieures aux profondeurs réelles ;
- *les contraintes graphiques de lisibilité* : la représentation généralisée doit respecter des règles de lisibilité sur les

<sup>1</sup> Electronic Navigational Chart.

<sup>2</sup> Electronic Chart Display and Information System.

<sup>3</sup> Organisation Hydrographique Internationale.

sondes et isobathes énumérées dans les normes définies par le SHOM [SHOM, 1984]. Les objets doivent être suffisamment éloignés afin de faciliter la lecture et d'éviter toute ambiguïté ;

- les contraintes structurales de maintien de la géomorphologie : l'utilisation de la carte marine impose que le caractère géomorphologique des fonds (pente, rugosité) soit au mieux maintenu. Dans le même temps, les éléments caractéristiques du relief doivent être conservés et mis en évidence. On préserve, entre autres, les sommets, les formes remarquables (haut-fond isolé) et les chenaux<sup>4</sup> ;
- les contraintes procédurales de cohérence : lors des opérations de généralisation à effectuer, des impératifs concernant les objets (propriétés, géométrie) doivent être respectés. À titre d'exemple, lors de l'agrégation de deux isobathes, au moins l'une d'entre elles doit être une courbe fermée.

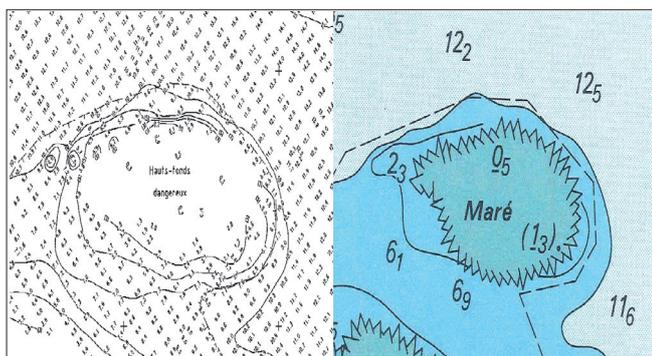


Figure 2 : Exemple de généralisation cartographique de la bathymétrie. Carte d'origine à gauche et carte généralisée manuellement à droite. La figure de droite est extraite de la carte marine n° 7318 publiée par le SHOM en novembre 2002

Parmi l'ensemble des contraintes existantes, certaines sont explicites (comme le positionnement d'une sonde), d'autres sont moins clairement définies (conservation de la morphologie). Généralement, une représentation ne respecte pas l'ensemble des contraintes. Un travail préliminaire à la généralisation cartographique des cartes marines a consisté à établir un cahier des charges fonctionnel pour la préparation et la conception de ces cartes en définissant un ordre de priorité des différentes contraintes. Il en résulte des *contraintes fortes* auxquelles il est obligatoire de se soumettre, et des *contraintes faibles* que nous pouvons ignorer en cas de conflit avec d'autres [Creac'h et al., 2000].

### 2.3 Généralisation cartographique des isobathes

Les recherches que nous avons menées concernent, jusqu'à présent, la généralisation cartographique des isobathes et non celle des sondes dont l'objectif est de sélectionner un sous-ensemble de sondes selon des critères de profondeur et de rayon d'influence. Il est vraisemblable que les deux types de généralisation devront être traités conjointement pour traiter le problème dans sa globalité (cf. partie 6).

<sup>4</sup> Dépression de forme allongée, à pente continue. Un chenal se caractérise par ses rebords, sa ligne de plus grande profondeur et la valeur la moins profonde sur cette dernière, appelée seuil.

Initialement, les isobathes sont représentées par des lignes polygonales (ou polygones). L'isobathe « zéro » correspond à la laisse des plus basses mers, c'est-à-dire au niveau minimal atteint par la mer sous l'influence des marées astronomiques. Comme les sondes, les isobathes sont étiquetées par des valeurs positives. Le calcul de l'isobathe est effectué sur la base d'une triangulation de Delaunay des sondes initiales. C'est donc un processus d'approximation. Deux types d'erreur peuvent être distingués lors de ce processus d'approximation :

- l'erreur sur le calcul des profondeurs : par exemple, pour une isobathe de 30 m, l'erreur concerne le calcul de l'approximation linéaire de la valeur 30 entre les sondes 32.9 et 29.8 (valeurs données à titre d'exemple) ;
- l'erreur sur le calcul des profondeurs entre deux approximations linéaires, c'est-à-dire l'erreur sur un segment de la polyligne représentant l'isobathe 30 m.

Les isobathes apparaissant sur la carte doivent donc prendre en compte les erreurs engendrées lors du processus d'approximation et du processus d'arrondi cartographique. Cette contrainte est appelée *contrainte de positionnement des isobathes*. En conséquence, une isobathe de 30 m pourra être positionnée sur la carte à 30,4 m (sans présager de sa généralisation).

Les cartes marines doivent légalement assurer la sécurité de la navigation des utilisateurs c'est-à-dire des marins. En conséquence, la généralisation cartographique de courbes de niveau se caractérise par des contraintes imposées par l'OHI. En corrélation avec la classification des contraintes [Beard, 1991] définie ci-avant dans la partie 2.2, nous identifions [Saux, 2003] :

- la *contrainte applicative de sécurité* : le déplacement d'une isobathe ne peut se faire qu'en direction des plus grandes profondeurs. Plus précisément, une isobathe de 5 m peut être déplacée vers une zone plus profonde sur une carte (par exemple, une zone de 5.5 m). En revanche, le déplacement d'une isobathe de 5 m vers une zone moins profonde sur une carte (par exemple, une zone de 4.5 m) n'est pas autorisé. Les isobathes liées à la représentation d'un creux peuvent être éliminées. Les isobathes liées à la représentation d'un sommet doivent être maintenues ;
- la *contrainte graphique de lisibilité* : sauf cas particulier<sup>5</sup>, la carte finale ne doit pas contenir d'intersection réelle entre courbes de niveau (intersection franche, chevauchement, cas de tangence) ni d'intersection visuelle (lorsque des courbes ou des parties de la même courbe sont trop proches à l'égard d'un critère de précision le plus souvent lié à l'épaisseur du trait de crayon (soit 0,02 mm)). Cette contrainte permet de dissocier visuellement deux courbes distinctes ;
- la *contrainte structurale de maintien de la géomorphologie* : les formes de relief doivent être préservées et les caractéristiques géomorphologiques amplifiées.

Dans ce cadre contextuel, les contraintes *applicative de sécurité* et *graphique de lisibilité* constituent des *contraintes fortes* devant absolument être validées, alors que la contrainte

<sup>5</sup> Il est possible d'avoir le cas où une isobathe vient « mourir » sur une autre isobathe.

structurale de maintien de la géomorphologie est *faible*, et peut être omise si toutes les contraintes (fortes et faibles) ne peuvent être satisfaites ensemble.

### 3. MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE DES ISOBATHES

#### 3.1 Représentation par lignes polygonales

Les lignes polygonales, dans lesquelles les données sont connectées par des segments de droite, sont majoritairement employées en cartographie pour la modélisation des courbes de niveau. Habituellement utilisé pour la modélisation du réseau routier ou tout autre réseau, ce type de représentation présente des avantages en raison de sa simplicité dans les étapes de modélisation, associée à des temps de traitement performants. Néanmoins, les polygones offrent une capacité de modélisation limitée pour représenter des formes complexes et/ou lisses, parce qu'elles nécessitent alors l'usage d'un grand nombre de points. Ceci est particulièrement contraignant pour la représentation des isobathes qui sont par nature des courbes « lisses ».

Nous notons aussi l'inadaptation de ce type de représentation lors des opérations d'agrandissement d'une partie de la carte numérique (effet de « zoom ») qui génèrent des effets d'arcs brisés sur les polygones et lors des opérations de déplacement ou de simplification devant conserver le caractère intrinsèquement lisse de l'isobathe. Pour déplacer une polygone, en préservant la forme de celle-ci, il est nécessaire d'identifier les points à modifier puis de les déplacer de façon à garantir des critères géométriques tels que des critères de conservation de courbure. La difficulté réside alors dans la gestion d'un tel déplacement sans la création d'artefact supplémentaire.

#### 3.2 Représentation par courbes B-splines

Une solution est d'utiliser des fonctions mathématiques pour modéliser les courbes [Fritsch, 1997, Mitas et Mitasova, 1999]. Les travaux réalisés dans le cadre d'une thèse [Saux, 1999] ont montré l'intérêt des courbes B-splines pour la modélisation des isobathes. Les courbes B-splines sont des courbes paramétriques polynomiales par morceaux de la forme  $(x, y) = f(t)$  où  $(x, y)$  sont les points de la courbe et  $t$  est un paramètre réel défini sur un intervalle  $[a, b]$ . Une courbe B-spline est définie également par un polygone de contrôle donnant la forme globale de la courbe et un vecteur de nœuds liant les points de la courbe à la paramétrisation.

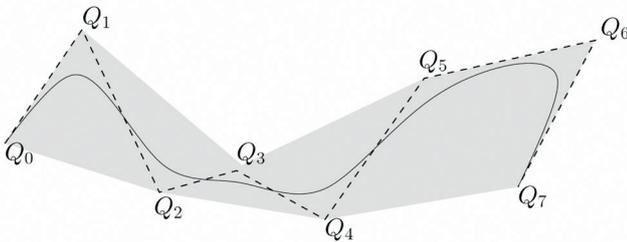


Figure 3 : Courbe B-spline (en trait plein) et son polygone de contrôle (en tirets)

Outre le caractère lisse intrinsèque des courbes B-splines, les propriétés comme la tension et la courbure sont également définies par des fonctions mathématiques permettant des opérations de déformation et de lissage plus robustes.

### 3.3 Construction des courbes B-splines

La première étape dans la représentation des isobathes par courbes B-splines est la définition des courbes à partir des lignes polygonales extraites de la triangulation. L'objectif est d'avoir une courbe  $f$  définie avec le moins de points de contrôle possible et ayant la même image graphique que l'isobathe définie par la courbe polygonale initiale à une échelle de restitution identique. L'erreur tolérée est la distance maximale observée entre les deux courbes.

Le résultat de l'approximation est influencé par différentes variables qui sont le nombre de points de contrôle, l'ordre de la courbe définissant le degré des fonctions polynomiales et le choix de la paramétrisation, c'est-à-dire les paramètres  $\zeta$  tel que chaque point  $(x, y)$  de la ligne polygonale est associé à un point  $f(\zeta)$  de la courbe B-spline.

Le nombre minimum de points de contrôle est déterminé par une méthode dichotomique [Saux 1999]. Les meilleurs taux de compression sont obtenus à partir :

- de la paramétrisation présentée dans [Saux et Daniel, 2003] ;
- d'un vecteur nodal uniforme ;
- d'un ordre 4 (cubique).

Cette stratégie de compression fut comparée aux méthodes existantes (polygonale et B-spline). En matière de taux de compression, nous obtenons de meilleurs taux de compression par rapport aux techniques classiques fondées sur les splines notamment aux techniques de suppression de nœuds [Lyche et Morken, 1987, Eck et Hadenfeld, 1995] et des résultats proches de ceux obtenus avec les meilleures stratégies polygonales de compression [Douglas et Peucker, 1973, Arge et Dæhlen, 1997]. En matière de temps de calcul, le coût est nettement plus élevé que pour les méthodes utilisant une représentation polygonale mais beaucoup plus faible que pour les méthodes de suppression de nœuds.

## 4. OPÉRATEURS DE GÉNÉRALISATION

### 4.1 Revue des différentes approches

La généralisation automatique des courbes de niveau est un problème de recherche récurrent en cartographie. Différentes approches furent développées utilisant différents critères comme la distance entre les lignes (Gökgöz, 2005 ; Li and Sui, 2000), le gradient de pente (Mackaness and Steven, 2006), l'axe médian entre les courbes de niveau (Matuk et al., 2006) et le système de drainage (Ai, 2004). L'objectif de ces méthodes est d'améliorer l'esthétique et la lisibilité de la carte. Ces méthodes ont l'avantage de prendre en compte localement la forme des courbes de niveau et de maintenir les relations topologiques entre elles. Cependant, elles ne prennent pas en compte la contrainte de sécurité et ne peuvent pas traiter l'agrégation ou l'exagération de courbes.

Comme mentionné dans la partie 2.3, la généralisation des isobathes consiste à satisfaire au mieux plusieurs contraintes dont certaines sont imposées. Pour cela, plu-

seurs opérateurs sont appliqués [Regnauld et McMaster, 2007]. La plupart des travaux existants consistent à définir des méthodes spécifiques pour certains opérateurs.

L'opération la plus courante est le lissage. Les méthodes peuvent être classées (cf. tableau 1.1 *in fine*) parmi les techniques orientées sur la sélection des points caractéristiques de la courbe (« feature point selection ») en opposition aux techniques orientées sur une compression maximale des données. Ces méthodes peuvent aussi être classées en méthodes globales (toute la courbe est traitée) ou locales. Les méthodes de compression donnent des résultats limités en cartographie car elles préservent l'allure générale de la courbe mais effacent certains éléments caractéristiques. La méthode de Douglas et Peucker (1973) est souvent un bon compromis entre simplification et préservation des caractéristiques de la ligne. Elle est couramment utilisée en cartographie mais ne peut s'appliquer aux isobathes car elle ne respecte pas la contrainte de sécurité. Wang et Müller (1993) proposèrent une méthode de sélection de points qui permet de maintenir la courbe simplifiée d'un côté de la courbe puis plusieurs opérateurs d'exagération et de déplacement [Wang et Müller, 1998]. Ces méthodes sont fondées sur des règles ce qui ne permet pas de régler des problèmes complexes où plusieurs contraintes doivent être respectées en même temps. De plus, comme mentionné dans la partie 3.1, la courbe polygonale peut former des arcs brisés.

#### 4.2 Sélection des points critiques

La principale contrainte des méthodes de déformation spécifiques à la généralisation des isobathes est la contrainte de sécurité. Quel que soit l'opérateur, la courbe doit être poussée dans le sens des profondeurs croissantes. Afin de contrôler à la fois la forme de la courbe et les contraintes de généralisation, des méthodes mathématiques d'optimisation sont utilisées. Dans les parties suivantes, plusieurs opérateurs sont présentés (lissage, agrégation, déplacement) fondés sur deux approches : mécanique (les réseaux de barres) et énergétique (les contours actifs). Les isobathes sont modélisées par des courbes B-splines.

Pour s'assurer que les formes caractéristiques sont préservées durant la déformation, les points de contrôle de la courbe liés à ces formes sont fixés. Lors de la déformation, ces points critiques servent d'attracteurs pour que les forces de déplacement soient orientées dans le sens des profondeurs croissantes.

Le choix des points critiques est déterminé par l'algorithme de [Douglas et Peucker, 1973] appliqué au polygone de contrôle. La détermination du nombre de points critiques est directement liée à un critère de tolérance  $\mathcal{E}_1$  fixé dans l'algorithme (Figure 4). Le choix de cet algorithme peut être expliqué par le fait que les points retenus sont proches de ceux sélectionnés par l'homme.

Les méthodes de déformation présentées ci-après se fondent sur le même principe : les courbes ont une énergie où des forces internes, représentant leur forme, et des forces externes, liées aux contraintes de généralisation, sont appliquées déséquilibrant le système énergétique. La déformation est alors calculée en cherchant une position d'équilibre.

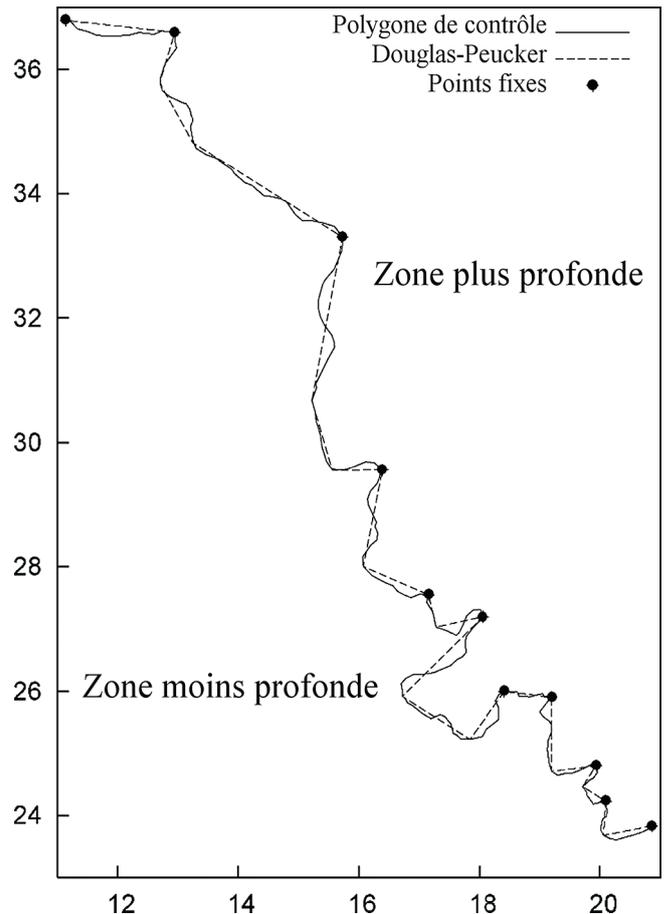


Figure 4 : Sélection des points critiques

De cette façon, la courbe est automatiquement lissée en respectant les contraintes cartographiques.

#### 4.3 Approche mécanique

##### 4.3.1 Réseaux de barres

L'approche est fondée sur le principe mécanique de déformation de forme de J.C. Léon et P. Trompette [Léon et Trompette, 1995]. Dans leur approche, les auteurs utilisent l'analogie entre le polygone de contrôle d'une courbe B-spline et un réseau de barres en équilibre. La déformation de ce polygone, et par conséquent de la courbe, est obtenue en modifiant les tensions (forces internes) dans les barres ou en appliquant des forces extérieures sur certains points de contrôle. Les points de contrôle peuvent être soit fixes, soit libres et soumis aux actions extérieures.

En mécanique, les hypothèses de travail sont différentes des nôtres et l'approche est interactive. L'utilisateur sélectionne la zone à déformer ainsi qu'un mode de déformation à appliquer (étirement, rétrécissement, torsion, etc.) choisi parmi un ensemble de catégories prédéfinies. Ceci détermine entièrement l'ensemble de points de contrôle et le statut fixe ou libre de chacun d'entre eux. Dans notre contexte de généralisation cartographique, l'état initial est lui aussi connu et correspond à la position de l'isobathe à déformer, mais l'état final est inconnu. De plus, le contexte de la généralisation

implique de pouvoir déterminer des forces adéquates permettant de réaliser plusieurs types de déformation au même moment, par exemple, un rétrécissement sur une partie de la courbe et un étirement sur une autre partie. Ceci constitue une difficulté supplémentaire majeure qui nécessite la prise en compte des propriétés géométriques de la courbe (longueurs des barres du réseau, courbure, etc.) pour la détermination des efforts à appliquer sur le polygone de contrôle. Dans les parties suivantes, les opérateurs de déplacement et d'agrégation sont décrits.

#### 4.3.2 Déplacement

Le déplacement doit se faire dans le sens de la sécurité tout en préservant les caractéristiques géométriques de la polygone initiale. Intuitivement, il faut appliquer des forces à des positions spécifiques sur la courbe afin de la déplacer en direction des zones de plus grande profondeur.

La détermination des points de contrôle fixes/libres est fondée sur l'étude du polygone de contrôle (Figure 4). Les intensités des forces internes sont faibles et homogènes afin de reproduire le comportement d'un même matériau. Les forces externes sont appliquées sur les points de contrôle libres. Selon le nombre de points de contrôle libres consécutifs, des stratégies de déplacement différentes sont envisagées (Figure 5). Cette approche préserve la forme de la courbe B-spline initiale puisque la géométrie du polygone de contrôle reste sensiblement la même, en minimisant la valeur de la courbure et évitant ainsi les erreurs topologiques [Saux, 1998a].

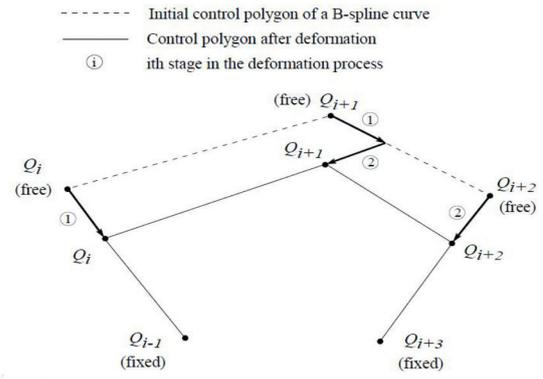


Figure 5 : Exemples de déplacement selon le nombre de points de contrôle libres

La Figure 6 illustre le résultat d'un couplage entre opérateurs de déplacement et de lissage.

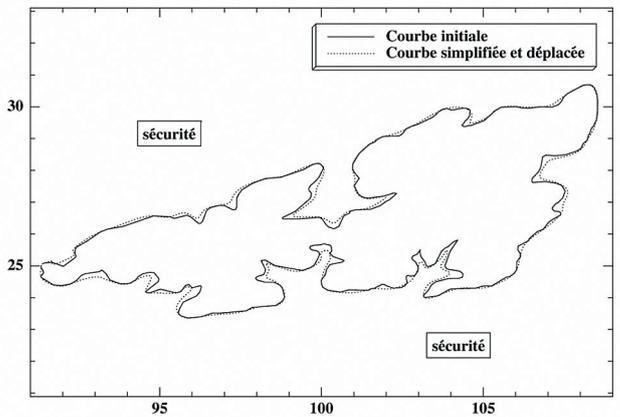


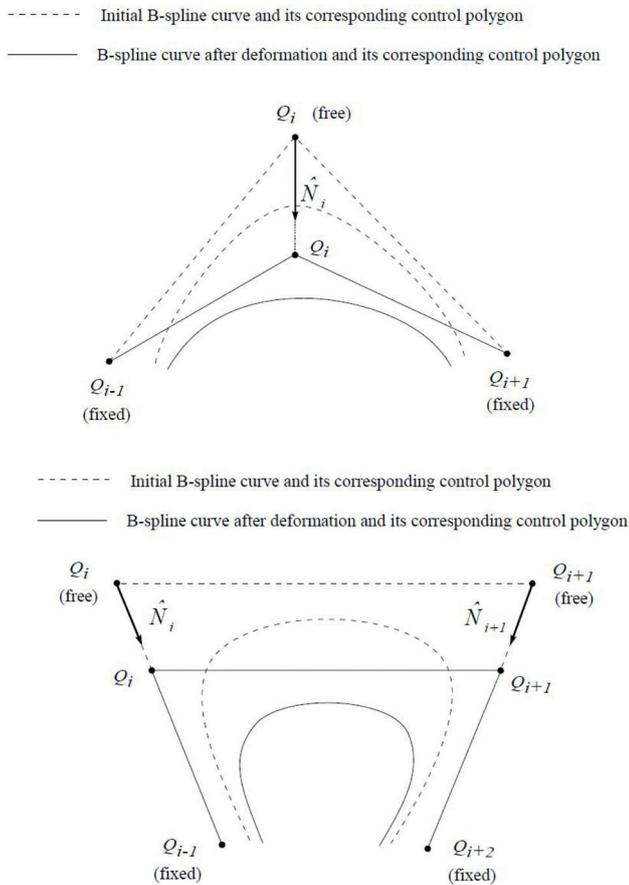
Figure 6 : Simplification et déplacement de trait de côte dont la géométrie est complexe (nombre initial de points  $n=341$ ,  $\epsilon_1=0,05$  mm, nombre de points de contrôle  $m=120$ , 4 itérations du processus de déformation)

#### 4.3.3 Agrégation

L'opération d'agrégation et de lissage consiste i) à déterminer des segments d'appui reliant la courbe polygonale et le polygone à agréger, ii) à créer ensuite une nouvelle courbe polygonale d'agrégation par réorganisation/suppression des points, et finalement iii) à approcher cette courbe polygonale au moyen d'une courbe B-spline de lissage avec éventuellement l'application d'un opérateur de déplacement si la contrainte de sécurité n'est pas totalement respectée. Le processus est détaillé dans [Saux, 1998a].

Les courbes d'agrégation obtenues ont été ensuite comparées à celles obtenues manuellement et fournies par le SHOM. La Figure 7 illustre les différences avec les courbes obtenues manuellement (courbes en gris clair) à partir d'un agrandissement. Les chiffres présents à l'intérieur de ces graphiques représentent les sondes.

Nous notons la similitude des résultats. L'exception se trouve dans la Figure 7 (à gauche), où nous avons voulu montrer l'impact d'une valeur seuil pour l'agrégation plus ou moins



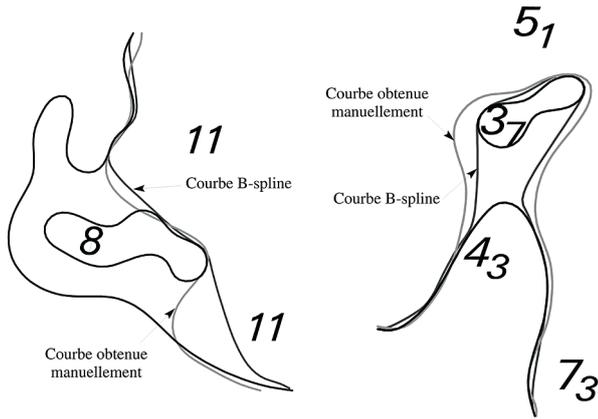


Figure 7 : Comparaison des résultats obtenus manuellement et à l'aide de l'opérateur d'agrégation et de lissage

grande ce qui se traduit par l'optimisation de la longueur des segments d'appui et ainsi l'obtention d'une courbe d'agrégation épousant fortement les formes des deux courbes (à gauche, en haut) ou étant plus lâche (à gauche, en bas). Le lissage avec poids présent dans le processus de déplacement, nous assure généralement une courbe d'agrégation plus proche des données initiales.

#### 4.4 Approche énergétique

##### 4.4.1 Contours actifs

L'objectif des réseaux de barres est d'équilibrer un ensemble de forces. Une limitation est que la direction et l'intensité des forces doivent être définies à chaque étape. Une autre approche consiste à considérer la déformation comme un problème physique de minimisation d'énergies. Le système est alors déformé jusqu'à atteindre une position stable où l'énergie est minimale. Les principaux modèles rencontrés dans la littérature sont un modèle de poutres élastiques (« elastic beam ») où les courbes sont assimilées à des poutres soumises à des tractions et des flexions [Bader, 2001] et les contours actifs originellement utilisés pour le traitement d'images [Kass et al., 1988] où le déplacement de la courbe est considéré comme un modèle déformable soumis à des énergies de tension et de courbure. Le principe des contours actifs peut s'appliquer aussi bien aux lignes polygonales qu'aux courbes B-splines [Pottmann et al., 2002].

Les contours actifs ont été introduits en généralisation cartographique par [Burghardt et Meier, 1997] pour le déplacement de routes modélisées par des lignes polygonales. L'objectif étant de corriger les conflits de proximité tout en maintenant la forme des lignes, le contour actif modélise non pas la courbe  $f$  mais son déplacement  $d$  par rapport à sa position d'origine  $f$  (équation 1).

$$d(t) = \bar{f}(t) - f(t) \quad (\text{eq. 1})$$

L'énergie du contour actif est composée d'une énergie interne  $E_{\text{int}}$  et d'une énergie externe  $E_{\text{ext}}$  (équation 2).

$$E_{\text{tot}}(d(t)) = \int_0^{m+k} E_{\text{int}}(d(t)) + E_{\text{ext}}(d(t)) \quad (\text{eq. 2})$$

L'énergie interne représente les contraintes de forme appli-

quées à la courbe, fonction des dérivées première et seconde de  $d$  (équation 3) où  $t$  est l'abscisse curviligne et  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres de forme réglant la tension et la flexion de la courbe.

$$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \left( \alpha \left| \frac{dd}{dt}(t) \right|^2 + \beta \left| \frac{d^2d}{dt^2}(t) \right|^2 \right) \quad (\text{eq. 3})$$

L'énergie externe représente les contraintes cartographiques (distance minimale par exemple) et viennent pénaliser la courbe en augmentant son énergie totale lorsqu'un conflit apparaît, la forçant à se déformer pour retrouver une position d'équilibre. La définition des énergies en chaque point de la courbe aboutit à la construction d'un système d'équations dont la solution est calculée itérativement par des méthodes d'optimisation classiques telles que les différences finies [Burghardt et Meier, 1997] ou les éléments finis [Bader, 2001].

##### 4.4.2 Correction des intersections entre isobathes

La correction des intersections (lorsque deux isobathes ou segments d'isobathe sont trop proches) peut se faire en déplaçant l'isobathe la plus profonde ou les deux isobathes si elles sont à la même profondeur et que l'espace entre les isobathes est moins profond. Une méthode de contours actifs est présentée par [Guilbert et al., 2006]. L'énergie interne est définie par la dérivée première et la courbure de la courbe B-spline (équation 4). Dans le cas des courbes paramétriques, la courbure est différente de la dérivée seconde et est préférée à celle-ci parce qu'elle décrit mieux la forme de la courbe.

$$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \left( \alpha(t) \left| \frac{dd}{dt}(t) \right|^2 + \beta(t) |\kappa_d(t)|^2 \right) \quad (\text{eq. 4})$$

L'énergie externe est définie en fonction du déplacement minimum  $d_{\text{min}}$  entre les courbes. S'il n'y a pas de conflit, les coordonnées de  $d_{\text{min}}$  sont toutes nulles. L'énergie externe et l'énergie interne sont nulles et la courbe n'est pas modifiée. Sinon, le contour actif est déformé pour réduire cette énergie. Si  $d_{\text{min}}$  est non nul, l'énergie externe de  $d$  est donnée par :

$$E_{\text{ext}}(d(t)) = \begin{cases} \frac{\|d_{\text{min}}(t) - d(t)\|^2}{\varepsilon_{\text{vis}}^2} & \text{si } d(t) < d_{\text{min}}(t) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{eq. 5})$$

où  $\varepsilon_{\text{vis}}$  est la distance minimale assurant la lisibilité et sert à normaliser l'énergie pour qu'elle soit indépendante de l'échelle ou de la forme de la courbe.

Seuls les points de contrôle définissant les segments en conflit sont libres. La méthode requiert d'abord le calcul des intersections [Guilbert et al., 2002] et la définition du déplacement minimum à appliquer à chaque point de la courbe. La minimisation de l'équation 4 aboutit à un compromis entre la conservation de la forme (énergie interne) et la correction du conflit (énergie externe). Afin de garantir la lisibilité et la sécurité, la déformation doit se faire en donnant plus d'importance à l'énergie externe. Pour cela, et contrairement aux autres méthodes de contours actifs, l'équation 4 est résolue

par une méthode de gradient et les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  sont variables. Cela permet de toujours régler la direction de descente dans le sens de la sécurité. La méthode est itérée jusqu'à ce que l'énergie externe soit nulle, équivalent à une solution valide.

Le réglage des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  permet de choisir l'importance donnée au critère de forme. Différentes valeurs de paramètres ont été testées sur des exemples et il apparaît que la valeur de  $\alpha$  a peu d'influence sur le résultat final. La préservation de la forme dépend uniquement de  $\beta$ . Par conséquent,  $\alpha$  est fixé à 0. Si  $\beta$  est petit, le conflit est corrigé sans tenir compte de la forme et le déplacement est minimal. Sinon la courbe est lissée et le déplacement est plus régulier pour éviter les variations. Dans la littérature, les paramètres de forme sont généralement constants et fixés par l'utilisateur. Dans le cadre de la généralisation d'une carte, le cartographe doit intervenir uniquement pour des actions de haut niveau. Il peut choisir l'opérateur de correction mais l'application de cet opérateur doit être entièrement automatique. La valeur de  $\beta$  étant définie par l'algorithme, le cartographe n'a pas à la définir. Il peut néanmoins choisir si la forme est prise en compte ( $\beta \neq 0$ ) ou pas ( $\beta = 0$ ). Dans le deuxième cas, le calcul est plus rapide mais la solution de moins bonne qualité.

Un exemple global de détection puis correction des intersections au moyen de contours actifs issu de [Guilbert, 2004] est présenté. Cet exemple est extrait de la carte n° 7404 du SHOM. Sur la Figure 8 sont tracées les isobathes avant généralisation, représentées par des polygones. Après construction des courbes B-splines et traitement des conflits, nous obtenons les résultats présentés Figure 9 et Figure 10. 41 intersections ont été détectées. Les recouvrements entre les isobathes au centre de la figure ont bien été corrigés. Même si l'approche est locale, certains conflits globaux entre plusieurs courbes ont été corrigés. Par exemple, dans les zones où plusieurs isobathes sont imbriquées le déplacement des isobathes au centre est pris en compte lors du déplacement des isobathes à l'extérieur. En revanche, dans certains cas, de nouveaux conflits sont créés étant donné que la topologie n'est pas prise en compte (Figure 10).

Nous avons affiché les isobathes obtenues après généralisation manuelle sur la Figure 11 et l'extrait de la carte finale sur la Figure 12. La généralisation manuelle se fait en tenant compte également des autres objets de la carte, notamment les sondes bathymétriques. De ce fait, certaines courbes sont agrégées ou supprimées pour avoir moins d'isobathes. Des courbes peuvent également être déplacées pour avoir suffisamment de place pour marquer les sondes. Les courbes obtenues après correction sont proches des isobathes de la carte. Lors de la généralisation manuelle, les isobathes sont lissées et les formes sont moins bien conservées. Le principal intérêt des méthodes de généralisation automatique est que les contraintes sont mieux respectées. Cependant, toutes les intersections ne peuvent être corrigées par déformation et cette méthode doit s'intégrer dans un processus plus global et plus complexe. Pour cela, il faut prendre en compte d'autres opérateurs (suppression, agrégation, lissage) et s'assurer que ces opérateurs soient appliqués en fonction du contexte et des choix du cartographe. Ceci fait l'objet de la partie 4.5.

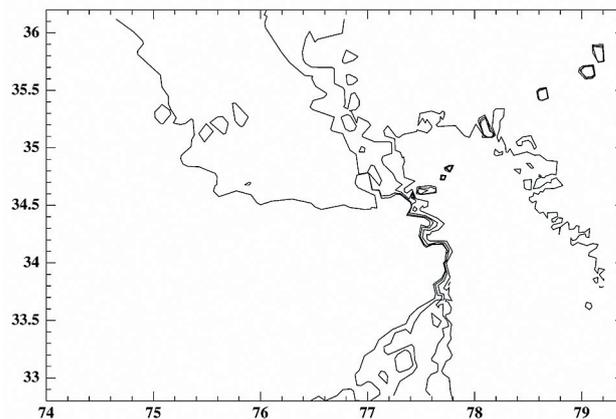


Figure 8 : Isobathes avant généralisation sur une zone couverte par la carte marine 7404 (unités en cm carte)

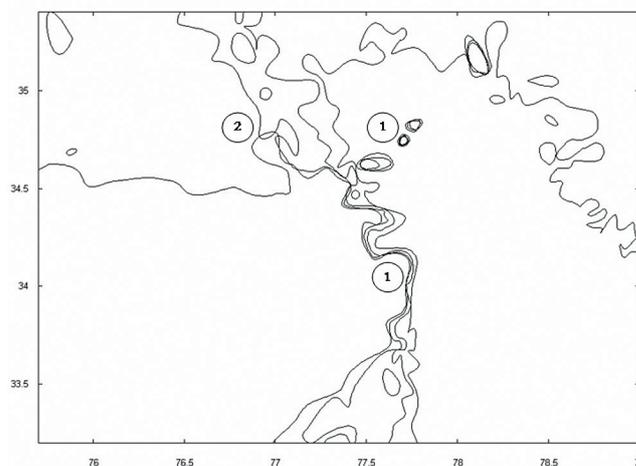


Figure 9 : Isobathes modélisées par des courbes B-splines

- ① Recouvrement et intersection tangentielle
- ② Intersection franche (erreur topologique)

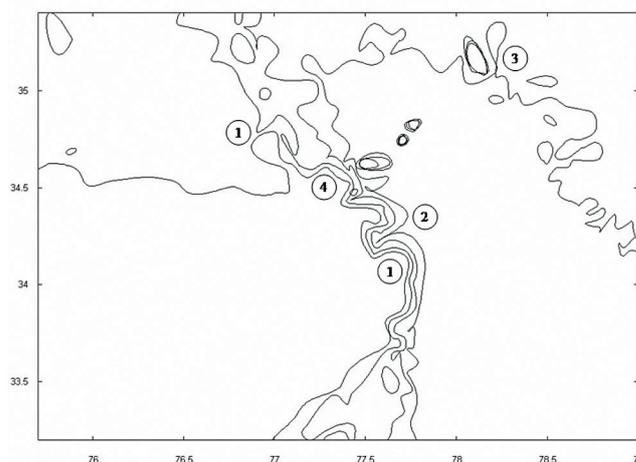


Figure 10 : Traitement par déplacement des isobathes

- ① Les intersections précédemment détectées ont été corrigées
- ②③ Apparition d'auto-intersections, ④ Apparition d'erreur topologique

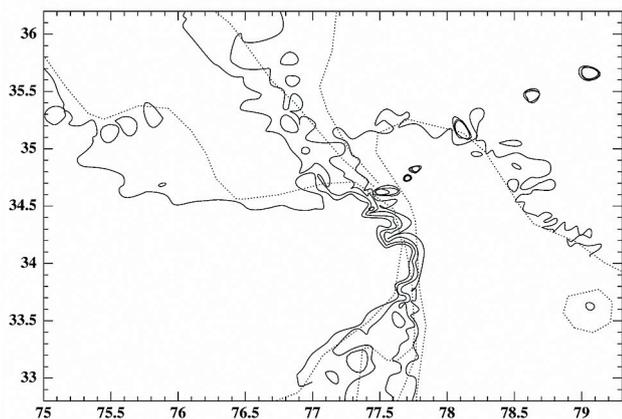


Figure 11 : Isobathes obtenues par généralisation manuelle

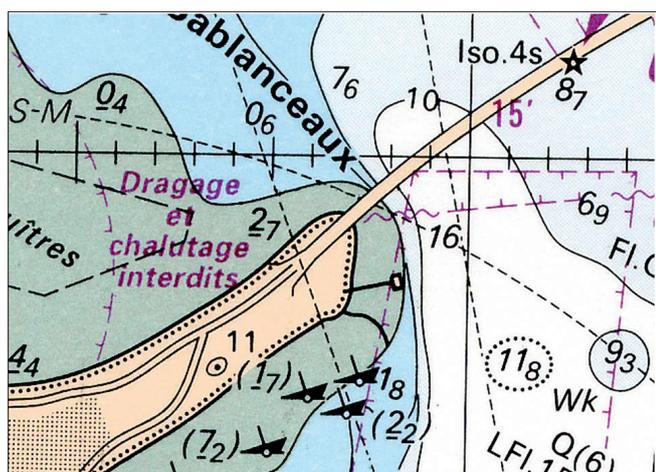


Figure 12 : Extrait de la carte finale n° 7404 du SHOM

#### 4.4.3 Lissage des isobathes

Les contours actifs peuvent aussi être utilisés pour définir différents types d'opérateurs pour la déformation. [Guilbert et Lin, 2007] définissent un opérateur de lissage qui permet de maintenir la courbe du côté des profondeurs croissantes. Le caractère lisse de la courbe étant défini par sa courbure principalement, le contour actif ne représente pas le déplacement mais la courbe elle-même. L'énergie interne, définie dans l'équation 6, représente le caractère lisse de la courbe. Elle est liée à la dérivée première (tension) et à la courbure  $\kappa(t)$ . En réduisant cette énergie, les oscillations sont aplanies et la forme de la courbe est simplifiée.

$$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \left( \alpha |f'(t)|^2 + \beta |\kappa(t)|^2 \right) \quad (\text{eq. 6})$$

Afin de garantir la contrainte de sécurité, le lissage se fait en fixant les points critiques (cf. partie 4.2) et en fixant une énergie externe qui pénalise la courbe si celle-ci est située du mauvais côté. Le résultat obtenu pour la courbe de la Figure 4 est présenté dans la Figure 13.

La méthode prend également en compte les auto-intersections qui pourraient apparaître le long de la courbe. Les boucles ou les étranglements sont automatiquement supprimés (Figure 14).

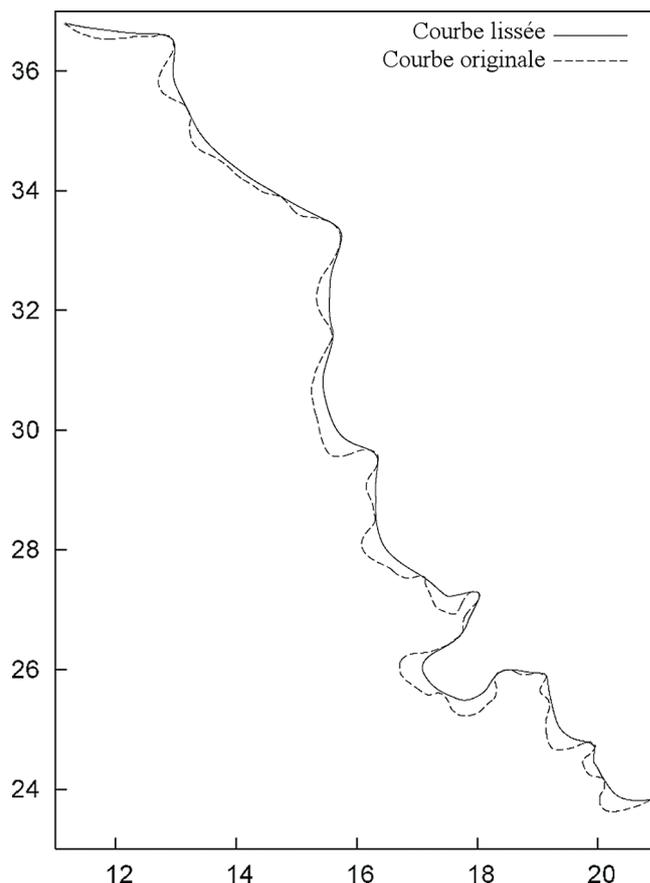


Figure 13 : Lissage d'isobathe, courbe originelle en tirets

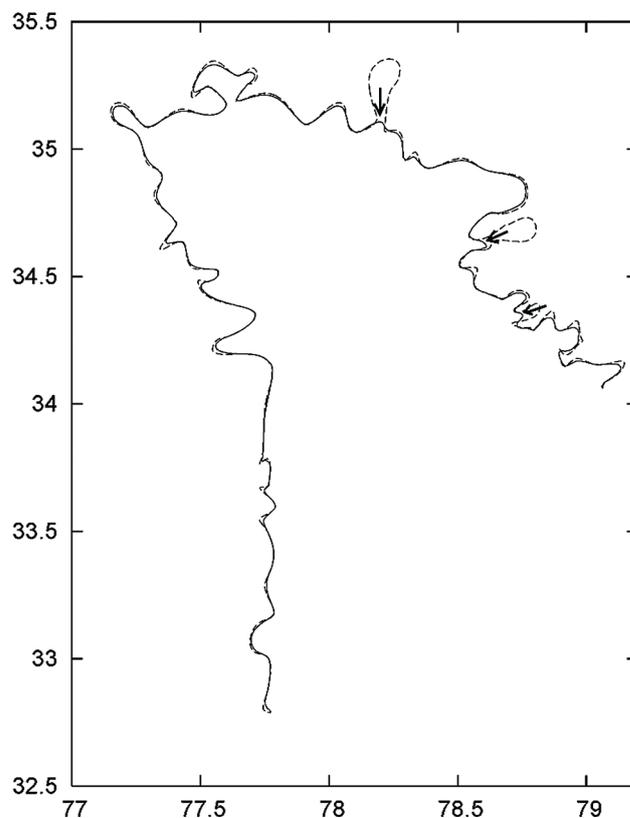


Figure 14 : Lissage avec suppression des intersections. Courbe originelle en tirets. Les flèches indiquent les segments de courbe supprimés

Différents critères d'arrêt peuvent être définis. La courbe peut être considérée suffisamment lisse lorsqu'une courbure maximale est fixée ou lorsque son énergie interne est suffisamment réduite. Le premier critère est local et ne donne pas d'indication sur le caractère lisse de la courbe. Il peut être appliqué lorsque le lissage se fait à échelle constante pour adoucir les angles. Le second critère, global, est utilisé lorsque la courbe est lissée pour passer à une échelle plus petite. Le critère retenu est de considérer la courbe suffisamment lisse lorsque le rapport d'énergie est égal au facteur d'échelle (Figure 15).

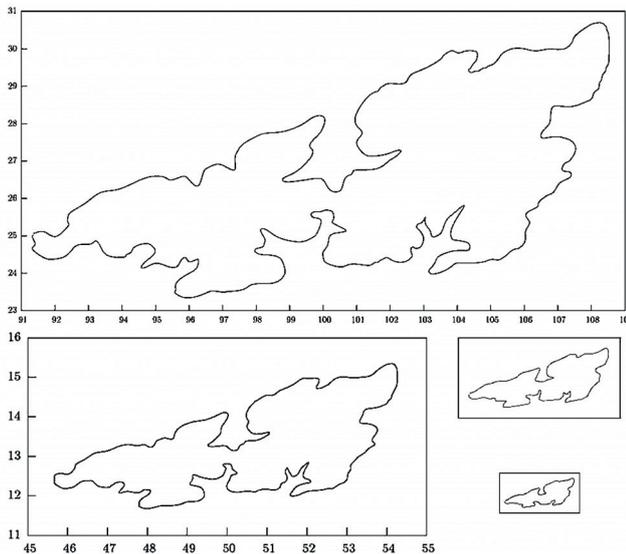


Figure 15 : Lissage pour différents facteurs d'échelle. En haut, courbe originelle. En bas, facteurs d'échelle de 1/2, 1/5 et 1/10

Les résultats sont convaincants et satisfont les contraintes cartographiques : la sécurité est respectée et les formes caractéristiques de la courbe sont maintenues. La méthode s'applique aux lignes individuellement. Le lissage d'un ensemble d'isobathes requiert la prise en compte de la proximité entre les courbes et de la topologie. Dans le cadre de la généralisation (semi-)automatique des isobathes, plusieurs opérations doivent être choisies ou combinées. Les opérations de déplacement et de lissage peuvent être appliquées alternativement lors de la minimisation [Steiniger et Meier, 2004] mais les opérations ne sont pas intégrées dans un modèle unique.

#### 4.5 Gestion intégrée des opérations de généralisation

L'objectif est d'avoir un modèle générique de déformation où le type d'opération (lissage, déplacement) n'est pas explicite mais dépend des contraintes cartographiques. Les contraintes de lisibilité et de sécurité sont exprimées comme des contraintes de position et représentent les zones où les courbes peuvent être positionnées par l'application du processus de déformation.

La méthode présentée par [Guilbert et Saux, 2008] est fondée sur la méthode de contours actifs de [Guilbert et Lin, 2007]. L'énergie interne (équation 6) permet de lisser la courbe tandis que l'énergie externe permet de déplacer la courbe. La zone admissible dans laquelle une courbe doit se situer dépend des courbes voisines. Elle est délimitée par une ligne polygonale appelée *ligne frontière* et notée  $l_f$ . Le respect de la contrainte de position dépend donc de l'emplacement de la courbe par rapport à  $l_f$ .

Une zone admissible est définie pour chaque isobathe. L'énergie externe est nulle pour les points de la courbe à l'intérieur de la zone. Pour les points de la courbe à l'extérieur de la zone et qui ne respectent donc pas la contrainte de position, l'énergie dépend de la distance entre le point et la ligne frontière (équation 7). Ces points correspondent indifféremment aux conflits de proximité et de sécurité. Seuls les points critiques situés dans la zone admissible sont fixés. Les auto-intersections détectées lors du processus sont automatiquement retirées [Guilbert et Saux, 2008].

$$E_{ext}(f(t)) = \begin{cases} \frac{d(f(t), l_f)^2}{\varepsilon_{vis}^2} & \text{si } f(t) \text{ est hors zone (eq. 7)} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La méthode fut appliquée à un jeu d'isobathes (Figure 16). Afin de prendre en compte la propagation des déformations, les isobathes sont généralisées en partant des isobathes les moins profondes. Des opérateurs de suppression et d'agrégation ont été ajoutés. L'agrégation consiste, lorsque deux isobathes sont trop proches, à calculer une nouvelle courbe B-spline englobant les deux isobathes (cf. partie 4.3.3).

Les résultats sont présentés dans la Figure 17. Les contraintes de sécurité et de lisibilité sont satisfaites mais le processus n'est pas entièrement automatique. Les formes de terrain décrites par les isobathes ne sont pas connues. L'utilisateur doit donc indiquer dans certains cas si l'isobathe doit être maintenue ou supprimée. De plus, la technique peut impliquer de grandes déformations et la suppression d'une courbe se fait uniquement dans le cas où la déformation n'est pas réalisable.

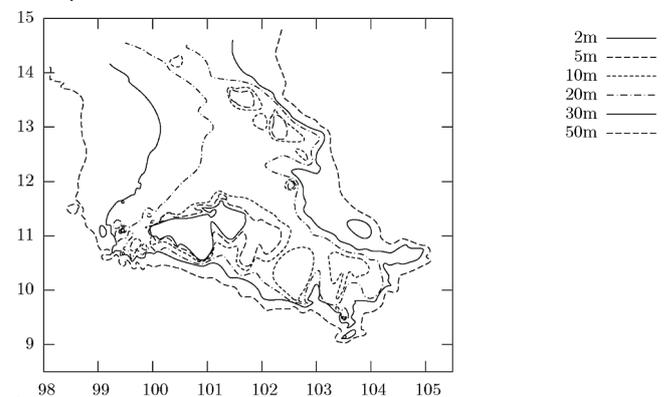


Figure 16 : Isobathes avant généralisation

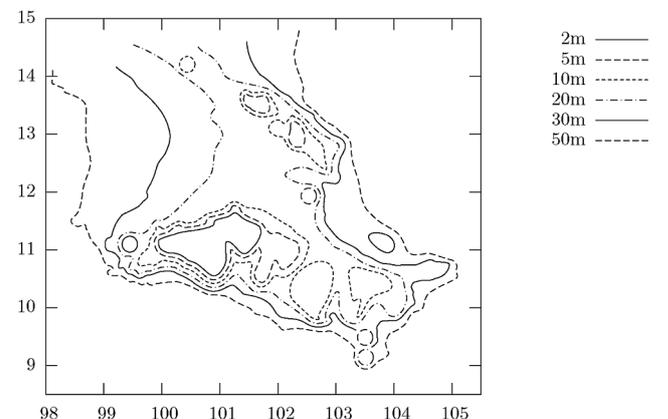


Figure 17 : Isobathes après généralisation

## 5. INTÉGRATION DE L'INFORMATION TOPOLOGIQUE

### 5.1 Définition des relations topologiques

L'application automatique des opérateurs de généralisation requiert la reconnaissance des entités morphologiques modélisées par les courbes de niveau. En fait, les élévations et les dépressions du fond marin sont identifiées par des groupes d'isobathes ou par une unique isobathe en fonction des isobathes et des sondes voisines. Par exemple, une élévation sera identifiée par une ou plusieurs isobathes imbriquées et par une sonde indiquant son sommet. Une telle structure spatiale peut être identifiée automatiquement en établissant des relations d'inclusion entre les isobathes : chaque isobathe est contenue par une isobathe plus profonde.

En conséquence, une meilleure connaissance des relations spatiales entre les courbes afin de caractériser les entités du fond marin qu'elles représentent est nécessaire pour choisir automatiquement un opérateur de généralisation. Les isobathes formant des élévations doivent être maintenues et seront élargies ou agrégées si nécessaire. En revanche, les isobathes formant des dépressions sont simplement supprimées si elles sont trop petites mais seront maintenues pour indiquer les routes de navigation.

Tout d'abord, des relations de voisinage doivent être établies entre les isobathes. Les isobathes ainsi que les relations topologiques et la géométrie des courbes peuvent être modélisées au moyen d'un arbre de courbes de niveau (« contour tree ») où les nœuds sont les courbes de niveau et les arêtes les zones inter-courbes [Cronin, 1995]. Dans cette configuration, les feuilles de l'arbre sont soit des sommets soit des fonds de dépression [Kweon et Kanade, 1994]. Une des difficultés est la gestion des courbes ouvertes interrompues par le bord de la carte. Les courbes ouvertes peuvent être gérées par un graphe représentant les relations d'adjacence au lieu des inclusions [Morse, 1968]. Dans les deux cas, le problème est que les formes de terrain peuvent être représentées par plusieurs courbes (un chenal coupant la carte est marqué par une courbe de niveau de chaque côté) et les formes de terrain peuvent être définies à différents niveaux. Par exemple, sur la Figure 18, suivant le niveau de représentation, le terrain peut être vu comme un pic A ou deux pics B et C entourant un creux D. Le pic B peut lui-même être décomposé en deux pics E et F et un creux G.

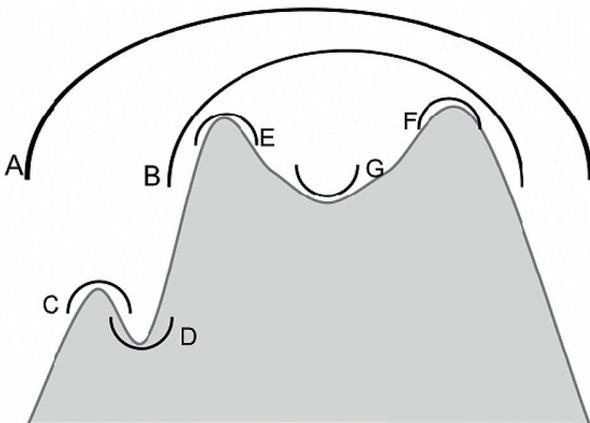


Figure 18 : Représentation de formes à différents niveaux

Par conséquent, [Guilbert, 2013] propose une nouvelle structure, l'arbre d'entités morphologiques (« feature tree ») modélisant les formes de terrain caractérisées par les courbes de niveau. L'arbre d'entités est construit à partir du graphe de régions qui est le dual du graphe de courbes de niveau, ce qui permet de gérer les courbes ouvertes et fermées. Les entités morphologiques sont construites itérativement en extrayant d'abord les entités au plus haut niveau de détail puis par décimation ou effondrement d'arêtes (« edge-collapse »), en extrayant les entités jusqu'au niveau le plus grossier. Trois types d'entités sont définis dans l'arbre :

- les élévations où les courbes à la frontière sont plus basses que les courbes à l'intérieur ;
- les dépressions où les courbes à la frontière sont plus élevées que les courbes à l'intérieur ;
- les entités mixtes où les courbes à la frontière ne sont ni les plus élevées ni les plus basses.

Cette approche permet de prendre en compte la morphologie du terrain dans le processus de généralisation. La méthode a été appliquée à un jeu de données (Figure 19). La zone d'étude concernée est le goulet entre les pointes de Port-Navalo et de Kerpenhir à l'entrée du golfe du Morbihan (Figure 1). Les entités représentées par les feuilles de l'arbre sont les mêmes que celles obtenues avec un arbre de courbes de niveau. En plus, l'algorithme permet d'identifier les entités morphologiques à d'autres niveaux. La Figure 20 représente les entités les plus larges. Le chenal au centre de la carte est clairement marqué. L'arbre d'entités morphologiques correspondant est présenté Figure 21.

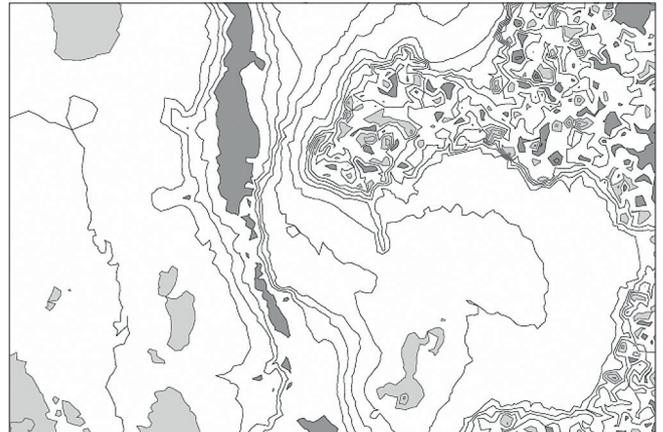


Figure 19 : Identification à haut niveau des dépressions en gris foncé et des élévations en gris clair

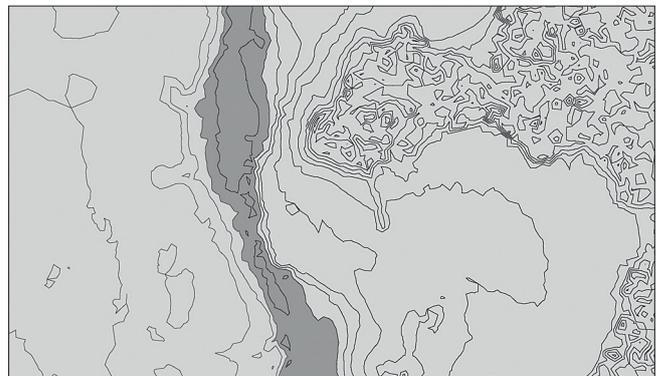


Figure 20 : Identification du chenal et des élévations au plus bas niveau de l'arbre

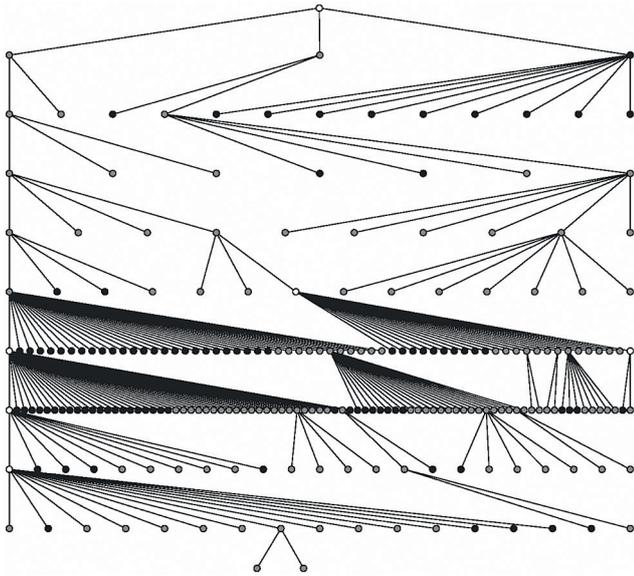


Figure 21 : Arbre d'entités morphologiques de la carte précédente. Elévations en gris, dépressions en noir, entités mixtes en blanc

## 5.2 Généralisation des entités morphologiques

La prise en compte des entités morphologiques permet de généraliser les courbes en fonction de la morphologie du terrain. Les entités sont alors considérées comme des objets cartographiques avec leurs propres attributs qui doivent être généralisés. La carte, considérée comme un objet au niveau macro, est donc composée d'objets à deux niveaux, les entités morphologiques (à un niveau meso) et les isobathes (à un niveau micro) [Saux et al., 2002]. Un premier exemple de sélection d'entités est présenté dans [Guilbert, à paraître] : les dépressions sont supprimées si elles sont trop petites sur la carte (Figure 22 et Figure 23 pour la généralisation de la carte de la Figure 19 et de l'arbre de la Figure 21).

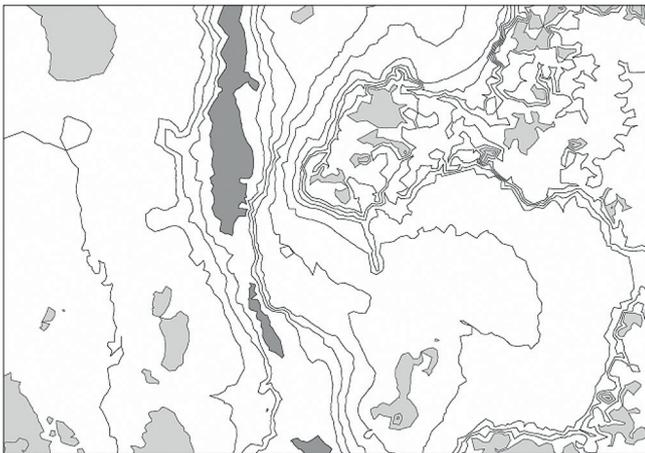


Figure 22 : Carte après sélection/suppression des entités

Afin de prendre en compte l'information topologique, les opérateurs de généralisation devront être définis au niveau des entités et des isobathes. Les opérateurs sur les entités sont des opérateurs de généralisation modèle car ils effectueront surtout les opérations en fonction de l'information sémantique contenue par l'entité morphologique. Les opérateurs de généralisation appliqués à chaque courbe relèvent

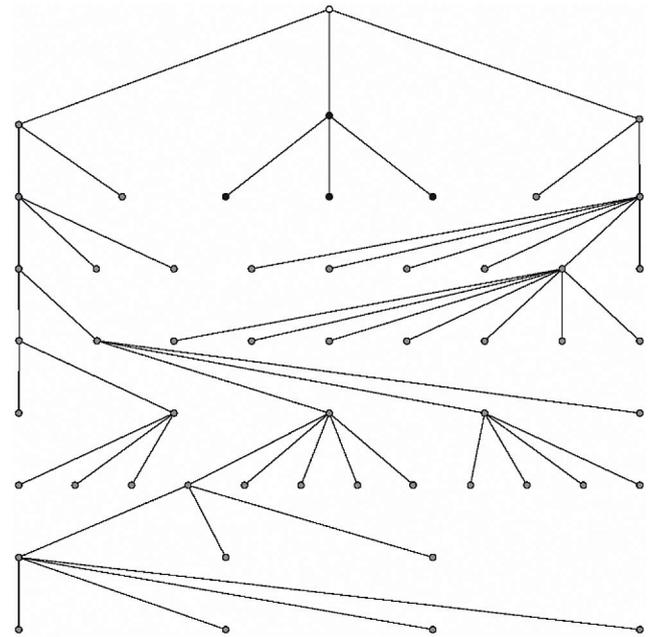


Figure 23 : Arbre d'entités morphologiques après généralisation. Elévations en gris, dépressions en noir

en revanche de la généralisation cartographique puisque l'objectif est de maintenir la représentation et la lisibilité de la carte. Cela inclut notamment la gestion intégrée présentée en 4.5. Néanmoins, ils seront appliqués en fonction du type de l'entité morphologique et des relations avec les autres courbes de cette même entité. D'autres entités environnantes peuvent également être prises en considération en vue de limiter ou de propager la déformation. Une première ébauche présentant les opérateurs à différents niveaux est présentée dans [Zhang et Guilbert, 2011]. Cependant, une méthode fondée sur une approche plus globale doit être développée de telle sorte que le type et la taille d'une entité morphologique puissent aussi être considérés.

En conséquence, un nouveau modèle doit émerger en intégrant toutes les courbes qui composent une même entité morphologique, ce qui suppose de définir dans un même système l'ensemble des courbes et des contraintes afin de les simplifier conjointement. Les propriétés de chaque entité peuvent être modélisées et enrichies en construisant une ontologie des formes de relief sous-marines, où les entités spatiales peuvent appartenir aux catégories suivantes [Yan et al., 2012] :

- « Morphologiques », où les entités sont les formes de terrain (pics, puits, crêtes, vallées, plateaux) décrites avec leurs propriétés caractéristiques ;
- « Cartographiques », où les entités sont les éléments de la carte (sondes, isobathes) et sont associées aux entités morphologiques, permettant de définir les contraintes et les opérateurs de généralisation à appliquer.

## 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les courbes de niveau constituent un moyen très efficace pour représenter la forme d'une surface même si les processus d'analyse sont plus complexes avec ce type de représentation qu'une représentation à l'aide d'un maillage.

Un des axes de notre recherche a été de tendre vers une automatisation des procédés pour la construction des cartes utilisant les courbes de niveau. Soucieux de cette problématique, le SHOM a été un partenaire essentiel dans la conduite des recherches en généralisation cartographique des isobathes pour la production de cartes marines. Cette collaboration s'est concrétisée à travers différents projets en partenariats avec le « Department of Land Surveying and Geo-Informatics » de l'Université polytechnique de Hong Kong.

La stratégie de recherche dans ce domaine a été progressive et a concerné :

1. l'intérêt d'une représentation des isobathes par des fonctions paramétriques à base de fonctions B-splines ;
2. l'utilisation des courbes B-splines pour le traitement des différents opérateurs de généralisation à une échelle fixe ;
3. l'utilisation des ondelettes B-splines pour le traitement des différents opérateurs de généralisation à différentes échelles [Saux, 2003] ;
4. la détection puis la correction des conflits spatiaux entre isobathes modélisées au moyen de courbes B-splines ;
5. la gestion intégrée des différents opérateurs de généralisation ;
6. l'intégration d'information topologique dans le processus de généralisation.

Le tableau 1.1 *in fine* positionne une partie de nos résultats de recherche dans le paysage des méthodes de simplification ou lissage de données usitées en généralisation cartographique. Les critères pour effectuer cette classification sont :

- la représentation utilisée : représentation polygonale, par des fonctions B-splines ou ondelettes B-splines, courbe de Bézier ;
- l'approche utilisée : réduire la quantité de données en un minimum de temps et/ou conserver les points caractéristiques afin de préserver la forme globale de la courbe ;
- la stratégie utilisée : soit globale lorsque l'approche traite l'ensemble des données ou locale lorsque la simplification est appliquée sur une partie des données puis répétée jusqu'à ce que la totalité des données soit traitée ;
- le principe utilisé : sélection de points à supprimer/conserver, suppression des nœuds non nécessaires dans la courbe paramétrique, approximation des données, suppression des coefficients de détail dans la décomposition par ondelettes.

De façon analogue, le tableau 1.2 positionne les résultats de nos travaux de recherche dans le paysage des méthodes de minimisation globale usitées en généralisation cartographique. Les critères pour effectuer cette classification sont :

- la représentation utilisée : représentation polygonale, par des fonctions B-splines ou ondelettes B-splines ;
- la technique/approche utilisée : géométrique, réseau de barres, poutres élastiques, contours actifs ;
- l'(les)opérateur(s) de généralisation traité(s) : agrégation, déformation, déplacement, lissage.

Les perspectives en généralisation cartographique des isobathes sont multiples. La construction même des courbes paramétriques B-splines doit être améliorée. Actuellement, une courbe B-spline est issue de l'interpolation ou approximation des points formant la courbe polygonale associée à l'isobathe, elle-même construite à partir d'une triangulation de Delaunay des sondes initiales. Une étude portant sur la construction des courbes B-splines isobathes à partir de la triangulation des données originelles devrait permettre de réduire les conflits spatiaux initiaux (intersections visuelles et réelles) entre isobathes dans les zones à forte pente ainsi que les phénomènes d'auto-intersections.

Depuis nos travaux, de nouvelles méthodes de compression ont été publiées dans la littérature [Safonova et Rossignac, 2003], [Lavoue et al., 2005]. Les contours actifs peuvent également être utilisés pour générer les courbes B-splines [Pottmann et al., 2002]. D'autres travaux plus récents pourraient être cités mais ces derniers montrent qu'il est encore possible d'optimiser le nombre de points de contrôle pour accroître la compression. De nombreux travaux de recherche restent à effectuer dans ce domaine.

Les perspectives envisageables concernent aussi l'amélioration des opérateurs de généralisation et l'intégration d'autres éléments comme les sondes et le trait de côte dans les contraintes de généralisation. Pour l'instant, les entités morphologiques ne sont définies que par les courbes de niveau. L'ajout des sondes permettrait d'enrichir la description du fond marin et de mieux définir l'information à préserver sur la carte. En pratique, les sondes et les isobathes sont généralisées ensemble et la position des sondes a une influence sur la généralisation des isobathes. Une perspective importante est donc d'étendre le modèle proposé dans le chapitre précédent pour généraliser les entités morphologiques, les sondes et les isobathes dans un même processus. La principale difficulté est de choisir et de combiner dans une même étape des opérations de sélection de sonde avec des opérations de suppression et de déformation d'isobathes en fonction de la morphologie.

La généralisation cartographique est une activité fortement subjective où l'expertise du cartographe est fondamentale. Ainsi, le choix et l'ordre d'application des différents opérateurs définissent une stratégie de généralisation qui aboutit à une carte généralisée non unique. Il faut alors se donner des outils d'analyse permettant d'estimer une stratégie et d'évaluer différents résultats issus de stratégies de généralisation différentes. Une des solutions envisagées serait de construire le MNT généralisé à partir des isobathes traitées et de le comparer au MNT source construit sur l'ensemble des sondes initiales. Les contraintes seraient analysées sur le « MNT différence ». À ce titre, la contrainte de sécurité sera vérifiée si le MNT généralisé constitue bien une enveloppe haute du MNT source.

Enfin, la gestion des conflits et/ou la mise à jour des isobathes et des sondes dans une base de données multi-échelles restent non étudiées à ce jour. L'objectif serait de conserver en plus des données bathymétriques d'origine les entités morphologiques présentes à différents niveaux de détail. Cette gestion de la représentation multiple permet de générer des cartes à partir de données provenant de

différentes cartes ou bases de données existantes et facilite la mise à jour des cartes. Dans le contexte actuel du développement des cartes électroniques, la génération à la volée de cartes à des échelles intermédiaires semble être une perspective intéressante.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

[Ai, 2004] Ai, T. (2004). A generalization of contour line based on the extraction and analysis of drainage system. In Altan, O. éditeur, Proceedings of the XXth ISPRS congress, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences vol. XXXV, part B4.

[Arge et Dæhlen, 1997] Arge, E. et Dæhlen, M. (1997). Data Reduction for Piecewise Linear Curves. In Dæhlen, M. et Tveito, A., éditeurs, Numerical Methods and Software Tools in Industrial Mathematics. Birkhäuser.

[Bader, 2001] Bader, M. (2001). Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization. Rapport de thèse de doctorat, Université de Zürich (Suisse).

[Beard, 1991] Beard, M. K. (1991). Constraints on Rule Formation. In Buttenfield, B. et Mc-Master, R. B., éditeurs, Map Generalization : Making Rules for Knowledge Representation, pp 121-135. London, United Kingdom : Longman Scientific & Technical.

[Bera et Claramunt, 2003] Bera, R. et Claramunt, C. (2003). Topology-Based Proximity in Spatial Systems. International Journal of Geographical Information Systems, 5(4) : 353-379.

[Burghardt et Meier, 1997] Burghardt, D. et Meier, S. (1997). Cartographic Displacement Using the Snakes Concept. In Förstner, W. et Plümer, L., éditeurs, Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps, pp 59-71. Birkhäuser-Verlag, Basel, Switzerland.

[Creac'h et al., 2000] Creac'h, D., Devogele, T., Quimerc'h, C., et Saux, E. (2000). Aides à la préparation des cartes marines, Cahier des charges fonctionnel. Rapport technique n° 00-002, Ecole navale, Brest (France).

[Cronin, 1995] Cronin, T. (1995). Automated reasoning with contour maps. Computers and geosciences 21(5) : 609-618.

[Douglas et Peucker, 1973] Douglas, D. H. et Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature. The Canadian Cartographer, 10(2) : 112-122.

[Eck et Hadenfeld, 1995] Eck, M. et Hadenfeld, J. (1995). Knot Removal for B-spline Curves. Computer Aided Geometric Design, 12 : 259-282.

[Fritsch, 1997] Fritsch, E. (1997). Représentations de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier. Rapport de thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée (France).

[Gökgöz, 2005] Gökgöz, T. (2005). Generalization of contours using deviation angles and error bands. The Cartographic Journal 42(2) : 145-156.

[Guilbert, 2002] Guilbert, E. (2002). Détection des conflits entre isobathes en généralisation cartographique. Revue internationale de géomatique, 12(4) : 421-438.

[Guilbert, 2004] Guilbert, E. (2004). Détection et correction des intersections entre courbes B-splines. Application à la généralisation cartographique. Rapport de thèse de doctorat, Université de Rennes 1 (France).

[Guilbert, à paraître] Guilbert E. Multi-level representation of terrain features on a contour map. Geoinformatica, DOI 10.1007/s10707-012-0153-z.

[Guilbert et Lin, 2007] Guilbert, E. et Lin, H. (2007). Isobathymetric Line Simplification with Conflict Removal Based on a B-spline Snake Model. Marine Geodesy, 30(1-2) : 169-195.

[Guilbert et Saux, 2008] Guilbert, E. et Saux, E. (2008). Cartographic Generalisation of Lines Based on a B-spline Snake Model. International Journal of Geographical Information Science, 22(8) : 847-870.

[Guilbert et al., 2003] Guilbert, E., Saux, E., et Daniel, M. (2003). A Hierarchical Structure for Locating Intersections in Large Sets of B-spline Curves. In Lyche, T., Mazure, M. L., et Schumaker, L. L., éditeurs, Curve and Surface Design : Saint-Malo 2002, pp 205-214. Nashboro Press.

[Guilbert et al., 2004] Guilbert, E., Saux, E., et Daniel, M. (2004). Snakes et réseaux de barres pour la correction des intersections entre courbes B-splines. In Proceedings des journées du Groupe de Travail en Modélisation Géométrique (GTMG), pp 92-101, Lyon, mars 2004.

[Guilbert et al., 2006] Guilbert, E., Saux, E., et Daniel, M. (January 2006). Conflict Removal between B-spline Curves for Isobathymetric Line Generalization using a Snake Model. Cartography and Geographic Information Science (American Congress on Surveying and Mapping), 33(1) : 37-52.

[Kass et al., 1988] Kass, M., Witkin, A. et Terzopoulos D. (1988). Snakes: Active contour models. International journal of computer vision 1(4) : 321-331.

[Kweon et Kanade, 1994] Kweon, I.S. et Kanade, T. (1994). Extracting topographic terrain features from elevation maps. CVGIP: Image Understanding 59(2) : 171-182.

[Lavoue et al., 2005] Lavoue, G., Dupont, F., et Baskurt, A. (2005). A New Subdivision Based Approach for Piecewise Smooth Approximation of 3D Polygonal Curves. Pattern Recognition, 38(8) : 1139-1151.

[Lichtner, 1979] Lichtner, W. (1979). Computer-Assisted Processes of Cartographic Generalization in Topographic Maps. Geo-Processing, 1 : 183-199.

[Léon et Trompette, 1995] Léon, J. C. et Trompette, P. (1995). A New Approach Towards Free-Form Surfaces Control. Computer Aided Geometric Design, 12(4) : 395-416.

[Li et Sui, 2000] Li, Z et Sui, H (2000). An integrated technique for automated generalization of contour maps. The Cartographic Journal 37(1): 29-37.

- [Lutterkort et Peters, 2000] Lutterkort, D. et Peters, J. (2000). Linear Envelopes for Uniform B-spline Curves. In *Curves and Surfaces*, St Malo, pp 239-246.
- [Lyche et Morken, 1987] Lyche, T. et Morken, K. (1987). Knot Removal for Parametric B-spline Curves and Surfaces. *Computer Aided Geometric Design*, 4 : 217-230.
- [Mackaness et Steven, 2006] Mackaness W. et Steven, M (2006). An algorithm for localised contour removal over steep terrain. *The Cartographic Journal* 43(2) : 144-156.
- [Matuk et al., 2006] Matuk K., Gold C. et Li, Z. (2006). Skeleton Based Contour Line Generalization. In Riedl, A., Kainz, W. et Elmes, G. A. éditeurs, *Progress in Spatial Data Handling*, Springer Berlin Heidelberg, pp 643-658.
- [Miller et Laflamme, 1958] Miller, C. et Laflamme, R. A. (1958). The Digital Terrain Model - Theory and Applications. *Photogrammetric Engineering*, 24(3) : 433-442.
- [Mitas et Mitasova, 1999] Mitas, L. et Mitasova, H. (1999). Spatial Interpolation. In Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., et Rhind, D. W., éditeurs, *Geographical Information Systems*, pp 481-492. New York : John Wiley.
- [Morse, 1968] Morse S. P. (1968). A mathematical model for the analysis of contour line data. *Journal of the Association for Computing Machinery* 15(2) : 205-220.
- [Müller, 1991] Müller, J. C. (1991). Generalization of Spatial Databases. In Maguire, D. J., Goodchild, M. F., et Rhind, D. W., éditeurs, *Geographic Information Systems*, volume 1, pp 457-475. London, United Kingdom : Longman Scientific & Technical.
- [Müller et Wang, 1992] Müller, J. C. et Wang, Z. (1992). Area-Patch Generalization : A Competitive Approach. *The Cartographic Journal*, 29 : 137-144.
- [OHI, 1988] OHI (1988). Spécifications de l'OHI pour les cartes marines et régleme nt de l'OHI pour les cartes internationales. Rapport technique n° 250-VI-1988, Organisation hydrographique internationale.
- [Petrie, 1990] Petrie, G. (1990). Modelling, Interpolation and Contouring Procedures. In Petrie, G. et Petrie, T. J. M., éditeurs, *Terrain Modelling in Survey and Civil Engineering*, pp 112-127. London : Whittles Publishing.
- [Pottmann et al., 2002]. Pottmann, H., Leopoldse der S. et Hofer M. (2002). Approximation with Active B-Spline Curves and Surfaces. In *Proceedings of Pacific Graphics 02*, IEEE Computer Society, pp 8-25.
- [Pouliot et al., 2003] Pouliot, J., Lachance, B., Brisebois, A., Rabeau, O., et Kirkwood, D. (2003). 3D Geological Modeling : Are GIS and CAD Appropriate ? In *Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Workshop, WG II/5, II/6, IV/1 and IV/2 Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-dimensional Data Modelling and Analysis*, 7 pages, Québec, Canada.
- [Regnauld et McMaster, 2007] Regnauld, N. et MacMaster, R. B. (2007). A synoptic view of generalisation operators. In Mackaness W., Ruas A. et Sarjakoski L.T. éditeurs, *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*, Elsevier Science, pp 37-66.
- [Ruas et Bianchin, 2002] Ruas, A. et Bianchin, A. (2002). Échelle et niveau de détail. In *Généralisation et représentation multiple*, pp 25-44. Hermes.
- [Safonova et Rossignac, 2003] Safonova, A. et Rossignac, J. (2003). Compressed Piecewise-Circular Approximations of 3D Curves. *Computer-Aided Design*, 35(6) : 533-547.
- [Saux, 1998a] Saux, E. (1998a). B-spline Curve Fitting : Application to Cartographic Generalization of Maritime Lines. In *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Graphics and Visualization (GraphiCon'98)*, pp 196-203, Moscow, Russia, 7-11 september 1998.
- [Saux, 1998b] Saux, E. (1998b). Line Cartographic Generalization. A Mechanical Approach with B-spline Curves for Exaggeration and Displacement Operators. In *Proceedings of the International Conference and Exhibition on Geographic Information (GIS PLANET'98)*, Lisbon, Portugal, 7-11 september 1998 (CD-ROM Proceedings).
- [Saux, 1999] Saux, E. (1999). Lissage de courbes par des B-splines. Application à la compression et à la généralisation cartographique. Rapport de thèse de doctorat, Université de Nantes (France), 21 janvier 1999.
- [Saux, 2003] Saux, E. (January 2003). B-spline Functions and Wavelets for Cartographic Line Generalization. *Cartography and Geographic Information Science (American Congress on Surveying and Mapping)*, 30(1) : 33-50.
- [Saux et Daniel, 2003] Saux, E. et Daniel, M. (November 2003). An Improved Hoschek Intrinsic Parameterization. *Computer Aided Geometric Design (Elsevier)*, Volume 20, Issue 8-9 : 513-521.
- [Saux et al., 2002] Saux, E., Thibaud, R., Devogele, T., Bera, R., et Guilbert, E. (juin 2002). La généralisation des cartes marines, dans *Information Géographique et Aménagement du Territoire : Multi-échelle et Généralisation*, chapter 17, pp 303-318. Edition Hermès, sous la direction d'Anne RUAS.
- [SHOM, 1984] SHOM (1984). Conception, confection, présentation des cartes marines. Rapport technique, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Brest (France).
- [van Kreveld, 1997] van Kreveld, M. (1997). Digital Elevation Models and TIN Algorithms. In van Kreveld, M., Nievergelt, J., Roos, T., et Widmayer, P., éditeurs, *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems, Lecture Notes in Computer Science*, chapter 1, pp 37-78. Springer.
- [Wang et Müller, 1993] Wang, Z.-S. et Müller, J.C. (1993). Complex Coastline Generalization. *Cartography and Geographic Information Systems* 20(2) : 96-106.
- [Wang et Müller, 1998] Wang, Z. et Müller, J.-C. (1998). Line generalization based on analysis of shape characteristics. *Cartography and Geographic Information Systems* 25(1) : 3-15.

[Yan et al., 2012] Yan, J., Guilbert, E. et Saux, E. A conceptual model for submarine feature description and generalisation in nautical chart production. In Proceedings of the 20th International Conference on Geoinformatics (Geoinformatics 2012), 15-17 June 2012, Hong Kong SAR, China, à paraître.

[Zhang et Guilbert, 2011] Zhang, X. et Guilbert, E. (2011). A multi-agent system approach for feature-driven generalization of isobathymetric line. In Ruas, A. éditeur Advances in Cartography and GIScience. Selection from ICC 2011, Paris, volume 1, Springer, pages 477-495.

Méthode	Représentation	Stratégie	Approche	Principe
[Reumann et Witkam 1974] [Toussaint, 1985] [Imai et Iri, 1986] [Arge et Dæhlen, 1997]	Polygonale	Locale	Compression	Sélection de points
[Williams, 1978] [Sklansky et Gonzalez, 1980] [Opheim, 1982] [Robergé, 1985]	Polygonale	Locale	Optimisation du temps de compression	Sélection de points
[Douglas et Peucker, 1973]	Polygonale	Globale	Compression	Sélection de points
[Ramer, 1972]	Polygonale	Globale	Optimisation du temps de compression	Sélection de points
[Li et Openshaw, 1993] [Wang et Müller, 1998]	Polygonale	Locale	Préservation des points caractéristiques	Sélection de points
[Freeman, 1978] [Thapa, 1989] [Visvalingam et Whyatt, 1990]	Polygonale	Globale	Préservation des points caractéristiques	Sélection de points
[Lafranche et Le Méhauté, 1989]	Bézier	Locale	Compression	Suppression de nœuds
[Lyche et Morken, 1987] [Ecket Hadenfeld, 1995]	B-spline	Locale	Compression	Suppression de nœuds
[Saux et Daniel, 1999]	B-spline	Globale	Compression	Approximation des données
[Saux, 2003]	Ondelettes B-splines	Locale	Compression	Suppression de coefficients de détail

Tableau 1.1 — Classification des différentes méthodes de simplification de données.

Méthode	Technique	Représentation	Opération
[Harrie, 1999] [Sarjakoski et Kilpeläinen, 1999] [Sester, 2000]	Géométrie	Polygonale	Déformations continues
[Fritch, 1997]	Réseau de cables	Polygonale	Lissage
[Saux, 1998a]	Réseau de cables	B-spline	Déplacement
[Guilbert <i>et al.</i> , 2004a]	Réseau de cables	B-splines	Déplacement
[Saux, 2003]	Réseau de cables	Ondelettes B-splines	Lissage
[Bader, 2001]	Poutres élastiques	Polygonale	Déplacement
[Burghardt, 2005]	Contours actifs	Polygonale	Lissage
[Burghardt et Meier, 1997]	Contours actifs	Polygonale	Déplacement
[Steiniger et Meier, 2004]	Contours actifs	Polygonale	Déplacement et lissage
[Guilbert et Lin, 2006] [Guilbert et Lin, 2007]	Contours actifs	B-spline	Lissage
[Guilbert <i>et al.</i> , 2006]	Contours actifs	B-spline	Déplacement
[Guilbert et Saux, 2008]	Contours actifs	B-spline	Déplacement, lissage, agrégation

Tableau 1.2 — Classification des différentes méthodes de minimisation globale.

# DE L'IMAGE SATELLITE À LA SPATIOCARTES MARINE AU SHOM

## LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE : UN OUTIL INCONTOURNABLE POUR LA MISE À JOUR CARTOGRAPHIQUE DU LITTORAL

par l'IEF Jean-Paul Tournay<sup>1</sup> et le TSEF Philippe Quéméneur<sup>2</sup>

### RÉSUMÉ

Pour remplir ses missions d'hydrographie nationale, de soutien à la défense nationale, de soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral, le SHOM a développé un processus rigoureux de traitement d'images satellitaires pour produire des spatiochartes numériques qui décrivent la topographie littorale, la nature des fonds et, lorsque les conditions de prise de vue sont optimales, la bathymétrie des petits fonds.

Au SHOM, toute réédition ou publication d'une carte marine dont l'échelle est supérieure au 1 : 150 000 fait l'objet de travaux de télédétection satellitaire ou de photogrammétrie aérienne. Ces techniques sont devenues incontournables pour la mise à jour de la cartographie du littoral.

Couplées aux autres sources de données hydrographiques et cartographiques, les spatiochartes du SHOM sont des cartes numériques lisibles dans tout SIG (système d'information géographique).

Les nouvelles techniques de télédétection satellitaire, associées aux énormes possibilités des systèmes SIG, ouvrent le monde de la mise à jour cartographique numérique.

### ABSTRACT

*To fulfil its missions regarding national hydrographic service, defence service and support to government maritime/littoral policies, SHOM developed a rigorous satellite image processing to produce digital "spatiocharts" that depict the coastal topography, the seabed nature and, if the viewing conditions are optimum, bathymetry of shallow waters.*

*At SHOM, every publication of a nautical chart, with a scale greater than 1:150000, needs satellite remote sensing or aerial photogrammetric work. These techniques became essential to update coastal nautical charts.*

*Coupled with the other hydrographic and cartographic data, the SHOM's spatiocharts are digital charts readable in any geographic information system.*

*The new developing techniques in remote sensing, combined with the huge possibilities of GIS system, open the digital updating cartography world.*

<sup>1</sup> Responsable du bureau traitement d'images du SHOM 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex (jean-paul.tournay@shom.fr)

<sup>2</sup> Télédécteur au bureau traitement d'images du SHOM 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex (philippe.quemeneur@shom.fr)



## SHOM : EXPERT EN ENVIRONNEMENT MARIN ET LITTORAL

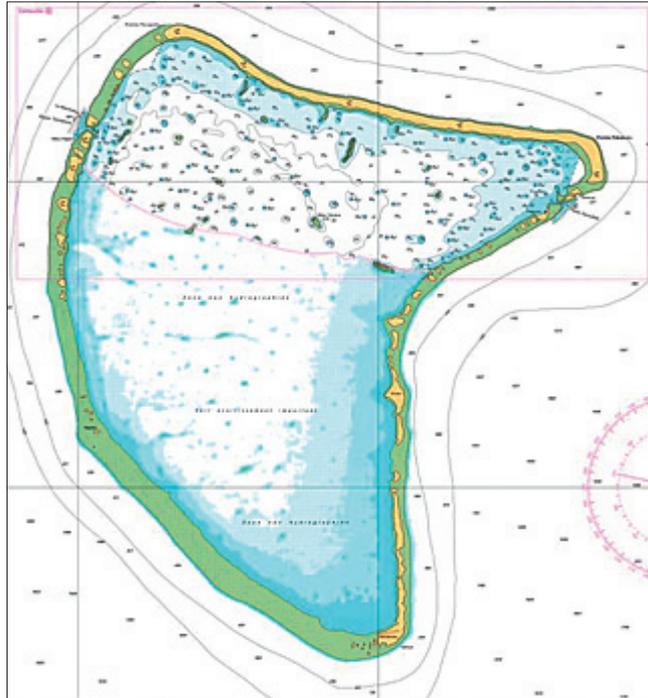
Le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) est mandaté par l'État français, pour assurer la responsabilité de la publication des cartes marines et documents nautiques.

Pour remplir ses missions d'hydrographie nationale (sécurité de la navigation), de soutien à la défense nationale, de soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral, et répondre aux besoins de ses clients (cartographie/expertise en environnement marin et littoral), le SHOM a développé un processus rigoureux de traitement d'images pour produire des spatiocartes marines numériques qui décrivent la topographie littorale, la nature des fonds et, lorsque les conditions de prise de vue sont optimales, la bathymétrie (profondeur) des petits fonds.

### LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE EST INCONTOURNABLE POUR LA CARTOGRAPHIE

Depuis 1995 l'imagerie satellitaire fait partie des sources de données utilisées par le SHOM pour l'élaboration des cartes marines. L'utilisateur ne le perçoit pas toujours car les informations issues des satellites sont, après interprétation, reproduites avec le graphisme de la cartographie classique.

Avec les spatiocartes marines, la donnée spatiale devient la base de la carte. Par exemple, l'analyse des images satellitaires permet au SHOM de réactualiser les cartes marines couvrant l'ensemble des îles et des atolls français du Pacifique Sud.

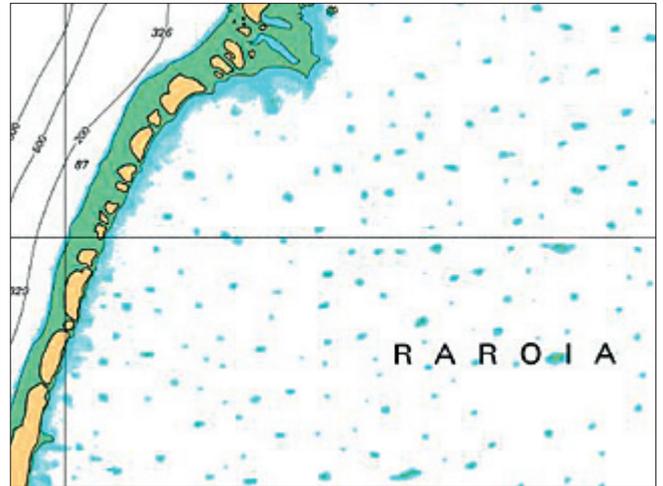


Carte marine SHOM 7458 sur l'atoll d'Aratika. La partie sud est issue de la télédétection satellitaire (la partie nord provient des levés hydrographiques classiques).

Au 1<sup>er</sup> janvier 2012, le bureau traitement d'images du SHOM a rédigé plus d'une centaine de spatiocartes dans le

cadre de quatre-vingt sept levés satellitaires (campagne de mesures) et mené deux cent trente deux expertises au profit de ses divers clients.

Au SHOM, toute réédition ou publication d'une carte marine dont l'échelle est supérieure au 1 : 150 000 fait l'objet de travaux de télédétection satellitaire ou de photogrammétrie aérienne. Ces techniques sont devenues incontournables pour la cartographie (en complément des autres sources de données).



Extrait de la carte marine SHOM 7457 sur l'atoll de Raroïa, issue de la télédétection satellitaire.

### DES SPATIOCARTE NUMÉRIQUES POUR LES SYSTÈMES D'INFORMATION CARTOGRAPHIQUE ET GÉOGRAPHIQUE (SIG)

Couplées aux autres sources de données hydrographiques et cartographiques, le SHOM a développé des procédures de traitement d'images satellitaires pour l'élaboration de cartes numériques lisibles dans tout SIG (système d'information géographique) :

- spatiocarte marine numérique ;
- spatiocarte topographique numérique.

La spatiocarte numérique du SHOM est une base de données (sur dvd-rom) composée de couches d'informations cartographiques, vecteurs et raster (trait de côte, estran, nature des fonds, zone de profondeurs bathymétriques, ...). Tous les SIG peuvent lire ces spatiocartes numériques.

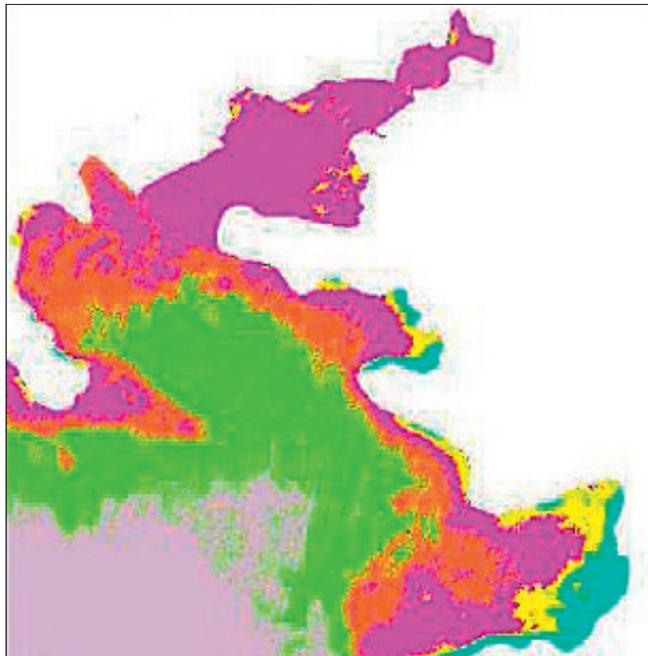
Grâce aux possibilités du SIG, ces spatiocartes sont multi-échelles : elles permettent à la fois une vue de situation globale et des vues locales (apport du zoom), et peuvent être tracées sous forme de cartes analogiques (papier), en fonction du besoin du demandeur. Elles répondent donc particulièrement bien aux besoins des différents clients en matière d'aide à la décision et à la gestion de crise en milieu littoral.

### UN PROCESSUS RIGOREUX ET UNE GRANDE EXPÉRIENCE AU SHOM

La production d'une spatiocarte marine à partir de calculs basés sur des images satellitaires est un processus com-

plexe, demandant de bonnes connaissances en télédétection, traitement d'images, géodésie, cartographie et hydrographie (bathymétrie, topographie littorale, sédimentologie des fonds, ...).

Depuis 1986, la cellule télédétection du SHOM a mené des recherches, a développé un processus rigoureux de traitement d'images, a amélioré ses outils et ses compétences.



Modèle bathymétrique brut calculé sur une image satellitaire

### RIGUEUR DES TRAITEMENTS

Répondre au mieux à la demande d'un client nécessite d'exclure toute improvisation ou amateurisme : il faut faire des choix judicieux qui impacteront la qualité de la spatio-carte et son utilisation future par l'utilisateur.

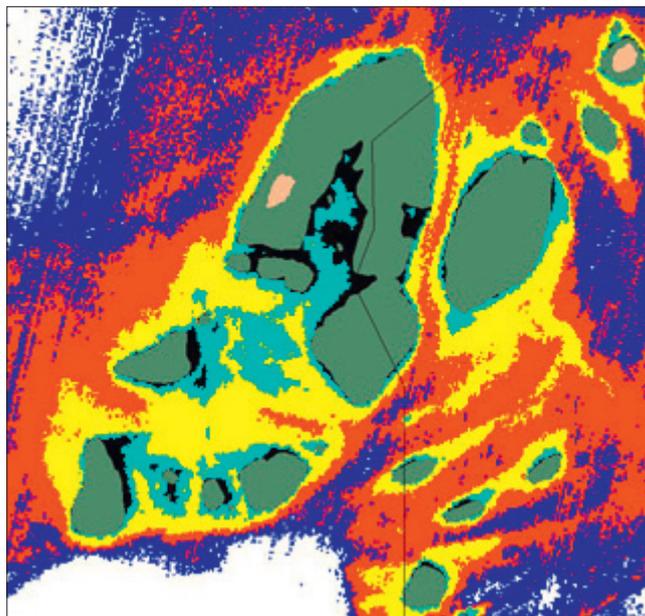
On peut citer les quelques exigences suivantes :

- choisir les bonnes images satellitaires ;
- soigner les travaux "terrain" de spatiopréparation ;
- choisir la bonne méthode de rectification géométrique des déformations de ces images ;
- choisir les bonnes données exogènes (cartes marines, points d'appui géodésiques, sondes de calage, ...) ;
- appliquer les bons traitements d'images (la simple photo-interprétation ne suffit plus en télédétection satellitaire sous-marine).

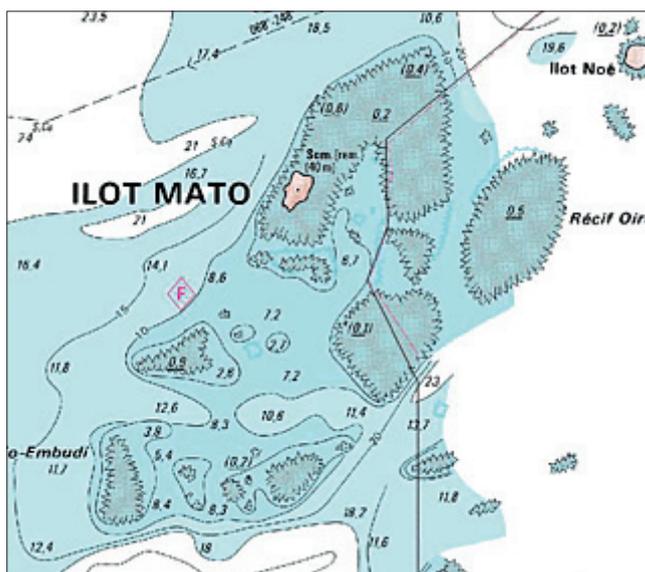
Au SHOM, la rigueur des traitements (pour obtenir la qualité de spatio-carte répondant au besoin) n'est possible que par l'expérience acquise :

- lors des chantiers de télédétection "réguliers" (cartographie marine SOLAS, ...) ;
- lors des soutiens à la défense (opérations extérieures au Liban, à Anjouan, à Conakry, piraterie en Somalie, crash en mer de l'avion de la Yemenia Airlines au large de la Grande-Comore, opération humanitaire en Haïti, opération Licorne en Côte d'Ivoire, ...) ;

- lors de la veille technologique régulière, des études et expertises.



ACP sur l'image satellitaire



Extrait de la carte marine SHOM 6827

### ENTREtenir ET DÉVELOPPER UN RÉSEAU D'EXPERTS TECHNIQUES

Dans le cadre de sa mission de soutien à la défense, la rapidité de réponse du SHOM n'est possible que parce que le bureau traitement d'images entretient régulièrement (hors temps de crise) un réseau d'experts techniques avec ses partenaires (internes et externes) :

- le fournisseur d'imagerie civile (Astrium Geo-Information Services) ;
- le point contact défense et l'atelier de traitement géométrique du centre militaire d'observation par satellites ;
- le centre de renseignement marine ;

- l'établissement géographique interarmées ;
- le département cartographie du SHOM ;
- le centre de fusion de données du SHOM.

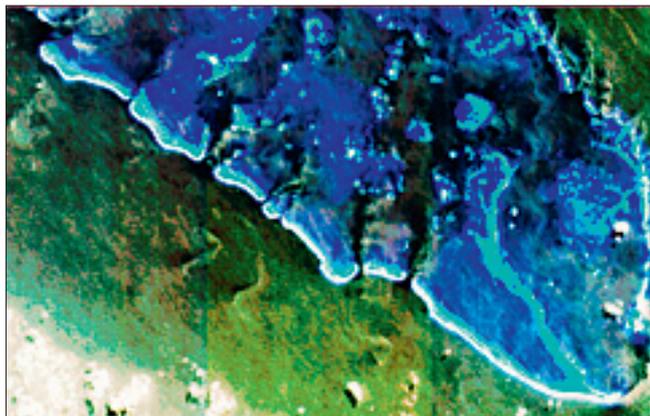
## ÉTAPES MAJEURES DE LA SPATIOCARTE MARINE DU SHOM

### L'acquisition des images satellitaires, une étape primordiale pour la qualité

Les images utilisées par le SHOM proviennent de différents satellites civils et militaires (Spot 5, Quickbird, GeosEye-1, ...) dont les différentes caractéristiques couvrent tous les besoins nécessaires à la cartographie côtière.



*L'image panchromatique, avec sa haute résolution spatiale, est utile pour cartographier les détails de la topographie littorale mais elle "voit" mal dans l'eau.*



*Les bandes Bleu, Verte et Rouge de l'image multispectrale (avec une moins bonne résolution spatiale mais une meilleure pénétration dans l'eau) permettent de détecter les obstructions sous-marines, de discriminer la nature des petits fonds et de modéliser la bathymétrie (lorsque les conditions de prise de vue sont optimales).*

Le SHOM acquiert des images brutes pour y appliquer ses propres modèles de correction et de calcul bathymétrique.

**NB** : l'une des forces du SHOM est son accès à la fois à toute l'imagerie satellitaire civile mais aussi à l'imagerie satellitaire

de la défense nationale, ce qui lui permet de recouper, calibrer, contrôler et qualifier l'information.

### La spatiopréparation

Le SHOM effectue une campagne de mesures sur le terrain, la "spatiopréparation", afin d'acquérir des données géodésiques et bathymétriques qui calibreront ses traitements d'images.



*Lors de la prise de vue, l'image satellitaire est déformée par divers facteurs (roulis, tangage, lacet, altitude, ... et d'autres paramètres orbitographiques). Pour corriger ces déformations, on a besoin de quelques mesures géodésiques réelles, prises sur le terrain (points d'appui GPS précis).*



*Pour calibrer le modèle bathymétrique, issu de la réflexion de la lumière sur le fond marin (mesurée par le satellite), quelques sondes bathymétriques réelles sont nécessaires (elles sont mesurées sur le terrain par un sondeur hydrographique).*

La spatiopréparation est une étape cruciale. Si elle est bâclée, il sera impossible de calibrer correctement les traitements d'images. De sa qualité dépend celle de la future spatiocarte.

### La rectification géométrique des images

Lors de la prise de vue par le satellite, l'image est déformée par plusieurs facteurs (les variations en roulis, tangage, lacet et en altitude, la rotation et la courbure de la terre, l'angle de prise de vue, etc.). Ces déformations ne sont pas constantes à l'intérieur de l'image et atteignent plusieurs kilomètres en absolu (par rapport à la "vérité terrain").



Image brute

A l'intérieur de l'image brute, les déformations ne sont pas constantes et génèrent une large erreur planimétrique absolue (plusieurs km), qui fausserait la cartographie.



Image rectifiée

Le SHOM utilise les paramètres orbitographiques (fournis par le satellite) et les mesures géodésiques "terrain" pour modéliser et corriger les déformations.

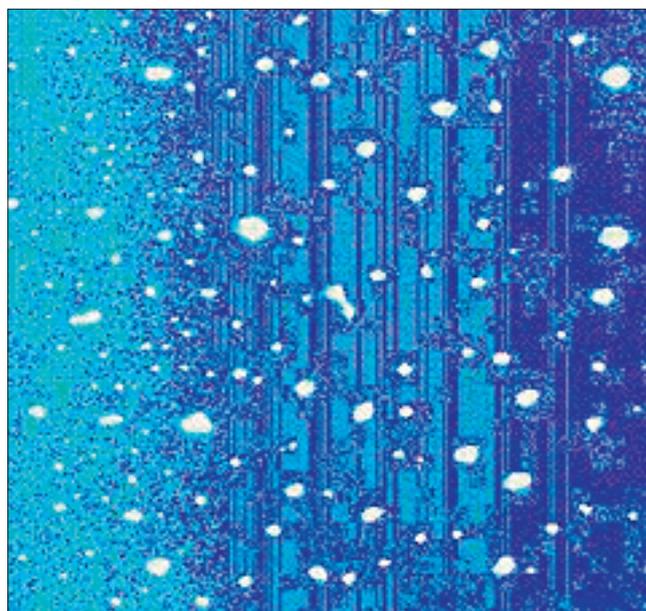
Le SHOM corrige l'image satellitaire des déformations géométriques, dues à la prise de vue (dans un bloc de spatiosélectographie, en modélisant les paramètres d'orbitographie et d'attitude du satellite, puis en affinant ce modèle d'orbitographie à partir de points d'appui GPS levés précisément sur le terrain). Il projette l'image dans la projection cartographique de la future spatio-carte (cinq points d'appui GPS, correctement répartis sur l'image brute, permettent de la rectifier avec une précision planimétrique absolue de 10 m).

## Le délignage

Sur certaines images satellitaires il peut subsister, après étalonnage des capteurs, un bruit instrumental qui apparaît sous forme de traces rectilignes (lignage). Ce bruit est dû aux légères différences existant entre les barrettes de détecteurs ou à un incident ponctuel d'acquisition.

Le bruit instrumental est un défaut préjudiciable pour le calcul bathymétrique. La faible dynamique des images dans le domaine maritime (un niveau de radiométrie sur l'image "Verte" correspond à une dénivellée de plus de 2 mètres pour des profondeurs de 15 mètres) engendre une grande sensibilité du calcul bathymétrique vis-à-vis du bruit. Il faut donc "nettoyer" ce bruit avant de calculer la bathymétrie à partir de cette image satellitaire.

Les algorithmes usuels d'élimination de ce bruit sont trop sévères et risqueraient de faire disparaître les petits pâtés coralliens immergés. Aussi, le SHOM applique sa propre méthode (rigoureuse) pour lisser le bruit tout en conservant l'information sur les petites obstructions immergées.

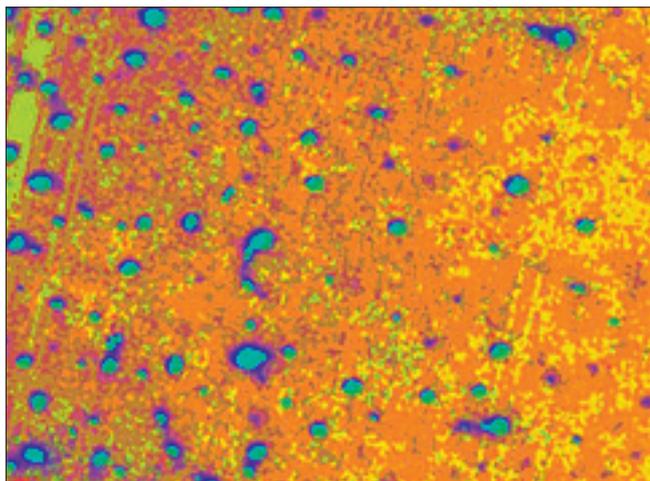


Exemple de bruit instrumental (lignage vertical) qu'il faut "nettoyer" sans lisser les pâtés coralliens (tâches blanches). Cela demande une méthode rigoureuse contrôlée par un hydrographe.

## Les traitements préliminaires

Le SHOM effectue une douzaine de traitements préliminaires afin de rehausser l'image et appréhender sa richesse. Ces traitements permettent d'accentuer la limite terre/mer, de faire ressortir la végétation, de mieux décrire la géomorphologie des petits fonds, de mettre en évidence les changements de pente et de nature du fond marin, de faire apparaître des objets peu visibles dans l'image d'origine, etc.

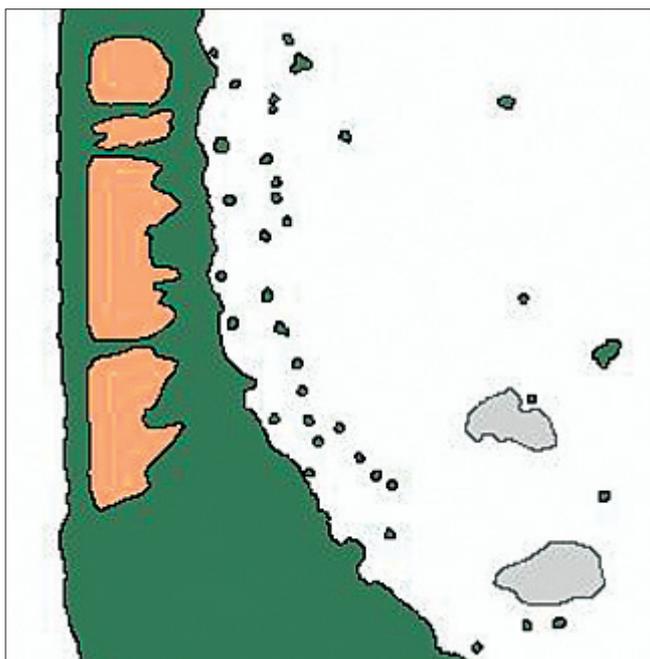
Ils nécessitent l'utilisation d'algorithmes automatiques et semi-automatiques dans un logiciel de traitement d'images performant.



Exemple : détection des dangers sous marins pour la navigation (ici, des pâtés coralliens sur le fond marin) issue d'une "analyse en composantes principales".

### Le calcul des masques "terre", "estran", "nuages + ombres"

Des masques "terre", "estran", "nuages + ombres" sont extraits des résultats des traitements préliminaires.



Extrait de la spatiocarte sur l'atoll de Tahanea : terre (bistre), estran (vert), nuages (gris)

### La photo-interprétation des objets topographiques (installations portuaires, ...)

En traitement d'images, il existe deux grandes familles de techniques pour extraire de l'information :

- les traitements d'images automatiques : calculs sur la valeur radiométrique du pixel avec des algorithmes automatiques ou semi-automatiques (traitements préliminaires,

analyse en composantes principales, classifications supervisées, seuillages, filtrages, analyse spectrale, modélisation bathymétrique, etc.) ;

- la photo-interprétation manuelle : visuellement, un interprète dessine les objets dont il a besoin.

En général, les traitements d'images automatiques sont plus performants pour effectuer des calculs complexes et restituer les objets surfaciques ou invisibles à l'oeil nu. Ils "voient" plus d'objets que l'oeil humain (notamment, sous l'eau).

Par contre, pour restituer les objets linéaires et ponctuels, il est souvent plus rapide de les photo-interpréter manuellement (dessin sur l'image).



Photo-interprétation en cours du port de Djibouti (trait de côte, quai, digue, citernes, ...)

### La modélisation bathymétrique

Pour estimer la bathymétrie (profondeur de l'eau) en calculant un modèle à partir d'une image satellitaire, il faut qu'une certaine quantité de lumière solaire atteigne le fond marin puis soit réfléchi, à travers l'eau et l'atmosphère, jusqu'au satellite. Seules certaines zones littorales remplissent ces conditions.

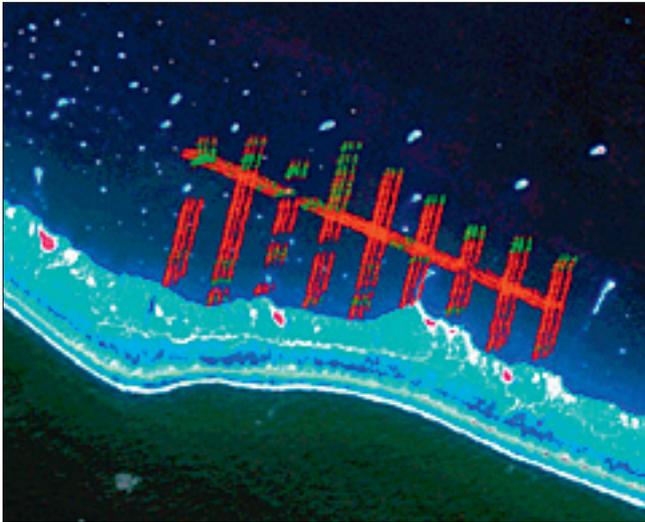
En outre, l'estimation de la bathymétrie par le calcul d'un modèle n'est possible **que si les conditions de prises de vue satellitaires sont optimales**. Rares sont les images de qualité "bathymétrique".

La bathymétrie ne peut donc être calculée que :

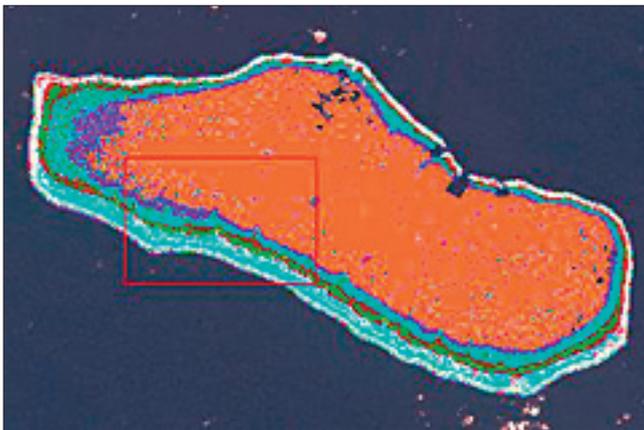
- dans certaines zones littorales non nuageuses où les eaux sont claires, peu profondes ;
- si les conditions de prises de vue satellitaire sont optimales :
  - prise de vue en quasi-vertical ;
  - en poussant les gains d'amplification des canaux qui pénètrent dans l'eau ;
  - sans voile nuageux (même quasi-transparent) ;
  - sans bruit surfacique dû à la houle et aux vagues (prise de vue par mer calme) ;

- si possible, avec le soleil au plus haut sur l'horizon (angle du site solaire le plus important).

Le modèle utilisé au SHOM est basé sur celui de Lyzenga, mais calibré avec quelques sondes bathymétriques réelles (issues de la spatiopréparation).



Des profondeurs réelles (sondes bathymétriques), correctement choisies sur une petite zone adéquate de l'image, permettent de déterminer les meilleurs coefficients de calibration à appliquer.



Puis ces coefficients de calibration sont utilisés sur l'ensemble de l'image pour calculer le meilleur modèle bathymétrique (profondeur de l'eau réduite de la marée).

### Élaboration de la spatiocarte numérique et contrôle qualité

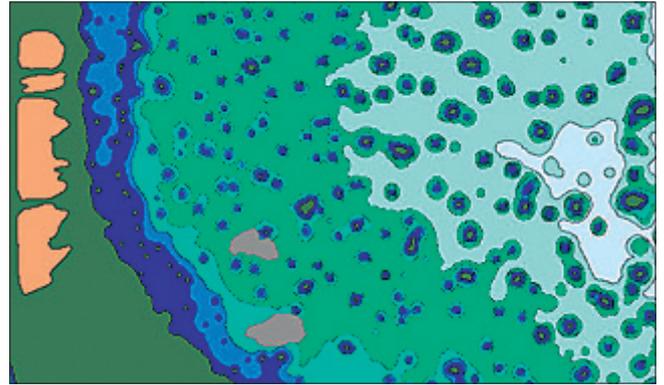
Tous les résultats des traitements d'images sont vectorisés et importés dans un système d'information géographique SIG.

Les masques "terre", "estran", "nuages + ombres", le modèle bathymétrique et les couches topographiques sont rassemblés en une carte thématique : la spatiocarte numérique.

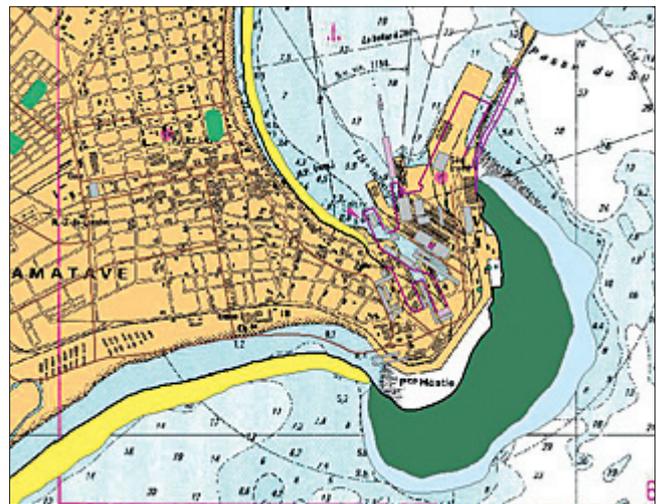
Tous les objets de chaque couche d'information sont contrôlés et qualifiés.

Au SHOM, le département cartographie utilise les spatiocartes numériques pour améliorer la qualité des cartes marines existantes ou pour en publier de nouvelles.

Cette nouvelle carte est prête à être lue par le client/utilisateur dans son système, avec ses propres couches d'informations.



Extrait de la spatiocarte du SHOM S201007000 de l'atoll de Tahanea : couches vectorielles chargées dans un SIG.



Exemple de différences entre la spatiocarte et l'ancienne carte marine 6150 sur Toamasina. Madagascar n'ayant plus été cartographié depuis les années 60/70 (avec des techniques moins précises), la carte marine est déformée (problèmes de translation et d'échelle). La télédétection satellitaire est l'outil idéal pour résoudre facilement ces problèmes et remettre à jour rapidement cette carte.

### LA QUALITÉ DU MODÈLE BATHYMÉTRIQUE

Si les conditions de prise de vue satellitaire sont optimales et si la zone littorale s'y prête, alors le SHOM peut calculer un modèle bathymétrique cohérent (il existe de nombreux cas où il est impossible de calculer un modèle bathymétrique cohérent).

En eau claire et peu profonde, le modèle bathymétrique est globalement cohérent jusqu'à 15 m, puis il se dégrade jusqu'à 20 ou 25 m. Au delà, la lumière reflétée par le fond est trop faible pour être traitée correctement.

- Le modèle est cohérent sur les fonds plats et à faible gradient de pente.
- Sa qualité décroît sur les forts gradients de pentes et les pinâcles (pâtes) coralliens (car la forte pente ne réfléchit pas correctement la lumière vers le satellite, et le

corail vivant absorbe la lumière). Ces pinâcles coralliens représentant des dangers pour la navigation, le SHOM les rehausse et les élargit sur ses spatiocartes.

- Dans les eaux turbides, le modèle bathymétrique est faux (par exemple, dans les passes d'un atoll, le courant génère de la turbidité qui perturbe le calcul du modèle bathymétrique). Une telle zone est masquée sur la spatiocarte.

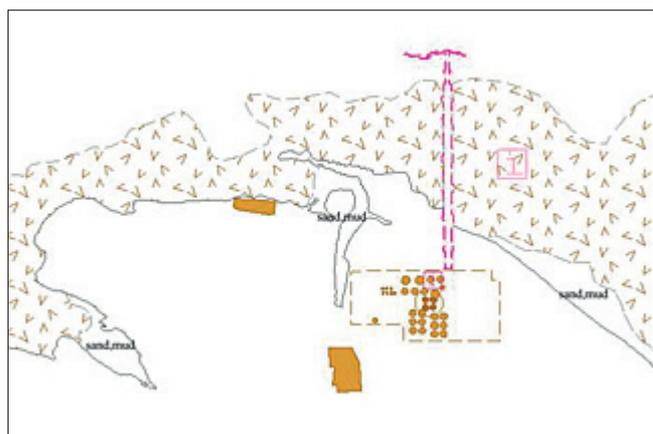
Pour un atoll homogène (comme celui d'Ouvéa en Nouvelle-Calédonie) l'erreur relative est inférieure à 10% pour les profondeurs entre [5-20] mètres (avec un indice de confiance de 85%), et peut atteindre 30% pour les profondeurs entre [0-5] mètres. Cette augmentation peut être due à une plus forte pente et à des natures de fond plus hétérogènes, mais aussi à une moindre pertinence de l'indicateur d'erreur relative pour les très petits fonds (le principe même du calcul de l'erreur relative en pourcentage de la profondeur induisant un accroissement automatique de cette erreur pour les très petits fonds. Dans ce cas, l'erreur absolue entre le modèle bathymétrique et les sondes réelles, est un indicateur plus pertinent).

### LA BDTIS

En 2011, le bureau traitement d'images du SHOM a mené des tests de mise en place d'une base de données traitement d'images sous Caris HPD (BDTIS = Base de données des traitements d'images satellitaires du SHOM).

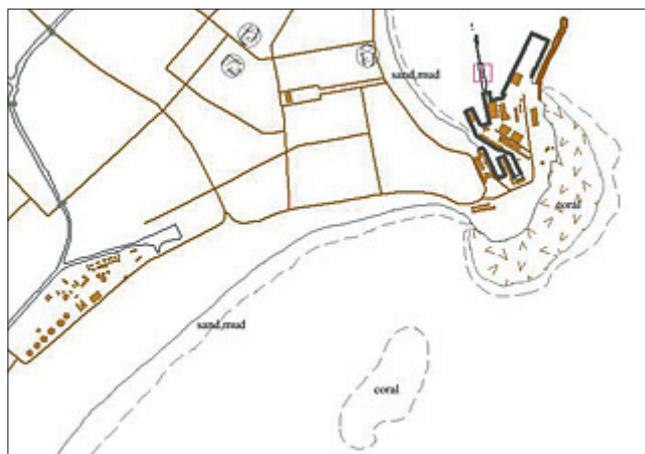
Cette base de données permettra de convertir tous les vecteurs topo-bathymétriques issus des traitements d'images satellitaires (spatiocartes), en objets cartographiques S-57, contrôlés et qualifiés.

Ces tests sont concluants. Menés en collaboration avec le projet INFRAGEOS, ils ont permis l'intégration des quatre premières spatiocartes en objets topo-bathymétriques S-57, dans la BDTIS "test".



Extrait de la BDTIS sur le terminal pétrolier de Doralé (Djibouti)

En 2012, ce travail sera poursuivi avec pour objectifs de créer le schéma définitif de la base de données et de commencer à l'alimenter, en convertissant toutes les spatiocartes existantes en objets S-57. Le lancement de ce travail de fond est tributaire de la mise en service de la BDGS-2 par le projet INFRAGEOS.



Extrait de la BDTIS sur Toamasina (Madagascar)

### LES PRODUITS LIVRABLES

Le SHOM peut fournir ses spatiocartes sous diverses formes, selon le besoin et la préférence du client. Ce sont par ordre croissant de complexité et donc de temps de traitement :

- spatiocarte raster au format PDF, JPG ou GeoTiff, lisible par tout éditeur numérique ;
- carte papier ;
- spatiocarte vectorielle en Shapefile (un fichier vecteur Shapefile par thème cartographique, avec les attributs S-57 parfaitement renseignés dans sa table attributaire). Cette spatiocarte vectorielle est lisible dans tous les systèmes d'information géographique SIG ;
- spatiocarte vectorielle d'objets cartographiques au format S-57, lisible dans les systèmes d'information cartographique.

### CONCLUSION

La télédétection satellitaire au bureau traitement d'images du SHOM est un outil majeur pour mettre à jour la cartographie marine du littoral.

Le traitement d'images satellitaires, dans les zones où les eaux sont claires (non turbides), fournit une méthode à moindre coût pour compléter une carte ancienne ou parcellaire.

Malgré ses limites et contraintes (notamment lors de la prise de vue satellitaire), le modèle bathymétrique permet au SHOM de cartographier la géomorphologie des fonds en eaux claires, peu profondes, et de découvrir de nouveaux dangers.

Même lorsqu'il est impossible de calculer un modèle bathymétrique cohérent, la télédétection satellitaire apporte des informations utiles sur la topographie littorale et la nature des petits fonds (trait de côte, installations portuaires, nature de l'estran, banc de sable, fond rocheux ou sableux, embouchure des fleuves et rivières, etc.).

La spatiocarte marine numérique du SHOM fournit de nombreuses informations cartographiques sur la topographie côtière et les dangers sous-marins, en les positionnant avec

une précision planimétrique absolue inférieure à 20 mètres (un exemple parmi d'autres : dans l'atoll de Rangiroa, un chenal d'accès à une île touristique a d'abord été détecté sur une spatiocarte, avant d'être contrôlé au sondeur par les hydrographes du SHOM, permettant ainsi l'accès aux paquebots).

Les nouvelles techniques de télédétection satellitaire, associées aux énormes possibilités des systèmes SIG, ouvrent le monde de la mise à jour cartographique numérique. Dans ce contexte, la spatiocarte marine numérique du SHOM est un outil d'aide à la décision pour tous les intervenants sur le littoral (cartographes, décideurs en matière d'aménagement portuaire, de lutte anti-pollution, d'hydrographie, de conduite des politiques publiques maritimes et du littoral, décideurs opérationnels de la défense, ...).

Pour répondre à la production de spatiocartes marines sur des vastes chantiers (pour des clients multiples) il faut disposer d'un nombre de télédéTECTEURS suffisants, ayant une forte expérience en hydrographie, télédéTECTION satellitaire et spatiocarte marine. Avec plus d'une centaine de spatiocartes produites par le bureau traitement d'images, le SHOM dispose de cette forte expérience, et il continue à développer son réseau d'experts techniques qualifiés.

#### UNE EXPÉRIENCE DE 26 ANS EN QUELQUES DATES

**1986** : le SHOM démarre l'étude de l'apport possible de la télédéTECTION satellitaire à l'hydrographie et à la cartographie marine. Il en résultera le développement du modèle bathymétrique, calculé à partir d'une image satellitaire.

**1994** : création et installation du bureau traitement d'images (satellitaires) du SHOM ; test de la chaîne de production de spatiocartes.

**1995** : début des activités de production du bureau traitement d'images (la chaîne de production de spatiocartes n'a jamais cessé, depuis, et continue de s'améliorer en permanence). Au 1<sup>er</sup> janvier 2012, plus d'une centaine de spatiocartes ont été rédigées, dans le cadre de quatre vingt sept levés satellitaires.

**1996** : première cartographie rapide à partir de la télédéTECTION satellitaire dans le cadre du soutien à la défense (REA).

**2003** : élaboration de la première spatiocarte numérique lisible dans un SIG (la spatiocarte analogique sur film polyester continue néanmoins à être fournie en double).

**2006** : soutien à la défense pour l'opération BALISTE au Liban.

**2007** : passage au "tout numérique" (les spatiocartes analogiques sont abandonnées ; seules les spatiocartes numériques, lisibles dans un SIG, sont désormais livrées au département cartographie du SHOM).

**mai 2007** : refondation du SHOM en établissement public administratif (EPA). Ce nouveau statut lui permet, notamment, de répondre à des appels d'offre de clients externes à la défense nationale (jusqu'à 2007, en tant que service de la

marine nationale, il ne pouvait répondre qu'à des demandes de l'État et de la défense).

**2008** : spatiocartes pour le soutien à la défense contre la piraterie en Somalie.

**2009** : spatiocartes pour le soutien à l'action de l'État en mer (AEM) lors de la recherche de l'épave de l'avion A310 de la Yemenia airlines, au large de l'île Grande-Comore.

**2010** : carte terre/mer satellitaire pour le soutien à l'opération humanitaire en Haïti.

**2011** : élaboration, expérimentation et test de la base de données BDTIS (base de données des traitements d'images satellitaires du SHOM). Cette base de données, en attente de décision de mise en service, permettra d'intégrer en objets cartographiques S-57, les vecteurs topo-bathymétriques des spatiocartes.

#### BIBLIOGRAPHIE

**LYZENGA D.R. - 1978** – "Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features" (Applied Optics, vol. 17 n° 3 : 277-284).

**TANIS F.J. - 1982** – "Radiance calculations for optimization of sensors designed for remote bathymetry" (Rapport technique final, Naval Research Laboratory, microfiche AD-A 117 743).

**BOURGOIN J. - 1983** – "La télédéTECTION en hydrographie" (Géomètre, n° 10 : 42-51).

**GUILAM Y. - 1984** – "Utilisation des données d'une simulation SPOT pour l'étude bathymétrique d'une région corallienne" (Projet de fin d'étude, ENSIETA : 34 P).

**JOY RT. - 1984** – "An assessment of the potential role of multispectral imagery in bathymetric charting" (Thèse, Naval postgraduate school, Monterey-California, microfiche AD-A 152 460).

**LE GOUIC M. - 1985** – "Etude des applications bathymétriques d'un radiomètre canal bleu embarqué sur satellite, à partir des données d'une simulation aéroportée ; Nouvelle-Calédonie – décembre 1983" (rapport d'étude n° 0002/85 EPSHOM : 21 P).

**LYZENGA, D.R. - 1985** – "Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data" (Int. J. Remote Sensing 6, 115-125).

**FOURGASSIÉ A. - 1986, 1987** – "Hydrographie et télédéTECTION" (fond documentaire SHOM – T.A.P.86-22 et 87-22).  
**LE GOUIC M. - 1987** – "Utilisation de SPOT en hydrographie" in "SPOT 1, Utilisation des données, Bilan, Résultats" (CNES Ed. : 1063-1068).

**JAMES F., DUBOIS G, GARLAN T. - 1990** – "Rectification géométrique des images SPOT par modélisation de la prise de vue" (fond documentaire SHOM – RE.05/90).

**GARLAN T., LE VISAGE C. - 1990** – “The nautical space chart. A solution for unsurveyed coastal regions?” (fond documentaire SHOM – E.7151).

**FOURGASSIÉ A. - 1992** – “La spatiocarte marine, une solution pour la cartographie des atolls polynésiens” (fond documentaire SHOM – CN-1990).

**BIERWIRTH P.N., Lee T.J., BURNE R.V. - 1993** – “Shallow sea-floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery” (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Journal vol. 59:3).

**TOURNAY JP - 2001** – “L’apport de la télédétection à la cartographie marine” (la lettre du SHOM 2001).

**EVEN M., TOURNAY JP. - 2001** – “Satellite image in south Pacific” (Conférence Hydrographique du Pacifique SW 2001).

**LE GOUIC M., EVEN M., TOURNAY JP. - 2004** – “Hydrographic use of satellite imagery in south Pacific” (Hydro-International - juin 2004, vol. 8 n° 5).

**LYZENGA D.R., MALINAS N.P., TANIS F.J. - 2006** – “Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm” (Geoscience and Remote sensing, IEEE Transactions, vol. 44, issue 8 : 2251-2259).

**SHOM/DSPRE/COM - 2007** – “Exemple d’apport des spatio-cartes du SHOM au soutien des forces interarmées” (la lettre du SHOM 2007).

**TOURNAY JP. - 2007** – “Les spatiocartes numériques du SHOM : des sources d’information qualifiées pour les SIG” (bulletin de l’AMHYDRO 2008).

**TOURNAY JP. - 2010** – “Haïti - apport de la télédétection satellitaire lors du soutien du SHOM à l’opération humanitaire” (bulletin de l’AMHYDRO 2011).



# CARTOGRAPHIE MARINE ET INFORMATIQUE

## LES SYSTÈMES INFORMATIQUES POUR LA RÉDACTION DES CARTES MARINES (PAPIER ET ÉLECTRONIQUE)

par Eric Le Guen, ingénieur d'études et de fabrications en cartographie<sup>1</sup>  
et Georges Dubois, ingénieur en chef des études et technique de l'armement<sup>2</sup> du SHOM

### RÉSUMÉ

Le SHOM produit des cartes marines papier et électroniques pour assurer la sécurité des navigateurs. Dès l'apparition des calculateurs et des outils informatiques, ces moyens ont été utilisés dans le processus de rédaction des documents nautiques. Dans un premier temps, il s'agissait d'assister la rédaction des cartes marines papier mais l'arrivée de la carte électronique de navigation a nécessité l'adaptation de cet outil de production vecteur. Aujourd'hui un système d'édition raster complète efficacement cet ensemble et permet de progresser vers le « tout numérique ». Mais le SHOM ne compte pas en rester là et les systèmes de rédaction du futur sont déjà en cours d'étude et de réalisation.

### ABSTRACT

*SHOM produces nautical charts, both in paper and electronic versions, to ensure the safety of life at sea. Right from the development of calculators and computer-assisted tools, these were used in the nautical publication production processes. At the beginning, they only assisted the drawing of paper charts but the advent of the electronic navigational chart required a necessary evolution of these production vector tools. Today, a raster editing system fully completes this set of tools and enables progress towards the "all digital". SHOM wants to go further into the future. New systems have already been investigated and are ready to be implemented.*

<sup>1</sup> IEF chef du bureau « méthodes et systèmes de production » (SYSPROD) du département cartographie du SHOM  
eric.le.guen@shom.fr

<sup>2</sup> ICETA chef du projet SPCO de la direction technique, de la recherche et de l'innovation (DTRI) du SHOM  
georges.dubois@shom.fr



# 1. LE SHOM ET LA CARTE MARINE

## 1.1 Le SHOM

Le SHOM, service hydrographique français, est l'héritier du premier service hydrographique officiel du monde. Il a pour vocation de garantir la qualité et la disponibilité de l'information décrivant l'environnement physique maritime, côtier et océanique, en coordonnant son recueil, son archivage et sa diffusion, pour satisfaire au moindre coût les besoins publics, militaires et civils. Etablissement public et administratif (EPA) depuis 2007, le SHOM assure une mission de service hydrographique national, une mission de service de la défense et une mission de soutien des politiques publiques maritimes de l'Etat. Parmi ses principales activités, citons l'établissement et l'entretien de la documentation nautique générale (cartes et ouvrages nautiques entre autres), l'exécution de travaux à la mer, la réalisation des études hydrographiques et océanographiques nécessaires à l'exercice de ses trois missions.

## 1.2 La carte marine papier

La carte marine, carte thématique de navigation, est une synthèse graphique des renseignements nécessaires au navigateur pour situer son navire à tout instant, déterminer sa future route en toute sécurité et repérer les zones à éviter.

Le portefeuille de cartes marines imprimées du SHOM se compose au 1<sup>er</sup> janvier 2013 de 945 cartes couvrant en particulier les espaces maritimes français et les zones dont la responsabilité cartographique est confiée à la France (zones de l'ex-Union française). Ce portefeuille – 585 cartes originales, 99 cartes de compilation et 261 cartes reproduites en fac-similé – est continuellement mis à jour par de nouvelles publications, éditions ou par avis aux navigateurs.

## 1.3 Les phases d'élaboration des cartes marines papier

Le département de cartographie du SHOM – un peu moins de 60 personnes aujourd'hui – est chargé de l'entretien du portefeuille de cartes marines papier mais aussi de la constitution de celui des cartes électroniques de navigation (ENC) (cf. chapitre 3).

Le processus de réalisation des cartes marines papier (Figure 1) peut se schématiser en trois étapes. Il débute

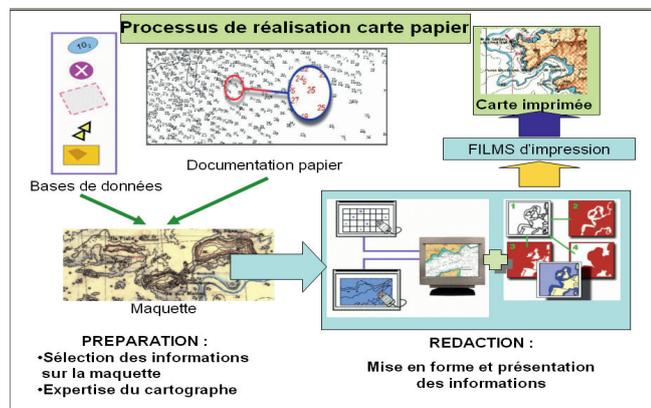


Figure 1 : Processus de réalisation

par une phase de documentation où le cartographe va rechercher les informations (numériques ou analogiques) relatives à la zone à cartographier (levés hydrographiques, cartes topographiques, cartes marines...). Des choix cartographiques sont alors définis. Puis vient la phase dite de préparation pendant laquelle une maquette de la future carte est réalisée par compilation et généralisation des documents. Enfin cette maquette, une fois contrôlée et validée, est mise au propre lors de la phase de rédaction qui permet d'obtenir, après contrôles, les éléments d'impression de la carte marine (pour l'impression offset ou pour l'impression à la demande).

## 1.4 La rédaction des cartes marines avant les systèmes informatiques

La carte marine n'a jamais cessé d'évoluer en fonction des besoins des navigateurs. Les nouvelles techniques dans les domaines de l'hydrographie, de la cartographie et de l'imprimerie ont accompagné au fil du temps ce changement.

Du XVIII<sup>e</sup> siècle jusqu'aux années 1950, les cartes marines sont monochromes, avec une représentation de la bathymétrie à densité variable mais relativement faible et une topographie simplifiée. La rédaction s'effectue alors par gravure à l'envers en taille douce sur une plaque de cuivre. L'impression, un tirage direct à partir des planches gravées, est adaptée à une production en nombre d'exemplaires limité et le peu de mises à jour ne compromet pas la pérennité des matrices. Pour les corriger, la gravure est effacée localement par grattage d'où un léger creusement de la planche qui était ensuite re-planée par martelage au dos. Ce procédé rapide fournit un résultat de bonne qualité mais les matrices se dégradent progressivement au fur et à mesure des corrections.

Des années 1950 aux années 1970, les informations bathymétriques se densifient ce qui entraîne une augmentation du nombre des corrections. Parallèlement les techniques de rédaction et de reproduction évoluent : développement de la photographie, apparition de la couche à tracer, des supports plastiques de grande stabilité (astralon) et de la photocomposition, utilisation des trames... Les matrices cuivre sont alors progressivement abandonnées au profit de l'impression offset permettant des tirages plus importants d'une part et l'utilisation de la couleur d'autre part.

La mise en place de spécifications plus précises pour la présentation des cartes marines – la version française fut adoptée dans les années 1970 et la version internationale en 1982 – a standardisé la représentation des objets des cartes qui pouvaient dès lors être manipulés par des logiciels et dessinés par des traceurs. Il s'agit plus à cette époque d'une assistance au cartographe dans son travail de rédaction et de dessin que d'une automatisation de la cartographie (généralisation, sélections automatiques...).

## 2. LES PREMIERS SYSTEMES : DE CARTAS AU PCI

Dans les années 1960, le Service hydrographique de la marine acquiert ses premiers ordinateurs et franchit un pas vers l'automatisation des procédures d'élaboration des cartes marines. Une table traçante Graphomat permet de

tracer sur une couche à graver le gabarit d'une carte marine (carroyage des méridiens et parallèles et graduations) et d'éviter ainsi au cartographe un travail manuel long et fastidieux. Elle fut remplacée en 1973 par une table traçante Kongsberg (Figure 2) aux performances bien supérieures.

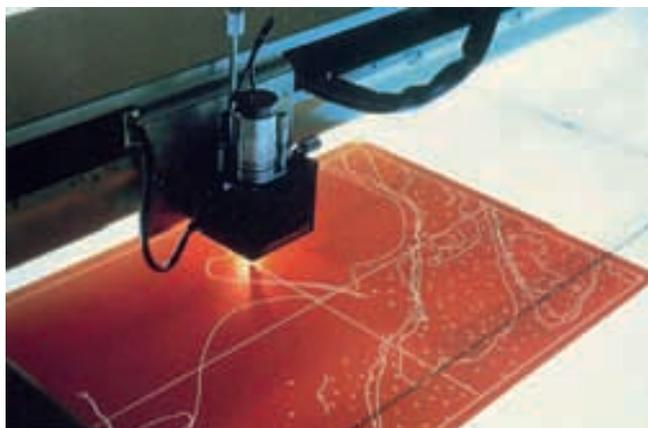


Figure 2 : Table Kongsberg

## 2.1 Le système CARTAS

À la même époque fut lancé un marché d'étude et de faisabilité d'un ambitieux système d'acquisition et de manipulation d'informations cartographiques baptisé CARTAS pour CARTographie ASsistée par ordinateur. En 1974, la société TITN livre un appareil prototype composé d'une console graphique et d'un système optique couplé à un ordinateur (Figures 3 et 4). Le cartographe dispose d'un outil interactif pour le suivi de la numérisation (manuelle ou semi automatique) des courbes tracées sur un document graphique, à partir d'une photographie en négatif de ce dernier. Une carte marine prototype numérisée (sondes, courbes bathymétriques, trait de côte) est ainsi réalisée en 1976.



Figure 3 : Poste CARTAS

Une seconde version du système CARTAS, plus efficace pour les travaux de mise à jour des fichiers, est livrée en 1980. Une table BENSON 6201 est ajoutée pour la numérisation des documents au format A0. La table traçante Kongsberg est remplacée par un traceur à tête photo cathodique après qu'une bibliothèque de symboles et de caractères ait été créée.

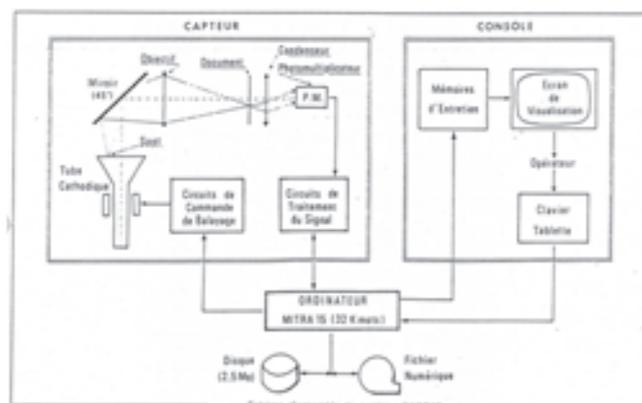


Figure 4 : Schéma d'ensemble du système CARTAS

Si ce système a permis entre autres la numérisation du trait de côte de la France au 1 : 25 000, il est resté à l'état de prototype et n'a que peu contribué à la production des documents du service. Abandonné en 1984, le système CARTAS a permis au SHOM d'acquérir l'expérience et le savoir faire dans le domaine de la gestion des informations géographiques numériques. Cette compétence servira à la conception du futur poste cartographique. L'idée de « cartographie assistée » se développe et avec les progrès des matériels informatiques, le SHOM amorce une approche moderne des travaux cartographiques.

## 2.2 Le poste cartographique

Pour la conception de son nouveau système, le SHOM privilégie la restitution (le dessin) des données afin d'automatiser la mise au net des maquettes des cartes préparées par les cartographes. Cette maquette, établie à l'aide des méthodes traditionnelles, est essentiellement dessinée avant d'être numérisée par l'opérateur. Les fichiers sont restitués par le système permettant ainsi la réalisation des planches d'impression de la carte.

La première version du poste cartographique, dite « en aveugle », est mise en service en 1985 en même temps que l'adoption de la norme internationale pour l'ensemble de la production cartographique (Publication M-4 [aujourd'hui S-4] de l'OHI). Ce système se compose de postes autonomes, construits autour d'un micro-ordinateur (BULL DPS8) équipés d'un écran graphique, d'une table de numérisation manuelle grand format (BENSON 6311) et d'une table à dessiner de précision (BENSON 2532) pour restituer sur film les caractères et les symboles grâce à sa tête cathodique. Les logiciels de restitution graphique mis au point utilisent la bibliothèque de symboles et de caractères dérivée de celle du système CARTAS.

Le SHOM a ainsi pu diminuer significativement le temps de rédaction d'une carte marine (de 600 heures avant 1985 à 450 heures environ en 1987) grâce à ce système d'une part mais aussi grâce à l'adoption de la norme internationale d'autre part.

Après quelque temps d'utilisation, ce système a montré ses limites en n'offrant pas la convivialité liée à un affichage de la saisie effectuée : il faut attendre le résultat du tracé de contrôle pour s'assurer de la bonne exécution du travail et procéder éventuellement à des corrections. La maquette de

la carte devait être précise et la disposition de la lettre, par exemple, se devait d'être soignée afin d'être au plus proche du résultat souhaité. De plus, les outils de manipulation et de correction des éléments sont peu performants, le système souffre de lenteurs et les logiciels de restitution contiennent des anomalies.

C'est pourquoi cette première version du poste cartographique n'a été utilisée qu'en complément des techniques traditionnelles de rédaction des cartes (gravure sur couche, collage de lettres...).

### 2.3 Le poste cartographique interactif

L'ajout en 1988 à ce système d'une console graphique interactive permettant de visualiser le contenu des fichiers en temps réel a créé le premier poste cartographique interactif ou PCI (Figure 5). Il a aussitôt été adopté pour corriger les fichiers numérisés par l'ancien système. Le SHOM s'est alors équipé d'une dizaine d'ensembles PCI composés de :

- une unité centrale CELI LOGO 6300-2 (mémoire vive 8 Mo, lecteur de disquettes 5"1/4 de 650 Ko, disque dur 318 Mo, programmation en fortran et en C) permettant le dialogue avec l'ordinateur principal (transfert des fichiers) et le pilotage de trois consoles graphiques ;

- une console graphique CELI LOGO 308 (mémoire locale de 4 Mo, écran alphanumérique, écran graphique, clavier, tablette 12 pouces avec curseur 16 touches) pour l'affichage et la manipulation des données. La tablette est utilisée pour la gestion des menus, la désignation des symboles et des courbes et la manipulation des données ;

- une table à numériser BENSON 6301 (1300 x 870 mm, précision 0,1 mm, curseur 16 touches) servant à la numérisation de la maquette ;

- un ensemble mobilier UNIC KALI RD assurant l'ergonomie du poste de travail. Les différents écrans et périphériques peuvent être réglés en hauteur et orientés dans n'importe quelle direction ;

- des logiciels implantés, soit sur l'ordinateur principal (calculs géographiques ou en projection, extraction géographique des données, conversions pour les traceurs), soit sur l'unité centrale du PCI (numérisation et manipulations des éléments, corrections des déformations, gestion de l'affichage).

L'utilisation du système PCI ne requiert pas de compétence particulière en informatique : le vocabulaire utilisé est celui de la cartographie marine. C'est pourquoi il fut rapidement adopté par les cartographes chargés de la rédaction des cartes marines.

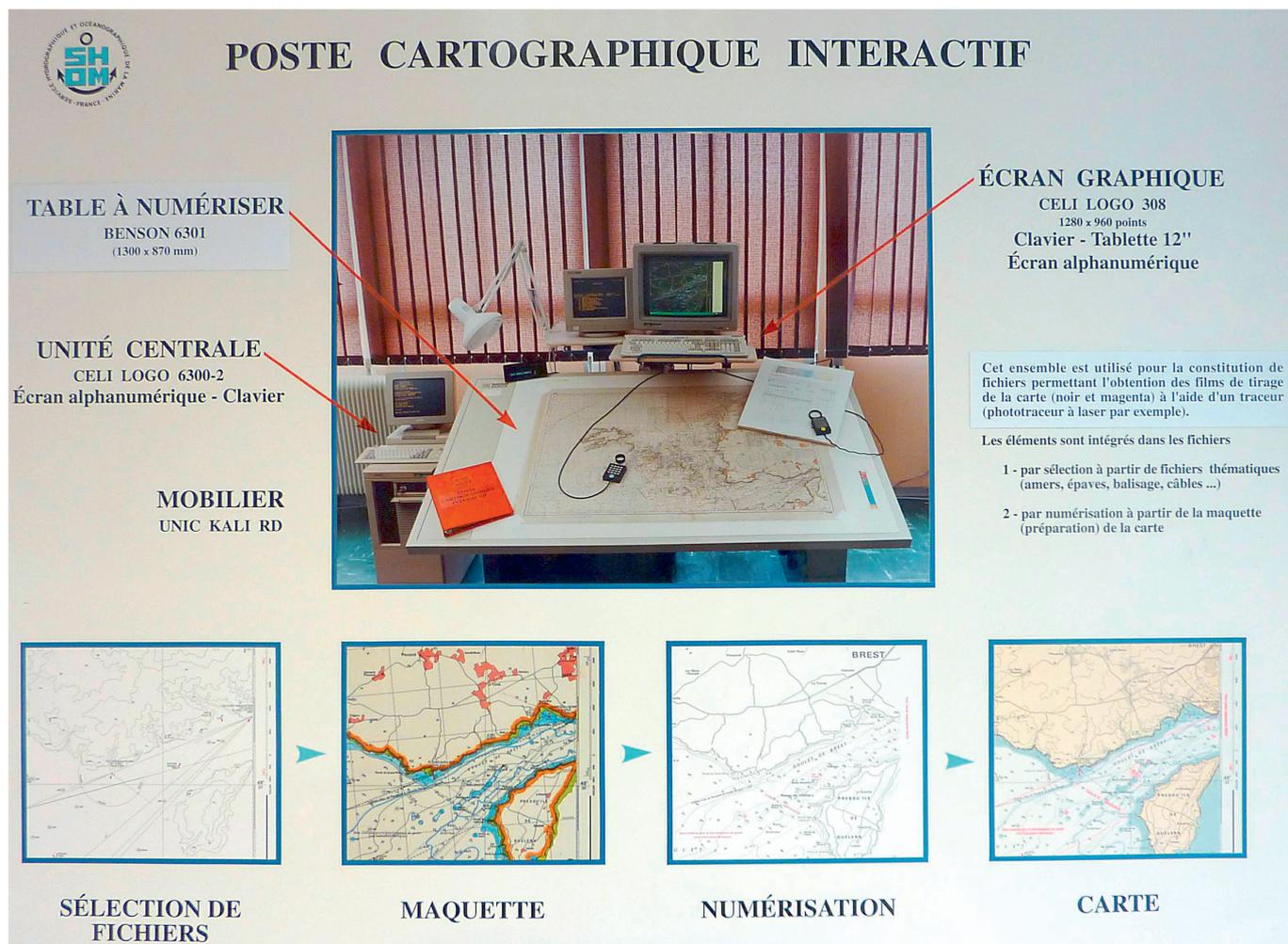


Figure 5 : PCI

Ces postes PCI sont utilisés dans la phase de préparation pour la sélection des données issues des bases de données (amers, balisage, épaves, zones réglementées, trait de côte...) afin de préparer le travail du cartographe chargé de la réalisation de la maquette de la carte. Puis, lorsque cette dernière est validée, la rédaction de la carte avec les PCI consiste en la numérisation des données (sondes, symboles, courbes et lettre) et en leur mise en forme. Enfin, après les contrôles et les mises à jour, les PCI permettent facilement la correction des données.

Pour optimiser et accélérer la numérisation des préparations – des courbes notamment – le SHOM a fait l'acquisition du logiciel Vtrak de la société Laser-Scan. Ce logiciel a permis la vectorisation semi-automatique des courbes par capture à partir de l'image scannée du document (le cartographe devant renseigner la direction à suivre lorsque l'image de la courbe était interrompue ou qu'il y avait une intersection).

Ce système PCI est resté en service jusqu'en fin 2001 pour la rédaction des cartes marines papier.

### **3. LA CARTE ÉLECTRONIQUE : LE PCI SECONDE GÉNÉRATION**

#### **3.1 La carte électronique**

Pour répondre aux nouveaux besoins des navigateurs les services hydrographiques proposent la carte numérique vectorielle. Ces ENC (Electronic Nautical Chart), utilisées sur un système embarqué de navigation électronique certifié ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), ont été reconnues par l'OMI (Organisation Maritime Internationale) en 1995 comme l'équivalent légal des cartes marines papier.

C'est dans ce contexte que le SHOM a débuté en 1998 la constitution de son portefeuille d'ENC, portefeuille qui compte au 1<sup>er</sup> janvier 2013 373 références. Comme son homologue des cartes papier, il est aussi continuellement mis à jour par édition ou messages de mises à jour (équivalent de l'avis aux navigateurs).

La réalisation des ENC comporte deux phases principales à savoir tout d'abord une préparation du codage à partir de la carte marine papier puis la rédaction proprement dite, soit à partir des données numériques ayant servi à la rédaction de la carte marine papier si elles existent ou soit après leur numérisation si elles ne sont pas disponibles.

Avec les ENC, apparaissent des difficultés qui n'existent pas pour les cartes papier : il s'agit cette fois de fournir non plus une image graphique des informations utiles au navigateur mais bien un lot de données numériques avec des critères différents. Il est désormais nécessaire de maintenir la cohérence des informations entre elles (relations topologiques) et par ailleurs de s'assurer que l'application des messages de mise à jour ne corrompt pas les données.

#### **3.2 PCI2 prototype**

Le SHOM a décidé que le contenu des ENC devait être dérivé de celui des cartes marines papier. En effet, puisque les informations de la carte marine papier répondent aux besoins des navigateurs en termes de sécurité de la navigation, transposer ces informations dans les ENC devrait satisfaire aux mêmes exigences avec les ECDIS. Il apparaît dès lors évident d'utiliser le même système pour la réalisation des deux produits. C'est ainsi qu'est conçue la seconde

version du poste cartographique interactif, ou PCI2. La difficulté cette fois est de bien cerner le nouveau concept des ENC et de spécifier correctement le besoin.

Le système, développé conjointement entre Matra System et Information et le SHOM entre 1994 et 1996, s'appuie sur le SIG de GDS (Graphic Data System) installé sur un serveur SUN fonctionnant sous SOLARIS. Chaque opérateur dispose d'une station de travail SUN SS10. Les concepts du PCI (menus, bibliothèque, gestes opérateurs, organisation) ont été transposés et étendus aux spécificités des ENC (maintien des relations topologiques, conception objets/attributs, export de fichiers numériques et non plus d'images graphiques). La table à numériser devrait être remplacée par une numérisation à l'écran à partir de l'image affichée en fond. Mais en 1997, l'accent est rapidement mis sur la production des premières ENC, alors que le système PCI est encore en activité pour la production des cartes papier.

Ce système PCI2, prototype, a permis la rédaction des premières ENC publiées par le SHOM et d'acquies ainsi une expérience dans ce nouveau domaine. Dans le but de l'améliorer pour la rédaction des ENC – d'y inclure entre autres les outils pour la création des messages de mise à jour – et de remplacer les PCI désormais à bout de souffle pour la rédaction des cartes marines papier, le SHOM décide en 1999 de le faire évoluer et d'en faire une version industrielle : le PCI2 opérationnel.

La solution retenue passe par l'abandon des logiciels GDS au profit des logiciels de la société CARIS : ainsi est né PCI2\_CARIS.

#### **3.3 PCI2 opérationnel**

PCI2\_CARIS, version opérationnelle du système PCI2 prototype, se base sur la suite progiciel de la société CARIS ([www.caris.com](http://www.caris.com)) : l'Editeur GIS (Geographic Information System) pour la rédaction des cartes papier et HOM (Hydrographic Object Manager) pour la partie ENC.

Ce système (Figures 6, 7 et 8), mis progressivement en service en 2000 et 2001, fonctionne sur des PC standard – Windows NT, microprocesseur 400 MHz, écran cathodique de 21 pouces pour les premiers – et a régulièrement suivi l'évolution du matériel informatique – Windows XP, double écran LCD 19 pouces aujourd'hui.

Un important travail de paramétrage des logiciels CARIS est réalisé, notamment par l'intégration de la bibliothèque utilisée par les PCI et PCI2 prototype afin d'assurer l'homogénéité de la présentation des cartes du portefeuille.

Comme ses prédécesseurs, PCI2\_CARIS apporte son lot d'évolutions. La numérisation est désormais réalisée d'après la maquette scannée et affichée en fond d'écran ce qui rend le travail plus confortable et plus aisé à contrôler. Les lignes sont connectées entre elles et les relations topologiques (liens entre les courbes, les surfaces...) sont calculées pour créer les surfaces correspondant aux zones de profondeur. La génération des films des teintes pour la carte papier devient automatique et les surfaces peuvent être directement utilisées pour la rédaction de l'ENC. Un « tronc commun » regroupant en une seule étape la partie du travail de rédaction commune entre les deux produits est mis en place. Plus largement, des interfaces avec les bases de données

du SHOM – générale (BDGS) et bathymétrique (BDBS) – étendent le système aux phases de préparation et amorcent le passage vers le « tout numérique ». Enfin, bien que le système s'appuie sur un socle de progiciels « sur étagère », le SHOM a dû développer des outils complémentaires – de contrôle essentiellement – pour assister le cartographe notamment dans le cas de la production des ENC.

Lors de la mise en place de ce nouveau système, le principal challenge fut, non pas de familiariser les opérateurs à cette nouvelle forme de cartographie numérique, mais de leur faire adopter les nouveaux concepts liés à la structuration des données (notions de topologie) et de penser désormais plutôt objet que dessin. Les cartographes du SHOM s'y sont adaptés sans difficulté particulière.

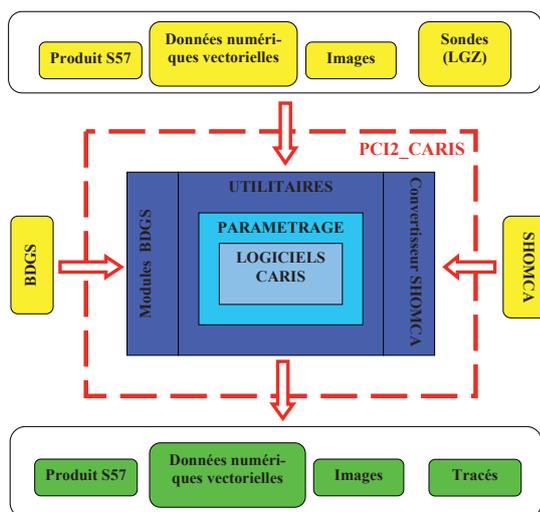


Figure 6 : Couches logicielles de PCI2\_CARIS

Tous les systèmes précédemment décrits gèrent des données de type vecteur adaptées à la carte marine papier ou électronique mais les techniques graphiques traditionnelles non numériques sont encore largement utilisées : rédaction des cartes marines n'existant pas au format vecteur (dont les cartes reproduites en fac-similé, les cartes anciennes), production et mise à jour des films servant à l'impression offset... Le SHOM décide alors, fin 2001, d'étudier la réalisation d'un système d'édition raster des cartes, d'autant plus que la demande en données « image » est de plus en plus pressante.



Figure 7 : Poste PCI2\_CARIS pour la rédaction des cartes papier



Figure 8 : Poste PCI2\_CARIS pour la rédaction des ENC

#### 4. LA RÉDACTION EN MODE RASTER : EDIACARA

Le système de rédaction des cartes marines en mode raster du SHOM se nomme EDIACARA pour EDition des CARtes RAsTer. L'objectif d'un tel système est de constituer et d'entretenir, cette fois en numérique, les matrices d'impression des cartes papier, d'autant plus que les fabricants de films ont programmé la disparition de ces supports. C'est ainsi qu'est mis en service en 2006 le système EDIACARA, un système d'édition des cartes marines au format raster en complément de PCI2\_CARIS, spécialisé dans la gestion des données vecteur.

Mais pour qu'un tel système puisse entrer en production, le SHOM a dû lancer en 2004 une vaste opération de numérisation des matrices des cartes marines. Pour cela il a fait l'acquisition d'un scanner à plat de grand format ESKOScan 3648 (Figure 9).

Les matrices d'impression d'une carte sont des planches élémentaires définies selon les couleurs d'impression (au moins une par couleur). Une carte marine internationale comprend au moins les quatre couleurs suivantes : le noir, couleur par défaut des éléments cartographiques ; le magenta, utilisé pour attirer l'attention sur des symboles d'éléments ayant un effet au-delà de leur voisinage immédiat et distinguer les renseignements en complément sur les éléments physiques ; le bistre, la teinte de la terre, sa superposition avec le bleu produit la couleur de l'estran ; le bleu : pour les eaux peu profondes. Les matrices des 1 100 cartes du portefeuille (en 2004-2006) ont donc été scannées à une résolution de 1000 dpi (compatible avec la résolution de la flasheuse pour éviter un moirage des matrices tramées). Puis chaque image a été rectifiée par rapport au gabarit théorique – à chaque intersection de méridien et de parallèle – afin de corriger les déformations apparues au fur et à mesure des manipulations des films, des mises à jour par opérations photographiques, des imprécisions des traceurs... Elles ont été enfin géoréférencées ce qui permet, par recombinaison numérique, de régénérer une image au format GeoTIFF conforme à la carte marine imprimée (bien utile pour toutes les entités du SHOM pour l'affichage en fond d'écran et la consultation). Ces matrices numériques sont stockées dans la Base de Données des Matrices Raster (BDMR).



Figure 9 : Scanner A0 ESKOScan 3648

Le système EDIACARA qui fonctionne sur des PC standard s'appuie essentiellement sur le package DryFilmUpdate du logiciel LorikSoftware de la société Lorientaise ([www.lorientaise.com](http://www.lorientaise.com)) qui apporte les fonctions de « dessin » des modifications des matrices. Le suivi du processus de modification des films est assuré avec une solution construite autour du logiciel de gestion de versions Subversion (svn). Tout comme pour PCI2\_CARIS, le SHOM a dû compléter cette solution par des outils de contrôle numériques (par exemple la recherche de différences entre deux versions raster d'une carte), ces outils s'ajoutant aux contrôles réalisés graphiquement jusqu'à présent.

Ces logiciels permettent d'éditer les images des matrices raster afin de les mettre à jour des avis aux navigateurs en vue d'un retraitage de la carte. Si, début 2009, ces fichiers étaient encore flashés sur film avant d'être reproduits sur les « zincs » servant à l'impression offset, ils sont désormais directement flashés sur la plaque d'impression grâce au procédé Computer To Plate (CTP). La mise en place du CTP a nécessité le passage à 1200 dpi des matrices tramées qui ne pouvaient pas être « détramées » (estompes).

Parallèlement pour réduire leur coût de tenue à jour, certaines cartes sont imprimées à la demande au fur et à mesure des commandes sur des traceurs grand format à jet d'encre sur un papier et avec des encres qui offrent un résultat similaire à celui de l'offset de telle sorte que la carte marine puisse être utilisée par les navigateurs dans les mêmes conditions (écriture au crayon, résistance au gommage, utilisation en mer sur la table à carte...). Afin d'être en mesure d'assurer ce service d'impression à la demande, la mise à jour des matrices, d'abord réalisée à l'occasion d'un retraitage, est depuis 2011 réalisée lors de la parution des avis de modification des cartes au groupe d'avis aux navigateurs (GAN) permettant ainsi l'entretien continu d'un portefeuille de GeoTIFF des cartes marines et une production numérique des calques d'aide à la correction.

Le système EDIACARA est aussi, depuis 2008, pleinement utilisé pour la réalisation d'éditions sommaires de cartes marine comme l'adoption pour le portefeuille du système

géodésique WGS84. Il s'agit ici globalement de remplacer le gabarit (carroyage géographique) de la carte sans modifier les dimensions. Des logiciels permettent de gommer l'ancien carroyage, d'ajouter le nouveau et de réaliser les quelques mises à jour mineures complémentaires.

Depuis 2008, le système est aussi utilisé pour la rédaction des cartes en fac-similé à partir des fichiers numériques (reptomats) fournis par le service hydrographique étranger producteur de la carte originale. Le travail de rédaction consiste alors en la francisation d'une partie des informations (titre, notas, toponymes...).

Le département de cartographie met aujourd'hui en œuvre un système vecteur – PCI2\_CARIS – et un système raster – EDIACARA – qui ne sont pas concurrents, bien au contraire. PCI2\_CARIS manipule les données vecteur pour la rédaction des ENC et les gros chantiers des cartes papier tandis qu'EDIACARA tient à jour les images raster des cartes marines pour lesquelles le SHOM ne dispose pas systématiquement des données vecteur correspondantes. PCI2\_CARIS et EDIACARA sont alors complémentaires.

## 5. ET DEMAIN

La phase de rédaction des cartes marines, papier et électronique, doit encore évoluer dans le futur. Les logiciels, en constante progression du fait des avancées des techniques informatiques permettent aujourd'hui de traiter des volumes croissants de données. Ils sont devenus, grâce à la normalisation du contenu et de la présentation des produits, plus internationaux : tous les services hydrographiques ont désormais des besoins communs ce qui permet aux éditeurs de logiciels de fournir aux cartographes des outils spécialisés et adaptés.

Aujourd'hui, la tendance est de regrouper toutes les données cartographiques dans une base de données source, multi échelles, puis d'en dériver les produits que sont, entre autres, les cartes marines papier et les ENC. Les modifications des objets sont réalisées dans la base source et se répercutent ensuite rapidement sur les produits afin de les tenir à jour continuellement. Les logiciels de cartographie marine ont adopté ce principe qui privilégie la structuration de la donnée et sa complétude et permet ainsi d'accélérer les processus de rédaction des produits pour arriver, in fine, à la production simultanée de la carte marine papier et de son ENC correspondante. Le SHOM, souhaitant se doter d'une véritable infrastructure géospatiale pour ses données hydrographiques, s'est engagé dans cette voie. Ce système global de gestion de l'information s'appuiera sur les logiciels HPD - Hydrographic Production Database – de la société CARIS ([www.caris.com/products/hpd](http://www.caris.com/products/hpd)). A terme, la rédaction des produits carte marine ou ENC sera réduite à sa plus simple expression, certes au prix d'un effort dans la préparation de la donnée source, mais globalement gagnant sur l'ensemble des processus de production (Figure 10).

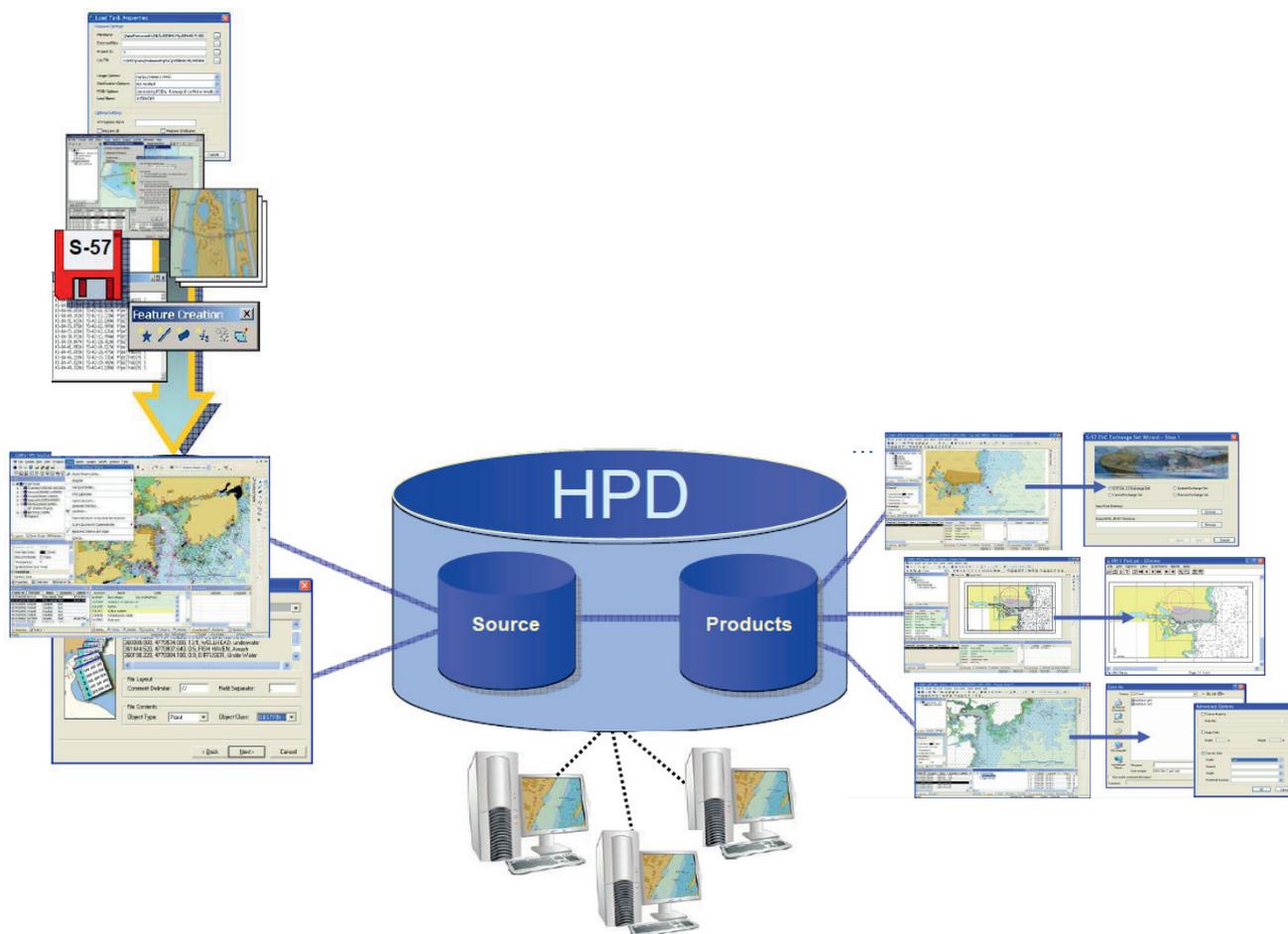


Figure 10 : Schéma de principe de HPD

## 6. CONCLUSION

Le SHOM s'est trouvé confronté à un afflux croissant de données en amont de son activité de réalisation de produits et en aval à une demande de plus en plus exigeante et variée des utilisateurs de ses produits. Il a dû s'adapter en conséquence pour exploiter et traiter les données en augmentant la qualité et la quantité de sa production d'une part et en diminuant les délais de production d'autre part. Pour cela il s'est engagé dans la voie de l'automatisation de son processus de cartographie (exploitation et restitution des données). Les outils informatiques au service de la cartographie marine ont beaucoup apporté pour la rédaction de cartes marines, ont permis de gagner du temps mais ont aussi fait évoluer le métier de cartographe, qui, auparavant spécialiste des arts graphiques, est maintenant devenu un expert en traitement des données numériques.

Le SHOM a réussi, avec un effectif relativement stable de cartographes, à poursuivre l'entretien et la modernisation de son portefeuille de cartes marines papier et à constituer le portefeuille d'ENC français.

Cet article s'est concentré sur une des trois phases d'élaboration des cartes marines à savoir celle de rédaction. Cela ne veut pas dire pour autant que les autres phases, la

documentation et la préparation ne disposent pas de leurs propres systèmes informatiques. Par exemple, le système PCI2\_CARIS est aussi utilisé par les cartographes lors de la phase de préparation pour interroger les bases de données et sélectionner l'information pertinente à représenter sur le document final. La mise en place d'un système basé sur CARIS HPD devrait améliorer la phase de préparation et faciliter la rédaction.

## BIBLIOGRAPHIE

Millard François, 1982, « Automatisation et cartographie marine », *Actes du 107<sup>e</sup> congrès national des sociétés savantes – Section de Géographie*, Brest.

Roubertou André, 1987, « Rédaction et impression des cartes marines anciennes et actuelles », *Bulletin du Comité Français de cartographie*, Fascicule N°113.

Souquière Patrick et Fichant Jacques, 1989, « Cartographie assistée par ordinateur : une solution provisoire mais prometteuse », *Revue hydrographique internationale*, Volume LXVI – N° 2.

Le Lann Gilbert et Fichant Jacques, 1991, « Genèse et réalisation d'un outil graphique interactif s'appuyant sur une base de données relationnelle », *Revue hydrographique internationale*, Volume LXVIII – N° 1.

Roudaut Paul, 1992, « Cartographie assistée par ordinateur appliquée à la carte marine », 2<sup>e</sup> forum international de l'instrumentation et de l'information géographiques, FI3G, Strasbourg.

Bessero Gilles, 1997, « Cartographie marine et navigation électronique – Du portulan à la carte électronique », *Revue Navigation*, Volume 45 – N° 177.

Bouet-Leboeuf Jean-Louis, 2003, « ECDIS – La carte électronique de navigation – Exemple d'application aux côtes méditerranéennes », *Le monde des cartes – Formation des cartographes*, *Revue du comité français de cartographie*, Bulletins N° 177-178.

Bouet-Leboeuf Jean-Louis, 2005, « Carte marine : 40 ans d'évolution de la carte nationale à la carte internationale numérique : une révolution », *Le monde des cartes – Cartographier la mer*, *Revue du comité français de cartographie*, Bulletin N° 184.

2007, « Service hydrographique et océanographique de la marine », *Le monde des cartes – Rapport cartographique national 2003-2007*, *Revue du Comité français de cartographie*, Bulletin N° 192.

Guillam Yves, 2008, « La dimension internationale de l'hydrographie, de la cartographie marine et de l'océanographie », *Le monde des cartes*, *Revue du Comité français de cartographie*, Bulletin N° 196.

Le Guen Eric, 2009, « Les systèmes informatiques pour la rédaction des cartes marines (papier et électronique) », *Revue du Comité français de cartographie*, Bulletin N° 202.

# ÉVOLUTION DES MÉTHODES DE PRODUCTION DES CARTES MARINES

Par Olivier Cann ingénieur principal des études et techniques de l'armement du SHOM<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Dans la seconde moitié des années 2000, du fait des évolutions technologiques mais également dans une logique d'optimisation de ses processus de production, le SHOM a engagé des réformes dans ses méthodes de production des cartes et ouvrages. Celles-ci se sont traduites par la mise en service de nouveaux équipements permettant entre autres d'améliorer la chaîne de production offset mais également d'imprimer en jet d'encre des cartes à la demande, sans plus avoir besoin de constituer des stocks. Le présent article donne un aperçu de ces évolutions et des gains obtenus.

## ABSTRACT

*During the second half of the past decade, due mainly to technological evolutions as well as to the will to optimize its productions process, SHOM has started reforms in its way of producing marine charts and nautical books. These reforms induced the set up of new equipments improving the offset production process but also of inkjet printers to print marine charts on demand (therefore suppressing the corresponding stocks). The aim of this paper is to give a glimpse of these evolutions and the associated profits.*

<sup>1</sup> Adjoint au directeur des moyens généraux et spécifiques (DMGS) du SHOM

Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex

Email : olivier.cann@shom.fr



## 1. INTRODUCTION

Suite à différentes évolutions technologiques, mais également à l'adaptation des méthodes de travail, le SHOM dispose depuis 2008 de fichiers numériques, dits « matrices », qui correspondent aux anciens films analogiques, associés aux couleurs élémentaires, utilisés jusqu'alors pour les impressions offset.

La disponibilité de ces fichiers, préalable nécessaire, s'est accompagnée d'évolutions technologiques majeures dans les procédés d'impression, notamment par la mise en place :

- de l'impression de cartes sur des imprimantes grand format à jet d'encre ;
- du procédé CTP (Computer-To-Plate) qui permet de produire des plaques offset directement à partir des fichiers numériques.

Ces évolutions ont entraîné des modifications importantes dans l'ensemble de la chaîne de production et dans la gestion du stock de cartes.

Le présent article donne un aperçu des ces évolutions et des gains obtenus.

## 2. MÉTHODE PRÉCÉDENTE

Depuis 1991, l'impression au SHOM des cartes marines et des ouvrages en couleur était réalisée exclusivement sur une machine offset 4 couleurs (Roland 800).



*Impression Offset (Roland 800)*

L'impression offset (terme signifiant transfert) implique le transfert de zones encrées sur une plaque métallique (aujourd'hui de l'aluminium) – la forme de transfert – vers un support papier, en l'occurrence une feuille (par opposition à des machines utilisant des bobines).

Ces plaques métalliques, recouvertes d'une couche pré-sensibilisée réagissant aux UV, étaient préparées de la manière suivante :

- insolation laser d'un film polyester transparent recouvert d'une couche photosensible à base de sels d'argent dans

- une flasheuse laser (procédé CTF, Computer-To-Film) ;
- insolation de la plaque offset par superposition du film sur la plaque et exposition à des rayons UV puis révélation (type photographique).

Ce procédé, bien qu'adapté à des volumes d'impression importants – plusieurs milliers d'exemplaires – présente pour principaux inconvénients :

- des délais de réalisation élevés ;
- une productivité faible.

Notons par ailleurs que du fait des évolutions technologiques dans le domaine numérique le procédé CTF est en voie de disparition (à tel point que tous les principaux acteurs dans le domaine de la cartographie l'ont abandonné) et que l'approvisionnement en film est devenu problématique (un seul fournisseur répondant aux appels d'offres, pérennité de la fourniture non assurée à l'échéance de quelques années).

## 3. NOUVELLES MÉTHODES

### 3.1 CTP (mise en service : juillet 2009)

Ce procédé s'appuie sur des machines numériques (flasheuses) appelées par abus de langage CTP. Celui-ci insole directement, à l'aide d'un laser, la plaque offset pré-sensibilisée (et supprime de fait l'étape du film), puis assure le développement de la plaque.

Les intérêts sont multiples :

- procédé beaucoup plus rapide, donc capacité à produire des plaques améliorée ;
- diminution conséquente du nombre d'opérateurs ;
- amélioration de la précision de calage des plaques sur la machine offset entraînant des gains de temps et donc de productivité lors des impressions offset.



*Procédé CTP*

### 3.2 Impression jet d'encre (mise en service : septembre 2009)

Le jet d'encre est associé à ce qu'il convient d'appeler une impression numérique :

- l'impression se fait de façon continue de l'ordinateur au tirage, sans interruption du flux numérique ;
- l'image est imprimée sur le support sans utiliser de forme de transfert.

Ce type d'impression est particulièrement adapté à des faibles tirages (pas de forme imprimante à préparer, mise en œuvre quasi immédiate).

### 3.3 Copieur de production (mise en service : janvier 2009)

Différentes gammes de copieurs existent, qui se distinguent essentiellement par leur capacité en nombre de copies par minute et, en conséquence, par leur destination : copieur local (quelque utilisateurs), copieur départemental (plusieurs dizaines d'utilisateurs), copieur de production (adapté à des ateliers de reprographie).

Le SHOM a utilisé jusqu'en 2009 un copieur uniquement dans sa fonction copie (notamment pour constituer des appoints au stock dans l'attente d'un retraitage offset), pour des volumes annuels d'environ 400 000 pages format A4 monochromes et 250 000 pages couleur.

Ce copieur n'était pas connecté au réseau informatique et ne permettait de ce fait pas d'imprimer directement à partir de fichiers numériques.

L'amélioration très nette de la gestion des couleurs par les copieurs (de fait très proche des résultats obtenus sur une machine offset) associée à une augmentation significative des vitesses d'impression autorise désormais l'utilisation de ce type de matériel en complément d'une machine offset pour des travaux identiques mais pour des volumes moindres.

### 3.4 Adaptation aux spécificités du SHOM

#### 3.4.1 Ouvrages

La production des ouvrages se faisait jusqu'à présent essentiellement par méthode offset traditionnelle comme évoqué ci-dessus : réalisation de plaques par procédé CTF, impression offset. Compte tenu des volumes de tirage, de la fréquence assez faible des tirages, cette méthode est particulièrement adaptée aux besoins du SHOM.

Néanmoins, du fait de l'obsolescence de certains matériels et de la bascule sur le CTP, des évolutions ont été menées dans le cadre du processus de production :

- production des plaques sur le CTP ;
- après divers ajustements, impression des ouvrages de moins de 200 pages pour moins de 200 exemplaires et réalisation de tous les travaux d'impression de plaquettes de communication sur copieur de production.

Ces évolutions ont permis des gains de temps notables (notamment en ce qui concerne les tirages de petits ouvrages) et une plus grande réactivité en cas de reconstitution partielle des stocks.

Pour mémoire :

- gain potentiel d'un calage machine par jour (autrement dit, il est possible d'effectuer un tirage supplémentaire par jour) du fait d'un meilleur repérage des plaques ;
- bascule de 1/8 de la production sur copieur, opération ayant entraîné l'arrêt et le rebut d'une presse offset obsolète.



*Impression sur copieur N/B et couleur*

#### 3.4.2 Cartes

Le SHOM imprime pour l'essentiel deux types de carte marine : des cartes dites à plat – imprimées sur une seule face – pour les besoins de la navigation professionnelle et des cartes pliées – imprimées recto verso – pour les besoins de la plaisance.

Cartes pliées : les contraintes liées à ces cartes (impression recto verso, papier) imposent à ce jour une impression offset.

Cartes à plat : une impression à la demande (carte imprimée en fonction des livraisons sans constitution de stock) jet d'encre (sur des imprimantes jet d'encre grand format) est envisageable.



*Impression à la demande*

La première étape a été de définir la faisabilité technique au travers de l'évaluation de différents supports papier et de la capacité des imprimantes jet d'encre à réaliser des impressions

compatibles avec l'utilisation d'une carte marine (entre autres, résistance des zones imprimées au gommage et à des projections d'eau).

Une fois cette faisabilité avérée, la seconde étape a consisté à définir le catalogue des cartes à imprimer par ce nouveau procédé.

Deux éléments ont été retenus pour définir la cible : les volumes à imprimer – la productivité d'une imprimante jet d'encre n'est que de quelques cartes à l'heure – et le gain en corrections. Ce deuxième point est essentiel, puisque les deux intérêts majeurs, hors intérêt économique, sont la suppression du stock associé à la carte et de fait l'arrêt des corrections manuelles (pour mémoire, la carte marine papier est un document qui, durant son cycle de vie, est l'objet d'opérations de tenue à jour du fait du caractère évolutif des informations qui y sont représentées. Le SHOM dispose ainsi d'un atelier de corrections mains qui tient à jour, manuellement, l'ensemble des cartes en stock).

Pour ce faire, l'étude a été réalisée en découpant le catalogue des cartes en fonction du nombre d'exemplaires distribués annuellement et en analysant les volumes de corrections associés. Le tableau ci-dessous (chiffres 2008) fournit les résultats de l'analyse :

	Nombre de références	Nombre d'exemplaires	Poids relatif en corrections mains
cartes sortant à moins de 50 / an	634	13 810	19 %
cartes sortant entre 50 et 100 / an	190	12 763	30 %
cartes sortant entre 100 et 150 / an	60	6 901	19 %
cartes sortant à plus de 150 / an	55	10 903	32 %

La cible « Cartes sortant entre 50 et 100 / an » a été retenue. Compte tenu des tests effectués et du nombre de cartes à imprimer, le parc d'imprimantes (de type HP Z6100) a été dimensionné à quatre machines.

La mise en place du service a permis de valider les chiffres du tableau ci-contre et de redimensionner en personnel l'atelier corrections mains. De fait, le personnel afférent a été ramené de 7,3 ETP (équivalent temps plein) à 4,3.

#### 4. CONCLUSION

Au-delà de toute considération économique, les évolutions menées dans ses méthodes d'impression par le SHOM ont nettement contribué à améliorer l'organisation des méthodes de travail parmi lesquelles :

- diminution des volumes de réformes de cartes lors des retirages ;
- réactivité accrue de l'ensemble des maillons du processus (production des plaques, cartes imprimées en jet d'encre à jour de leurs corrections sans opération manuelle supplémentaire, ouvrages en rupture de stock) ;
- diminution du nombre de personnels de l'atelier corrections mains ;
- productivité de la machine offset améliorée.

Par ailleurs, l'impression jet d'encre est une ouverture sur le futur à moyen terme dans la mesure où, et compte tenu des baisses de délivrances des cartes marines papier, le SHOM devra à court terme et pour diverses raisons se passer de moyens offset.



# RÉALISATION D'UNE INFRASTRUCTURE GÉOSPATIALE AU SHOM

par l'ingénieur principal des études et techniques de l'armement Caroline Texier<sup>1</sup> et les équipes des projets INFRAGEOS-H et ENTREPOT du SHOM

## RÉSUMÉ

Depuis quelques années, le concept d'infrastructure géospatiale (ou infrastructure de données géospatiales - IDG) est devenu incontournable dans le monde de l'information géographique, que ce soit sur un plan international, national ou auprès des collectivités locales. L'IDG permet en effet de décloisonner l'information géographique et de la mettre à disposition du plus grand nombre en la déclarant et en la diffusant sous la forme de services web standardisés.

Portée par la directive européenne INSPIRE, et plus récemment par la mission Etalab, l'infrastructure géospatiale exige la mise en place d'un ensemble d'éléments parmi lesquels des métadonnées, des données, des méthodes et des services.

La réalisation d'une première infrastructure géospatiale au SHOM est assurée par le projet INFRAGEOS-H qui, au-delà de la refonte des bases de données hydrographiques, a pour objectif de mettre en place les outils relatifs à la gestion et à la diffusion des services de recherche, de consultation, de téléchargement et de transformation requis par la directive INSPIRE.

De plus, les premiers retours d'expérience du projet servent de base au projet ENTREPOT, lancé en 2012, pour aller un peu plus loin dans le monde des services web et déployer l'infrastructure géospatiale.

## ABSTRACT

*Since a few years, geospatial infrastructure (Spatial Data Infrastructure - SDI) became a major concept in the world of the geographical information, whether it is on an international, national level or with local authorities. The SDI indeed allows to open up the geographical information and to give it to the largest number by declaring it and by broadcasting it with web services based on international standards.*

*Supported by the INSPIRE European directive, and more recently by the « mission Etalab », the geospatial infrastructure requires the implementation of a set of elements which include of metadata, data, methods and services.*

*The realization of a first geospatial infrastructure in the SHOM is supported by the project INFRAGEOS-H which objective is, beyond the hydrographic databases upgrade, to set up tools to create, manage and broadcast the network services required by INSPIRE (discovery, view, download and transformation).*

*Furthermore, the first experience feedback of the project is of use as base to the project WAREHOUSE, thrown(launched) in 2012, to go a little farther to the world of the Web services(departments) and spread(display) the geospatial infrastructure.*

<sup>1</sup> Adjoint au chef de département « Géomatique » du SHOM (SHOM/DOPS/MIP/GEO), chef de projet INFRAGEOS-H  
Email : caroline.texier@shom.fr  
Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex



## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Qu'est-ce qu'une IDG

Selon le groupe de travail sur l'infrastructure des données spatiales maritimes de l'OHI (MSDI-WG), l'infrastructure des données géospatiales est le terme qui est utilisé pour désigner un ensemble de concepts, de processus, de relations et d'entités physiques qui, une fois réunis, permettent d'assurer la gestion intégrée des informations, des données spatiales et des services. Ce terme recouvre les processus qui intègrent la technologie, les politiques, les critères, les normes et les personnes nécessaires à la promotion de l'utilisation des données géospatiales à tous les échelons gouvernementaux. Il recouvre la structure des pratiques et des relations entre les producteurs et les utilisateurs de données qui facilite l'échange des données et leur utilisation. Il comporte également l'ensemble des actions et des nouveaux moyens d'accès, d'échange et d'utilisation des données géographiques qui permet une analyse beaucoup plus complète à tous les niveaux du gouvernement, des secteurs commerciaux, à but non lucratif et du monde universitaire. Il recouvre enfin une description des équipements, des logiciels et des composantes des systèmes nécessaires pour soutenir ces processus.

### 1.2 La directive INSPIRE

La directive européenne 2007/2/CE du 14 mars 2007 (INSPIRE) fixe les règles générales d'établissement d'une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne, aux fins des politiques environnementales communautaires et des politiques ou des activités de la Communauté susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement. La directive a donc pour objectif d'assurer l'interopérabilité entre les bases de données et de faciliter la diffusion, la disponibilité, l'utilisation et la réutilisation de l'information géographique en Europe.

La directive INSPIRE s'applique aux données géographiques détenues par les autorités publiques, dès lors que ces données sont sous forme électronique et qu'elles sont relatives à l'un des 34 thèmes figurant dans les trois annexes de la directive.

L'infrastructure INSPIRE comporte cinq parties : les métadonnées, les données géographiques, les services en réseau, le partage entre autorités publiques et les mécanismes de coordination et de suivi de la directive. Chacune de ces composantes est soumise à des règlements.

### 1.3 La mission Etalab

La mission Etalab a été créée par décret du Premier ministre le 21 février 2011. Etalab coordonne l'action des administrations de l'État et apporte son appui à ses établissements publics administratifs pour faciliter la réutilisation la plus large possible de leurs informations publiques.

La mission Etalab est chargée de la création d'un portail interministériel unique : « data.gouv.fr » destiné à rassembler et à mettre à disposition librement l'ensemble des informations publiques de l'État, de ses établissements publics administratifs et, si elles le souhaitent, des collectivités ter-

ritoriales et des personnes de droit public ou de droit privé chargées d'une mission de service public.

Etalab mettra à disposition librement des données brutes dans des formats exploitables. La réutilisation de ces informations doit offrir de larges opportunités à la communauté des développeurs et des entrepreneurs qui pourra les réutiliser afin de proposer des services applicatifs innovants. Par ailleurs, « data.gouv.fr » proposera aux citoyens des services en ligne, conçus à partir de certaines données publiques, qui participeront à renforcer la transparence de l'action de l'État.

### 1.4 Pourquoi une IDG

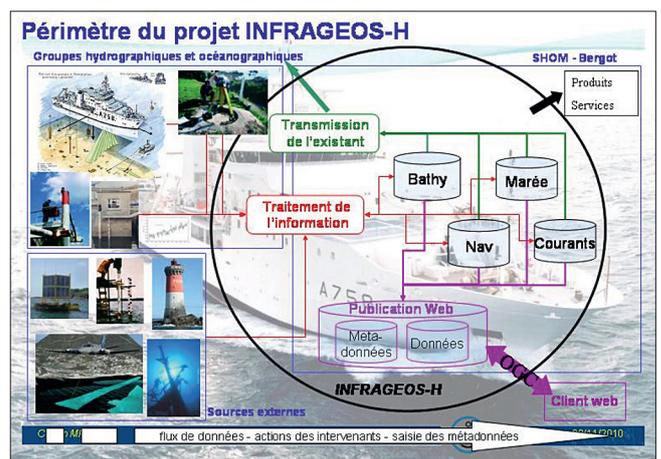
Le SHOM a décidé la réalisation d'une infrastructure géospatiale pour améliorer la disponibilité, l'accessibilité, la maîtrise et la qualité de ses informations et pour répondre aux obligations de la directive INSPIRE alors juste émergente. Cette infrastructure sert également de support pour respecter les exigences attendues de la mission Etalab.

### 1.5 Le projet INFRAGEOS-H

Initié en 2007, le projet INFRAGEOS-H a pour objectif d'une part de fournir au SHOM un système global de gestion de l'information hydrographique, de la donnée recueillie à l'archivage en bases de données où elle est alors prête pour la réalisation de produits ; et d'autre part de conformer le SHOM aux exigences internationales en matière de normalisation et de mise à disposition de données géoréférencées (INSPIRE, Organisation hydrographique internationale). Ce dernier point impose au SHOM de :

- recenser les données ;
- créer, mettre à jour et cataloguer les métadonnées ;
- mettre à disposition des services en réseau.

Ces différentes étapes sont détaillées au chapitre 2.



### 1.6 Le projet ENTREPOT

Le projet ENTREPOT a pour objectif de mettre en place un portail qui offrira, dès 2013, une plate-forme des données maritimes du SHOM et des services de valorisation. Cette plate-forme proposera, sous forme de flux standardisés, des services de recherche, de consultation, de téléchargement

et de diffusion des données et produits du SHOM non destinés à la navigation. Le portail offrira également des services spécifiques destinés aux professionnels et aux usagers de la mer tels que la cartographie dynamique ou la remontée d'information vers le SHOM.

## 2. RÉALISATION DE L'IDG

### 2.1 Recensement des données

Le recensement des données candidates à l'intégration dans l'infrastructure géospatiale consiste à identifier l'intégralité des thématiques gérées au SHOM et à définir leur niveau de prise en compte. Les différents niveaux de traitement proposés par le projet INFRAGEOS-H sont : la refonte des outils de gestion (bases de données), la rédaction d'une fiche de métadonnées par produit, la diffusion des métadonnées et/ou des données sous forme de services web standardisés.

Les thématiques traitées jusqu'ici sont la bathymétrie, les aides à la navigation (amers, balisage, épaves, câbles sous-marins), la marée, les courants marins, les limites maritimes, les données issues du traitement d'images satellitales, le trait de côte, la toponymie marine et les natures de fond.

Les six premiers thèmes sont concernés par tous les niveaux de traitement du projet, les suivants seulement par la publication Internet des données et métadonnées.

### 2.2 Création, mise à jour et catalogage des métadonnées

Les métadonnées sont des informations décrivant les données, pour faciliter leur inventaire, leur recherche, leur utilisation et leur échange. Les éléments de métadonnées peuvent être des mots-clés, des emprises géographiques, des dates, des informations sur la qualité et la validité, des conditions d'utilisations, des restrictions, ... Afin de garantir leur interopérabilité, la directive INSPIRE préconise l'utilisation de la norme ISO 19115 pour la spécification des métadonnées, et l'application de la norme ISO 19139 pour leur implémentation xml. A noter que la S-100 s'appuie sur ces mêmes normes.

Le SHOM s'est doté de l'outil libre GeoNetwork pour rédiger des fiches de métadonnées conformes aux critères INSPIRE, et donc interoperables. Chaque thématique de l'IDG fait l'objet d'une fiche de métadonnées tenue à jour et diffusée via le GéoCatalogue national. Le GéoCatalogue est un catalogue en ligne répertoriant les fiches de métadonnées de plusieurs producteurs et permettant aux internautes de trouver facilement les données qui leur sont nécessaires grâce à un moteur de recherche.

Les fiches de métadonnées rédigées dans le cadre du projet INFRAGEOS-H forment l'embryon de référentiel de métadonnées du SHOM. Ce référentiel va continuer à se construire grâce aux réalisations attendues des projets ENTREPOT et GEODE4D.

### 2.3 Services en réseau

La directive INSPIRE requiert la mise à disposition de quatre services en réseau : les services de recherche, de consultation, de téléchargement et de transformation.

#### 2.3.1 Service de recherche

Le GéoCatalogue met en œuvre, à l'échelon national, le service de recherche exigé par INSPIRE. Toutefois, l'alimentation pour le SHOM de ce catalogue national requiert l'intervention d'une personne physique.

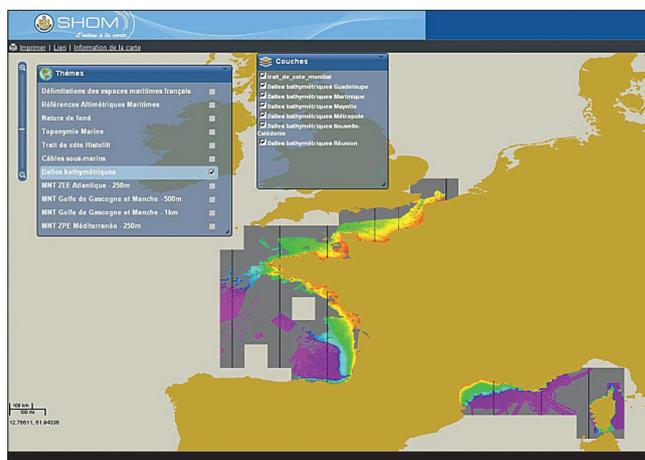
Le projet ENTREPOT œuvre à la réalisation d'une plateforme de services parmi lesquels un service de recherche « moissonnable » par les catalogues des partenaires.

L'atout majeur sera la garantie de la cohérence entre les métadonnées et les produits diffusés. Par ailleurs, la présence de ce service au SHOM sera un argument de poids dans les futures discussions avec nos partenaires pour leur faire supprimer toutes les copies des métadonnées pour les remplacer par un moissonnage des métadonnées diffusées par le SHOM.

#### 2.3.2 Service de consultation

Le service de consultation permet de mettre à disposition une image géoréférencée de la donnée, sur la base d'un standard appelé WMS. INSPIRE exige l'émission d'un service WMS libre d'accès et la diffusion de son URL, pour que tout utilisateur puisse ouvrir l'image géoréférencée dans un logiciel de SIG ou un portail de co-visualisation. Pour aller au-delà, le SHOM a ouvert le site « data.shom.fr » qui permet la visualisation, par simple navigateur Internet, des services de consultation du SHOM.

L'outil Caris Spatial Fusion Enterprise assure ce double rôle émission/visualisation en attendant la mise en service de la plateforme du projet ENTREPOT.



Site « data.shom.fr » : visualisation du produit « Dalles bathymétriques » édition 2009

A ce jour, les données et produits diffusés de la sorte sont : les délimitations des espaces maritimes français, les références altimétriques maritimes, les natures de fond, la toponymie marine en métropole, le trait de côte « HistoLitt », les câbles sous-marins, les « dalles bathymétriques » édition 2009 et les quatre MNT communs SHOM-Ifrermer.

Le service de consultation ne permet toutefois pas d'interroger les données. Cette fonctionnalité requiert la mise à disposition d'un autre service OGC appelé WFS.

A ce jour, seuls les produits SHOM sous licence ouverte (références altimétriques maritimes, niveaux extrêmes à venir) peuvent être interrogés.

### 2.3.3 Service de téléchargement

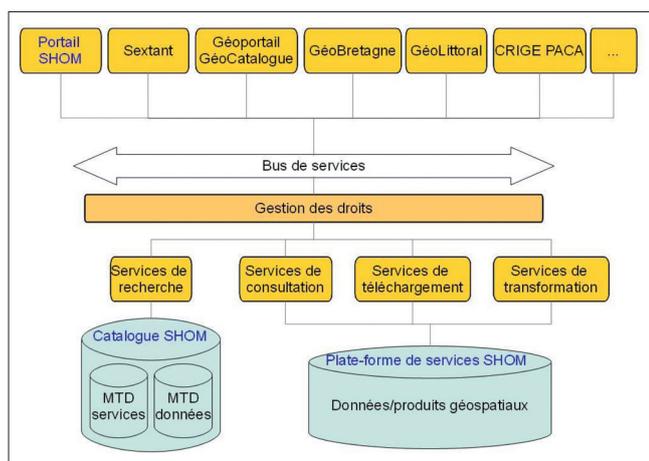
Un premier lot de services de téléchargement est en cours de mise en place pour les produits sous licence ouverte. Ils seront accessibles soit directement depuis le site institutionnel, soit à partir du site « data.shom.fr ». A noter que dans le premier cas, il s'agit d'un téléchargement simple d'un fichier zippé, et dans le second cas d'un téléchargement direct à partir d'un WFS.

### 2.3.4 Service de transformation

Il s'agit de proposer aux utilisateurs des services de transformation de coordonnées ou de schémas (structuration des jeux de données). Ces services sont au stade de l'étude de la faisabilité technique.

## 3. ARCHITECTURE CIBLE DE L'IDG

L'objectif 2013 de la réalisation de l'infrastructure géospatiale du SHOM est de disposer d'un référentiel de métadonnées sur l'ensemble des données, des produits et des services du SHOM, et de proposer à tous les clients, institutionnels ou grand public, des services en réseau pour rechercher, consulter, exploiter, télécharger ou transformer les données du SHOM.



Ainsi, les métadonnées et les données du SHOM ne feront plus l'objet que d'une seule copie, entretenue au SHOM, et consultable/co-visualisable sur n'importe quel portail.

## 4. CONCLUSION

Le projet INFRAGEOS-H a permis de créer une infrastructure géospatiale sur un premier périmètre d'informations hydrographiques et un niveau de service minimum permettant la conformité à la directive INSPIRE.

Le projet ENTREPOT va promouvoir cette réalisation auprès des acteurs de la mer et du littoral, la faire évoluer en performance et l'enrichir de nouvelles fonctionnalités.

En parallèle, les thématiques non encore prises en compte ainsi que la déclinaison pour les clients Défense sont en cours d'analyse.

Pour aller plus loin encore dans la montée en puissance de l'IDG du SHOM, la réalisation d'une géothèque est en préparation. Elle regroupera les données et produits de référence ainsi que le référentiel de métadonnées, et sera en interface avec les systèmes de production du SHOM. La génération des produits et services sera complètement intégrée d'un bout à l'autre de la chaîne, les métadonnées automatiquement associées et leur valorisation maîtrisée.

## 5. GLOSSAIRE

- GEODE4D Programme d'armement ayant pour objectif d'intégrer tous les systèmes nécessaires pour connaître et analyser l'ensemble des caractéristiques naturelles et anthropiques d'une zone surveillée. Les domaines concernés sont la géographie, l'hydrographie, l'océanographie et la météorologie en 4 dimensions.
- IDG Infrastructure de Données Géospatiales (SDI en anglais).
- INSPIRE Infrastructure for SPatial InfoRmation in the European community.
- MNT Modèle Numérique de Terrain.
- OGC Open Geospatial Consortium, consortium international qui développe et promeut des standards ouverts afin de garantir l'interopérabilité des contenus, des services et des échanges dans les domaines de la géomatique et de l'information géographique.
- OHI Organisation Hydrographique Internationale (IHO en anglais).
- S-100 Norme de l'OHI entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2010 pour le transfert des données hydrographiques (voir publication en références §6 ci-après et article : « S-100 et normes déclinées » publié dans ces mêmes annales).
- SIG Système d'Information Géographique.
- URL Unificator Ressource Locator.
- WFS Web Feature Service, standard OGC de service web qui définit une interface d'interopérabilité technique, dédiée à la publication d'objets géographiques (données vecteurs) ainsi que leur structure.
- WMS Web Map Service, standard OGC de service web qui permet de produire dynamiquement des cartes à partir de données géoréférencées.

## 6. RÉFÉRENCES

- ETALAB : [www.etalab.gouv.fr](http://www.etalab.gouv.fr).
- INSPIRE (2007) : directive 2007/2/CE du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne.
- ISO 19115:2003/Cor.1:2006, Geographic information - Metadata - Technical Corrigendum 1.
- ISO 19115:2005, Geographic information - Metadata.
- ISO/TS 19139:2007, Geographic information - Metadata - XML schema implementation
- OHI/C-17 (2011) : Infrastructure des données spatiales « La dimension maritime » - Guide à l'usage des Services hydrographiques, édition 1.1.0, février 2011.
- Publication S-100 - Universal Hydrographic Data Model Edition 1.0.0 (2010).



# S-100 ET NORMES DÉCLINÉES (S-101 en particulier)

par Julia Powell<sup>1</sup> et Barrie Greenslade<sup>2</sup>

**Avant-propos** : cet article est la traduction française par l'ingénieur en chef de l'armement Laurent Louvart du SHOM<sup>3</sup> du document d'information rédigé en anglais par Barrie Greenslade et Julia Powel dans le cadre des travaux du TSMAD.

**Foreword** : this article is the french translation by Laurent Louvart of the information paper written by both Barrie Greenslade and Julia Powel within the TSMAD working plan.

## RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, l'OHI étudie le remplacement de la norme S-57 et développe une nouvelle spécification de produit S-101 pour les cartes électroniques de navigation.

Ce papier fournit un panorama global de la S-101. Après avoir décrit la norme S-100 sur laquelle la nouvelle spécification s'appuie, les avantages de la S-101 sont explicités et déclinés au niveau de la production des services hydrographiques, de la conception des ECDIS et des logiciels associés, de la distribution vers les navires et jusqu'aux navigateurs. Un planning de principe non encore validé par l'OHI est proposé qui montre à la fois la maturité des développements actuels et l'imminence du basculement.

## ABSTRACT

*For the past several years the IHO has been working on the development of S-101 – a new product specification for the Electronic Navigational Chart used in ECDIS.*

*This paper provides a high level overview of S-101. First it describes S-100 standard from which S-101 is derivate. It explains in details all benefits of S-101 for stakeholders and the whole maritime community: hydrographic offices, ECDIS manufacturers and software producers, RENCs and distributors, not forgetting the end users: the mariners. A theoretical timeline is proposed, yet to be considered by the IHO. It shows the maturity of the on going developpements and the imminent changeover.*

<sup>1</sup> Directeur technique du produit ENC à la NOAA  
Email : julia.powell@noaa.gov

<sup>2</sup> Président du TSMAD, responsable des standards hydrographiques numériques à l'UKHO  
Email : barrie.greenslade@ukho.gov.uk

<sup>3</sup> Adjoint direction technique recherche et innovation (DTRI) du SHOM  
Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex  
Email : laurent.louvart@shom.fr



## 1. INTRODUCTION

L'Organisation hydrographique internationale (OHI) est une organisation intergouvernementale consultative et technique créée en 1921 pour promouvoir la sécurité de la navigation et la protection du milieu marin. Un de ses rôles majeurs est d'établir et de publier des normes pour exploiter de manière appropriée et efficace les données et les informations hydrographiques.

Ce papier décrit les origines de la spécification de produit S-101 pour carte électronique de navigation, qui est une évolution de la norme S-57 de transfert de données hydrographiques et de la norme S-52 de spécification d'affichage et de contenu pour carte électronique. Il n'est pas question de développer la norme S-101 *ex nihilo*, mais d'impliquer activement l'industrie du logiciel, les fabricants d'équipements et l'utilisateur final : le navigateur. Le premier objectif de ce papier est de décrire les concepts et les développements réalisés pour susciter des commentaires et impliquer toutes les parties prenantes.

## 2. S-57

La norme S-57 fait partie des premières normes dont l'OHI a été responsable. Elle a été adoptée en mai 1992 et depuis cette époque elle s'est imposée comme la norme fondatrice des cartes électroniques de navigation. L'édition 3.1 de la norme S-57 a été définitivement figée en novembre 2000.

En janvier 2007, pour répondre au besoin de l'OMI d'intégrer de nouvelles couches d'informations maritimes, l'OHI a publié un supplément à la norme S-57 pour permettre la navigation dans les eaux archipélagiques et pour inclure les zones maritimes particulièrement vulnérables dans les cartes électroniques de navigation. Une des caractéristiques de la norme S-57 est d'intégrer le contenu du catalogue des objets et des attributs – Ainsi la moindre évolution du catalogue nécessite d'en revoir l'implémentation.

Les limitations de la S-57 telles qu'identifiées par l'OHI sont les suivantes :

- le mode de maintenance n'est pas dynamique. Chaque ajout d'objets ou d'attributs dans le catalogue unique pour créer de nouveaux produits a des conséquences importantes pour ceux qui doivent respecter la norme, tels que les constructeurs d'ECDIS, les fabricants des chaînes de production d'ENC et les organismes certificateurs. Chaque nouvelle modification entraîne de nombreuses éditions successives de la norme pour figer le catalogue. Figer le contenu d'une norme d'échange de données sur de longues périodes est contre productif pour l'utilisateur final ;
- telle qu'elle est structurée, la norme S-57 ne permet pas de prendre en compte de nouveaux besoins (des modèles bathymétriques ou des informations complexes variables dans le temps, par exemple) ;
- imbriquer le modèle de données dans l'encapsulation (i.e., formatage du fichier) limite les possibilités d'utiliser une grande variété de protocoles de transfert ;

- beaucoup considèrent que cette norme est dédiée exclusivement à la production et à l'échange de données pour carte électronique.

Pour pallier ces limitations, l'OHI a approuvé en 2000 un programme de révision de la norme S-57, qui a conduit à développer une nouvelle infrastructure de données géospatiales baptisée S-100 – « Modèle universel de données hydrographiques de l'OHI » (Edition 1.0.0 – janvier 2010).

## 3. S-100 MODÈLE UNIVERSEL DE DONNÉES HYDROGRAPHIQUES

La norme S-100 propose une infrastructure moderne de données géospatiales qui peut être utilisée pour décrire les informations numériques très variées relatives à l'hydrographie. Ce standard parfaitement conforme aux normes géospatiales internationales – en particulier à la série ISO 19000 des normes géographiques – simplifie l'échange de données géographiques et s'intègre naturellement dans des applications de type SIG (système d'information géographique).

La S-100 étend considérablement le champ d'application du standard existant de transfert de données hydrographiques S-57 et en corrige les défauts. Des objets complexes tels que l'imagerie et les données maillées, les métadonnées améliorées et plusieurs formats d'encodage sont désormais prévus, qui débordent largement du seul périmètre des ECDIS (Electronic Chart Display and Information System). La mise à jour des catalogues d'objets, de leurs attributs et de leur description est facile et dynamique. Elle se fait au travers d'une base de registres en ligne sur le site de l'OHI.

Le standard S-100 offre une bibliothèque de composants basés et conçus pour être interopérables avec les séries de normes ISO 19000. Celles-ci servent de base à de nombreuses activités de standardisation et en particulier aux initiatives de développement telles que l'Open Geospatial Consortium (OGC).

En support à la norme S-100, l'OHI a mis en place plusieurs registres accessibles en ligne. Ces registres sont composés de la manière suivante :

- dictionnaire des classes d'objets ;
- règles de représentation ;
- dictionnaire des métadonnées ;
- liste des codes de producteurs des données.

La principale caractéristique de la norme S-100 est de servir de cadre de développement à la prochaine génération de produits ENC (Electronic Navigational Charts), et plus généralement à tous les produits additionnels requis par l'hydrographie et l'ensemble de la communauté maritime. La norme S-100 décrit tous les principes nécessaires à la mise en conformité des spécifications de produits qui concourront aux échanges d'informations hydrographiques et marines très diverses. La norme S-100 comporte des sous-ensembles dérivés et compatibles avec les normes de la famille ISO 19000.

#### 4. S-101 SPÉCIFICATION DE PRODUIT POUR CARTE ÉLECTRONIQUE DE NAVIGATION

La norme S-101 est une nouvelle spécification de produit pour la carte électronique de navigation. Elle est actuellement développée au sein du groupe de travail de l'OHI chargé de la maintenance et du développement des normes d'échanges et de leurs applications (TSMAD). Les ENC S-101 restent fondamentalement liées aux cartes électroniques de navigation et par conséquent conservent la plupart des caractéristiques propres à la norme S-57. Cependant, compte tenu des retours d'expérience emmagasinés au fil des années, de nombreux et nouveaux concepts ont été développés pour améliorer l'exploitation des données par les utilisateurs. Certains changements peuvent paraître nébuleux ou anodins, mais pris dans leur intégralité, ils garantissent à la norme S-100 une plus grande longévité, la norme S-57 quant à elle devenant au fil du temps de plus en plus ingérable.

La norme S-101 s'inspire largement des concepts de la norme S-100 tels que les registres d'échange dynamique des catalogues d'objets ou de règles de représentation, les modèles géométriques intrinsèquement plus riches, les types d'informations et les attributs complexes. L'utilisation de ces nouvelles caractéristiques permettra aux producteurs d'ENC de surmonter un certain nombre des défauts rencontrés dans les ENC S-57, notamment l'utilisation abusive des zones de danger par exemple. En outre, l'élimination et la réduction du nombre de procédures de symbologie conditionnelles va faciliter la manipulation des données et leur représentation dans l'ECDIS.

Un des principaux avantages de la norme S-101 sera sa capacité à être enrichie de fonctionnalités supplémentaires, absentes dans les actuelles ENC S-57. Si la norme S-101 sert finalement de couche de base à la navigation dans un ECDIS compatible avec la norme S-100, son vrai potentiel se révélera surtout lorsqu'elle pourra interagir avec d'autres produits dérivés de la même norme S-100. Actuellement, l'OHI encourage la communauté à dériver du standard S-100, en sus des ENC S-101, tous les produits d'aides à la navigation. Un ECDIS capable de gérer plusieurs produits S-100 offrira une aide à la décision très appréciable pour le navigateur en lui présentant des informations de marée en temps réel ou des instructions nautiques (Figure 1).

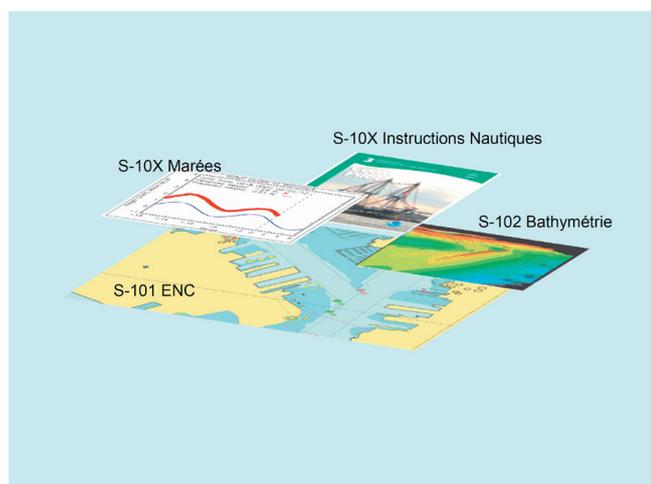


Figure 1 – ECDIS compatible S-100

La clé de la réussite du développement et de la mise en oeuvre de la norme S-101 repose sur l'implication de toutes les parties prenantes du monde maritime. Cela comprend : les services hydrographiques, l'industrie du logiciel, les fabricants de cartes électroniques, les utilisateurs finaux, tels que les navigateurs et les autorités portuaires, et toutes les autres parties concernées. Au cours du processus de développement de la norme S-101, le TSMAD et l'OHI ont tous deux entretenu un dialogue permanent avec la communauté maritime. Ces deux dernières années l'OHI a organisé des ateliers utilisateurs pour présenter l'état d'avancement de la norme S-101, les différentes étapes du développement, et pour recueillir des commentaires ou des suggestions sur la meilleure façon de surmonter les limitations actuelles des ENC S-57 et les contraintes de représentation graphique des ECDIS.

#### Contenu dynamique des ENC

Le principal atout de la norme S-101 par rapport à la norme S-57 est l'introduction de catalogues d'objets et de règles de représentation dynamique, compréhensibles des ordinateurs. Le facteur dynamique indique la capacité d'adaptation à des changements continus, sans impact sur les utilisateurs. Bien que semblable en apparence au catalogue des objets de la norme S-57 et à la bibliothèque de représentation de la norme S-52, la norme S-101 mettra en oeuvre les mécanismes dynamiques prescrits par la norme S-100. Dans la norme S-101, les relations entre les objets, les attributs et les énumérations sont définis au sein d'un unique catalogue d'entités. Ce catalogue fera référence à un registre qui fournira la définition des données sous une forme lisible des ordinateurs, permettant ainsi une mise à jour facile des systèmes embarqués. Dans l'état actuel de la norme S-57, la mise à jour des entités peut nécessiter jusqu'à 5 ans avant d'être complètement prise en compte par le processus de maintenance. Avec la norme S-100, au fur et à mesure des constantes demandes d'évolutions du registre, les catalogue d'objets et leurs représentations seront gérés en configuration, ce qui permettra à l'OHI de tirer partie d'un registre au contenu dynamique, et de contrôler sa mise en oeuvre dans un processus profitable à tous les utilisateurs finaux.

La norme S-101 inclut aussi un catalogue de règles de représentation lisible des ordinateurs. Ce catalogue remplace la norme S-52 relative à la bibliothèque de présentation. Il contient les règles de représentations conditionnelles, les tables de correspondances entre les attributs et les symboles, les symboles eux-mêmes, tous approuvés par l'OHI, capables de restituer graphiquement sans erreur les ENC dans les ECDIS. Beaucoup des problèmes actuellement rencontrés sur certains ECDIS proviennent soit d'une mauvaise interprétation des normes, soit de l'utilisation de logiciels non maintenus, basés sur des versions antérieures de la norme. Dans un environnement S-101, les catalogues (testés et validés à terre) encodés en XML, seront systématiquement utilisés pour mettre à jour les composants logiciels concernés de l'ECDIS.

Dans ce domaine, pour tenir compte de l'expérience acquise depuis de nombreuses années et des tierces contributions, le nouveau catalogue des règles de représentation comporte un ensemble de symboles améliorés. Par exemple les bouées et les balises s'affichent selon les couleurs tradition-

nelles. La représentation de la qualité des levés est simplifiée pour améliorer la lisibilité. Ceci ne sera complètement finalisé qu'au terme des essais que la communauté mènera avec le visualisateur de l'environnement de test.

### Règles de représentation

Certaines procédures conditionnelles prévues par la norme S-52 vont devenir des attributs d'objets ou même des objets. Actuellement, dans un ECDIS basé sur la norme S-52, un temps considérable est nécessaire au moment du chargement des données pour établir les relations géométriques existantes entre certains objets, par exemple, une épave et sa zone de profondeur associée. Cette information est déjà connue au moment de la production de l'ENC et en S-101, elle sera exportée avec les données, augmentant ainsi l'efficacité de la création de la SENC (System ENC) et permettant d'éliminer de nombreuses procédures de symbologie conditionnelle.

### Attributs complexes

La norme S-101 fera également appel à de nouvelles structures de données pour améliorer le codage et la représentation des informations. Parmi les améliorations, l'introduction d'attributs complexes va, à l'inverse, simplifier le codage de certains objets du monde réel qui nécessitaient des solutions alambiquées en S-57. La relation entre la nature et la qualité du fond marin, les secteurs de feu, et les informations sur les courants de marée sont des exemples parmi d'autres (Figure 2).

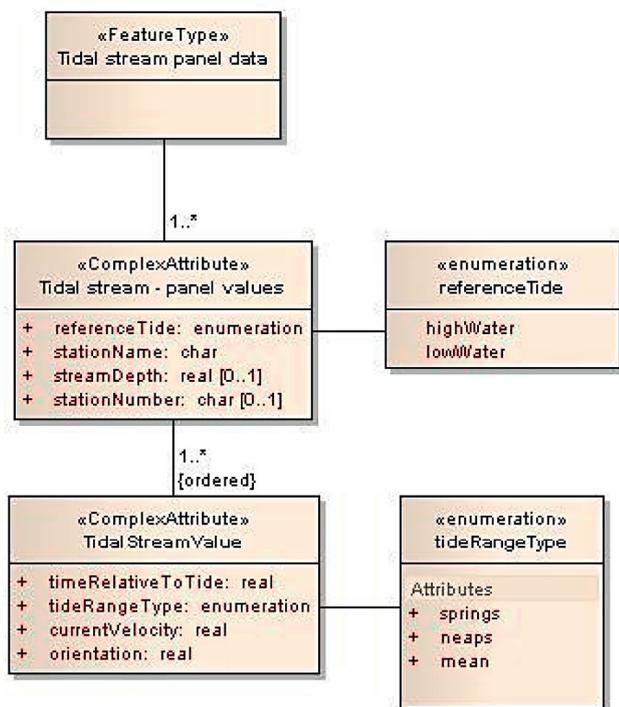


Figure 2 – Exemple d'attribut complexe utilisé pour les informations de courant de marée

Le diagramme ci-dessus montre comment les informations de courant de marée seront encodées dans la norme S-101.

La norme fournit une structure de donnée plus logique et plus efficace que le texte délimité par de simples virgules actuellement utilisé. Cet exemple de structure de donnée permettra de disposer de plus d'informations à différentes profondeurs, en marée de mortes eaux ou en marée moyenne, non limitées aux seules marées d'équinoxe.

### Informations types

Une autre amélioration est l'utilisation des « informations types ». Une information type n'est pas géospatialisée, elle fournit l'information associée à une entité. On peut l'utiliser pour annoter un pipeline ou une bouée, par exemple. En S-57, une annotation cartographique est codée en tant que zone d'avertissement – ce qui déclenche une alarme dans un ECDIS. Beaucoup de ces annotations contiennent des informations pertinentes et la seule façon de transmettre cette information se fait par le biais d'une zone d'avertissement. Pourtant, dans la plupart des cas, il n'y a pas lieu de déclencher une alarme. La création d'informations types va permettre de réduire l'utilisation des zones d'avertissement, de ne plus détourner celles-ci de leur usage initial.

### Lots de données dépendantes et indépendantes de l'échelle

Ce nouveau concept requiert, au minimum, la production de deux ensembles de données qui couvrent la même zone géographique. Dans la plupart des cas il sera plus avantageux d'avoir un lot de données indépendantes de l'échelle en relation avec plusieurs lots de données dépendantes de l'échelle.

Un lot de données dépendantes de l'échelle contient des entités difficilement généralisables et dont la représentation varie d'une échelle à l'autre.

Par ailleurs, un lot de données indépendantes de l'échelle contient des entités qui restent inchangées quelque soit l'échelle avec laquelle elles sont représentées. Par exemple un feu peut s'afficher de la même manière à différentes échelles. Un attribut d'échelle maximum est ajouté pour contrôler l'affichage de ce type d'entité, en cohérence avec l'attribut existant d'échelle minimum. Il y a plusieurs avantages à cette nouvelle approche :

- ce concept s'appuie sur l'utilisation croissante de systèmes de production fonctionnant avec des bases de données. Il s'accommode aussi des systèmes de gestion de fichiers classiques, car des tests ont montré que différents ensembles de données peuvent être produits de cette façon, malgré une augmentation de certains coûts ;
- des études ayant montré qu'un grand pourcentage d'avis aux navigateurs concerne des entités qui relèvent d'ensembles de données indépendantes de l'échelle, le nombre d'avis aux navigateurs pourrait donc être significativement réduit. Par exemple un feu qui apparaît dans trois lots de données d'échelles différentes peut être mis à jour une seule fois. Cela permet d'économiser du temps dans la production et le contrôle de conformité est plus facile à réaliser ;
- c'est un moyen plus rentable et plus efficace pour

transmettre les mises à jour, via des communications par satellite notamment ;

- la cohérence entre les différents lots de données est améliorée. Le feu est à la même position quelque soit l'échelle, par exemple.

Avant que ce concept ne soit intégré à la version finale de la norme S-101, il sera soigneusement testé, les éventuels problèmes qu'il pourrait engendrer, en termes de représentation, ou de gestion de lots de données dans la chaîne de distribution seront résolus.

### Améliorations supplémentaires

En outre, le TSMAD recherche si un texte, par exemple la description d'un feu, peut être abrégé en utilisant l'attribut complexe décrit précédemment. La légende « FI. 5M 3sec » pourrait être réduite à « FI ». Ce ne serait utilisé que dans les ENC à petite échelle.

## 5. LA NORME S-101 ET LE NAVIGATEUR

La norme S-101 va remplacer à terme la norme S-57 et fournir les données fondamentales aux cartes électroniques de navigation exploitées par les ECDIS. Toutefois la norme ne se limite pas à un simple remplacement. Chacun est invité à examiner l'ensemble de l'environnement de la norme S-101 pour bien en apprécier les avantages.

Baucoup des nouvelles caractéristiques de la norme S-101, telles que les annotations et les attributs complexes, conduisent à une présentation des mêmes données plus facilement exploitable par le navigateur. Par exemple la structure des données est plus intuitive et permet d'obtenir des comptes rendus plus compréhensibles. Les autres avantages sont les suivants.

### Mise à jour

Une nouvelle fonctionnalité a été incluse qui permet à un utilisateur de voir facilement quelles modifications sont survenues par application d'avis aux navigateurs, y compris les objets qui ont été supprimés. Si nécessaire, le texte d'un avis aux navigateurs peut être affiché avec toutes les références des sources et les dates.

### Comptes rendus améliorés

Les comptes rendus interactifs prévus dans la S-101 sont personnalisables par les utilisateurs et renvoient des données filtrées par type d'objet, voisinage, thème, etc. Le piquage d'informations par simple survol de la souris permettra de rassembler à partir d'éléments disparates des informations du monde réel, par exemple des secteurs de feux.

### Réduction de l'encombrement

Un nouvel objet cartographique va contrôler le positionnement des textes et permettre aux producteurs d'ENC d'améliorer l'aspect et la convivialité dans les ECDIS. Ainsi, plutôt que de faire figurer le nom d'un feu dans une zone de navigation critique, tel qu'un chenal, seul le numéro du feu sera affiché et son baptême n'apparaîtra que sur requête par clic (Figures 3 et 4).



Figure 3 – ENC S-57 avec affichage des textes

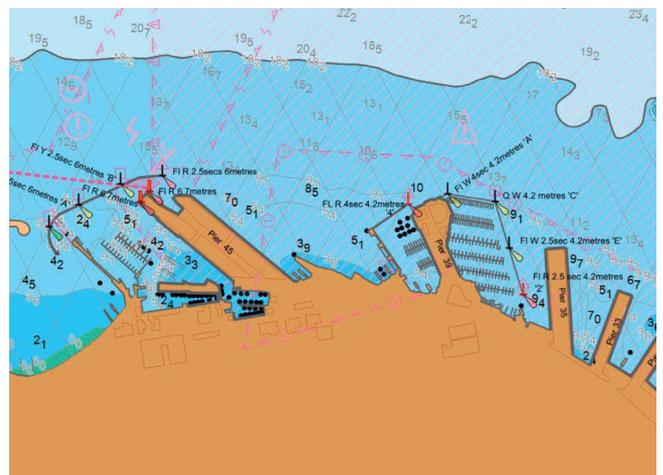


Figure 4 – ENC S-101 avec affichage des textes

### Qualité des levés

Un des progrès les plus importants de la norme S-101 réside dans l'amélioration de l'affichage des niveaux de qualité de levés. L'université du Sud Mississippi, en liaison avec le groupe de travail chargé de la qualité des données à l'OHI, cherche le moyen de n'afficher aux navigateurs que l'information utile. Ils travaillent sur un algorithme qui prend en compte les données contenues dans les ENC et les informations saisies en passerelle (largeur, tirant d'eau, etc.) pour aider visuellement le navigateur à prendre des décisions éclairées.

### Chargement des données

Une nouvelle méthodologie est proposée, basée sur un ensemble d'échelles prédéfinies, calées sur les portées standards des radars de navigation. Cela permet d'avoir des règles claires et concises sur la manière dont les données des ENC doivent être chargées et déchargées dans un ECDIS. L'usage des types de navigation sera limité à la présentation du catalogue des ENC. Les types de navigation possibles seront réduits à trois : port et approches portuaires, cabotage côtier et routier océanique.

## 6. LA NORME S-101 ET LES PRODUCTEURS D'ENC

A bien des égards, les changements introduits par la norme S-101 seront transparents pour les producteurs et encodeurs d'ENC. Un très grand pourcentage d'objets et d'attributs reste inchangé. Il faudra cependant adapter les chaînes de production pour prendre en compte les annotations et les attributs complexes. Les nouveaux paramètres permettant de positionner les textes cartographiques pourront être réutilisés depuis les bases de données où ils auront été stockés pour servir à d'autres produits dérivés comme la carte marine papier.

### *Convertisseur S-57 vers S-101*

Un convertisseur S-57 vers S-101 a déjà été développé pour l'OHI. Il peut être utilisé seul ou intégré dans un processus d'exportation des données. Cela a été fait pour éviter au producteur d'ENC (services hydrographiques) de basculer immédiatement dans la production de lots de données S-101 et pour permettre une transition progressive de la norme S-57 vers la norme S-101. Le convertisseur délivre les lots ENC S-101 correspondant à n'importe quels lots ENC S-57, en prenant en compte les mises à jour, ces lots sont ensuite utilisables dans un ECDIS compatible S-100/S-101, jusqu'à ce qu'un service hydrographique soit en mesure de les produire directement dans la norme S-101. La norme S-57 continuera d'être maintenue par l'OHI jusqu'à son élimination à une date encore à déterminer.

## 7. LA NORME S-101 ET LES DISTRIBUTEURS

Tant que l'ensemble du parc ECDIS ne sera pas compatible à 100 % avec la norme S-100, il y aura besoin de distribuer simultanément des ENC dans les normes S-57 et S-101. Tant que la S-101 sera en développement, il sera difficile d'anticiper une date de fin de la norme S-57. Les procédures de l'OHI exigent que cette date soit décidée en étroite concertation avec l'ensemble des parties prenantes.

## 8. LA NORME S-101 ET LES FABRICANTS D'ECDIS

Parce que la norme S-101 représente un changement important pour les équipementiers ECDIS, l'OHI les a déjà conviés à un certain nombre de forums pour recueillir leurs avis et pour rédiger avec eux une spécification de produit qui leur assure une transition en douceur vers les ECDIS compatibles S-100. Plusieurs équipementiers de premier plan sont également impliqués dans les travaux du TSMAD. Un des facteurs clés de la norme S-101 est qu'elle continue d'utiliser la norme ISO/IEC 8211 pour l'encodage des données, permettant ainsi aux outils d'encodage existants pour la norme S-57 d'être réutilisés dans les ECDIS basés sur les normes S-100/S-101. Le codage ISO/IEA 8211 a été mis à jour et aligné sur la norme S-100 pour, en particulier, exploiter pleinement le nouveau modèle géométrique et accélérer la mise en correspondance des objets qui partagent la même géométrie.

La norme S-101 permettra également d'éliminer la nécessité pour les constructeurs de se référer à plusieurs normes de l'OHI dans le cadre de l'élaboration et la mise en œuvre de nouveaux systèmes. Actuellement, les équipementiers

doivent se conformer à la fois à la norme S-57, à la norme S-52 et à d'autres normes connexes. La norme S-101 quant à elle servira de référence unique pour tous les équipementiers, elle contiendra toutes les informations nécessaires à sa mise en œuvre. En outre, puisque la norme S-101 est fondée sur la norme S-100, tous les ECDIS dès lors qu'ils seront compatibles S-100, pourront accueillir les futurs produits supplémentaires basés sur cette norme. Dans l'état actuel de la structure S-57, ce type de mise en œuvre est resté sporadique et incohérent.

## 9. LA NORME S-101 ET SON APPROBATION

Comme la norme S-101 va remplacer à terme la norme S-57 et qu'elle est principalement destinée à être utilisée pour la navigation, il sera toujours nécessaire de faire approuver l'ECDIS selon les standards en vigueur à l'OMI/CEI. Cependant, comme décrit précédemment, les catalogues exploitables directement par les machines permettent à un ECDIS compatible S-100/S-101 de prendre en compte de nouvelles versions de la norme S-101 par simple mise à jour logicielle. Actuellement, une nouvelle demande d'homologation de l'ECDIS doit être faite quand, à la suite des modifications apportées aux normes de l'OHI, des changements importants ont été apportés au logiciel d'exploitation. Avec un ECDIS compatible S-100/S-101, il ne sera pas nécessaire de demander de nouvelle homologation chaque fois qu'un catalogue d'entités ou des règles de représentation auront changé.

La norme S-101 comportera un ensemble complet de données de test ainsi qu'un manuel d'instructions pour guider les autorités d'homologation au travers d'un protocole de test.

## 10. BANCS DE TESTS

A partir d'un certain niveau d'élaboration de la spécification de produit S-101 il est nécessaire de disposer de bancs d'essai, au cours du cycle de développement et au-delà. Le TSMAD a commencé à en identifier la composition. Les principaux éléments sont les suivants :

- convertisseur de lots S-57 en lots S-101 ;
- éditeur de lots de données S-101 ;
- visualisateur de lots de données S-101 ;
- jeux de tests pour ECDIS (Figure 5).

Reconnaissant la nécessité de disposer de bancs de tests et pour aider à promouvoir le développement de la spécification de produit S-101, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a confié à ESRI le développement d'un convertisseur open source de lots de données S-57 en lots de données S-101. La NOAA a l'intention d'offrir ce convertisseur à l'OHI pour qu'il soit proposé au public. Le convertisseur est conçu pour transformer des données S-57 en données S-101 à partir d'un catalogue élaboré au cours de la première phase du plan de développement de la S-101. Le convertisseur utilise l'encodage ISO8211 et peut fournir des échantillons de lots de données S-101 aux parties intéressées. Le convertisseur sera validé en concertation avec les équipementiers et d'autres intervenants afin de s'assurer qu'il est bien adapté à son objet, avant l'adoption par l'OHI de la S-101 en tant que norme internationale.

Le TSMAD a également reconnu le besoin de disposer d'un éditeur et d'un visualisateur de données S-101 pour faciliter la création des tous premiers lots. C'est nécessaire pour tester et valider les échanges avec les catalogues d'objets et de règles de représentation, pour la création des données implémentant les toutes nouvelles fonctionnalités de la norme S-101.

Une fois terminé ce banc de tests servira de fait d'ECDIS S-100 de référence. Il permettra au TSMAD de tester l'évolutivité et le dynamisme des échanges avec les catalogues, dans un environnement et sur une plate-forme semblable aux systèmes candidats à l'homologation et utilisés plus tard par les navigateurs.

## 11. CHRONOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DE LA NORME S-101

Tout au long du développement de la norme S-101, la communauté ENC/ECDIS et les parties prenantes doivent être tenues informées du calendrier et du déroulement des phases de développement, de tests, de mise en œuvre et de transition du passage de la norme S-57 à la norme S-101. Ces délais seront susceptibles d'être modifiés et doivent encore être approuvés par les États membres de l'OHI.

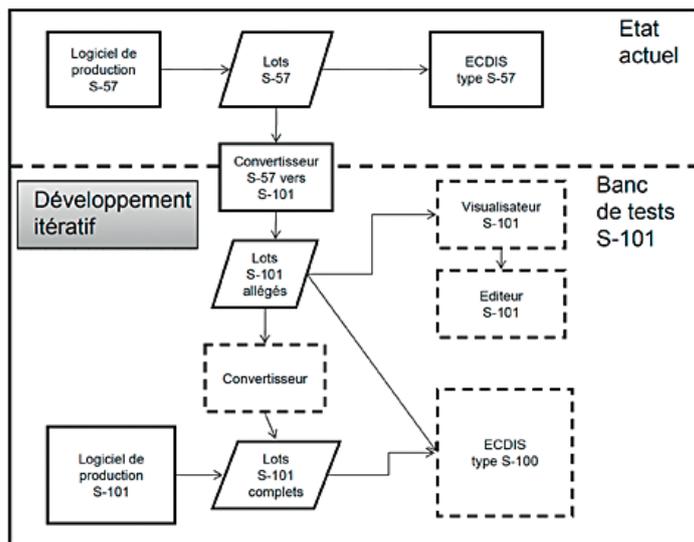


Figure 5 – Banc d'essai de la norme S-101

La chronologie qui suit (Figure 6) représente le calendrier actuel tel qu'adopté par le TSMAD pour la S-101 :

- les développements ;
- les tests ;
- la période des révisions et des commentaires ;
- l'approbation par le HSSC (Hydrographic Services and Standards Committee) ;
- l'approbation par les Etats membres ;
- l'implémentation dans les ECDIS ;
- la production des données ENC par les services hydrographiques.

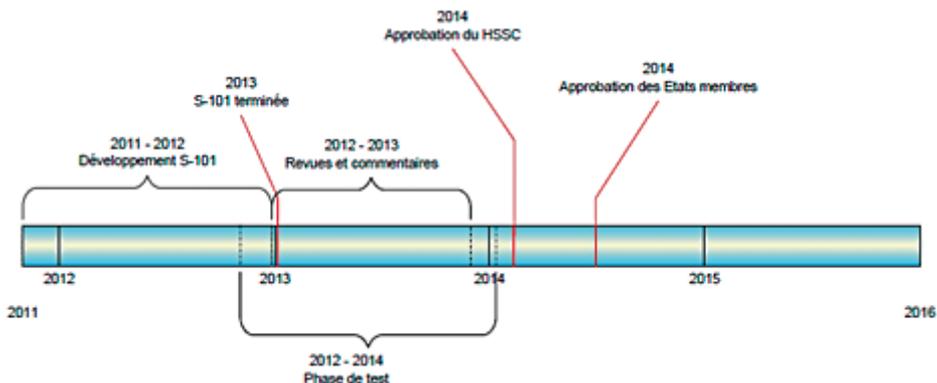
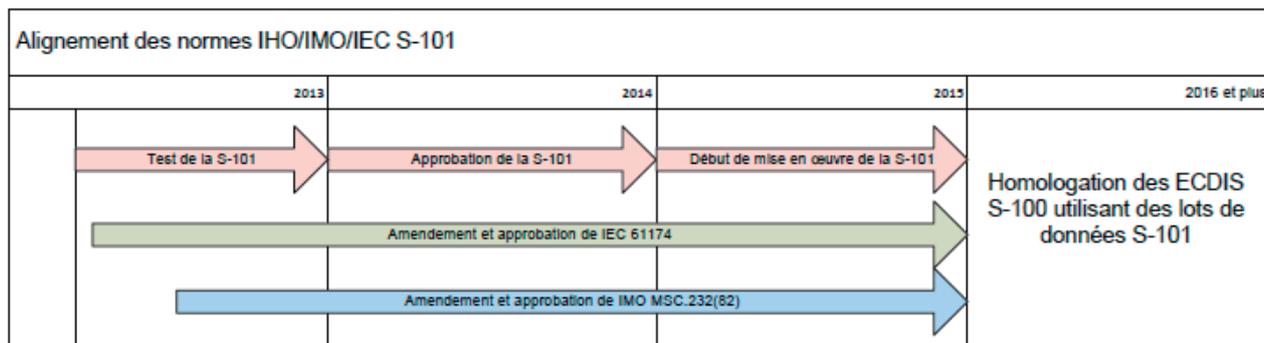


Figure 6 – Chronologie de mise en œuvre de la norme S-101

La chronologie qui suit (Figure 7) est une estimation initiale du temps minimum nécessaire pour migrer les données de la norme S-57 vers la norme S-101. Pendant un certain temps, S-57 et S-101 vont coexister, jusqu'à ce que l'OHI, en concertation avec la communauté maritime et toutes les parties concernées, décide que les ENC S-57 ne sont plus valables ou requises.



Dates indicatives

Figure 7 – Transition S-57 vers S-101



# LA TOPONYMIE MARITIME : TRAITEMENT SUR LES CARTES MARINES

par Jean-Louis Bouet-Leboeuf, ingénieur en chef de première classe des études et techniques de l'armement de réserve

## RÉSUMÉ

Le SHOM publie des cartes marines et des documents nautiques à l'usage des navigateurs mais aussi de tous les usagers de la mer.

Si ces documents ont vocation à décrire le « paysage marin », ils ont aussi vocation à permettre de se repérer non seulement par des coordonnées géographiques mais aussi par des appellations des divers lieux, qu'ils soient maritimes ou côtiers. Ces appellations ont pour noms « toponymes » et ils doivent suivre des règles claires afin qu'il n'y ait aucune ambiguïté sur la manière de les recueillir, de les écrire voire de les établir.

Cet article présente les divers aspects de la toponymie à partir de l'instruction publiée en 1976 par le SHOM qui explique d'abord les différentes formes d'un toponyme, puis donne les règles concernant la toponymie des documents publiés par le SHOM et présente les différents acteurs nationaux et internationaux concernés par ce domaine. Les rôles respectifs du SHOM et de l'IGN y sont explicités, le premier ayant pour responsabilité le domaine maritime y compris l'estran, le second le domaine terrestre en deçà du trait de côte.

Ensuite, on présente la nécessaire actualisation de cette instruction qui a été réalisée en 2010 pour tenir compte du contexte international et dans un but de simplification et d'éclaircissement de certaines règles à l'usage des cartographes. Les diverses autres instructions relatives à ce domaine ont elles aussi fait l'objet d'une actualisation.

## ABSTRACT

*The SHOM published charts and nautical publications for use by navigators as well as all the users of the sea.*

*These documents are intended to describe the "marine landscape", they are also intended to facilitate identification by not only geographical coordinates, but also by place names, whether maritime or coastal. These place names are referred to as "toponyms". They must follow clear rules so that there is no ambiguity on how to collect, record or even to establish them.*

*This paper presents the various aspects of toponymy from the guide published in 1976 by SHOM which explains first the different forms of a name and then outlines the rules on the toponymy of the documents published by the SHOM. It presents the various national and international participants interested in this field. The respective roles of the SHOM and IGN are explained, the former with responsibility for the maritime field including intertidal zone, the latter with the responsibility for topography.*

*Then, the text presents the necessary updating of this guide which was conducted in 2010 to take into account the international context and in order to simplify and clarify the rules for cartographers. All other guides related to this field have also been updated.*



## 1. INTRODUCTION

La toponymie est une science qui a pour objet l'étude des noms de lieux en général et des noms géographiques en particulier. Elle se présente sous la forme d'une nomenclature et c'est également l'ensemble des noms de lieux d'une région, d'un pays, d'une carte.

Un toponyme, c'est-à-dire un mot ou groupe de mots servant à désigner une entité géographique, est un nom propre qui désigne un lieu et qui a un sens. Il a la double fonction de désigner un lieu et d'en décrire la nature. C'est une dénomination dans une langue donnée, qui apparaît à un certain moment de l'histoire, créée par ceux qui en avaient besoin. Ainsi, la toponymie est investie de deux fonctions bien différentes mais importantes : elle sert à localiser les lieux mais aussi à consigner dans des noms ou expressions des éléments historiques. Ainsi, elle présente un grand intérêt pour la vie actuelle mais présente aussi un grand intérêt historique (on peut l'utiliser par exemple en analysant les divers éléments qui composent un toponyme pour rechercher des vestiges historiques).

Néanmoins, le recueil de tous les toponymes se heurte à de nombreuses difficultés du fait qu'un toponyme est aussi relatif à une langue mais pas seulement obligatoirement à la langue officielle d'un pays mais aussi aux langues régionales qui de plus peuvent présenter des variantes locales et peuvent ne pas être écrites. L'évolution des toponymes, si elle existe bien, est toutefois très lente et les toponymes sont plutôt soumis à une altération pas toujours volontaire lors des transcriptions suite à une erreur ou bien suite à une adaptation phonétique ou à une francisation abusive.

Il convient de bien prendre en considération l'importance des toponymes sur les divers documents (cartes en particulier) et sur la nécessité que l'ensemble des documents (cartes, ouvrages) portent le même toponyme pour une même entité. La coordination des activités humaines utilisant ces diverses cartes est à ce prix en particulier pour l'organisation des secours à l'interface terre-mer où les moyens terrestres et maritimes doivent être mobilisés et coordonnés pour diriger les secours vers un lieu unique bien identifié.

## 2. LA TOPONYMIE SUR LES CARTES MARINES

Avant même la description détaillée des zones maritimes, les cartes étaient plutôt des relevés d'itinéraires où les toponymes jouaient un rôle essentiel de repères. Les cartes marines ou terrestres ont ainsi, dès leur première apparition, comporté une information sur la toponymie plus ou moins fantaisiste. Ensuite, dès les premiers levés réels de terrain réalisés par les cartographes (Cassini au 18<sup>ème</sup> siècle) ou les hydrographes (Beautemps-Beaupré au 19<sup>ème</sup> siècle), la toponymie faisait partie des éléments collectés systématiquement. Toutefois, il semble que la transcription de ces toponymes recueillis très souvent dans une langue orale était faite au mieux sans aucune règle orthographique comme le souligne Alain Le Berre lors de ses enquêtes menées dans les années 1950. Beautemps-Beaupré disait lui-même : « *on a jugé convenable de conserver, sur les nouvelles cartes, les noms des objets terrestres qui, se trouvant sur les anciennes, sont consacrés par l'usage, quoique souvent, ces noms ne soient pas usités dans le pays. Mais on a eu soin d'écrire au-dessous, entre parenthèses, les noms sous lesquels les objets sont connus par les habitants, dans la langue qui leur est familière...* ». Toutefois, ces noms ont souvent disparu lors de la gravure.

Lors des divers levés hydrographiques menés par les missions hydrographiques du SHOM, la toponymie faisait partie des éléments à contrôler ou à recueillir en fonction des cartes existantes. Toutefois, dans les zones couvertes par les cartes de l'Institut géographique national (IGN), sur ces cartes, la toponymie relative aux éléments terrestres situés en deçà du trait de côte faisait foi sauf anomalie évidente (il convient de rappeler que l'établissement de la cartographie de base IGN s'appuyait sur un relevé toponymique systématique). En complément, tout élément de l'estran ou du domaine maritime est du domaine de responsabilité du SHOM.

### 2.1 Instruction concernant la toponymie des documents nautiques publiés par le SHOM - Instruction n° 851 SHOM/EM du 6 octobre 1976

Cette instruction avait pour objectif d'édicter des règles à appliquer lors de la compilation des cartes par les cartographes et lors de la rédaction des ouvrages nautiques, en particulier les *Instructions Nautiques*. L'objectif premier est de savoir quel toponyme utiliser pour un élément, qu'il soit maritime ou terrestre, en fonction de la nature de la carte, de la région ou du pays concerné.

En effet, il convient de rappeler qu'un toponyme est relatif à un élément dans une langue nationale donnée. Ainsi, lors de la réalisation d'une carte dans des zones étrangères, une attention particulière doit être apportée aux choix de la forme toponymique à adopter en fonction de la nature de la carte (carte nationale à usage des navigateurs français ou bien carte internationale à destination des navigateurs internationaux, français ou étrangers et des services hydrographiques étrangers susceptibles de la reproduire).

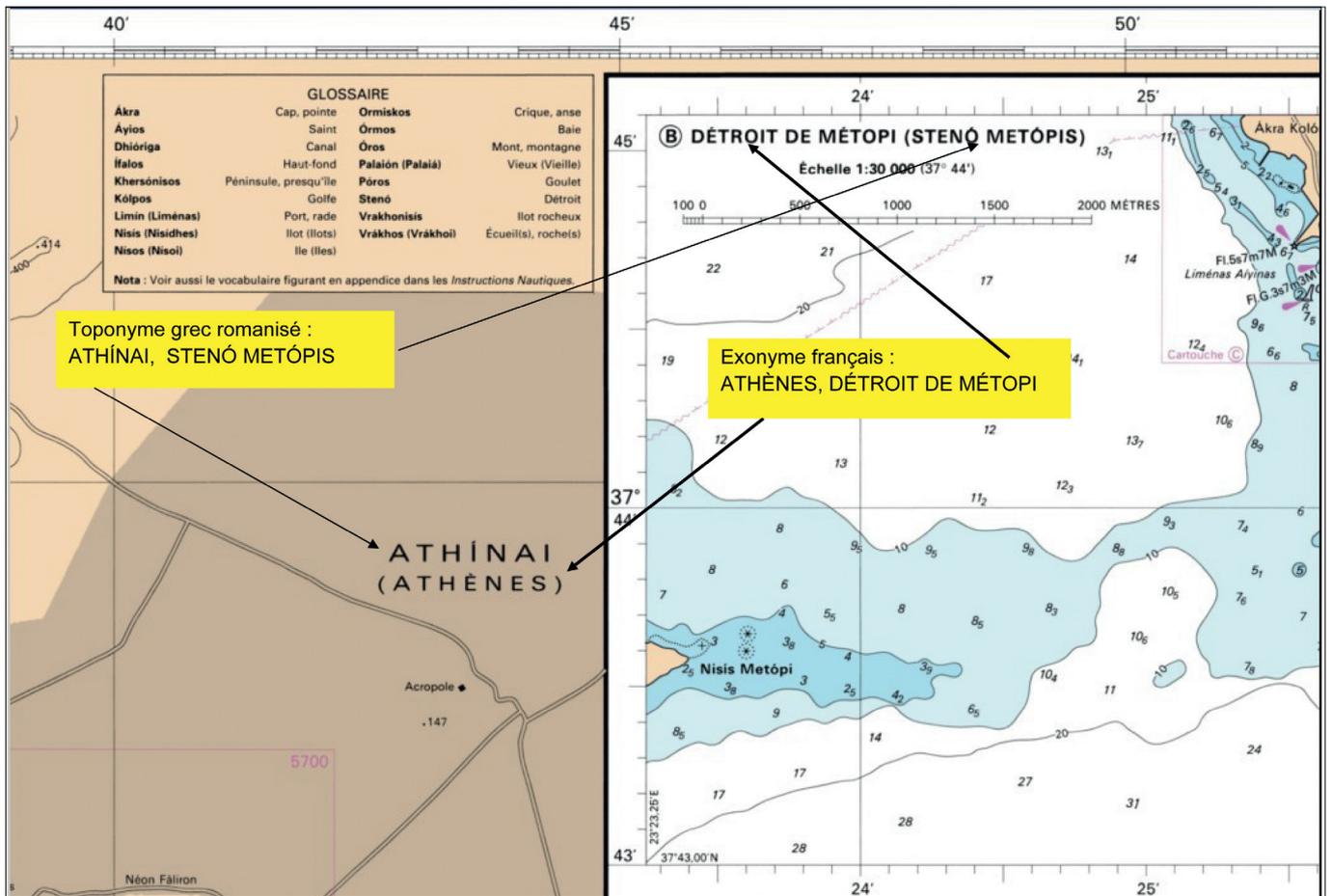
Ainsi, dans un cas, on pourra donner la priorité à la forme française d'un toponyme étranger (il s'agit alors de l'exonyme français) alors que dans l'autre cas, on pourra donner la priorité à la forme originale du toponyme accompagnée ou pas de l'exonyme français. Des règles sont ainsi données dans l'instruction citée ci-dessus en particulier pour les noms de pays et de capitales.

Il est aussi précisé dans cette instruction que les cartes de l'IGN ont valeur officielle pour les toponymes terrestres et que les cartes du SHOM ont valeur officielle pour les toponymes du domaine maritime ainsi que de l'estran.

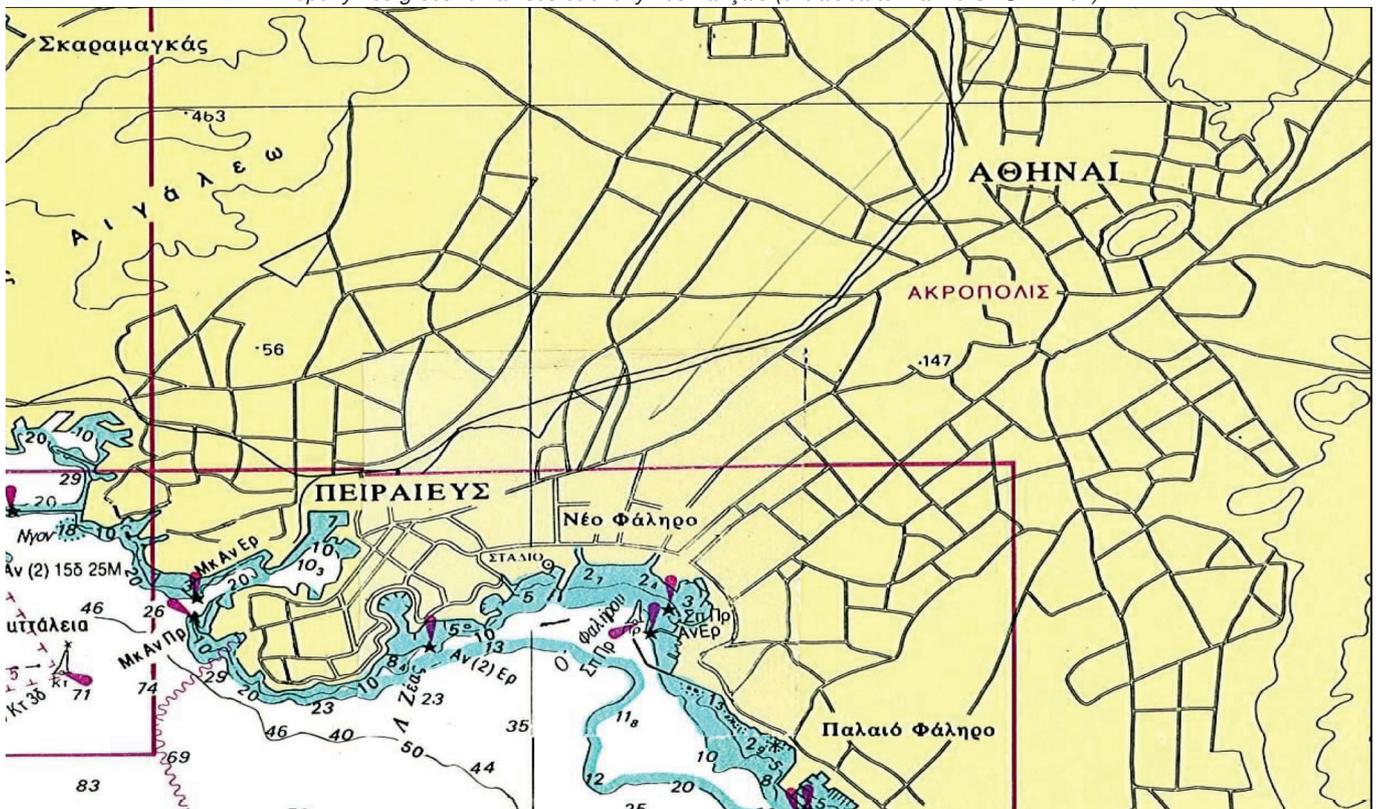
Pour la révision des toponymes, il convient de rester très prudent et de ne modifier que les erreurs manifestes ou de faire des changements que pour des raisons très solides.

Par ailleurs, des directives sont données pour attribuer de nouveaux toponymes à certains éléments maritimes qui peuvent être proposés par les missions hydrographiques ou les sections de l'EPSHOM, soit qu'un élément maritime ne possède pas jusque-là de baptême toponymique, soit qu'il s'agisse d'un élément nouvellement signalé. Dans tous les cas une enquête est nécessaire pour déterminer s'il n'existe pas déjà un toponyme acceptable attribué à l'élément. Si un baptême nouveau doit être créé, le nom retenu ne devra pas prêter à confusion.

On y donne aussi les divers acteurs de la toponymie aussi bien au niveau national qu'au niveau international.



Toponymes grecs romanisés et exonymes français (extrait carte marine SHOM 7254)



Toponymes grecs en caractères grecs non romanisés (extrait carte marine Grecque No 413)

ΕΛΛΑΣ



ΕΛΛΑΣ

ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

SARONIKÓS GULF

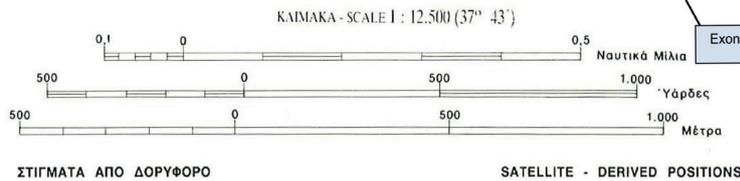
Toponymes grecs  
non romanisés

# ΠΡΟΣΓΕΙΑ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΑΣ ΑΙΓΙΝΑΣ - ΣΤΕΝΟ ΜΕΤΩΠΗΣ

## ΑΙΓΙΝΑ HARBOUR AND APPROACHES - ΜΕΤΌΡΙ STRAIT

**Βάθος:** Σε μέτρα από την Κατωτάτη Ριζία  
**Ύψος:** Σε μέτρα από την Μέση Στάθμη της Θάλασσας  
**Ναυτιλιακή Σήμανση:** Ναυτιλιακό Σύστημα Σημάνσεως IALA Περιοχή Α (Ερυθρό Αριστερά)  
**Προβολή:** Μερκατοριζή, Διεθνές Ελλειψοειδές, Ευρωπαϊκή Αφητηρία.  
**Πηγές:** Ελληνικές Υδρογραφίες μέχρι 1990.  
**Τοπογραφία:** Από χάρτες Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού

**Depths:** In metres under the Lowest Low Water.  
**Heights:** In metres above Mean Sea Level  
**Navigational Marks:** IALA Maritime Buoyage System Region A (Red to Port)  
**Projection:** Mercator, International Ellipsoid, European Datum (F.E. 50).  
**Sources:** Hellenic Surveys to 1990.  
**Topography:** From Hellenic Military Geographic Service maps.



Exonymes anglais

Extrait carte marine grecque No 412/3

## 2.2 Les divers acteurs de la toponymie française

### 2.2.1 La commission nationale de toponymie

Une commission nationale de toponymie (CNT) est instituée auprès du Conseil national de l'information géographique. Elle a pour mission de « contribuer à la conservation et au développement cohérent du patrimoine toponymique de la France en assurant des actions de spécification, de normalisation, de coordination dans la réalisation et la mise à jour des bases de données toponymiques, ainsi que le traitement en français des toponymes étrangers ».

La commission comprend des représentants des ministères et organismes créateurs, collecteurs ou utilisateurs de toponymes. Elle peut faire appel à des experts choisis en raison de leur compétence. Le SHOM et l'IGN sont membres de cette commission.

La CNT a compétence pour l'étude des noms géographiques des domaines terrestres et maritimes en France et dans les collectivités françaises d'outre-mer, et pour l'insertion dans la langue française de l'ensemble des toponymes, français ou étrangers.

### 2.2.2 La commission de toponymie du SHOM

Le SHOM traite la toponymie maritime. Dans ce cadre, une commission instituée au sein du SHOM a pour rôle de se prononcer sur tous les toponymes nouveaux ou modifiés à utiliser sur les documents publiés par le SHOM. Une instruction permanente précise ses attributions.

### 2.2.3 La commission de toponymie de l'IGN

Cette commission administrative est interne à l'Institut

national de l'information géographique et forestière (nouvelle dénomination de l'IGN depuis 2011).

L'article 2 du décret n° 2011-1371 du 27 octobre 2011 relatif à l'IGN charge celui-ci notamment de « constituer et mettre à jour sur l'ensemble du territoire les bases de données géographiques et les fonds cartographiques dont la liste est fixée par arrêté du ministre chargé du développement durable, notamment le référentiel à grande échelle (RGE). Le référentiel à grande échelle, ... est composé de bases de données numérisées et interopérables décrivant les thèmes, dénominations géographiques, ... ».

L'article 1<sup>er</sup> de l'arrêté du 16 mars 2005 fixant la liste des bases de données géographiques et des fonds cartographiques constitués et mis à jour par l'IGN au titre de ses missions d'intérêt général mentionne que les cartes topographiques au 1 : 25 000, au 1 : 50 000 et au 1 : 100 000, portent nombre de ces toponymes, et que l'IGN y fixe leur orthographe dans le respect de « la forme usuelle actuelle » conformément à sa charte de toponymie de février 2003.

L'IGN ayant pour vocation de s'occuper du domaine terrestre de l'État français, la commission en gère ses toponymes ; aussi a-t-elle entériné une charte de toponymie dans le but de constituer une référence commune à tous les produits de l'IGN et de participer ainsi à l'élaboration d'une toponymie unique et homogène au sein de l'établissement.

### 2.2.4 La commission territoriale de toponymie des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF)

L'arrêté n° 16 du 27 juin 1966 porte création de cette commission. Dans la conduite de ses travaux, la commission s'efforce de respecter la prééminence de la langue française

dans la dénomination des appellations géographiques. Elle s'occupe de la toponymie relevant du domaine de compétences des TAAF.

#### 2.2.5 Le sous-comité GEBCO sur les noms des formes du relief sous-marin (SCUFN)

Le sous-comité sur les noms des formes du relief sous-marin dépend du comité directeur mixte COI-OHI de la GEBCO dont il est l'autorité désignée pour toutes les questions relatives aux noms des formes du relief sous-marin.

Le sous-comité a pour vocation de sélectionner les noms des formes du relief sous-marin de l'océan mondial destinés à être utilisés sur les produits graphiques et numériques de la GEBCO, sur la série de cartes internationales à petites échelles de l'OHI, et sur les séries régionales de cartes bathymétriques internationales. Il se réunit chaque année pour l'étude et l'adoption éventuelle de nouveaux toponymes qui sont intégrés au *Gazetteer for geographical names of undersea features* (publication B-8 de l'OHI).

#### 2.2.6 Le groupe d'experts des Nations Unies pour les noms géographiques (GENUNG)

Il a pour mandat :

- d'encourager la normalisation nationale et internationale des noms géographiques ;
- de promouvoir la diffusion internationale des noms géographiques nationalement adoptés ;
- d'adopter un système unique de romanisation pour la conversion de chaque système d'écriture à l'alphabet romain.

### 3. NOUVELLES INSTRUCTIONS

Compte tenu de l'ancienneté de l'instruction de 1976 régissant les pratiques au SHOM relatives à la toponymie et surtout dans un but de simplification et d'éclaircissement de certaines règles, la révision de cette instruction et des diverses autres instructions relatives à ce domaine a été décidée en 2009.

Ainsi, trois instructions ont été réactualisées :

- l'instruction relative à la toponymie dans les documents publiés par le SHOM (instruction n° 81 SHOM/DQMN/NP du 26 mai 2010) ;
- l'instruction relative à la révision et au choix des toponymes par les groupes hydro-océanographiques (instruction n° 82 SHOM/DQMN/NP du 26 mai 2010) ;
- l'instruction relative à la création, l'organisation et le fonctionnement de la commission de toponymie du SHOM (instruction n° 83 SHOM/DQMN/NP du 27 mai 2010).

En complément, le contenu de l'ouvrage interne au SHOM sur la conception, la confection et la présentation des cartes marines (CCPCM) a été revu pour supprimer tous les doublons par rapport au contenu des précédentes instructions.

Les changements principaux contenus dans l'instruction n° 81 sont :

- distinction claire entre les règles générales et les cas particuliers,
- distinction entre les zones sous souveraineté française et les autres,

- limitation de l'emploi des exonymes sur les cartes et dans les ouvrages nautiques en donnant la préférence aux toponymes nationaux (sauf pour les cas où le toponyme est peu connu : dans ce cas on porte en plus l'exonyme français),
- généralisation de l'emploi des accents (signes diacritiques) sur les majuscules conformément aux règles de la langue française.

On notera un point important souligné en remarque liminaire importante à cette instruction :

*« Il convient avant tout de prendre ce thème en considération lors de l'élaboration d'une carte et en particulier d'être très vigilant sur l'éventuelle souveraineté d'un territoire qui pourrait être l'objet de revendications multiples de souveraineté : dans ce cas, il convient de s'entourer de précautions et de prendre l'avis du ministère des affaires étrangères avant tout choix de toponyme pour éviter tout problème diplomatique éventuel. »*

L'instruction n° 82 quant à elle donne les lignes directrices pour réaliser une enquête de toponymie ou une révision des toponymes par un groupe hydro-océanographique.

Le groupe réexamine la totalité de la toponymie dans les limites du levé et en élimine les erreurs ou incohérences. Il propose aussi, s'il l'estime nécessaire, l'attribution de toponymes nouveaux à des éléments maritimes qui ne possèdent pas de baptême toponymique.

L'ensemble de ces travaux de toponymie nécessite une enquête auprès des pratiques et des services locaux (services maritimes de l'équipement, quartiers des affaires maritimes, associations de plaisanciers, ...). L'annexe I à cette instruction donne des indications sur la façon de procéder pour mener ces enquêtes. La modification de toponymes et les toponymes nouveaux seront soumis après réception des comptes rendus par la direction du SHOM à la commission de toponymie du SHOM qui se prononcera sur les propositions du groupe hydro-océanographique et éventuellement décidera des suites à donner comme par exemple une soumission au SCUFN. Pour les zones terrestres, les éventuelles observations seront transmises à la commission de toponymie de l'IGN pour suite à donner.

### 4. CONCLUSION

La toponymie est un thème qui doit être pris très au sérieux lors de la compilation d'une carte. Les changements toponymiques par rapport aux cartes existantes ne doivent être opérés qu'après une étude sérieuse en prenant en compte toutes les conséquences éventuelles de ce changement quel qu'il soit (attention aux éventuels problèmes diplomatiques).

Il convient aussi de prendre en compte toute enquête existante lors de la compilation d'une nouvelle carte en particulier si l'échelle de celle-ci est plus grande que celle des cartes existantes (on peut ainsi être amené à ajouter des toponymes qui ne pouvaient être portés sur les cartes existantes car la place manquait).

La montée en puissance des langues régionales constitue une difficulté supplémentaire lors de la réalisation de nouvelles cartes et un avis systématique de la commission de toponymie du SHOM voire de la commission nationale de toponymie peut être utile.

Enfin, toute découverte de haut-fond ou de forme de relief sous-marin peut donner lieu à la création d'un nouveau toponyme et pour cela, il convient de faire une proposition soit aux autorités nationales responsables du territoire concerné, soit aux autorités internationales comme le SCUFN pour les zones internationales.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

Sites Internet :

<http://education.ign.fr/45/dossiers/comprendre-la-toponymie.htm>

[www.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=20](http://www.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=20)

[www.toponymiefrancophone.org/divfranco/](http://www.toponymiefrancophone.org/divfranco/)

### Annexe 2 : Toponymie nautique de l'île des Pins et du lagon environnant

1

#### AVERTISSEMENT

1 - Les numéros repères renvoient aux cartes index IGN au 1/50 000<sup>ème</sup> de l'île des Pins (annexe 3) et marine 1856 (annexe 4).

2 - Il est également fait référence dans le texte aux cartes marines 1823 et 1824 (éd. 1967).

3 - Les noms soulignés, correspondant aux numéros renforcés sur les cartes index, sont ceux que l'on propose de faire figurer sur une future carte marine à l'échelle 1/60 000<sup>ème</sup>.

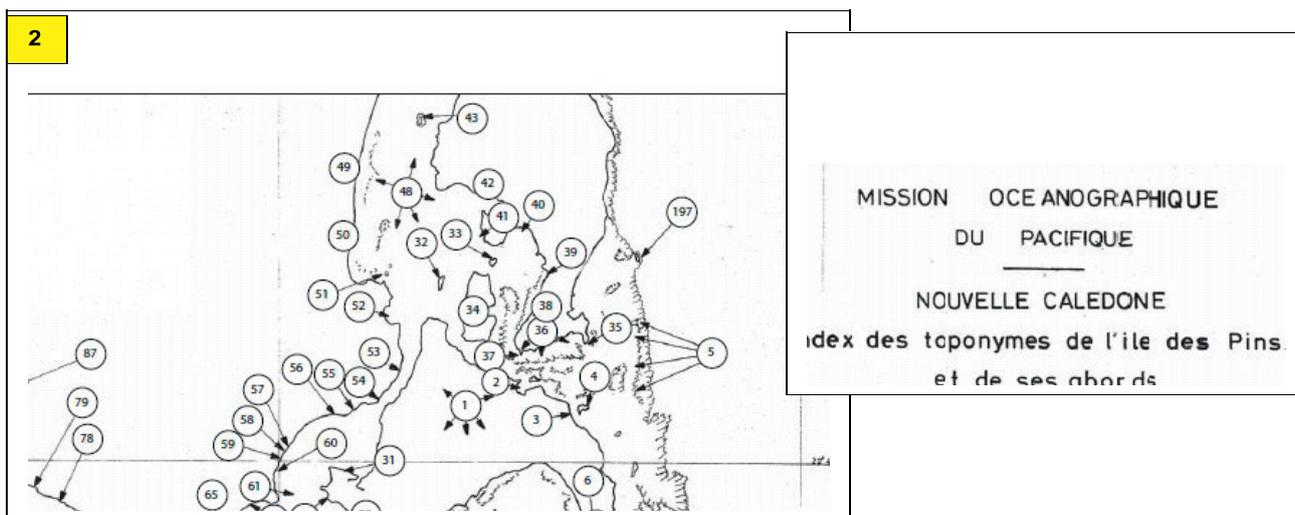
4 - La convention orthographique retenue est explicitée en annexe 1.

5 - Les éléments figurés de prononciation utilisent des mots français existants dont la prononciation n'est pas contestable, ou des groupes de syllabes sans signification que tout lecteur francophone peut prononcer sans ambiguïté. Quelques mots étrangers commodes ont parfois été utilisés : catch et boat de l'anglais, ya de l'allemand, hoy de l'espagnol, etc. Les tirets isolant les syllabes dans la prononciation figurée n'ont pour but que d'éviter toute erreur par regroupement de lettres inopportun ; pour la prononciation du mot, ces syllabes doivent être liées, presque fondues ensemble. La prononciation en nakunié est aussi monosyllabique que possible, même en présence de longues diphthongues ou de consonnes complexes, ce qui explique l'assourdissement général des voyelles et l'absence de netteté, de franchise, des consonnes.

6 - Ces toponymes sont complets, et il n'y a pas lieu de leur rajouter des termes génériques. Exemples : pour les toponymes n° 12, 27, 105 et 151 il ne faut pas mettre : passe Ndjū, baie Kororū, île Numua ou récif Ndadiaré.

N° repère	Appellation	Prononciation	Observations
1	<u>KUTOMO</u>	(couteau-mot)	Nom de toute l'île.
2	TANU <sup>76</sup>	(tas-nou)	Nom de la petite baie vaseuse en face de l'îlot appelé Tanu sur CM 1823 et Atéré sur IGN.
3	KUINANDIU	(qu'oui-ment-diou, presque djiou)	Nom de la petite plage en face de l'îlot Atéré, semble aussi désigner toute la région jusqu'à Tanu.
4	<u>ATÈBÈ</u> <sup>72</sup>	(à-tes-raies, presque hâte heureux)	Nom de l'îlot appelé Kuibandiu sur CM 1823 et Kuibandui sur IGN.
5	<u>NONGAN</u>	(non-gant, presque non-nan)	Nom du récif jusqu'à la hauteur de l'îlot Atéré.
6	NÉPÈ	(n'épais, presque nez-peu)	Petite zone cultivée de Kutomo, au fond de la faussement appelée de Gū (CM et IGN).
7	UOMO	(ou-au-mot, presque ou-au-ment)	(douteux)
8	UINOKOIN	(oui-no-coin,	Uinon = morceau, tronç

2



Exemple de résultat d'une enquête de toponymie sur l'Île des Pins extrait de l'article de l'IPA P. Souquière (AH n° 777 – 2<sup>ème</sup> partie)

1. Résultat du recueil des toponymes avec observations
2. Liste des repères correspondant aux toponymes du tableau



# PLAN DE PRODUCTION DES ENC 2011-2014 : MÉTHODOLOGIE ET CRITÈRES

par Yann Keramoal ingénieur des études et techniques de l'armement du SHOM<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Début 2011, un nouveau plan de production des cartes électroniques de navigation (ENC) a été établi pour la période 2011-2014. La première priorité a été de répondre aux nouvelles exigences réglementaires fixées par l'Organisation maritime internationale pour certains navires marchands et navires à passagers. Les autres objectifs (pêche, plaisance, densification...) ont été hiérarchisés en fonction des zones de navigation les plus fréquentées et les plus intéressantes en termes de potentiel de marché.

Les zones prioritaires ont été identifiées à partir d'une recherche documentaire, complétée par des enquêtes.

Cette liste de zones d'intérêt a permis de définir les ENC à produire entre 2011 et 2014, soit 161 cartes dans les eaux françaises et dans les zones étrangères de responsabilité cartographique.

## ABSTRACT

*Early in 2011, a new ENC production plan was drawn up for the four forthcoming years. The first priority was to answer to new carriage requirements set by International maritime organization for certain merchant ships and passenger ships. The other charting purposes (fishing, boating, full coverage...) have been prioritized according to the most used navigation areas and the most interesting areas in terms of market potential.*

*The areas of utmost importance have been determined thanks to a documentary research, completed with surveys.*

*This list of areas of interest allows to define the ENC's to be produced between 2011 and 2014, i.e. 161 charts in the French waters and in the foreign areas where France acts as charting authority.*

<sup>1</sup> Responsable du secteur de production des cartes électroniques (PRODCE) du département cartographie du SHOM  
Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex  
Email : yann.keramoal@shom.fr



## 1. INTRODUCTION

A l'heure de la navigation tout numérique, il devient urgent de constituer un ensemble de cartes électroniques de navigation (ENC), entretenu pour répondre aux besoins de la navigation actuelle.

La priorité avait été initialement donnée aux zones de fort trafic (passagers et marchandises). De 2008 à 2010, une première inflexion avait été donnée pour assurer la couverture des lignes NGV (navires à grande vitesse) imposée par l'Organisation maritime internationale (OMI).

En 2011, il convenait désormais de définir une hiérarchisation des autres besoins avérés, dans le contexte des nouvelles obligations réglementaires fixées par l'OMI. Cette réflexion a fait l'objet d'un nouveau plan pluriannuel de production des ENC.

Début 2011, 282 ENC (comptées suivant un découpage de cartes papier y compris pour les ENC encore en découpage régulier, 322 comptées en valeur brute) étaient produites. Plus des 2/3 du portefeuille complet étaient encore à produire pour atteindre l'objectif cible de 900 ENC, correspondant à la conversion dans leur format numérique des cartes papier couvrant la France (métropole et DROM-COM) et les zones étrangères de responsabilité cartographique (1).



1. État de la couverture des ENC du SHOM au 01/01/2011

## 2. CONSÉQUENCES DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES DE L'OMI

L'OMI avait déjà rendu obligatoire l'emport d'un système de visualisation de cartes électroniques et d'information (ECDIS) sur les NGV à partir de 2008 pour les navires neufs et 2010 pour les autres. Par l'amendement à la convention SOLAS de juin 2009 (voir annexe 2), l'OMI a voulu élargir cette exigence, car elle contribue à améliorer la sécurité de la navigation. Le calendrier mis en place rend obligatoire à différentes échéances l'emport d'un ECDIS pour certains types de navires (navires à passagers, navires-citernes et navires de charge) qui effectuent des voyages internationaux. L'application de ces règles d'emport s'étend de 2012 à 2018 selon la classe du navire, le tonnage et son âge (2).

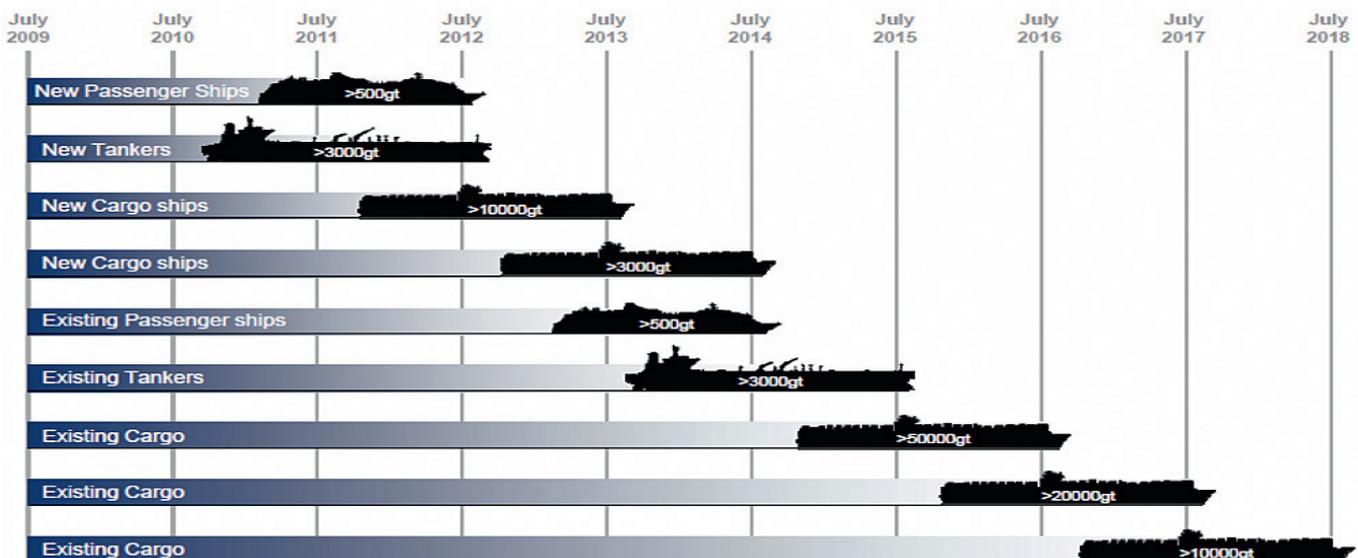
Pour profiter au maximum des avantages de l'ECDIS, les services hydrographiques se doivent de rendre disponible à court terme une couverture en ENC sur les routes maritimes utilisées par ces navires, ces cartes étant les seules cartes officielles autorisées à alimenter les ECDIS sur les navires soumis à la convention SOLAS.

## 3. PRIORITÉS

Cinq objectifs ont été fixés. Le premier d'entre eux, inscrit dans le contrat d'objectifs et de performance (COP) 2010-2012 et dans l'objectif stratégique du SHOM « produits numériques » (PRONUM), est d'assurer la production des ENC répondant aux obligations d'emport d'ECDIS suivant les jalons fixés par l'OMI.

Les priorités suivantes ont été fixées en fonction des besoins futurs en ENC, tels qu'énoncés dans l'objectif stratégique PRONUM :

- la constitution du portefeuille d'ENC en tenant compte du calendrier d'obligation d'emport défini par l'OMI (navires à grande vitesse en 2010, navires à passagers et pétroliers en 2012, cargos en 2014) dans les eaux françaises et dans les autres zones de responsabilité cartographique ;



2. Obligations d'emport de l'ECDIS fixées par l'OMI

- en parallèle, publication d'ENC dédiées à la marine nationale et densification de la couverture des ENC pour les secteurs pêche et plaisance jusqu'en 2020 pour la métropole et jusqu'en 2025 pour l'outre-mer en fonction du potentiel disponible.

Les zones de navigation métropolitaines les plus utilisées et à plus fort potentiel en termes de marché ont ensuite été privilégiées afin de compléter l'offre en cartographie numérique pour le marché de la pêche professionnelle (constitue l'objectif « pêche » dans la suite de l'article) et de la plaisance (objectif « densification »).

L'objectif « pêche » permettra de couvrir l'ensemble des grands ports de pêche dès fin 2013. Les nouvelles ENC produites amélioreront de façon significative la couverture des ports de pêche qui passera de 53 % fin 2010 à 86 % du tonnage déchargé (pourcentage établi à partir des chiffres du *Marin* de 2007).

Pour les besoins des petits trafics passagers hors NGV (desserte des îles), de la plaisance, de la petite pêche artisanale, des navigations côtières des navires de l'État, la priorité est donnée pour constituer la couverture complète en ENC des deux plus grands bassins de navigation de France métropolitaine, les côtes sud-est de la France et de Bretagne sud (régions où les immatriculations de bateaux de plaisance sont les plus importantes). La couverture des côtes de la région PACA sera exhaustive en 2014, avec en priorité la couverture des dessertes des îles. La couverture de Douarnenez à Nantes sera pratiquement complète à la fin du plan. Cette densification de la couverture à grande échelle permet aussi de mettre à disposition une couche d'informations numériques pour les missions de soutien des politiques publiques maritimes et du littoral.

La production d'ENC spécifiques pour les besoins de la marine est aussi programmée en fonction des priorités exprimées par celle-ci.

Enfin, afin de répondre aux engagements pris par le SHOM dans les commissions hydrographiques régionales, une dernière priorité a été créée pour la production des ENC de petite échelle et moyenne échelle, correspondant aux cartes papier internationales (cartes INT) attribuées au SHOM.

#### 4. VOLUMES DE PRODUCTION

Un volume de 35 nouvelles ENC par an, de niveau moyen de difficulté, a été retenu comme hypothèse de capacité de production, un cartouche étant considéré équivalent à une demi-carte au format A0.

De plus, il convient de prendre en compte la part croissante de l'entretien des ENC avec une perspective de 10 à 15 éditions par an et la production croissante de mises à jour d'ER (ENC Revision) (699 en 2011).

#### 5. RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Une recherche documentaire a été nécessaire afin d'identifier les zones qui répondaient aux critères définis. Il s'agissait d'établir une étude statistique faisant état des ports français de métropole et d'outre-mer recensant le type de navire (navire à passagers, navire de commerce, navire de pêche, plaisanciers), la fréquence du trafic ainsi que l'état des ENC (existant ; en projet ; inexistant).

Les informations ont été recueillies dans les sources suivantes : la liste Lloyds des 2 000 premiers ports mondiaux (2006), la liste des ports et mouillages les plus fréquentés en 2008 par la Cruise Line Industry Association, les statistiques des ports français marchands, à passagers et de pêche issues de la presse spécialisée, comme *Le Marin* (sources provenant de la Direction du transport maritime des ports et du littoral, des ports, des chambres de commerce et d'industrie, des Directions départementales des territoires et de la mer et des conseils généraux).

Ces informations ont été complétées par des enquêtes ou des sources extérieures spécifiques : consultation des pilotes de Nouvelle-Calédonie, consultation des sites des compagnies de croisières, rapports sur les activités de pêche, statistiques de la Direction des affaires maritimes, code des ports maritimes, informations provenant du Comité consultatif des utilisateurs des documents, levés et prestations du SHOM (CUSH) et du Bureau hydrographique international (BHI)...

Pour la priorité relative aux exigences de l'OMI, les routes internationales concernées ont été identifiées dans les eaux françaises (métropole et outre-mer), mais aussi dans les zones de responsabilité historique et dans les eaux des pays avec qui le SHOM a signé un arrangement bilatéral. Cet objectif « OMI » concerne à lui seul 57 % du plan de production. Les règles d'emport de l'OMI imposent de produire des cartes principalement hors métropole.

#### 6. ZONES DE RESPONSABILITÉ HISTORIQUE

Le SHOM continue d'assurer une production cartographique originale dans quelques zones étrangères dites de responsabilité historique. Dans le cadre d'arrangements bilatéraux, certains des pays concernés délèguent au SHOM la responsabilité de service hydrographique national et en particulier de producteur d'ENC.

En l'absence d'informations détaillées, il n'a pas été possible de faire une distinction précise entre les besoins des navigateurs français, de la navigation internationale ou des pratiques locaux. Toutes les cartes ont donc été regroupées en une seule priorité. Le plan de production tient compte essentiellement des responsabilités en cartes INT du SHOM, des besoins connus (lignes maritimes et ports fréquentés) et des besoins induits par les prescriptions d'emport de l'OMI.

La couverture en zone de responsabilité historique est assurée soit par des ENC françaises, soit par des ENC britanniques. Seules les ENC correspondant à des zones non encore couvertes ou faisant l'objet d'une publication ou édition récente de la carte papier sont identifiées dans le plan.

#### 7. CONCLUSION

Le plan de production 2011-2014 (voir annexe 1) prévoit la mise en service de 161 ENC. Une fois le plan achevée, 443 ENC devraient donc être disponibles, soit 49 % du portefeuille complet. La réalisation du plan demeure soumise à la disponibilité des moyens humains et matériels, dans un contexte de renouvellement du personnel et des outils de production du département Cartographie.

## 8. RÉFÉRENCES

a. Fiche objectif stratégique PRONUM n° 105 SHOM/DO/NP  
du 17 décembre 2010 ;

b. Fiche n°10 SHOM/DO/NAU/CA/-- du 27 janvier 2011,  
« Extension du portefeuille et plan de production des ENC  
du SHOM de 2011 à 2014 ».

### ANNEXE 1

**Tableau des ENC du plan de production des ENC 2011-2014 dans les eaux françaises**

Les chiffres d'ENC cités ci-après sont comptés en valeur brute, et non suivant un découpage de cartes papier. Les ENC dans les zones étrangères de responsabilité cartographique ne figurent pas dans ce tableau.

Zone géographique	Echelle (usage band)	Réalisé en 2010	Prévision en 2014	Total à produire	% réalisé en 2014	ENC restant à réaliser
Métropole – Manche	INTU 1	0	0	0	-	-
	INTU 2	0	0	0	-	-
	INTU 3	8	8	8	100 %	-
	INTU 4	15	17	20	85 %	3
	INTU 5	20	23	40	58 %	17
	INTU 6	6	8	33	24 %	25
Métropole – Atlantique	INTU 1	1	1	1	100 %	-
	INTU 2	1	1	1	100 %	-
	INTU 3	5	5	5	100 %	-
	INTU 4	18	18	18	100 %	-
	INTU 5	18	32	48	67 %	16
	INTU 6	5	18	24	75 %	6
Métropole – Méditerranée De la frontière espagnole à Fos Et la Corse	INTU 1	0	0	0	-	-
	INTU 2	0	0	0	-	-
	INTU 3	2	2	2	100 %	-
	INTU 4	13	15	15	100 %	-
	INTU 5	10	11	24	46 %	13
	INTU 6	2	2	8	25 %	6
Métropole – Méditerranée Région PACA (De Fos à Monaco)	INTU 1	0	0	0	-	-
	INTU 2	1	1	1	100 %	-
	INTU 3	1	1	1	100 %	-
	INTU 4	6	6	6	100 %	-
	INTU 5	14	15	15	100 %	-
	INTU 6	10	29	29	100 %	-
DOM	INTU 1	0	0	0	-	-
	INTU 2	4	4	4	100 %	-
	INTU 3	5	6	6	100 %	-
	INTU 4	11	12	14	86 %	2
	INTU 5	14	15	32	47 %	17
	INTU 6	2	4	5	80 %	1
COM et POM	INTU 1	1	1	3	33 %	2
	INTU 2	3	12	13	92 %	1
	INTU 3	6	6	27	22 %	21
	INTU 4	14	36	96	38 %	60
	INTU 5	16	45	148	30 %	103
	INTU 6	6	14	30	47 %	16
Total		238	368	677	54 %	309

## ANNEXE 2

### Amendements à la convention SOLAS.

#### AMENDEMENTS À LA CONVENTION INTERNATIONALE DE 1974 POUR LA SAUVEGARDE DE LA VIE HUMAINE

##### CHAPITRE V

##### SÉCURITÉ DE LA NAVIGATION

##### Règle 19 – Prescriptions relatives à l'emport des systèmes et du matériel de navigation de bord

2.10 Les navires qui effectuent des voyages internationaux doivent être pourvus d'un système de visualisation de cartes électroniques et d'information (ECDIS) comme indiqué ci-après :

- .1 navires à passagers d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 construits le 1<sup>er</sup> juillet 2012 ou après cette date ;
- .2 navires-citernes d'une jauge brute égale ou supérieure à 3 000 construits le 1<sup>er</sup> juillet 2012 ou après cette date ;
- .3 navires de charge, autres que les navires-citernes, d'une jauge brute égale ou supérieure à 10 000 construits le 1<sup>er</sup> juillet 2013 ou après cette date ;
- .4 navires de charge, autres que les navires-citernes, d'une jauge brute égale ou supérieure à 3 000 mais inférieure à 10 000 construits le 1<sup>er</sup> juillet 2014 ou après cette date ;
- .5 navires à passagers d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 construits avant le 1<sup>er</sup> juillet 2012, au plus tard à la date de la première visite\* effectuée le 1<sup>er</sup> juillet 2014 ou après cette date ;
- .6 navires-citernes d'une jauge brute égale ou supérieure à 3 000 construits avant le 1<sup>er</sup> juillet 2012, au plus tard à la date de la première visite\* effectuée le 1<sup>er</sup> juillet 2015 ou après cette date ;
- .7 navires de charge, autres que les navires-citernes, d'une jauge brute égale ou supérieure à 50 000 construits avant le 1<sup>er</sup> juillet 2013, au plus tard à la date de la première visite\* effectuée le 1<sup>er</sup> juillet 2016 ou après cette date ;
- .8 navires de charge, autres que les navires-citernes, d'une jauge brute égale ou supérieure à 20 000 mais inférieure à 50 000 construits avant le 1<sup>er</sup> juillet 2013, au plus tard à la date de la première visite\* effectuée le 1<sup>er</sup> juillet 2017 ou après cette date ; et
- .9 navires de charge, autres que les navires-citernes, d'une jauge brute égale ou supérieure à 10 000 mais inférieure à 20 000 construits avant le 1<sup>er</sup> juillet 2013, au plus tard à la date de la première visite\* effectuée le 1<sup>er</sup> juillet 2018 ou après cette date.

\*Se reporter à l'interprétation uniforme de l'expression «première visite» mentionnée dans les règles de la Convention SOLAS (MSC.1/Circ.1290).

# CRITÈRES DE COMPOSITION DU PORTEFEUILLE DE CARTES MARINES PAPIER (EAUX ÉTRANGÈRES, HORS ZONE DE RESPONSABILITÉ CARTOGRAPHIQUE)

par Gwladys Theuillon<sup>1</sup> ingénieur principal de l'armement du SHOM

## RÉSUMÉ

Face à l'évolution de l'offre du SHOM en produits nautiques, et celle des besoins des usagers, les critères de composition du portefeuille de cartes papier ont été redéfinis. Les objectifs de cette démarche sont de garantir au mieux la sécurité de la navigation en améliorant la qualité des cartes, de mieux correspondre aux besoins des usagers et d'être la plus efficiente pour le SHOM et ses clients.

## ABSTRACT

*Following the evolution of SHOM's nautical products and services and the changes of users needs, the composition of the paper charts portfolio has been adapted. The aims of this step are to better ensure the safety of navigation by offering improved quality charts, to better fit users needs and to get more efficient for SHOM and customers.*

<sup>1</sup> Expert de la direction technique, de la recherche et de l'innovation (DTRI) du SHOM  
Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex  
Email : gwladys.theuillon@shom.fr



## 1. INTRODUCTION

Face à l'évolution de l'offre du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) en produits nautiques, rendue nécessaire par les obligations internationales en matière d'emport d'ECDIS<sup>1</sup>, et celle des besoins des usagers, les critères de composition de l'offre de cartographie marine et ses modalités de gestion devaient être redéfinis. Un des volets de cette démarche a consisté à adapter la composition du portefeuille de cartes papier pour garantir au mieux la sécurité de la navigation (par exemple, en améliorant la qualité des cartes et en diminuant l'âge moyen du portefeuille), mieux correspondre aux besoins des usagers et être la plus efficace pour le SHOM et ses clients. Cette action répond aux objectifs du COP (contrat d'objectifs et de performance) 2010-2012 et au programme annuel 2011 du SHOM demandant l'aménagement du portefeuille de cartes papier.

Les nouveaux critères de composition et de gestion du portefeuille de cartes françaises du SHOM et du portefeuille de complément sont donc développés. La présente étude s'intéresse exclusivement aux eaux étrangères hors des zones de responsabilité cartographique française. Les cartes produites par le SHOM pour la satisfaction de besoins autres que la sécurité de la navigation (connaissance de l'environnement, action de l'État en mer...) ne sont pas abordées.

## 2. L'OFFRE CARTOGRAPHIQUE EN 2011

L'offre cartographique du SHOM en cartes papier peut être décomposée de la manière suivante :

- les cartes françaises, produites par le SHOM, comprenant cartes originales<sup>2</sup>, cartes de compilation<sup>3</sup> et fac-similés<sup>4</sup>,
- les cartes du portefeuille de complément (PDC)<sup>5</sup>, d'origine britannique pour la plupart,
- les cartes étrangères, hors portefeuille de complément (HPDC).

Si les cartes produites par le SHOM peuvent répondre aux besoins de tous les utilisateurs (plaisance, pêche, marine marchande, défense...), les cartes du portefeuille de complément, non commercialisées, sont choisies en premier lieu pour répondre aux besoins spécifiques et récurrents de la marine nationale. De plus, pour servir les besoins ponctuels de la marine nationale, la fourniture de cartes est complétée, à la demande des unités, par des cartes étrangères hors portefeuille dont l'équivalent n'existe pas déjà au sein du catalogue du SHOM.

Les zones couvertes par les cartes françaises sont les secteurs dont la responsabilité cartographique incombe au

<sup>1</sup> Electronic Chart Display and Information System (système électronique de visualisation des cartes marines).

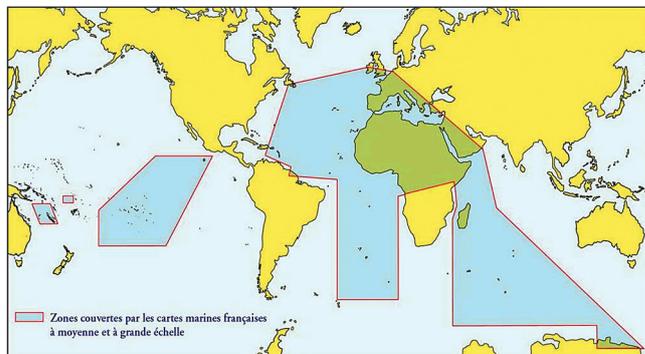
<sup>2</sup> Carte pour laquelle on dispose de minutes de levé, qu'elle soit établie directement à partir de ces minutes ou par l'intermédiaire de cartes à l'échelle supérieure.

<sup>3</sup> Carte établie à partir d'une ou plusieurs cartes non originales, le plus souvent étrangères.

<sup>4</sup> Carte pour laquelle sont utilisés les éléments de reproduction fournis par un autre service à la suite d'un accord bilatéral.

<sup>5</sup> Cartes inscrites au catalogue du SHOM, disponibles et tenues à jour, et délivrées exclusivement à la marine nationale.

SHOM, c'est-à-dire les espaces sous juridiction française, les pays et zones pour lesquels il existe un engagement de la France au sens de la convention SOLAS<sup>6</sup> et les zones de responsabilité cartographique internationale. La production de cartes françaises, pour des raisons historiques ou pour répondre à la satisfaction d'une demande avérée des navigateurs français aux voisinages des eaux françaises (continuité de l'offre) s'étend au-delà des zones de responsabilité cartographique ; ces cartes couvrent des zones d'intérêt prioritaire de la défense mais aussi des zones d'intérêt non prioritaire. Les zones (hors eaux nationales) couvertes par les cartes françaises produites par le SHOM sont donc : les îles et façades maritimes des pays européens frontaliers avec la France, la côte occidentale de l'Afrique, les côtes de la Méditerranée, la mer Rouge (Djibouti) et le Sud-ouest de l'océan Indien (Madagascar, Comores), les petites Antilles et partiellement le Vietnam et le Cambodge. Dans les zones d'intérêt particulier de la défense mais hors responsabilité cartographique, on note des exceptions pour lesquelles le SHOM ne publie pas de cartes car il n'apporte pas de plus-value (golfe arabo-persique, Sao Tomé et Príncipe...).



*Zones couvertes par les cartes marines françaises à moyenne et grande échelle*

Les zones d'intérêt non prioritaire de la défense correspondent aux régions complémentaires du reste du monde et sont couvertes, en général, par des cartes étrangères dites de complément mais parfois aussi par des cartes produites par le SHOM (cartes à petite échelle ou à grande échelle : île de l'Ascension, mer de Marmara...).

En 2011, le portefeuille français comprenait 1 081 cartes dont 144 cartes de compilation et 330 cartes étrangères reproduites en fac-similés, 579 cartes pour le portefeuille de complément. A cela il faut ajouter les cartes étrangères hors du portefeuille de complément.

Les principales caractéristiques de ces offres ont été comparées pour confronter les avantages et inconvénients de chacune car certains critères (approvisionnement, discrétion, entretien...) peuvent être déterminants en regard des contraintes opérationnelles. Pour résumer cette analyse, la carte française permet de sécuriser l'approvisionnement et garantir une discrétion sur les zones fréquentées par les unités de la marine. Elle présente néanmoins un risque de proposer une information moins à jour que la documentation originale dans le cas des cartes de compilation ou fac-similés. De plus, une étude de coûts prenant en compte le nombre de

<sup>6</sup> Safety Of Life At Sea (convention sur la sauvegarde de la vie humaine en mer).

délivrances et de cessions de cartes a montré qu'un surcoût lié à l'entretien pour les zones les moins fréquentées est inévitable. La fourniture de cartes étrangères permet une réduction significative des coûts lorsqu'elle est réalisée à propos mais néglige la confidentialité des zones d'intérêts et est soumise aux aléas des commandes auprès des revendeurs (disponibilité du produit et délai d'approvisionnement).

### 3. ADAPTATION DE L'OFFRE

La composition du portefeuille du SHOM a déjà fait l'objet de plusieurs évolutions mais celles-ci ont été limitées à des zones géographiques précises, souvent éloignées de la métropole ou ont été réalisées ponctuellement (suppression de cartes non mises à jour, par exemple). Or le contenu du portefeuille français, fortement marqué par l'histoire dans certaines zones, ne semblait plus, avant l'étude, adapté à la demande des usagers et l'offre cartographique du SHOM n'était pas optimale. En voici plusieurs exemples :

- cartes de compilation difficiles à entretenir faute d'information nautique communiquée par l'État côtier, âge moyen de ces cartes élevé ;
- compte tenu des ressources affectées à la cartographie et des compromis retenus pour satisfaire les autres besoins (dont la production d'ENC<sup>7</sup>), nombre et âge moyen des cartes étrangères en attente de reproduction en fac-similés estimés en 2011 à 31 cartes et 3 ans respectivement ;
- entretien des cartes du portefeuille de complément très coûteux et certaines cartes non demandées par la marine nationale ;
- certaines cartes étrangères hors du portefeuille de complément demandées de manière récurrente par la marine nationale (approvisionnement difficile).

Une révision globale du contenu du portefeuille paraissait alors nécessaire pour optimiser l'offre cartographique du SHOM et dégager du potentiel afin d'améliorer la qualité du service rendu : meilleure qualité des documents proposés et couverture plus adaptée aux demandes des utilisateurs, pour un coût moindre si possible. Cet aménagement devait évidemment prendre en compte l'évolution des besoins des usagers (support de navigation utilisé face à l'offre d'un service intégré papier / numérique, zones fréquentées...).

L'analyse des avantages et inconvénients des différentes composantes de l'offre cartographique, de la fréquentation par les usagers des zones et ports ainsi que de l'étude économique réalisée ont permis de définir les nouveaux critères de composition du portefeuille cible pour les zones étrangères hors des zones de responsabilité cartographique selon les principes suivants.

Tout d'abord, l'homogénéité du portefeuille par zone a été privilégiée : il ne semblait pas optimal, pour une chemise de cartes donnée, de mélanger les trois types de cartes (françaises, portefeuille de complément et étrangères). Il paraissait également important de favoriser la continuité géographique par type de carte :

- pour répondre à la satisfaction d'une demande avérée des navigateurs français au voisinage des eaux françaises

<sup>7</sup> Electronic Nautical Chart (carte électronique de navigation).

avec la production de cartes françaises au-delà des zones de responsabilité et d'intérêt de la défense ;

- pour faciliter le travail du département « information et ouvrages nautiques » et en particulier l'analyse et le traitement de l'information nautique pour l'entretien des cartes ;
- pour maintenir la cohérence avec le découpage géographique de la collection des ouvrages nautiques (lié aux chemises de cartes).

Ces considérations ont conduit à opérer la rationalisation par bassin et par chemise de cartes.

De plus, en considérant l'âge moyen des cartes du portefeuille français et les difficultés d'entretenir certaines cartes de compilation faute d'obtenir de certains services hydrographiques étrangers ou États côtiers une information nautique à jour, il paraissait également important de supprimer un maximum de cartes de compilation, de qualité parfois médiocre (non respect des normes, carte ancienne donc manque de lisibilité lié au nombre important de corrections reportées, non tenue à jour et / ou absence de carroyage pour certaines...). Leur remplacement potentiel a été étudié de manière à ne pas augmenter le nombre de fac-similés du portefeuille du SHOM (en considérant les effectifs du bureau fac-similés constants), sachant que le nombre et le délai d'attente de reproduction de cartes étrangères en fac-similés étaient déjà trop élevés. La fréquentation par les usagers des ports, l'intérêt économique et l'appartenance à un schéma INT (sauf si la production de la carte est attribuée à la France) ont servi d'aide à la décision quant au remplacement à envisager.

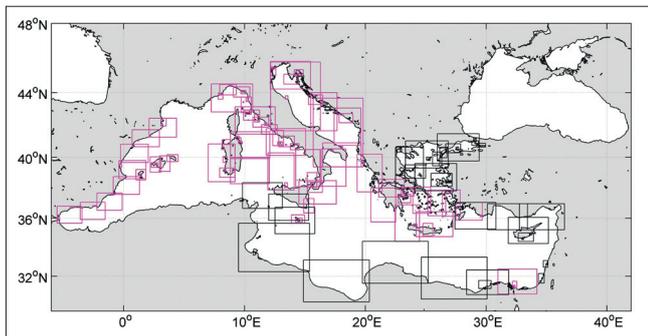
Pour les besoins spécifiques de la marine nationale, les orientations suivantes ont été retenues.

Dans les eaux étrangères hors zones de responsabilité cartographique française avec enjeux opérationnels (type golfe Persique), une couverture détaillée permettant aux navires français d'accéder aux ports et d'évoluer près des côtes a été choisie. Ainsi, il semblait important du point de vue de la discrétion, de maintenir systématiquement une couverture à travers des fac-similés pour les zones proches des espaces sous juridiction française ou des cartes du portefeuille de complément pour les autres zones. Dans ce dernier cas, le degré de dépendance vis-à-vis de l'UKHO (service hydrographique du Royaume-Uni) serait à relativiser si l'impression à la demande au SHOM de cartes britanniques était mise en place<sup>8</sup>. Toutefois, le recours aux demandes hors portefeuille devait être limité pour ces mêmes raisons (discrétion, délai d'approvisionnement...).

Dans les eaux étrangères hors zones de responsabilité cartographique française sans enjeux opérationnels, une couverture minimale avec recours aux commandes de cartes hors portefeuille a été envisagée pour satisfaire les demandes ponctuelles dans le cadre d'exercices ou de déplacements inhabituels. Ainsi, il semblait préférable de retirer les cartes du portefeuille de complément correspondant aux zones peu fréquentées, afin de limiter les coûts

<sup>8</sup> La mise en place d'un processus d'impression à la demande des cartes du portefeuille de complément, en cours d'étude en relation avec le service hydrographique britannique, devrait permettre de s'affranchir de certaines des contraintes liées à la discrétion et au délai d'approvisionnement

d'entretien et de fournir ces cartes ponctuellement. 3 000 cartes britanniques étant tenues à jour au SHOM, celles-ci permettent de disposer d'une couverture mondiale en cas de demande urgente de la marine.



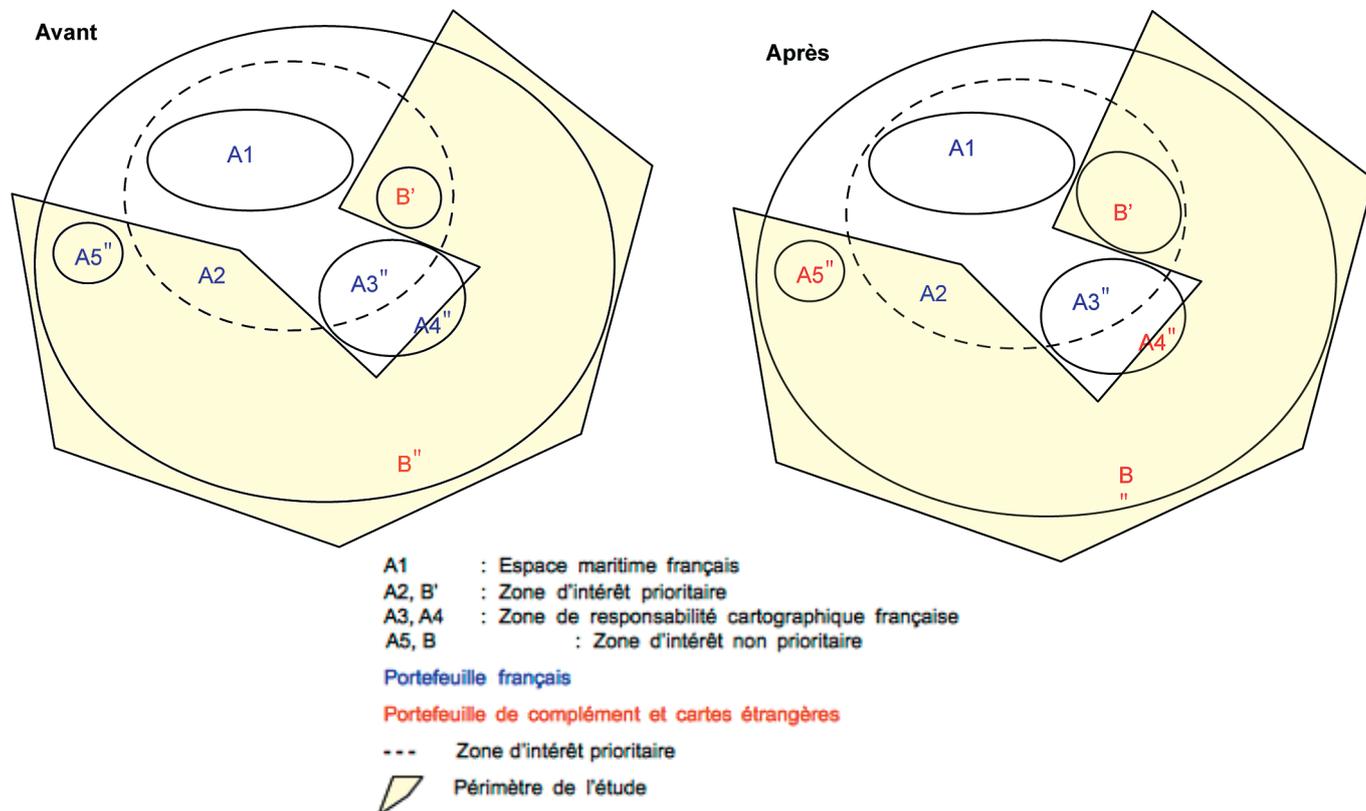
Exemple : nouvelle couverture pour la mer Méditerranée (eaux étrangères hors zones de responsabilité cartographique française). En rouge, les cartes françaises, en noir, les cartes du portefeuille de complément. Les parties est et sud-est basculent dans le portefeuille de complément. La couverture en mer Noire est supprimée.

En ce qui concerne l'examen de la fréquentation des ports par la marine, le seuil retenu pour la composition actuelle du portefeuille de complément a été conservé ; il est fixé à une escale par an en moyenne.

Ces principes ont été appliqués dans les eaux étrangères hors zone de responsabilité cartographique par bassin (Méditerranée, Asie, Europe (hors Méditerranée), Atlantique, océan Indien et océan Pacifique) et par chemise afin d'apprécier pour chaque carte un état : à conserver, à supprimer sans remplacement, à supprimer avec remplace-

ment. Les éléments pris en compte pour l'application de cette méthodologie ont été :

- la publication S-11 (*Directives pour la préparation et la tenue à jour des plans de cartographie INT et catalogue des cartes INT, de l'OHI*),
- les documents de référence S-4 (*Règlement pour les cartes internationales (INT) et spécifications pour les cartes marines*), de l'OHI, CCPCM (*Conception, confection, présentation des cartes marines*), du SHOM...),
- certains projets cartographiques préparant le remplacement de cartes (exemples : projet d'aménagement en Méditerranée - cf. lettre n° 14 SHOM/DO/NAU/NP du 2 avril 2010 et note n° 24 SHOM/DO/NAU/NP du 24 juin 2010, projets cartographiques en Croatie, à Bergen, Madère...) et les indicateurs de qualité des cartes,
- les travaux conduits au SHOM sur la gestion du portefeuille (groupe de travail GESARTA...) depuis la dernière restructuration du portefeuille en 1998-1999,
- la directive de programmation EMM/EMO 2010-2012,
- le tableau listant les escales de la marine nationale entre 1991 et 2010,
- les statistiques de délivrance des cartes,
- la liste des cartes étrangères hors portefeuille les plus demandées par la marine,
- les principales routes maritimes,
- les statistiques de fréquentation des ports mondiaux,
- l'analyse du portefeuille de cartes françaises conduite en 2008 par la division « marketing » et les statistiques de ventes annuelles des cartes,
- les éléments de comptabilité analytique,
- les rapports annuels internes du SHOM.



Comparaison de la couverture cartographique avant et après l'aménagement du portefeuille des cartes papier

#### 4. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Les conséquences de l'aménagement du portefeuille de cartes *papier* dans les eaux étrangères hors zones de responsabilité cartographique française sont :

- le recentrage de la couverture des cartes à grande échelle sur les ports fréquentés par la marine et les clients hors-défense : suppression si le nombre moyen d'escales est inférieur à une par an et / ou les statistiques de ventes sont faibles, introduction au portefeuille sinon,
- la bascule dans le portefeuille de complément de zones d'intérêt non prioritaire de la marine et non fréquentées par les clients hors-défense, auparavant couvertes par des cartes françaises (exemple : nord de la mer Egée, Vietnam, Cambodge...),
- la suppression de cartes de compilation de qualité médiocre et le remplacement par des cartes plus récentes si la zone est fréquentée,
- la bascule dans le portefeuille de complément des cartes au 1 : 3 500 000 en dehors des eaux sous juridiction française et de responsabilité cartographique,
- l'introduction dans le portefeuille de complément de cartes étrangères hors portefeuille dans les zones d'intérêt prioritaire de la marine (exemple : Nord-est de l'océan Indien, Afrique de l'Ouest, Nord-ouest Écosse...),
- une forte réduction du nombre de cartes non britanniques du portefeuille de complément (Japon, Australie, Nouvelle-Zélande).

La mise en oeuvre de l'aménagement du portefeuille de cartes marines s'étalera de 2012 à 2014, pour se stabiliser à l'horizon 2015-2016. Sur cette période, en accord avec les objectifs du futur COP 2013-2016, le nombre de cartes du portefeuille français diminuera d'environ un tiers et le volume de cartes du portefeuille de complément restera stable, malgré un réaménagement pour intégrer des cartes étrangères actuellement hors portefeuille. Le bénéfice attendu est une amélioration de la qualité des cartes liée à une diminution de l'âge moyen du portefeuille de 6 ans et un gain en ressources (humaines et financières) lié à la diminution du nombre de cartes à entretenir.

Cette étude pourrait utilement être étendue aux eaux sous juridiction française et de responsabilité cartographique française. Une méthodologie spécifique à ces zones a été proposée. Celle-ci pourra être appliquée par la division « produits nautiques » (NAU) qui dispose des informations et de l'expertise nécessaires (bases de données, logiciels de gestion des produits nautiques, levés en attente d'intégration...) pour sa mise en oeuvre.

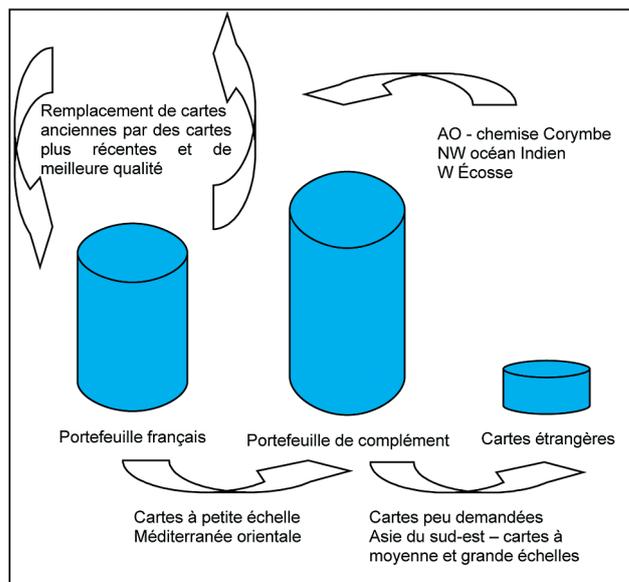


Schéma illustrant l'aménagement du portefeuille

Le tableau ci-après permet de comparer le nombre de cartes avant et après l'aménagement.

	avant	après	suppression	ajout
<b>carte de compilation</b>	196	81	115	0
<i>secteur Europe</i>	88	29	-	-
<i>secteur outre-mer</i>	108	52	-	-
<b>fac-similé</b>	301	230	111	40
<i>secteur Europe</i>	176	145	-	-
<i>secteur outre-mer</i>	125	85	-	-
<b>portefeuille de complément</b>	581	568	216	203
<i>secteur Europe</i>	148	187	-	-
<i>secteur outre-mer</i>	433	381	-	-

# LA CARTOGRAPHIE MARINE À L'ÈRE NUMÉRIQUE : DE LA NORMALISATION À LA CO-PRODUCTION

par Gilles Bessero ingénieur général de l'armement, directeur du BHI

Cet article a fait l'objet d'une communication prononcée  
à la 25<sup>e</sup> conférence cartographique internationale,  
organisée du 3 au 8 juillet 2011 à Paris

## RÉSUMÉ

Compte tenu de son importance pour la maîtrise des mers et la sécurité de la navigation, la cartographie marine fit l'objet dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle d'un effort soutenu de normalisation et de coopération internationale qui prit toute son ampleur avec la création en 1921 du Bureau hydrographique international, devenu depuis l'organe permanent de l'Organisation hydrographique internationale (OHI).

L'apparition du concept de carte marine électronique, au début des années 1980, suscita de nouveaux développements coordonnés sur le plan international. Parallèlement à l'élaboration de spécifications internationales des « systèmes de visualisation de cartes électroniques et d'information » (ECDIS), un cadre général pour la production et la distribution des cartes électroniques de navigation a été adopté par l'OHI en 1994. En l'absence d'accords systématiques sur les limites de responsabilité maritime entre États côtiers, le recours à la co-production semble la seule option réaliste pour achever une couverture cartographique électronique complète et sans recouvrement dans des délais compatibles avec les échéances d'obligation d'empres des ECDIS.

## ABSTRACT

*Reflecting its importance for sea power and the safety of navigation, nautical charting has been the subject of a continuous effort in favour of standardization and international cooperation since the end of the 19<sup>th</sup> century. This effort was fully implemented in 1921 with the creation of the International Hydrographic Bureau (IHB), which has become since the permanent organ of the International Hydrographic Organization (IHO).*

*The introduction of the electronic navigational chart concept in the early 1980s spurred new internationally coordinated developments. In parallel to the design of international standards for "Electronic Chart Display and Information Systems" (ECDIS), a general framework for the production and distribution of electronic navigational charts was adopted by the IHO in 1994. Due to the lack of systematic agreements on maritime responsibility limits between coastal States, co-production seems to be the sole realistic option to achieve electronic chart coverage without any gap and overlap within a timeframe compatible with the planned implementation schedule of the mandatory ECDIS carriage requirements.*



Jusqu'au 17<sup>e</sup> siècle, les cartes marines furent publiées par des entrepreneurs individuels. Mais la seule initiative privée ne pouvait durablement satisfaire les besoins des États soucieux de développer leurs marines, pour défendre leurs intérêts commerciaux et stratégiques, et de disposer librement à cet effet de documents de qualité, nécessitant des opérations de levés hydrographiques onéreuses. C'est en France que fut créé en 1720 le premier service hydrographique national, dont l'actuel Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) est l'héritier. La production des cartes marines devenait ainsi une activité régaliennne. Parallèlement, avec les premiers levés hydrographiques systématiques de la fin du 17<sup>e</sup> siècle et les voyages d'exploration scientifique du 18<sup>e</sup> siècle, les cartes marines cessaient d'être des œuvres d'art, si ce n'est d'imagination, pour devenir une représentation fidèle du monde réel, basée sur une acquisition organisée des connaissances suivant les techniques conçues par les hydrographes de l'époque, notamment le Français Beautemps-Beaupré (1766-1854), surnommé le *Père de l'hydrographie* [1].



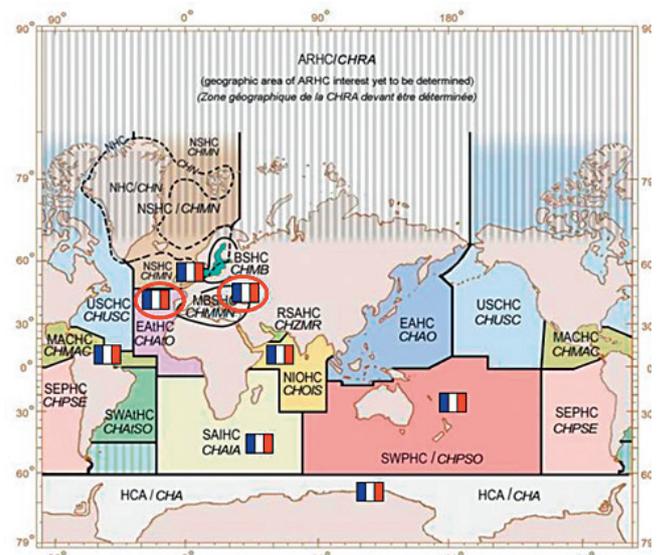
1. Charles-François Beautemps-Beaupré (1766-1854)

Avec le développement de la navigation commerciale, les grandes nations maritimes constatèrent dès la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle, que l'entretien d'une collection de cartes marines couvrant l'ensemble des océans devenait une tâche de plus en plus ardue en raison de la croissance continue du volume d'informations à traiter. La nécessité d'une coopération internationale en la matière s'imposa progressivement.

A partir de l'adoption du méridien origine international en 1884, les cartes marines firent d'abord l'objet d'une normalisation internationale de plus en plus étendue, dont la mise au point constitua l'un des volets importants de l'activité du Bureau hydrographique international (BHI) créé à Monaco en 1921. Celui-ci est devenu depuis l'organe permanent de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) qui regroupe aujourd'hui la plupart des États qui se sont dotés d'un service hydrographique national. C'est dans ce cadre que des spécifications internationales

détaillées ont été adoptées en 1982 pour la conception et l'élaboration des cartes marines. Parallèlement, les services hydrographiques entreprirent, toujours dans le cadre de l'OHI, la définition et la réalisation de schémas cartographiques internationaux pour couvrir les besoins de la navigation internationale par un ensemble optimisé de cartes dites internationales (INT) dont la production est répartie entre les services concernés.

Les principes des cartes internationales furent adoptés dès 1967 et un portefeuille de cartes à petite échelle (1 : 10 000 000 et 1 : 3 500 000) fut réalisé en 15 ans, de 1972 à 1987. La définition et la réalisation de portefeuilles régionaux à moyenne et grande échelle débutèrent en 1982 et se poursuivent encore aujourd'hui, sous l'égide de seize commissions à caractère régional. La France coordonne les portefeuilles relatifs à l'Atlantique oriental d'une part et à la Méditerranée d'autre part ; elle participe à la réalisation des portefeuilles relatifs à six autres régions [2].



2. Définition des portefeuilles des cartes INT sous l'égide de commissions régionales

La production des cartes marines n'est pas restée à l'écart des progrès de l'informatique et de l'électronique. Ces progrès ont d'abord permis dans le courant des années 1970 d'automatiser l'élaboration des cartes puis de constituer des bases de données numériques gérées et exploitées dans ce qu'on appelle un système d'information géographique (SIG). Le concept de carte marine électronique est apparu au début des années 1980, lorsque les fabricants d'équipements de navigation furent conduits à imaginer un système superposant sur un écran vidéo la position fournie par un appareil de localisation radio-électrique et un extrait de carte marine préalablement numérisée. Les services hydrographiques officiels reconnurent très vite l'intérêt de la carte électronique pour rendre la navigation maritime plus sûre et plus efficace et ils se préoccupèrent de jouer un rôle moteur dans son développement. Initiée au Canada en 1982, la réflexion se traduisit naturellement par la création de groupes de travail chargés de réfléchir sur le sujet et de proposer les actions jugées nécessaires, par des expérimentations (notamment le *North Sea Project* auquel la France participa en 1988)

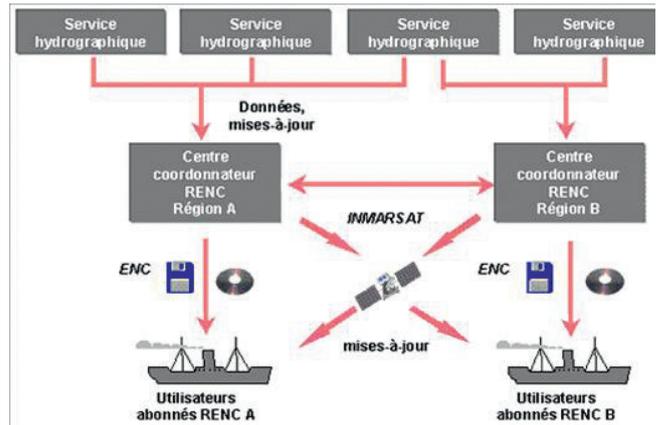
et par l'apparition du sigle « ECDIS » (Electronic Chart Display and Information System – système de visualisation de cartes électroniques et d'information) [3]. Il s'ensuivit un long travail de mise au point de normes et de spécifications internationales dont les principales étapes furent :

- 1987 : publication de la première édition des spécifications de l'OHI pour le contenu cartographique et les modalités d'affichage pour les ECDIS (S-52) ;
- 1989 : publication de la norme de fonctionnement provisoire de l'Organisation maritime internationale (OMI) pour les ECDIS ;
- 1992 : publication de la première édition des spécifications de l'OHI pour l'échange des données hydrographiques numériques (S-57, future S-101) ;
- 1995 : résolution de l'OMI adoptant la norme de fonctionnement pour les ECDIS ;
- 1996 : adoption de la première édition de la spécification de produit de l'OHI pour les cartes électroniques de navigation (ENC) (S-57 – appendice B1) ;
- 1998 : publication de la première édition de la publication (6)1174 de la Commission électrotechnique internationale (CEI), relative aux exigences d'exploitation et de fonctionnement, méthodes d'essai et résultats d'essai exigés ;
- 2002 : entrée en vigueur du chapitre V révisé de la convention internationale sur la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS – Safety Of Life At Sea) qui autorise dans certaines conditions l'emploi de l'ECDIS en lieu et place de la carte marine imprimée ;
- 2006 : adoption par le Comité de la sécurité maritime de l'OMI des amendements au code des navires à grande vitesse (NGV) introduisant la prescription d'emport obligatoire de l'ECDIS sur les NGV neufs à partir de 2008 et sur tous les NGV en service à partir de 2010 ;
- 2009 : adoption par le Comité de la sécurité maritime de l'OMI des amendements au Chapitre V de la convention SOLAS introduisant la prescription d'emport obligatoire de l'ECDIS sur tous les navires effectuant des voyages internationaux avec une période d'implémentation progressive qui commencera en 2012 et se terminera en 2018.



3. Présentation de l'écran d'un ECDIS

Parallèlement, un cadre général pour la production et la distribution des ENC conditionnant l'emploi des ECDIS fut adopté par l'OHI en 1994. Il définit le schéma d'une base de données mondiale pour les ENC (WEND - Worldwide Electronic Navigational chart Database) qui distingue d'une part la constitution et la tenue à jour des bases de données nationales, du ressort des États, et d'autre part la production et la diffusion de bases de données régionales (intégrant les bases nationales), confiées à des centres régionaux de coordination des cartes électroniques de navigation (RENC - Regional Electronic Navigational chart coordinating Centre) desservant un réseau de distributeurs agréés [4].



4. Centres régionaux de coordination des ENC (RENC)

#### Principes de la base de données mondiale pour les cartes électroniques de navigation (WEND) Résolution de l'OHI n° 1/997 telle qu'amendée

1. L'objectif du WEND est d'assurer un niveau mondial cohérent d'ENC officielles, de grande qualité et à jour, par le biais de services intégrés à l'appui des prescriptions relatives à l'emport de cartes contenues dans le Chapitre V de la Convention SOLAS, et des exigences relatives aux normes de fonctionnement de l'OMI pour les ECDIS.

2. Fourniture de services

a) Les États membres doivent s'efforcer de faire en sorte que les navigateurs peuvent, partout dans le monde, obtenir des ENC complètement à jour, pour toutes les routes de navigation et pour tous les ports, à travers le monde.

b) Les États membres doivent s'efforcer de faire en sorte que leurs données ENC sont disponibles pour les utilisateurs à travers des services intégrés, chacun d'eux étant accessible pour tout utilisateur d'ECDIS (c'est-à-dire en fournissant des données au format S-57), en plus de toute distribution nationale ou fourniture de SENC spécifique au système.

c) Les États membres sont encouragés à distribuer leurs ENC via un RENC afin de mettre en commun leur expérience et de réduire les dépenses, ainsi que d'assurer une standardisation, une uniformité, une fiabilité et une mise à disposition des ENC les plus grandes possible.

d) Les États membres doivent s'efforcer d'obtenir une harmonisation entre RENC, conforme aux normes relatives aux données et aux pratiques courantes en matière de services, afin de fournir des services d'ENC intégrés aux utilisateurs.

e) Les méthodes à adopter doivent prévoir que les données portent la marque d'approbation du SH producteur.

f) Lorsqu'un mécanisme de chiffrement est utilisé pour protéger les données, le non-respect des obligations contractuelles par l'utilisateur ne devrait pas aboutir à la cessation complète du service, ceci afin de ne pas mettre en péril la sécurité des navires.

g) Afin de promouvoir l'utilisation des ENC dans les ECDIS, les États membres doivent s'efforcer de parvenir à la plus grande convivialité possible de leurs services, et faciliter des services intégrés pour le navigateur.

### 3. Droits et responsabilités

a) La Règle 9 du Chapitre V de la Convention SOLAS demande aux gouvernements contractants d'assurer la mise à disposition des données hydrographiques dans une forme appropriée afin de satisfaire aux besoins de la sécurité de la navigation. Lorsque l'emport des ECDIS sera rendu obligatoire, il deviendra impératif de s'assurer que ces données, ainsi que décidé par l'OMI, seront disponibles dans une forme appropriée pour l'utilisation dans les ECDIS.

b) Il est prévu que, pour les eaux relevant de leur juridiction nationale, les États membres auront mis en place des systèmes de fourniture éprouvés pour les ENC et pour leur mise à jour, à l'échéance la plus rapprochée de celle pour l'emport obligatoire des ECDIS.

c) Aux dates établies par l'OMI, les États membres s'efforceront de :

i) fournir la couverture nécessaire en ENC, ou  
ii) déléguer à d'autres États la responsabilité de produire la couverture ENC nécessaire.

L'OHI traitera de la couverture globale sur une base régionale, par le biais des Commissions hydrographiques régionales.

d) Le système de cartes INT constitue une base utile pour la sélection initiale des zones en vue de la production des ENC.

e) Les États membres sont invités à coopérer à la saisie et à la gestion des données.

f) Les responsabilités pour la fourniture des données numériques en dehors des zones relevant de juridictions nationales doivent être établies (voir directives en Annexe).

g) En ce qui concerne la mise à jour, il convient de trouver des solutions efficaces, du point de vue technique et économique, et conformes aux normes pertinentes de l'OHI.

La tenue à jour des ENC devrait être au moins aussi fréquente que celle assurée par le pays pour la correction des cartes papier.

h) L'État membre qui est à l'origine des données est également responsable de leur validation en termes de contenu, de conformité aux normes et de cohérence aux limites entre cellules.

i) Un État membre responsable de l'intégration ultérieure des données d'un pays dans un service plus large est responsable de la validation des résultats de cette intégration.

j) Les SH nationaux qui fournissent les données sources doivent communiquer au pays producteur les informations de tenue à jour, en temps opportun.

k) Les États membres devront œuvrer ensemble à ce que le Dispositif de l'OHI pour la protection des données (S-63) soit utilisé pour la distribution des ENC aux utilisateurs finaux, dans le but d'assurer l'intégrité des données, de protéger les droits d'auteur nationaux en matière de données ENC, de prémunir le navigateur contre les produits falsifiés et d'assurer la traçabilité.

l) Lors de la production des ENC, les États membres doivent tenir pleinement compte des droits des propriétaires des données sources et, si la couverture en cartes papier a été publiée par un autre État membre, des droits de cet État.

m) Les États membres doivent savoir que leur responsabilité juridique pour les ENC peut être invoquée.

### 4 Gestion des normes et de la qualité

a) Un système de gestion de la qualité doit être envisagé afin d'assurer des services ENC de grande qualité. Lors de sa mise en œuvre, celui-ci doit être certifié par un organe pertinent comme conforme à une norme reconnue appropriée ; il s'agit normalement de la norme ISO 9001:2000.

b) Il doit y avoir conformité avec toutes les normes pertinentes de l'OHI et de l'OMI.

### 5 Assistance et formation

a) Il est vivement recommandé aux SH des États membres de fournir, sur demande, une formation et des conseils aux SH qui en ont besoin pour développer leurs propres dispositions nationales en matière d'ENC.

### Annexe

Directives pour l'établissement de limites en matière de production des ENC

1. Il convient d'éviter toute duplication d'ENC. Il ne doit y avoir qu'un seul pays producteur d'ENC dans une zone donnée.

2. Un pays est normalement le pays producteur d'ENC pour les eaux qui relèvent de sa juridiction nationale.

3. La responsabilité liée à la production des ENC peut être déléguée, en totalité ou en partie, par un pays à un autre pays, lequel devient alors le pays producteur dans la zone concernée.

4. Lorsque les limites des eaux relevant de la juridiction nationale entre deux pays limitrophes ne sont pas établies ou s'il est plus approprié d'établir des limites autres que les frontières nationales établies, les pays producteurs doivent définir les frontières pour la production des ENC dans le cadre d'un accord technique. Ces limites doivent être établies à des fins cartographiques uniquement et ne doivent pas être interprétées comme ayant une signification ou un statut du point de vue des frontières politiques ou d'une nature juridictionnelle autre.

5. Dans les eaux internationales, le pays producteur de cartes INT est supposé être le producteur des ENC correspondantes. Lorsque les limites vers le large des eaux relevant de la juridiction nationale n'ont pas encore été établies, la clause « d » s'applique.

6. Dans les zones où les cartes papier INT se chevauchent, les pays producteurs voisins doivent convenir d'une limite commune pour la production des ENC, dans les zones de chevauchement. Les frontières cartographiques doivent être les plus simples possible ; par exemple : une succession de segments droits et de points tournants correspondant à des méridiens, à des parallèles, ou à des limites de cartes. Lorsque différents pays producteurs sont responsables de la couverture INT de la même zone à différentes échelles, ces pays doivent convenir d'une série de frontières appropriées afin d'assurer à l'utilisateur le service le plus cohérent possible.

7. Dans les zones relevant de la juridiction nationale pour lesquelles il n'existe aucun pays reconnu en tant que producteur d'ENC, la Commission hydrographique régionale (ou un organe similaire) devrait déterminer quel est le pays producteur d'ENC. Les ENC produites dans le cadre de ces accords doivent être proposées en vue d'un transfert à l'État côtier, au cas où l'État côtier développerait, par la suite, la capacité de tenue à jour des ENC. Ce type de transfert doit respecter les droits moraux de l'État côtier ainsi que les droits commerciaux du pays producteur.

8. Lorsque les limites de production sont les limites officielles des eaux relevant de la juridiction nationale, les droits commerciaux appartiennent au pays producteur d'ENC.

9. Lorsque les limites de production sont les frontières cartographiques, par opposition aux frontières nationales, les droits commerciaux appartiennent normalement au pays producteur d'ENC mais peuvent éventuellement inclure le paiement de droits d'auteur au pays concerné, par le biais d'un accord technique (voir clause d).

Dans la pratique seuls deux centres de coordination ont été constitués à ce jour. La France coopère avec le centre Primar, piloté par la Norvège, qui réunit treize membres. Le second centre, IC-ENC (International Center for ENC), est piloté par le Royaume-Uni et regroupe, avec un centre satellite opéré par l'Australie, 28 membres. Les deux centres échangent leurs données de manière à permettre aux navigateurs d'accéder à l'ensemble des ENC disponibles par un guichet unique. La couverture actuellement disponible comprend plus de 10 000 ENC.

Les cartes électroniques ne sont pas obtenues par simple scannage des cartes papier. Pour que les automatismes associés à un ECDIS puissent fonctionner (gestion des alarmes, sélection des informations affichées, etc.), il faut disposer de véritables bases de données structurées sous forme vectorielle. Leur constitution et surtout leur validation représentent un travail considérable qui doit être mené en phase avec la généralisation de l'obligation d'emport des ECDIS. Cette obligation suppose que les navigateurs puissent, partout dans le monde, obtenir des ENC à jour, pour toutes les routes de navigation et pour tous les ports, à travers le monde. Inversement, il ne doit y avoir qu'une seule ENC couvrant une zone donnée pour chaque gamme d'échelle utile. Si l'atteinte de ces objectifs relève pour les espaces maritimes sous juridiction nationale de la responsabilité des États côtiers, conformément à la convention des Nations unies sur le droit de la mer et à la convention SOLAS, il s'agit aussi d'un enjeu de coordination inter-régionale au sein de l'OHI. Cette coordination concerne trois axes principaux :

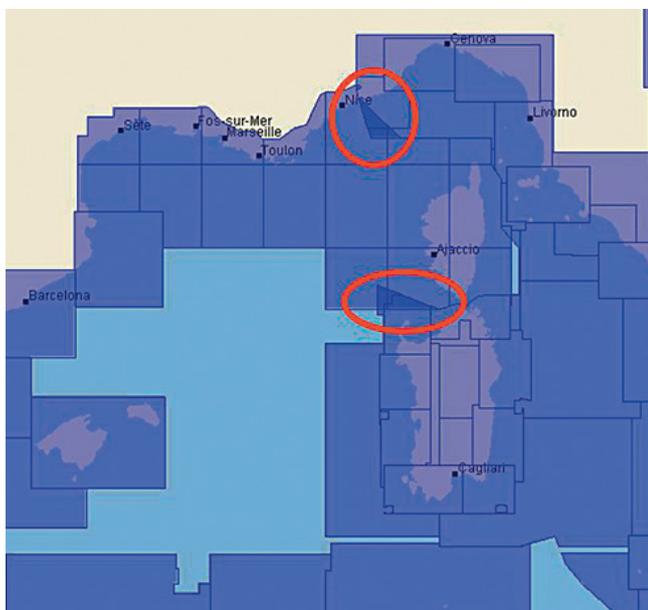
- le traitement des zones internationales,
- le traitement des zones sous juridiction nationale pour lesquelles l'État côtier ne dispose pas de capacité de production des ENC,
- le traitement des zones où les limites des eaux relevant de la juridiction nationale des États riverains ne sont pas établies.

Les actions correspondantes sont menées sous l'égide du Comité de coordination inter-régional de l'OHI, qui réunit notamment les présidents des Commissions hydrographiques régionales.

Le cas des zones internationales est relativement simple : comme pour les cartes papier, la production des ENC est partagée entre les services hydrographiques volontaires, sur la base des schémas cartographiques internationaux. La quasi-totalité de la couverture de ces zones, généralement à petite échelle, est actuellement disponible. S'agissant des zones sous juridiction nationale pour lesquelles l'État côtier ne dispose pas de capacité de production des ENC, le schéma recommandé par l'OHI est que la production soit assurée dans un premier temps par des États tiers, toujours sur la base des schémas cartographiques internationaux, et que parallèlement soit mis en place un processus de développement des capacités permettant à terme à l'État côtier de prendre la relève. L'ampleur de l'effort n'est pas négligeable puisque sur les 169 États membres de l'OMI, moins d'une cinquantaine ont acquis à ce jour la capacité de produire

et de diffuser des ENC pour satisfaire l'obligation de fourniture de « services hydrographiques » imposée aux États contractants par la convention SOLAS. Parmi la dizaine d'États, dont la France, qui assument provisoirement la production d'ENC au profit d'États tiers il convient de souligner le rôle majeur du Royaume-Uni qui a entrepris en 2008 de combler les principales lacunes de couverture en s'appuyant sur sa collection mondiale de cartes papier. Grâce à son effort, plus de 80 % de la couverture cartographique existante des zones côtières est actuellement disponible sous forme d'ENC. Seuls quelques États supplémentaires paraissant en mesure d'assumer leur production nationale d'ici 2012, les actions de développement des capacités menées sous l'égide de l'OHI doivent s'attacher en priorité à mettre en place et consolider les procédures et circuits nationaux de collecte et de transmission aux producteurs des informations nautiques permettant a minima de tenir à jour les ENC issues des cartes papier existantes.

Le traitement des zones où les limites des eaux relevant de la juridiction nationale des États riverains ne sont pas établies est beaucoup plus délicat. Dans la plupart des cas, il est vain d'espérer que des accords de délimitation puissent être négociés rapidement entre les États concernés, compte tenu de la sensibilité de ces questions, qu'il s'agisse du bassin méditerranéen ou de l'Asie orientale pour ne citer que deux exemples. Il est alors tentant pour les protagonistes de produire et diffuser indépendamment les uns des autres des ENC couvrant largement les espaces qu'ils revendiquent. Il en résulte des chevauchements contraires aux principes WEND [5] et de nature à gêner le navigateur, le comportement des systèmes ECDIS étant imprévisible dans de telles configurations.



5. Exemples de recouvrements d'ENC

Ces situations ne peuvent être réglées dans des délais compatibles avec les échéances d'obligation d'emport des ECDIS que par le recours à la co-production, sur la base d'accords strictement techniques qui ne préjugent pas des revendications des États riverains. On ne peut que saluer à ce propos la démarche entreprise sous l'égide de la Commission hydrographique de l'Asie orientale qui a permis de réaliser collectivement la couverture à petite échelle de la mer de Chine méridionale [6].



6. Couverture cartographique de la mer de Chine méridionale

Le Comité de coordination inter-régional de l'OHI doit encourager les autres commissions régionales à s'inspirer de ce modèle pour résoudre les situations analogues auxquelles elles sont confrontées.



# RÉNOVATION DE LA CARTOGRAPHIE MARINE SUR LES CÔTES D'AFRIQUE : UNE NOUVELLE DYNAMIQUE

par Olivier Parvillers, ingénieur en chef des études et techniques de l'armement du SHOM<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Le Service hydrographique français, dont le SHOM est l'héritier, a participé à l'hydrographie des côtes d'Afrique du temps de la présence française sur ce continent. Il en a découlé une cartographie de détail qui, à quelques exceptions près, a très peu évolué entre l'indépendance des pays concernés et la fin des années 1990.

Si certains pays ont entrepris la mise sur pied d'un service hydrographique national avec production de cartes marines, seule l'Afrique du Sud est parvenue à une diffusion régulière de sa production.

En 2002, la convention sur la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) administrée par l'organisation maritime internationale, est amendée et explicite désormais les obligations des États signataires en matière de production et de diffusion de l'information nautique dans leurs eaux nationales. Cela va conduire le SHOM à réviser sa politique de gestion de la cartographie des eaux africaines en décidant d'une part de réaliser à nouveau des levés hydrographiques et d'autre part, de conclure des arrangements administratifs d'État à État permettant la reconnaissance officielle du travail accompli par la France. En parallèle à cette démarche de renouvellement de la connaissance hydrographique, le SHOM accueille dans son école de Brest des stagiaires hydrographes et cartographes. Cette action permet de soutenir la création de structures locales afin de prendre à terme le relais du SHOM pour la diffusion de l'information nautique.

Le SHOM espère ainsi donner une impulsion significative pour un entretien durable de la cartographie des côtes africaines.

## ABSTRACT

*The French Hydrographic Service, the heir of which the SHOM is, participated in the hydrography of the coasts of Africa during the French presence on this continent. The result of these surveys was a detailed cartography which, apart from a few exceptions, little evolved between the independence of the concerned countries and the end of the 1990s.*

*If some countries have set up of a national hydrographic service able to produce nautical charts, only South Africa has reached a regular distribution of its production.*

*In 2002, the Convention on the Safety Of Life At Sea (SOLAS), administered by the International Maritime Organization, was amended to clarify the obligations of the signatory States regarding the production and the distribution of the nautical information in their national waters.*

*This is the reason that led the SHOM to revise its management policy of African water cartography. On the one hand it was decided to conduct new hydrographic surveys and, on the other hand, to conclude administrative arrangements from State to State. These arrangements allow the official recognition of the work achieved by France. Meanwhile updating the hydrographic knowledge in the region, the SHOM also welcomes trainees in hydrography and cartography in its school in Brest. These trainings participate in supporting the creation of local structures which will take over from the SHOM in the future for the dissemination of the nautical information.*

*Thus, the SHOM wants to give a significant boost for a long-lasting maintenance of the African coast cartography.*

<sup>1</sup> Chef du département cartographie (CA) du SHOM

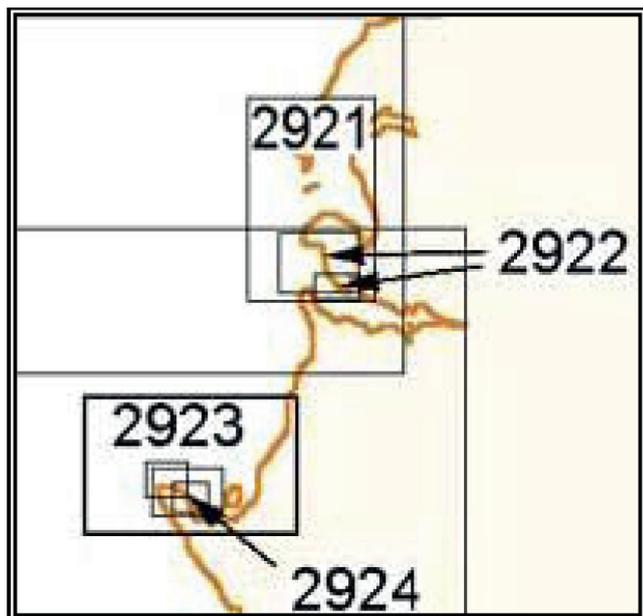
Membre du groupe de travail sur la normalisation des cartes et sur les cartes papier de l'Organisation hydrographique internationale (OMI)

Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex

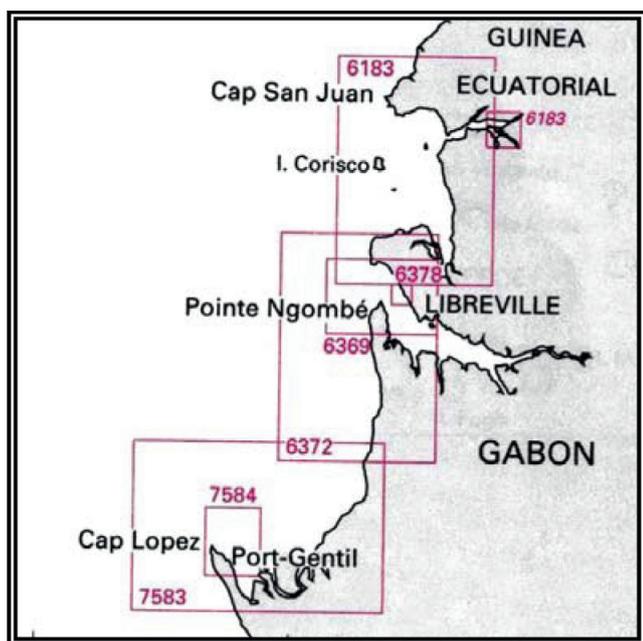
Email : olivier.parvillers@shom.fr



Comme d'autres services hydrographiques européens, le Service hydrographique français (SHF), dont le SHOM actuel est l'héritier, a participé à l'hydrographie des côtes d'Afrique du temps de la présence française sur ce continent. Des missions hydrographiques françaises ont notamment opéré sur la côte ouest d'Afrique et à Madagascar de manière quasi-continue entre 1930 et 1965. Il en a découlé une cartographie de type national, c'est-à-dire assurant une couverture de détail quasi continue. A quelques exceptions près, cette cartographie a très peu évolué entre l'indépendance des pays concernés et la fin des années 1990. Ainsi, à ce jour, le portefeuille du SHOM compte encore environ 250 cartes originales en zones étrangères, la plupart couvrant les côtes d'Afrique.



*Schéma cartographique international sur les côtes du Gabon  
(Extrait du catalogue des cartes INT de l'OHI)*



*Schéma cartographique français sur les côtes du Gabon  
(Extrait du catalogue du SHOM)*

Par ailleurs, le développement du commerce international conduisit l'Organisation hydrographique internationale (OHI) à élaborer un portefeuille de cartes internationales visant à satisfaire au mieux les besoins de la navigation internationale par la rationalisation du nombre de cartes en service, le partage des efforts consentis par les services hydrographiques et surtout la mise à disposition des navigateurs d'un produit standardisé. Cet effort commença par la production d'une couverture mondiale à petite échelle. Puis, à partir des années 1970-80, chaque Commission hydrographique régionale établie au sein de l'OHI entreprit l'élaboration de schémas à moyenne et grande échelle. L'achèvement de ces schémas sur les côtes d'Afrique, au milieu des années 1990, fixa le cadre général pour la rénovation des cartes de cette région.

Certains pays africains ont souhaité participer pleinement à cette remise à niveau de la cartographie marine de leurs côtes. Ils ont alors entrepris la mise sur pied de services hydrographiques nationaux avec pour objectif la production de cartes marines. Il s'agit par exemple des pays du Maghreb, du Nigeria ou de l'Afrique du Sud. Mais, seule cette dernière assure aujourd'hui un entretien et une diffusion régulière de sa production au profit de tous les navigateurs. Pour autant, cela ne veut pas dire que des travaux hydrographiques ne sont pas réalisés localement. En effet, les coûteux travaux d'infrastructure réalisés par les ports pour l'accueil de bâtiments de plus en plus grands et aux tirants d'eau de plus en plus importants doivent être valorisés au mieux. La mise à disposition de l'information nautique, via les cartes marines et les ouvrages nautiques, en est le vecteur naturel. Cependant, sans même parler de production cartographique locale, la diffusion de l'information nautique en Afrique n'a que très rarement dépassé le cadre national, voire les seuls services portuaires. Cet usage confidentiel s'est fait au détriment de la communauté internationale en privant de matière les services hydrographiques européens qui assumaient, et assument toujours, une responsabilité cartographique de fait, héritage de l'histoire.

En 2002, la convention pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), administrée par l'Organisation maritime internationale (OMI), est amendée pour expliciter désormais les obligations des États signataires en matière de production et de diffusion de l'information nautique dans leurs eaux nationales afin de prévenir les accidents et préserver l'environnement. Il s'agit en particulier de la règle 9 du chapitre V définissant le rôle des services hydrographiques ci-après :

### Règle 9 Services hydrographiques (extrait du chapitre V de la convention SOLAS)

1 Les Gouvernements contractants s'engagent à prendre des dispositions en vue de rassembler et de compiler des données hydrographiques et de publier, diffuser et tenir à jour tous les renseignements nautiques nécessaires à la sécurité de la navigation.

2 Les Gouvernements contractants s'engagent notamment à coopérer pour assurer, dans la mesure du possible, les services de navigation et d'hydrographie ci-après de la manière la plus appropriée pour faciliter la navigation :

- 1 veiller à ce que les levés hydrographiques soient exécutés de manière à satisfaire, dans la mesure du possible, aux exigences de la sécurité de la navigation ;
- 2 élaborer et diffuser des cartes marines, des instructions nautiques, des livres des phares, des annuaires des marées et d'autres publications nautiques, s'il y a lieu, qui répondent aux besoins de la sécurité de la navigation ;
- 3 diffuser des avis aux navigateurs pour que les cartes marines et publications nautiques soient, autant que possible, tenues à jour ;
- 4 fournir des moyens de gestion des données pour appuyer ces services.

3 Les Gouvernements contractants s'engagent à veiller à ce que les cartes marines et les publications nautiques soient aussi uniformes que possible et à tenir compte, dans la mesure du possible, des résolutions et recommandations internationales pertinentes\*.

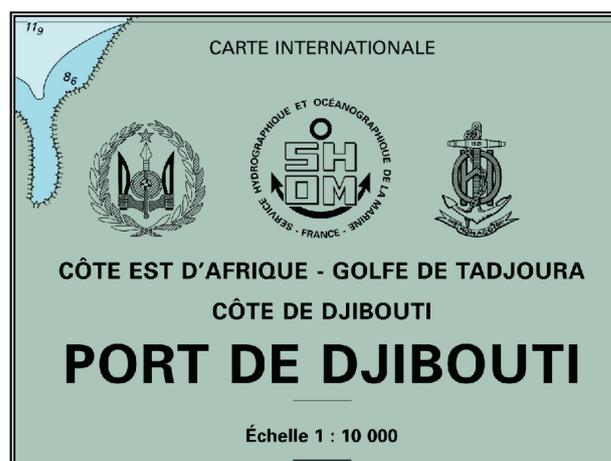
4 Les Gouvernements contractants s'engagent à coordonner leurs activités autant que faire se peut afin de veiller à ce que les renseignements hydrographiques et nautiques soient disponibles à l'échelle mondiale d'une manière aussi rapide, fiable et claire que possible.

\* Se reporter aux résolutions et recommandations appropriées qui ont été adoptées par l'Organisation hydrographique internationale.

Cette évolution de la convention SOLAS constitue une impulsion significative pour la rénovation du fonds hydrographique dans les zones sous responsabilité cartographique française. Cela va en effet conduire le SHOM à réviser sa politique de gestion de la cartographie des eaux africaines en décidant d'une part de réaliser à nouveau des levés en vue de mettre à jour les cartes existantes et d'autre part, de conclure des arrangements administratifs d'État à État permettant la reconnaissance officielle du travail accompli par la France au nom des pays signataires de tels arrangements qualifiés, à juste titre, d'accords « SOLAS ». Ces accords incluent également l'obligation des pays partenaires à diffuser vers le SHOM toute l'information nautique nouvellement produite en vue d'une mise à jour de la documentation en service. La France a déjà signé de tels accords avec les pays suivants : Djibouti (2006), Togo (2008), Maroc (2008), Sénégal (2009), Bénin (2010) et le Congo (2011). La poursuite de ce travail de formalisation des responsabilités assumées par la France demeure d'actualité à ce jour et des discussions sont engagées avec d'autres pays sur le sujet. Ces accords comprennent généralement un volet formation.

En effet, en parallèle à cette démarche de renouvellement du fonds hydrographique, le SHOM accueille dans son école de Brest, des stagiaires hydrographes et cartographes étrangers. Cette démarche a pour objectif de soutenir la création de structures locales de production destinées à prendre à terme le relais du SHOM pour la diffusion de l'information nautique. Elle s'inscrit dans le cadre du plan d'actions du Sous-comité de développement de capacités de l'OHI. Le SHOM, dans ce cadre, a participé à des missions de conseil et s'est investi également dans l'organisation sur place de conférences d'information et de formation. Ainsi en 2009, le SHOM et la Division hydrographie, océanographie et cartographie de la marine royale du Maroc ont co-produit les deux premières

cartes du schéma cartographique national du Maroc. L'accord passé avec le Maroc illustre parfaitement la volonté du SHOM de soutenir l'émancipation des pays africains dans le domaine de la cartographie marine en particulier et de l'information nautique d'une façon plus générale. Effectivement, cet accord inclut non seulement le volet traditionnel relatif à la diffusion de l'information nautique mais aussi, en s'appuyant sur les formations dispensées à Brest, un volet relatif au développement de la production cartographique et à l'acquisition de la maîtrise du processus d'élaboration de l'information nautique. Dans une logique de transfert progressif des compétences, la démarche a débuté par la co-production de cartes pour aboutir à terme à une production marocaine autonome lorsque la chaîne de la production de l'information nautique sera totalement déployée sur place.



Exemple de titre de carte produite dans le cadre d'un arrangement administratif : les armoiries du pays co-signataire figurent à côté de celles du SHOM et de l'OHI

Extrait de la mention de publication de la carte FR 7704 co-produite avec le Maroc et correspondant à la carte n° 3004 du plan cartographique national du Maroc

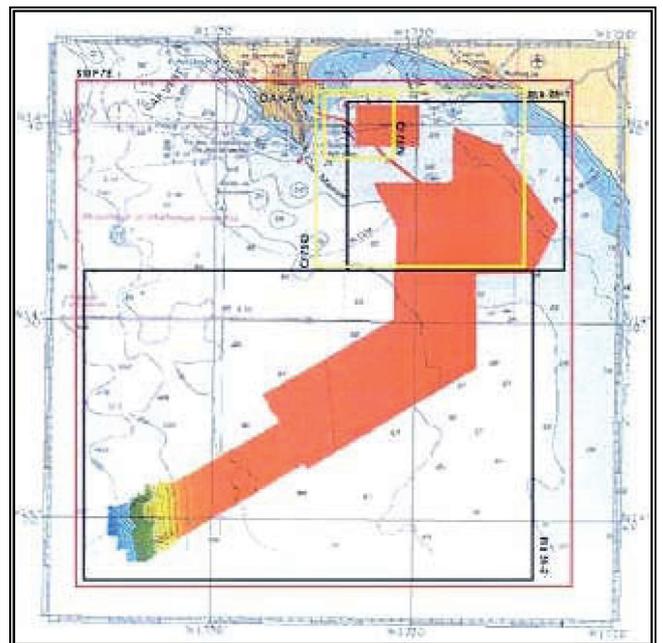
Les principaux travaux réalisés par le SHOM depuis 2002 sont les suivants : levés hydrographiques de détail et/ou des accès des ports de Dakar, Conakry, San Pedro, Abidjan, Lomé, Kpémé, Cotonou, Malabo, Douala, Kribi, Port-Gentil et Pointe-Noire sur la côte ouest de l'Afrique, Djibouti, Toamasina, Antsiranana, Majanga, Mustamudu (Anjouan) et Grande Comore sur la côte est. Sur la côte ouest, ils ont été effectués de façon continue depuis 10 ans à l'occasion de déploiements d'environ 3 mois par an de l'un des navires hydro-océanographiques basés à Brest et mis en oeuvre au profit du SHOM par la marine nationale. Au total, ce sont près de 900 jours de navire qui auront été consacrés à cette activité entre 2002 et 2011.



Bâtiment hydrographique Laplace au mouillage au large du Togo en 2004

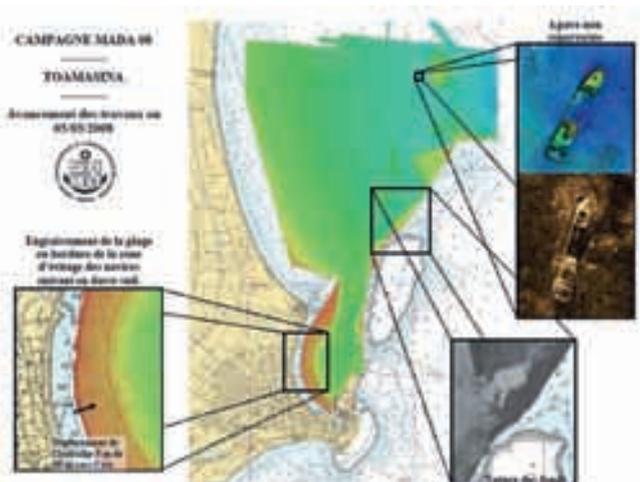
Ces travaux comprennent généralement la réalisation de levés hydrographiques permettant la définition d'une voie recommandée d'accès au port et d'une zone de mouillage pour les bâtiments en attente. Bien souvent, comme cela a été écrit précédemment, les autorités portuaires font effectuer des levés hydrographiques à l'intérieur des ports. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de refaire un levé complet du port et un levé de contrôle réduit est alors suffisant. Les levés de port sont effectivement toujours délicats à réaliser du fait de la présence de navires à quai. Les matériels mis en oeuvre pour la mesure des profondeurs sont des sondeurs acoustiques multifaisceaux. Pour renforcer les capacités de détection d'éventuels dangers, comme des épaves, des sonars latéraux remorqués sont également mis en oeuvre. Le positionnement est assuré par un système GPS différentiel. Les exigences du document S-44 de l'OHI : *Normes de l'OHI pour les levés hydrographiques* impliquent également pour ce type de levés hydrographiques une connaissance précise

de la marée. Ceci est réalisé à l'aide de marégraphes dont le référencement en altitude est assuré par rapport au réseau de nivellement terrestre. La recherche de repères de nivellement anciens permet de conserver le niveau de référence « historique » utilisé lors de la réalisation des levés anciens. En complément aux mesures bathymétriques, des prélèvements de sédiments sont réalisés afin de déterminer la nature des fonds et leur aptitude à une bonne tenue au mouillage des navires. En l'absence de plan précis décrivant les installations portuaires, des mesures géodésiques et topographiques sont réalisées. Elles permettent notamment le positionnement et la description des infrastructures importantes comme les quais, mais aussi des éléments utilisés pour le positionnement des navires comme les feux et les amers. Sur le plan d'eau, le balisage flottant doit également être contrôlé et décrit.



Levé des approches de Dakar (2005) par le bâtiment hydro-océanographique Beautemps-Beaupré

A titre d'exemple, les résultats du levé de contrôle du port de Toamasina (Tamatave) effectué en 2008 sur la côte ouest de Madagascar illustrent l'utilité de ces travaux. Le levé a ainsi mis en évidence un engraissement de la plage en direction d'une zone d'évitage, avec un déplacement de l'isobathe 5 m de 50 m, et la présence d'au moins une épave non répertoriée dans la zone d'accès au port (cf. illustration page suivante).



Les « découvertes » du levé du port de Toamasina à Madagascar

En parallèle à ces activités d'acquisition d'informations, la rencontre des acteurs locaux est recherchée. Cette phase est primordiale. Tout en informant les responsables des travaux réalisés, elle permet de les sensibiliser à l'importance de la collecte et de la diffusion de l'information nautique en vue d'une actualisation permanente des documents qui seront élaborés. En premier lieu, il s'agit de répondre aux exigences de la convention SOLAS. En second lieu, il s'agit de donner confiance aux navigateurs qui doivent venir faire escale dans le port. Ces réunions, conduites dans l'esprit du programme de développement des capacités de l'OHI, permettent bien souvent de réunir l'ensemble des administrations et de mettre sur pied un comité national de l'hydrographie, en charge de l'élaboration d'un plan de développement national de l'hydrographie et de la cartographie.

Les levés réalisés par le SHOM ont déjà donné lieu à de nouvelles publications ou éditions de cartes (voir tableau *in fine*), y compris sous forme numérique avec la publication des premières cartes électroniques de navigation (ENC) relatives aux principaux ports africains à partir de 2005. Des travaux cartographiques sont en cours et d'autres sont encore programmés. Le renouvellement de la cartographie des côtes africaines est donc un travail de longue haleine. Le SHOM espère par une double action, de réalisation de levés hydrographiques et de formation, donner une impulsion significative et suffisante pour que les premières cartes récemment publiées soient désormais correctement entretenues et ne connaissent pas ainsi les 50 années de quasi stagnation dont ont souffert leurs devancières.



Réunion des représentants des administrations togolaises et du SHOM à la direction du port de Lomé en 2004

## Principales publications et éditions réalisées par le SHOM depuis 2000 dans les eaux africaines

N° national	N° INT	Echelle 1:	Titre	Publication / Edition
7433	1972	22 500 35 000	Abords du port de Tanger Med Cart. A : Mouillage de Ceuta	2007
7702	1973	150 000	De Sidi Al Hachmi à Mohammedia	2009
7704	/	150 000	De la pointe de Malabata à Sidi Al Hachmi	2009
7569	1993	50 000	Approches de Dakar – Baie de Gorée	2008
7570	1994	10 000	Rade et port de Dakar	2008
7573	2857	100 000	De Conakry à la rivière Mellacorée	2005
7574	2858	25 000 10 000	Abords de Conakry – Ile de Los Cart. A : Port de Conakry	2004
7586	/	35 000 10 000	Embouchure de la rivière Mellacorée Cart. A : Mouillage de Benty	2005
7187	2087	1 000 000	De Sassandra à Lagos	2009
7587	2881	15 000 75 000 20 000 15 000 75 000	Port de Lomé – Rade de Kpémé – Port de Cotonou Cart. A : Port de Lomé Cart. B : De Lomé à Kpémé Cart. C : Rade de Kpémé Cart. D : Port de Cotonou Cart. E : De Cotonou à Sèmè	2011
7382	2810	350 000	De Calabar à Bata – Isla de Bioko	2005
7578	2905	100 000	Approches de l'estuaire du Cameroun et de Malabo	2005
7579	2906	40 000 40 000	Estuaire du Cameroun Cart. A : Abords de Douala	2001
7580	2908	10 000 25 000 12 500	Ports du Golfe de Guinée Cart. A : Côte du Cameroun – Port de Douala Cart. B : Côte du Cameroun – Port de Kribi Cart. C : Côte de Guinée équatoriale (Isla de Bioko) – Port de Malabo	2012
7583	2923	100 000	De la Pointe Ekouata au Cap Lopez	2006
7584	2924	40 000 12 500 15 000	Abords de Port-Gentil et de Cap Lopez Cart. A : Port-Gentil Cart. B : Cap Lopez	2012
7585	2931	40 000 10 000	Abords de Pointe-Noire Cart. A : Port de Pointe Noire	2011
7588	2813	350 000	De Gamba à Pointe-Noire	2011
7486	7055	1 080 000	Canal du Mozambique – Partie Nord	2010
7350	/	150 000	Récif du Geysier – Banc de la Zélée	2008
7518	7118	200 000	De Al Hudaydah à Al Mukhā	2012
7519	7114	200 000	Bal El Mandeb et Golfe de Tadjoura Cart. A : Mouillage de Tadjoura Cart. B : Entrée du Ghoubbet El Kharāb Cart. C : Port d'Obock	2012
7520	7115	50 000	Abords de Djibouti	2003
7546	7120	10 000	Port de Djibouti	2010
6987	7004	700 000	Partie Ouest du Golfe d'Aden – Bab-el-Mandeb	2010

\* Carte co-produite avec le service hydrographique britannique



# DEUX SIÈCLES DE CARTOGRAPHIE DES SÉDIMENTS MARINS

par Thierry Garlan, ingénieur d'études et de recherche en sédimentologie du SHOM<sup>1</sup>

Cet article a été également publié dans la revue *Cartes & géomatique* du Comité français de cartographie (CFC n° 211 – mars 2012) et a fait l'objet d'une communication prononcée à la 25<sup>e</sup> conférence cartographique internationale, organisée du 3 au 8 juillet 2011 à Paris.

## RÉSUMÉ

La sédimentologie marine est affectée d'un morcellement de l'information, d'une diversification des techniques mises en œuvre, et d'un accroissement des interactions avec les autres sciences de l'océanographie. A cela s'ajoutent des aspects plus spécifiques aux sciences de la terre tels que les problèmes de changement d'échelles, les incertitudes sur la datation des événements et l'absence de normalisation. Concernant la sédimentologie des fonds des plateformes continentales, si l'on tend progressivement vers une normalisation de la classification des structures sédimentaires, une telle démarche reste à faire pour la classification du nom des sédiments. Cet aspect est un point très important, car il engendre des problèmes pour la représentation cartographique et pour l'utilisation de ces cartes pour d'autres applications telles que la biologie, la pêche, la géoacoustique, la dynamique sédimentaire, la pose d'infrastructures ou l'extraction de matières minérales ; car sous un même nom peuvent en fait être représentés des sédiments très différents.

Nous avons étudié les classifications de plusieurs centaines de cartes sédimentaires publiées de par le monde, et recherché les aspects positifs et négatifs de chacune d'entre elles. Il apparaît que les différences observées (d'un pays à l'autre, d'un laboratoire à l'autre, voir entre différentes cartes issues d'un même laboratoire) proviennent, dans la grande majorité des cas, d'adaptations pour répondre à différents objectifs. Les autres différences sont issues des systèmes de mesure utilisés, de la latitude (particularités des domaines polaires et tropicaux) et de la profondeur (classifications différentes selon les environnements). La présente synthèse est un état des lieux de la complexité des fonds et des difficultés rencontrées pour les représenter.

## ABSTRACT

*Marine sedimentology, like other sciences, is affected by a segmentation of information, by a diversification of the techniques employed, by increasing interactions with the other oceanographic sciences. To these aspects some others are more specific to earth sciences like uncertainties about the dating of events, and a lack of standardization. As regards the nature of the sea-floor on the continental shelves, although we are seeing a progressive standardization of sedimentary structures, a similar approach must be done to the classification of sediments remains. This is a highly important issue, because it leads to difficulties in portraying them on maps, and in the use of these maps in other applications, such as biology, fishing, geoaoustics, sedimentary dynamics, the installation of infrastructures, and the extraction of mineral substances, since the same name may represent very different sediments.*

*We have examined the various classifications used in several hundred sediment maps published worldwide, and looked at the positive and negative aspects of each example. It appears that the differences observed (from one country to another, from one laboratory to another, and even between different maps produced by the same laboratory) arise in the great majority of cases from adaptations made to meet different objectives. The other differences arise from the measurement systems used, the latitude (features specific to the polar and tropical regions), and the depth (different classifications depending on the environment). This summary is a necessary first step towards achieving an overall picture of the complexity of the sea-floor, and the difficulties encountered in portraying it.*

<sup>1</sup> Chef de la cellule sédimentologie (SEDIM) du SHOM

Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex

Courriel : thierry.garlan@shom.fr



## 1. INTRODUCTION

En 1897 le Service hydrographique français (SHF) a publié la première carte sédimentologique représentant la nature des fonds marins. Quelques pays tel que le Japon, la Grande-Bretagne, la Nouvelle-Zélande et le Portugal, ont développé un programme national leur donnant une bonne connaissance de leurs territoires marins, mais globalement, la cartographie des sédiments a progressé relativement lentement, laissant de vastes secteurs, même sur le plateau continental européen, n'ayant jamais fait l'objet d'une cartographie des sédiments. Et pourtant, il existe des besoins importants dans des domaines aussi variés que la sécurité de la navigation et l'extraction de granulats ; et ces besoins vont croissant avec l'apparition de nouvelles applications telles que la mise en place des énergies marines renouvelables, la protection des habitats marins et le développement des nouveaux modèles de courants marins.

La sédimentologie marine, comme de nombreuses autres sciences, est affectée par la segmentation de l'information, par la diversification des techniques employées et par l'accroissement des interactions avec les autres sciences de l'océanographie. Les cartes sédimentaires sont la synthèse de multiples données aboutissant à un modèle de représentation de la nature du fond marin dont la qualité repose sur la densité des données et sur l'expertise du sédimentologue. Les sédiments sont décrits par leur taille et les propriétés des particules sédimentaires selon des méthodes proches de celles adoptées par Thoulet (1907). Il s'y ajoute une approche de la géomorphologie à l'échelle des structures sédimentaires, les fonds marins comportant des dunes, des chenaux, des plaines et des reliefs très comparables à la géomorphologie terrestre. Même si nous assistons à une normalisation progressive de la classification des sédiments des plateaux continentaux, des synthèses restent à mener pour remplacer les dizaines de classifications utilisées dans le monde (Garlan, 2004). Nous avons examiné les différentes classifications utilisées de plusieurs centaines de cartes de sédiments publiées dans le monde, et analysé les aspects positifs et négatifs de chacun de ces exemples. Il apparaît que les différences observées (d'un pays à l'autre, d'un laboratoire à l'autre, et même entre les différentes cartes produites par un même laboratoire) surviennent dans la grande majorité des cas d'adaptations apportées pour répondre à des objectifs différents. Les autres différences découlent des systèmes de mesure utilisés, de la latitude (les caractéristiques propres aux régions polaires et tropicales), et de la profondeur (les grands fonds étant différenciés par les processus de mise en place et les petits fonds par la taille des particules).

## 2. LA SPÉCIFICITÉ DES CARTES SÉDIMENTAIRES

### 2.1 Contributions de l'évolution des techniques

Entre 1820 et 1940, les études du plateau continental reposaient essentiellement sur des descriptions visuelles de sédiments collés sur le suif qui était placé dans la cavité située à la base du plomb de sonde. Ces descriptions de prélèvements ont été menées durant plus d'un siècle avec une grande densité et une excellente qualité, en particulier à proximité de la côte. Les points d'échantillonnage étaient souvent espacés d'une distance inférieure à cent mètres.

Avec plusieurs dizaines de millions de données sur la nature du fond ainsi obtenues et archivées par les services hydrographiques, ces années représentent une des périodes les plus fécondes dans l'acquisition de la connaissance de la nature des sédiments marins. La valeur de ces informations va croissant car ce sont les seules permettant d'évaluer l'évolution des fonds marins due à l'impact de l'évolution du climat et/ou de l'action de l'homme sur les espèces marines. Avec l'arrivée de sondeurs acoustiques, l'acquisition de données sur la nature des fonds a brusquement décliné en France, et un déséquilibre s'est produit au profit des données bathymétriques qui ont durant une cinquantaine d'années été exclusivement acquises. Avec l'arrivée des sondeurs multifaisceaux, dans les années 1990, l'acquisition simultanée d'une imagerie acoustique des fonds et de la bathymétrie a permis à la sédimentologie de recevoir de nouveau un flux important de données sur la nature des fonds marins.

Les systèmes acoustiques de classification des fonds sont venus s'ajouter, également dans les années 1990, à la palette des systèmes nécessaires à la cartographie du fond marin en complément de l'imagerie acoustique issue des sonars latéraux et des sondeurs multifaisceaux. Tous ces systèmes ont révolutionné la connaissance des fonds marins mais ils ont tous des limitations et nécessitent le prélèvement d'échantillons afin de calibrer les données ainsi obtenues. De très grands progrès ont été atteints grâce aux contributions de ces nouveaux systèmes d'acquisition à haute résolution, mais aussi et surtout par une approche différente dans les méthodes de cartographie des sédiments, fondée sur l'application de l'expertise du sédimentologue sur un modèle issu de la combinaison de toutes les données sédimentaires avec la morphologie et l'hydrodynamique.

### 2.2 Une variété de classifications pour différentes cartes sédimentaires

Un sédiment est un produit de l'érosion par l'eau, de l'abrasion mécanique par la mer et de la déflation par le vent. Les particules ainsi formées, après une migration durant une période de quelques heures à quelques millions d'années, sont incorporées dans un mélange de fragments lithologiques et biologiques, qui évolue ensuite en fonction de l'hydrodynamique locale. Des blocs de roches fossiles de plusieurs mètres cubes, déplacés par des glaces flottantes pendant les périodes glaciaires les plus récentes, peuvent ainsi être retrouvés sur le fond marin mélangés avec des sédiments fins déposés par les courants actuels. L'hétérogénéité qui en résulte sera encore accrue par l'ajout de particules d'origine biologique (fragments de coquilles et tests d'organismes) qui ajoutent aux sédiments des particules de toutes tailles. Plus les origines seront nombreuses, et plus hétérogène sera le sédiment résultant.

En utilisant des données très diverses et en tenant compte de leurs expériences acquises sur le terrain, les sédimentologues construisent un modèle représentant la répartition des sédiments du fond marin qui ne peut pas être obtenu par des méthodes numériques classiques. L'approche naturaliste, consistant à utiliser les données ponctuelles que sont les prélèvements pour réaliser des cartes, est en fait très similaire à celle adoptée par un physicien utilisant des données de terrain pour ajuster des processus physiques modélisés. Jusque dans les années 1990, les cartes sédimentaires reposaient sur quelques prélèvements et une

connaissance assez grossière de la morphologie du fond marin, la qualité de la carte reposait exclusivement sur celle du sédimentologue l'ayant réalisée. Avec les contributions de l'imagerie, de la sismique, et des systèmes de classification, calibrés par des échantillons, la part de la technique est devenue très importante et celle de l'expertise s'est réduite. Le modèle sédimentaire final repose désormais sur des gigaoctets de données difficiles à synthétiser et présente l'intérêt de fournir un produit dont la qualité peut être quantifiée.

### 2.3 Les sédiments : un mélange complexe traduit par quelques paramètres

«Pour résumer, rien n'est moins précis que la classification ordinaire de la nature des fonds, il ne satisfait ni le chercheur ni le marin». Thoulet a écrit ces mots, en 1907, après avoir défini une classification des sédiments très semblable à celles encore utilisées plus d'un siècle plus tard. Elles sont très anciennes, mais les règles établies par cet auteur méritent d'être rappelées :

«Une classification des fonds marins doit répondre aux conditions suivantes :

- se baser sur des caractères tellement précis, indiscutables, et si nettement limités, que plusieurs opérateurs examinant isolément le même échantillon soient assurés de lui donner toujours le même nom ;
- ne présenter aucun caractère vague, ou dont les limites soient susceptibles de dépendre d'une appréciation personnelle ; ne s'appliquer à aucune localité spéciale, quelle qu'elle soit, et être complètement indépendante du gisement particulier de l'échantillon ; ne s'appuyer sur aucun caractère biologique, comme la présence de tel ou tel animal ou débris d'animal, ce qui ramènerait à la dépendance de conditions géographiques. Pour répondre à ces conditions, une classification des fonds ne peut être que mécanique (granularité) et minéralogique (constituants).»

Une simple application de ces principes nécessite l'utilisation d'une classification unique, quel que soit le domaine d'étude ou les moyens mis en œuvre pour l'explorer. Ces conditions doivent toujours être appliquées pour l'analyse des échantillons prélevés, mais elles sont plus difficilement applicables pour les données acoustiques maintenant couramment employées par les sédimentologues.

Des blocs de plusieurs mètres de diamètre aux particules d'argiles de quelques micromètres, les particules existant sur le fond marin peuvent avoir toutes les tailles, et tous les mélanges de ces particules sont possibles. En raison de cette continuité, les limites des classes de particules sédimentaires présentent un caractère arbitraire. La classification de Wentworth, établit que lorsqu'une particule a une largeur comprise entre 2 et 1 mm, il s'agit d'un sable très grossier. De cette façon, cette classification, qui repose sur une loi logarithmique, définit le nom de toutes les particules sédimentaires des argiles aux blocs rocheux. Une telle classification est idéale pour les sédiments homogènes, comme par exemple les sables de milieu désertique ; elle devient par contre difficile à utiliser lorsque les sédiments comportent des particules dont les tailles couvrent plusieurs

classes de sédiments comme c'est fréquemment le cas des sédiments de rivières ou des sédiments marins des grands fonds. L'utilisation d'une telle classification devient impossible pour des sédiments très hétérogènes, c'est à dire pour la majeure partie des sédiments marins des plateformes continentales. C'est pourquoi cette classification est souvent citée dans les articles scientifiques, mais qu'elle demeure rarement utilisée pour la cartographie des sédiments marins.

Comme Guyon et Troadec (1994) le soulignent, la caractérisation géométrique du grain, même si elle peut parfois nécessiter des outils très sophistiqués, n'est pas très compliquée en principe. Réalisée sur un échantillonnage représentatif d'une population de grains, elle fournit un poids, une taille et un diamètre. Le problème est plus compliqué pour une particule non sphérique, en fait, même si une seule dimension est souvent suffisante pour caractériser un grain de sable roulé, deux ou trois paramètres sont nécessaires pour des grains anguleux ou en lamelles, et encore plus sont nécessaires pour un grain de forme irrégulière, par exemple un fragment de coquille. Par conséquent, il serait nécessaire de traduire la population de grains jusque-là représentée par le grain moyen ou la médiane, par une série de paramètres permettant une représentation de l'hétérogénéité des grains, de leur taille et de leur forme. Cette approche serait facile à mettre en œuvre car le spectre de paramètres descriptifs des sédiments mis à la disposition des sédimentologues est large, mais, la totalité des modèles de géoacoustique et de dynamique sédimentaire se limitant à la prise en compte du grain moyen, les produits cartographiques, à l'exception de ceux décrits au chapitre 3.5, se limitent encore aujourd'hui à la simple représentation de la granularité moyenne des sédiments.

### 3. LES DIFFÉRENTES CLASSIFICATIONS DE CARTOGRAPHIE SÉDIMENTAIRE

La qualité des cartes sédimentaires dépend des quatre facteurs suivants : l'intervalle entre les échantillons, l'équipement utilisé, la méthode analytique (microgranulométrie laser, méthode de tamisage...), et la classification adoptée. Tous ces facteurs varient selon le temps consacré à l'échantillonnage des sédiments, l'équipement disponible et les objectifs. Ainsi l'intervalle d'échantillonnage peut varier d'un facteur 100 d'une carte à une autre. Pour ces raisons, le coût, la résolution et la qualité de la carte peuvent varier considérablement.

Il existe donc un décalage entre ce qui est nécessaire, ce qu'il est possible d'atteindre, et les cartes produites. Les chapitres ci-après regroupent, par types de classification, les cartes sédimentaires du plateau continental publiées ces dernières décennies. En première approche, il apparaît qu'au cours des 200 dernières années de nouvelles classifications des sédiments sont régulièrement apparues sans que pour autant les anciennes ne soient abandonnées.

Les cartes des sédiments marins reposent sur un grand nombre de modes de représentation, que nous regroupons ici en cinq familles de classification principales : classification descriptive, diagramme triangulaire, tableau à double entrée, associé au système d'acquisition, spécifique à une discipline.

### 3.1 Les classifications descriptives

La première carte sédimentaire fut publiée par le SHF en 1897. Elle était basée sur une combinaison de descriptions de sédiments prélevés à l'aide du plomb de sonde enduit de suif et de quelques échantillons de sédiments prélevés à l'aide des premiers prototypes de benne (figure 1a). Sur la base de ce travail, dans les années 1910, Thoulet a compilé les données du SHF (devenu depuis le SHOM) avec ses propres échantillons afin de publier une série de cartes sédimentaires à des échelles de l'ordre de 1 : 120 000. Cette série est encore actuellement, la seule série à couvrir la totalité des côtes de la métropole. Ces cartes sont basées sur une classification très complète, normalisée, comprenant les seize classes de sédiments suivantes : roche, sable (moins de 5 % de vase), sables vaseux (de 5 à 25 % de vase), vase sableuse (de 25 à 50 % de vase), vase peu sableuse (de 50 à 90 % de vase), cailloux, graviers, herbiers... Peu de changements importants ont été réalisés par rapport à cette classification d'origine, qui a été utilisée dans différentes variantes avec juste quelques adaptations aux caractéristiques locales. C'est par exemple le cas de la carte des côtes japonaises *Bottom Sediment Chart in the adjacent seas of Kamaisi* publiée en 1953 par l'Agence pour la sécurité maritime, ou de la série des *Bathymetric and Fishing Maps series* de la côte nord-américaine publiées par la NOAA.

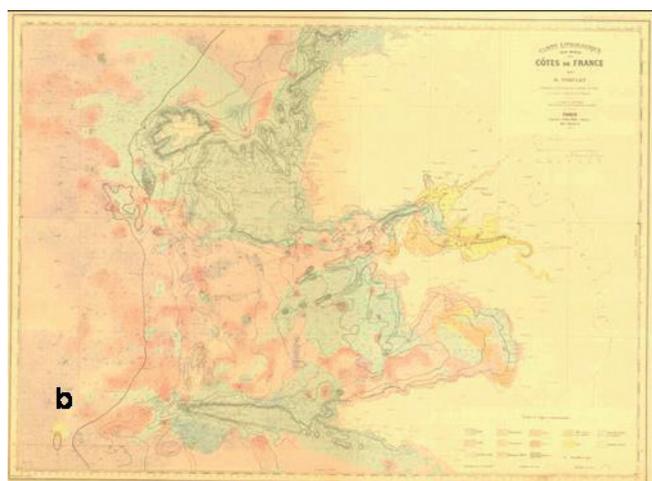
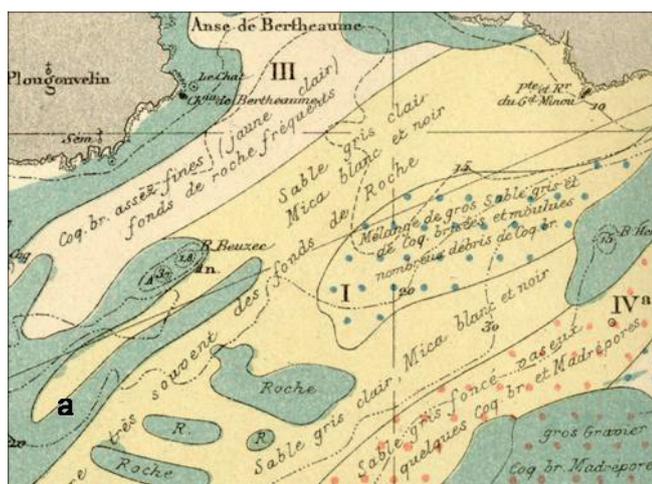


Figure 1 : Cartes sédimentaires éditées ou co-éditées par le SHOM en 1897 (a) ; 1912 (b)

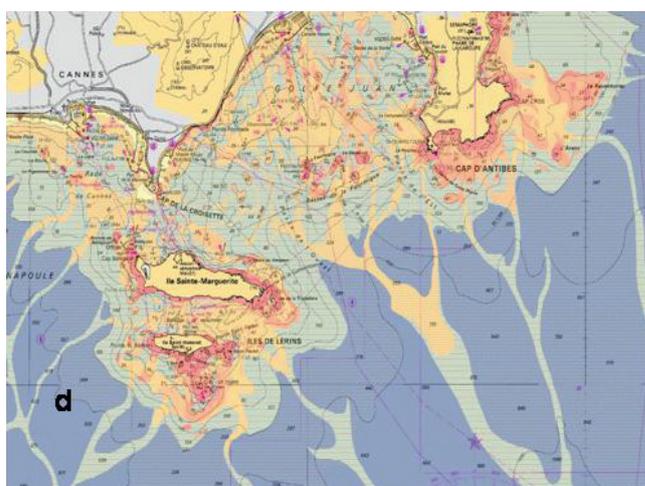
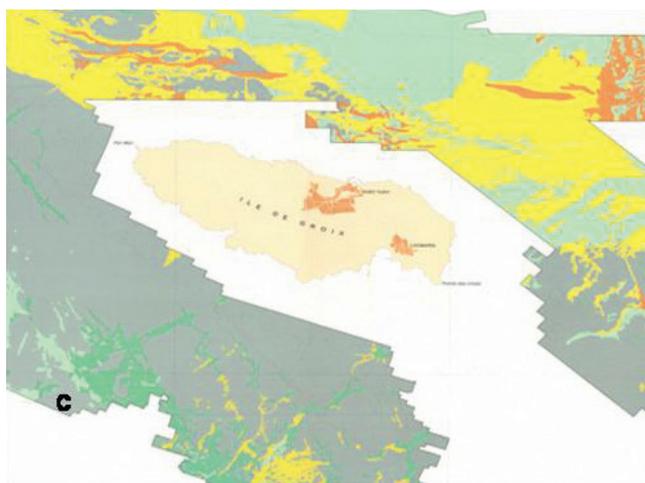
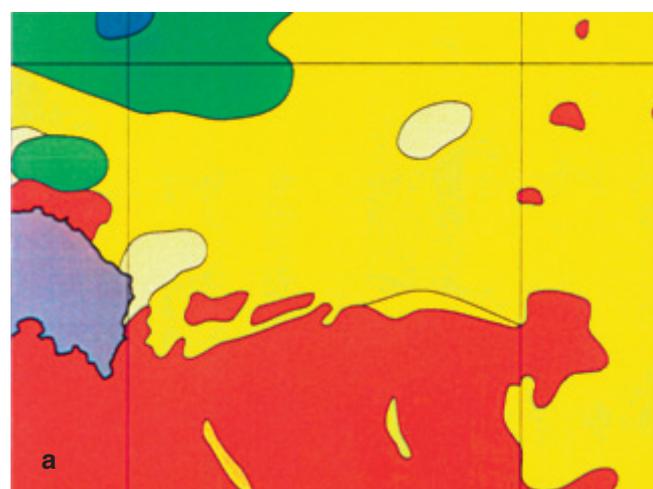


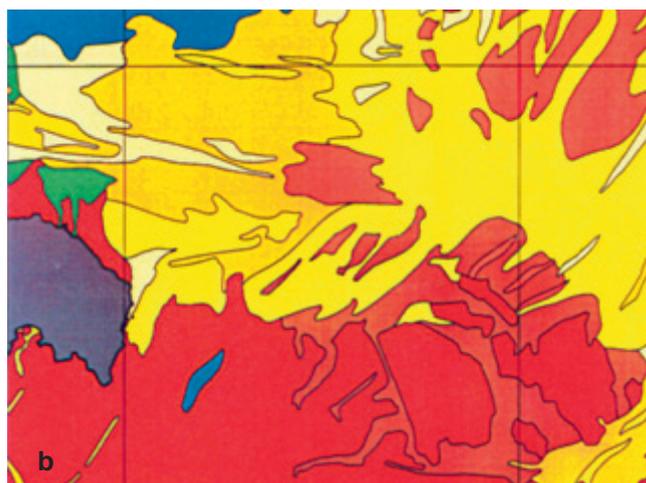
Figure 1 : Cartes sédimentaires éditées ou co-éditées par le SHOM 1995 (c) ; 2011 (d)

La classification descriptive était la première et elle demeure une des plus employées, en particulier pour les cartes destinées aux non spécialistes et au grand public. Cette classification permet de s'adapter aux particularités de l'environnement, et c'est la seule permettant de représenter les sédiments fortement hétérogènes, les mélanges de sédiments très différents comme les galets et les argiles. En outre, cette classification est la plus appropriée pour s'adapter aux changements d'échelles. Pour toutes ces raisons, la norme pour la représentation de la nature des fonds sur les cartes marines est basée sur ce type de classification. Il y a vingt ans, nous avons commencé à intégrer dans une base de données toutes les caractéristiques des fonds marins quelque soit le système d'acquisition, selon une classification aussi exhaustive que possible. Les cartes sédimentaires, obtenues à partir de la synthèse de ces données, ne sont plus le reflet d'une série de mesures, mais une synthèse de la connaissance représentée à une échelle adaptée aux besoins des pêcheurs, des exploitants de granulats marins, et de la marine pour la recherche des mines enfouies (Garlan, 2009). Ce programme de cartographie sédimentaire des côtes françaises à l'échelle moyenne de 1 : 50 000, combine la nature des fonds avec les autres couches traditionnelles des cartes marines : les cartes G. La prise en compte des données existantes, sans levés spécifiquement

réalisés pour la réalisation de ces cartes, permet d'améliorer notablement la connaissance des fonds marins, comme le montre la comparaison d'une carte faite à l'aide de dragage en 1972 par rapport à la carte 7031G publiée par le SHOM en 1994 (figure 2). Trente cartes G ont ainsi été publiées par le SHOM, et deux nouvelles cartes paraissent chaque année. Plus de vingt mille cartes G ont été diffusées au cours des vingt dernières années, auprès des pêcheurs, mais aussi des différents usagers du domaine marin. Chacune de ces cartes est basée sur la fusion : des analyses granulométriques de quelques milliers d'échantillons, de plusieurs dizaines de milliers de descriptions visuelles obtenues au plomb suiffé, de l'imagerie acoustique, des données de systèmes de classification des fonds, des photographies aériennes pour les rivages, et de la morphologie (Garlan, 1993). La classification descriptive a pour ce faire été adoptée car elle est la seule adaptée pour ce genre de carte destinée à un large public et obtenue par la fusion d'échantillons et de données acoustiques (figure 1d). Les classifications descriptives sont les seules à permettre les adaptations nécessaires aux environnements particuliers tels que les dépôts glaciaires. C'est le cas de la carte russe à 1 : 500 000 de la mer Baltique occidentale : *Quaternary deposits of the western Baltic* (Emylianov E. et al, 1994). Parmi les 12 classes figurant sur cette carte, sont différenciés les sables graveleux marins, les sables et silts lacustres, les argiles et silts glaciaires, les tillites, les varves... L'âge et les processus de dépôts des sédiments ont dans cette carte autant d'importance que la classification basée sur la granularité. Cette approche est particulièrement pertinente pour le développement de modèles géoacoustiques des fonds marins. La carte de la Baltique se distingue en outre par le fait qu'elle est associée à une seconde carte de la nature des sédiments à un mètre de profondeur.



1972



1994

Figure 2 : Comparaison de la carte des abords de Groix publiée en 1972 (a) avec la carte 7031 G réalisée en 1994 (b) à partir de données de plomb suiffé, de prélèvements, de mosaïques sonar latéral et d'un modèle numérique de terrain synthétisant toutes les données bathymétriques

### 3.2 Les classifications basées sur des diagrammes triangulaires

L'utilisation de diagrammes triangulaires ayant pour sommets les graviers, les sables et la vase, ou les sables, les silts et la vase, permet la représentation claire des mélanges sédimentaires. Mais la réduction à trois sédiments de base est trop simpliste car les multiples sortes de sables existant sur terre se retrouvent dans ce cas représentés par un seul nom. Une dizaine de cartes sédimentologiques des côtes françaises à 1 : 100 000, publiées de 1960 à 1980 par le BRGM, le CNEXO et les universités, ont été basées sur une compilation des analyses des échantillons obtenus essentiellement par dragage. Ce mode de prélèvement très bien adapté pour reconnaître simultanément les organismes benthiques et les fonds sur lesquels ils se développent, s'est révélé très néfaste car il accroissait artificiellement l'hétérogénéité des sédiments en mélangeant des sédiments voisins. Les données de cette période sont donc entachées d'erreur et de qualité médiocre à l'exception toutefois des zones où les sédiments présentent une faible variation latérale. Destinée aux géographes et aux géologues, la classification employée a été créée spécifiquement pour ces cartes avec une première séparation des cailloutis, des sédiments vaseux et des carbonates et, pour les mélanges de sables et de graviers une classification à l'aide d'un diagramme triangulaire. La classification résultante comportait les types de fonds suivants : roche, quatre classes de cailloutis, cinq classes de graviers et de sables, et quatre classes de vases. Les sédiments étaient représentés par des trames superposées sur lesquelles venaient se surajouter des trames correspondant aux débris de coquilles et au taux de carbonate de calcium. Cette représentation offrait l'avantage de représenter précisément tous les mélanges existant dans la nature, mais la lecture en était très difficile.

Les cartes anglaises à 1 : 250 000, publiées par le British Geological Survey (BGS), sont également basées sur une classification triangulaire ; elles couvrent l'ensemble du plateau continental de la Grande-Bretagne et sont essentiellement basées sur le diagramme triangulaire de Folk,

regroupant les particules en trois phases correspondant aux trois angles du diagramme : les particules grossières (cailloutis, graviers, galets), les sables et les vases. La plupart des quinze classes obtenues, contiennent le terme de vase ; les sables, les graviers et les mélanges de sables et graviers donnant les trois classes restantes. Le terme de sable apparaît très rarement sur ces cartes, car il faut que plus de 90 % des particules soient des sables pour que le sédiment porte ce nom. Cette classification est plutôt bien adaptée pour la cartographie de vastes zones (au-delà de l'échelle 1 : 250 000), parce qu'elle facilite la généralisation qui est exigée à ces échelles, elle a ainsi permis la cartographie du plateau continental de Grande-Bretagne à 1 : 1 000 000 en 1987. Mais les cartes réalisées de cette manière demeurent trop imprécises pour de nombreuses applications et il est en général nécessaire de faire appel à des cartes complémentaires. Parmi d'autres cartes utilisant la classification par diagramme triangulaire, nous pouvons citer les cartes du plateau continental norvégien ainsi que les cartes des sédiments du plateau continental des États-Unis (Pope et al, 1989) limitées à neuf faciès sédimentaires issus d'un double diagramme triangulaire.

### 3.3 Les classifications basées sur un tableau à double entrée

Dans les années 1980, pour pallier aux difficultés de lecture dues aux superpositions de trames, et pour pouvoir représenter de petites zones sédimentaires sur des cartes à 1 : 500 000, Larsonneur établit, à partir des 12 000 échantillons prélevés en Manche, une classification qui sera utilisée pour les cartes de la Manche (Vaslet et al, 1978) et du golfe de Gascogne (Klingebiel et Lesueur, 1985). Cette classification, dont le principal objectif est de souligner l'évolution de la sédimentation holocène et le contrôle de ces sédiments par les courants de marée, repose sur un tableau à deux entrées : la granularité et le taux de carbonate de calcium (Larsonneur, 1982). Son principal avantage est de bien mettre en évidence la partie biogène des sédiments ; mais cette classification très détaillée ne permet pas de présenter les sédiments bimodaux. Les sédiments grossiers (cailloutis et graviers), qui ne donnent qu'un faciès sur les cartes anglaises sont représentés par 20 faciès différents sur la carte de la Manche ; en revanche les mélanges de sables et graviers, ou de vases et particules grossières, n'y figurent pas.

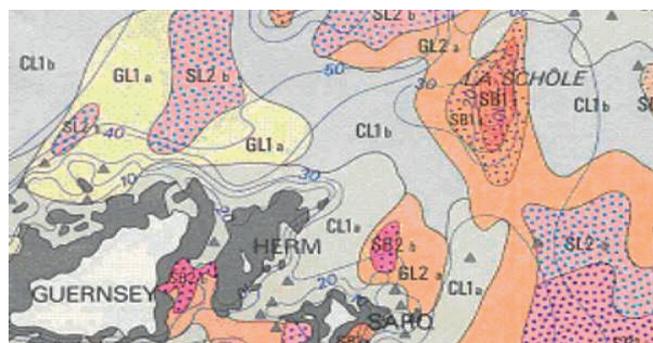


Figure 3 : Extrait de la carte des sédiments superficiels de la Manche (Vaslet et al 1978) et de sa légende

Subdivision principale	Cailloutis V < 5 % et C < 50 %		Graviers V < 5 % et C < 50 %, Md > 2mm		Sables V < 5 % et S < 50 %, Md > 2mm			
Sédiments lithoclastiques CaCO <sub>3</sub> < 30 %	Cailloutis lithoclastiques		Graviers litho-bioclastiques		Sables litho-bioclastiques			
					15 % < S < 50 %		S < 15 %	
	CL1a C > 70 %	CL1b C < 70 %	GL1a G > 15 %	GL1b G < 15 %	SL1a S > C	SL1b S > C	SL1c S > 0,5mm	SL1d 0,2 > S > 0,5mm
Sédiments litho-bioclastiques 30% < CaCO <sub>3</sub> < 50%	Cailloutis litho-bioclastiques		Graviers litho-bioclastiques		Sables litho-bioclastiques			
					15 % < S < 50 %		S < 15 %	
	CL2a C > 70 %	CL2b C < 70 %	GL2a G > 15 %	GL2b G < 15 %	SL2a S > C	SL2b S > C	SL2c S > 0,5mm	SL2d 0,2 > S > 0,5mm

Parmi les cartes à classification à double entrée, les cartes allemandes de Tauber et Lemke (1995) tirent leur originalité des paramètres utilisés pour établir les classes : la médiane (Md) et le classement. Le tableau comporte en ordonnées sept valeurs de la médiane allant des sables graveleux (Md > 1 mm) jusqu'aux silts (Md < 32 µm). En abscisse les cinq niveaux de classement permettent de différencier les sédiments homogènes des sédiments très hétérogènes. Aux 35 classes ainsi obtenues s'ajoutent des figurés pour les argiles, les pierres éparées et la roche affleurante. Une telle classification permet de réaliser une délimitation des zones sédimentaires automatiquement par traitement informatique. Cette classification est très riche, à titre d'exemple, les sables fins et les sables, qui ne sont représentés que par un faciès dans la classification de Folk et par deux sur les cartes G du SHOM, sont ici subdivisés en vingt classes sédimentaires. Ces cartes reflètent bien la complexité des sédiments marins et sont bien adaptées pour répondre aux besoins des modèles de dynamique sédimentaire et de géoacoustique. En revanche les cartes ainsi réalisées doivent nécessairement reposer sur un maillage fin et régulier de prélèvements et présentent une certaine complexité les rendant peu compréhensibles.

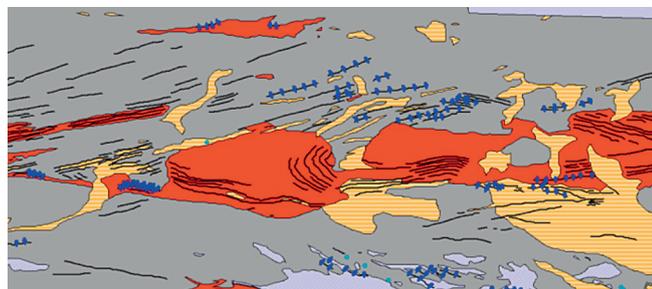
D'autres séries de cartes utilisent les tableaux à deux entrées, comme celles du Service géologique de Nouvelle-Zélande qui représentent à différentes échelles une grande partie du plateau continental. On peut également signaler : la carte colombienne à 1 : 25 000, basée sur une classification à deux entrées : granularité (graviers, sables, sables fins, silts, argiles) et 4 classes de carbonate de calcium, donnant 20 faciès (Dirección General Marítima Portuaria, 1983) ; la série de cartes des côtes du Portugal à 1 : 150 000 basée sur une classification similaire mais avec une séparation des sables et argiles en 8 classes, donnant donc 32 classes sans intégrer de sédiments grossiers. Les sables sont dans ces cartes définis par un pourcentage de vase inférieur à 10, une médiane inférieure à 2 mm et la somme des vases et sables supérieure à 50 % (Instituto Hidrografico, 1985) ; La série des cartes hollandaises à 1 : 100 000 dont les couleurs sont données par la médiane ou le grain moyen, le taux d'argiles étant figuré par une trame surimposée (Rijks Geologische Dienst, 1992).

### 3.4 Les classifications liées à un système d'acquisition : l'exemple de l'imagerie acoustique

L'imagerie acoustique, obtenue à l'aide de sonars à balayage latéral ou de sondeurs multifaisceaux (SMF), constitue une véritable avancée pour la cartographie sédimentaire, car elle permet l'observation :

- de structures sédimentaires même lorsque leur faible relief les rends invisibles sur les cartes bathymétriques ;
  - des objets ayant une signature acoustique spécifique comme les colonies de crépîdules, les champs d'herbiers ou d'algues, les cratères liés à l'évacuation du gaz ;
  - des limites d'affleurements rocheux ;
  - des blocs épars métriques ;
  - des traces engendrées par le chalutage ou les marques d'ancrage ;
  - des câbles, pipelines et autres objets anthropiques.
- Il est à noter que la plupart de ces objets anthropiques ou naturels ne peuvent être détectés que par ces systèmes.

Les cartes dérivées de ces données sont caractérisées par leur haute résolution, elles représentent des niveaux de réflectivité du fond marin (figure 4) et donc dépendent de la fréquence du système utilisé et de l'angle d'incidence selon lequel le fond a été exploré. La cartographie des sédiments paraît avec de telles données facile à réaliser, car les images sonar latéral semblent aussi explicites que des photographies du fond. Pourtant, des écarts entre ce que présentent les données sonar latéral et la vérité terrain ont été fréquemment rencontrés. Ainsi les petites dunes ne sont observées que lorsque les profils sont réalisés longitudinalement à leur crête et il est parfois observé, pour une zone homogène sur les données d'imagerie, plusieurs types de sédiments très différents. A l'opposé nous avons reconnu des limites très nettes qui ne correspondaient en réalité qu'à une légère variation du sédiment tel que le passage de sables moyens à des sables grossiers au sud du raz de Sein, ou celui de sables fins à des sables fins comportant de petites coquilles de 2 à 3 mm aux abords de Trafalgar...



	Fonds absorbants
	Champs de mégarides (Longueur d'onde 10m)
	Champs de mégarides (Longueur d'onde 5m)
	Fond peu réfléchissant lisse
	Roche
	Fond très réfléchissant lisse
	Fond réfléchissant rugueux
	Roche sub-affleurante
	Champ de mégarides indifférencié

Figure 4 : Extrait de la Base de Données Sédimentologiques du SHOM : carte des sédiments obtenue par analyse d'images sonar latéral et légende associée

A la fin des années 1980, du Japon au Canada en passant par la Nouvelle-Zélande et la France, des mosaïques d'images sonar latéral ont été publiées, puis ceci a été interrompu car

ces mosaïques dépourvues d'informations complémentaires se sont avérées peu utilisables pour les utilisateurs. La réalisation de cartes sédimentaires issues de l'interprétation de données d'imagerie se poursuit mais demeure assez peu développée au niveau mondial. On peut citer parmi elles les cartes de l'Iframer (Augris et al, 1999), de Nouvelle-Zélande (Lewis et al, 1998) et du Japon (Ikehara et al, 1988). Sans l'apport de données complémentaires, les systèmes d'imagerie sonar latéral et SMF ne permettent pas la cartographie des sédiments, mais ils sont les outils indispensables pour caractériser la répartition des structures sédimentaires et des processus sédimentaires.

### 3.5 Les cartes basées sur une classification multiple

La première approche de classification multiple a été présentée par Larssonneur (1971) qui réalisa une série de cartes de la Manche montrant la répartition des différents composants du fond marin à partir de l'étude approfondie de quelques milliers d'échantillons. Des cartes distinctes affichaient ainsi les minéraux majeurs, les éléments phycogènes (maërl), les minéraux accessoires, les paramètres issus des mesures granulométriques... La distribution des sédiments était représentée par plusieurs cartes représentant les différentes phases granulaires. Enfin, une carte de synthèse de la répartition des sédiments reposait sur une classification à 16 classes obtenue à l'aide d'un tableau à double entrée qui donna ensuite la classification utilisée pour la carte de la Manche de Vaslet et al (1978).

Plus récemment, les cartes publiées par la Commission géologique du Canada (Barrie et al, 1990), montrent les sites d'acquisition de données ponctuelles, les profils d'acquisition des données acoustiques, la nature du fond marin au niveau des points de prélèvement, la distribution des sédiments selon 12 classes descriptives, les zones d'isovaleur du grain moyen, les processus de dépôt, et les unités morphosédimentaires. L'approche dans ce cas consiste à produire autant de cartes que de types de données obtenues, de manière à permettre aux utilisateurs de localiser facilement l'information qu'ils recherchent. Cette richesse de l'information fournie a pour principal inconvénient de laisser à l'utilisateur le soin de faire la synthèse de ces multiples informations.

Les cartes sédimentaires publiées par le British Geological Survey, à l'échelle 1 : 250 000, qui comprennent une certaine de publications depuis 1980 ont déjà été évoquées car elles comportent une carte principale basée sur un diagramme triangulaire sables-argiles-graviers. Autour de celle-ci, de deux à huit cartes annexes sont présentées à des échelles allant du 1 : 500 000 au 1 : 4 000 000. Ces cartes annexes présentent un grand nombre de caractéristiques du fond marin : les dépressions majeures, les zones rocheuses, les bancs et dunes de sable... La précision de ces éléments peut être grande puisque les zones de champs de dunes sont parfois complétées, d'une indication de la hauteur des dunes, de l'orientation des crêtes, et même du sens de leur déplacement. L'examen de ces cartes annexes met en évidence les différents caractères importants qui ne figurent pas sur la carte principale, et qui ne sont donc pas caractérisés par le diagramme de Folk. Les cartes annexées et leur sujet sont adaptés à la complexité de la sédimentologie locale et varient considérablement d'une carte à l'autre.

Si les proportions en carbonate de calcium et en sable, sont représentées sur presque toutes les cartes, une seule carte représente les champs de cratères dus à l'évacuation du gaz. Par ailleurs, plus de la moitié des cartes annexes concernent la teneur en calcaire, les autres principaux sujets figurant sur ces cartes étant la proportion de vase, les structures sédimentaires, et l'épaisseur des sédiments.

Depuis une quarantaine d'années, le service géologique du Japon publie chaque année deux ou trois nouvelles cartes sédimentaires à 1 : 200 000. Ces cartes sont composées d'une carte principale en couleur et de cartes additionnelles composées de trames, à la même échelle, dont les sujets varient en fonction de la carte concernée. Ces cartes, qui étaient respectivement sur papier et sur calque, sont depuis une dizaine d'années fournies sous forme numérique comme par exemple la carte de Cape Ochiishi (GSJ, 2011). Contrairement aux exemples précédents, ces cartes ne se limitent pas au plateau continental et peuvent se prolonger au-delà de 1 000 mètres de profondeur. La majeure partie du plateau continental du Japon est ainsi couverte par ces cartes qui sont d'une richesse inégalée. Pour chaque secteur, la carte principale indique la nature des sédiments selon des classifications qui ont évolué au cours du temps. De 1976 à 1980, les cartes étaient basées sur un diagramme triangulaire sables-silts-argiles donnant 15 types différents de classes sédimentaires. De 1978 à 1982, cette classification a été complétée par les proportions des différents composants de la fraction grossière pour donner neuf symboles pour les sables, quatre pour les sédiments vaseux, et six pour les faciès supplémentaires. Entre 1984 et 1990, les cartes reposent sur une classification originale basée sur le «*Fineness Modulus*». Les initiateurs de cette classification voulaient par ce paramètre permettre l'expression en un seul nombre des trois paramètres caractéristiques des sédiments que sont le classement, la médiane, et l'asymétrie. La variation de ce paramètre de synthèse est complexe à comprendre et son utilisation ne s'est pas poursuivie. Depuis 1993, les cartes sont basées sur une classification simple composée de cinq à 10 classes, sans mélanges, et délimitée par les valeurs médianes. Afin de compléter cette information, le pourcentage en graviers, les courbes d'isovaleurs de la proportion de vase, la présence de dunes sont selon les besoins superposées à l'aide de symboles. Chacune de ces cartes principales est complétée par deux à six cartes annexes à la même échelle, montrant toutes les informations permettant de décrire au mieux le fond marin. Parmi la liste de ces cartes annexes, on peut citer les cartes selon diverses classifications, des cartes de concentration des composants (débris volcaniques, débris végétaux, test de plancton, minéraux...), des cartes des structures sédimentaires, des cartes de l'épaisseur des sédiments, des mosaïques sonar latéral, des cartes des paramètres physiques. Toutes ces cartes permettent ainsi la représentation des spécificités régionales utiles pour de nombreuses applications. Une telle approche nécessite la collecte d'un très grand nombre d'échantillons spécialement acquis pour la carte et une analyse en laboratoire particulièrement complète. Plutôt que d'utiliser une classification unique, le service géologique du Japon a donc adapté la représentation cartographique de la variabilité des fonds en séparant les différents éléments, suivant en cela les principes de Thoulet. Il faut tout de même remarquer que les 150 à 400 échantillons prélevés pour chacune des cartes, limitent l'échelle de représenta-

tion au 1 : 200 000. Il existe ainsi un écart entre la grande précision de la classification utilisée et le manque relatif de précision des limites d'extension des sédiments représentés. La large gamme d'éléments présentés sur ces cartes montre clairement la complexité de la nature des fonds marins et la difficulté de les représenter clairement et précisément. Ces cartes sont d'une qualité exceptionnelle et sont les seules à poursuivre ce travail jusqu'aux grands fonds.

#### 4. CONCLUSION

Une carte des sédiments peut montrer une grande variété d'informations : la taille des particules, les composants chimiques et physiques, la géomorphologie, et les processus de dépôt. Ces cartes ont des échelles allant de 1 : 5 000 à 1 : 30 000 000 et sont fondées sur des données qui varient considérablement dans leur nature, leur qualité et la quantité. L'arrivée des systèmes acoustiques, tout d'abord les sondeurs bathymétriques dans les années 1950 puis les systèmes d'imagerie dans les années 1990, ont entraîné des périodes de réduction des prélèvements de sédiments marins, permettant de réaliser des économies en réduisant les périodes de station des bateaux au profit de l'acquisition sur profils. Le gain apparent offert par ces systèmes acoustiques s'est accompagné d'une perte de la connaissance des constituants du fond et de leur répartition. Les campagnes de prélèvements ont ensuite repris entraînant ainsi des périodes de campagnes de prélèvements importantes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, dans les années 1970 et depuis une dizaine d'années. La cartographie des sédiments marins a ainsi vu passer des modes liées aux systèmes d'acquisition mais avec la numérisation et la mise en base de toutes ces données, la cartographie repose maintenant sur des données numériques de plus en plus séparées du moyen de mesure.

Si un sable peut être représenté par une classe unique ou par une douzaine de classes sédimentaires, cela signifie que des fonds très différents sont parfois représentés sous un même nom. Si ce n'est pas très gênant pour la connaissance globale de l'environnement, c'est un problème pour les études de biologie, pour les estimations de la répartition des espèces, et par voie de conséquence pour les estimations de stocks de pêche.

Cette étude montre une grande diversité des classifications des sédiments marins. Elle met en évidence que de nombreuses tentatives ont été menées dans de nombreux pays pour rechercher la représentation idéale de la nature des fonds marins. Les classifications décrites dans cet article ne sont pas exhaustives, et de nouvelles classifications verront le jour pour s'adapter aux différents besoins et pour tirer parti de l'évolution de la science et de la technologie. Il semble que la complexité des fonds marins soit de toute façon incompatible avec une norme universelle s'adaptant à tous les environnements, tous les besoins, et toutes les échelles.

#### 5. BIBLIOGRAPHIE

**Augris C., Cirac P., Satra C., Mazé J.P.**, «*Le domaine marin côtier du Pays Basque (Pyrénées-Atlantiques) Carte des formations superficielles et mosaïque d'images acoustiques sonar à balayage latéral*», IFREMER Ed., carte à 1 : 20 000. 1999.

**Barrie J.V., Luternauer J.L., Conway K.W., Sawyer B., Bedard L.J., L'Espérance G.F.**, «*Surficial geology of the Queen Charlotte basin, Moresby Island-Queen Charlotte sound*», Commission géologique du Canada Ed., huit cartes à 1 : 250 000, 1990.

**British Geological Survey**, «*Sea bed sediments around the United Kingdom*», B.G.S. ed., carte à 1:1 000 000, 1987.

**Dirección General Marítima Portuaria**, «*Mapa de repartición de las facies sedimentarias, Bahía de Cartagena*», Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas y Misión Técnica Francesa, carte à 1 : 25 000, 1983.

**Emylianov E., Neumann G., Harff J., Kramarska R., Uscinowicz S., Shircshov P.P.**, «*Quaternary deposits of the western Baltic et Bottom sediments of the western Baltic*». Head Department of Navigation and Oceanography, Russian federation Ministry of Defense, Sankt Petersburg, carte à 1: 500 000. 1994.

**Garlan T.**, «*Innovation in marine cartography at SHOM*», International Hydrographic Review, LXX(1), 1993, p. 103-120.

**Garlan T.**, «*Apports de la modélisation dans l'étude de la sédimentation marine récente*», Mémoire d'HDR, Université des Sciences et Techniques de Lille, 2004, 155 pp.

**Garlan T.**, «*Gis and mapping of moving marine sand dunes*». Proceedings ICC2009, Santiago, Chili, 2009.

**Geological survey of Japan AIST**, «*Sedimentological map offshore of Cape Ochiishi*», Marine Geological map, series N°70 CD, carte à 1 : 200 000, 2011.

**Guyon E., Troadec J.P.**, «*Du sac de billes au tas de sable*». Editions Jacob, Sciences, 1994, 306 pp.

**Ikehara K.**, «*Sedimentological map of South of Tosa Wan*». Geological survey of Japan, Marine Geology Map series, N°34, carte à 1 : 200 000, 1988.

**Instituto Hidrografico**, «*Carta dos sedimentos superficiais de Cabo de S. Vicente ao Rio Guadiana*». Instituto Hidrografico Ed., carte à 1 : 150 000, 1985.

**Klingebiel A., Lesueur P.**, «*Carte des sédiments superficiels du Plateau continental du Golfe de Gascogne*», BRGM et IFREMER Ed., carte à 1 : 500 000. 1985.

**Larsonneur C.**, «*Manche centrale et Baie de Seine, géologie du substratum et des dépôts meubles*». Mémoire de thèse doctorat, Université Caen, 1971, 394p.

**Lewis K.B., Garlick R.D., Dawson S.M.**, «*Kaikoura canyon: depths, shelf texture and whale dives*». NIWA Chart Miscellaneous series N° 78, carte à 1 : 40 000, 1998.

**Maritime Safety Agency**, «*Bottom sediment chart in the adjacent seas of Kamaisi*», carte N° 7005, Tokyo, Japon, carte à 1 : 200 000, 1953.

**NOAA**, «*Bathymetric Fishing Maps of Gloucester à 1 : 100 000*». US Department of Commerce Ed., National Ocean Service, carte à 1 : 100 000, 1986.

**Poppe L.J., Schlee J.S., Butman B., Lane C.M.**, «*Map of the distribution of surficial sediment, Gulf of Maine and Georges Bank*», US Geological Survey and NOAA Ed., carte à 1 : 1 000 000, 1989.

**Rijks Geologische Dienst**, «*Geologische kaart Rabsbank*», Rijks Geologische Dienst Ed., carte à 1 : 250 000, 1992.

**Tauber F., Lemke W.**, «*Meeresbodensedimente in der westlichen Ostsee – Blatt Darss*». Institut für Ostseeforschung, Warnemünde, carte à 1 : 100 000, 1995.

**Thoulet J.**, «*Précis d'analyse des fonds sous-marins actuels et anciens*». Librairie militaire R. Chapelot Ed., 1907, 220 p.

**Vaslet D., Larsonneur C., Auffret J.P.**, «*Carte des sédiments superficiels de la Manche*», BRGM, France, carte à 1 : 500 000, 1978.

# CARTOGRAPHIE MARITIME POUR L'ACTION DE L'ÉTAT EN MER DE LA CARTE PAPIER AUX SERVICES CARTOGRAPHIQUES EN LIGNE

par Nathalie Leidinger, ingénieur divisionnaire des travaux géographiques et cartographiques de l'État<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Avec une ZEE (zone économique exclusive) de 11 millions de km<sup>2</sup>, la France occupe le second rang mondial, derrière les États-Unis et les espaces maritimes sous sa juridiction sont répartis dans 4 océans. Ce territoire maritime prend une importance accrue au siècle de la mondialisation avec des enjeux politiques, économiques et écologiques liés à l'exploitation des ressources, aux routes commerciales, à la préservation de la biodiversité. Du fait de ces multiples enjeux, parfois antagonistes, la mer devient un espace de plus en plus réglementé, à tous les niveaux de l'État jusqu'aux instances européennes et internationales : convention de Montego Bay sur le droit de la mer (Nations Unies, 10 décembre 1982), traités internationaux pour la sécurité de la navigation de l'OMI (Organisation maritime internationale), directives européennes pour une politique maritime intégrée (DCSMM), réglementation de l'État français dans ses eaux territoriales.

Faire respecter la réglementation, surveiller les côtes, coordonner des opérations de recherche et de sauvetage, prévoir la dispersion d'un polluant sont autant d'exemples qui font intervenir la dimension géographique comme axe d'analyse. Cet article a pour objectif de dresser un état des productions cartographiques du SHOM à usage de l'action de l'État en mer (AEM) et des moyens développés pour mettre à disposition des acteurs de l'AEM l'information géographique de référence. La première partie de l'article est consacrée aux données géographiques de référence que le SHOM entretient en relation avec les autorités compétentes de l'Etat. Les produits et services plus particulièrement dédiés à l'AEM et élaborés à partir des référentiels socles font l'objet de la seconde partie.

## ABSTRACT

*With an EEZ (Exclusive Economic Zone) of 11 million km<sup>2</sup>, France ranks second in the world behind the United States and the maritime areas under its jurisdiction spread over four oceans. The importance of this maritime territory increases in the age of globalization with political, economic and environmental issues related to the exploitation of resources, trade routes or the preservation of biodiversity. Because of these multiple issues that sometimes conflict with each other, the sea becomes a space increasingly regulated from all levels of national government to the European and international authorities: Montego Bay Convention on the Law of the Sea (United Nations December 10, 1982), international treaties for the safe navigation of the IMO (International Maritime Organization), European regulation for an integrated maritime policy (MSFD), regulation of the French state in its territorial waters.*

*Enforcing regulations, monitoring the coast, coordinating search and rescue operations, predicting the dispersion of a pollutant are some examples involving the geographical dimension as an axis of analysis. This paper aims to draw up an overview of SHOM cartographic production dedicated to the State Action at Sea (AEM) and of the means available to provide the actors of the State Action at Sea with access to the geographical reference data maintained by SHOM. The first part of the article is dedicated to the geographical reference data that SHOM maintains in relation with the relevant state authorities. The products and services specifically dedicated to the State Action at Sea and elaborated from geographical and cartographic harmonized frames of reference are the subject of the second part.*

<sup>1</sup> IDTGCE, chef du département géomatique (GEO) du SHOM

Adresse : Service hydrographique et océanographique de la marine, 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex

Email : nathalie.leidinger@shom.fr



## 1. LES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES DE RÉFÉRENCE

### 1.1 La carte marine

La carte marine, document nautique officiel, répond avant tout aux besoins des navigateurs et s'appuie sur des normes et pratiques élaborées sous l'égide de l'OHI (Organisation hydrographique internationale).

Les données de la carte marine constituent également un fonds cartographique général de référence permettant des applications multiples dans le domaine de l'aménagement du territoire, de l'exploitation des ressources, de la protection de l'environnement...

Sous forme de fichiers numériques raster, la carte marine peut être exploitée au sein d'un SIG (système d'information géographique) et combinée à d'autres couches d'informations « métier », par exemple la superposition du carroyage issu du MANCHE PLAN permet d'établir un nouveau produit pour l'action de l'État en mer (AEM).

Historiquement, la carte marine est la représentation normalisée à usage de la navigation de l'information géographique maritime. Elle devient insuffisante pour d'autres usages alors que se développent de nombreuses applications SIG conçues autour de bases de données. Les dénominateurs communs des expressions de besoins sont :

- disposer de données de référence, sur l'ensemble des eaux sous juridiction française, reconnues opposables pour certaines ;
- la carte papier seule ne suffit plus, la mise à disposition doit se faire sous de multiples formats : cartes numériques, données vectorielles et services web.

### 1.2 Les délimitations des espaces maritimes sous juridiction française

Le dernier CIMer (Comité interministériel de la mer) (10 juin 2011) a affirmé l'importance des délimitations des espaces maritimes sous juridiction française, données sur lesquelles s'appuient les enjeux stratégiques et les obligations politiques de la France. La décision de refondre entièrement les textes législatifs et réglementaires et de délimiter avec plus de précision certains espaces, en particulier outre-mer, a été prise, ce qui permettra d'en assurer une meilleure protection avec l'établissement d'aires marines protégées par exemple et de lancer les explorations dans la perspective de l'exploitation des ressources minérales profondes suite au programme d'extension du plateau continental français (Extraplac). Un programme national, baptisé « Délimitation des espaces maritimes », a été confié au SHOM, dans le but, en liaison avec les administrations et organismes concernés, de collecter et actualiser toutes les données sur les limites maritimes françaises. Celles-ci devront également être mises en ligne sur un portail Internet.

En tant que producteur des cartes marines officielles, le SHOM joue le rôle d'expert national dans le domaine des délimitations maritimes. Les cartes marines définissent la ligne de base normale (laisse de basse mer). Il apporte son expertise à l'État pour la définition des systèmes de lignes de base droites le long des côtes françaises, qui sont aussi représentées sur les cartes à grande échelle.

Les cartes marines, comme le stipule la convention de Montego Bay, sont également le support de « publicité » des limites des espaces maritimes nationaux. Le SHOM a donc la charge de calculer ces limites pour la France, de les porter sur les cartes mais aussi d'y reporter les revendications françaises lorsque les frontières n'ont pas fait l'objet d'accord.

Les actions décidées lors du dernier CIMer renforcent le rôle du SHOM et indiquent aussi une évolution importante dans la manière de mettre à disposition l'information géographique relative aux délimitations maritimes, en effet la publication de cette information sur un portail Internet va permettre sa diffusion sous forme de flux raster ou vecteur qui seront directement exploitables par les SIG clients.

### 1.3 Les limites administratives

Les eaux françaises sont soumises à de nombreuses réglementations, en évolution permanente. La traduction en information géographique de ces espaces n'est pas toujours évidente, mais elle est essentielle. Les limites de responsabilité des préfets, les limites de salure des eaux, pour ne prendre que ces 2 exemples, sont fixées par des textes anciens qu'il est aujourd'hui difficile de traduire car les repères géographiques sur lesquels ils s'appuient ont parfois disparu.

Les espaces contrôlés en mer étant en progression, la mise en base de données géographiques des limites des zones réglementées est nécessaire afin d'en donner une vision synthétique au décideur qui pourra apprécier ainsi la pertinence de nouveaux projets de textes. C'est un travail que le SHOM effectue d'ores et déjà en traduisant « cartographiquement » les textes de réglementation.

Le programme « Délimitation des espaces maritimes » mentionné plus haut va aussi être l'occasion pour le SHOM de produire un référentiel des limites maritimes que l'on qualifiera ici d'administratives en relation avec les autorités compétentes de l'État.

## 2. LES PRODUITS CARTOGRAPHIQUES À USAGE AEM

### 2.1 Cartes AEM

L'édition de produits cartographiques à usage de l'AEM est apparue nécessaire suite au constat que les produits existants n'étaient pas totalement adaptés aux besoins de la préparation et de la conduite d'opérations de l'AEM. En effet, les échelles, les zones de couverture ou les informations juridiques, opérationnelles et réglementaires étaient souvent insuffisantes ou éclatées sur plusieurs cartes, rendant délicate leur exploitation.

Depuis 2010, le SHOM a relancé une production programmée de cartes, à partir des besoins exprimés par les divisions et conseillers de l'AEM, des commandants de zone maritime, en coordination avec le COMETOC (Centre opérationnel météorologique et océanographique) de la marine et le SHOM. Le nombre important de requêtes reçues a conforté la légitimité de ces travaux.

Les premières productions ont porté sur la zone maritime « Océan Indien », les principales informations représentées étant les délimitations des ZEE officielles et revendiquées, les zones SAR (Search And Rescue), les FIR (Flight Information

Region), les AMP (aires marines protégées), les ORP (organisations régionales de pêche), les zones d'activités pétrolières et les zones de piraterie au large de la Somalie.

En 2011, les cartes de l'AEM en métropole ont été actualisées (voir figure 1), mettant en évidence les évolutions organisationnelles des services en charge de la mer et du littoral : création des directions départementales du territoire et de la mer (DDTM), sous la responsabilité du préfet de département (1<sup>er</sup> janvier 2010) et institution des délégations de la mer et du littoral (DML), des directions interrégionales de la mer (DIRM), créées le 23 janvier 2010 par fusion des directions régionales des affaires maritimes (DRAM) et par intégration des services chargés de la signalisation maritime et de la gestion des centres de stockage interdépartementaux POLMAR. Cette nouvelle organisation est désormais cartographiée.

Les cartes du programme de l'année 2012 concernent principalement les Antilles dans la perspective du futur plan de gestion AGOA (grand sanctuaire pour les mammifères marins aux Antilles françaises).

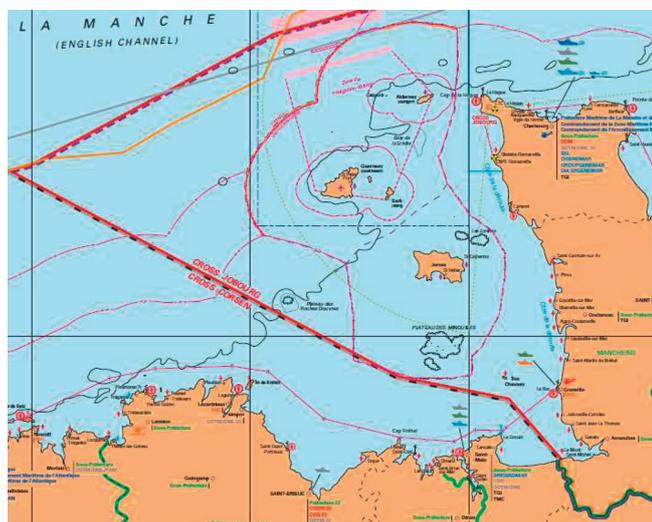


Figure 1 : Extrait de la carte de l'AEM en zone Manche et Mer du Nord (7344Z)

Si la mise à disposition des produits se fait encore majoritairement sous forme de cartes « papier », le besoin en données numériques complémentaires émerge : images (raster) géoréférencées des cartes (GéoTIFF) et données vectorielles pour intégration dans les SIG.

## 2.2 La cartographie Terre Mer : SCAN Littoral

Le littoral ne peut se contenter d'une approche géographique strictement maritime ou terrestre et il est nécessaire de décrire cet espace de manière continue. Pour cela, l'étude et la mise au point du SCAN Littoral® ont débuté en 2007, l'objectif étant d'offrir à la défense, mais également aux acteurs publics et privés de la gestion du littoral et à ses usagers, une cartographie continue et précise des espaces maritimes et terrestres. Le SCAN Littoral® présente ainsi la fusion, le long du trait de côte officiel HISTOLITT®, des données de la carte topographique au 1 : 25 000 de l'IGN et de la carte marine, principalement au 1 : 50 000, du SHOM (voir figure 2). Toute l'attention des cartographes s'est portée sur cette ligne de raccord, matérialisant l'interface des 2 milieux, de façon à préserver les détails topographiques, la toponymie... et à décrire ainsi avec précision le littoral.

lisant l'interface des 2 milieux, de façon à préserver les détails topographiques, la toponymie... et à décrire ainsi avec précision le littoral.

Le produit SCAN Littoral® couvre l'ensemble des côtes françaises de métropole et des DOM (départements d'outre-mer). Il est mis à jour annuellement par intégration des nouvelles éditions des cartes marines et topographiques. Le SCAN Littoral® se compose d'un ensemble de dalles géoréférencées, au format image (TIFF et ECW), de 10 km sur 10 km. Sa couverture s'étend au minimum à 10 km de part et d'autre du trait de côte. Il s'intègre facilement dans les SIG et constitue ainsi un outil destiné à favoriser la gestion intégrée des zones côtières. Il est accessible à tous, en visualisation, sur le Géoportail ([www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)) et se décline pour le grand public en cartes papier, créées à la demande, à travers le service Carte à la carte « Littoral & Découverte » disponible sur le site de l'IGN ([www.loisirs.ign.fr](http://www.loisirs.ign.fr)).

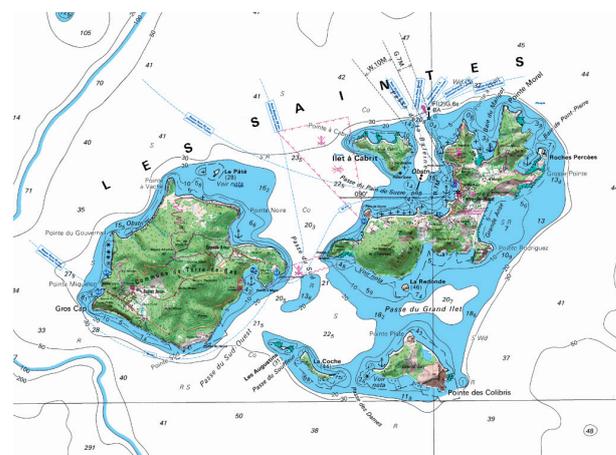


Figure 2 : Extrait du SCAN Littoral® - Guadeloupe

## 2.3 Une capacité opérationnelle de soutien réactif

En situation de crise, le SHOM est conduit à mettre en œuvre sa capacité de soutien renforcé. En 2011, dans le cadre du soutien à l'AEM, un dossier d'environnement a été produit pour les responsables publics suite à l'échouage du cargo *TK Bremen* en décembre à Erdeven (Morbihan).

Un dossier d'environnement se compose de plusieurs cartes : carte Terre-Mer produite à partir du SCAN Littoral®, cartes des courants de marée, de la sédimentologie, de la bathymétrie, cartes des pentes... Autant de données qui permettent d'analyser la situation, de prévoir son évolution, de préparer les opérations d'interventions.

La situation de crise exige une forte réactivité dans la mise à disposition des données indispensables aux opérationnels. Pour cela, le SHOM investit dans la mise en œuvre d'une infrastructure géospatiale, et d'une plate-forme de diffusion de données et de services, répondant aux normes ISO, aux standards de l'OGC (Open Geospatial Consortium) et s'inscrivant dans le cadre de la directive européenne INSPIRE afin de garantir l'interopérabilité avec les autres plates-formes nationales telles que le Géoportail ou Sextant, et locales (cf. article « Réalisation d'une infrastructure géospatiale au SHOM »). Parmi les nouveaux services offerts par cette plate-forme, des outils de cartographie dynamique seront bientôt en ligne.

### 3. CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE : LA CARTOGRAPHIE INSTANTANÉE « SUR MESURE »

Avec la mise en place d'une infrastructure de diffusion, l'objectif du SHOM est de mettre les données de référence à portée de clic des utilisateurs, et leur permettre d'éditer les documents cartographiques dont ils ont besoin, sans faire appel à un cartographe.

Et peu à peu, la carte devient un outil d'interaction et de participation...

#### 3.1 Cartographie dynamique

La cartographie dynamique se différencie de la cartographie numérique, reposant sur les SIG traditionnels, en proposant des outils et des techniques qui permettent aux utilisateurs de créer leur propre carte, éphémère, en combinant des données de sources diverses. On parle alors de « mashup cartographiques », applications composites qui consistent à agréger du contenu dans une interface cartographique. Elles utilisent les API (Application Programming Interface) cartographiques qui permettent de recourir aux fonctions et contenus d'applications web à partir de commandes externes.

En 2011, le SHOM a étudié la mise en œuvre d'un serveur cartographique et mené une première expérimentation de « mashup cartographique » en soutien à l'AEM, démontrant les apports de ces technologies.

Ces travaux sont poursuivis et un service opérationnel sera bientôt disponible, il permettra à l'utilisateur de créer sa propre carte, sur sa zone d'intérêt, en combinant par exemple les données de la carte marine, présentées sous la forme d'un globe virtuel avec ses propres données : les limites d'un projet de zone réglementée par exemple. Un enjeu important réside dans la qualité de la représentation des données : la symbolisation devra s'adapter à l'échelle de la carte et l'utilisateur devra être guidé dans ses choix de symboles à appliquer aux données vectorielles, afin de garantir un résultat lisible.

#### 3.2 Chat cartographique

Afin d'aller plus loin dans l'interactivité, le SHOM étudie aussi un service de « chat cartographique » permettant cette fois à l'utilisateur d'échanger avec le cartographe pour construire ensemble la carte dont il a besoin dans un mode collaboratif.

L'avantage de ces services en matière de cartographie est d'apporter des réponses « sur mesure » aux besoins des utilisateurs en réduisant fortement les délais de fabrication et de mise à disposition.

#### 3.3 Conclusion

L'évolution de la discipline cartographique est fortement marquée par l'apparition des globes virtuels (Google Earth, Géoportail...). Cette approche « image » couplée à des bases de données vectorielles, le développement des services web géographiques et du mode de travail collaboratif ouvrent le champ de l'interactivité et mille et une cartes peuvent alors être générées ! Mais qu'apportent ces possibilités techniques au sujet que nous traitons ?

Des réponses cartographiques plus rapides, des cartes « à la

carte » qui répondent précisément aux besoins, mais pas seulement. Aujourd'hui, les systèmes d'informations maritimes utilisés par les opérationnels de l'AEM, tels que le système SPATIONAV pour la France, sont basés sur la visualisation d'une situation du trafic maritime, sur fonds de cartographie marine ENC (carte électronique de navigation). La surveillance s'effectue à l'aide d'un réseau de radar et grâce aux signaux AIS (Automatic Identification System) transmis par les navires. Les limites de ces systèmes portent sur les capacités d'analyse, les sources de données étant toujours plus nombreuses et les interfaces utilisées.

Les travaux actuels sur les futurs systèmes tentent d'intégrer au sein d'une interface unique, table tactile par exemple (voir figure 3), les informations géoréférencées où sont mises en évidence les alertes. « La carte » qui en résulte est l'élément majeur à travers lequel l'opérateur analyse la situation, accède aux bases de données, réalise et transmet des rapports particuliers aux autorités et collabore avec des experts extérieurs.

Les innovations apportées par ces plates-formes géodécisionnelles et les nombreux travaux de recherche en cours seront la source de nouvelles évolutions pour le domaine de la cartographie.

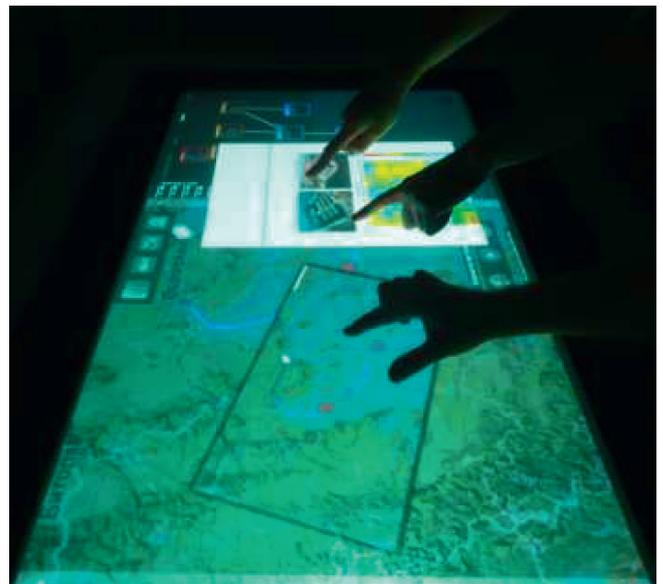


Figure 3 : Illustration extraite de :  
[http://www.crc.mines-paristech.fr/fr/index\\_16.html](http://www.crc.mines-paristech.fr/fr/index_16.html)  
Application sur table tactile développée dans le cadre du projet  
TAMARIS  
(Traitement et Authentification des Menaces et des RISques en mer) (IHM développée par Intuilab).



# AML : LA SUPÉRIORITÉ TACTIQUE FOURNIE PAR L'INFORMATION DANS LE DOMAINE MARITIME

par Mikaël Le Gléau ingénieur des études et techniques de l'armement du SHOM<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

La connaissance et l'exploitation des informations d'environnement sont essentielles à la réussite d'une opération maritime. Les AML (Additional Military Layers, en français « couches militaires additionnelles ») ont ainsi été conçues à partir de 2001 comme : « une gamme de produits unifiés et interopérables de données géospatiales numériques conçus pour satisfaire les besoins de l'OTAN en dehors de la navigation maritime ». Elles participent à la fusion des informations d'environnement maritime avec des informations de navigation ou tactiques afin de fournir une carte de situation de l'environnement ou d'aider à la prise de décision.

## ABSTRACT

*Knowledge and management of the environment are fundamental to success in maritime operations. AML (Additional Military Layers) were designed by 2001 as "a unified range of digital geospatial data products designed to satisfy the totality of NATO non navigational maritime defence requirements". AML contribute to the fusion of maritime environment information with navigation or tactical information in order to deliver situational awareness or tactical decision aid.*

<sup>1</sup> Adjoint au chef du centre de fusion de données (CFuD) du SHOM  
Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex  
Email : mickael.le.gleau@shom.fr



## INTRODUCTION

La possession d'informations d'environnement pertinentes et précises est essentielle à la réussite d'une opération militaire. Si cette information est bien gérée, partagée et exploitée, elle apporte une supériorité indéniable à tous les niveaux : prise de décision stratégique, planification opérationnelle et conduite tactique des opérations. Ainsi la connaissance et la prévision des phénomènes météorologiques ont toujours été une préoccupation pour les opérations terrestres, aériennes ou maritimes.



*Groupe aéronaval*

Pour ce dernier type d'opérations, la connaissance de l'environnement maritime et littoral (hydrographie et océanographie) n'en est pas moins importante.

## CONTEXTE ET DÉFINITION

Pendant des années, les informations géospatiales maritimes intéressant la défense ont été développées et fournies sous la forme d'un large éventail de cartes ou de graphiques imprimés et, parfois, également sous forme de calques superposables aux cartes marines. Avec le passage à l'ère numérique et notamment l'avènement des systèmes électroniques de navigation ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), les AML (Additional Military Layers, en français « couches militaires additionnelles ») ont été conçues pour fournir cette information d'une manière moderne et efficace, dans un format normalisé.

Ainsi, les AML ont été définies à partir de 2001 dans des accords de normalisation (STANdardization AGreement) de l'OTAN (ex : STANAG 7170) comme : « une gamme de produits unifiés et interopérables de données géospatiales numériques conçus pour satisfaire les besoins de l'OTAN en dehors de la navigation maritime ».

## LA NORME DE DONNÉES AML

Les AML se décomposent en deux types de données : des données vectorielles (norme S-57 ou DIGEST) et des données maillées (normes GRIB et NetCDF).

Le rapprochement avec la norme S-57 utilisée pour les cartes électroniques de navigation ENC (Electronic Navigational Charts) et produite par l'Organisation hydrographique internationale (OHI) a été volontaire. Les AML peuvent représenter en effet le même type d'objets « hydrographiques » (isobathes, trait de côte, épaves, limites maritimes, etc.) et sont initialement destinées à être visualisées en superposition

aux ENC dans des systèmes d'information et de commandement, des systèmes de combat ou des systèmes de navigation adaptés (WECDIS : Warship ECDIS).

Les produits maillés sont eux utilisés pour décrire des informations océanographiques ou météorologiques. Ils sont adaptés pour représenter un grand nombre d'observations ou de prévisions sur différentes périodes de temps et zones géographiques.

Les AML sont ainsi réparties en 9 catégories de produits (les 7 premières sont communément appelées AML hydrographiques ; les 2 dernières sont les AML océanographique et météorologique) :

- Contour Line Bathymetry (CLB) : contenant des isobathes, sondes, plages de profondeurs (généralement plus denses que sur les cartes marines) et toponymie sous-marine. Elles sont particulièrement destinées à faciliter la navigation sous-marine, mais sont également utilisées pour la lutte sous la mer, l'analyse de situation opérationnelle ou la guerre des mines ;
- Environment, Seabed and Beach (ESB) : décrivant l'environnement littoral et les caractéristiques du fond. Ces AML sont utiles pour la guerre des mines, la lutte sous la mer ou les opérations amphibies ;
- Large Bottom Objects (LBO) : représentant tous les objets sur le fond de plus de 5 m de long, elles sont utilisées pour la guerre des mines ou pour la lutte anti sous-marine ;
- Small Bottom Objects (SBO) : représentant tous les objets sur le fond de moins de 5 m de long, elles sont utilisées pour la guerre des mines ;
- Maritime Foundation and Facilities (MFF) : décrivant l'environnement maritime d'une manière générale (trait de côte, câbles, plates-formes, pêche, aide à la navigation, limites des glaces, etc.) lorsque ces informations ne sont pas déjà disponibles au travers des cartes de navigation ;
- Routes, Areas and Limits (RAL) : représentant des routes (ex : chenaux de guerre des mines, routes de navigation), zones (ex : zone d'exercice ou zone réglementée) ou limites (ex : ZEE) ;
- Network Model Bathymetry (NMB) : est un modèle maillé de bathymétrie (utilisant la norme S-102 de l'OHI) ;
- Integrated Water Column (IWC) : décrivant les caractéristiques de la colonne d'eau (température, salinité, courants, mammifères marins, etc.) ;
- Atmospheric and Meteorological Climatology (AMC) : décrivant les paramètres météorologiques et climatologiques.

## LA NORME D'AFFICHAGE DES AML

Pendant longtemps, la norme AML ne définissait pas de symbologie particulière pour l'affichage des données, contrairement aux ENC pour lesquelles elle est précisément définie dans la norme S-52. Ce choix a souvent été discuté, en particulier au sein du Geospatial Maritime Working Group (GMWG) de l'OTAN en charge du développement des spécifications, de la production et de la diffusion de l'information géospatiale maritime. La symbologie des AML est une question complexe, car elle dépend du système d'exploitation ou du domaine de lutte concerné : l'utilisation et l'affichage

préférentiel d'une AML CLB pourra différer selon les besoins de l'utilisateur (par exemple : la guerre des mines, la lutte sous la mer, la navigation sous-marine, etc.). Il a donc été difficile de définir un jeu de symboles et des règles uniques. Néanmoins, récemment, il a été reconnu qu'il devait y avoir au minimum une symbologie recommandée et une norme devrait bientôt être publiée par l'OTAN.

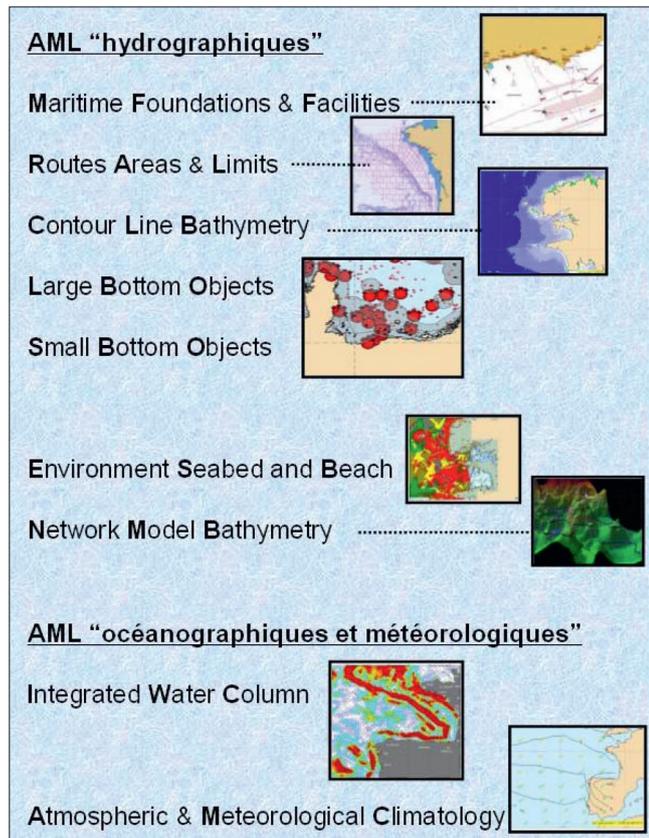


Figure 1 : types d'AML

## QUELS TYPES D'UTILISATIONS ?

Les avantages et intérêts des AML sont multiples. Leur format en font de véritables bases de données consultables tandis que leur affichage est dynamique et peut être paramétré par l'utilisateur (selon son besoin ou pour réduire l'encombrement de l'écran par exemple). Le concept des AML offre l'avantage significatif d'un produit unique par rapport aux produits imprimés pour lesquels il est nécessaire de dupliquer la même information sur différents supports avec des combinaisons adaptées pour répondre à des besoins spécifiques et variés.

Des fonctionnalités particulières ou des liens avec certains systèmes d'armes peuvent également être développés. Elles permettent ainsi la fusion des informations d'environnement maritime (géospaciales, météorologiques, océanographiques) avec des informations de navigation (ENC) ou tactiques afin d'aider à la prise de décision.

Enfin, elles peuvent bénéficier d'un processus de mise à jour de l'information rapide et efficace, calqué sur celui des ENC.

Leur normalisation les rend donc indépendantes des systèmes d'exploitation et améliore l'interopérabilité tant au niveau national qu'entre les alliés de l'OTAN.

En parallèle, des systèmes de combat (WECDIS : Warship ECDIS) ont également été spécifiés pour accueillir, entre autres, les AML. Le WECDIS est un système ECDIS destiné à équiper les navires de guerre (bâtiments de surface et sous-marins). Il se base sur les recommandations relatives aux ECDIS en y ajoutant des exigences spécifiques aux opérations militaires. Il fait l'objet du STANAG 4564, ce qui permettra d'assurer là encore une certaine interopérabilité entre les alliés. Conçu pour prendre en compte l'environnement nautique et tactique (manoeuvres militaires par exemple), il permet aussi de renforcer la sécurité de la navigation.

## LE CONCEPT DE REP (OU RGO : REPRÉSENTATION GÉOPHYSIQUE OPÉRATIONNELLE – DÉCLINAISON NATIONALE FRANÇAISE DE LA REP)

Les forces alliées étant souvent employées dans des opérations interarmées et interalliées organisées sous faible préavis, l'OTAN a défini le concept de REP : Recognized Environmental Picture. L'objectif est que l'ensemble des acteurs d'une force dispose à temps d'une vision partagée et fiable de l'environnement physique. Les contraintes de diffusion rapide impliquent que la REP soit constituée de données et produits numériques.

La situation environnementale de référence doit être élaborée à partir de l'ensemble des données disponibles : les données « quasi-permanentes » (hydrographiques et géographiques principalement) contenues dans les bases de données, tout comme les données « éphémères » (océanographiques et météorologiques) élaborées par les centres de prévision, doivent pouvoir être complétées par les données acquises pour ou pendant l'opération, en particulier dans le cadre d'opérations de REA (Rapid Environment Assessment - évaluation rapide de l'environnement). Les AML contribuent ainsi à la constitution de la REP.

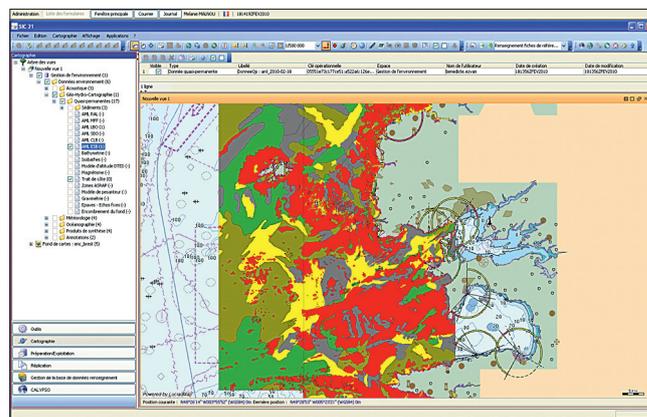


Figure 2 : AML de type ESB vue en superposition d'une ENC sur le module métier environnement « Calypso » de SIC21 (système d'information et de commandement de la marine nationale)

## QUI PRODUIT DES AML ?

A ce jour, le volume et les moyens de production des AML sont encore très inégaux suivant les nations de l'OTAN. Les britanniques sont les plus grands contributeurs, tandis que les américains attendent la prochaine version du format des AML pour en produire.

Un schéma de coproduction a ainsi été mis en place au sein de l'OTAN (et du GMWG) afin d'apporter à la structure de commandement de l'OTAN une couverture à petite échelle sur les zones d'opération « Active Endeavour » (surveillance en Méditerranée) et « Ocean Shield » (lutte contre la piraterie dans le Nord de l'océan Indien).

Pour la France, le SHOM, impliqué dès le début du concept, dispose des capacités pour produire des AML mais n'en a produit que peu pour l'instant par manque de ressources dédiées. Malgré ce contexte défavorable, le SHOM remplit ses engagements dans le cadre de la coproduction OTAN.

## **LES ÉVOLUTIONS ENVISAGÉES**

Si d'autres catégories de produits sont en cours de développement (Gridded Sediment - Environment Seabed & Beach (GS-ESB) : décrivant sous la forme d'un modèle maillé les caractéristiques géo-acoustiques des couches sédimentaires), une autre évolution majeure est envisagée depuis début 2012 pour les AML « du futur ». Il s'agit de suivre et d'adapter le passage de la norme S-57 vers la norme S-100 afin de bénéficier des avantages de cette nouvelle norme et de s'adapter au canevas émergent du NATO Geospatial Information Framework (NGIF) afin d'assurer l'interopérabilité entre les différents domaines militaires (terre, air, mer). Il est aussi important d'élargir le champ et les perspectives d'emploi de ce type de produit, car les besoins ont également évolué et le principe de « couches additionnelles » est réducteur : on parlera probablement dans le futur de Défense Maritime Geospatial Data (DMGD). Néanmoins, comme pour les ENC, la transition entre ces deux concepts nécessitera une réflexion approfondie pour pouvoir ménager les efforts de production des nations et garantir une compatibilité des données avec les systèmes d'exploitation des forces déjà en service.

Enfin, le cryptage (permettant de garantir l'authentification, la protection et l'intégrité des données) ou les principes et mécanismes de distribution de ces produits en interalliés sont également des évolutions qui seraient bénéfiques aux AML.



# LA e-NAVIGATION

par Alain Rouault<sup>1</sup> et Geoffroy Scrive<sup>2</sup>, ingénieurs sous contrat du SHOM

## RÉSUMÉ

La e-navigation est un concept défini par l'OMI (Organisation maritime internationale) comme étant la collecte, l'intégration, l'échange, la présentation et l'analyse harmonisées des informations à bord des navires et à terre par tout moyen électronique afin d'améliorer la sécurité et la sûreté de la navigation et la protection de l'environnement marin. Elle a pour objet de répondre aux besoins actuels et futurs des utilisateurs grâce à l'harmonisation des systèmes de navigation maritime et des services d'appui à terre. Elle facilite notamment le routage des navires par l'exploitation des prévisions météorologiques.

Les services hydrographiques contribuent en particulier au développement de la e-navigation par leurs productions cartographiques, avec notamment les cartes électroniques de navigation (ENC) conformément aux normes actuelles et futures de l'Organisation hydrographique internationale (OHI).

## ABSTRACT

*E-navigation is an IMO (International Maritime Organization) led concept based on the harmonisation of marine navigation systems and supporting shore services driven by user needs. E-navigation is defined by IMO as the harmonised collection, integration, exchange, presentation and analysis of maritime information onboard and ashore by electronic means to enhance berth to berth navigation and related services, for safety and security at sea and protection of the marine environment.*

*Hydrographic offices contribute in particular to the development of e-navigation by their cartographic productions, namely the electronic navigational charts they produce according to the current, and future, standard developed by the International Hydrographic Organization (IHO).*

<sup>1</sup> Chef du bureau réglementation (NAU/NA/REG) du SHOM  
Email : alain.rouault@shom.fr

<sup>2</sup> Ingénieur chargé de la e-navigation (DTRI/CTRI) du SHOM  
Email : geoffroy.scrive@shom.fr

Adresse : 13 rue du Chatellier – CS 92803 – 29228 Brest Cedex



## 1. L'ÉMERGEANCE D'UN CONCEPT NÉCESSAIRE

Si la carte papier a été et reste encore le support le plus connu pour la diffusion de l'information nautique, la **navigation électronique** qui est apparue au début des années 1980 s'est peu à peu largement imposée, en complétant sans la remplacer la carte traditionnelle. Avec une carte marine électronique visualisée par un ECDIS (Electronic Chart Display Information System), ou un ECS (Electronic Chart System), couplé à un système de radionavigation de grande précision (GPS, DGPS) il est possible de faire apparaître de façon continue et instantanée la position d'un navire, diverses informations de sécurité maritime, en superposition d'une carte numérisée.

Cette évolution a permis aux navigateurs d'être plus efficaces et de faire face en parallèle à une forte augmentation du trafic maritime, à la multiplication des cargaisons dangereuses, à l'augmentation des tirants d'eau, à l'apparition de navires à grande vitesse et à la diminution des effectifs en passerelle.

Depuis 1987 et jusqu'à aujourd'hui, un ensemble de normes et de spécifications internationales régissent l'environnement technique du système ECDIS, depuis la production d'ENC par les services hydrographiques, en passant par les producteurs de logiciels, les équipementiers des navires, les armateurs et les réseaux de distributions d'ENC.

En dépit de l'indéniable progrès apporté par la navigation électronique, force est de constater que depuis une dizaine d'années, les incidents de mer se sont multipliés. Ce constat établi, l'OMI en a recherché les causes. En sus des évolutions déjà répertoriées précédemment, la prolifération d'informations numériques, le manque d'interopérabilité des systèmes entre eux, leur complexité croissante et l'absence de véritables aides à la décision contribuent à une certaine confusion de plus en plus fréquemment dénoncée par les navigateurs.

L'OMI a depuis lancé un appel à plus d'harmonisation dans les systèmes électroniques, dans les télécommunications et à l'instauration de véritables portefeuilles de services d'aides à la navigation, de quai à quai, entre la terre et les navires, et entre les navires eux-mêmes. Un volet formation lui est associé, pour mieux assurer le relais entre les nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC) et l'homme.

Ainsi il apparaît que la **e-navigation** comprend la navigation électronique mais ne s'y restreint pas ! Elle est porteuse d'enjeux économiques et environnementaux qui débordent du seul domaine de la sécurité de la navigation.

## 2. L'ORGANISATION PRÉALABLE À LA MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre de la e-navigation ne se résume pas au remplacement ou à la mise à jour d'un système ECDIS par un système plus élaboré. La e-navigation se traduit dans la pratique plutôt comme un système de systèmes. Un des écueils à éviter, ici au sens figuré, serait de multiplier les équipements en passerelle, de renforcer la tendance actuelle en submergeant le navigateur d'informations plus ou

moins pertinentes, et en final de distraire sa vigilance et donc d'accroître le risque d'accident.

La solution réside dans la mise à jour et la convergence des normes, pour garantir plus d'interopérabilité entre les systèmes, et dans l'intelligence dont les systèmes devront faire preuve pour présenter aux navigateurs une situation maritime claire, concise, adaptée non seulement à son navire mais aussi à ses intentions de manœuvre.

Pour mettre en place la e-navigation l'OMI a conçu un plan d'inspiration très classique comportant les 5 étapes chronologiques suivantes :

- la définition des besoins des utilisateurs (à terre ou en mer),
- la conception de l'architecture,
- l'analyse des lacunes,
- l'analyse du rapport coût / avantages et des risques,
- le début de la mise en œuvre.

Compte tenu des différents domaines d'expertise qui sont sollicités, la concertation internationale s'articule principalement autour de trois grands pôles : l'OHI pour la production des informations nautiques, l'OMI pour l'expressions des besoins des navigateurs et la mise en place des règlements, et l'industrie. Cette dernière est principalement représentée par la Commission électrotechnique internationale (CEI) pour le contrôle et la faisabilité des spécifications exigées par l'OHI et l'OMI, et par le Comité international radio-maritime (CIRM) pour les transmissions de données.

L'Association internationale de signalisation maritime (AISM) est aussi un forum international important où les États membres et les industriels peuvent s'entendre et proposer des normes sur la signalisation, les aides à la navigation et la surveillance du trafic maritime.

Au seul niveau de l'OMI, trois sous-comités du Comité de la sécurité maritime (MSC) sont impliqués dans les travaux pour la e-navigation. Ce sont les sous-comités :

- de la sécurité de la navigation (NAV),
- des radiocommunications, de la recherche et du sauvetage (COMSAR),
- des normes de formation et de veille (STW).

## 3. POINT DE SITUATION

Il n'est pas possible de déterminer précisément une date de mise en service officielle de la e-navigation. Ce concept n'obéit pas à un calendrier figé dans la mesure où sa mise en œuvre s'apparente davantage à un processus d'amélioration continue. Deux étapes parmi celles identifiées ci-dessus ont cependant été franchies.

Les besoins des utilisateurs en mer ou à terre (organismes chargés de la gestion du trafic maritime ou des pêches par exemple) sont connus. Ils concernent principalement l'optimisation des aspects suivants :

- structure commune de données/renseignements maritimes (pour planifier et exécuter un voyage, évaluer les risques de navigation),
- communication des renseignements (efficacité et fiabilité),

- présentation de données de navigation notamment pour indiquer clairement les risques et optimiser l'aide à la prise de décision,
- ergonomie de l'interface homme-machine,
- fiabilité des données et du système,
- aide à l'analyse.

Le sous-comité NAV a établi un groupe de travail par correspondance dédié à la e-navigation. Ce groupe rend compte de ses travaux aux sous-comités NAV, COMSAR et STW.

Son programme de travail porte sur les points suivants :

- l'évaluation de la faisabilité technique en comparant les systèmes industriels déjà existants aux besoins des utilisateurs,
- la mise en œuvre de ces systèmes,
- la réglementation,
- la formation des utilisateurs.

Ce groupe de travail a défini comme suit le schéma de l'architecture conceptuelle de la e-navigation :

est d'automatiser presque entièrement les navires, entraîne dans son sillage, outre une complexité croissante et donc une fiabilité beaucoup plus difficile à entretenir, de nouvelles problématiques juridiques qui mobilisent l'attention de toutes les parties prenantes.

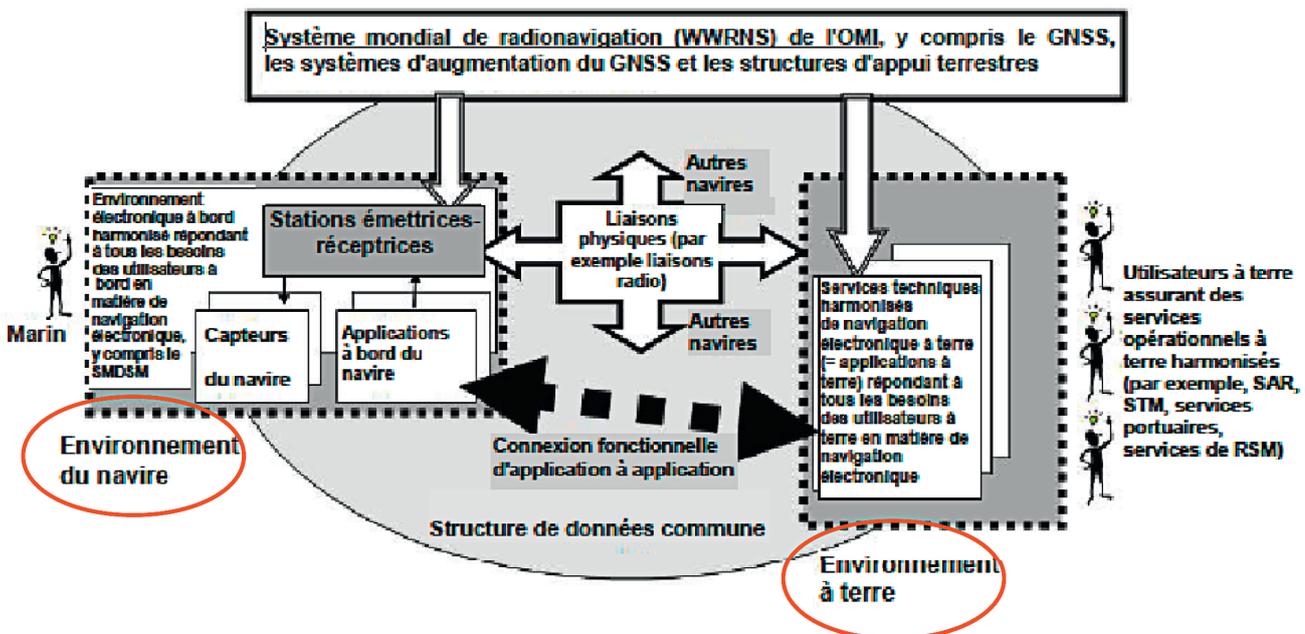
#### 4. ENGAGEMENT FRANÇAIS

Chacun en France contribue dans son domaine à faire progresser le concept de e-navigation. Au côté de la Direction des affaires maritimes, le SHOM a une participation active dans les groupes de travail de l'OHI, dans les sous-comités de l'OMI et de l'AIMS.

##### *Se doter de moyens de communication performants*

Les communications forment un des piliers de la e-navigation que l'industrie française a commencé d'investir.

Certaines bandes de fréquences peuvent être utilisées pour échanger des données avec des débits et des coûts intéressants voire très attractifs par rapport à d'autres



Cette architecture fait apparaître les deux environnements : marin et terrestre. Elle est fondée sur les besoins exprimés précédemment. Elle intègre les communications de prime importance pour la sécurité de la navigation et aussi la mise au point d'équipements intégrant tous les besoins des navigants. Les opérateurs à terre doivent pouvoir interagir avec les systèmes des navires. Des interactions en temps réel terre-navire et entre navires sont à prévoir : harmoniser ces différents systèmes est absolument nécessaire.

Ce schéma montre bien aussi la dépendance qui existe face au WWRNS (World Wide Radionavigation System) qui a été décrit par le sous-comité COMSAR comme un élément central de la e-navigation. Celui-ci identifie les moyens sûrs et robustes de positionnement nécessaires à la navigation (géographiquement et au cours du temps).

A noter enfin que la e-navigation, dont l'une des perspectives

technologies. C'est le cas de la fréquence radio maritime de 500 kHz qui était utilisée pour la détresse et la sécurité et qui fut abandonnée en 1997.

Actuellement des projets existent, notamment un système de diffusion numérique dans la bande 495/505 kHz avec des messages transmis avec un débit de l'ordre de 15 à 25 kB/s. Ce projet français qui a recueilli l'adhésion massive des experts mondiaux à l'UIT (Union internationale des télécommunications) a déjà été testé à la mer. Par exemple l'usage de cette fréquence peut permettre un débit et une portée plus importante pour la diffusion d'informations nautiques.

L'idée de l'utilisation de cette fréquence est de remplacer à terme le système Navtex. Cela s'inscrit directement dans le cadre de l'analyse des lacunes du groupe par correspondance de l'OMI sur la e-navigation car les

marins expriment régulièrement le besoin de disposer d'informations volumineuses qu'il n'est actuellement pas possible d'acheminer jusqu'à eux.

### **Informer plus efficacement des dangers**

L'affichage sur les ECDIS des renseignements de sécurité maritime (RSM) est un besoin essentiel des navigateurs qui – étonnamment – n'est pas satisfait actuellement.

Ce sujet fait l'objet à l'OMI de différents documents, notamment en ce qui concerne l'analyse des risques et des coûts-avantages liés à la e-navigation. Dans le document NAV 58/6/3 de mars 2012 présenté par l'Allemagne, « l'affichage des RSM dans la base de données et la bibliothèque de présentation » et la nécessité d'avoir des « Messages fondés sur la norme S-100 (voir ci-après) », sont clairement identifiés.

Si certains fabricants proposent déjà des solutions, toutes sont différentes et comportent des lacunes. Il existe un réel besoin d'harmonisation du codage des messages et de standardisation de leur représentation dans l'ECDIS. Une séquence de coordonnées géographiques pour exprimer une localisation ponctuelle, linéaire ou surfacique peut être composée de différentes manières. Si les expressions régulières utilisées pour décrire cette séquence ne font pas l'objet de spécifications internationales, ce peut être source d'erreur à l'affichage des messages.

Le SHOM va ainsi initier une démarche de spécification

des écritures présentes dans le manuel OMI/OHI/OMM. Après examen par le TSMADWG (Transfer Standard Maintenance and Application Development Work Group – groupe de travail sur la maintenance et le développement d'applications de la norme de transfert) et validation par le HSSC (Hydrographic Services and Standards Committee – comité des services et des normes hydrographiques), la proposition pourra ensuite être soumise au sous-comité World-Wide Navigational Warning Service (WWNWS) de l'OHI avant sa reconnaissance par l'OMI et sa mise en œuvre par l'industrie.

### **Adapter la présentation des informations**

En plus des communications et des normes de fonctionnement des systèmes dédiés à la e-navigation, la couverture cartographique en cartes électroniques de navigation (ENC) constitue un volet primordial pour le développement et l'avènement de la e-navigation. Disposer de normes de production des ENC permet aux différents États côtiers d'avoir une production cohérente et harmonisée.

Le SHOM est responsable national pour la production cartographique des ENC. La France, deuxième surface maritime au monde avec plus de 11 millions de km<sup>2</sup>, contribue par l'intermédiaire du SHOM au développement de la couverture par la production régulière d'ENC distribuées par PRIMAR. L'ensemble de la couverture mondiale en ENC peut être aperçu sur la figure 1 ci-dessous.

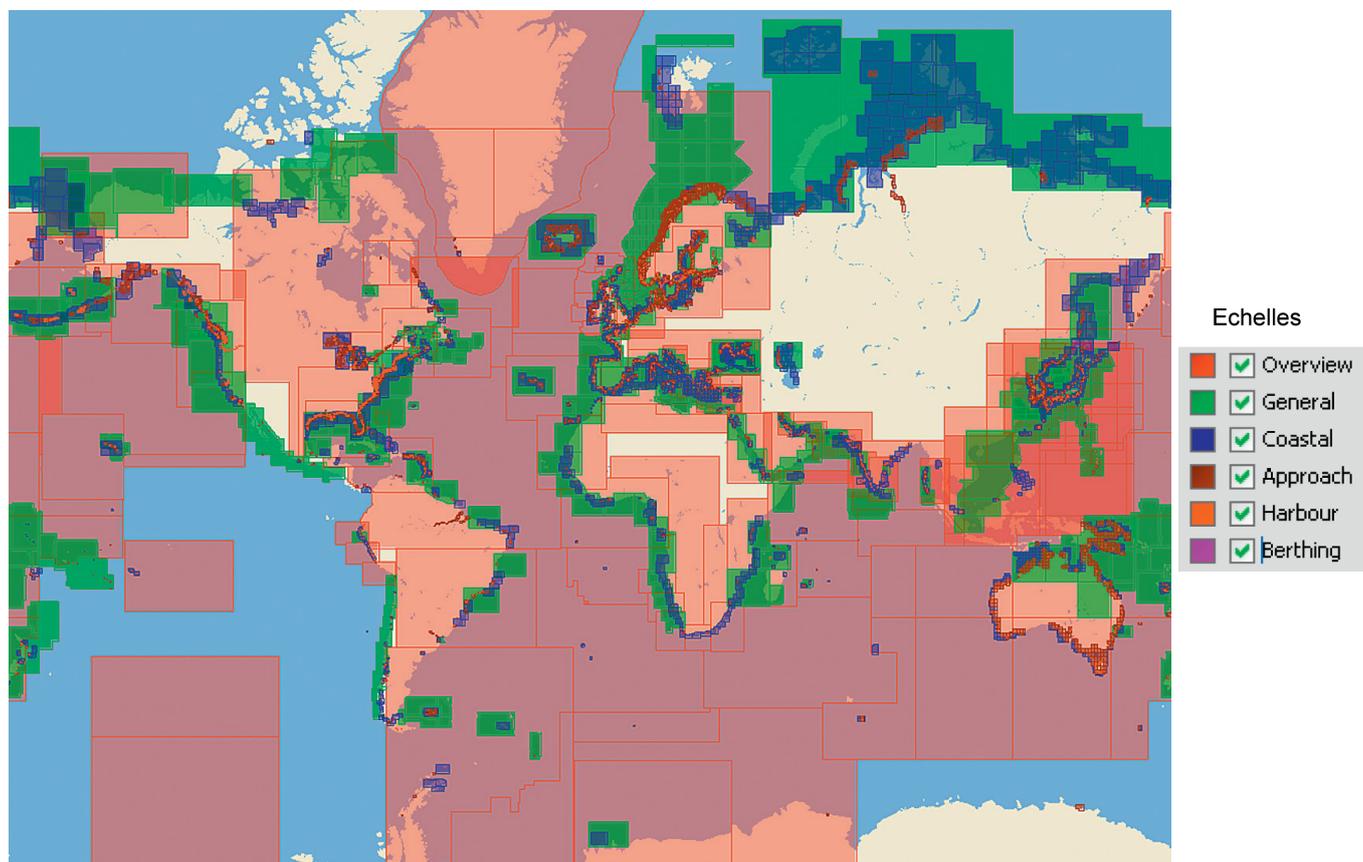


Fig. 1 – Vue du catalogue de PRIMAR sur la couverture mondial en ENC de tous les pays

Sur le plan international, en ce qui concerne les normes relatives aux produits hydrographiques et cartographiques éditées par l'Organisation hydrographique internationale (OHI), le SHOM représente la France et collabore à certains groupes de travail. En particulier le SHOM a participé à la définition du nouveau modèle universel de données hydrographique S-100 entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2010.

L'OHI, avec de nombreuses autres organisations de développement de normes géographiques, a un statut d'observateur (liaison de type classe A) auprès du TC211. L'adoption par l'OHI de la série des normes de l'ISO/TC211 pour la définition et la tenue à jour de la S-100 (Figure 2) obéit à cette logique et garantit à la norme S-100 une reconnaissance internationale.

Parfaitement conforme aux normes géospaciales internationales – en particulier à la série ISO 19000 des normes géographiques – cette norme va simplifier l'échange de données géographiques et s'intégrer naturellement dans des applications de type SIG (système d'information géographique). Elle sert actuellement de cadre de développement à la prochaine génération de produits ENC, et plus généralement à tous les produits additionnels requis par la communauté maritime.

Suite aux recommandations faites en sous-comité NAV57, le Comité de la sécurité maritime de l'OMI devrait l'adop-

ter très prochainement comme « référence en vue de créer un cadre pour l'accès aux données et les services d'information ».

L'OHI encourage la communauté à dériver du standard S-100, en sus des ENC S-101, tous les produits d'aide à la navigation. Le standard d'échange de surfaces bathymétriques S-102 vient d'être approuvé par les États membres. D'autres produits basés sur le standard S-100 sont à l'étude pour fournir la marée en temps réel ou des informations portuaires, par exemple. Le fait de partager un tronc commun de spécifications rendra ces différents produits parfaitement interopérables. La conjugaison d'informations de sources variées, spatialement ou sémantiquement liées, et filtrées par l'usage, facilitera la prise de décision des usagers du monde maritime.

L'universalité de ce modèle devrait bientôt être systématiquement mise à profit dans le domaine de la e-navigation et des échanges d'informations marines. En particulier le modèle doit permettre de résoudre la difficile intégration dans l'ECDIS des futurs portefeuilles des services portuaires, des aides à la navigation diffusées par voie d'AIS (mode « AtoN ») ainsi que de toutes les informations relatives au trafic (gestion anti-collision).

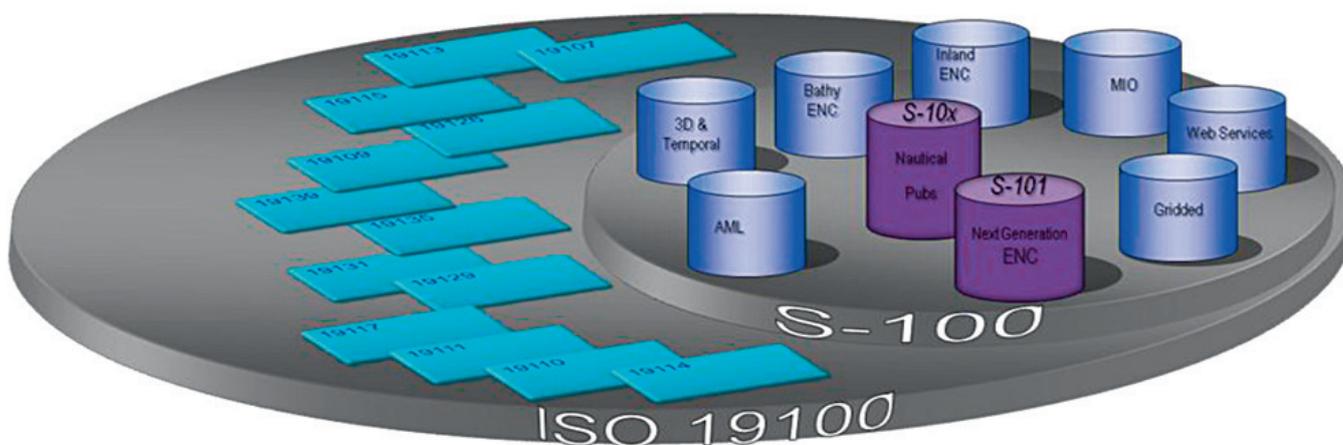


Fig. 2 – Filiation du modèle d'infrastructure du standard S\_100

# CARTE MARINE : 40 ANS D'ÉVOLUTION DE LA CARTE NATIONALE À LA CARTE INTERNATIONALE NUMÉRIQUE, UNE RÉVOLUTION

par Jean-Louis Bouet-Leboeuf, ingénieur en chef de première classe des études et techniques de l'armement de réserve

## RÉSUMÉ

Le SHOM, créé en 1720, est un des plus anciens services hydrographiques du monde. Depuis sa création, une de ses activités principales est de fournir à la communauté des navigateurs français ou navigant dans les eaux françaises les documents et cartes marines les meilleurs pour leur permettre une navigation sûre.

Cet article présente l'évolution à la fois du contenu et de la présentation des cartes marines produites par le SHOM depuis les années 60 jusqu'à aujourd'hui. Cette période riche en évolutions techniques concernant à la fois l'exploration des océans mais aussi les domaines des arts graphiques, de l'imprimerie et ceux de l'informatique appliquée a induit une vraie révolution concernant à la fois la présentation mais aussi la nature du produit « carte marine ».

Ainsi, on présente dans un premier temps l'évolution de la présentation par l'utilisation progressive mais rapide des nouvelles techniques graphiques : emploi de la couleur, de l'informatique graphique et de l'imprimerie offset.

Dans un second temps, on présente l'évolution induite par une très riche coopération internationale permettant une présentation homogène des diverses cartes produites par l'ensemble des services hydrographiques du monde.

Enfin, dans un dernier temps, pour tenir compte à la fois des nouveaux besoins des navigateurs mais aussi des possibilités offertes par la progression de l'informatique dans les divers systèmes relatifs à la navigation, à l'exploration de la terre et des océans et à la gestion des données ainsi recueillies par des systèmes de plus en plus puissants et précis, on présente la véritable mutation de la carte papier vers la carte marine numérique, élément fondamental d'un système de navigation grâce auquel les navigateurs peuvent assurer une navigation sûre et plus performante.

## ABSTRACT

*The SHOM, created in 1720, is one of the oldest hydrographic offices in the world. Since its inception, one of its main purposes is to provide the community of navigators with nautical publications and charts for safe navigation.*

*This paper presents the evolution in both the content and the presentation of the charts produced by the SHOM since the 1960s until today. This period, rich in technical developments concerning both the exploration of the oceans and also the fields of graphic arts, printing and computer technology, has brought about a true revolution in both the presentation and the nature of "the nautical chart".*

*Thus, this paper first presents the evolution of the presentation of the chart by the gradual but rapid use of the new graphical techniques: use of colours, computer graphics and offset printing.*

*In a second part, it presents the evolution brought about by a concerted international cooperation leading to a homogenous presentation of the various charts produced by all hydrographic offices in the world.*

*Finally, as a last step, it takes into account both the developing needs of the mariners and also the opportunities offered by the progress in information technology in the various systems for navigation, the exploration of Earth and the oceans and the management of data collected by more powerful and accurate systems. All this has led to the present day development from paper to electronic chart, which is the fundamental element of the systems which support safe and efficient navigation.*



## LA CARTE MARINE

La carte marine est une carte thématique conçue spécialement pour répondre aux besoins de la navigation maritime. Elle présente une synthèse graphique des renseignements nécessaires au navigateur (profondeurs, nature des fonds, topographie côtière, dangers, aides à la navigation, points remarquables, etc.) pour faire trois opérations :

- situer son navire à chaque instant,
- déterminer sa route future en toute sécurité,
- repérer les zones à éviter.

Pour cela, elle utilise toute une panoplie graphique de symboles et abréviations permettant de représenter tous les éléments constitutifs de cette carte (voir ouvrage « *Symboles, abréviations et termes figurant sur les cartes marines* », 1D (INT 1) publié par le SHOM).

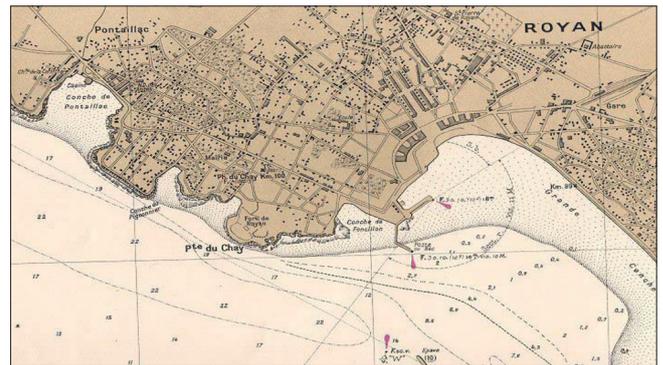
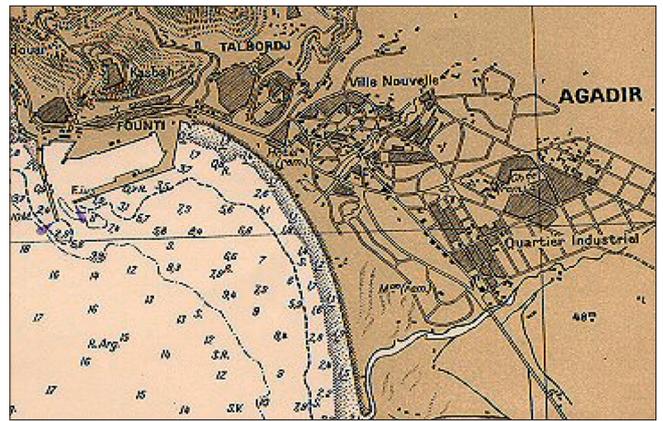
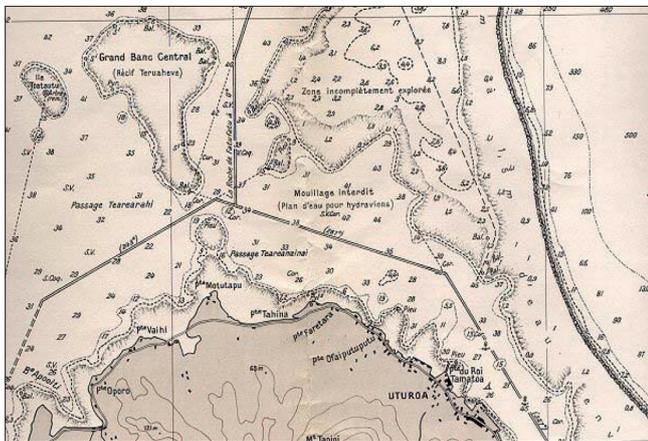
En France, c'est le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) qui a la responsabilité de cette activité depuis 1720, date de la création du premier service hydrographique.

### 1. ÉTAT DES LIEUX EN 1960 ET ÉVOLUTION DANS LES ANNÉES 1960-1970

Depuis plus de deux siècles, la cartographie marine française, activité essentielle pour la sécurité de la navigation maritime, concerne toutes les mers et océans du globe et fait l'objet d'un portefeuille de cartes très volumineux (3 000 cartes environ). Ces cartes sont réalisées à partir d'informations recueillies sur le terrain par les missions hydrographiques du SHOM aussi bien sur les côtes de métropole, de l'outremer que sur les côtes de nombreuses ex-colonies françaises. Pour les autres zones, les cartes sont réalisées à partir de compilations de cartes étrangères.

La vocation de ce portefeuille est de satisfaire les besoins des navigateurs français, civils et militaires.

Durant ces deux siècles, les techniques de réalisation ont peu évolué jusque dans les années 1950 : la plupart de ces cartes sont réalisées par gravure sur cuivre (taille douce) puis par dessin sur astral (film plastique très épais et très stable en dimension) pour les plus récentes et sont par conséquent presque toujours monochromes avant l'apparition de l'impression offset.



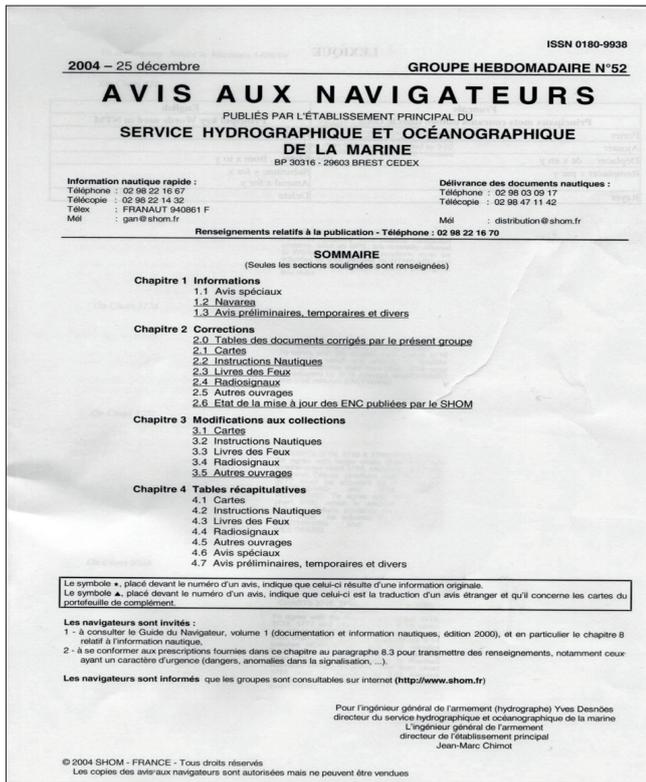
Divers extraits de cartes réalisées par dessin sur astral

Il convient aussi de noter que cette technique permettait de proposer un maximum d'informations car la taille des écritures et des symboles était peu calibrée et assez petite ; certaines de ces cartes étaient de vrais chefs-d'œuvre (en particulier le relief des parties terrestres : voir carte de Corse par exemple), mais la lecture en était parfois assez délicate dans des conditions de mer difficile.

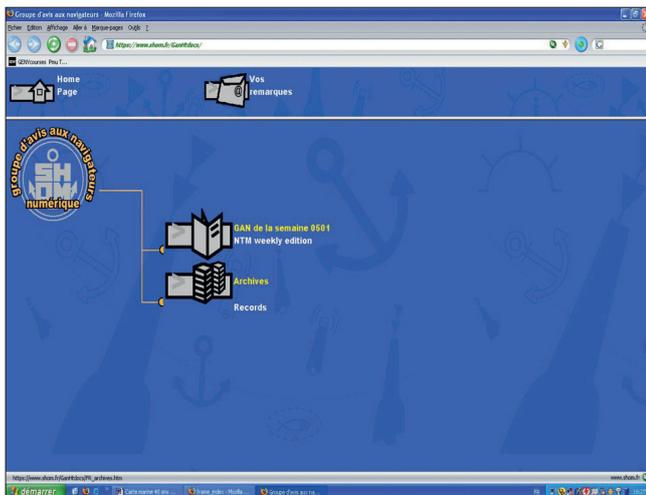


Extrait de carte de la Corse gravée sur cuivre

Une précision importante est nécessaire à ce stade : pour la sécurité des navires, une carte marine doit être tenue à jour en permanence de toutes les informations nouvelles ce qui la distingue particulièrement des autres cartes, cartes terrestres en particulier. Chaque service hydrographique est donc tenu de diffuser régulièrement vers les navigateurs les informations importantes relatives à la sécurité de la navigation permettant la tenue à jour des cartes marines (mais aussi des ouvrages complémentaires comme les *Instructions Nautiques* et les *Livres des feux et signaux de brume*).



Groupe d'avis aux navigateurs, version papier



Version Internet (www.shom.fr)

Il convient aussi de mentionner qu'à cette époque, la plupart des grands pays disposent d'un portefeuille mondial de cartes marines nationales avec des techniques de réalisation tout à fait comparables. Par contre, la lecture d'une carte étrangère nécessite une connaissance particulière pour chaque pays, en particulier en raison de la langue, de l'alphabet et de la symbolique utilisés (nécessité de disposer d'un lexique de lecture du pays, légende explicative de la carte souvent publiée dans une carte particulière ou un livret analogue à l'ouvrage 1D du SHOM).

On constate donc qu'il y a une duplication des travaux dans chaque pays (recopie ou nouvelle compilation des données originales contenues dans les cartes réalisées à

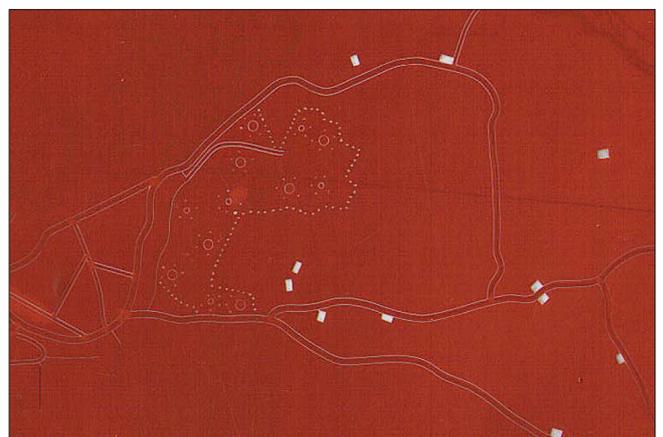


Extrait de carte japonaise

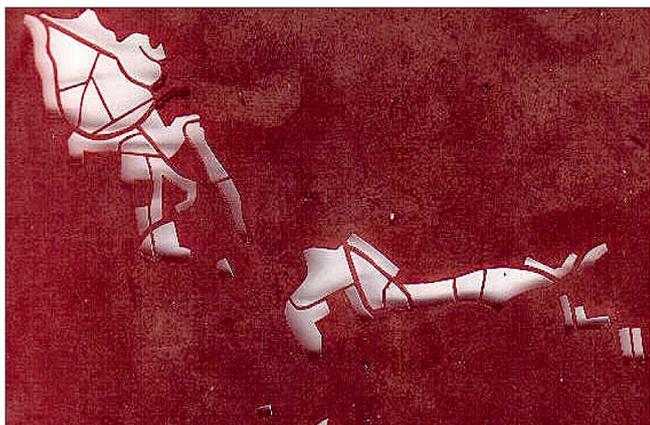
partir de données issues de levés nationaux) et cela peut donc nuire à la sécurité des navigateurs en raison de délais de transcription et de transmission de l'information vers le navigateur.

Dans les années 1960-1970, la carte marine va bénéficier de l'évolution des techniques graphiques et de l'imprimerie (en particulier l'utilisation de l'offset pour l'impression en remplacement de la presse à taille douce) pour évoluer vers une présentation en couleur des informations :

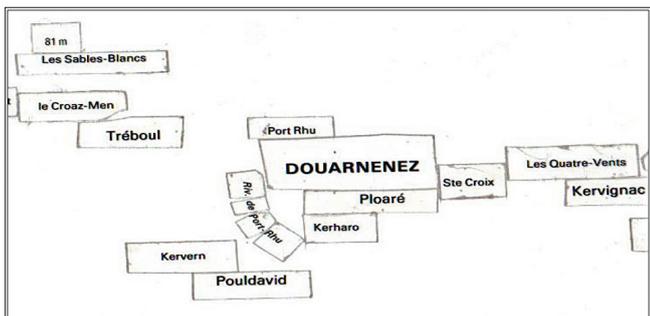
- toutes les cartes françaises sont transférées des cuivres gravés à l'envers sur des planches transparentes mais pour la plupart d'entre elles sans modifications particulières : on abandonne la presse taille douce et elles sont alors toutes imprimées en offset,
- utilisation de support de dessin transparent (astralon par exemple),
- utilisation de la couche à tracer (calibration des traits), utilisation de la photocomposition (calibration de la lettre et des symboles),
- utilisation des trames photographiques (pour les nuances de profondeurs, des zones bâties à terre, des reliefs terrestres, ...) et des masques d'arrachage,
- utilisation de l'offset pour l'impression en couleurs des cartes (noir, bistre, magenta et bleu).



Support de rédaction type : couche à tracer



Support type : masque d'arrachage



Support type : lettre et symboles pelliculables

Les cartes qui font l'objet d'édition voient la densité d'informations dans la partie maritime augmenter grâce aux résultats de techniques de levés hydrographiques systématiques et denses utilisant les sondeurs verticaux à ultrasons et les méthodes précises de positionnement (moyens optiques ou de radiolocalisation).

## 2. LA NORMALISATION INTERNATIONALE

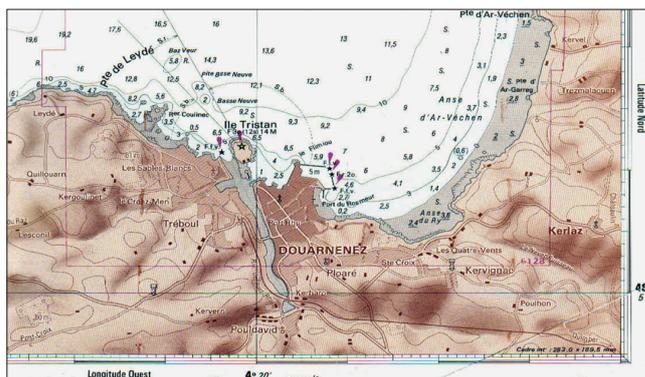
Dès le 19<sup>ème</sup> siècle, les grandes nations maritimes constatent que l'augmentation du volume d'informations nouvelles à traiter et l'adaptation aux nombreux besoins des divers navigateurs pour l'entretien d'un portefeuille mondial rendent la tâche de plus en plus ardue. Aussi, une évolution vers un partage de la gestion de l'information nautique par la communauté hydrographique internationale devient indispensable et la nécessité d'une coopération internationale s'imposa progressivement. Ainsi, le Bureau hydrographique international (BHI) fut créé en 1921 à Monaco et celui-ci est devenu en 1970 l'organe permanent de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) qui regroupe aujourd'hui la plupart des états dotés d'un service hydrographique. Par ailleurs, les coopérations entre états se mettent progressivement en place.

Ainsi, dès les années 70, le SHOM remplace des cartes de compilation par des reproductions en fac-similé de cartes étrangères (en particulier allemandes et hollandaises) ce qui réduit considérablement le travail du cartographe : il consiste à rendre la carte utilisable par le navigateur français (francisation des légendes, des titres, etc.). Évidemment, la tâche est plus ou moins compliquée en fonction des cartes à reproduire (plus ardue pour une carte grecque (environ 400

heures de cartographe) que pour une carte britannique (80 heures) en raison en particulier de l'alphabet et des abréviations utilisées par le service producteur plus ou moins proches de ceux utilisés par la France).

Pour diminuer cet inconvénient, il devient indispensable de mettre en place une normalisation de la présentation des informations sur les cartes. Cette activité est menée sous l'égide du BHI.

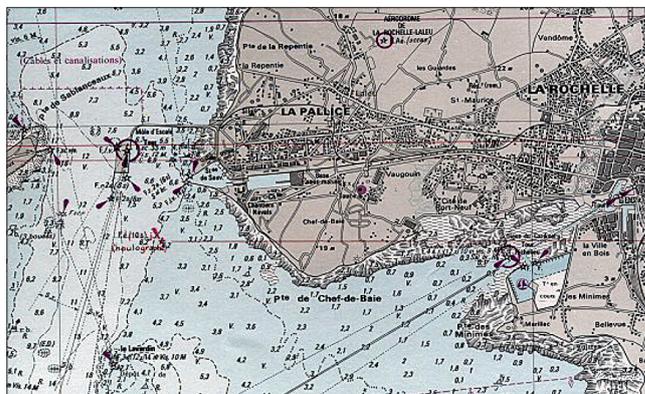
Ainsi, des spécifications internationales détaillées sont adoptées en 1982 pour la conception et l'élaboration des cartes marines à moyenne et grande échelle (*Règlement de l'OHI pour les cartes internationales (INT) et spécifications de l'OHI pour les cartes marines*, publication S-4 de l'OHI).



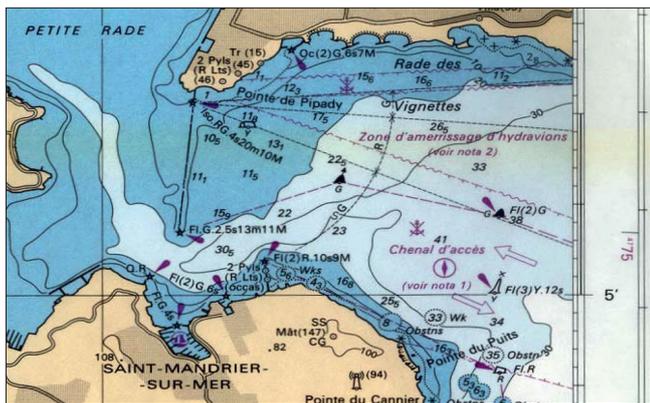
Extrait de carte en normes françaises réalisée par gravure sur couche et lettre photocomposée collée (baie de Douarnenez)



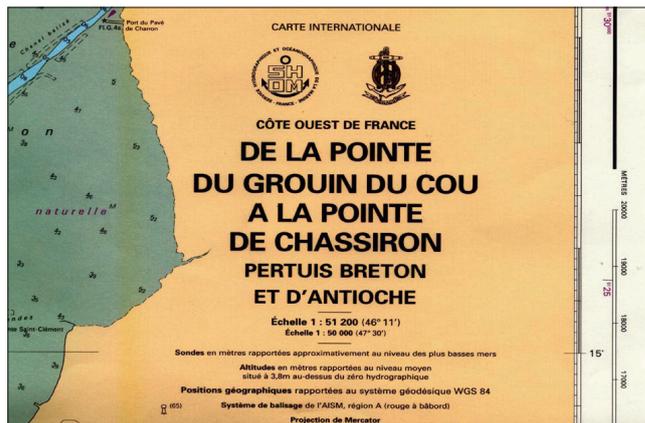
Extrait de carte réalisée par dessin et gravure sur couche (Bora-Bora)



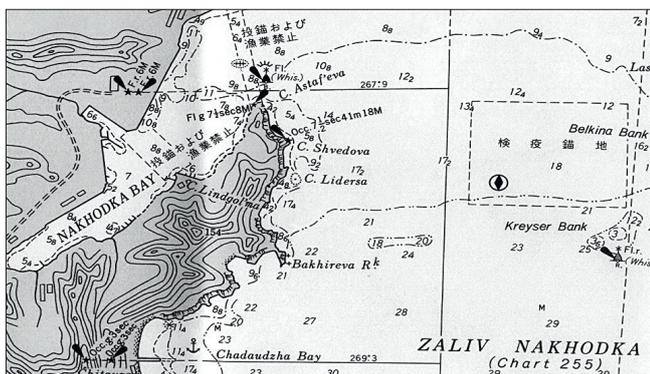
Extrait de carte réalisée par gravure sur couche et lettre photocomposée collée en 1968 (La Rochelle – carte en normes françaises)



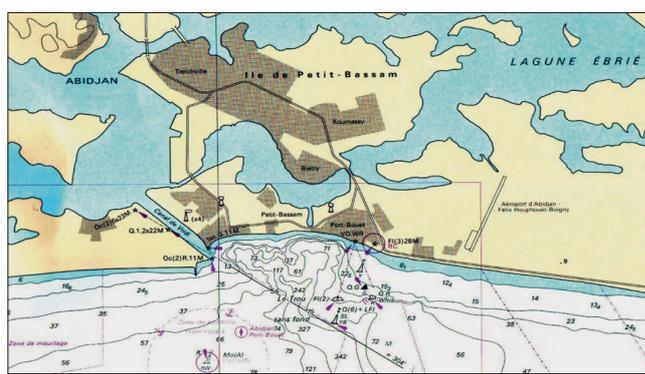
Extrait d'une carte française en norme internationale des abords de Toulon



Extraits de carte internationale française (abords de La Rochelle)

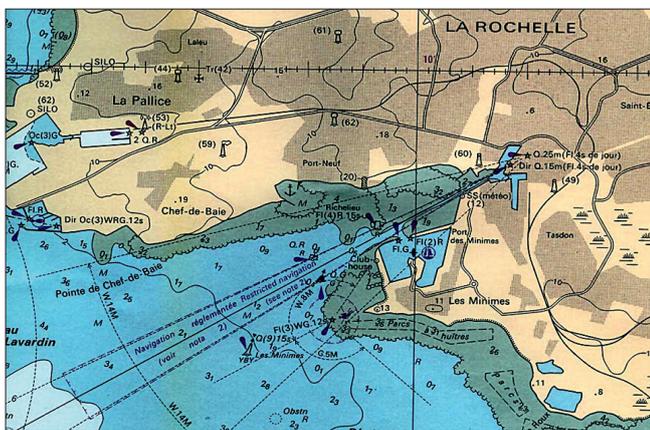


Extrait d'une carte japonaise en norme internationale



Extrait de carte internationale (Abidjan)

Parallèlement, pour rationaliser et réduire encore la charge des services hydrographiques, ces derniers, toujours sous l'égide de l'OHI, entreprennent la constitution d'un portefeuille international par la définition de schémas cartographiques (mondiaux à petites échelles - 1 : 10 000 000 et 1 : 3 500 000 (1970) - et régionaux aux plus grandes échelles 1977) composés de cartes répondant aux besoins de la navigation internationale. Ce portefeuille est constitué d'un ensemble optimisé de cartes dites internationales dont la production est partagée entre les services hydrographiques participants et réalisées selon les spécifications pour les cartes marines internationales (INT). Ces cartes peuvent ensuite être reproduites par les autres services hydrographiques librement jusqu'en 1992 puis dans le cadre d'accords bilatéraux par la suite.



### 3. L'ÉVOLUTION DE LA CARTE MARINE EN FRANCE DANS LES ANNÉES 1980

La plus grande évolution parallèlement à cette normalisation internationale réside dans l'emploi de l'informatique pour la réalisation des cartes par l'utilisation de systèmes assistés par ordinateurs.

Ainsi, après avoir étudié et mis au point divers systèmes, le premier véritable poste cartographique interactif complet dédié à la rédaction des cartes est mis en service en 1988 par le SHOM et permet de réaliser l'ensemble de la rédaction de la carte (le trait et la lettre).

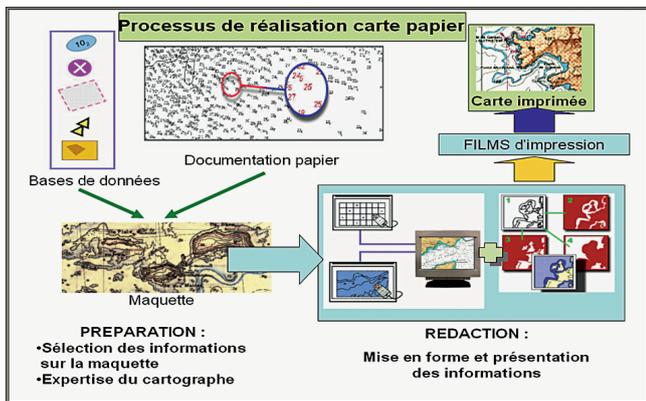
En parallèle, un système d'information géographique composé de bases de données thématiques (amers, épaves, balisages, etc.) est géré et permet d'assister le cartographe dans la réalisation de la maquette de la carte.

Ce processus relativement long (près d'un an pour la réalisation d'une carte originale) est mis en œuvre dans le cadre d'une démarche qualité afin d'obtenir un produit garantissant sans faille la sécurité des navigateurs utilisant cette carte. Ainsi, des procédures de contrôle strictes sont mises en place à chaque étape du processus.

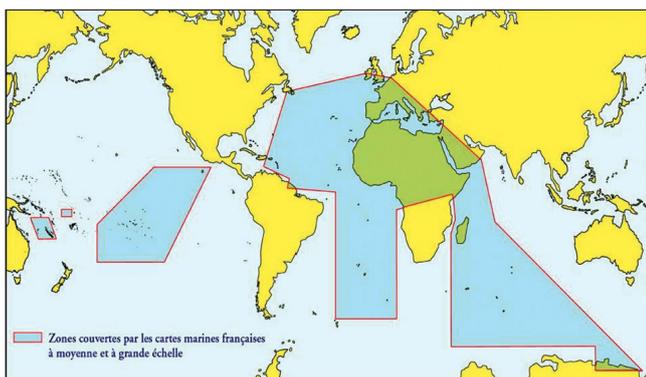
Malgré ce qui précède, la charge d'entretien pour le SHOM d'un portefeuille mondial devient insurmontable si bien que dès 1976, une première réduction de ce portefeuille conduit à abandonner 1 000 cartes de zones moins fréquentées par les navigateurs français. Une deuxième réduction aura lieu

en 1985 puis une troisième en 1992 qui aboutira à conserver un portefeuille de 1 100 cartes couvrant essentiellement les zones de responsabilité française, les départements et territoires d'outremer, les zones d'ancienne responsabilité hydrographique et cartographique française (en particulier l'Afrique francophone) et les zones d'intérêt pour la défense.

Toutefois, à ce stade, une couverture mondiale de cartes internationales à petite échelle est conservée (échelles de 1 : 10 000 000 et 1 : 3 500 000).



Processus de réalisation de la carte papier



Zones couvertes par les cartes françaises

Parallèlement à ce portefeuille de cartes de navigation, d'autres besoins doivent être satisfaits pour des utilisateurs particuliers. Ainsi, le SHOM a publié des cartes spécifiques pour l'usage des plaisanciers dès 1983, des cartes spéciales pour la pêche donnant une indication détaillée des natures du fond, des cartes de courants marins sous formes d'atlas, etc.

Par ailleurs, un besoin essentiel pour les navigateurs compte tenu de la généralisation des systèmes de navigation par satellites est de référencer toutes les cartes papier dans un système de référence unique et mondial ce qui nécessite de modifier de nombreuses cartes existantes (à ce jour - 2012 - 517 cartes à une échelle supérieure à 1 : 500 000 sont référencées à un système géodésique mondial).

Ainsi, le portefeuille français de cartes marines est en constante évolution. En examinant sa composition (voir tableau page suivante) par rapport aux normes de présentation et au système de référence, on peut voir qu'il reste encore beaucoup de travail à accomplir afin d'obtenir un portefeuille homogène de cartes.

#### 4. LA VRAIE RÉVOLUTION : LA CARTE ÉLECTRONIQUE DE NAVIGATION

Dans le courant des années 1970, on constate une augmentation considérable du trafic maritime, une évolution des tirants d'eau des navires (supertankers), une généralisation de l'emploi des systèmes de radio-positionnement alliés à une amélioration permanente de leur précision, etc.

Cette évolution engendre de nouveaux besoins liés à une volonté d'amélioration de la rentabilité du trafic maritime. L'automatisation de nombreuses tâches en passerelle devient presque un leitmotiv afin d'améliorer la sécurité et de limiter autant que possible le nombre de personnes en passerelle.

Dans ce contexte, les services hydrographiques s'intéressent de plus en plus à la possibilité de proposer des documents numériques qui présenteraient des avantages fondamentaux :

- report automatique de la position du navire,
- suivi automatique de la route du navire,
- mise à jour automatique des données cartographiques,
- préparation et enregistrement de la route à suivre,
- visualisation d'informations particulières relatives à l'activité du navire, etc.

##### 4.1 La carte matricielle (scannée)

Une solution possible peut être apportée par un système permettant de positionner le navire sur un fond de cartes matricielles obtenues en scannant des cartes papier. Cette solution présente l'avantage d'être assez rapide à mettre en œuvre mais il est préférable que le portefeuille de cartes papier de base soit homogène (utilisation de normes communes, même référence géographique : WGS84 par exemple). Cette solution n'a pas été adoptée par le SHOM mais par le service hydrographique de l'amirauté britannique (UKHO) : cartes ARCS (Admiralty Raster Chart Service).

Les inconvénients de cette solution sont d'abord le très grand volume de données à manipuler et à gérer, l'impossibilité de disposer directement d'informations supplémentaires par rapport à celles imprimées sur les cartes papier de base et la difficulté de la tenue à jour de cette base de données, mais aussi l'impossibilité de programmer des alarmes aisément.

Par ailleurs, un autre élément important est qu'un tel système n'est pas reconnu par l'Organisation maritime internationale (OMI) comme l'équivalent légal de la carte marine papier.

##### 4.2 Une révolution : la carte numérique vecteur

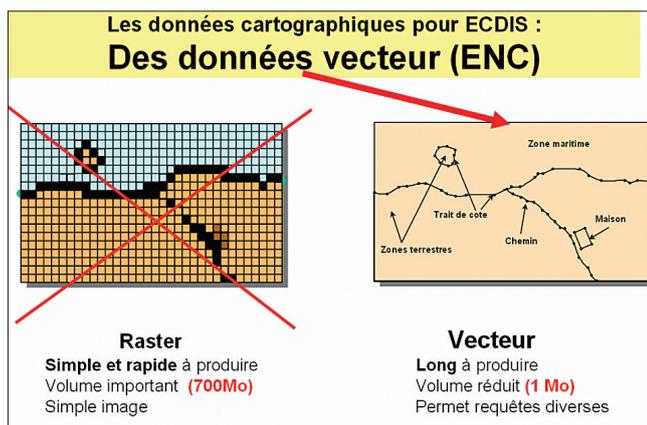
Aussi, dès 1982, les services hydrographiques étudient et proposent une autre solution : la carte numérique sous forme vecteur ; il s'agit en fait d'une véritable base de données de navigation composée de toutes les informations cartographiques indispensables à la navigation (objets géographiques). Ces objets sont associés à un système de visualisation doté d'un certain nombre de fonctionnalités minimales.

Portefeuille français au 01/01/2012	CARTES INT	CARTES AUX NORMES INT (dont cartes INT)	CARTES AUX NORMES ANCIENNES	TOTAL
Cartes originales (Métropole)	58	157	25	182
Cartes originales (Outre-mer)	22	115	70	185
Cartes originales zones étrangères	31	34	206	240
Cartes de compilation	13	57	87	144
Fac-similés	204	306	24	330
<b>TOTAL</b>	<b>328</b>	<b>669</b>	<b>412</b>	<b>1 081</b>
Cartes L (nouvelle présentation plaisance)				331
Cartes G (natures de fond)				30
Cartes à échelle >1 : 500 000 en WGS 84				517

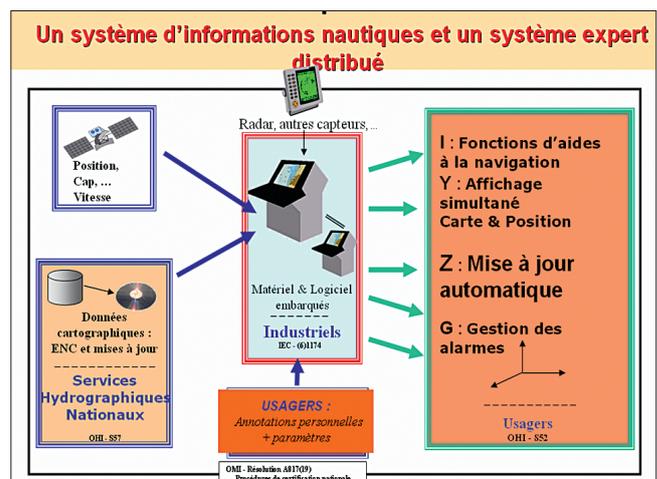
Cet ensemble constitue l'Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) ou système électronique de visualisation de cartes marines dans lequel les Electronic Nautical Charts (ENC) constituent la base des données cartographiques de référence. Il s'agit donc d'un nouveau concept, mis au point suite à diverses expérimentations et à un long travail d'établissement de normes et de spécifications internationales, destiné à remplacer la carte marine papier.

administrations nationales (en France : la Direction des affaires maritimes et des gens de mer (DAMGM) pour les professionnels et le Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF) pour les plaisanciers).

La carte marine n'est plus seulement un document graphique que l'utilisateur doit interpréter mais un véritable système contenant des données et des fonctionnalités : l'ECDIS.



Différence entre carte raster et carte vecteur



Description de l'ECDIS

En 1995, l'ECDIS devient un système reconnu par l'OMI et constitue un équivalent légal de la carte marine papier à condition qu'il satisfasse à certaines normes :

- en tant qu'équipement électronique embarqué prévu par les dispositions de la convention SOLAS, il relève des normes de fonctionnement de l'OMI (résolution A817),
- en tant que carte marine, il relève des spécifications relatives au contenu et à l'affichage cartographique du ressort de l'OHI (publications S-57 et S-52),
- en tant qu'équipement électronique, il relève des prescriptions et procédures d'essais de la Commission électrotechnique internationale (CEI : publication CEI (6)1174),
- faisant appel aux télécommunications, il relève des normes émises par la Commission internationale des radiocommunications maritimes (CIRM),
- en tant qu'équipement embarqué, il relève enfin des procédures d'homologation et de certification définies par les

### 4.3 Une révolution aussi concernant la responsabilité des états

Alors que jusque là, chaque état avait la latitude de proposer un portefeuille de cartes aussi important qu'il le souhaitait, le concept de carte électronique s'accompagne d'une redéfinition des rôles nationaux de chaque état dans la fourniture des données pour alimenter l'ECDIS : il s'agit alors d'un réel partage des océans et des mers car chaque service hydrographique national se voit confier la production et l'entretien d'un portefeuille d'ENC couvrant ses territoires et zones de responsabilité hydrographique et uniquement (il ne peut y avoir qu'une seule ENC pour une zone donnée alors qu'il pouvait y avoir de nombreuses cartes papier différentes pour une même zone – une par état ayant un portefeuille de

<b>L'ECDIS, c'est :</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• un système de gestion et de visualisation de données cartographiques,</li> <li>• des données cartographiques : les cartes marines électroniques (ENC),</li> <li>• la possibilité de prendre en compte automatiquement des mises à jour régulières : les ER.</li> </ul>
Les objectifs et les intérêts de l'ECDIS sont nombreux :
<ul style="list-style-type: none"> <li>• renforcer la <u>sécurité de la vie en mer</u> et la sauvegarde de l'environnement,</li> <li>• <u>simplifier la tenue à jour des cartes</u>,</li> <li>• améliorer et assurer l'efficacité de la navigation,</li> <li>• <u>assister et alléger le travail du navigateur</u> dans la préparation de traversée et le suivi de route,</li> <li>• archiver les paramètres de la traversée,</li> <li>• éviter des coûts importants de réhabilitation de l'environnement,</li> <li>• jouer un <u>rôle économique important</u>,</li> <li>• <u>etc.</u></li> </ul>

cartes papier de cette zone). Ainsi, la France se situe au tout premier rang mondial par la surface de ses zones de responsabilité maritime (plus de 11 millions de km<sup>2</sup>) auxquelles il convient d'ajouter les zones pour lesquelles la France se voit confier la responsabilité de produire la documentation nautique (en particulier l'Afrique francophone) dans le cadre d'arrangements bilatéraux. Ceci correspond à un très grand nombre de cartes ENC à produire alors que les cartes papier subsistent encore et doivent être entretenues.

Au SHOM, la production des ENC a débuté en 1998. 341 ENC produites fin 2011 sont diffusées vers les utilisateurs via un réseau de diffuseurs. Pour la France, c'est le centre régional de coordination implanté en Norvège opérant sous la marque **Primar** regroupant treize pays qui diffuse ces données (site Internet [www.primar.org](http://www.primar.org)). À cette date, il existe un autre centre regroupant vingt-six pays dont le Royaume-Uni (IC-ENC – site Internet [www.ic-enc.org](http://www.ic-enc.org)).

#### 4.4 Une révolution pour le métier de cartographe

Jusqu'alors, le métier de cartographe se divisait en deux grands domaines :

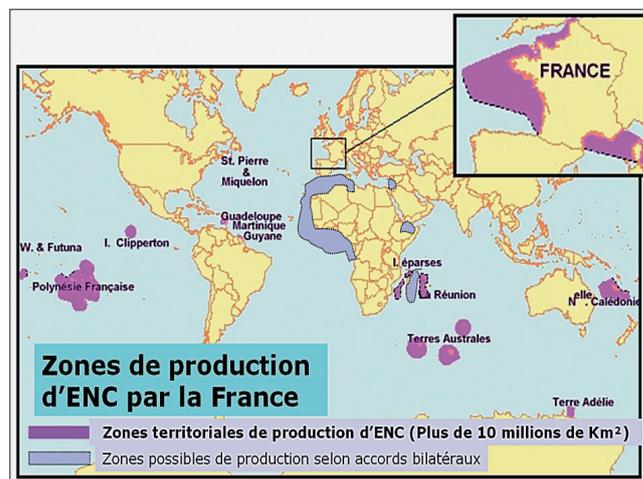
- la compilation de la carte,
- la rédaction de la carte.

Le premier est celui du technicien (préparateur) chargé de sélectionner parmi une nuée d'informations de plus en plus nombreuses les informations pertinentes par rapport à l'échelle de la carte et à l'objectif à satisfaire (la navigation) en respectant les spécifications internationales relatives aux cartes marines. Il réalisait ce travail de façon manuscrite afin d'établir une maquette de la future carte. Maintenant, il dispose de systèmes et de logiciels informatiques lui permettant de sélectionner dans des bases de données thématiques les informations pertinentes et lui permettant de réaliser une maquette qui est déjà presque sous sa forme définitive.

Le second est celui de l'agent cartographe (rédacteur). Alors que ce dernier était un spécialiste des arts graphiques appliqués à la cartographie, chargé de la mise en forme des informations de la maquette fournie par le préparateur, il a vu son métier évoluer très vite avec l'arrivée de l'informatique

et du dessin assisté par ordinateur : il est devenu pratiquement un opérateur manipulateur de données mais doit néanmoins bien connaître tous les aspects de la présentation cartographique (lecture efficace aisée par l'utilisateur de la carte et donc respect de certaines règles de présentation graphique que l'ordinateur ne peut respecter aisément).

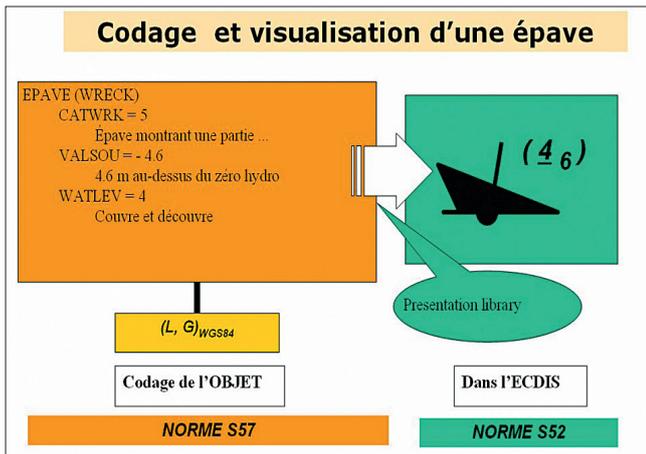
La production de données pour carte électronique est une nouvelle étape car il s'agit maintenant de mettre en place une véritable base de données descriptive d'objets géographiques de toute nature. Le travail de rédaction est complètement changé et il s'agit de coder chaque objet constitutif de la carte selon un dictionnaire d'objets et d'attributs assez rébarbatif au premier abord (publication S-57 de l'OHI). Ces données seront ensuite traduites par le système ECDIS pour être utilisées dans la préparation et le suivi de la navigation (publication S-52 de l'OHI).



Zones de production d'ENC pour la France

#### 4.5 Un changement dans le contenu de la donnée

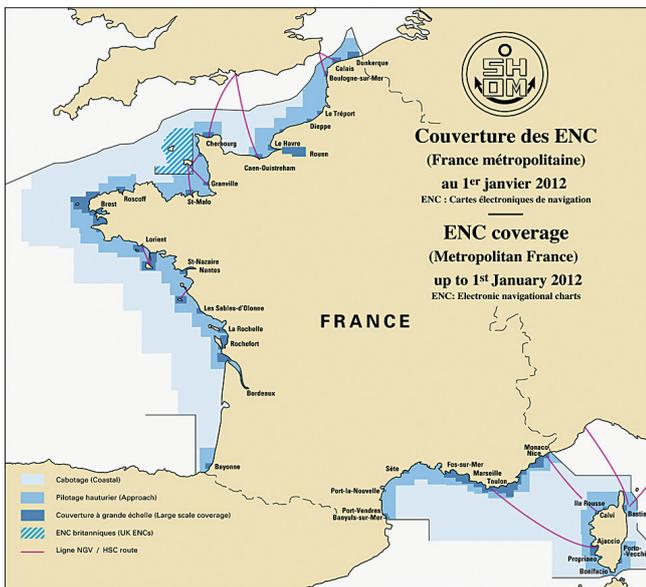
Du fait même qu'il s'agit de décrire des objets, on va pouvoir les décrire complètement alors que sur les cartes papier, on se contentait de présenter seulement une partie des informations concernant chaque élément choisi en fonction de l'échelle de la carte et de la place disponible.



Exemple de codage et d'interprétation d'une épave

Évidemment, certains objets sont faciles à décrire comme les objets dits ponctuels (sondes, obstructions, épaves, feux, bouées, ...).

Pour d'autres, ce sera beaucoup moins trivial : en particulier les zones, qu'elles soient relatives à des réglementations de toute nature ou bien d'autres zones telles que des zones de profondeurs, doivent faire l'objet d'une description précise et complète et en particulier, elles doivent être fermées afin que les diverses requêtes du système puissent fonctionner. Or, quand on examine une carte papier, ces diverses limites de zones n'apparaissent pas de manière évidente et le cartographe devra donc les préciser clairement dans sa description.



Couverture des ENC réalisées en métropole

Ainsi, on constate une modification des diverses tâches du cartographe :

- l'expertise et l'analyse pour la sélection des informations reste une activité essentielle mais elle peut être facilitée par l'emploi de logiciels informatiques à condition que ces données soient gérées préalablement en bases de données,

- par contre, le travail de présentation et de description de ces données, composantes de la carte, est totalement différent de celui réalisé pour la carte papier et nécessite une formation et une adaptation poussée des cartographes qui étaient jusqu'alors des « maîtres » des techniques graphiques et qui deviennent maintenant des experts en traitement de données numériques.

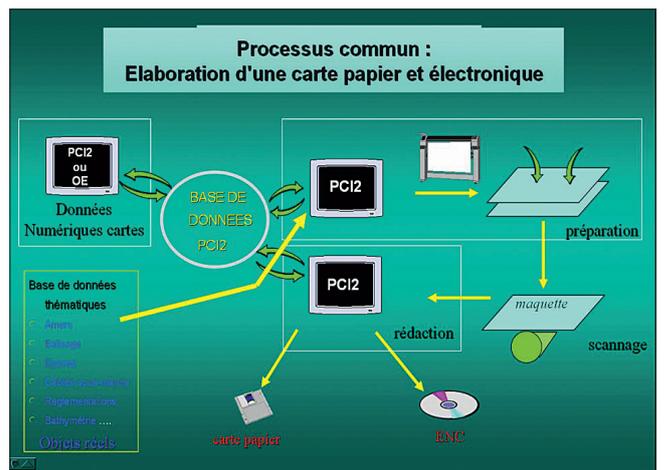
#### 4.6 Vers un processus unique de production

À ce jour, en matière de cartographie marine, le défi auquel est confronté le SHOM consiste à mener en parallèle plusieurs tâches toutes aussi importantes les unes que les autres pour le navigateur, à savoir :

- entretien et tenue à jour continue des cartes existantes,
- harmonisation de l'ensemble du portefeuille :
  - système de référence unique (WGS 84),
  - présentation des cartes selon la norme internationale,
- production des données de cartes électroniques pour l'ensemble des zones pour lesquelles il assure la responsabilité de production (zones françaises et zones pour lesquelles des arrangements bilatéraux attribuant à la France cette responsabilité pour un pays tiers seront validés (Afrique francophone par exemple, etc.)).

Cette activité constitue une très lourde charge qui engage le SHOM pour de nombreuses années au service de l'ensemble des navigateurs fréquentant les eaux françaises dans le cadre des responsabilités imposées par l'OMI (convention SOLAS) et acceptées par la France.

Pour faciliter cette tâche, une chaîne unique de production se met progressivement en place basée d'une part sur la gestion des données de référence en bases de données et d'autre part sur un système de production (poste cartographique interactif) proposant des fonctions de dessin et des fonctions de gestion de données permettant de produire à la fois des cartes papier et des cartes électroniques.



Processus unique de réalisation d'une carte marine

Toutefois, il convient de ne pas oublier les cartographes qui sont les fers de lance de cette activité et il faudra donc maintenir leur nombre et adapter leurs compétences pour relever ce défi.

## 5. CONCLUSION

Après plus de deux siècles de lente évolution, ces dernières décennies ont vu une véritable révolution de la cartographie marine mondiale.

En France, le portefeuille de cartes marines papier qui assurait jusqu'en 1976 une couverture mondiale (plus de 3 000 cartes) selon des spécifications nationales a été progressivement réduit à une couverture nationale (un peu plus pour les besoins de la défense et en vertu d'arrangements bilatéraux) de 1 100 cartes papier conformes à terme à des spécifications internationales. En complément, ce portefeuille devient numérique pour satisfaire les besoins de sécurité et d'évolution des fonctionnalités apportées par l'informatique de bord des passerelles de navires. Bien entendu, cette dualité papier et numérique de la carte marine va persister encore longtemps.

Cette révolution nécessite une adaptation et une évolution du métier de cartographe qui s'apparente davantage à une mutation du métier car les bases doivent être conservées. Il convient aussi de ne pas oublier les navigateurs qui doivent s'adapter à tous ces changements ce qui n'est pas sans poser des problèmes de compréhension de leur part et nécessite une communication de plus en plus importante de la part des divers acteurs de ce changement aussi bien au niveau international qu'au niveau national.

Le défi est maintenant, à effectif constant ou en baisse, de proposer un portefeuille de cartes électroniques aussi complet que possible et dans des délais les plus brefs en parallèle avec la tenue à jour et l'évolution des cartes papier.

Un autre défi consiste à densifier et actualiser les données constituant ces cartes électroniques, voire à améliorer la précision des données. En effet, les systèmes de positionnement utilisés par les navigateurs, longtemps moins précis que ceux utilisés lors des levés hydrographiques, sont aujourd'hui les mêmes et sont donc meilleurs que ceux utilisés initialement pour le recueil des données de base.

Quant à l'avenir, le changement devrait se poursuivre et on pense déjà à l'intégration totale aux données numériques cartographiques des données annexes (instructions nautiques, marée, courants de marée, etc.) pour disposer de données actualisées en temps réel. Pourquoi ne verrait-on pas l'actualisation en temps réel des profondeurs mentionnées dans les cartes électroniques, par exemple en fonction du niveau de la marée ...

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- G. Bessero, *Revue de l'institut français de navigation* 1997, « Du portulan à la carte électronique ».
- G. Bessero, *Revue Cols bleus N°2380 du 18 janvier 1997*, « La carte électronique, mythe ou réalité ? ».
- P. Souquière & J. Fichant, *Revue hydrographique internationale, Monaco, LXVI(2), juillet 1989*, « Cartographie assistée par ordinateur : une solution provisoire mais prometteuse ».
- J-L. Bouet-Leboeuf, *Le monde des cartes N° 177-178 septembre - décembre 2003*, ECDIS, « La carte électronique de navigation ».

Sites Internet :

- [www.shom.fr](http://www.shom.fr)
- [www.ohi.shom.fr](http://www.ohi.shom.fr)
- [www.primar.org](http://www.primar.org)



## ***DEUXIÈME PARTIE***

-----



# GROUPE OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

(1<sup>er</sup> septembre 2008 – 30 avril 2011)

par Michel Even, ingénieur en chef de l'armement, directeur du GOA

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	149
<b>2. LES MISSIONS DU GOA</b> .....	149
<b>3. ORGANISATION DU GOA</b> .....	149
<b>4. LE PERSONNEL</b> .....	150
<b>5. LES MOYENS</b> .....	150
5.1 Le BHO <i>Beautemps-Beaupré</i> .....	150
5.2 Le NO <i>Pourquoi pas ?</i> .....	151
5.3 Les vedettes hydrographiques.....	151
<b>6. ACTIVITÉ</b> .....	152
6.1 <b>Physionomie générale</b> .....	152
6.1.1 Le <i>Beautemps-Beaupré</i> .....	152
6.1.2 Le <i>Pourquoi pas ?</i> .....	152
6.1.3 Les campagnes d'opportunité.....	153
6.1.4 Les travaux vedettes et terrain de l'UOA en métropole.....	153
6.1.5 La BOM.....	153
6.1.6 Le SDHM.....	153
6.2 <b>Hydrographie générale</b> .....	153
6.2.1 Mesures de marée (projet RONIM) et de courant en métropole.....	153
6.2.2 Levé de complément dans le golfe du Morbihan.....	153
6.2.3 Travaux côtiers en Méditerranée.....	153
6.2.4 Levés hydrographiques aux Antilles (en rédaction).....	154
6.2.5 Levé des autoroutes maritimes du sud de l'océan Indien.....	154
6.2.6 Travaux hydrographiques aux Comores (en rédaction).....	155
6.2.7 Travaux à Madagascar.....	155
6.2.8 Travaux à Mayotte.....	155
6.2.9 Travaux au Liban.....	155
6.2.10 Travaux en Afrique de l'Ouest.....	156
6.3 <b>Soutien de la défense</b> .....	156
6.3.1 Les campagnes d'océanographie.....	156
6.3.2 Levés sédimentologiques par grands fonds.....	156
6.3.3 Participation aux essais de l'AUV <i>Daurade</i> .....	157
6.3.4 Campagnes d'acoustique.....	157
6.3.5 Levés hydrographiques en mer Rouge, dans le détroit de Bab-el-Mandeb et ses abords.....	158
6.3.6 Travaux hydrographiques dans le golfe Persique.....	158
6.3.7 Levés bathymétriques et géophysiques.....	158
6.3.8 Levés et concours divers.....	158
6.4 <b>Soutien aux politiques publiques de la mer et du littoral</b> .....	159
6.4.1 Litto3D.....	159
6.4.2 Travaux aux îles Eparses au profit de l'AAMP.....	159
6.4.3 Projet EXTRAPLAC.....	159
6.5 <b>Activités transverses</b> .....	159
6.5.1 Amélioration des systèmes.....	159
6.5.2 Participation au projet Bathyelli.....	160
6.5.3 Valorisation des transits.....	160
6.6 <b>Campagnes au profit de la communauté scientifique</b> .....	160
6.7 <b>Secours maritime</b> .....	160
<b>7. PERSPECTIVES</b> .....	160



## 1. INTRODUCTION

Ce rapport couvre l'activité du groupe océanographique de l'Atlantique (GOA) durant la période du 1<sup>er</sup> septembre 2008 au 30 avril 2011, sous la direction de l'ingénieur en chef de l'armement Michel Even.

Outre la poursuite de l'exploitation des formidables capacités du *Beautemps-Beaupré* (BBP), cette période aura été marquée par :

- la mise en service des sondeurs du *Pourquoi pas ?* (Pp ?), après de nombreuses tentatives d'amélioration, qui a enfin permis l'emploi de ce navire pour des campagnes hydrographiques,
- les soutiens apportés simultanément avec le Pp ? et le BBP aux opérations de recherches des épaves des vols AF447 et IY626,
- la reprise de levés hydrographiques dans des zones de responsabilité cartographique du SHOM où n'existaient aucun levé récent (Liban, Comores),
- un potentiel important consacré aux travaux dans le golfe Persique, dans le contexte de création d'une base de défense à Abu Dhabi,
- la prise en charge par le GOA et le GHA d'une capacité de mise en oeuvre d'un système déployable d'hydrographie militaire (SDHM).

Elle aura malheureusement aussi été marquée par le décès du commandant du *Pourquoi pas ?* Philippe Guillemet le 31 décembre 2009 pendant la campagne d'hydrographie aux Antilles.

## 2. LES MISSIONS DU GOA

L'organisation des groupes est définie par un arrêté du 27 juin 2007. Des instructions SHOM déclinent pour chaque groupe ses missions. Celles du GOA sont d' « effectuer des travaux d'hydrographie et d'océanographie au moyen de bâtiments hauturiers présentant l'autonomie suffisante pour des déploiements de longue durée sur l'ensemble des zones géographiques d'intérêt du SHOM ».

Il emploie pour cela principalement le bâtiment hydro-océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré* et le navire océanographique (NO) *Pourquoi pas ?*, ce qui le distingue des groupes hydrographique de l'Atlantique (GHA) et océanographique du Pacifique (GOP), qui disposent de moyens plus côtiers.

	% en jours de mer BBP et Pp ?	% en journées de travail du personnel hydrographe
Hydrographie des espaces sous responsabilité française	13	28
Soutien de la défense	52	41
Soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral	1	6
Activités transverses	34	25

Pendant la période considérée, l'activité du GOA a été répartie sur les trois missions du SHOM et les activités « transverses » (transit, évaluation de systèmes, formation, ...) dans les proportions suivantes : (voir tableau ci-avant).

Ces chiffres restent à prendre avec précaution, certains travaux ayant été répartis sur une seule mission alors qu'ils participaient également à la satisfaction des besoins d'une, voire des deux autres missions.

L'importance accordée au soutien de la défense pendant la période reste cependant avérée et peut s'expliquer :

- depuis quelques années, le *Beautemps-Beaupré* est employé alternativement dans le sud (où l'activité principale concerne l'hydrographie des espaces sous responsabilité française) puis le nord (exclusivement au profit de la défense) de l'océan Indien. Sur la période, il aura été déployé deux fois au nord, et une fois au sud ;
- le *Pourquoi pas ?* n'est devenu apte à l'hydrographie que progressivement et n'a donc été, surtout au début, employé que pour des campagnes d'océanographie militaire.

La part de l'hydrographie nationale et du soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral est proportionnellement plus grande en unités d'œuvre qu'en jours de mer car cette activité concerne majoritairement les petits fonds donc des volumes de données acquises plus importants (notamment par l'emploi simultané des vedettes hydrographiques) et nécessite donc souvent des traitements plus longs.

## 3. ORGANISATION DU GOA

Le GOA est constitué de :

- 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, équipée d'une vedette hydrographique, et dont l'activité est localisée pour l'essentiel à Toulon et ses abords mais peut s'étendre à toute la côte méditerranéenne métropolitaine et en Corse.

L'UOA comprend :

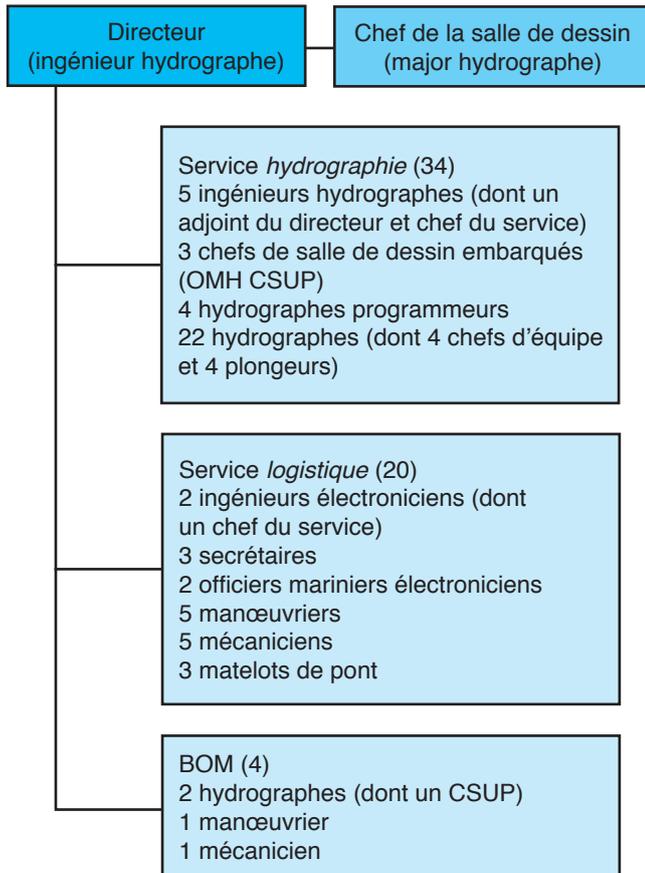
- un service *logistique*, responsable de la préparation et de la conduite logistique des missions et du maintien en conditions opérationnelles des matériels et systèmes de la responsabilité du GOA,
- un service *hydrographie*, responsable de la préparation, de la conduite et de la rédaction dans les règles de l'art des levés hydrographiques et océanographiques.

Elle bénéficie du soutien de la base hydrographique de l'Atlantique.

De part sa position géographique, la BOM est souvent amenée à représenter le SHOM dans diverses réunions organisées localement (notamment dans le cadre des projets de développement des énergies marines renouvelables).

#### 4. LE PERSONNEL

La répartition du personnel est la suivante :



Le personnel BOM est placé en service à terre.

Le plan d'armement du GOA est globalement bien adapté. En pratique cependant, il aura été globalement déficitaire :

- notamment à la BOM, dont l'effectif déjà très faible s'accommode mal de l'absence d'un hydrographe. Pendant l'année (été 2009 à été 2010) où un seul hydrographe était en poste, l'activité hydrographique s'en est trouvée très réduite, mais elle l'aurait été de toute façon car pendant cette période, des travaux importants liés au remplacement du SMF par un système d'hydrographie déployable ont immobilisé la vedette de la BOM ;
- le manque de plongeurs, qui n'est pas spécifique au GOA, a été pallié par le concours de plongeurs du *Beautemps-Beaupré* pendant les campagnes sur ce bâtiment, ou en formant des équipes mixtes avec le GHA pour certains travaux en métropole (installation de courantomètres ou marégraphes, ...).

La formalisation en 2009 de l'emploi du système déployable d'hydrographie militaire (SDHM) par une convention entre le SHOM et la marine a nécessité la mise en place dans les groupes métropolitains d'un tour d'astreinte à 5 jours pour une équipe de 3 personnes. Pour le déploiement à 10 jours du second SDHM, les effectifs des groupes n'ayant pas évolué avec cette nouvelle mission et la probabilité de deux déploiements simultanés étant estimée réduite, il n'est pas

prévu d'astreinte, la formation d'une équipe se faisant alors en puisant dans le personnel disponible et en annulant si besoin une activité programmée.

Le personnel a bénéficié de formations et a lui-même été formateur :

- en début de chaque année, en participant aux travaux à la mer organisés par l'école du SHOM pour les stagiaires au brevet supérieur d'hydrographe ;
- en accueillant ces mêmes stagiaires (dont 2 malgaches qui ont embarqué sur le *Beautemps-Beaupré* début 2010 jusqu'à Madagascar) plusieurs mois pour leur stage pratique ;
- en assurant une initiation à l'hydrographie à 22 stagiaires de plusieurs pays de l'océan Indien qui se sont succédés sur le *Beautemps-Beaupré* de mars à juin 2010.

#### 5. LES MOYENS

##### 5.1 Le BHO *Beautemps-Beaupré*

Le GOA emploie le bâtiment hydro-océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré* (BBP), dans le cadre d'une convention entre le SHOM et la force d'action navale de la marine (ALFAN). Mis en service en 2003, ce bâtiment est équipé de systèmes hydro-océanographiques très performants (voir les rapports de direction précédents publiés dans les *Annales hydrographiques*).



*Le Beautemps-Beaupré au mouillage à Anjouan (Comores 2009)*

Pendant la période considérée, la seule évolution majeure a été l'installation d'une capacité VSAT, lors de l'arrêt technique de décembre 2010 à janvier 2011, permettant de disposer d'une liaison satellite permanente. Lors de ce même arrêt, le passage au bassin aura permis de :

- changer une grande partie des transducteurs du sondeur multifaisceau (SMF) grands fonds Kongsberg EM120, pour lequel une dégradation des performances avait été constatée fin 2010 ;
- réparer le courantomètre Doppler de coque 150 kHz, en avarie depuis plus d'un an.

Le gravimètre marin KSS31 installé sur le *Beautemps-Beaupré* a présenté des défauts et ou des mesures bruitées à l'occasion des remplacements des gyroscopes obsolètes.

cents ou encore lors de changement de capteur en 2008 et 2009. Bien qu'il ait donné entière satisfaction en 2010 et n'ait rencontré aucune avarie, sa modernisation, programmée dans le cadre de l'étape 4 du projet CHATDHOOC, et financée, reste d'actualité.

La campagne ESSCAR d'essais du carottier Kullenberg réalisée en août 2010 a permis, en appareillant le système avec des accéléromètres et capteurs de pression, d'étudier précisément sa cinématique, et d'en déduire des modifications mécaniques à réaliser et des recommandations de mise en œuvre qui permettront d'améliorer les carottages.

Le bâtiment bénéficie depuis 2008 d'un contrat de maintien en condition opérationnelle (MCO). Pendant la période, ce contrat a permis une très grande disponibilité puisque le bâtiment n'a subi aucune avarie ayant eu un impact notable sur l'activité hydro-océanographique. Il a bénéficié d'un arrêt technique en fin de chaque année au cours desquels certains besoins exprimés par le GOA ont pu être pris en compte.

Dans le cadre d'une convention Marine/Ifremer/SHOM, l'Ifremer dispose d'un droit de disposer du BBP pendant une moyenne de 10 jours annuels, avec lequel ont été réalisées les campagnes OWEN en 2009 et TANZAVALE en 2010, toutes deux en océan Indien. En pratique, l'équipe GOA reste à bord pendant ces campagnes, pour mettre en œuvre les systèmes et limiter les frais de déplacement liés aux débarquements et embarquements, mais également parce que les données acquises présentent souvent un intérêt pour le SHOM.

## 5.2 Le NO *Pourquoi pas ?*

L'emploi du navire océanographique (NO) *Pourquoi pas ?* (Pp ?) par le SHOM et la marine est défini par la convention citée au paragraphe précédent, pour une moyenne de 150 jours annuels. L'utilisateur principal de ce potentiel est le GOA, la marine n'utilisant le navire que pour des exercices de mise en œuvre du scaphandre atmosphérique Newsuit pour le sauvetage de sous-marins (exercice Bold Monarch prévu au printemps 2011).



Le *Pourquoi pas ?* en escale au Gabon (MOCOSÉD 2009)

L'évolution majeure concernant le *Pourquoi pas ?* a été la mise en service des sondeurs multifaisceaux Reson 7111 (petits fonds) en 2009 puis 7150 (grands fonds, uniquement la fréquence 12 kHz) en 2010.

Les anomalies qu'ils présentaient depuis leur installation à la construction du navire ont été progressivement corrigées et les campagnes d'évaluation menées par le GOA ont permis de vérifier que les sondeurs satisfaisaient le besoin.

En mars 2010, tous les transducteurs d'émission à 12 kHz et les transducteurs défaillants à 24 kHz du SMF grands fonds ont été remplacés. Seule la fréquence 12 kHz du sondeur grands fonds est utilisée par le SHOM, le 24 kHz continuant à présenter des défauts.

Cette amélioration a permis de diversifier l'emploi du navire par le SHOM, et notamment de réaliser une première campagne d'hydrographie, fin 2009, dans les Antilles françaises.

Le *Pourquoi pas ?* a été équipé en 2010 d'un bossoir pour accueillir une vedette hydrographique Fassmer.

## 5.3 Les vedettes hydrographiques

Le GOA dispose de 3 vedettes Fassmer (*Albatros*, *Pélican* et *Cormoran*), très bien adaptées aux levés côtiers car disposant de sondeurs multifaisceaux très petits fonds performants (Kongsberg EM3002), et de la vedette VH90 *Zéléé*, employée par la BOM.



Les vedettes type Fassmer du GOA

Lors du déploiement de 2009 en océan Indien, les 3 vedettes hydrographiques (VH) Fassmer ont été embarquées sur le BHO, en prévision d'un levé dans le golfe Persique principalement par vedette pendant plus de deux mois. Ainsi, malgré plusieurs avaries, au moins 2 vedettes ont toujours été disponibles. Cet avantage est cependant à tempérer :

- le contrat de MCO prévoit une disponibilité pour 2 VH, avec pénalités à partir du cinquième jour d'indisponibilité, qui permet de penser que les avaries auraient de toute façon été traitées rapidement ;
- seules 2 VH disposent d'un bossoir, la troisième étant installée sur ber en plage arrière. Sa mise à l'eau par grue n'est possible que par mer très calme, et à réserver aux opérations d'échange de VH (celle qui est indisponible passant sur ber). Par ailleurs, le grand panneau de cale arrière

est alors condamné, et l'emploi d'engins remorqués (sonal) devient un peu plus compliqué ;

- depuis 2009, le NO *Pourquoi pas ?* étant désormais apte à faire de l'hydrographie par petits fonds, il peut être déployé avec une VH. Le BHO et le NO étant peu souvent à Brest, le transfert d'une VH de l'un vers l'autre serait très difficile.

Le maintien en condition opérationnelle des VH Fassmer est assuré, comme pour le BHO, par un contrat avec la société LGM depuis 2008 et pour cinq ans, les maintenances simples restant du ressort des mécaniciens du GOA, sous contrôle de LGM. Pendant la période, la disponibilité des VH a été plutôt bonne, hormis en 2010 où *Pélican* a fonctionné en mode dégradé pendant le premier semestre, tandis qu'*Albatros* rencontrait des problèmes de Z-drive.

La BOM disposait en 2008 d'équipements originaux (notamment la vedette hydrographique VH 90 et le sondeur multifaisceau Fansweep 20) par rapport aux équipements en service à l'UOA ou au GHA. Ces singularités rendaient difficiles le maintien des équipements et la cohérence des procédures hydrographiques, ce qui entraînait un rendement en deçà des attentes et il avait été décidé d'équiper la BOM d'un système d'hydrographie déployable, plus simple d'emploi.



La vedette VH90 Zélée de la BOM à Toulon

En 2009, les défauts persistants du Fansweep 20 ont conduit à sa dépose. Début 2010, la vedette *Zélée* a été équipée d'une base sondeur apte à accueillir le SDHM (système déployable d'hydrographie militaire), mais des problèmes mécaniques ont immobilisé la VH90 le second semestre.

## 6. ACTIVITÉ

(Les rapports particuliers de chaque campagne cités ci-dessous sous la forme RAP20XX-XXX sont accessibles dans le référentiel documentaire du SHOM.)

### 6.1 Physionomie générale

#### 6.1.1 Le *Beautemps-Beaupré*

L'activité du *Beautemps-Beaupré* a suivi un cadre identique chaque année : déploiement en océan Indien (nord-ouest en 2009 et 2011, sud-ouest en 2010) au premier semestre puis

travaux en Méditerranée occidentale ou en océan Atlantique nord-est, jusqu'à l'arrêt technique de fin d'année.

Orienté par les travaux prescrits au programme annuel du GOA, la programmation de l'activité du *Beautemps-Beaupré* doit tenir compte de plusieurs facteurs limitant dont :

- les conditions climatiques : la mousson dans le nord-ouest de l'océan Indien à partir de fin mai, la chaleur dans le golfe arabo-persique à partir de juin, incompatibles avec les spécifications d'emploi du bâtiment, ...
- la limitation à une seule relève d'équipage hors métropole.

Hormis fin 2008, où son retour à Brest a été avancé d'une dizaine de jours pour en limiter le coût d'emploi (forte augmentation du prix du carburant), le *Beautemps-Beaupré* a été employé au maximum de sa disponibilité pendant toute la période, débutant sa période d'activité début février pour la terminer fin novembre (soit 298 jours par an en moyenne) pour son arrêt technique.

Pour ne pas dépasser le quota de jours de mer autorisé par la marine, il a fallu en 2009 limiter l'activité à la mer du bâtiment. Pendant le levé dans le golfe arabo-persique, il a ainsi été au mouillage pendant près de la moitié du temps tandis que les deux vedettes sondaient, ce qui finalement s'est avéré cohérent avec les ressources humaines embarquées du GOA qui ne peuvent simultanément mettre en oeuvre les vedettes, armer le quart scientifique du BHO et assurer un premier traitement quotidien des données sur un levé aussi long (2 mois).

L'environnement sécuritaire dans les zones d'emploi du BHO est un paramètre ayant un impact grandissant sur l'activité :

- la piraterie s'est fortement développée dans le nord-ouest de l'océan Indien, zone dans laquelle le *Beautemps-Beaupré* a travaillé ou au moins transité chaque année. En mars 2010, une approche du bâtiment par une embarcation menaçante a été détournée par des coups de semonce. En 2011, certaines activités de la campagne PHYSINDIEN ont dû être aménagées, toute opération de mouillage, relevage ou tout bathysondage étant impossible de nuit, les extérieurs ne pouvant être éclairés par mesure de discrétion ;
- le risque terroriste, s'il concerne principalement les escales, n'est pas nul en mer. Il oblige à quelques précautions (équipe de renfort, accompagnement par un bâtiment du pays pendant les travaux au Liban) mais n'a pas eu de réel impact sur l'activité.

Enfin, les campagnes dans les eaux sous juridiction étrangère restent soumises à l'autorisation des pays souverains. A l'exception du Yémen pour l'est du détroit de Bab-el-Mandeb, les autorisations ont toujours été accordées, éventuellement avec l'appui d'une réunion de présentation aux autorités concernées à l'occasion d'une escale avant travaux.

#### 6.1.2 Le *Pourquoi pas ?*

L'activité du *Pourquoi pas ?* est programmée par l'Ifremer qui doit prendre en compte les besoins de la communauté scientifique française et ceux du SHOM et s'arranger pour optimiser les déploiements lointains.

Pendant la période, le *Pourquoi pas ?* a été utilisé principalement pour des campagnes d'océanographie, d'acoustique et de sédimentologie en Atlantique nord et Méditerranée mais également d'hydrographie, pendant deux mois fin 2009 aux Antilles.

A l'été 2009, le *Pourquoi pas ?* étant employé pour la recherche de l'épave et des boîtes noires du vol AF447 disparu au large du Brésil, *L'Atalante* a été mis à disposition du GOA pour la réalisation des campagnes MOUTON 09 et ERATO 09. Excepté cet événement et le report de la campagne d'hydrographie de fin 2008 à fin 2009 (pour cause d'inaptitude à l'emploi des sondeurs), l'emploi du *Pourquoi pas ?* a été globalement conforme aux prévisions.

### 6.1.3 Les campagnes d'opportunité

Du personnel du GOA a participé à trois campagnes dans le cadre du projet EXTRAPLAC :

- avec le *Marion-Dufresne* (en 2008 et 2010) pour la préparation d'un dossier commun d'extension du plateau continental des îles australes françaises et de l'Afrique du Sud ;
- avec *L'Atalante* (en 2010) pour acquérir des données bathymétriques et géophysiques nécessaires à la constitution du dossier d'extension du plateau des îles Wallis et Futuna.

### 6.1.4 Les travaux vedettes et terrain de l'UOA en métropole

Les travaux en vedette en métropole n'ont concerné que des besoins militaires ou de formation dans le cadre du brevet supérieur d'hydrographe. En l'absence de bâtiment porteur (le *Beautemps-Beaupré* n'étant sur zone que pour la période de son arrêt technique), ils se sont limités à la rade de Brest et ses abords.

Les travaux terrain ont concerné les besoins liés à la marée et aux courants, avec notamment le contrôle de sites du projet RONIM sur le littoral Atlantique.

### 6.1.5 La BOM

Le déficit en personnel pendant un an, les évolutions du système de sondage (remplacement du SMF par un SDHM), ou encore la disponibilité moyenne de la vedette n'ont pas permis à la BOM de réaliser de levés hydrographiques d'ampleur. L'activité s'est partagée entre la rédaction de levés antérieurs, des travaux de terrain (implantation d'observatoires de marée en Corse, ...), des campagnes d'hydrologie ou de carottage en rade de Toulon, ou encore un soutien aux levés du BH2 *Borda* et du *Beautemps-Beaupré* aux abords de Toulon.

### 6.1.6 Le SDHM

Les groupes hydrographique (GHA) et océanographique (GOA) de l'Atlantique sont dotés en commun d'un système déployable d'hydrographie militaire (SDHM), constitué d'équipements (sondeur vertical, sonar latéral, marégraphe, ...) permettant la réalisation de levés hydrographiques de façon autonome, qui peut être employé sur les embarcations de la marine.

Pendant la période, il aura été mis en œuvre, outre pour de l'entraînement, par du personnel du GOA :

- en 2008 dans le golfe du Morbihan, pour un levé de complément urgent compte tenu de la sortie imminente de la carte marine ;
- début 2011, à bord du PR *Var*, initialement pour des travaux en Arabie Saoudite (non réalisés) puis à Djibouti.



Sondage hydrographique avec le SDHM (golfe du Morbihan 2008)

## 6.2 Hydrographie générale

### 6.2.1 Mesures de marée (projet RONIM) et de courant en métropole

Le GOA et le GHA se répartissent les travaux de marégraphe et courantométrie en métropole selon les opportunités liées à leurs levés hydrographiques ou programmation des missions dédiées. Les travaux ont concerné :

- des implantations de nouveaux observatoires équipés de MCN (marégraphe côtiers numériques) ou des contrôles, à Ajaccio (RAP2009-095 et RAP2010-002), Toulon (RAP2009-069), Nice (RAP2009-104), Roscoff, Bayonne, Arcachon, Socoa (RAP2009-113), Fort-de-France (RAP2010-004), Pointe-à-Pitre (RAP2010-104), Fos-sur-Mer (RAP2010-110) et Sète (en rédaction) ;
- des mesures de courant dans l'anse de Bénodet et l'Odet (RAP2009-053) ;
- des observations de marée à Port-la-Forêt (RAP2010-030), Hendaye et Capbreton (RAP2010-109).

### 6.2.2 Levé de complément dans le golfe du Morbihan

Un levé dans le golfe du Morbihan (RAP2008-187) a été réalisé à l'automne 2008 en embarcation avec le SDHM, pour compléter les levés récents (par SMF et bathymètre laser aéroporté) avant la publication de la nouvelle carte marine du golfe programmée pour fin 2008.

### 6.2.3 Travaux côtiers en Méditerranée

Malgré ses moyens nautiques limités, la BOM a mené un certain nombre de travaux parmi lesquels une revue d'amers

et du positionnement GPS (RAP2010-003) ainsi que des recherches d'obstructions (RAP2010-031), pour la préparation de la nouvelle édition de la carte des abords de Toulon.

La rédaction de revue d'amers de la Corse, débutée en 2006 et qui a permis de mettre à jour l'ensemble des amers et du balisage de l'île a par ailleurs été achevée (RAP2008-207), pour permettre la mise à jour des ouvrages concernés aux échéances prévues.

#### 6.2.4 Levés hydrographiques aux Antilles (en rédaction)

Une campagne d'hydrographie aux Antilles avec le *Pourquoi pas ?*, programmée depuis plusieurs années mais régulièrement reportée, a pu être réalisée de décembre 2009 à février 2010, la fiabilité du SMF petits fonds ayant été contrôlée en début d'année 2009. Pour cette campagne, une vedette hydrographique a été embarquée pour les travaux dans les faibles profondeurs. Les travaux ont concerné principalement les abords et les accès aux îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, où la connaissance hydrographique, ancienne et fragmentaire nécessitait une mise à jour.



Cotation d'une épave par plongeur à St Barthélemy (ZMAG 2009)

À l'issue de cette campagne, une équipe du GOA est restée sur le *Pourquoi pas ?* pour participer, en février, à la campagne BathySaintes de l'institut de physique du globe de Paris (IPGP). Les travaux par petits fonds ont été réalisés par le GOA avec la vedette *Pélican*, tandis que le *Pourquoi pas ?* levait le plateau des Saintes. Les résultats obtenus seront exploités par l'IPGP pour l'étude des phénomènes sismiques dans la région et pour affiner les modèles de propagation de tsunami dans les zones côtières. Ils enrichiront également les bases de données du SHOM et permettront d'améliorer les produits. Le levé est en traitement.

#### 6.2.5 Levé des autoroutes maritimes du sud de l'océan Indien

Le GOA a réalisé, de mars à mai 2010, le levé d'une portion d'autoroute de l'océan Indien (RAP2010-085), dans le cadre d'une initiative pilote lancée par l'OMI (organisation maritime internationale) et reprise par la banque mondiale (BM) sur financement du FEM (fonds pour l'environnement mondial) et de l'UE, qui préfigure l'organisation du trafic maritime de

l'avenir et vise à sécuriser le trafic maritime et mieux en maîtriser les conséquences sur l'environnement.

Tous les pays de la région contribuent au projet, piloté conjointement par l'Afrique du Sud et la commission de l'océan Indien (COI) et constitué de plusieurs composantes (installation d'un réseau de suivi du trafic par AIS<sup>1</sup> et LRIT<sup>2</sup>, renforcement des capacités SAR<sup>3</sup> et de lutte contre les pollutions en mer, cartes électroniques de navigation (ENC), balisage, ...).



Superposition à la CM6672 (INT701) de l'autoroute levée en 2010

Si la cartographie à petite échelle du canal du Mozambique peut donner l'impression que la zone est bien connue, elle ne bénéficie en réalité quasiment d'aucun levé hydrographique autre que ceux réalisés à l'occasion de transits, et l'existence de remontées de fonds encore inconnues reste possible. Le levé a consisté à hydrographier des voies larges de 15 milles, que les navigateurs pourraient ensuite être encouragés à emprunter.

Réalisés dans le cadre d'un contrat conclu avec l'agence sud-africaine de sécurité maritime, les travaux menés avec le *Beautemps-Beaupré* auront permis de lever 1 800 milles d'autoroute, qu'il restera maintenant à étendre vers le nord en direction de la mer d'Arabie, et vers l'est pour rejoindre l'autoroute du détroit de Malacca.

Durant toute la période de présence sur zone, 18 stagiaires de 8 pays différents se seront succédés à bord, pour des

<sup>1</sup> Automatic Identification System (système d'identification automatique des navires)

<sup>2</sup> Long Range Identification and Tracking (identification et suivi à distance des navires)

<sup>3</sup> Search And Rescue (recherche et secours en mer)

périodes de 2 semaines en moyenne, pour y suivre une formation à l'hydrographie. Si pour certains d'entre eux le sujet était déjà au moins partiellement connu, pour d'autres cette initiation aura permis notamment de les sensibiliser aux actions simples qu'ils peuvent mener à leur niveau, comme par exemple la diffusion de l'information vers les organismes responsables (NAVAREA, producteurs de cartes marines, ...).

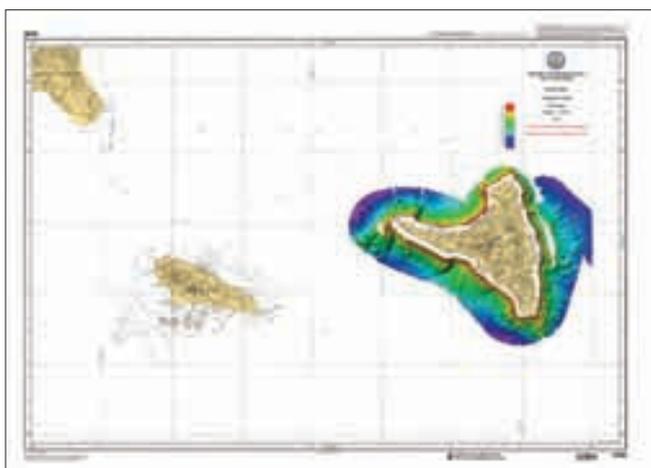


Initiation à l'hydrographie de stagiaires comoriens à bord du BHO

#### 6.2.6 Travaux hydrographiques aux Comores (en rédaction)

Après avoir été déployé à l'île de la Grande Comore (voir §6.7) en 2009, le *Beautemps-Beaupré* et deux vedettes hydrographiques ont été employées en juin 2010 à la réalisation d'un levé hydrographique des abords et de l'accès à Mutsamudu, principal port de l'île d'Anjouan, aux Comores. A la demande des responsables locaux, le levé a été étendu pour inclure le terminal pétrolier.

Par ailleurs, deux tours complets de l'île ont permis de dresser une cartographie de ses abords avec les sondeurs multifaisceaux du *Beautemps-Beaupré*, la zone étant jusqu'alors quasiment vierge de sondes.



Bathymétrie SMF du BBP sur CM6238 en service (Anjouan 2009)

Cette réfection de l'hydrographie permettra la remise à niveau de la cartographie, et notamment la production

d'une ENC imposée par la réglementation maritime pour les besoins des navires à grande vitesse (NGV) reliant Anjouan à Mayotte.

#### 6.2.7 Travaux à Madagascar

Seuls quelques travaux complémentaires au levé de 2008 à Toamasina ont été réalisés lors d'une escale du *Beautemps-Beaupré* en mars 2010. A cette occasion, un marégraphe permanent a été installé, dans le cadre de la participation française au réseau d'alerte aux tsunamis de l'océan Indien (RAP2010-078).

Le transit depuis son départ de Brest début février 2010 a aussi été l'occasion de poursuivre à la mer la formation au brevet supérieur d'hydrographe de deux stagiaires malgaches.

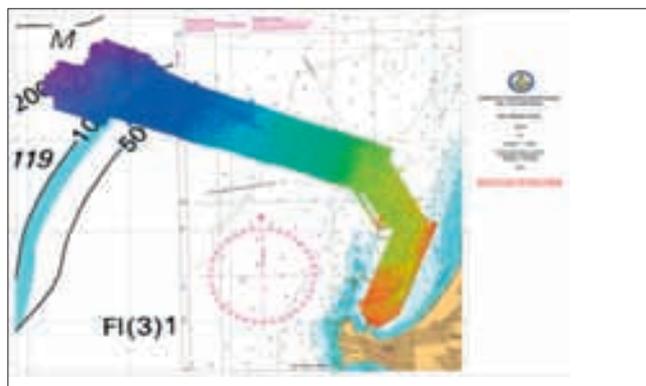
La rédaction des levés réalisés par le GOA en 2008 à Mahajanga et Toamasina (RAP2010-066 et RAP2009-165) a été achevée. Les résultats ont été transmis au service hydrographique de Madagascar et ces travaux font partie de la contribution française au projet d'autoroute maritime de l'océan Indien (voir §6.2.5), tout comme le levé à Anjouan (voir §6.2.6).

#### 6.2.8 Travaux à Mayotte

Outre la rédaction du levé (RAP2009-020) réalisé en 2008 d'une voie recommandée pour la navigation des NGV reliant Mayotte à Anjouan (voir §6.2.6), les travaux à Mayotte ont concerné, en 2010 avec le *Beautemps-Beaupré*, principalement la zone nord-est du lagon, où des levés antérieurs ou extérieurs (dans le nouveau port de Longoni) ont été contrôlés, en préalable à la mise à jour de la carte marine (RAP2010-086), et le sud-ouest où une large zone reste encore non hydrographiée (en rédaction).

#### 6.2.9 Travaux au Liban

La France exerce une responsabilité cartographique des côtes libanaises, où l'hydrographie n'a pas été entretenue depuis plusieurs décennies. En juin 2010, le GOA a entrepris avec le *Beautemps-Beaupré* et les vedettes une remise à niveau de la connaissance, en privilégiant des levés d'accès aux ports principaux du Liban. Les travaux ont consisté, sous escorte d'une vedette de la marine libanaise, à hydrographier une voie large d'environ 1 000 m, depuis le large,



Document de synthèse présentant le résultat provisoire du levé de Tyr fourni aux autorités libanaises à la fin des travaux

déjà couverte par un levé récent de l'Ifremer, jusqu'au port. Cette première campagne (en rédaction), qui devrait être poursuivie en 2011, a permis de lever les accès aux ports de Tyr, ainsi qu'à Saïda où la découverte de dangers non portés sur la carte a conduit à proposer la diffusion d'un avis urgent aux navigateurs (AVURNAV).

#### 6.2.10 Travaux en Afrique de l'Ouest

Les levés en Afrique de l'Ouest sont principalement conduits par le groupe hydrographique de l'Atlantique (GHA). En 2010 cependant, la présence du *Pourquoi pas ?* sur zone (voir §6.3.2) a été mise à profit pour compléter le levé du plateau Escobar (RAP2011-047), dans le golfe de Guinée, dans les grandes profondeurs inaccessibles aux sondeurs des bâtiments mis en œuvre par le GHA.

Ce levé a permis de statuer sur l'existence de plusieurs sondes douteuses figurant sur la carte marine et de définir le contour du plateau.

### 6.3 Soutien de la défense

#### 6.3.1 Les campagnes d'océanographie

Les programmes d'études amont MOUTON (Modélisation Océanique d'Un Théâtre d'Opérations Navales) puis, à partir de 2010, PROTEVS (Prévision Océanique, Turbidité, Ecoulement, Vagues et Sédimentologie) visent respectivement la mise au point de systèmes de prévision océanographique, puis à améliorer la connaissance des processus océaniques impactant les opérations militaires, à étudier la faisabilité de systèmes permettant la reconstitution et la prévision de l'environnement hydrodynamique et enfin à étudier la possibilité d'étendre ces systèmes à des paramètres biogéochimiques d'intérêt fort pour les opérations militaires (visibilité, turbidité, matières en suspension). Dans ce cadre, des démonstrateurs sont réalisés en utilisant une démarche de modélisation et nécessitent une validation basée sur la comparaison avec les observations.

L'observation *in situ* constituait l'objectif principal des trois campagnes réalisées en 2008, 2009 et 2010 (RAP2009-006, RAP2010-108, RAP2011-008), qui se sont déroulées de la Manche jusqu'aux côtes du Portugal et ont nécessité la mise en œuvre de systèmes nombreux et très divers : radiales Seasoar, réseaux de bathysondes et de tirs de sondes Sippican, mouillage de chaînes de thermistance et de capteurs dérivants, courantométrie Doppler, ...

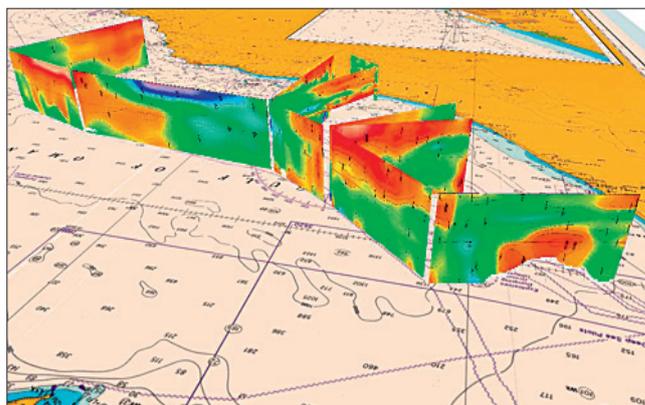


Largage d'une bouée Surdrift pendant la campagne MOUTON 08

Le *Pourquoi pas ?* en 2008 et 2010 et *L'Atalante* en 2009 ont confirmé leurs excellentes capacités pour la réalisation des campagnes océanographiques complexes mettant en œuvre une instrumentation variée.

Un test de portabilité vers la mer d'Arabie d'une maquette numérique développée dans le cadre de PROTEVS a été confié à l'université de Bretagne occidentale (UBO), sous financement de la délégation générale pour l'armement (DGA) sous la forme d'une étude menée en coopération avec le SHOM.

Dans ce cadre, la campagne PHYSINDIEN avait pour objet d'améliorer la compréhension des phénomènes océanographiques dans le nord de l'océan Indien, et plus particulièrement l'écoulement de l'eau du golfe Persique vers la mer d'Arabie et de la mer Rouge vers le golfe d'Aden.



Composante sud/nord de l'intensité du courant observé de Mascate à Abu Dhabi avec le courantomètre Doppler 38kHz du BBP, permettant de positionner les structures tourbillonnaires

Pendant tout le mois de mars 2011 le *Beautemps-Beaupré* a effectué des mesures océanographiques et hydrographiques depuis Suez jusqu'à Hormuz.

400 tirs Sippican, une vingtaine de bathysondages pouvant descendre jusqu'à 4 000 m, et près de 2 000 nautiques de profils avec le Seasoar ont permis de détecter puis de décrire précisément les masses d'eau en présence et notamment des tourbillons anticycloniques d'eau chaude et salée en provenance du golfe Persique.

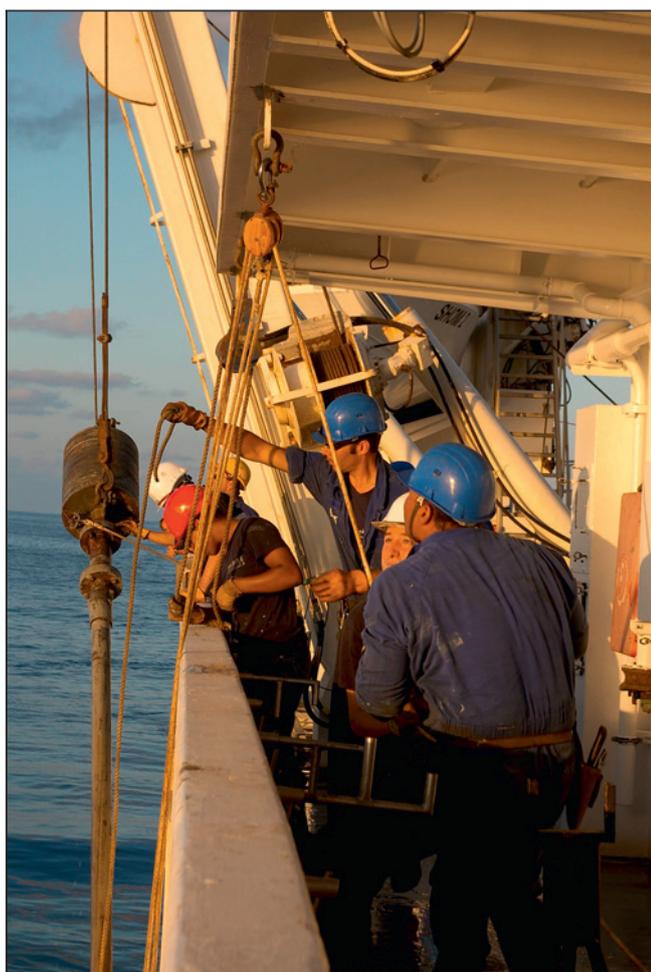
#### 6.3.2 Levés sédimentologiques par grands fonds

Une bonne connaissance de la nature du fond marin, de l'épaisseur des sédiments et de leurs propriétés acoustiques est nécessaire pour la mise en œuvre de certains systèmes d'armes, en particulier des sonars de lutte anti-sous-marine à très basses fréquences.

La campagne FANINDIEN 09 (RAP2009-153) devait permettre de finaliser le modèle sédimentaire et géoacoustique de la mer d'Arabie, l'objectif principal étant de détecter et cartographier les sédiments sableux. La zone et la nature des travaux étant proches de ceux de la campagne OWEN 09 (voir §6.6), elles ont été programmées à suivre, début 2009 avec le *Beautemps-Beaupré*. Le levé bathymétrique et sédimentologique réalisé au cours de la campagne OWEN 09 a ainsi été complété pendant FANINDIEN 09, et une douzaine de carottages devaient être effectués.

Les campagnes sur la MOdélisation des COuches SEDimentaires (MOCOSED) doivent permettre de réaliser les modèles de caractéristiques géoacoustiques régionales des différents secteurs prioritaires de la défense :

- la première campagne a été conduite en 2009 (RAP2010-040) avec le *Pourquoi pas ?* dans la plaine abyssale de Madère, zone suffisamment peu complexe (fonds plats, faible variation des sédiments) pour permettre une première évaluation de différents modèles ; 9 carottages par grands fonds ont été effectués ;
- la seconde a été menée en décembre 2010 (RAP2011-055), également avec le *Pourquoi pas ?*, dans le golfe de Guinée : outre des carottages profonds, elle comprenait une étude de l'éventail sous-marin profond de l'Ogooué, nécessitant un levé bathymétrique, ainsi que des mesures sédimentologiques et courantométriques pour l'étude des propriétés sédimentaires du talus continental gabonais.



Carottage en mer d'Arabie lors de la campagne FANINDIEN 09 à bord du *Beautemps-Beaupré*

### 6.3.3 Participation aux essais de l'AUV *Daurade*

Le REA (Rapid Environmental Assessment) doit fournir aux opérationnels la description de l'environnement GHOM (Géographique, Hydrographique, Océanographique, Météorologique) nécessaire à la préparation et à la conduite des opérations. Parmi les différentes catégories de REA,

l'une revêt une importance particulière : le REA discret.

Afin d'élaborer des stratégies de réalisation de REA discret, le SHOM assure, en coopération avec le GESMA (Groupe d'Etudes Sous-Marines de l'Atlantique), la maîtrise d'ouvrage d'un programme d'études amont qui comprend en particulier l'évaluation d'un démonstrateur de véhicule sous-marin autonome, l'AUV (Autonomous Underwater Vehicle) *Daurade*.

Ce système a fait l'objet de campagnes d'évaluation avec le support du *Beautemps-Beaupré*, en fin de chaque année de 2008 à 2010 (RAP2009-027, RAP2010-084). Ces campagnes ont permis de valider l'intégration de l'AUV sur le porteur (les conditions d'emploi restant cependant très limitées en fonction de l'état de mer compte tenu de l'absence de système dédié de mise à l'eau et de récupération) et de mettre en évidence la grande qualité des informations acquises par ses SMF Reson 7125 et sonar latéral Klein 5500.



Essais de l'AUV *Daurade* à bord du *Beautemps-Beaupré* en 2008

Le GOA a par ailleurs participé en 2009 sur le bâtiment *Thétis* :

- à une expérimentation de l'AUV en configuration guerre des mines : une mine ayant été identifiée par le système a ensuite été détruite par le chasseur *Persée* ;
- à la recherche de l'épave de l'*USS Bonhomme Richard* en mer du Nord pendant laquelle l'AUV *Daurade* a été mis en œuvre.

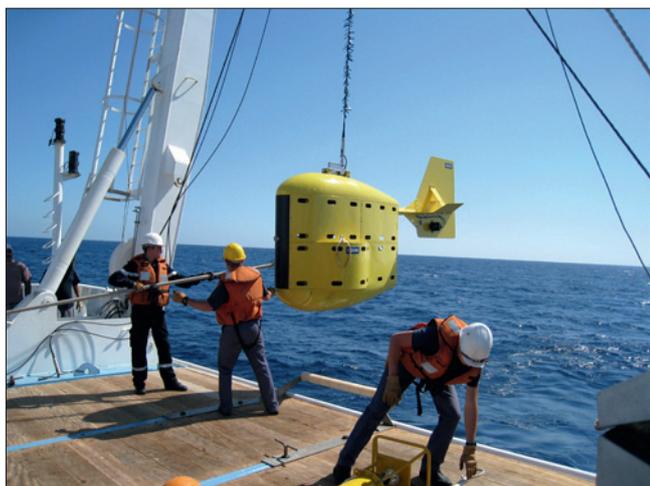
### 6.3.4 Campagnes d'acoustique

L'une des principales tâches du programme d'études amont (PEA) STEREO (Système Temps réel d'Evaluation Rapide de l'Environnement Océano-acoustique) visait à développer un démonstrateur permettant de déduire de la propagation de signaux acoustiques les paramètres du milieu qui régissent les performances des sonars. Une telle solution permet d'une part de valider par la mesure acoustique un modèle d'environnement et d'autre part d'améliorer ce dernier en inversant et/ou assimilant les données de tomographie. Les essais menés lors de la campagne STEREO 08 (RAP2009-028), dans le détroit de Malte avec le *Beautemps-Beaupré*, ont permis de prononcer la recette du démonstrateur.

Le nouveau PEA ERATO (Evaluation Rapide de l'environnement Acoustique par Tomographie Océanique) vient en suite et en complément de STEREO et a pour objectif principal de développer un système de démonstration acoustiquement discret.

La campagne ERATO 09 (RAP2010-116), conduite avec *L'Atalante* en 2009, a permis, notamment grâce au système STEREO, d'acquérir des données acoustiques sur une zone bien connue du plateau continental au large de la Vendée.

En 2010, une campagne (RAP2011-008) commune avec le programme de recherche sur l'observation et la modélisation de la marée interne au voisinage du talus ibérique (MITIC, en partenariat avec l'institut hydrographique du Portugal) a été réalisée avec le *Pourquoi pas ?* sur les côtes portugaises et a couplé des observations acoustiques, océanographiques et hydrographiques.



Mise à l'eau d'une source acoustique depuis le BBP (STEREO 08)

### 6.3.5 Levés hydrographiques en mer Rouge, dans le détroit de Bab-el-Mandeb et ses abords

Comme au Liban (§6.2.9) et aux Comores (§6.2.6), la France exerce dans le détroit de Bab-el-Mandeb et à Djibouti des responsabilités cartographiques ou hydrographiques.

C'est dans ce contexte que s'effectue le levé du détroit et des voies de navigation remontant jusqu'au nord des îles Hanish. En 2009, un levé (RAP2009-175) avec le *Beautemps-Beaupré* a permis d'achever la voie à l'ouest des îles Hanish, à défaut d'entamer celle de l'est, l'autorisation de travailler dans les eaux sous juridiction du Yémen n'ayant pas été obtenue.

Chaque année, à l'occasion des passages du BHO à Djibouti, le GOA a réalisé des travaux hydrographiques aux abords et dans le port (RAP2009-150 et RAP2010-035), qui ont été exploités pour une rénovation de la carte marine fin 2010.

### 6.3.6 Travaux hydrographiques dans le golfe Persique

Le golfe Persique est une région où l'hydrographie n'est pas toujours à un niveau suffisant notamment pour des bâtiments comme le porte-avions, à fort tirant d'eau et dont la

capacité de manœuvre peut être limitée par son activité. Le levé d'une large zone au large des Emirats Arabes Unis (EAU) vise à améliorer la sécurité de la navigation aux abords d'Abu Dhabi et sur un chenal permettant de rallier sans encombre le port de la nouvelle base de défense française.

Les travaux commencés en 2004 ont été poursuivis en 2009 puis en 2011 avec le *Beautemps-Beaupré*. Le levé (RAP2011-045) n'a pas été facilité :

- par son éloignement de la côte, qui rend la zone non protégée dès que le vent s'établit et donc peu praticable en vedette ;
- par les faibles profondeurs, qui rendent l'emploi du *Beautemps-Beaupré* moins efficace, les fauchées du SMF étant très réduites.

Dans ces eaux peu profondes et plutôt claires, l'emploi du bathymètre laser serait probablement plus adapté.

La présence sur zone au moment de l'achèvement de la construction des quais de la nouvelle base de défense française a été mise à profit pour effectuer avec les vedettes un levé de contrôle après dragage qui permis de détecter une remontée à 8 m au lieu des 10 m annoncés. Le haut-fond a été dragué et un nouveau levé a permis de confirmer l'absence de danger pour les bâtiments français devant accoster quelques jours après pour l'inauguration de la base par le président de la République.

### 6.3.7 Levés bathymétriques et géophysiques

Chaque année, le *Beautemps-Beaupré* a consacré une partie de son potentiel à des levés bathymétriques et géophysiques en Atlantique et Méditerranée (RAP2010-011).

En 2010, le levé DEMANE (RAP2010-096) a consisté en un levé bathymétrique, gravimétrique et magnétique complet d'une zone au sud des Açores. Il sera exploité pour définir des zones plus réduites sur lesquelles une seconde campagne est prévue en 2011 pour y conduire, sur le fond avec le sous-marin le *Nautilus* de l'Ifremer, des mesures à l'aide d'un gravimètre portable.

Ces campagnes participent au projet océanographique ENVGEO, qui a pour objectif la réalisation d'un démonstrateur de systèmes de production de modèle en Atlantique et en Méditerranée, et la préparation des missions altimétriques futures pour la caractérisation du champ de pesanteur et de la bathymétrie.

### 6.3.8 Levés et concours divers

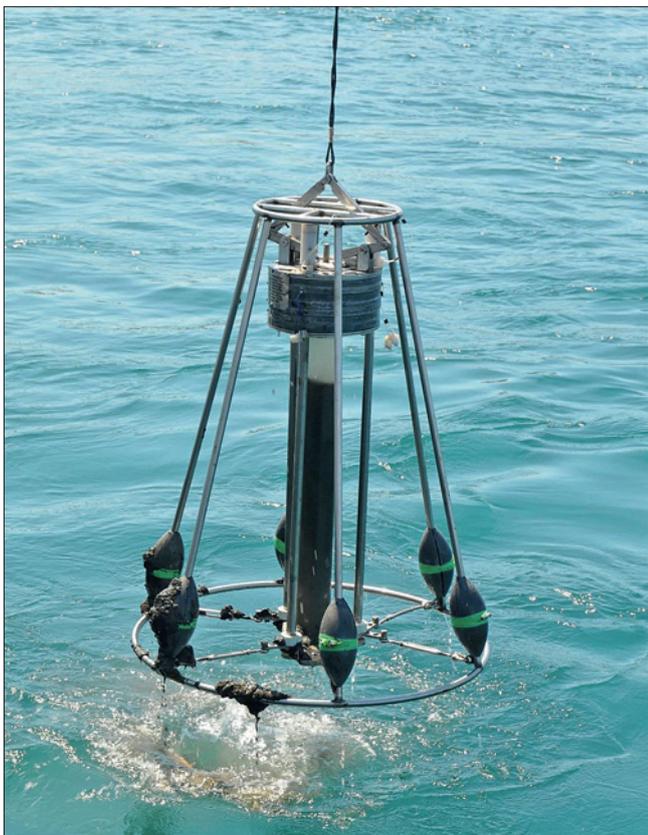
En zone brestoise, le GOA dispose normalement d'une vedette (les deux autres étant déployées sur le BHO) avec laquelle il peut conduire des levés ou participer à la formation des stagiaires hydrographes (RAP2009-114).

Pendant la période, les levés de la rade abri (RAP2009-062) et d'un chenal au profit de la guerre des mines dans le goulet de Brest (RAP2009-173) ont été poursuivis, des mesures de courant ont été réalisées dans l'anse du Fret (RAP2009-123) au profit de la DRSID (Direction Régionale du Service d'Infrastructure de la Défense), et deux levés de quais ont

été effectués, pour l'accostage du porte-avions *Charles de Gaulle* (RAP2010-034) et en prévision de l'arrivée d'un nouveau navire à un quai où des sondes anciennes devaient être contrôlées (RAP2011-009).

En Méditerranée, la BOM a :

- finalisé plusieurs levés anciens dans le port militaire de Toulon (RAP2009-049, RAP2009-084, RAP2009-130, RAP2009-177) ou au profit de la guerre des mines pour l'accès à Marseille (RAP2009-081) ;
- réalisé, avec le BSR *Chevreuil*, une campagne de carottage d'interface dans la rade de Toulon dans le cadre du contrat de baie en vue de la dépollution du site. Elle a été complétée par une campagne de carottage réalisée par le *Beautemps-Beaupré* pendant laquelle ont été produites 21 carottes avec le carottier Kullenberg et 18 carottes d'interface.



Mise en œuvre du carottier d'interface permettant l'extraction du sédiment sur une épaisseur de 1 m environ

## 6.4 Soutien aux politiques publiques maritimes et du littoral

### 6.4.1 Litto3D

Le programme national Litto3D, conduit par le SHOM et l'IGN (Institut Géographique National) vise à la production d'un modèle numérique altimétrique de référence continu terre-mer sur la frange littorale. Pour la partie maritime, une grande partie des levés seront réalisés avec un bathymètre laser aéroporté, qui nécessite des zones de calibration, levées en vedette par SMF.

L'activité du GOA au profit du projet s'est répartie entre :

- le levé de pastilles de calibration à Cap d'Agde (RAP 2009-174), aux Saintes-Maries-de-la-Mer (RAP2010-013), à Fort-de-France (RAP2010-004), Pointe-à-Pitre (RAP2011-014) et La Réunion (RAP2010-059) ;
- l'achèvement du traitement et de la rédaction des levés réalisés en 2007 à Canet-Plage (RAP2008-195), Toulon (RAP2008-205), Roscoff (RAP2009-018), Cherbourg (RAP2009-023), Saint-Tropez (RAP2009-085) et Giens (RAP2008-203) ;
- des travaux de géodésie et de marégraphie sur les îles de Juan de Nova et Europa (en rédaction), dans le canal du Mozambique ;
- des levés bathymétriques (RAP2010-097) dans le lagon de Mayotte pour compléter la couverture Litto3D dans des zones trop profondes pour être hydrographiées par bathymètre laser aéroporté.

### 6.4.2 Travaux aux îles Eparses au profit de l'AAMP

La présence du *Beautemps-Beaupré* dans le sud-ouest de l'océan Indien en 2010 a été mise à profit pour relever deux mouillages d'hydrophones enregistrant les sons des mammifères marins, au profit de l'AAMP (Agence des Aires Marines Protégées). Deux autres mouillages, qui n'avaient pu être remontés à cette occasion l'ont été en fin d'année par *La Curieuse*, avec la participation de personnel du GOA.

### 6.4.3 Projet EXTRAPLAC

EXTRAPLAC est un programme interministériel visant à recueillir l'information nécessaire pour étayer une revendication de l'extension des zones sous juridiction française au delà des limites de la zone économique exclusive (ZEE). Ces extensions vers la haute mer peuvent être revendiquées sur le plateau continental (fonds marins et sous-sol) adjacent aux côtes sous souveraineté. Des critères géologiques, morphologiques et géophysiques définissent ce plateau continental juridique.

Dans le cadre de la participation du SHOM à ce projet, des équipes du GOA ont participé, afin d'y assurer la collecte et le traitement d'informations bathymétriques, aux campagnes :

- SWIR08-MD170 (octobre 2008) et Discovery Ridge/CrozetPlac (février et mars 2010) à bord du RV *Marion Dufresne* au large des îles Marion et du Prince Edward (Afrique du Sud) et de l'archipel des Crozet, pour la préparation d'un dossier commun d'extension du plateau continental des îles australes françaises et de l'Afrique du Sud (RAP2009-024, RAP2010-088) ;
- WallisPlac, avec *L'Atalante*, en octobre 2010, au nord des îles Wallis (RAP2011-053).

## 6.5 Activités transverses

### 6.5.1 Amélioration des systèmes

Le projet CHATHDOC a pour vocation de fournir aux groupes les systèmes d'acquisition et de traitement dont ils ont besoin. La participation du GOA au projet a concerné principalement :

- les tests et études préalables à la mise en service de l'algorithme CUBE de décimation des sondes issues des SMF. La remise en cause de l'habitude de sélectionner les sondes les plus courtes, au profit de la méthode CUBE consistant à privilégier la solution statistiquement la plus juste a nécessité des évaluations poussées ; la méthode est désormais couramment employée par le GOA ;
- l'évaluation des SMF du *Pourquoi pas ?*, qui a nécessité plusieurs campagnes d'essais (RAP2008-194, RAP2010-032, RAP2011-003) avant d'aboutir à la mise en service des sondeurs (voir §5.2).

La campagne ESSCAR (RAP2010-095) conduite à l'été 2010 avec le *Beautemps-Beaupré* avait pour objectif d'améliorer les performances du carottier Kullenberg, en définissant de meilleurs réglages en fonction de la profondeur et de la nature du fond. La participation de personnels de l'Ifremer et du CNRS-INSU a permis de mutualiser les connaissances et les techniques mises en œuvre sur les navires de la flotte scientifique française.

#### 6.5.2 Participation au projet Bathyelli

Le projet Bathyelli (bathymétrie rapportée à l'ellipsoïde) a notamment pour but de réaliser un modèle du zéro hydrographique par rapport à l'ellipsoïde GRS80 (RGF93), de manière à pouvoir utiliser le positionnement vertical fourni par le GPS pour la réalisation des sondages.

Les groupes ont contribué au projet en réalisant sur quelques sites de référence des profils par vedette et bâtiment pour déterminer, par GPS cinématique cet écart. Le GOA a effectué plusieurs levés sous la direction précédente, dont certains ont été traités pendant la période objet de ce rapport : Nice (RAP2009-092), Saint-Tropez (RAP2009-189), Port-Vendres (RAP2008-075), Cherbourg (RAP2009-054), Roscoff (RAP2009-017), Le Conquet (RAP2009-077).

#### 6.5.3 Valorisation des transits

Tous les transits du *Beautemps-Beaupré*, mais également du *Pourquoi pas ?* depuis la mise en service de ses sondeurs, sont mis à profit pour enrichir la connaissance hydro-océanographique. Les routes sont choisies, temps permettant, pour ne pas repasser sur les précédents transits et accroître ainsi la couverture. Les sondeurs bathymétriques et de sédiments, le gravimètre, le magnétomètre et les courantomètres de coque sont systématiquement mis en œuvre, et des données océanographiques issues par exemple des tirs de sondes Sippican sont envoyées quotidiennement au centre de données Coriolis.

La documentation nautique est par ailleurs contrôlée lors des escales.

Les données recueillies font désormais l'objet d'une rédaction annuelle (RAP2008-180, RAP2008-201, RAP2009-022, RAP2009-058, RAP2011-011).

### 6.6 Campagnes au profit de la communauté scientifique

Pendant la période, l'Ifremer a fait valoir ses droits d'utilisation du *Beautemps-Beaupré* pour deux campagnes au profit du CNRS :

- OWEN 09, réalisée en 2009 au large des côtes omanaises afin d'étudier la frontière entre les plaques tectoniques de l'Arabie et de l'Inde localisée au niveau de la zone de

fracture d'Owen. Les travaux ont permis de cartographier la faille active, sur 800 km correspondant à la zone de fracture. La coordination avec la campagne FANINDIEN (voir §6.3.2) a permis d'optimiser les deux campagnes ;

- TANZAVALE a consisté, lors du transit du BHO de Mayotte vers Djibouti en 2010, à réaliser le levé bathymétrique de la prolongation sous-marine d'une vallée au large de la Tanzanie.

### 6.7 Secours maritime

Juin 2009 a malheureusement été marqué par les disparitions des Airbus des vols IY626 aux Comores (RAP2009-162) et AF447 au large du Brésil (RAP2010-033).

Du personnel GOA a participé à bord du *Pourquoi pas ?* aux opérations de recherche en Atlantique de début juin à fin août. Il était plus particulièrement chargé de l'exploitation des données bathymétriques et de leur mise en forme exploitable pour la mise en œuvre d'un système de recherche remorqué évoluant près du fond.

Fin juin, le *Beautemps-Beaupré*, alors en sondage dans le sud de la mer Rouge, a été envoyé vers les Comores. La détection et le positionnement de signaux des enregistreurs de vol par le BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses de l'aviation civile) pendant le transit a permis de préciser l'objectif de la mission, qui était de dresser une cartographie de la zone, où il n'existait aucune connaissance bathymétrique, afin de pouvoir déterminer quel type de robot sous-marin pourrait être mis en œuvre pour récupérer les enregistreurs. Le levé réalisé le jour de l'arrivée sur zone a été transmis en soirée à l'ambassadeur de France et aux autorités locales. Pendant la semaine qui a suivi, les signaux ont été repositionnés en utilisant un système du BEA installé dans le puits central du BHO, et un levé hydrographique de la zone ouest de l'île, où des débris de l'avion pouvaient se trouver, a été réalisé.

## 7. PERSPECTIVES

Le GOA utilise des porteurs modernes et bien équipés. Le parc d'équipements a par ailleurs été largement modernisé et uniformisé ces dernières années.

Des améliorations restent à apporter, mais sont déjà définies et prises en compte par le projet CHATDHOC. Les principales concernent :

- les gravimètres marins, dont les avaries régulières ces dernières années et les difficultés de plus en plus grandes pour y remédier ont montré qu'il était temps de les moderniser ; le financement est obtenu et l'opération prévue pour la fin 2011 ;
- les sonars latéraux des vedettes, dont l'étude du remplacement a permis de réfléchir à son intérêt tant pour la sédimentologie que par rapport au SMF dont les performances vont croissant.

L'évolution des systèmes devra anticiper et prendre en compte les besoins de stockage et de sauvegarde informatique sur les BHO et vedettes ainsi qu'à terre, chaque évolution (passage des SMF des vedettes au mode haute définition par exemple) ou remplacement par un système

plus performant s'accompagnant généralement d'une production plus importante de données.

Concernant le traitement, la mise en service de l'algorithme CUBE a été une avancée importante. Si le gain est difficilement évaluable en terme de temps de traitement, l'algorithme de sélection des sondes permet, tout en laissant la possibilité à l'hydrographe de sélectionner des sondes pertinentes, de garantir un choix objectif basé sur la qualité individuelle de chaque sonde. La prochaine amélioration consistera à pouvoir utiliser CUBE en multi-résolution dans des grandes gammes de profondeurs.

En matière de rédaction des levés, une étape supplémentaire vers le tout numérique a été franchie avec la fourniture sous forme de fichiers de toutes les fiches (géodésiques, d'observatoire de marée, ...) jusqu'alors rendues sur papier. La réflexion reste à mener pour faire évoluer les minutes et cartes renseignées, dont la mise en forme est souvent très chronophage. Le projet d'infrastructure géospatiale du SHOM (INFRAGEOS) devrait offrir à court terme des possibilités nouvelles d'accessibilité aux bases de données, de traitement de l'information et d'interopérabilité, qui amèneront, à l'issue d'une réflexion qui reste à approfondir, à faire évoluer les produits délivrés par les groupes et probablement même la procédure de contrôle.



Imprimerie du Service hydrographique et  
océanographique de la marine  
13 rue du Chatellier  
CS 92803  
29228 BREST CEDEX 2  
Décembre 2013  
Dépôt légal quatrième trimestre 2013  
Numéro d'éditeur : 2876

# SOMMAIRE

## Première partie

Biographie de l'IGA Jean Bourgoïn par B. FRACHON

Biographie de l'IGA Michel Le Gouïc par B. FRACHON

Éditorial par B. FRACHON

Généralisation de courbes de niveau en cartographie marine par E. SAUX et E. GUILBERT

De l'image satellite à la spatiocarte marine au SHOM - La télédétection satellitaire : un outil incontournable pour la mise à jour cartographique du littoral par J-P. TOURNAY et P. QUEMENEUR

Cartographie marine et informatique - Les systèmes informatiques pour la rédaction des cartes marines (papier et électronique) par E. LE GUEN et G. DUBOIS

Évolution des méthodes de production des cartes marines par O. CANN

Réalisation d'une infrastructure géospatiale au SHOM par C. TEXIER

S-100 et normes déclinées (S-101 en particulier) par J. POWELL et B. GREENSLADE

La toponymie maritime : traitement sur les cartes marines par J-L. BOUET-LEBOEUF

Plan de production des ENC 2011-2014 : méthodologie et critères par Y. KERAMOAL

Critères de composition du portefeuille de cartes marines papier (eaux étrangères, hors zone de responsabilité cartographique) par G. THEUILLON

La cartographie marine à l'ère numérique : de la normalisation à la co-production par G. BESSERO

Rénovation de la cartographie marine sur les côtes d'Afrique : une nouvelle dynamique par O. PARVILLERS

Deux siècles de cartographie des sédiments marins par T. GARLAN

Cartographie maritime pour l'AEM : de la carte papier aux services cartographiques en ligne par N. LEIDINGER

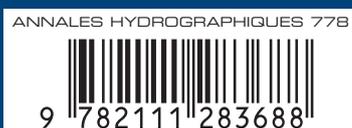
AML : la supériorité tactique fournie par l'information dans le domaine maritime par M. LE GLEAU

La e-navigation par A. ROUAULT et G. SCRIVE

Carte marine : 40 ans d'évolution de la carte nationale à la carte internationale numérique, une révolution par J-L. BOUET-LEBOEUF

## Deuxième partie

Groupe océanographique de l'Atlantique (1<sup>er</sup> septembre 2008 - 30 avril 2011) par l'ICA M. EVEN



ISBN 978-2-11-128368-8