A M H Y D R O



UNE HISTOIRE DE L'HYDROGRAPHIE FRANÇAISE

Tome I - Historique

Illustration de couverture : composition réalisée à partir de la photographie water-768745, image par Free-Photos de Pixabay et de la minute hydrographique ancienne 009_1_05_18_Cr_1938 du Shom : levé du Pilote français de 1838, secteur de l'Aberwrac'h

Illustration de quatrième de couverture et de la page de titre : logo de l'association Amhydro, inspiré de l'insigne de spécialité des officiers mariniers hydrographes. L'insigne comporte deux ancres, dont les cordages sont entrelacés pour former la lettre H, et un plomb de sonde.

UNE HISTOIRE DE L'HYDROGRAPHIE FRANÇAISE

A M H Y D R O

UNE HISTOIRE DE L'HYDROGRAPHIE FRANÇAISE



Tome I - Historique

Par Bernard Trevisan

2021

Préfaces de Laurent Kerléguer et André Comolet-Tirman

Première édition

Première édition - juillet 2021

ISBN 978-2-9578972-0-9

La version numérique de l'œuvre est consultable et téléchargeable librement sur le site de l'association Amhydro : https://amhydro.org/histoire/. Les informations permettant d'obtenir un exemplaire en impression à la demande figurent sur la même page internet.

Le texte original et les figures d'une histoire de l'hydrographie française © 2021 par Amhydro sont placés sous licence CC BY-NC-ND 4.0.



Attribution - pas d'utilisation commerciale - pas de modification

Les illustrations sont placées sous leurs licences respectives.

Préface de Laurent Kerléguer
ingénieur général de l'armement, directeur général du Shom

L'histoire de l'hydrographie qui nous est contée dans cette somme est particulièrement complète. L'hydrographie fait voyager dans l'espace c'est même souvent le moteur principal des femmes et des hommes qui s'engagent dans cette discipline. Cet ouvrage nous fait voyager dans le temps et permet de mesurer le chemin accompli.

Il est remarquablement documenté et aborde tous les aspects : les bases scientifiques, les outils, les méthodes, l'organisation, les Hommes… Il est en ce sens plus qu'une histoire des sciences et des techniques dans notre domaine particulier et fort justement nommé « Une histoire de l'hydrographie française ».

Hydrographe n'est pas un métier comme les autres. Il associe le goût de la découverte, le goût pour les sciences et les techniques, la rigueur indispensable à l'établissement des cartes et aussi la passion de la mer et d'aller en mer. Autant de facettes qui font de ce métier une vocation.

Alors que s'engage la décennie de l'organisation des nations unies sur les sciences de l'océan, observer et mesurer l'océan est un enjeu d'une grande actualité, tant nous sommes loin encore de disposer d'une description même parfois juste sommaire de ce qui occupe 70% de la surface de la planète. Or en ce 21ème siècle alors que l'économie maritime se développe (transport, énergie, pêche, ressources minérales…), que la mer apparaît à la fois comme une composante essentielle pour l'équilibre climatique de la planète mais aussi vulnérable et à protéger du réchauffement climatique et des développements non raisonnés, il est plus que jamais nécessaire de prolonger et d'accélérer l'œuvre de nos prédécesseurs illustres ou simplement soucieux de contribuer modestement à l'édification de la connaissance.

Les évolutions en cours à un rythme soutenu de la technologie, par exemple avec l'utilisation d'engins autonomes, permettront d'accélérer le rythme d'acquisition des connaissances. Les données numériques massives collectées (qui se mesurent en Tera-octets), les sondeurs multifaisceaux, les bathymètres laser, les satellites couramment utilisés aujourd'hui… ne doivent cependant pas nous leurrer : ils ne sont en réalité que la perpétuation avec des moyens de notre époque de l'esprit d'innovation, de recherche d'efficacité et de rigueur qui sont des marqueurs constants de notre communauté. Cela est d'autant plus essentiel qu'il s'agit à la fin de permettre à des gens de mers de mener leur activité en sécurité, en efficience et durablement.

Nul doute donc, parce qu'on connaît encore trop peu l'océan et parce qu'on lui reconnaît aujourd'hui un potentiel de richesse insondable que de belles pages de l'histoire de l'hydrographie sont encore à écrire. Merci à Bernard Trevisan avec le soutien de l'amicale des hydrographes de nous proposer ce point d'étape (quelques siècles tout de même !) qui met l'hydrographie à l'honneur.

Préface d'André Comolet-Tirman
ingénieur général de l'armement (2e S), ancien directeur du S.H.O.M.

Je me suis réjoui, voici une quarantaine d'années, de la création de l'amicale des hydrographes qu'avait vivement encouragée l'ingénieur général Jean Bourgoin, mon prédécesseur à la tête du Service hydrographique et océanographique de la Marine, et j'en conserve précieusement tous les bulletins annuels depuis l'origine.

Si Bernard Trevisan m'avait consulté avant de se lancer dans le vaste travail à la fois historique et technique qui nous est présenté aujourd'hui, j'aurais sûrement soulevé des objections. Peut-être même aurais-je cherché à l'en dissuader. Mais son introduction nous montre bien que son idée initiale était beaucoup plus modeste et que seule la réflexion menée avec quelques adhérents l'a progressivement amené, d'une part à donner de l'ampleur à ce projet, d'autre part à en assurer très largement lui-même la réalisation.

Je suis confondu de constater le volume de la documentation consultée, même si, jonglant avec l'informatique, il nous dit avoir pu faire beaucoup « de son fauteuil ».
Mais je suis impressionné aussi par le talent avec lequel il a traité un sujet où l'histoire et la technique sont étroitement imbriquées, ce qui amène à lutter en permanence contre le risque de redites, et ceci dans un langage simple accessible aux non-spécialistes.

La fantastique évolution des méthodes de levé hydrographique est parfaitement évoquée. La localisation par satellites commençait à peine quand j'étais encore en activité. Je me souviens de l'aspect imposant du récepteur de satellites Transit, et aussi d'une communication américaine, lors d'une assemblée générale de l'Union géodésique et géophysique internationale, qui avait provoqué la stupeur en affirmant que dans un avenir proche la montre bracelet du fantassin serait capable de lui donner sa position avec une grande précision. Cette localisation satellitaire a changé le travail de l'hydrographe, qui auparavant comportait nécessairement d'importants travaux à terre. Autre révolution, l'avènement du sondeur multifaisceaux permet d'envisager de remplacer l'image probabiliste du fond, parente de celle que donnent les sondages d'opinion, par une image certaine. En outre son couplage avec la localisation satellite permet de fractionner le levé d'une zone en combinant des passages effectués à des périodes différentes, ce qui était exclu auparavant, faute de certitude sur l'homogénéité des positions.

Mais l'évocation des procédés anciens a son charme et je suis reconnaissant à l'auteur de n'avoir pas oublié le plomb-poisson, ce qui m'a rappelé l'unique occasion que j'ai eue de pratiquer cette technique : c'était sur une vedette de la *Jeanne d'Arc*, devant l'île de Clipperton, survolé par de magnifiques oiseaux de mer qui guettaient les vestiges du casse-croûte réglementaire...

Plus sérieusement, je ne cache pas que ma reconnaissance pour l'auteur traduit le fait que la facette historique de son labeur m'a beaucoup appris. Merci à lui et à ses collaborateurs. J'espère que ce travail connaîtra une large diffusion et souhaite longue vie à l'Amhydro dont le champ initial n'a cessé de s'étendre.

Introduction

Président depuis de nombreuses années de l'amicale des hydrographes (AMHYDRO), association qui regroupe des hommes et des femmes formés à l'hydrographie par le Shom[1], j'ai réalisé un jour qu'à ce titre je pouvais être sollicité pour répondre à des questions concernant des aspects de l'hydrographie que je ne dominais pas forcément. Je me devais donc d'approfondir mes connaissances, celles-ci se limitant à ce que j'avais appris pendant ma formation et les quelques années où j'avais exercé sur le terrain. Je n'avais en particulier que de très vagues notions de l'histoire de ce métier. En cherchant à me documenter, j'ai constaté qu'il n'existait pas d'ouvrage général sur l'hydrographie. Il me fallait donc rassembler des documents épars sur le sujet.

J'ai commencé à parcourir les bulletins annuels de notre association. J'y ai trouvé des informations intéressantes, éparpillées çà et là dans des articles écrits par des adhérents ou provenant d'autres sources, et il m'a semblé utile de constituer un index de ces articles. Nous étions en mars 2017 et trente-sept bulletins annuels avaient été publiés depuis la création de l'association.

En constituant cet index, ce qui m'a fait parcourir l'intégralité des bulletins, j'ai retrouvé le projet d'un ancien président de l'association, Jean-Serge Jupas, qui avait lancé en 1997 l'idée de réaliser une histoire des officiers mariniers hydrographes[2]. Cette spécialité de la marine, créée en 1934, devait remplacer les ingénieurs hydrographes dans l'exécution des travaux ordinaires sur le terrain. Notre ancien président avait rédigé cette histoire en quatre chapitres, publiés dans les bulletins n°18 (1998) à 21 (2001). Il souhaitait les rassembler dans une publication, à l'occasion du vingtième anniversaire de l'association en 2001, en y joignant une seconde partie constituée des souvenirs de missions disséminés dans les bulletins. Il n'a pas pu mener ce dernier projet a son terme.

Lors de l'assemblée générale du 13 mai 2017, j'ai proposé de le reprendre en vue du tricentenaire du Dépôt des cartes et plans de la marine, en 2020. L'histoire des OMH[3] serait étendue à 2018 ou 2019 et une partie de vulgarisation des techniques mises en oeuvre aux différentes époques serait ajoutée. Pour cela, l'association cherchait un « directeur de publication » pour prendre en charge le projet, ainsi que des rédacteurs et des relecteurs.

Un candidat s'est proposé pour le poste de directeur de publication : Loïc Penven, ancien président de l'association. Après avoir pris connaissance des chapitres publiés dans le bulletin et des histoires des ingénieurs hydrographes et du Service Hydrographique (rédigées par les ingénieurs Le Guisquet pour la période 1720-1789, Rollet de l'Isle pour la période 1789-1914 et Covillault pour la période 1914-1970), Loïc Penven a présenté à la réunion plénière de bureau d'octobre 2017 les voies qu'il avait envisagées :

- ajouter aux quatre chapitres de l'histoire des OMH, allant jusqu'à 2000, un cinquième chapitre permettant d'aller jusqu'à 2020 - facile à faire, mais risque de résultat indigeste et décousu, avec beaucoup de redites,

- compiler les différents textes disponibles pour enrichir le canevas original qu'avait imaginé Jean-Serge Jupas - résultat intéressant car bien documenté mais les chapitres n'étaient pas prévus pour cela : il s'articulaient mal avec l'histoire prise dans son ensemble,

- utiliser les informations disponibles, en particulier dans les préfaces de chaque chapitre, rédigées par les directeurs successifs du Shom, pour produire un ouvrage plus général sur l'hydrographie et sur son personnel militaire.

C'est cette dernière voie que privilégiait le direc-

1 Nom actuel du Service hydrographique et océanographique de la marine, successeur du Dépôt des cartes et plans de la marine.
2 L'association Amhydro n'était alors ouverte qu'aux anciens officiers mariniers hydrographes de la marine.
3 Abréviation usuelle pour désigner les officiers mariniers hydrographes.

teur de publication, avec le plan suivant, à finaliser lors de l'assemblée générale 2018 :

- les origines de l'hydrographie française,
- l'évolution des moyens, des techniques et des méthodes,
- les personnels,
- les missions,
- les souvenirs de missions,
- l'annuaire des personnels.

Un tel ouvrage ne pouvait être qu'une oeuvre collective ; il fallait en effet réunir des spécialistes de chaque discipline pour rédiger les articles techniques et un comité de lecture pour mettre en forme et en cohérence les textes rédigés par les différents auteurs. Pour cela, nous devions recruter ces ressources au plus vite, afin de disposer d'un premier jet de l'ouvrage pour l'assemblée générale de 2019, tenue en général en avril ou en mai.

La réunion plénière de bureau de novembre 2018 ne put que constater l'absence de réponse à l'appel lancé. L'ambition fut alors revue à la baisse et le projet limité à la rédaction d'un numéro hors-série du bulletin, produit à l'occasion du tricentenaire en 2020 et constitué essentiellement par la reprise des meilleurs articles parus dans les bulletins de l'association. Comme nous souhaitions une diffusion large de ce hors-série, il fallait envisager une distribution payante pour en financer la fabrication. L'ouvrage devrait sortir un peu avant les célébrations du tricentenaire du Shom afin de contribuer à créer une synergie.

Il devait être possible de disposer rapidement d'une maquette en sélectionnant des articles et en faisant un copier-coller. Cette maquette pourrait ensuite être présentée à des éditeurs potentiels ou bien aux futurs lecteurs pour un financement participatif. Nous aurions ainsi une idée de l'intérêt éventuel suscité par cette publication.

Or le premier éditeur contacté, en décembre 2018, nous a conseillé de viser plutôt une diffusion électronique, la viabilité financière d'une oeuvre imprimée étant de nos jours difficile à atteindre. Nous avons suivi ce conseil et, n'ayant plus de frais de fabrication, nous avons décidé de mettre librement à la disposition du public, sur notre site internet, les chapitres de cette oeuvre au fur et à mesure de leur disponibilité[4]. Dans cette optique, la structure de l'ouvrage était revue de la manière suivante, avec le titre provisoire *une histoire de l'hydrographie française* :

Première partie : les organisations et les hommes

- chapitre 1 : qu'est-ce que l'hydrographie ?
- chapitre 2 : l'hydrographie au moyen-âge
- chapitre 3 : naissance de l'hydrographie française[5]
- chapitre 4 : hydrographie d'état
- chapitre 5 : création du service hydrographique
- chapitre 6 : ingénieurs hydrographes
- chapitre 7 : aides, adjoints et officiers-mariniers hydrographes
- chapitre 8 : les travaux
- chapitre 9 : l'hydrographie en dehors du Shom (hydrographie fluviale, portuaire et de chantier)

Deuxième partie : les techniques

- chapitre 1 : détermination du trait de côte et des dangers
- chapitre 2 : localisation en mer
- chapitre 3 : sondage
- chapitre 4 : télédétection
- chapitre 5 : marée
- chapitre 6 : océanographie
- chapitre 7 : exploitation des mesures
- chapitre 8 : cartes marines

Je me suis alors mis, seul, à la rédaction de l'ouvrage, la relecture étant assurée par Loïc Penven et Jean-Michel Nicolas, notre trésorier. Je pouvais m'appuyer sur différents articles que j'avais rédigés pour le bulletin depuis 2017 au fil de mes recherches et qui présentaient des aspects particuliers de l'histoire de l'hydrographie. Ainsi l'article *L'hydrographie est-elle née dans les*

4 Cette idée est reprise de l'ouvrage *History of cartography*, librement consultable par chapitre sur le site de *University of Chicago Press*.

5 Les chapitres 3 à 6 devaient couvrir chacun un siècle, du XVIe au XIXe ; les chapitres 7 et 8 devaient couvrir le XXe siècle et le début du XXIe.

Vosges ?, de 2018, est devenu, légèrement retravaillé, le chapitre 1 - *qu'est-ce l'hydrographie ?*.

Je pensais naïvement que je pourrais mettre beaucoup d'informations dans ces chapitres. En réalité, j'ai plus travaillé avec la gomme qu'avec le crayon. Dans certains cas c'était insuffisant et, pour répondre aux remarques de mes relecteurs, j'ai placé en annexe des parties qui alourdissaient le texte mais me semblaient ne pas devoir être rejetées. La période 1901-2020, prévue en deux chapitres, en a finalement nécessité trois. Il est apparu vers la fin du travail que beaucoup de sujets techniques avaient été abordés et qu'il était préférable de consacrer la deuxième partie aux souvenirs de mission, qui ont un côté plus humain, plutôt que de détailler des aspects techniques que l'on peut trouver dans d'autres ouvrages. Peut-être ajouterons-nous par la suite d'autres parties à cette « histoire », par exemple sur la flotte hydrographique française ?

Mon souhait était de rendre accessible cette première partie au plus grand nombre, sans nécessiter de connaissances particulières. Aussi n'y a-t-il pas de formule mathématique dans le texte[6], mais des explications en français qui, je l'espère, sont assez claires.

Les chapitres ont été rédigés l'un après l'autre et des annexes ont vu le jour, le tout mis en ligne selon le calendrier suivant, assez éloigné du calendrier théorique de 1 à 2 mois par chapitre :

- mai 2019 : chapitres 1 - qu'est-ce que l'hydrographie ?, 2 - la naissance de l'hydrographie et 3 - les débuts de l'hydrographie française,
- juillet 2019 : chapitre 4 - vers l'hydrographie moderne,
- août 2019 : chapitre 5 - la conquête de la précision,
- décembre 2019 : annexes A1 - les différents noms du service hydrographique, A2 - les responsables du service hydrographique et A3 - le corps des ingénieurs hydrographes,
- janvier 2020 : chapitre 6 - gloire et désillusions,
- juin 2020 : chapitre 7 - le rebond,
- août 2020 : annexe A4 - la formation des officiers mariniers hydrographes,
- novembre 2020 : chapitres 8 - évolution des moyens depuis 1945 et 9 - un nouveau métier,
- mars 2021 : chapitre 10 - l'hydrographie d'aménagement et de travaux.

La liste des ressources consultées pour la rédaction de chaque chapitre a été placée à la fin du chapitre concerné.

La rédaction de l'ouvrage a été facilitée par la disponibilité de nombreuses ressources en ligne. Le site gallica.bnf.fr, par exemple, donne accès à des millions de documents numérisés par la Bibliothèque Nationale de France et par ses partenaires. On peut y consulter en particulier un grand nombre de cartes marines anciennes provenant des archives du Service hydrographique. De nombreux autres sites permettent de consulter librement d'anciens documents numérisés. L'essentiel du travail de recherche a donc pu se faire à partir de mon fauteuil.

Les débuts de l'hydrographie, correspondant au chapitre 2, ont fait l'objet de beaucoup d'articles et de livres. Cependant, l'origine du trait de côte méditerranéen recopié sur les premières cartes marines, désignées sous le nom de portulans ou de cartes portulanes, est inconnue. Beaucoup de théories, souvent séduisantes, circulent à ce sujet.

Pour les débuts de l'hydrographie française au XVIe siècle, la documentation est moins fournie, les ouvrages de l'abbé Anthiaume sur les Normands constituant un point d'entrée utile.

Les premiers travaux des ingénieurs de Colbert, qui ont conduit à la publication du Neptune français, sont décrits dans *Les établissements scientifiques de l'ancienne marine* de Didier Neuville, un ouvrage de 1882 malheureusement inachevé.

L'historien de la marine Charles de la Roncière a publié de son côté en 1916 un article de vingt-trois pages sur les origines du Service hydrographique de la marine.

La période commençant à la création du Dépôt des cartes et plans de la marine en 1720 est bien documentée jusqu'en 1970 par les ingénieurs cités au début de cette introduction : Le Guisquet, Rollet de l'Isle et Covillault. Il convient d'y ajouter le travail du capitaine de vaisseau Leps, attaché aux ar-

6 Je suis d'ailleurs loin de maîtriser le langage mathématique et beaucoup d'erreurs auraient pu s'y glisser à mon insu. Le lecteur intéressé par ces aspects peut consulter avec profit le manuel d'hydrographie - publication C-13 de l'Organisation Hydrographique Internationale, librement accessible sur le site internet de l'organisation.

chives du Dépôt de 1856 à 1873 et auteur d'une *Notice succincte et chronologique sur le dépôt des cartes et plans de la marine, ses diverses constitutions, ses attributions, etc.* datée de 1873 et couvrant la période 1720-1870[7].

Pour la période plus récente, on peut consulter le numéro spécial des annales hydrographiques de 1998. Aucun ouvrage de synthèse n'existe à ma connaissance sur les premières années du XXIe siècle, où l'essentiel est constitué par des articles de revues.

De nombreuses personnes ont contribué à la réalisation de ce projet et je remercie beaucoup pour cela :

- les adhérents d'Amhydro qui ont témoigné de leur expérience dans l'un ou l'autre numéro du bulletin de l'association, et qui ont alimenté la photothèque de l'association,

- les personnes qui ont répondu à mes questions, parfois d'une manière qui allait bien au-delà de mes attentes, m'ont fourni de la documentation ou m'ont donné l'autorisation d'utiliser leurs photographies. Par ordre alphabétique :

  Vital Artus, ancien OMH puis ancien hydrographe sur la Seine,

  Pascal Bayle, ancien OMH, hydrographe à La Réunion,

  Gilles Bessero, ancien directeur du Shom,

  Daniel Blondet, reconstitueur historique,

  Eric Bongiovanni, ancien OMH, ancien formateur à l'école du Shom,

  Pierre Bosser, secrétaire de l'Association francophone d'hydrographie,

  Goulven Brient, ancien OMH, gérant d'Action Hydro Topo,

  Noël Cloatre, ancien OMH,

  André Comolet-Tirman, ancien directeur du Shom,

  Isabelle Knab-Delumeau, historienne,

  Bernard Flacelière, vice-président de l'Association francophone de topographie,

  Bruno Frachon, ancien directeur du Shom,

  Nathan Godet, chercheur,

  Céline Khantache, de la Compagnie nationale du Rhône,

  Claude Lambin, ancien aide-hydrographe

  Michel Marchand, ancien aide-hydrographe,

  Jean-Michel Nicolas, ancien OMH-programmeur,

  Pierre Nicolas, ancien OMH,

  Patrick Palus, président de l'Association des personnels de signalisation maritime, et les membres de cette association, en particulier Dominique Abadie, Jean-Pierre Lalande et Jean-François Lévy, qui ont répondu très largement à mes interrogations,

  Pierre Péjus, ancien ingénieur hydrographe de réserve,

  Loïc Penven, ancien OMH,

  Christine Touch, d'Electricité de France.

- le Shom, et en particulier Didier Bénéteau, Claire Favot, Thierry Gendrier, Hélène Lecornu, Nicolas Pouvreau et Nicolas Weber, pour la fourniture d'informations ou de documentation, l'autorisation d'accéder aux archives du service et la permission d'utiliser des photographies de sa collection et des illustrations de ses manuels,

- l'Organisation Hydrographique Internationale, et en particulier Alberto P. Costa-Neves et Yves Guillam, pour la fourniture d'informations et l'autorisation de reproduire du matériel de la Revue hydrographique internationale,

- le service des archives du Sénat et celui de l'Assemblée Nationale, pour la fourniture de documents,

- les relecteurs, Jean-Michel Nicolas et Loïc Penven qui, en plus du travail ingrat de détection des défauts du texte, ont orienté sa structuration et proposé des idées d'amélioration.

J'espère n'avoir oublié aucun contributeur. Si c'était le cas, j'en serais désolé.

7 Malheureusement non publiée ni numérisée.

J'espère que le lecteur trouvera un intérêt à parcourir les chapitres qui suivent. Pour ma part, ces recherches ont été source de plaisirs : plaisir d'apprendre, d'enquêter, en tirant des fils, et parfois d'être amusé par un propos inattendu. Voici, à titre d'illustration, ce qu'écrivait Jacques Ozanam, auteur de l'ouvrage *Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer, avec toutes sortes d'instruments et sans instruments* (1693) au sujet de la toponymie : « Il est bon, lorsque l'on arrive sur une côte, avec des ordres de la lever[8], d'assembler tous les pêcheurs, pour savoir d'eux le nom des rochers, et les lieux où [ils] sont, et s'y faire mener, parce que ces gens-là les connaissent [tous], et ont le droit de leur donner des noms, qui sont reçus ensuite par tout le monde. On a de la peine à tirer raison de ces gens grossiers ; mais en ne se rebutant point, et leur demandant cinq ou six fois la même chose, on les entend, ou du moins on les devine. »

Trois cents ans plus tard, le *Manuel d'hydrographie* du Service central hydrographique (1967) utilise une formulation bien plus édulcorée : « Les autres [noms], en particulier ceux des petites pointes, des baies, des bancs, hauts-fonds, … doivent être demandés aux habitants ; il faut pour cela un interprète sachant parler et écrire la langue du pays, et de la patience ; on ne se contentera pas du premier renseignement obtenu, qui doit être vérifié et contrôlé par d'autres renseignements. »

Bernard Trevisan

Le Relecq-Kerhuon, le 6 avril 2021

8 Faire un levé (on lit parfois un *lever* ou une *levée*), c'est prendre les mesures d'une portion de territoire (en faire un *relevé*) pour pouvoir ensuite en dessiner une représentation, réduite mais fidèle, sur un plan.

1 - qu'est-ce que l'hydrographie ?

Le mot hydrographie apparaît en France au début du XVIe siècle et à l'étranger à partir du milieu du XVIe siècle. Sa signification varie selon les auteurs et recouvre une étendue qui va de la description de l'eau à la navigation dans tous ses aspects, en passant par la composition des cartes marines. A sa naissance sœur de la géographie, l'hydrographie en est aujourd'hui la fille, avec un sens général de description des eaux du globe et un sens plus spécifique lié aux cartes marines.

L'hydrographie c'est, selon l'étymologie, la description de l'eau, ou des eaux. Cette description a été faite en particulier à l'usage des navigateurs, et ce probablement dès les premières navigations. Il faut cependant attendre le moyen-âge pour trouver des traces certaines de l'existence de documents hydrographiques : les portulans et les cartes marines, dont des exemplaires sont parvenus jusqu'à nous.

Les portulans sont des recueils d'instructions nautiques. Un des plus anciens portulans conservés est *Lo compasso de navigare* publié en 1296. Les anciennes cartes marines, souvent nommées par les historiens cartes-portulans ou même portulans, représentent en deux dimensions le tracé de la côte, les îles, les ports et les dangers. La plus ancienne carte marine conservée est la carte pisane, datée approximativement de 1290.

Le mot hydrographie, qui s'applique à l'activité de production de ces documents, n'apparaît, semble-t-il, que quelques siècles plus tard.

Les origines du mot

La légende dieppoise

Les *mémoires chronologiques pour servir à l'histoire de Dieppe et à celle de la navigation françoise* sont publiées en 1785. Cet ouvrage, rédigé par J. Antoine Samson Desmarquets, est divisé en deux tomes ou parties : une partie chronologique, allant des origines de la ville jusqu'à 1753, et une partie thématique dont le premier sujet est l'hydrographie. Voici ce qu'en dit l'auteur :

« Le premier qui ait cultivé cette science avec succès, et qui lui ait donné les principes qui l'ont fait parvenir au point de perfection où elle est aujourd'hui, c'est Descaliers. Ce grand homme né dans Dieppe, vers 1440, était doué de ce génie qui a la force de lever le voile dont la nature se couvre pour cacher ses secrets. Il fut le premier qui connut l'absolue nécessité de la rondeur de la terre et de l'existence d'Antipodes. Ce ne fut même que sur la supposition de cette vérité, qu'il posa ses principes d'hydrographie, au moyen de la découverte que l'on avait faite alors de la boussole. »

Selon l'auteur, Descaliers « devint le meilleur astronome de son temps. Il composa une sphère céleste et une sphère terrestre, et y désigna les côtes d'Asie, à peu de choses près telles qu'on les a découvertes depuis. »

Descaliers forma deux jeunes gens : le père Prescot et le capitaine Cousin. Ce dernier s'était distingué en capturant des vaisseaux anglais. Il reçut le commandement d'un vaisseau de commerce et la mission de se rendre aux côtes de Congo et d'Adra pour y échanger ses marchandises.

« Cousin partit du port de Dieppe dans le commencement de l'année 1488. Ce Capitaine est le premier de l'univers qui ait su, d'après les leçons de Descaliers, prendre hauteur au milieu des mers : aussi ne serra-t-il plus les côtes, comme avaient fait ses prédécesseurs. Dès qu'il fut sorti de la Manche, il s'élança dans l'Océan, et se trouva arrêté au bout de deux mois par une terre inconnue, où il signala l'embouchure d'un grand Fleuve, qu'il nomma Maragnon, et que depuis on a nommé le Fleuve des Amazones. Cousin, sur la hauteur prise de cette terre, comprit qu'il fallait, pour gagner le dessus de la côte d'Adra, faire route vers le Pôle du Midi, en courant sur l'Est ; à ce moyen il fit le premier la découverte de la pointe d'Afrique : il donna le nom des Aiguilles, à un banc qu'il y observa. Ce jeune Capitaine ayant pris note des lieux et de leur position, revint aux côtes de Congo et d'Adra, où il fit des échanges de ses marchandises, et arriva à Dieppe dans le courant de 1489. »

Les armateurs de Dieppe, plaçant leurs intérêts au-dessus de tout, auraient gardé secrètes les découvertes de Cousin « ce qui leur était facile alors, puisque le gouvernement n'exigeait ni déclaration, ni rapport des endroits où ils allaient, ni de ceux dont ils revenaient. »

« Pour profiter de la possibilité de pénétrer aux grandes Indes, les Négociants donnèrent à Cousin le commandement de trois navires chargés de marchandises et bien armés. Descaliers assura ce Capitaine du succès de cette entreprise, s'il faisait attention aux observations qu'il lui laissait par écrit, et à la vraie position de l'Inde qu'il lui donnait. Cousin s'était trop bien trouvé de ses leçons, pour ne pas s'y conformer : ce Marin tint le milieu des mers entre l'Afrique, et l'Amérique qu'il avait découverte, tourna le Cap d'Afrique, qu'il avait nommé des Aiguilles, et que les Portugais nommèrent le Cap de Bonne-Espérance, et toucha aux grandes Indes, où il fit les échanges les plus avantageux. Il revint à Dieppe environ deux ans après son départ. »

Par la suite, Cousin ayant attribué à Descaliers la gloire de ces découvertes, les marins de Dieppe auraient supplié ce dernier de leur apprendre la science hydrographique. C'est ainsi que Dieppe serait devenue le berceau de l'hydrographie et que Descaliers en aurait été le père.

Les prétendues découvertes du capitaine Cousin sont aujourd'hui réfutées et le père Desceliers, dont on connaît des cartes marines datées de 1546 à 1553, est vraisemblablement né bien après 1440. Quand aux premiers témoignages de la prise de hauteur au milieu des mers, ils proviennent des Portugais et datent de 1456 et 1462 d'après Luís de Albuquerque.

On remarque que dans ce texte l'hydrographie est identifiée à la science de la navigation en haute mer (le problème du sens du mot hydrographie est abordé dans la seconde partie du chapitre). Le titre de « père de l'hydrographie française » qui a été attribué par la suite à Pierre Desceliers se rapporte sans doute plus à la science nautique qu'à l'hydrographie en tant que description des eaux.

Premières apparitions du mot hydrographie dans la littérature française

Les dictionnaires étymologiques, par exemple le *dictionnaire historique de la langue française*, 1ère édition et le *complément au dictionnaire de l'ancienne langue française du IXe siècle au XVe siècle* (1891-1902), indiquent que le mot « hydrographie » date de 1551 (chez Oronce Fine) et que le mot « hydrographe » date de 1548 (chez Antoine Mizauld).

Un article sur l'astrométéorologie de la Renaissance, publié sur le blog Gallica (BnF) indique qu' « Antoine Mizauld était un des médecins-astrologues de Marguerite de Valois, la future Reine Margot. Ambroise Paré l'a qualifié d'homme de grande recherche et d'érudition. Pendant ses études, il a été le condisciple d'Oronce Fine, pour lequel François Ier a créé la première chaire de mathématiques au Collège Royal. Outre ses écrits météorologiques, Antoine Mizauld a publié des traités de médecine et d'astrologie. »

En 1548 il publie le *Mirouer de l'air* dans lequel il écrit, page 77 : « Reste maintenant tout à loisir brièvement expédier les vents desquels anciennement se sont aidés, et aujourd'hui s'aident les Nautoniers et Patrons de galères : selon ce qu'en avons lu, vu et ouï, tant de ceux qui les deux mers (Océane et Méditerranée) journellement naviguent, et nouvelles terres et îles découvrent, qu'aussi des Hydrographes, c'est à dire de ceux qui cartes marines et livres pour navigations, avec la position des vents et collation du monde inférieur avec le ciel, écrivent et composent. »

Oronce Fine est mathématicien, astronome et cartographe. Il publie en 1551 *La sphère du monde, proprement dite Cosmographie, composée nouvellement en françois, et divisée en cinq livres, comprenant la première partie de l'astronomie, et les principes universels de la géographie et hydrographie*. Dans l'introduction destinée au roi Henri II, Oronce Fine indique que l'hydrographie concerne « le fait de la marine ». L'hydrographie est abordée dans le livre cinquième *touchant les principes de la Géographie et Hydrographie*. Les principes et documents universels de la géographie et hydrographie concernent « la description et situation des lieux terrestres et maritimes, leurs longitudes, latitudes et distances itinéraires, la distinction des climats et des vents, avec l'artifice de réduire toute la terre, ou partie d'icelle en plate forme convenable, correspondant à la figure sphérique ». Dans ce livre l'hydrographie est traitée au chapitre VIII intitulé *de la distinction des vents, selon les hydrographes et de la vraie composition des cartes que l'on appelle marines*. Oronce Fine y décrit d'abord les vents selon l'art et l'usage des hydrographes et mariniers, tant pour l'usage de naviguer que pour la composition des cartes marines. Puis il indique comment tracer les 32 vents avant de nous laisser sur notre faim en clôturant le chapitre par « puis observer le reste selon l'art et l'usage des hydrographes ».

Cet ouvrage de 1551 a été précédé d'un manuscrit de 1549 portant le titre *La sphère du monde, proprement dite Cosmographie, contenant la première partie de l'astronomie et les principes universels de la géographie et hydrographie :*

composée nouvellement en françois. Les deux ouvrages présentent quelques différences de rédaction. L'introduction de 1549 présente l'hydrographie comme « l'art de la marine ». D'après les dictionnaires de moyen français, le mot « marine » a d'abord eu le sens « dans ou proche de la mer » (par exemple : bord de mer) avant de prendre d'autres sens, en particulier fin XIVe siècle le sens de « navigation en mer ». Dans son *dictionnaire mathématique* de 1691 Jacques Ozanam écrit : « la navigation, ou la marine, … est la manière de mener un vaisseau sur les eaux ».

Le manuscrit d'Oronce Fine de 1549 est la traduction en français d'une de ses œuvres publiée en 1542 en latin sous le titre *De Mundi sphaera, siue Cosmographia, primave Astronomiae parte, Libri V : Inaudita methodo ab authore renouati, propriisque tum commentariis & figuris, tum demonstrationibus & tabulis recens illustrati*, ouvrage lui-même tiré du *Prothomatesis* latin qu'Oronce Fine a publié en 1532. Dans ces versions latines Oronce Fine indique comment tracer les 32 vents (c'est à dire les 32 directions) sous la forme habituelle du marteloire, alors que dans les versions françaises il présente une méthode de tracé des vents supposée prendre en compte la déformation apportée par les cartes marines.

Oronce Fine est par ailleurs l'auteur d'un manuscrit de 1543 intitulé *l'art et manière de trouver certainement la longitude ou différence longitudinale de tous lieux proposés sur la terre : par le cours et mouvement de la lune, et autrement que par les éclipses d'icelle en tout temps que l'on voudra*. L'ouvrage commence par une introduction pour le roi François Ier : « Entre les choses plus désirées des géographes et navigateurs (très humain et redouté Prince) et qui leur sont plus nécessaires et requises est la connaissance de la longitude ou différence longitudinale des lieux proposés tant sur la terre ferme que des îles de la mer. Pour ce que sans la vraie longitude et latitude desdits lieux il est impossible savoir leur situation et distance : et conséquemment faire aucune carte géographique ou hydrographique qui soit bonne et valable soit des terres fermes ou des îles nouvellement trouvées et découvertes par la diligente navigation des modernes et récents hydrographes. » Dans ses ouvrages publiés en latin en 1532 et 1542 Oronce Fine utilise plusieurs fois l'adjectif *modernus* (moderne / récent / actuel) pour qualifier les hydrographes.

Cette exploration littéraire permet de faire reculer l'apparition des mots hydrographe et hydrographie, sous leur forme latine, à 1532, voire 1531 si on examine la légende de la mappemonde dessinée cette année là par Oronce Fine « d'après les renseignements les plus récents des géographes et des hydrographes ». Il existe toutefois un document plus ancien qui mentionne le mot hydrographe : une autre carte, produite par le Gymnase Vosgien.

Le Gymnase Vosgien

Le Gymnase Vosgien est une association d'hommes de lettres et de sciences créée à Saint Dié, dans les Vosges, au début du XVIe siècle. Cette association s'est constituée à l'initiative de Gauthier Lud, chapelain du Duc de Lorraine René II d'Anjou. Lud avait installé un atelier de typographie à Saint Dié et il avait le projet d'imprimer une *Géographie* de Ptolémée enrichie des récentes découvertes effectuées par les Portugais et les Espagnols et relatées par Amerigo Vespucci.

Pour mener à bien son projet, Lud s'entoura de plusieurs personnes à partir de 1505 : Martin Waldseemüller (ou Waltzemüller), cartographe allemand, Jean Basin, latiniste et poète, et Nicolas Lud, neveu de Gauthier. Le dernier arrivé, en 1507, était Mathias Ringmann, helléniste, poète et auteur en 1505 d'une version latine de la relation des trois premiers voyages d'Amerigo Vespucci.

Pour une raison qui n'est pas clairement établie, le Gymnase Vosgien décida de mettre de côté la préparation de la *Géographie* et d'en publier au plus tôt une version abrégée qui contiendrait une introduction à la cosmographie, les quatre lettres de Vespucci relatant chacune un de ses voyages, ainsi qu'une carte (et peut-être une seconde carte à découper pour constituer un globe.) Cet ouvrage, la *Cosmographiae Introductio*, fit l'objet de quatre éditions : deux du 25 avril 1507 et deux du 29 août 1507. Les différences entre les éditions provenaient essentiellement des dédicaces, signées Waldseemüller, Ringmann ou Gymnase Vosgien.

La *Cosmographiae Introductio* a été rendue célèbre car elle mentionne pour la première fois le nom d'Amérique. Ce nom y est attribué par les auteurs au nouveau monde révélé par les écrits d'Amerigo Vespucci, et qui correspond aujourd'hui à l'Amérique du Sud. Christophe Colomb était alors supposé n'avoir atteint *que* l'Asie, par la route directe.

Pour dessiner sa carte, Waldseemüller disposait d'une copie de carte nautique portugaise fournie par l'entremise du Duc René II. Peut être s'agissait-il du planisphère de Caverio (vers 1504-1505) ? Bien que la carte dessinée par Waldseemüller ne soit pas une carte marine, sa présentation dans l'ouvrage indique que « chose à ne pas ignorer, nous avons marqué par des images de croix les hauts-fonds des rivages maritimes où l'on redoute les naufrages (mais en rejetant cette perspective !) ».



1 - planisphère de Caverio - partie gauche (vers 1504-1505) qui a pu servir de modèle à Martin Waldseemüller /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote GE SH ARCH-1

Le projet de nouvelle édition de la *Géographie* de Ptolémée fut abandonné par la suite, peut-être en conséquence de la mort du Duc de Lorraine fin 1508 et de problèmes financiers.

Tout ce qui avait été préparé en vue de l'édition fut cédé en 1511 à deux avocats Strasbourgeois, Jacques Oessler et Georges Uebelin. Les deux hommes firent imprimer l'ouvrage en mars 1513 sous le titre *Claudii Ptolemei viri Alexandrini. Mathematicae disciplinae Philosophi doctissimi Geographiae opus novissima traductione e Graecorum archetypis castigatissime pressum : caeteris ante lucubratorum multo praestantius.*

Dans l'ouvrage imprimé, toute référence aux véritables auteurs a disparu, de même que le nom *America*. L'ouvrage est divisé en deux parties : la première contient la géographie ancienne selon Ptolémée, avec texte et cartes. La seconde, la géographie nouvelle, avec cartes et tables des noms.

La première des nouvelles cartes est une carte marine intitulée *Orbis Typus Universalis iuxta Hydrographorum Traditionem* (carte du monde suivant l'enseignement des hydrographes). La représentation qu'elle fait des récentes découvertes est très proche de la carte de Caverio. Dans le catalogue des nouvelles cartes elle est présentée comme *Hydrographia / siue Charta marina : continens typum Orbis uniuersalem iuxta Hydrographorum traditionem* (hydrographie, également carte marine ...) et dans la courte présentation *Ad Lectorem* de l'ouvrage : « la carte



2 - Orbis Typus Universalis iuxta Hydrographorum Traditionem - édition de 1513
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote GE DD 1010 vue 86

marine, ou l'hydrographique comme on l'appelle, établie d'après les plus authentiques voyages faits par un amiral… ». Le mot hydrographie apparaît également en tête de l'index de la première partie où il est question d'explorations géographiques et hydrographiques. C'est donc dans cet ouvrage diffusé en 1513 mais rédigé à partir de 1506 que l'on trouve semble-t-il pour la première fois le mot Hydrographie.

Cependant en 1893 monsieur Henry Stevens acheta aux enchères un exemplaire incomplet de l'ouvrage de 1513 avec une seule carte, l'*Orbis Typus*… Quelques années plus tard il se rendit compte que cette carte était différente de la carte qui accompagnait ordinairement l'édition de 1513 et qu'elle comportait en particulier la mention *America* en Amérique du Sud. Cette carte, très étudiée (voir en particulier *the first delineation of the new world and the first use of the name america on a printed map* de Henry Stevens, 1928), a été datée de 1506 ou 1507, c'est à dire d'avant la *Cosmographiae Introductio*, et est à ce jour le plus ancien document connu contenant le nom *America*, ainsi que le mot hydrographe.

Cette carte serait le fruit d'un premier essai d'impression de l'atelier de Saint-Dié. La carte a dû faire l'objet d'une diffusion, sans doute restreinte, car dans l'édition concurrente du *Claudii Ptolemei*… de 1522 on trouve une carte *Orbis typus*… entièrement redessinée par Laurent Fries et comportant également la mention *America*.

Les mots hydrographie et hydrographe ont-ils été créés par les membres du Gymnase Vosgien ? Dans l'affirmative, voulaient-ils par là désigner l'activité des cosmographes et des pilotes portugais de l'*Armazém da Guiné e Índia* qui maintenaient à jour le *carta padrão de el-Rei*, la carte de référence à partir de laquelle les autres cartes étaient produites ? Il n'est hélas pas possible de répondre à ces questions. Il est en tout cas probable que le mot hydrographie a été créé sur le modèle du mot géographie, une des sciences englobées par la cosmographie (l'autre science étant l'astronomie). Selon les cosmographes, le monde était constitué de sphères emboîtées : le firmament, puis les sphères propres à chaque corps céleste : Saturne, Jupiter, Mars, le Soleil, Vénus, Mercure et la Lune et enfin, au centre du monde, la sphère terrestre. Celle-ci était elle-même consti-



3 - Orbis Typus Universalis Iuxta Hydrographorum Traditionem - édition de 1506-1507
Courtesy of the John Carter Brown Library

tuée de quatre sphères emboîtées correspondant aux quatre éléments d'Aristote : le feu, l'air, l'eau et la terre. Un ouvrage en latin de 1611, *Elementale mathematicum in quo mathesis methodice traditur per praecepta brevia theoremata perspicua commentaria succincta*, écrit par Johanne-Henrico Alstedio donne la liste des sciences consacrées aux quatre éléments :

- *Pyrographia*
- *Anemographia* ou *Aerographia*
- *Hydrographia*
- *Geographia*

Il est possible que ces noms aient été créés il y a fort longtemps tout en restant inusités, à l'exception de la géographie. Dans ce cas le Gymnase Vosgien, si c'est bien lui qui est à l'origine du mot, aurait pu le réutiliser pour désigner la science naissante.

La liste suivante, dont l'exactitude n'est pas garantie, indique quand et dans quel ouvrage les mots hydrographe ou hydrographie sont apparus en dehors de la France :

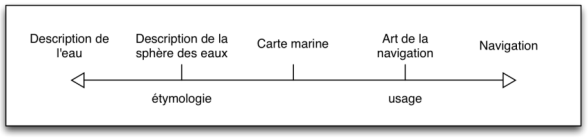
- 1542 : *Boke of Idrography*, de Jean Rotz, un normand fils d'écossais qui, n'ayant pu devenir l'hydrographe de François Ier, se tourna vers l'Angleterre où il devint *Hydrographer to the King*.
- 1549 : *De nauigatione*, de Iacobo a Saa (Portugal)
- 1559 : *The Cosmographical glasse, conteyning the pleasent principles of cosmographie, geographie, hydrographie or navigation*, de William Cunningham (Angleterre)
- 1585 : *Hydrografia*, de Andres de Poza (Espagne)

Sens et évolution du mot hydrographie

La carte de 1506/1507 n'ayant probablement pas été diffusée, ou alors de manière confidentielle, c'est en 1513 que les mots « hydrographe » et « hy-

drographie » ont été portés à la connaissance du public. La principale indication qui permettait d'en connaître le sens était leur association à une carte marine.

Il est possible que certains lecteurs, s'appuyant sur l'étymologie du mot et sur son voisinage avec le mot géographie, y aient vu la description de la sphère des eaux, alors que d'autres, s'attachant plus à l'usage que l'on fait des cartes marines, lui aient donné le sens d'art de la navigation. Par la suite ces sens se seraient étendus d'un côté à la description de l'eau, de l'autre à la navigation dans tous ses aspects.



4 - sens du mot hydrographie

Dans la langue anglaise cette dernière interprétation s'est éteinte assez vite. Le problème du sens des mots « hydrographe » et « hydrographie » s'étant posé lors de la création du Bureau Hydrographique International, un article a été publié sur ce sujet en 1923 dans la Revue Hydrographique Internationale. Cet article précise que les dictionnaires les plus connus de la langue anglaise donnent au mot hydrographie le sens de description des eaux, en particulier pour la navigation. L'article ajoute que l'un d'eux, le *Falconer's Marine Dictionary* de 1815, indique que quelques uns des meilleurs écrivains emploient ce mot dans un sens plus étendu de « navigation » tandis que le *Murray* (de date inconnue) rapporte qu'autrefois le mot hydrographie comprenait les principes de la navigation.

C'est le cas du *Boke of Idrography* de Jean Rotz (1542) qui contient un bref traité de navigation et un atlas de cartes marines. D'un autre côté, pour John Dee, dans sa *mathematicall praeface to the Elements of geometry of Euclide of Megara* (1570), la cosmographie s'appuie sur l'astronomie, la géographie, l'hydrographie et la musique. L'hydrographie montre, sur un globe ou sur plan, la parfaite description analogique des côtes de l'Océan à travers le monde : les îles, les dangers (sables mouvants, bancs, rochers, raz, contre-marées, tourbillons). D'autre part l'hydrographie recense les points de repère qui marquent les dangers, décrit les marées, les sondes, les chenaux. Elle s'occupe d'autres sujets, permettant de faire des routiers, comme la représentation sur un globe ou un plan des 32 pointes du compas, qui ne sont ni des lignes droites ni des cercles, la projection de la sphère sur un plan, la variation du compas. La finalité de l'hydrographie est l'art de la navigation, qui est une science à part, mais elle a cependant quelques autres usages.

En langue française les deux significations du mot hydrographie sont restées longtemps en usage, comme le montrent les extraits d'œuvres qui suivent. Le sens « art de la navigation » a commencé à décliner en 1795 lorsque les écoles d'hydrographie sont devenues pour un temps des écoles de navigation (30 vendémiaire de l'an IV). En 1919 des arrêtés de février et de mars ont supprimé définitivement les écoles d'hydrographie et créé à leur place des écoles nationales de navigation maritime. Les professeurs d'hydrographie, qui avaient conservé leur titre, sont devenus professeurs d'enseignement maritime en 1965, mettant ainsi un terme à plus de 400 ans d'ambigüité.

Extraits d'œuvres illustrant les différents sens du mot hydrographie

Le quart livre des faicts et dicts héroïques du bon Pantagruel - F. Rabelais (1552)

L'auteur utilise le mot hydrographie dans le sens de carte marine.

Dialogue de la longitude est-ouest – T. de Bessard (1574)

« Contenant, tous les moyens, que l'on pourrait avoir tenus, en la Navigation, jusqu'à maintenant : que, les deux filles de Cosmographie, à savoir Géographie et Hydrographie, en mettent un nouveau, et plus sûr, en avant : touchant le fait de cette longitude, tant par mer, que par terre. »

Traité de la Mer du père André (datant probablement du XVIIe siècle)

La citation de cet ouvrage provient du livre *Un collège de Jésuites au XVIIe et au XVIIIe siècles, le collège Henri IV de La Flèche* de Camille de Rochemonteix, paru en 1889 : « L'hydrographie est la description des eaux ou la science qui en traite. Or, on peut considérer les eaux en plusieurs façons différentes, ou en physicien, pour en connaître la nature, ou en médecin, pour en connaître les vertus, ou en chimiste, pour en étudier les principes élémentaires, ou en géographe, pour en décrire la position sur le globe terrestre, ou en navigateur, pour en expliquer l'usage par rapport au plus beau des arts, qui est sans contredit la navigation. C'est sous ces deux dernières considérations que nous allons enseigner la mer. »

Traité d'Hidrographie ou Art de naviguer – J. Guérard (1630)

« Les commencements de l'hidrographie [sic] ou art de naviguer… »

L'Hydrographie, contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation - G. Fournier (1643)

Cet ouvrage est une véritable encyclopédie de la navigation dans son sens le plus étendu. En plus de la navigation proprement dite, il traite de l'architecture navale, des ports et arsenaux, de l'équipement des vaisseaux et de leur équipage, d'histoire maritime et de la dévotion des gens de mer. Il donne même la liste des saints ayant marché sur l'eau.

Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques – J. Ozanam (1691)

« La Géographie se divise en Géographie simple, qui n'est que la description de la Terre seule, et en Hydrographie qui est la description de l'eau : comme de la Mer, d'un Lac, d'une Rivière, etc. »

Dictionnaire de l'Académie Française – 1ère édition (1694)

« Hydrographie : Description des mers, des lacs, des rivières. »

Dictionnaire de marine de N. Aubin (1702)

« Hydrographie : c'est la science par le moyen de laquelle on s'instruit dans l'art de naviguer, en sorte qu'on est capable de faire des cartes marines, de conduire les vaisseaux et de connaître précisément le lieu où l'on est, lorsqu'on fait un voyage de long cours. »

« Cartes hydrographiques : ce sont des cartes marines que l'on dresse exprès pour les Pilotes, où tous les rumbs de vents sont marqués. On y marque aussi les basses, les roches et les bancs, et les méridiens y sont parallèles les uns aux autres. »

Commentaires sur l'ordonnance de la marine de 1681 (1714)

« Hydrographie par son étymologie signifie la description de l'Eau et, dans ce titre de notre ordonnance, l'Art de la Navigation et les connaissances qu'on doit avoir pour conduire un vaisseau et pouvoir toujours dire l'endroit où l'on est pendant le cours de la plus longue navigation. »

Dictionnaire de l'Académie Française - 2ème et 3ème éditions (1718, 1740)

« Hydrographie : Description des mers, des lacs, des rivières. Cartes d'hydrographie. Professeur d'hydrographie. Maître d'hydrographie. »

Mémoires pour servir à l'histoire de la ville de Dieppe – M. Guibert (vers 1760)

L'ouvrage comporte un chapitre intitulé : « De l'hydrographie, ou école de la carte marine ».

Abrégé du dictionnaire universel françois et latin – P. Berthelin (1762)

« Hydrographe : auteur qui a écrit sur l'hydrographie, qui a fait des cartes hydrographiques. Celui qui sait ou qui enseigne l'hydrographie. *Hydrographus*. »

« Hydrographie : ce mot, selon son étymologie, signifie seulement la description des eaux ; mais dans l'usage ordinaire on entend par ce mot la science qui apprend l'art de naviguer, de faire les cartes marines, de conduire les vaisseaux et de connaître dans les voyages de long cours le lieu précis où l'on est. *Hydrographia*. »

« Hydrographique : qui appartient à l'Hydrographie. *Hydrographicus*. Cartes hydrographiques, c'est à dire marines, ou dressées exprès pour les Pilotes. On y marque les rumbs de vents. Les méridiens y sont parallèles les uns aux autres. Les cercles y sont représentés par des lignes droites et parallèles. On y marque aussi les basses, les roches et les bancs. »

Dictionnaire de l'Académie Française - 4ème et 5ème éditions (1762, 1798)

« Hydrographie : Description des mers, et art de naviguer. Cartes d'hydrographie. Professeur d'hydrographie. Maître d'hydrographie. »

Journal de marine, ou Bibliothèque raisonnée de la science du navigateur – E. Blondeau (1778)

« La science du Navigateur consiste [première division] dans la connaissance du fluide … [qui] renferme d'abord la connaissance géographique et physique des côtes et des bords, des différentes mers et des rivières navigables. La partie géographique devient hydrographie (description de l'eau) proprement dite en y comprenant la mesure relative ou absolue de l'étendue des mers, et de celle des rivières…

La seconde division est l'art de se construire une machine propre à se soutenir sur ce fluide, à s'y mouvoir…

La troisième division [l'art de mouvoir et de conduire le navire dans toutes les circonstances, et partout où besoin est] comprend la Science de la Manœuvre, et celle du Pilotage, improprement ap-

pelée Hydrographie… Le Pilotage est, l'art de déterminer la route faite ou à faire, et de connaître toutes les fois qu'il en est besoin le lieu du navire par rapport à la terre, et par rapport au ciel. »

L'auteur avait plusieurs fonctions dont celle de professeur royal d'hydrographie à l'école de la marine de Brest.

Hydrographie nouvelle ou description des bains hydrauliques médicinaux de toutes les espèces – E. Laugier (1785)

L'ouvrage traite des vertus médicinales de l'eau : bains secs à fumée, bains humides à vapeur, etc.

Encyclopédie méthodique – Marine (1783-1786)

« La navigation, troisième partie de la science de la marine [les deux autres étant la construction des vaisseaux et la manœuvre], se divise en hydrographie et pilotage.

L'hydrographie est l'art de dresser les cartes marines réduites ou plates, de lever les plans des côtes, baies, rades, ports ; de les tracer et dessiner, avec les indications des sondes, de la qualité du fond ; de déterminer à terre les latitudes et longitudes des lieux principaux, par des opérations astronomiques : il a pour principes la géométrie, la trigonométrie rectiligne et sphérique, l'astronomie, que l'on trouvera dans le Dictionnaire de Mathématiques.

Le pilotage, ou l'art du pilote, consiste dans l'intelligence et l'usage de ces cartes, pour y déterminer le point où est le navire qu'il conduit ; ce que l'on appelle pointer la carte … »

« Hydrographe : c'est une personne instruite dans l'art de la navigation, qui enseigne le pilotage dans toutes ses parties aux marins, qui sont obligés de connaître l'hydrographie, pour conduire les vaisseaux dans toutes les parties du monde. »

« Hydrographie : c'est la connaissance des mers, des parages, des côtes, îles, ports, rades, rivières, fleuves, etc. qui sont répandus sur notre globe et que l'on a désignés sur des cartes hydrographiques, pour les faire connaître aux marins, parce que l'hydrographie enseigne aussi la manière de pointer les cartes, de diriger les routes, de faire les observations astronomiques, les calculs qu'elles exigent, en un mot tout ce qui concerne la science du marin, par rapport au pilotage. »

Dictionnaire étymologique des mots françois dérivés du grec – J.B. Morin (1805)

« Description des eaux. Science qui enseigne à connaître les différentes parties de la mer, à construire des cartes marines et à naviguer. »

Dictionnaire de marine – J.-B. Willaumez (1825)

« Science indispensable aux marins, pour connaître les mers, côtes, îles, ports, baies, etc., répandus sur le globe et désignés sur les cartes hydrographiques. Elle enseigne à pointer les cartes, à diriger leur route, à faire des observations astronomiques ; en un mot tout ce qui concerne la science de bien conduire son bâtiment dans tous les parages navigables. »

Dictionnaire étymologique de la langue française - B. de Roquefort (1829)

« Science, description, connaissance des eaux, des côtes, de la navigation »

Eléments de géologie et d'hydrographie, ou résumé des notions acquises sur les grandes lois de la nature - H. Lecoq (1839)

« Dans la première [partie, l'hydrographie], je me suis occupé des eaux d'une manière générale. Après avoir étudié, dans la Géographie physique, les différents phénomènes produits par les vapeurs qui se groupent et se condensent pour former les nuages, la pluie et tous les météores aqueux, je reprends l'eau à son arrivée sur la terre et à sa sortie du sol, sous le nom de sources et de fontaines. Puis viennent ensuite les cours d'eau, leurs chutes ou cascades, les marais, les lacs et leurs divers phénomènes. Enfin, comme les eaux viennent toutes se rendre dans l'Océan, leur réservoir commun, l'étude des mers suit naturellement celle des fleuves qui les alimentent. Cette partie de l'ouvrage est terminée par l'histoire des glaces, des glaciers et des glaces polaires, ou de l'eau solide considérée sous ses divers états. »

Encyclopédie des gens du monde (1840)

« Hydrographie : description ou connaissance des eaux. Dans son acceptation propre, il faudrait définir l'hydrographie l'art de lever le plan des côtes et des mers, d'en dresser les cartes, et d'y marquer, sous leurs vrais relèvements, les îles, rocs, bancs, sondes et tout ce qu'il y a de remarquable au-dessus comme au-dessous de la surface de l'Océan. Mais par suite sans doute de la connexité de ces différentes opérations avec les connaissances qu'implique le métier de la mer, on en a fait aussi l'art de naviguer. Or cette dernière définition n'est exacte qu'en ce qui concerne la partie théorique de cet art, dont la manœuvre forme l'autre partie non moins importante.

On doit donc considérer l'hydrographie comme une science qui se divise en deux branches distinctes, quoique homogènes. On vient d'indiquer sommairement leurs diverses attributions ; mais pour établir cette dualité d'une manière encore plus sensible, nous les montrerons, dans la hiérarchie actuelle, personnifiées, l'une, dans les ingénieurs hydrographes, l'autre, dans les professeurs d'hydrographie... »

Cours de navigation et d'hydrographie – E. Dubois (1859)

L'auteur décrit ainsi la partie hydrographie de son cours : « Le Cours d'hydrographie, précédé de quelques notions de géodésie et qui me semble un complément indispensable du Cours de navigation, a surtout pour but de mettre un plus grand nombre d'officiers à même de rectifier, au moyen du théodolite ou mieux de la lunette méridienne portative, certaines positions géographiques du globe pouvant servir de points-jalons pour régler les chronomètres dans les voyages de circumnavigation ; et ensuite de permettre à ces officiers, soit en coopérant comme marins aux levés hydrographiques à accomplir le long des côtes, soit en exécutant eux-mêmes avec exactitude quelques plans de baies ou ports éloignés de la métropole, de venir en aide aux travaux si justement appréciés de nos savants ingénieurs hydrographes. »

Dictionnaire de marine à voiles et à vapeur – Bonnefoux et Paris (1859)

« Science qui a pour objet la solution de tous les problèmes relatifs aux calculs de la position ou du lieu d'un navire sur le globe, soit par l'observation des astres, soit par les procédés de l'estime. Par le mot Hydrographie, on entend, aussi, le levé des plans ou des cartes, et les Cours ou Traités de pilotage et de navigation, ou de la partie scientifique de la navigation. Autrefois, on entendait par Hydrographie, l'ensemble de tout ce qui était relatif à la marine et à l'art naval, ainsi que le prouve la diversité des matières traitées dans l'Hydrographie du P. Fournier. »

Dictionnaire de l'Académie Française - 6ème et 7ème éditions (1865, 1878)

« Connaissance ou description des mers ; art de naviguer. L'hydrographie enseigne à pointer les cartes, à diriger les routes, à faire des observations astronomiques, etc. »

Dictionnaire complet de la langue française – P. Larousse (1874)

« Topographie maritime qui a pour objet de lever le plan des côtes, des îles, etc. »

Définition officielle de l'hydrographie

L'Organisation Hydrographique Internationale a adopté la définition suivante de l'hydrographie : « l'hydrographie est la branche des sciences appliquées traitant du mesurage et de la description des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves, ainsi que de la prédiction de leur changement dans le temps, essentiellement dans l'intérêt de la sécurité de la navigation et a l'appui de toutes les autres activités maritimes, incluant le développement économique, la sécurité et la défense, la recherche scientifique et la protection environnementale. »

S'il est réducteur de limiter aujourd'hui l'hydrographie à la réalisation des cartes marines, cela a été cependant la principale occupation des hydrographes pendant les siècles passés.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(anonyme) - 1714	Ordonnance de la marine du mois d'août 1681 commentée et conférée sur les anciennes ordonnances, le droit romain et les nouveaux règlements
2	Alstedio, Johanne-Henrico - 1611	Elementale mathematicum in quo mathesis methodice traditur per praecepta brevia theoremata perspicua commentaria succincta
3	Aubin, Nicolas - 1702	Dictionnaire de marine
4	(d')Avezac, Marie-Armand - 1867	Waltzemüller ses ouvrages et ses collaborateurs
5	Berthelin , Pierre Charles - 1762	Abrégé du dictionnaire universel françois et latin, tome deuxième
6	(de) Bessard, Toussaint - 1574	Le dialogue de la longitude est-ouest
7	Blondeau, Etienne Nicolas - 1778	Journal de marine, ou Bibliothèque raisonnée de la science du navigateur, premier cahier
8	Bonnefoux, Pierre-Marie-Joseph et Paris - 1859	Dictionnaire de marine à voiles et à vapeur ; Marine à voiles, seconde édition
9	(collectif) - 1507	Cosmographiae introductio
10	(collectif) - 1513	Claudii Ptolemei viri Alexandrini. Mathematicae disciplinae Philosophi doctissimi Geographiae opus novissima traductione e Graecorum archetypis castigatissime pressum : caeteris ante lucubratorum multo praestantius
11	(collectif) - 1694	Dictionnaire de l'Académie Française, 1ère édition
12	(collectif) - 1718	Dictionnaire de l'Académie Française, 2ème édition
13	(collectif) - 1740	Dictionnaire de l'Académie Française, 3ème édition
14	(collectif) - 1762	Dictionnaire de l'Académie Française, 4ème édition
15	(collectif) - 1798	Dictionnaire de l'Académie Française, 5ème édition
16	(collectif) - 1865	Dictionnaire de l'Académie Française, 6ème édition
17	(collectif) - 1878	Dictionnaire de l'Académie Française, 7ème édition
18	(collectif) - 1783, 1786	Encyclopédie méthodique marine, tome premier, tome second
19	(collectif) - 1840	Encyclopédie des gens du monde, répertoire universel des sciences, des lettres et des arts, tome quatorzième première partie
20	Cortesão, Armando et (de) Albuquerque, Luís - 1971	History of portuguese cartography ; Volume 2
21	Dee, John - 1570	The mathematicall praeface to the Elements of geometry of Euclide of Megara
22	Desmarquets, Jean Antoine Samson - 1785	Mémoires chronologiques pour servir à l'histoire de Dieppe et à celle de la navigation françoise, tomes premier et second
23	Dubois, Edmond - 1859	Cours de navigation et d'hydrographie
24	Fine, Oronce - 1532	Protomathesis
25	Fine, Oronce - 1542	De Mundi sphaera, sive Cosmographia, primave Astronomiae parte, Lib. V
26	Fine, Oronce - 1543	L'art et manière de trouver certainement la longitude ou différence longitudinale de tous lieux proposés sur la terre : par le cours et mouvement de la lune, et autrement que par les éclipses d'icelle en tout temps que l'on voudra

27	Fine, Oronce - 1549	La sphère du monde, proprement dite cosmographie comprenant la première partie de l'astronomie et les principes universels de la géographie et de l'hydrographie
28	Fine, Oronce - 1551	La sphère du monde, proprement dite Cosmographie, composée nouvellement en françois, et divisée en cinq livres, comprenant la première partie de l'astronomie, et les principes universels de la géographie et hydrographie
29	(von) Fisher, Joseph et Wieser, Franz - 1907	The cosmographiae introductio of Martin Waldseemüller in facsimile
30	Fournier, Georges - 1667	Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation ; seconde édition, réédition de 1973 (la première édition date de 1643)
31	Guérard, Jean - 1630	Traité d'Hidrographie ou Art de naviguer, manuscrit
32	Guibert, Michel Claude et Hardy, Michel - 1878	Mémoires pour servir à l'histoire de la ville de Dieppe ; Tome 1
33	Godefroy, Frédéric - 1898	Dictionnaire de l'ancienne langue française et de tous ses dialectes du IXe au XVe siècle, tome neuvième complément
34	Harisse, Henry - 1892	The Discovery of North America; a Critical, Documentary, and Historic Investigation, With an Essay on the Early Cartography of the New World, ... or Lost, Constructed Before the Year 1536
35	J.D.N - 1934	Définition des mots « hydrographe » et « hydrographie », Revue hydrographique internationale
36	(Commandant) Langlois - 1922	Etude sur deux cartes d'Oronce Fine de 1531 et 1536, Journal de la Société des Américanistes ; Tome 14-15
37	Larousse, Pierre - 1874	Dictionnaire complet de la langue française
38	Laugier, Esprit Michel - 1785	Hydrographie nouvelle ou description des bains hydrauliques médicinaux de toutes les espèces ; sur un mécanisme inconnu jusqu'à présent
39	Lecoq, Henri - 1839	Eléments de géologie et d'hydrographie, ou résumé des notions acquises sur les grandes lois de la nature
40	Mizauld, Antoine - 1548	Le Mirouer de l'air
41	Morin, Jean-Baptiste - 1805	Dictionnaire étymologique des mots françois dérivés du grec
42	Ozanam, Jacques - 1691	Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques
43	Parry, Sir John F. - 1923	Emploi des mots « hydrography » et « hydrographer », Revue hydrographique internationale
44	Pépin, Marie-Hélène - 2018	L'astrométéorologie de la Renaissance https://gallica.bnf.fr/blog/09052018/lastrometeorologie-de-la-renaissance
45	Rabelais, François et (auteur inconnu) - 1659	Les œuvres de François Rabelais, augmentée de la vie de l'auteur et de quelques remarques sur sa vie et sur l'histoire avec la clef et l'explication de tous les mots difficiles. Tome 2
46	Rey, Alain - 1992	Dictionnaire historique de la langue française, première édition
47	(de) Rochemonteix, Camille - 1889	Un collège des Jésuites au XVIIe et au XVIIIe siècles, le collège Henri IV de La Flèche, tome quatrième
48	Rollet de l'Isle, Charles Dominique Maurice - 1924	Emploi des termes « hydrographie » et « hydrographe », Revue hydrographique internationale
49	Ronsin, Albert - 1991	La fortune d'un nom - America - le baptême du Nouveau Monde à Saint-Dié-des-Vosges
50	Ronsin, Albert - 2006	Le nom de l'Amérique - L'invention des chanoines et savants de Saint-Dié

51	(de) Roquefort, Jean-Baptiste-Bonaventure - 1829	Dictionnaire étymologique de la langue française
52	Stevens, Henri N. - 1928	The first delineation of the new world and the first use of the name america on a printed map
53	Van Duzer, Chet - 2012	Waldseemüller's World Maps of 1507 and 1516: Sources and Development of his Cartographical Thought, The Portolan
54	Vignaud, Henry - 1912	Americ Vespuce - l'attribution de son nom au nouveau monde, Journal de la société des Américanistes de Paris
55	Willaumez, Jean-Baptiste Philibert - 1825	Dictionnaire de marine, nouvelle édition
56	Wallis, Helen - 1982	The Rotz Atlas. A Royal presentation, The map collector n°20

2 - la naissance de l'hydrographie

L'art de la navigation, pratiqué depuis l'antiquité, évolue avec l'apparition de la boussole et de la carte marine. Des foyers de production de cartes marines émergent en Italie et en Espagne. Au XVe siècle, le Portugal met en place ce que l'on peut considérer comme le premier service hydrographique, pour faciliter ses voyages d'exploration et de commerce. Il est imité par l'Espagne au début du XVIe siècle.

L'art de la navigation

Naviguer c'est diriger la marche de son navire en vue d'atteindre une destination précise. Le pilote, tel qu'on appelait dans le passé celui qui était chargé de la navigation, devait en particulier déterminer la direction à suivre, en tenant compte du vent, car la plupart des navires se déplaçaient alors à la voile.

Navigation en vue de côte

Lorsque le navire était en vue de la côte, le pilote déterminait grâce à elle la direction à suivre, à condition de pouvoir situer l'endroit où il se trouvait. Si la navigation consistait à aller d'un port à un autre en longeant la côte, ce qu'on appelle le cabotage, il suffisait de suivre la côte toujours dans le même sens. Lorsque au contraire le navire arrivait en vue de la côte en provenance du large, ce qu'on appelle l'atterrissage, le pilote en était réduit à faire des suppositions sur l'endroit où il venait d'arriver pour déterminer dans quelle direction longer la côte.

Navigation au large

Lorsque la navigation consistait à prendre le large pour atteindre un point situé de l'autre côté de la mer, le pilote, une fois la côte hors de vue, essayait de conserver sa direction en s'aidant des astres, l'étoile polaire la nuit et le soleil le jour, mais aussi de la direction du vent dans les voiles, de celle des nuages ou de celle de la houle.

La boussole

L'aiguille aimantée, apparue en Méditerranée au début du XIIe siècle, a grandement facilité le travail des pilotes qui disposaient là d'un moyen simple, fiable et toujours disponible pour déterminer la direction du navire par rapport au nord.

L'aiguille aimantée, au début flottante, a par la suite été mise sur pivot dans une petite boîte, prenant le nom de boussole (au XIIIe siècle). Au début du XIVe siècle on l'a rendue encore plus pratique en fixant sur l'aiguille une rose des vents

Encadré n°1 : la rose des vents

Dans l'antiquité, les directions que nous connaissons aujourd'hui : nord, est, sud, ouest, ainsi que les directions intermédiaires, portaient le nom des vents qui soufflaient de cette direction. Un système de directions utilisait 12 vents correspondant chacun à 30°, un autre 8 vents de 45°.

Au moyen-âge, les pilotes utilisaient un système de direction à 8 vents principaux, nommés, en partant du nord et dans le sens des aiguilles d'une montre : *tramontana*, *greco*, *levante*, *sirocco*, *mezzodi*, *libeccio*, *ponente* et *maestro*. Ces vents étaient ensuite divisés en deux pour obtenir 16 vents de 22° 1/2, puis éventuellement encore en deux pour obtenir un total de 32 vents de 11° 1/4.

Les noms des vents furent remplacés par la suite par les noms que nous connaissons aujourd'hui. Sur une rose à 32 vents on trouve ainsi :

Nord
Nord quart nord-est
Nord nord-est
Nord-est quart nord
Nord-est
Nord-est quart est
Est nord-est
Est quart nord-est
Est
Est quart sud-est
...

(voir encadré n°1), l'ensemble prenant alors le nom de compas.

On croyait à l'époque que la boussole indiquait le nord vrai ou la direction de l'étoile polaire. La variation, ou déclinaison magnétique, ne fut mise en évidence que vers le milieu du XVe siècle. Dans son journal du 13 septembre 1492, Christophe Colomb, qui devait penser que l'aiguille aimantée était attirée par l'étoile polaire, note que « au commencement de la nuit, les boussoles marquèrent le nord-ouest, et au matin légèrement le nord-est. » Le 30 septembre il conclut que les aiguilles « disent toujours la vérité » et que l'étoile polaire se déplaçait autour du nord vrai comme les autres étoiles, un fait qui était cependant déjà connu.

Les documents de navigation

Depuis des temps anciens les navigateurs ont pu s'aider de documents décrivant leur environnement : tout d'abord des textes, les instructions nautiques et plus tard des cartes.

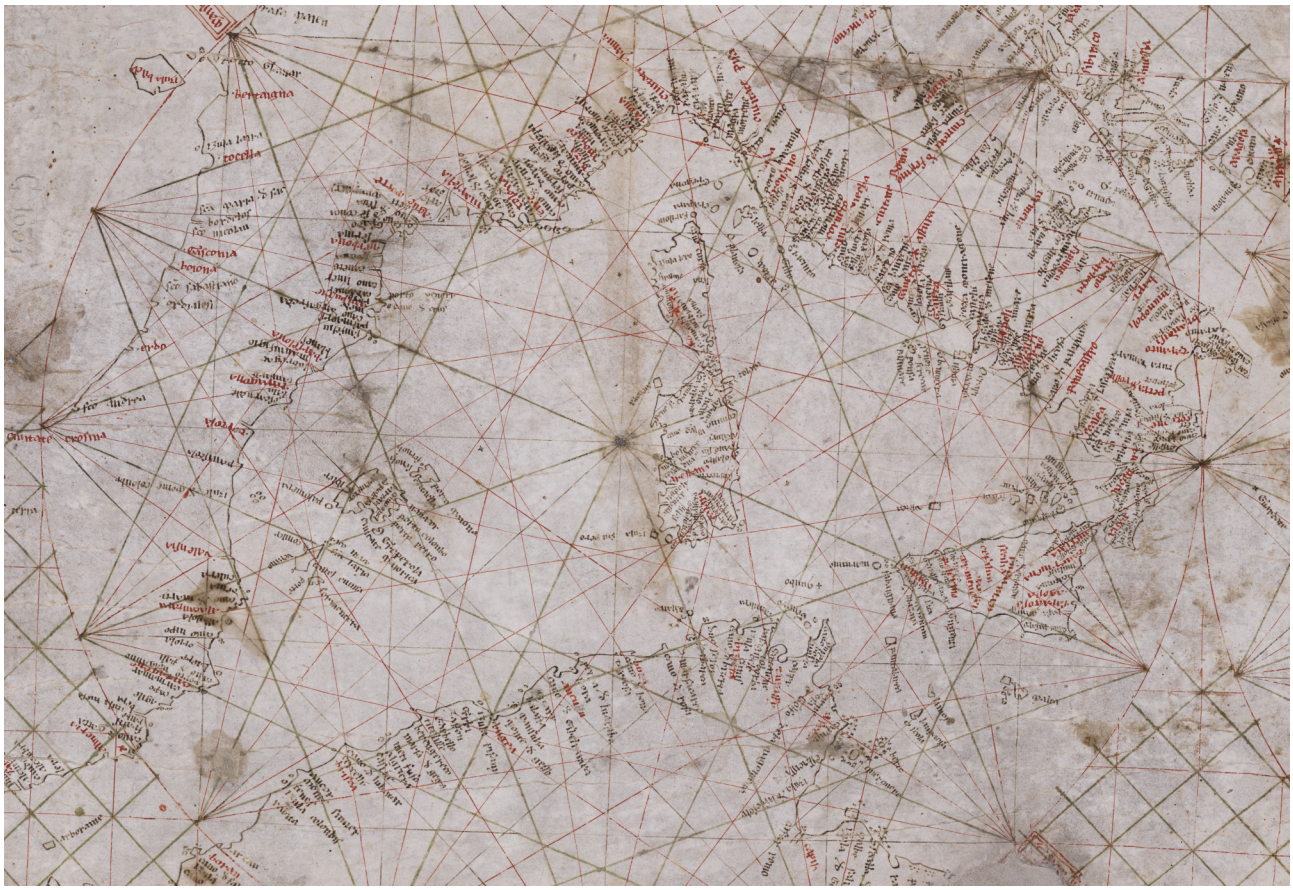
Les instructions nautiques

Dès l'antiquité on trouvait des textes décrivant des navigations en vue de côte : les périples. Ces textes étaient peut-être plus des récits de voyages que des instructions servant à guider les pilotes, que l'on appelle aujourd'hui des instructions nautiques.

Au moyen-âge les pilotes utilisaient des livres appelés *portulans*, ou livre des ports. Le plus ancien portulan connu est *lo compasso de navigare*, composé vers 1250 (l'édition conservée date de 1295).

Dans son ouvrage *Carte marine et portulan au XIIe siècle*... A. Dalché décrit ainsi *lo compasso de navigare*, divisé en trois parties : « la première est une description des côtes de l'Atlantique et de la Méditerranée indiquant, à partir du cap Saint-Vincent jusqu'à Ceuta, les distances entre différentes localités, toujours associées aux directions de la rose des vents qu'il convient de suivre pour aller de l'une à l'autre. S'ajoutent à cela des renseignements sur les écueils et les hauts-fonds, la qualité des fonds marins, les courants et les vents dominants, et sur les procédés d'atterrissage dans un port donné. »

« La seconde partie a un double objet ... elle rassemble un grand nombre de traversées d'un point à l'autre, généralement éloigné, avec mention de la



1 - carte pisane fin XIIIe siècle - extrait centré sur la Sardaigne
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote Ge.B. 1118

distance et de la direction; elle décrit d'autre part le pourtour des grandes îles. »

« La dernière partie, description de la mer Noire, est un ajout… »

Au XVe siècle les portulans prirent le nom de *routiers*.

Les cartes marines

Les premières cartes marines ont été appelées par les historiens *cartes-portulans* ou même *portulans* car il a été supposé qu'elles étaient dessinées à partir d'informations contenues dans ces documents. La plus ancienne carte conservée, la *carte Pisane*, est datée de la fin du XIIIe siècle.

Des témoignages d'époque attestent la présence de cartes à bord des navires à la fin du XIIIe siècle (un récit de Guillaume de Nangis en 1269-1270, un inventaire de navire capturé de 1293-1294 et un texte de Raymond Lulle vers 1295).

Les cartes marines que l'on trouvait du XIIIe au XVe siècle comportaient trois dessins :

- un référentiel de directions, le *marteloire*, composé d'un réseau de roses des vents dont les lignes de direction, ou *rumbs*, étaient prolongées et se croisaient sur toute la carte (voir encadré n°2),
- un tracé de la côte et des îles avec le nom des ports inscrit à l'intérieur des terres, perpendiculairement à la côte,
- une échelle des distances en milles ou en lieues marines.

Un ouvrage tardif, le *Breve compendio de la sphera y de la arte de navigar* de M. Cortès (1551), indique que pour construire une carte il fallait d'abord se procurer un bon modèle de trait de côte comportant le dessin des lieux, des ports et des îles, en fonction de leurs distances respectives. On ne sait pas quand, comment et par qui a été produit le premier modèle de trait de côte, mais il montre une côte, en particulier en Méditerranée, assez réaliste (voir encadré n°3).

Le cartographe traçait d'abord sur un parchemin ou un papier le marteloire, puis il reportait le trait de côte en veillant à ce que le nord du trait de côte coïncide avec celui du marteloire. Enfin il calculait et ajoutait l'échelle.

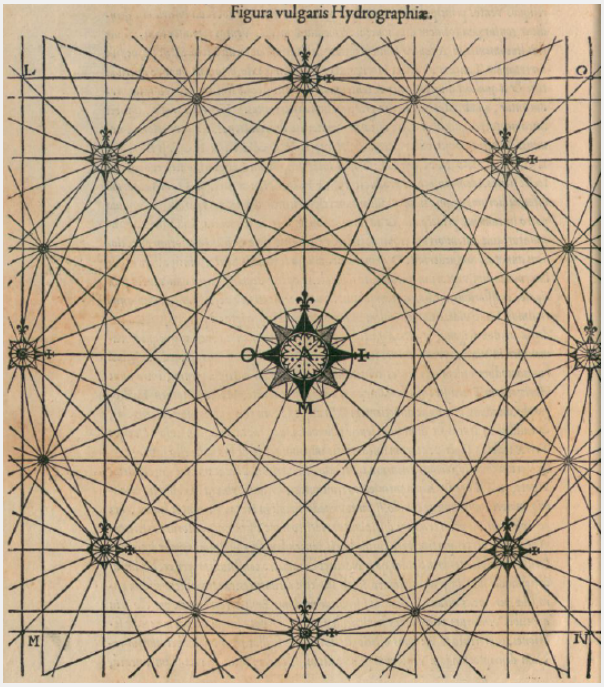
M. Cortès décrit également l'utilisation de la carte marine pour déterminer la position du navire (voir encadré n°4).

Encadré n°2 : le marteloire

Le réseau des directions porté sur les cartes marines porte le nom de marteloire. Il est constitué d'un ou parfois de deux cercles de roses des vents à 16 et plus tard 32 directions.

M. Cortès indique qu'il faut d'abord tracer une ligne nord - sud et une ligne est - ouest qui se coupent au centre de la carte. Ce point sert de centre à un cercle que l'on fera le plus grand possible. Le cercle étant déjà divisé en quatre par les lignes nord - sud et est - ouest, on ajoutera des lignes nord-est - sud-ouest et nord-ouest - sud-est pour obtenir les 8 vents, qui seront tracés en noir. Puis une nouvelle division permettra d'obtenir les demi-vents, tracés en vert ou en bleu. Une dernière division donnera les quarts de vents, tracés avec une autre couleur (souvent le rouge). On complète ensuite le tracé de façon à obtenir sur le cercle 16 aiguilles, ou roses. On embellit ensuite ces roses avec en particulier une fleur de lys pour indiquer le nord et une croix pour indiquer l'est.

Cet enchevêtrement de lignes peut sembler n'être qu'un grand désordre mais un examen attentif permet d'y déceler l'ordre sous-jacent sous la forme de grilles superposées (4 pour les roses à 16 vents et 8 pour les roses à 32 vents), dont le centre correspond à la rose centrale de la carte, décalées chacune par rapport à la précédente de l'écart entre deux vents (22° 1/2 ou 11° 1/4).



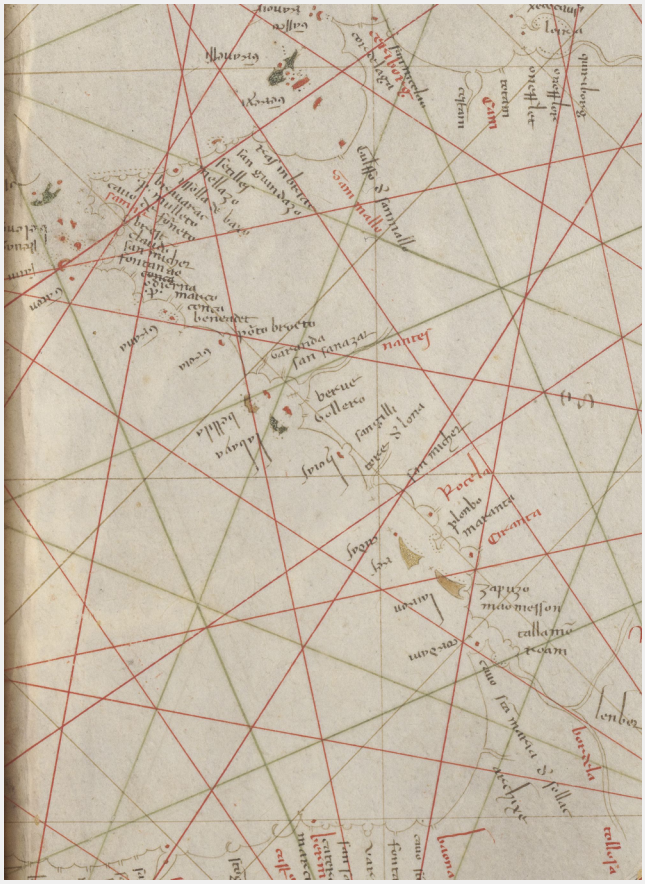
2 - marteloire à 16 vents d'Oronce Fine (De Mundi sphaera...)

Encadré n°3 : représentation de la côte sur les cartes marines

Les plus anciennes cartes marines présentent un trait de côte qui paraît réaliste au moins dans certaines régions : Méditerranée, Mer noire et Atlantique nord-ouest. Par contre les détails sont mauvais et la représentation des baies, des caps et des embouchures de rivières est schématique et exagérée. Avec le temps la côte est de plus en plus stylisée. L'orientation est mauvaise, sans doute parce que les cartes étaient orientées sur le nord de la boussole, supposé à l'époque être le nord vrai.

Dans sa thèse, C. Passerat, qui fait une description de la côte française de Saint-Nazaire à la Gironde d'après la carte de Petrus Vesconte de 1313 (l'illustration ci-dessous correspond à la carte de 1320, plus lisible), constate que « la France y apparaît avec sa forme et ses proportions réelles, et malgré l'exiguïté de l'échelle, nombre de détails y sont consignés. » A la pointe bretonne la carte marque bien la rade de Brest et la baie de Douarnenez mais représente mal la presqu'île de Crozon qui les sépare. Les cartes suivantes ne montreront plus qu'une seule baie. Les dangers sont représentés par des petits points (bancs de sable) ou par des croix (hauts-fonds), les petites îles par des points rouges. Poursuivant l'étude des anciennes cartes marines C. Passerat constate que, à mesure que l'on avance dans le temps (jusqu'au XVIIe siècle), « la cartographie des côtes, au lieu de se perfectionner, devient de plus en plus mauvaise ». Aucun levé du trait de côte n'est effectué dans les zones connues et les copies successives déforment le modèle original. Par contre la liste des noms de lieux s'enrichit, malgré les corruptions dues aux recopies. Le mystère de la création du modèle de trait côte initial reste entier.

Au fur et à mesure des explorations, le trait de côte s'enrichit des terres découvertes. La forme générale est bonne mais les terres sont mal situées entre-elles. Dans le planisphère de Caverio de 1506 (voir chapitre 1) le fond du golfe de Guinée se trouve sur un méridien passant par la Grèce alors que son méridien passe en réalité par la Corse. La pointe Sud de la Floride est au niveau du parallèle de Lisbonne alors qu'en réalité sa latitude est celle des Canaries. Il faudra attendre les levés du XVIIe siècle pour voir une amélioration de la précision des côtes sur les cartes.



3 - extrait de l'Atlas de la Méditerranée et des côtes atlantiques de l'Europe de Petrus Vesconte de Ianua, 1320 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - f. 15-16



4 - comparaison du trait de côte de la Corse : en haut à gauche carte de Petrus Vesconte, en haut à droite carte pisane, en bas trait de côte moderne - © IGN-Shom 2009 - data.shom.fr

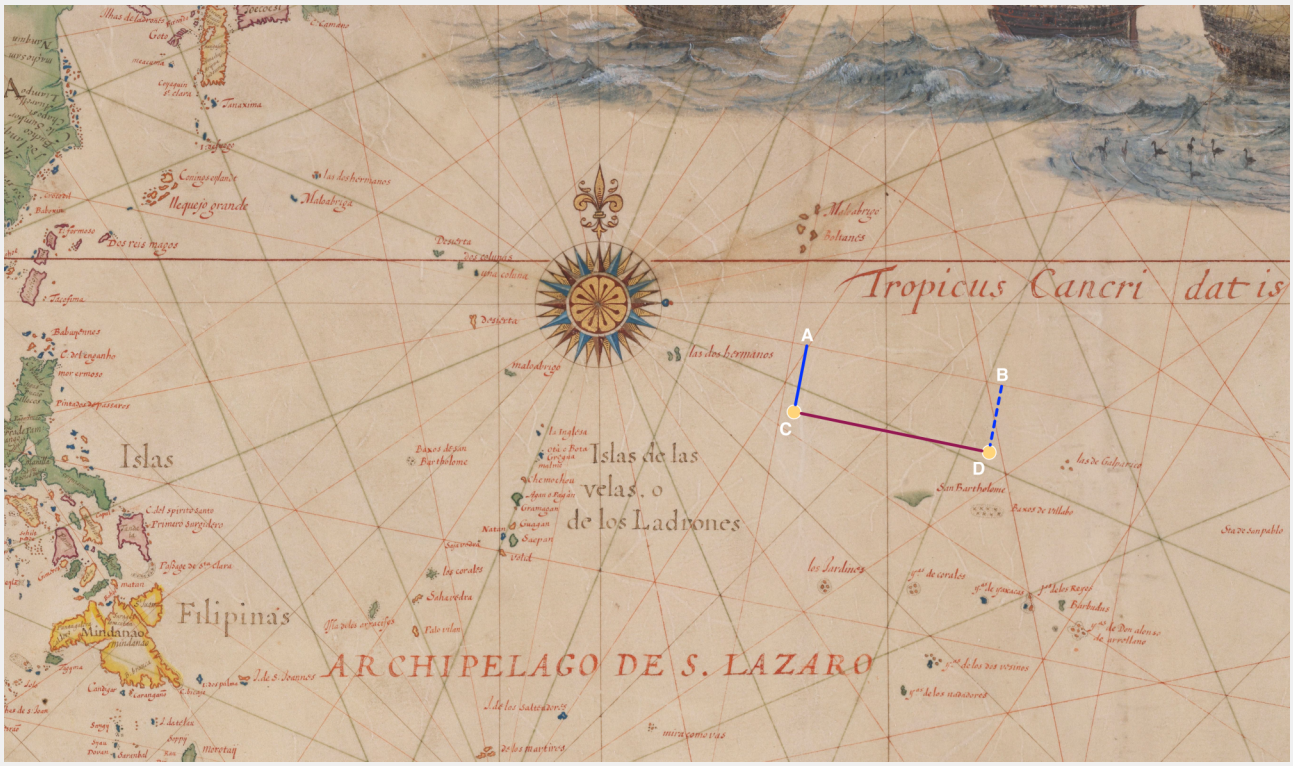
Encadré n°4 : utilisation de la carte marine

La carte marine permet de déterminer la direction à suivre pour atteindre sa destination. Au début du voyage le pilote sait dans quel port il se trouve. En observant la carte il trouve quelle direction suivre pour atteindre soit son port de destination, soit un point intermédiaire si le port de destination ne peut être atteint par une route directe.

Le pilote entretient ensuite régulièrement l'estime, en général une fois par jour : il connaît la direction qu'il a suivie depuis le point de départ ou depuis le plus récent point intermédiaire et il fait une estimation de la distance parcourue depuis, en fonction du vent, des caractéristiques de son navire et des perturbations dues à l'effet des marées et des courants. Il écarte les deux pointes d'un compas à pointe sèche pour que leur écartement corresponde à cette distance parcourue lue sur l'échelle des distances de la carte. Il écarte ensuite les deux pointes d'un autres compas à pointe sèche de la distance perpendiculaire lue entre la ligne de rumb la plus proche qui correspond à la direction suivie et le dernier point connu. En plaçant une des pointes du premier compas sur ce point, et à l'aide du second compas, il détermine un nouveau point situé à la même distance de la ligne de rumb que le dernier point connu et distant de celui-ci de la distance parcourue. Il est alors en mesure de corriger si nécessaire la route à suivre pour atteindre sa destination.

Les Portugais appelaient le point estimé *punto de fantasia*. Plus tard ils l'ajustèrent avec la latitude observée pour obtenir le *punto d'esquadria*.

Sur la carte ci-dessous le navire suit une route à l'est quart sud-est, parallèlement au rumb A B. Le dernier point connu est le point C. Le pilote écarte le premier compas à pointe sèche de la distance parcourue à l'échelle de la carte (trait bordeaux CD). Puis il écarte le second compas à pointe sèche de l'écart entre le dernier point et la ligne de rumb (trait bleu AC). Il fait glisser ensuite ce compas le long du rumb jusqu'à rencontrer l'autre extrémité du premier compas (trait bleu en pointillés BD). L'intersection des deux compas indique où se trouve le nouveau point, D.



5 - extrait d'une carte du Pacifique de Hessel Gerritsz, 1622
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France - cote GE SH ARCH-30

Les premiers hydrographes

Les cartes marines qui sont parvenues jusqu'à nous sont le plus souvent très décorées. Il s'agit probablement de versions de prestige destinées à une riche clientèle plutôt que d'outils de travail quotidiens des pilotes.

Quelle était la profession des hommes qui dessinaient ces cartes ? On les appelle aujourd'hui des cartographes, mais ce mot n'est apparu qu'au XIXe siècle. Ces hommes, que l'on peut qualifier d'hydrographes, dessinaient sur parchemin des cartes de compilation obtenues par copie et assemblage de dessins de traits de côtes, en y apportant essentiellement des modifications aux noms des ports et aux royaumes qui les contrôlaient.

En étudiant le dessin des cartes, le choix des couleurs et la manière de représenter certains objets, les historiens ont identifié plusieurs « écoles » de cartographie.

Les écoles du XIIIe au XVe siècle

L'ouvrage *les portulans*, de M. de la Roncière et M. Mollat du Jourdin, consacré aux cartes marines du XIIIe au XVIIe siècle, mentionne la filiation des écoles hydrographiques.

On trouve tout d'abord au XIIIe siècle l'école pisane, à l'origine semble-t-il des écoles génoise et catalane (à Majorque).

Au XIVe siècle apparaît une école vénitienne fortement influencée par l'école génoise.

Au XVe siècle une école se constitue au Portugal, s'appuyant sur les écoles catalane et génoise.

Les voyages d'exploration

Les limites du monde connu des marins occidentaux sont repoussées à partir du XIVe siècle. Les navigateurs découvrent ou redécouvrent les îles de l'Atlantique nord ; des îles des Canaries et peut-être des Açores figurent sur une carte d'Angelino Dulcert de 1339 ; l'atlas catalan de 1375 les complète et ajoute Madère.

En 1415 le Portugal prend pied en Afrique, à Ceuta. Sous l'impulsion du prince Henri (dit *le Navigateur*) les navires portugais explorent la côte occidentale de l'Afrique pour contourner les territoires occupés par les Maures et accéder directement aux richesses de l'Afrique. Plus tard l'exploration vise à contourner l'Afrique pour atteindre les Indes. Les Portugais sont au niveau du cap Bojador, une limite symbolique, en 1434.

Les pilotes se heurtent à des vents contraires lors des voyages retour et vers 1446 ils font pour rentrer à Lisbonne un large détour par les Açores (la Volte des Açores) qui, grâce à des vents favorables, leur fait gagner du temps. Ils recalent leur estime en prenant la hauteur de l'étoile polaire (ils ne raisonnent pas encore en latitude mais en différences de hauteur). Ce n'est que vers 1460 qu'ils commencent à déterminer les latitudes, d'abord au moyen de l'étoile polaire puis, dans la décennie 1480, par le soleil (voir encadré n°5).

En 1492 l'Espagne achève la libération de son territoire occupé par les Maures et lance une exploration maritime pour atteindre les Indes par la route directe de l'ouest. L'exploration réussit apparemment et ce n'est que plus tard que l'on saura que Christophe Colomb avait en fait découvert l'Amérique.

Afin d'éviter tout conflit, l'Espagne et le Portugal se partagent le monde en 1494 (traité de Tordesillas) selon une ligne correspondant à un méridien et à son opposé. Opportunément repoussé vers l'Ouest, ce méridien permet au Portugais de prendre possession du Brésil en 1500.

Navigation par latitude

Les voyages d'exploration ouvrent la voie à des voyages d'exploitation des richesses découvertes. La capacité à déterminer la hauteur (ou latitude) donne naissance à un nouveau mode de navigation qui permet d'atteindre une île ou une terre lointaine même lorsque sa longitude est mal déterminée : le navire se place rapidement à la bonne hauteur (ou latitude) puis navigue vers l'ouest ou vers l'est jusqu'à rencontrer l'île ou la terre à atteindre. Au début du XVIe siècle on voit apparaître des échelles des latitudes sur les cartes marines.

Premiers services hydrographiques

Pour faciliter leurs explorations et l'exploitation commerciale des terres qu'ils découvraient, l'Espagne et le Portugal mirent en place des organisations qui comportaient un service hydrographique. Les compagnies des Indes anglaise, françaises et néerlandaises les imitèrent aux XVIIe et XVIIIe siècles.

Origines

Peu après la conquête de Ceuta en 1415 par le Portugal, les activités commerciales étaient régies par la *Casa da Ceuta* (ou *Casa da Africa*) à Lagos. Par la suite cet établissement s'installa à Lisbonne et changea de nom en fonction de l'avancée des dé-

Encadré n°5 : latitude et longitude

Pour les besoins de la navigation on assimile la terre à une sphère. Cette sphère possède un axe pôle nord, centre de la terre, pôle sud, noté N O S sur la figure 1. Le plan passant par le centre de la terre perpendiculairement à son axe est le plan de l'équateur, noté E O E' sur la figure. Pour la science de l'époque, bien que la terre possède un axe, elle ne tournait pas sur elle-même. Placée au centre du monde et immobile, ce sont les objets permanents du ciel : lune, planètes, soleil et étoiles qui tournaient autour de cet axe.

Chaque point situé à la surface de la sphère terrestre peut être défini par deux coordonnées : la latitude et la longitude.

La latitude est l'angle formé par le plan de l'équateur O E' et la demi-droite O Z joignant le centre de la terre au point P situé à la surface de la terre et prolongée dans l'espace vers le zénith Z. Tous les points ayant la même latitude sont situés sur un cercle parallèle à l'équateur, appelé « parallèle ». Les latitudes vont de 0°, lorsque le point est situé sur l'équateur, à 90°, lorsque le point est situé au pôle. L'amplitude de la latitude est de 180°, de -90° (ou 90° sud) à + 90° (ou 90° nord).

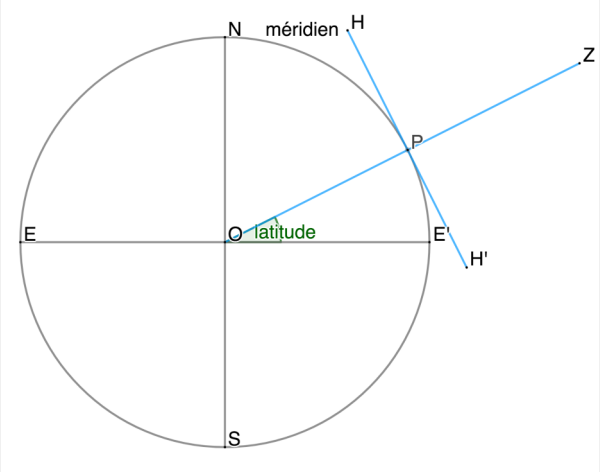


figure 1 - la latitude

Pour définir la longitude il faut d'abord introduire les méridiens qui sont des demi-cercles passant par le pôle nord et le pôle sud. Chaque point situé à la surface de la terre se trouve à la fois sur un parallèle et sur un méridien qui définissent en ce point les quatre directions principales est-ouest et nord-sud. La longitude est l'angle formé par le méridien du point avec un méridien arbitraire servant d'origine. Les longitudes ont une amplitude de 360°. Elles vont de -180° (ou 180° ouest) à +180° (ou 180° est). Un des méridiens servant d'origine était, pour des raison pratiques, le méridien choisi par Ptolémée, qui passait par la terre connue située le plus à l'ouest : l'île de fer, dans les Canaries.

Détermination de la latitude

De manière théorique, on peut déterminer la latitude d'un point en mesurant la hauteur angulaire d'un astre particulier au dessus de l'horizon. Le plan de l'horizon H H' est tangent à la surface de la terre et perpendiculaire à la demi-droite O Z ; il délimite ce que nous pouvons voir, en un lieu donné, du ciel.

Le cas le plus simple est celui d'un astre situé dans le prolongement de l'axe de la terre N O S. Etant donné la petitesse du rayon de la terre par rapport à la distance de la terre à cet astre, on peut confondre le centre de la terre O et le point situé à sa surface P, avec une erreur négligeable (voir figure 2).

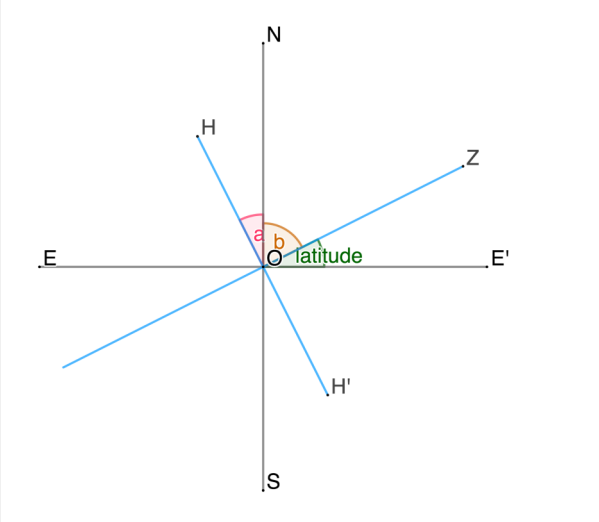
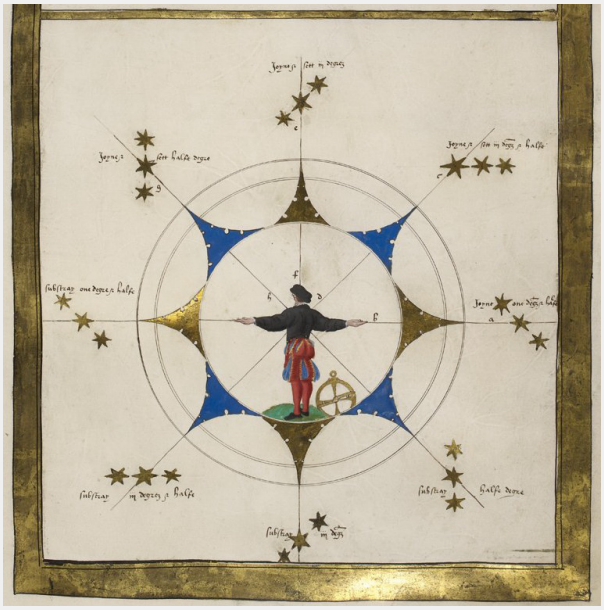


figure 2 - détermination de la latitude par le pôle

Le repère terrestre N O E' et le repère local H P Z, ou H O Z, forment par définition deux angles droits. L'angle N O E' est la somme des deux angles : *b* et *latitude*. L'angle H O Z est la somme de deux angles : *b* et *a*, qui représente la hauteur angulaire au dessus de l'horizon de l'astre situé dans le prolongement de l'axe de la terre. On en déduit que les angles *a* et *latitude* sont égaux. La mesure de la hauteur angulaire au-dessus de l'horizon donne donc directement la latitude du point P.

Il y a dans le ciel une étoile visible et facile à trouver qui se trouve dans le prolongement de l'axe de

la terre : l'étoile polaire. En réalité elle n'est pas tout fait dans l'axe de la terre : elle tourne selon un petit cercle autour de cet axe. Mais il est possible de déterminer la correction à apporter à la hauteur observée en fonction de l'orientation de sa constellation, la petite ourse. Il existait pour cela le « régiment » (règlement) de l'étoile du nord. A la fin du XVe siècle la correction pouvait atteindre 3° 1/2.



6 - illustration de la correction à apporter à la hauteur de l'étoile polaire en fonction de l'orientation de certaines étoiles de sa constellation - Booke of Idrography (1542) de Jean Rotz
Source Wikimedia Commons

L'étoile polaire a l'avantage d'être visible toutes les nuits claires, mais l'inconvénient de ne l'être que dans l'hémisphère nord. Lorsque les navigateurs portugais franchirent l'équateur, en 1471, ils ne trouvèrent pas d'étoile équivalente dans l'hémisphère sud. La solution adoptée fut finalement de mesurer la hauteur d'un astre situé dans le plan de l'équateur (voir figure 3).

L'angle *a* qui mesure la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon correspond cette fois au complément de la latitude (90° - *latitude*). L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut attendre que l'astre passe « au méridien », à midi vrai, pour pouvoir mesurer sa hauteur. Le seul astre visible le jour est le soleil. Malheureusement, il n'est situé dans le plan de l'équateur que deux fois par an. Le reste du temps il faut corriger sa hauteur observée de la latitude d'un observateur qui aurait le soleil au zénith, ce que l'on appelle sa déclinaison. La déclinaison du soleil varie chaque jour. Elle atteint son maximum, actuellement environ 23°26', les jours de l'hiver et de l'été, symbolisés par les cercles parallèles des tropiques du Cancer et du Capricorne. Il a donc fallu calculer à l'intention des pilotes une table des déclinaisons du soleil pour chaque jour de l'année et leur indiquer les formules permettant de calculer la latitude en fonction de la déclinaison (il faut en effet distinguer plusieurs cas : par hémisphère, nord ou sud et, dans chaque hémisphère, selon que le soleil est au nord ou au sud de l'observateur). Ces formules forment le « régiment » du soleil.

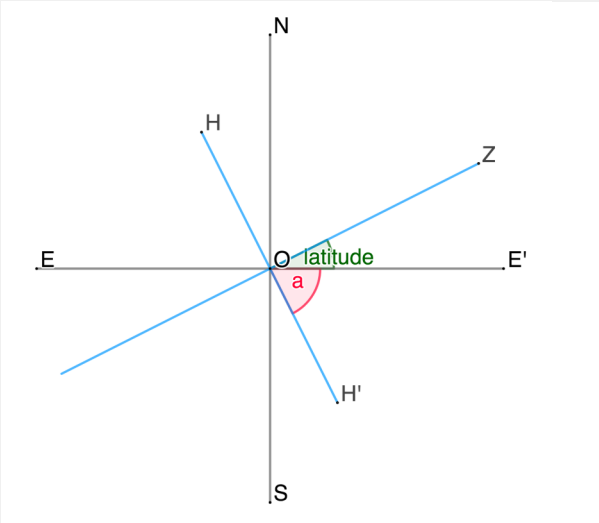


figure 3 - détermination de la latitude par l'équateur

Détermination de la longitude

La longitude étant basée sur une origine arbitraire, il n'est pas possible de s'appuyer sur les hauteurs d'astres pour la déterminer. Sa détermination se fait en comparant l'heure locale du méridien du point avec l'heure locale du méridien d'origine. Un moyen simple est de faire cela à midi vrai, lorsque le soleil est au plus haut dans le ciel. Le soleil faisant le tour de la terre (selon la science de l'époque) en 24 heures, et ce tour faisant 360°, 1 heure de temps correspond à 15° de longitude et une minute de temps correspond à 15' de longitude, soit à l'équateur environ 28 kilomètres ; une seconde de temps représente encore près de 500 mètres sur l'équateur. Le moyen le plus simple de connaître l'heure du méridien d'origine était d'embarquer une horloge réglée sur cette heure. Mais ce n'est qu'à la fin du XVIIIe siècle que l'on parvint à construire des horloges ayant la précision nécessaire. L'observation de certains évènements célestes permettait cependant de déterminer la longitude : une éclipse (rare), un lever d'une lune de Jupiter (avec un petit télescope, à terre et une bonne table astronomique) et enfin, en mer, par l'observation de la position de la lune par rapport aux étoiles, avec de bons instruments et des tables astronomiques précises (vers le milieu du XVIIIe siècle).

couvertes : *Casa da Guiné* au milieu du XVe siècle puis *Casa da Mina* et, au retour du voyage de Vasco de Gama en 1499, *Casa da Guiné, Mina e Índias*, ou plus simplement *Casa da Índias*. Vers 1480 un *Armazém da Guiné, Mina e Índias* fournissait aux pilotes des instruments nautiques et centralisait les routiers, les cartes et les journaux de bord des pilotes. Un atelier de fabrication des cartes marines lui était annexé.

De son côté, l'Espagne créa la *Casa de la Contratación de las Indias* à Séville en 1503, en s'inspirant probablement de l'établissement portugais.

Personnel

Le Portugal employait des cosmographes et des marins. L'établissement créa en 1547 le poste de grand cosmographe (*cosmógrafo-mor*).

En Espagne l'établissement employait des pilotes, des dessinateurs et des professeurs de cosmographie. Il créa en 1508 le poste de *piloto major* et en 1517 celui de *cosmographo major*.

Formation à la navigation

Au Portugal, au XVe siècle, les cosmographes et les mathématiciens de la *Junta dos Mathematicos* s'occupaient, du temps du Roi Jean II, de cartographie et de navigation. Il ne semble pas qu'il y ait eu au départ une formation organisée des pilotes. Toutefois un document indique que, dans la seconde moitié du XVIe siècle, l'*Armazém da Guiné e Índia* certifiait les pilotes formés par le *cosmógrafo-mor*.

En Espagne les pilotes étaient formés et évalués par des cosmographes et des pilotes expérimentés. La certification était effectuée par le *piloto major*.

Fourniture d'instruments nautiques

L'établissement portugais fournissait au départ des expéditions les instruments nautiques, règlements, tables, routiers et informations recueillies lors des voyages précédents, ainsi que deux cartes marines. Les pilotes devaient lui remettre au retour ces cartes, annotées, et leurs journaux.

Du côté espagnol les pilotes s'approvisionnaient directement chez les cosmographes qui dessinaient les cartes marines et fabriquaient les instruments nautiques. Ils avaient obligation de remettre leurs journaux à la *Casa* à leur retour.

Carte de référence

Chaque établissement entretenait une carte de référence révisée à partir des informations recueillies par les pilotes lors de leurs voyages et notées sur leurs cartes et dans leurs journaux.

Au Portugal la carte de référence était appelée *padrão de el-Rei* ou *padrão de navegar*.

En Espagne, la carte de référence était appelée *Padron Real*. Elle était mise à jour par une commission de pilotes présidée par le *piloto major*. Le *cosmographo major* intervenait également dans sa mise à jour. La carte de référence était complétée par un livre collationnant les informations recueillies par les pilotes lors des voyages.

Production et validation des cartes marines

Au XIIIe siècle il n'existait pas « d'école » de cartes marines au Portugal. Vers 1420 un certain maître Jacomo, de Majorque, fut engagé pour enseigner, semble-t-il, l'art de dessiner les cartes marines. Des cosmographes se mirent à dessiner des cartes et à fabriquer des instruments nautiques. A la fin du XVe siècle l'établissement employait des cosmographes pour faire, corriger et approuver les cartes et les routiers délivrés aux pilotes.

En Espagne, toutes les cartes utilisées par les pilotes devaient être produites à partir du *Padron*. Elles étaient produites soit par le bureau technique de la *Casa*, soit par des pilotes accrédités (incluant le *piloto major*) et vendues à un tarif règlementé. De nombreuses contrefaçons apparaissant, tous les cartographes professionnels de Séville furent autorisés par la suite à dessiner et à vendre des cartes, sous réserve de les faire approuver par le *piloto major* et les cosmographes de la *Casa*.

Opérations hydrographiques

Lors de leurs voyages les pilotes portugais cartographiaient les côtes nouvelles, par directions et distances et, plus tard par latitude. Ils recueillaient également des informations sur les mouillages, les profondeurs et les marées.

De leur côté, les pilotes espagnols notaient sur leurs cartes pendant leurs voyages les terres, îles, baies, ports et autres informations intéressantes. Plusieurs expéditions destinées à lever systématiquement les côtes lointaines furent organisées mais aucune n'aboutit.

Politique du secret et désinformation

Des interdictions étaient édictées pour préserver le secret des routes commerciales. Le Portugal diffusait également, semble-t-il, des cartes fausses, en particulier pour revendiquer ses droits sur des ter-

ritoires riches situés à proximité de la ligne de partage du monde fixée par le traité de Tordesillas.

Les défauts des cartes marines

En plus de leur imprécision, les premières cartes marines souffraient d'incohérences dans les directions et les distances dues à la projection d'une partie de la sphère terrestre sur un plan.

Imprécision des cartes

On ne sait pas de quelle manière a été déterminé le trait de côte de la Méditerranée, de la Mer noire et de l'Atlantique qui figure sur les premières cartes marines. On sait par contre que le trait de côte de l'Afrique, de l'Amérique et de l'Asie a été déterminé à l'estime, recalée en latitude et avec quelques longitudes mesurées à terre pendant des éclipses. L'estime reposait sur des directions prises au compas magnétique, avec une résolution de quelques degrés et bien souvent sans tenir compte de la variation, et sur une détermination des distances parcourues « au jugé ». Quand à la latitude, elle était mesurée avec une résolution au mieux d'un demi degré, ce qui correspond à une précision d'une cinquantaine de kilomètres.

Les cartes par directions et distances

A côté de cette imprécision, les cartes présentaient des défauts insoupçonnés, au moins au début. Un premier problème venait de l'absence de prise en compte de la variation du compas. Pendant plusieurs siècles les cartes de Méditerranée présentèrent un biais d'orientation qui plaçait Gibraltar à la même latitude qu'Alexandrie, alors que son parallèle passe en réalité le long de la côte sud de la Turquie.

Un second problème résultait de la projection des cartes. Lorsque le trait de côte était déterminé par directions et distances, son dessin « conservait » les distances, et les méridiens, bien que non tracés, avaient tendance à converger vers le pôle, comme sur la sphère. Par contre le marteloire dessinait un réseau de directions où les méridiens, qui donnent la direction nord-sud, étaient parallèles entre eux. Les directions relevées sur la carte étaient ainsi déviées au fur et à mesure qu'elles s'éloignaient de l'axe est-ouest. L'ajout d'une échelle des latitudes aux cartes, à partir de 1504-1505 (planisphère de Caverio), ne changea rien au problème.

Les cartes plates carrées

A partir de 1529 des échelles de longitude furent ajoutées aux cartes. Sous réserve de déformer le trait de côte pour le recaler sur les quelques points connus, de manière imprécise, en latitude et en longitude, les cosmographes obtenaient alors une carte dite « plate carrée », dans laquelle les méridiens et les parallèles formaient une grille carrée où un degré de latitude avait la même longueur qu'un degré de longitude (ce qui, sur la sphère, n'est vrai qu'à l'équateur).

Ce type de représentation apportait une extension des distances horizontales qui devenait de plus en plus importante en s'éloignant de l'équateur. Les défauts de ces cartes furent rapidement décelés. Une solution trouvée fut de multiplier les échelles de distance sur la carte. Une autre solution consistait à augmenter artificiellement, dans les traversées aux hautes latitudes, la distance quotidienne supposée parcourue par le navire, un paramètre entrant dans le calcul de l'estime. On passait ainsi de 40 à 80 lieues lors de la traversée Brésil – cap de Bonne espérance.

Les cartes réduites

Le mathématicien espagnol Pedro Nuñez, à qui les difficultés des pilotes avaient été rapportées, publia le résultat de ses réflexions en 1537. Il indiquait que les méridiens ne pouvaient pas être représentés par des lignes droites sur la carte et il montrait qu'une route à cap constant, appelée loxodromie, ne pouvait pas non plus être représentée par une ligne droite. Les cartes plates carrées ne conservaient donc ni les distances, ni les directions.

Un nouveau type de carte permit de résoudre ce problème. Sur ces cartes, appelées *cartes réduites*, la longueur du degré de latitude augmentait au fur et à mesure qu'on s'éloignait de l'équateur afin de conserver sur toute la carte le rapport entre la longueur du degré de longitude et celle du degré de latitude (rapport fonction du cosinus de la latitude). Les routes à cap constant, les loxodromies, étaient alors représentées par des droites et les distances étaient justes, à condition de les mesurer à la bonne latitude pour les trajets est-ouest ou à la latitude moyenne pour les autres trajets.

Duflot de Maufras indique que le *cosmographo major* Alonzo de Santa Cruz dessinait déjà des cartes réduites en 1539. L'histoire a associé aux cartes réduites le nom de Mercator, auteur d'une carte de ce type en 1569. C'est Edward Wright qui établit en 1593 les tables de calcul permettant de construire les cartes réduites. Il publia son travail en 1599 dans l'ouvrage *Certain errors in navigation*. Malgré leur avantage, ces cartes ne supplantèrent les plates carrées que vers le milieu du XVIIIe siècle.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	Alegria, Maria Fernanda et al. 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 38 Portuguese Cartography in the Renaissance
2	Anthiaume, Albert - 1916	Cartes marines, constructions navales, voyages de découverte chez les Normands, 1500-1650, tome I
3	Ash, Eric H. - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 20 Navigation Techniques and Practice in the Renaissance
4	Astengo, Corradino - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 7 The Renaissance Chart Tradition in the Mediterranean
5	Balard, M. - 1992	Christophe Colomb - journal de bord 1492 1493
6	Barbosa, Antonio - 1939	L'astronomie nautique au Portugal pendant les découvertes in Revue d'histoire moderne
7	Bellec, François - 2016	Histoire universelle de la navigation, tome 1
8	Bencker, Henri - 1944	Le développement de l'hydrographie maritime et des méthodes de navigation in Revue hydrographique internationale
9	Bensaude, Joaquim - 1912	L'astronomie nautique au Portugal à l'époque des grandes découvertes
10	Campbell, Tony - 1987	The history of cartography, volume 1, chapitre 19 Portolan charts from the late thirteen century to 1500
11	Cortès, Martin - 1551	Breve compendio de la sphera y de la arte de navigar, édition de 1990 de l'Editorial Naval en espagnol moderne
12	Cortesão, Armando - 1969	History of portuguese cartography, volume 1
13	Cortesão, Armando et (de) Albuquerque, Luís - 1971	History of portuguese cartography, volume 2
14	Cotter, Charles H. - 1977	The development of the mariner chart in Revue hydrographique internationale
15	Dalché, Patrick Gautier - 1995	Carte marine et portulan au XIIe siècle. Le Liber de Existencia Riverierarum et Forma Maris Nostri Mediterranei (Pise, circa 1200) in Ecole Française de Rome
16	Denuce, Jean - 1908	Les origines de la cartographie portugaise et les cartes des Reinel
17	Duflot de Maufras - 1839	Recherche sur les progrès de l'astronomie et des sciences nautiques en Espagne
18	Fine, Oronce - 1542	De Mundi sphaera, sive Cosmographia, primave Astronomiae parte, Lib. V
19	Fontoura da Costa, A. - 1939	L'art nautique des découvertes in Revue d'histoire moderne
20	Gallois, Lucien - 1914	Les portugais et l'astronomie nautique à l'époque des grandes découvertes in Annales de Géographie
21	Gallois, Lucien - 1925	Cartographie et géographie médiévale. Une carte colombienne in Annales de Géographie
22	Harisse, Henry - 1892	The Discovery of North America; a Critical, Documentary, and Historic Investigation, With an Essay on the Early Cartography of the New World, ... or Lost, Constructed Before the Year 1536
23	Lamb, Ursula - 1995	Cosmographers and Pilots of the Spanish Maritime Empire
24	Le Carrer, O - 2017	Océans de papier: Une histoire des cartes marines
25	Lelewel, Joachim - 1852	Géographie du moyen âge, tomes I et II

26	Lulle, Raymond - 1296	Arbre de science, traduction du catalan en français de 2018
27	Martinière, Guy - 2014	Le Portugal à la rencontre de trois mondes
28	Medina, Pedro - 1569	L'Art de naviguer, de M. Pierre de Medine, traduit de castillan en françois par Nicolas de Nicolai
29	(de) Oliveria Martins, J.-P. - 1893	Les explorations des portugais antérieures à la découverte de l'Amérique
30	Passerat, C - 1910	Etude sur les cartes de Poitou et de Saintonge antérieures aux levés du XIXe siècle, thèse
31	Presciuttini, Paula - 1991	The controversial origins of medieval nautical cartography in Revue hydrographique internationale
32	(de La) Roncière, Monique et Mollat du Jourdin, Michel - 1984	Les portulans
33	Sandman, Alison - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 40 Spanish Nautical Cartography in the Renaissance
34	Santarem, Manuel - 1849	Essai sur l'histoire de la cosmographie et de la cartographie pendant le moyen-âge : et sur les progrès de la géographie après les grandes découvertes du XVe siècle, tome I
35	Stevenson, Edward - 1911	Portolan charts, their origin and characteristics
36	Taylor, E.G.R. - 1956	The haven finding art, édition de 1971
37	Teixeira da Mota, A. - 1976	Some notes on the organisation of hydrographical services in Portugal before the beginning of the nineteeth century in Imago mundi second series, volume 2 n°28
38	Vivien de Saint-Martin, Louis - 1873	Histoire de la géographie et des découvertes géographiques depuis les temps le plus reculés jusqu'a nos jours
39	Waters, David W. - 1958	The art of navigation in England in Elisabethan and early Stuart times
40	Waters, David W. - 1988	Reflections upon some navigational and hydrographic problems of the XVth century related to the voyage of Bartolomeu Dias 1487-88

3 - les débuts de l'hydrographie française

L'hydrographie apparaît en France au XVIe siècle dans différentes écoles réalisant des cartes et des ouvrages nautiques. L'école normande est particulièrement connue pour la variété de ses travaux et pour son activité d'enseignement de la navigation.

Les premières traces d'une activité hydrographique en France datent du début du XVIe siècle. Au vu des cartes et des ouvrages qui sont parvenus jusqu'à nous, cette activité a d'abord été le fait de pilotes et de dessinateurs de cartes étrangers venus s'établir sur les côtes françaises. Ils ont été suivis par des français exerçant à titre privé dans des foyers géographiques que les historiens ont appelé « écoles ».

Les précurseurs

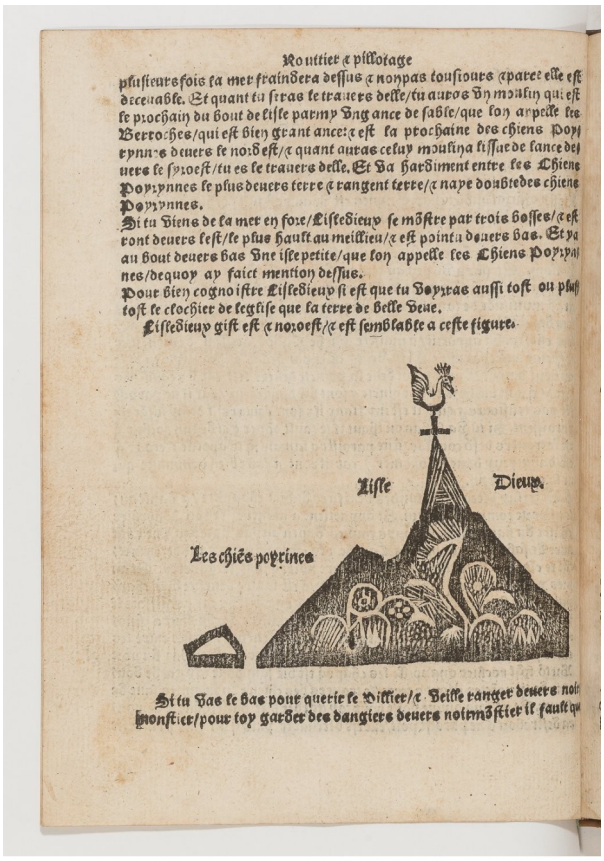
Pierre Garcie

Le plus ancien hydrographe connu en France est Pierre Garcie, dit Ferrande, un maître de cabotage vendéen d'origine portugaise ou espagnole. Il rédigea vers 1483 un routier publié en 1502 sous une forme abrégée, *Le routier de la mer : jusques au fleuve de Jourdain* avant d'être publié en version intégrale à partir de 1520 et jusqu'en 1648 sous le titre *Le grant Routtier, Pillotage et Encrage de Mer*.

Les routiers étaient des recueils d'instructions servant à guider les pilotes pendant leurs navigations. Ces routiers existaient depuis plusieurs siècles en Italie sous le nom de *portolani*, puis au Portugal sous le nom de *roteiros*, en Angleterre sous celui de *rutters* et en Hollande sous celui de *leeskaerten*. Aujourd'hui on les nomme *instructions nautiques*. Ils étaient souvent accompagnés d'un traité de navigation plus ou moins fourni.

Le routier de Pierre Garcie débute par des notions d'astronomie permettant de connaître l'heure grâce aux étoiles et des notions de météorologie, avant de décrire la navigation le long des côtes d'Espagne, de France, de Bretagne, d'Angleterre, de Flandres et d'Allemagne. Il indique les dangers, les ports, les havres, les marées, les sondes, les rivières et les chenaux. Il se termine par des textes de droit maritime, dont les *Jugements d'Oléron*.

La version complète du routier de Pierre Garcie comportait pour la première fois des vues représentant de manière succincte l'aspect des îles, des pointes et d'autres éléments remarquables de la côte. L'auteur, certainement habitué à la navigation le long de ces côtes, indique avoir rédigé son ouvrage suivant les opinions des maîtres en navigation et des pilotes de plusieurs ports de la Manche et de l'Atlantique.



1 - page du routier de Pierre Garcie - cote 4-S-3427
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Jean Roze

Jean Roze, ou Rotz, était un pilote Dieppois de père écossais. Il écrivit en 1542 un *Booke of Idrography*, un traité de navigation accompagné de cartes, qu'il présenta au roi d'Angleterre Henri VIII. Le roi le nomma *Hydrographer to the king*. Après la mort du roi, Jean Roze rentra en France et on retrouve sa trace à Dieppe en 1551.

Jean Fonteneau

Jean Fonteneau, dit Alfonse de Saintonge, était, pour beaucoup d'historiens, un navigateur portugais. Il rédigea en 1544-45 *La Cosmographie avec l'espère et régime du soleil du nord par Jean Fonteneau dit Alfonse de Saintonge, capitaine-pilote de François Ier* qui comportait un routier, plus sommaire que celui de Pierre Garcie, et qui semble être une adaptation de la *Suma de Geografia* de Martín Fernández de Enciso (1519). Une autre de ses œuvres, un routier intitulé *Les voyages avantureux du Capitaine Ian Alfonce*, fut publiée en 1559 après sa mort.

Les écoles hydrographiques

L'école normande

L'hydrographie normande s'est développée, centrée sur Dieppe, de 1536 à 1635. Les Dieppois avaient une flotte importante et pratiquaient activement la navigation de commerce. Leurs hydrographes, des pilotes mais aussi des prêtres, ont dessiné des cartes marines d'inspiration portugaise, ont écrit des traités de navigation et ont mis sur pied le premier enseignement de la navigation prodigué en France.

L'école du Conquet

Le Conquet, situé sur la façade Atlantique à l'ouest de Brest, était dans le passé un port prospère. Une école hydrographique y a été active, de façon discontinue, de 1543 à 1650. Les hydrographes du Conquet ont produit des traités de navigation gravés sur bois, comportant des cartes de marées originales.

L'école basque

L'école basque a été active, de façon discontinue, de 1579 à 1689. Les basques pêchaient la baleine depuis le XIIe siècle, d'abord dans le golfe de Gascogne puis à Terre-Neuve. Les hydrographes de Saint-Jean-de-Luz ont produit des routiers et plus tard des cartes de Terre-Neuve.

L'école de Marseille

Bien que des cartographes étrangers aient dessiné des cartes à Marseille à partir de 1539, les historiens considèrent que l'école de Marseille est apparue en 1590 et s'est éteinte en 1672. Ses hydrographes ont dessiné essentiellement des cartes de la Méditerranée, souvent sous forme de recueils de quelques cartes.



2 - mappemonde de Pierre Desceliers, école normande - 1550
Source Wikimedia Commons



3 - page du manuel de pilotage à l'usage des marins bretons de Guillaume Brouscon, école du Conquet - 1548
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Les cartes marines

A l'exception de l'école du Conquet qui utilisait la gravure sur bois (xylographie) les hydrographes français dessinaient leurs cartes à la main. Beaucoup de ces cartes manuscrites ont disparu.

Innovations cartographiques

La Bibliothèque Nationale a édité en 1963 un catalogue des cartes nautiques sur vélin qu'elle conserve. Ce catalogue décrit 189 atlas et cartes marines provenant de toutes les écoles, françaises et étrangères, du XIIIe au XVIIIe siècle.

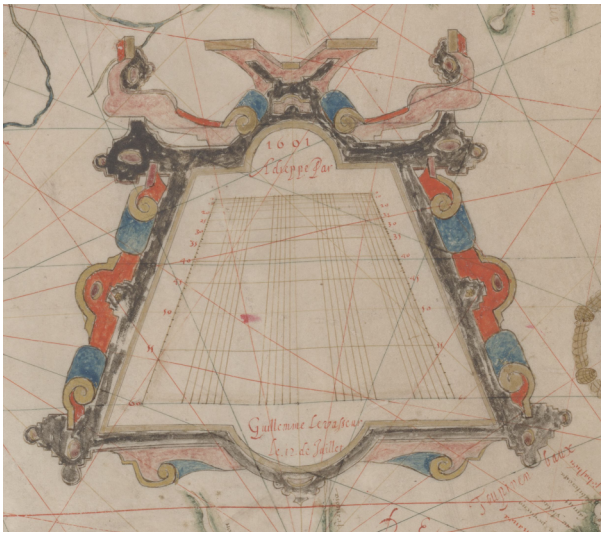
Dans cet ensemble les cartes marines du XIIIe au XVe siècle comportent en général, outre leur dessin, une échelle des distances et un réseau des directions, le marteloire.

Au début du XVIe siècle les premières échelles des latitudes apparaissent (carte de Caverio, vers 1504-1505).

Les échelles des longitudes apparaissent en 1543 (carte de Battista Agnese). Les cartes marines deviennent des « plates carrées » où la longueur des degrés de longitude et de latitude est constante sur toute la carte et bien souvent identique.

A partir de 1550 (carte de Jorge Reinel) certaines cartes qui englobent Terre-Neuve comportent dans cette zone une échelle auxiliaire des latitudes penchée de 10° ou de 11°25 (l'équivalent d'un rhumb). Cette échelle permet de compenser l'inclinaison du tracé de la côte due à la déclinaison magnétique importante dans cette région, les relevés des côtes à la boussole étant pris tels quels.

Les échelles de latitudes croissantes apparaissent en 1601 (carte de Guillaume Levasseur). Le flamand Mercator avait produit en 1569 une carte géographique portant une échelle des latitudes croissantes, sans préciser la manière de la calculer. Ce n'est qu'en 1599 que l'anglais Edward Wright indiqua dans *Certain errors in navigation detected and corrected* comment tracer ces échelles. Afin d'aider les pilotes à faire leur estime certaines cartes tracées avec les latitudes croissantes comportaient des échelles de longueurs calculées pour différentes latitudes.



4 - échelle des longueurs adaptée aux latitudes croissantes de Guillaume Levasseur - 1601 - cote GE SH ARCH-5
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Une seule carte du catalogue porte des indications de nature de fond : celle de Jean Guérard intitulée *description hidrografique de la France* (1627). Cette carte est également la première du catalogue à porter des sondes.

Zones cartographiées

Jusqu'au XVe siècle, les dessinateurs de cartes travaillaient par copie d'un modèle existant couvrant le centre et le sud de l'Europe, la Méditerranée et la Mer Noire. Le dessin du trait de côte était réduit ou agrandi, orienté ou translaté d'un seul bloc.

La découverte des îles de l'Atlantique, puis des côtes africaines, américaines et asiatiques obligea les dessinateurs à créer et à intégrer de nouveaux tracés à partir des informations rapportées par les pilotes sous forme de dessins des côtes, de croquis et de listes de distances, directions et hauteurs (ou



5 - détail de la description hidrografique de la France de Jean Guérard - 1627 - cote GE SH ARCH-12
Les nervures indiquent les natures de fond
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

latitudes). Les mesures de longitude à terre étaient fort rares. Les Portugais et les Espagnols consolidaient ces observations dans leurs cartes de référence, garantissant une certaine homogénéité à défaut d'exactitude. Les hydrographes français, n'ayant pas cette contrainte, ont pu être plus créatifs dans la représentation des terres nouvellement découvertes ou dont l'existence était supposée.

Les navigations françaises, cherchant l'accès aux richesses des Indes par le nord-est, le nord-ouest et le sud-ouest ont surtout rapporté des informations sur les côtes américaines où des tentatives d'établissement de colonies eurent lieu en Floride, au Canada et au Brésil.

Les routiers

En plus des routiers de Pierre Garcie et de ceux de Jean Fonteneau, on peut citer :

- en 1579 le routier de Terre-Neuve de Martin de Hoyarsabal (école basque)
- en 1583 une traduction du routier d'Alexander Lindsay par Nicolas de Nicolay, premier cosmographe du roi : *la navigation du roi d'Ecosse* (publication posthume)
- en 1677 le Routier des Indes orientales et occidentales de F. Dassié

L'enseignement de la navigation

L'école de Dieppe

Le premier français à avoir enseigné la science nautique est le prêtre Pierre Desceliers. Cette activité lui a valu d'être considéré comme le père de l'hydrographie française, le mot hydrographie prenant ici le sens d'art de naviguer.

Pierre Desceliers enseignait à Dieppe et son enseignement a été poursuivi dans cette ville, à titre privé, par ses successeurs jusqu'en 1661 :

- Prescot (prêtre)
- Breton ? (prêtre)
- Jean Cousin (pilote)
- Jean Guérard (pilote)
- Jean Dupont ?
- Jean Cauderon (ou Caudron, ou Gaudron, prêtre)
- François Roussel ?
- Guillaume Denis (ou Denys, prêtre)

Plusieurs de ces enseignants ont également dessi-



6 - page des premières œuvres de Jacques de Vaulx - 1583 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

né des cartes : Pierre Desceliers, Jean Guérard, Jean Dupont et Jean Cauderon.

Traités de navigation

Si les enseignants dieppois disposaient pour leur enseignement de manuels d'instructions, ces derniers ont été perdus. Par contre on connaît plusieurs traités de navigation rédigés aux XVIe et XVIIe siècles :

- en 1543, 1546 et 1548 les manuels de Guillaume Brouscon (école du Conquet)
- en 1554 *l'art de naviguer de M. Pierre de Médine, espagnol*, traduit en français par Nicolas de Nicolay
- en 1574 le *Dialogue de la longitude Est-Ouest* de Toussaint de Bessard
- en 1576 le manuel de Ian Troadec (école du Conquet)
- en 1583 *Les premières œuvres de Jacques de Vaulx, pillote en la marine* (école normande)
- en 1608 le *Traité de la géodrographie ou art de naviguer* de Guillaume Le Vasseur (école normande)
- en 1626 le *Traité de géodographie ou abrégé de l'art de naviguer* de Jean Guérard (école normande)
- en 1630 *Des commancemens de l'hidrographie ou Art de naviger* de Guillaume Le Vasseur (école normande)
- en 1632 le *Traité du bon marinier* de Samuel de Champlain
- en 1650 *Les principes de la navigation* de Christophe Troadec (école du Conquet)
- en 1668 *L'art de naviguer, perfectionné par la connaissance de la variation de l'aimant, ou le traité de la variation de l'aiguille aimantée* de Guillaume Denis (école normande)
- en 1673 *L'art de naviger dans la plus haute perfection, ou le traité des latitudes*, du même
- en 1683 *La véritable et unique méthode de naviguer, par le quartier d'or* de Corruble et *Le pilote expert* de F. Dassié

Détermination de la longitude par l'aiguille aimantée

Les normands ont cherché à déterminer la longitude à partir de la déviation de l'aiguille aimantée, supposée être constante sur tout un méridien.

Toussaint de Bessard, dans le *Dialogue de la longitude* (1574) conclut que le vrai méridien passe par l'île San-Miguel des Açores et par l'île de Fer des Canaries. A midi l'aiguille aimantée y montre le nord. Partout ailleurs elle oscille vers l'ouest ou vers l'est. L'auteur présente un instrument, le micomètre, servant à déterminer la variation de l'aiguille, dont il déduit la longitude.

Jacques de Vaulx, dans ses premières œuvres (1583) présente un instrument appelé hémisphère marine qui permet de trouver à chaque heure du jour la hauteur de la latitude et même la longitude à midi.

Guillaume de Nautonier écrit en 1603 la *Mécométrie de l'eymant, c'est à dire la manière de mesurer les longitudes par le moyen de l'eymant*.

Bien que réfutées, ces idées sont adoptées par les Normands et hors de France. La variation de la déclinaison de l'aiguille sur un même méridien sera montrée par Halley lors d'une croisière d'observation de 1698 à 1700.

Samuel de Champlain utilise la méthode de Nautonier pour sa carte du Canada de 1606 mais

l'abandonne dans son *traité du bon marinier* de 1632.

En 1631 Jean Le Tellier publie *Voyages aux indes orientales* où il établit des tables de concordance entre la variation de l'aiguille et les longitudes.

L'abbé Denis écrit également sur le sujet en 1668.

La fin des écoles d'hydrographie

L'activité hydrographique privée pratiquée dans les écoles d'hydrographie s'est éteinte au XVIIe siècle. Plusieurs facteurs peuvent expliquer la disparition des écoles :

- les guerres en France, en particulier les guerres de religion,
- la concurrence des ateliers cartographiques hollandais capables de produire en quantité, grâce à leur maîtrise de la gravure sur cuivre, et en qualité, quitte à copier des œuvres étrangères,
- la naissance de l'hydrographie d'état, particulièrement pour l'école normande dont l'activité d'enseignement nautique a été subventionnée par Colbert à partir de 1661.

Production des écoles hydrographiques

Table des œuvres conservées et datées produites en France par les écoles hydrographiques et leurs précurseurs aux XVIe et XVIIe siècles. Le mot « atlas » désigne les recueils de cartes. Le nombre de cartes qu'ils contiennent est indiqué dans la colonne commentaires.

Année	Type	Auteur	Ecole	Commentaires
1502	Routier	Pierre Garcie		Le routier de la mer : jusques au fleuve de Jourdain
1520	Routier	Pierre Garcie		Le grant Routtier, Pillotage et Encrage de Mer
1539	Cartes	Giacomo a Lagna Trapani	Marseille	
1539	Cartes	Nicolas Iszoard	Marseille	
1542	Traité	Jean Rotz	Normande	The Boke of Idrography ; science nautique et 12 cartes
1542	Carte	Jean Rotz ?	Normande	Carte de la Manche
1543	Traité	Guillaume Brouscon	Le Conquet	Guide nautique graphique avec cartes
1544-45	Traité	Jean Fonteneau		La Cosmographie avec l'espère et régime du soleil du nord par Jean Fonteneau dit Alfonse de Saintonge, capitaine-pilote de François Ier ; science nautique, cartes et routier (adaptation de Suma de geographía de Martín Fernández de Enciso - 1519)
1545	Carte	?	Normande	Carte Harleiènne ; monde
1545 env	Atlas	?	Normande	Atlas de la Hague ; science nautique et 14 cartes
1546	Carte	Pierre Desceliers	Normande	Monde
1546	Traité	Guillaume Brouscon	Le Conquet	Guide nautique graphique avec cartes
1547	Atlas	?	Normande	Atlas Vallard ; science nautique et 15 cartes
1548	Traité	Guillaume Brouscon	Le Conquet	Manuel de pilotage à l'usage des marins bretons ; science nautique et cartes (manuscrit)
1550	Carte	Pierre Desceliers	Normande	Monde
1550	Carte	Jaumes Olives	Marseille	
1553	Carte	Pierre Desceliers	Normande	Monde
1555 env	Atlas	Nicolas Desliens ?	Normande	6 cartes
1556 env	Atlas	Guillaume Le Testu	Normande	Cosmographie universelle selon les navigateurs tant anciens que modernes ; science nautique et 56 cartes
1559	Traité	Jean Fonteneau		Les voyages avantureux du Capitaine Ian Alfonce ; science nautique, routier (publication posthume)
1561	Carte	Nicolas Desliens	Normande	Monde
1566	Carte	Nicolas Desliens	Normande	Monde
1566	Carte	Guillaume Le Testu	Normande	Monde
1566	Carte	Jaumes Olives	Marseille	

1566	Carte	Jaumes Olives	Marseille	
1567	Carte	Nicolas Desliens	Normande	Monde
1568	Carte	Pierre Hamon	Normande	Monde
1568	Atlas	Juianus Graffingnia	Marseille	6 cartes
1570	Carte	Jean Cossin	Normande	Carte cosmografique ou Universelle decription du monde avec le vrai traict des vens ; planisphère en projection sinusoïdale
1571	Carte	Angelus	Marseille	Méditerranée, Mer Noire, côtes Atlantiques
1571-74	Atlas	Angelus	Marseille	(4 atlas non localisés)
1576	Traité	Ian Troadec	Le Conquet	Guide nautique graphique avec cartes
1579	Carte	Jacques de Vau de Claye	Normande	Côtes du Brésil
1579	Carte	Jacques de Vau de Claye	Normande	Le vrai pourtraict de Genevre et du cap de Frie ; (baie de Rio de Janeiro)
1579	Routier	Martin de Hoyarsabal	Basque	Les voyages avantureux du capitaine Martin de Hoyarsabal ; concerne en particulier Terre-Neuve
1580 env	Atlas	?	Normande	Atlas de Lyon ; 12 cartes
1583	Traité	Jacques de Vaulx	Normande	Les premières œuvres de Jacques de Vaulx, pillote en la marine ; science nautique et 10 cartes
1584	Carte	Jacques de Vaulx	Normande	Côtes d'Amérique
1587 env	Atlas	?	Normande	Le livre de la marine du pilote Pasterot ; 78 cartes
1592	Atlas	Hercules o Doria	Marseille	9 cartes
1601	Carte	Guillaume Le Vasseur	Normande	Atlantique, carte réduite (échelle en bandes de latitude)
1607	Carte	Samuel de Champlain		Description de la Nouvelle-France
1608	Traité	Guillaume Le Vasseur	Normande	Traité de la géodrographie ou art de naviguer ; science nautique
1612	Carte	Joan Oliva	Marseille	
1613	Atlas	Joan Oliva	Marseille	12 cartes
1613	Carte	Pierre de Vaulx	Normande	Atlantique
1614	Atlas	Joan Oliva	Marseille	10 cartes
1615	Carte	Joan Oliva	Marseille	
1619	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	2 cartes
1620	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	7 cartes
1620	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	3 cartes
1620	Atlas	Charlat Ambrosin	Marseille	Atlas de la Méditerranée ; 5 cartes
1623	Carte	Pierre Bernard	Marseille ?	
1624	Carte	Yann Le Béchec	Le Conquet	Île du Conquet
1625	Carte	Jean Dupont	Normande	Atlantique Nord et océan Arctique
1625	Carte	Jean Dupont	Normande	Atlantique

1625	Carte	Jean Dupont	Normande	Golfe de Gascogne
1625	Carte	Jean Guérard	Normande	Nouvelle description hydrographicque de tout le monde ; monde
1626	Traité	Jean Guérard	Normande	Traité de géodographie ou abrégé de l'art de naviguer
1627	Carte	Jean Guérard	Normande	Description hidrografique des costes, ports, havres et rades du roiaume de France ; côtes de la Manche et de l'Atlantique
1627	Carte	Jean Guérard	Normande	Description hidrografique de la France ; côtes de la Manche et de l'Atlantique (avec sondes et natures de fond)
1627	Atlas	Jean Guérard ?	Normande	Description generalle de la coste maritime du royaume de France en la mer Occeane ; 15 cartes
1628	Carte	Jean Guérard	Normande	Arctique
1628	Carte	Yann Le Béchec	Le Conquet	Port et île du Conquet
1630	Traité	Guillaume Le Vasseur	Normande	Des commancemens de l'hidrographie ou Art de naviger ; science nautique et carte
1630	Atlas	Augustin Roussin	Marseille	3 cartes : Méditerranée, mer Egée, Méditerranée occidentale et côtes Atlantiques
1630	Atlas	Augustin Roussin	Marseille	
1630 env	Carte	?	Normande	Spitzberg
1631	Carte	Jean Guérard	Normande	Atlantique
1631	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	3 cartes : Atlantique nord-est, Méditerranée
1631	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	3 cartes
1633	Carte	Jean Guérard	Normande	Amérique centrale
1633	Carte	Jean Guérard	Normande	Méditerranée et Mer Noire, côte Atlantique française d'Ouessant à Sainte-Croix et 9 plans de ports (commande de Richelieu)
1633	Atlas	Augustin Roussin	Marseille	Atlas provençal de la Méditerranée ; 3 cartes
1633	Atlas	Augustin Roussin	Marseille	3 cartes
1634	Carte	Jean Guérard	Normande	Carte universelle hydrographique ; planisphère
1635	Atlas	Jean Guérard	Normande	Monde, 37 cartes
1635	Atlas	Salvatore Oliva	Marseille	3 cartes : Méditerranée
1642	Atlas	Pierre Collin	Marseille	6 cartes
1643	Atlas	François Ollive ?	Marseille	4 cartes : Adriatique, mer Egée, Méditerranée occidentale et côtes Atlantiques, Méditerranée centrale et orientale
1645	Atlas	Augustin Roussin	Marseille	3 cartes
1650	Atlas	François Ollive	Marseille	5 cartes
1650	Atlas	François Ollive	Marseille	3 cartes
1650	Traité	Christophe Troadec	Le Conquet	Les principes de la navigation ; science nautique et cartes

1652	Carte	François Ollive	Marseille	(ou atlas composé des 3 cartes de 1652)
1652	Carte	François Ollive	Marseille	
1652	Carte	François Ollive	Marseille	
1654	Carte	Roussin ?	Marseille	
1655	Carte	Etienne Bremond	Marseille	(ou atlas composé d'une seule carte)
1658	Atlas	François Ollive	Marseille	5 cartes
1658	Atlas	Jean-François Roussin	Marseille	4 cartes
1658	Atlas	Jean-François Roussin	Marseille	4 cartes
1659	Atlas	François Ollive ?	Marseille	2 cartes
1659	Atlas	Jean-François Roussin	Marseille	3 cartes : Atlantique nord-est, Méditerranée
1661	Atlas	François Ollive	Marseille	4 cartes : Atlantique nord-est, Méditerranée
1661	Atlas	François Ollive	Marseille	3 cartes : Méditerranée
1662	Carte	François Ollive	Marseille	Méditerranée
1662	Carte	François Ollive	Marseille	Mer Egée
1662	Atlas	Jean-André Bremond	Marseille	2 cartes
1664	Carte	François Ollive	Marseille	
1664	Carte	Jean-André Bremond	Marseille	
1664	Carte	Jean-André Bremond	Marseille	Carte particulière de la coste de Barbarie
1668	Traité	Guillaume Denis	Normande	L'art de naviguer, perfectionné par la connaissance de la variation de l'aimant, ou le traité de la variation de l'aiguille aimantée
1669	Atlas	Jean-André Bremond	Marseille	5 cartes
1670	Atlas	Jean-André Bremond	Marseille	5 cartes
1673	Traité	Guillaume Denis	Normande	L'art de naviger dans la plus haute perfection, ou le traité des latitudes
1674	Carte	Jean-François Roussin	Marseille	Méditerranée
1679	Atlas	Tropheme Vernier	Marseille	2 cartes
1680	Carte	Jean-François Roussin	Marseille	
1680	Carte	Jean-François Roussin ?	Marseille	
1689	Carte	Pierre Detcheverry	Basque	Terre-Neuve
1689	Carte	Pierre Detcheverry	Basque	Isle de Terre-Neuve et entrée du Saint-Laurent

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	Anthiaume, Albert - 1916	Cartes marines, constructions navales, voyages de découverte chez les Normands, 1500-1650, tome I
2	Anthiaume, Albert - 1920	Evolution et Enseignement de la science nautique en France, et principalement chez les Normands, tome I
3	Anthiaume, Albert - 1926	Pierre Desceliers père de l'hydrographie et de la cartographie françaises
4	Asseline, David - 1874	Les antiquitez et chroniques de la ville de Dieppe
5	Astengo, Corradino - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 7 The Renaissance Chart Tradition in the Mediterranean
6	Baverel, D - 2011	Les cartographes & les nouveaux mondes : Une représentation normande des grandes découvertes
7	Bellec, François - 2016	Histoire universelle de la navigation, tome 1
8	Bellec, François - 2017	Histoire universelle de la navigation, tome 2
9	Chapuis, Olivier - 2007	Cartes des Côtes de France
10	Desmarquets, Jean Antoine Samson - 1785	Mémoires chronologiques pour servir à l'histoire de Dieppe et à celle de la navigation françoise, tome second
11	Dujardin-Troadec, Louis - 1966	Les cartographes bretons du Conquet – la navigation en images 1543-1650
12	Foncin, Myriem, Destombes, Marcel et (de La) Roncière, Monique - 1963	Catalogue des cartes nautiques sur Vélin conservées au Département des Cartes et Plans
13	Guibert, Michel Claude et Hardy, Michel – 1878	Mémoires pour servir à l'histoire de la ville de Dieppe ; Tome 1
14	Hamy, E.-T. - 1890	Jean Roze hydrographe dieppois du milieu du XVIe siècle in Bulletin de géographie historique et descriptive
15	Le Carrer, O - 2017	Océans de papier: Une histoire des cartes marines
16	Lestringant, Frank -	La cosmographie universelle de Guillaume le Testu (1556)
17	Masson, Philippe et Vergé-Franchesci, Michel - 1993	La France et la Mer au siècle des grandes découvertes
18	(de) Matos, Luis - 1952	Les portugais en France au XVIe siècle
19	Neuville, Didier - 1882	Les établissements scientifiques de l'ancienne marine
20	Passerat, C - 1910	Etude sur les cartes de Poitou et de Saintonge antérieures aux levés du XIXe siècle, thèse
21	Pawlowski, Auguste - 1900	Les plus anciens hydrographes français : Pierre Garcié dit Ferrande in Bulletin de géographie historique et descriptive
22	Pawlowski, Auguste - 1905	Les plus anciens hydrographes français : Jean Fonteneau dit Alfonse in Bulletin de géographie historique et descriptive
23	Richard, Hélène - 1988	Cartes et instructions nautiques concernant les côtes du Poitou et de l'Aunis, XVIe-XIXe siècles in Bulletin de la Société des antiquaires de l'Ouest et des musées de Poitiers
24	(de La) Roncière, Charles - 1900	Histoire de la marine française, tome II
25	(de La) Roncière, Charles - 1910	Histoire de la marine française, tome III

26	(de La) Roncière, Charles - 1910	Histoire de la marine française, tome IV
27	(de La) Roncière, Charles - 1916	Origines du service hydrographique de la marine in Bulletin de géographie historique et descriptive
28	(de La) Roncière, Monique et Mollat du Jourdin, Michel - 1984	Les portulans
29	Toulouse, Sarah - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1, chapitre 52 Marine Cartography and Navigation in Renaissance France
30	Vivien de Saint-Martin, Louis - 1873	Histoire de la géographie et des découvertes géographiques depuis les temps le plus reculés jusqu'a nos jours
31	Wallis, Helen - 1982	The Rotz Atlas. A Royal presentation, The map collector n°20
32	Waters, David W. - 1958	The art of navigation in England in Elisabethan and early Stuart times

4 – vers l'hydrographie moderne

L'hydrographie française vit une révolution au XVIIe siècle. Alors que les écoles cartographiques voient leur activité s'éroder jusqu'à l'extinction, l'Etat, sous la main de Richelieu puis de Colbert, s'approprie l'hydrographie à la fois pour la défense du royaume et pour la sécurité de la navigation et du commerce. Colbert ordonne de nombreux levés des côtes et les cartes qui en résultent bénéficient des grands progrès que fait alors la science. Les dernières décennies voient la mise en place d'une structure permanente, certes très réduite, qui deviendra quarante ans plus tard le plus ancien service hydrographique toujours en activité.

1 - lever les cartes

Les techniques permettant de lever les cartes géographiques ou hydrographiques commencent à être documentées au XVIe siècle. Elles sont utilisées couramment au XVIIe siècle. S'il est possible d'obtenir avec elles de bons résultats à terre, les mesures faites en mer n'ont que la précision, médiocre, des instruments utilisés alors par les marins.

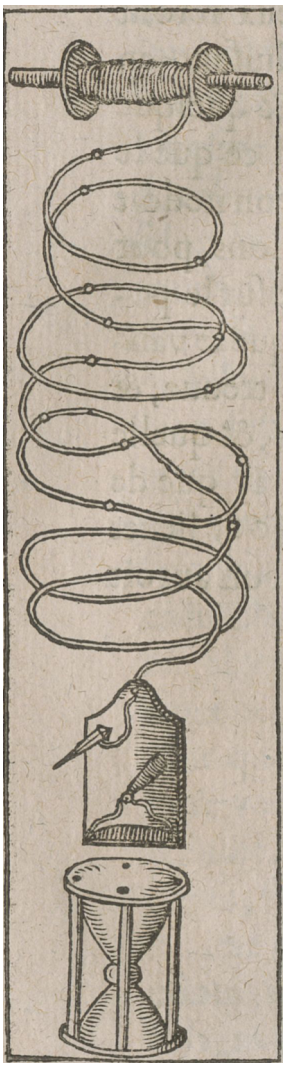
Mesures et instruments

Lever une carte consiste à déterminer la position des objets que l'on veut y représenter, de façon qu'ils soient placés sur la carte dans les mêmes rapports que sur le terrain. Pour cela, les opérateurs qui effectuent le levé mesurent des distances et des angles.

Mesures de distances

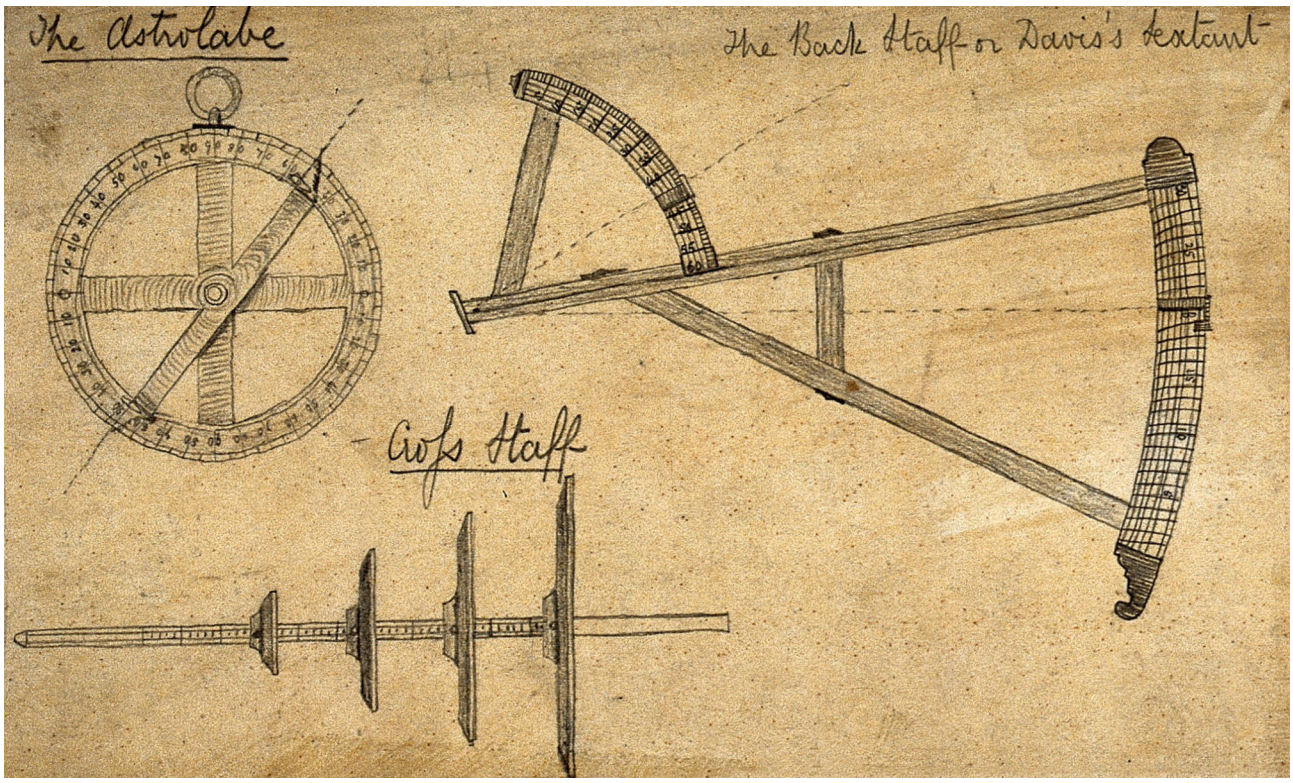
A terre, les distances entre deux points se mesurent en comptant ses pas ou en comptant combien d'éléments de longueur connue, une règle ou une chaîne, peuvent être mis bout à bout entre les deux points.

En mer, la distance entre l'observateur et un point matérialisé peut être estimée « à vue ». La distance parcourue entre deux points par un navire à rame peut être estimée en comptant les coups de rames donnés entre les deux points et en multipliant ce nombre par une estimation du déplacement fourni par un coup de rame. Enfin, la distance parcourue par un navire pendant un intervalle de temps peut être calculée par une estimation de sa vitesse. A partir du milieu du XVIe siècle on commence à mesurer la vitesse des navires au moyen du loch.



1 - illustration d'un loch dans Les voyages de la nouvelle France occidentale dicte Canada ... de S. Champlain - 1632 /Source gallica.bnf.fr / BnF

Le loch a été inventé en Angleterre au cours du XVIe siècle. Il est constitué d'une planche de bois attachée à une cordelette. Au moment de la mesure, on jette la planche de bois à l'eau et on laisse filer la cordelette pendant un temps convenu, par exemple 30 secondes. Considérant que le morceau de bois est resté immobile dans l'eau, la longueur de cordelette filée correspond à la distance parcourue par le navire pendant la durée de la mesure. Pour éviter tout calcul, des nœuds sont faits sur la cordelette à des intervalles réguliers de façon qu'en comptant les nœuds qui défilent avec la cordelette on obtienne directement la vitesse du navire en milles par heure. La précision apportée par le loch améliorant grandement la précision du point estimé, son usage se répand et le *nœud* devient l'unité de vitesse des navires, un nœud correspondant au parcours de 1 852 m par heure.

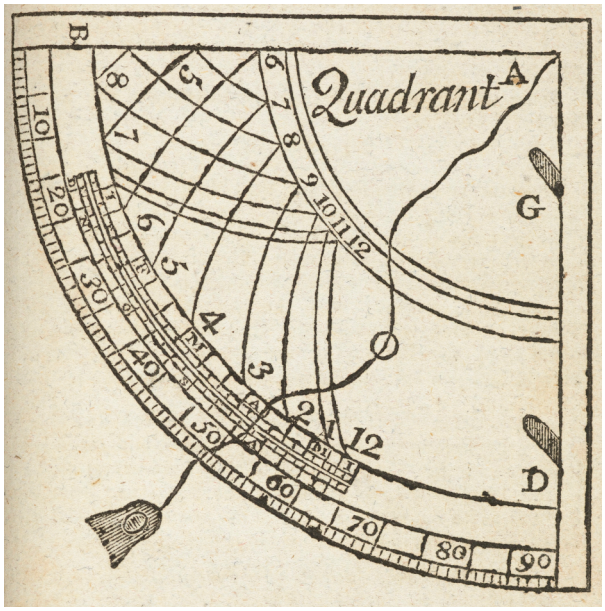


2 - en haut, de gauche à droite : astrolabe nautique et quartier de Davis - en bas : arbalestrille
Dessin d'après Edmund Gunter, 1624 - crédit: Wellcome Collection. CC BY (https://wellcomecollection.org/works/dq5gavx3)

Mesures d'angles

La mesure de l'angle que font deux points par rapport à un observateur s'effectue au moyen de divers instruments.

Sur un navire, soumis aux mouvements de la mer, les instruments utilisables sont :



3 - illustration d'un quadrant dans *The Instructor: or young man's best companion*
Credit: Wellcome Collection. CC BY (https://wellcomecollection.org/works/eegrdnn5)

- la boussole, ou compas, limitée aux angles horizontaux, qui donne l'angle entre une direction et le nord magnétique, à condition que l'aiguille aimantée ne soit pas perturbée par une masse métallique,

- l'arbalestrille, ou bâton de Jacob : l'observateur fait coulisser un marteau sur une tige graduée jusqu'à voir les deux points formant l'angle aux deux extrémités du marteau (précision estimée : 1/4°),

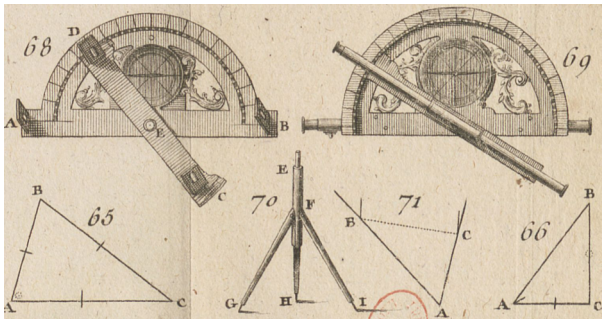
- l'astrolabe nautique, version simplifiée de l'astrolabe, limité en principe aux angles verticaux : le zéro est maintenu sur le plan horizontal par la gravité ; l'observateur vise le point avec l'alidade équipée de pinules (précision estimée en mer : 4 à 5°),

- le quadrant, limité aux angles verticaux : on place le zéro dans la direction du point, le fil à plomb donne la valeur de l'angle au dessus de l'horizon (précision estimée en mer : 1 à 2°),

- le quartier de Davis (ou *back-staff*), bâton de Jacob amélioré permettant de mesurer la hauteur du soleil en lui tournant le dos.

A terre, l'observateur dispose d'instruments bien plus précis :

- le demi-cercle ou le cercle gradué, avec une ligne de visée fixe pour le zéro (pinule ou lu-



4 - demi-cercle gradué ou graphomètre, avec pinules et avec lunettes dans *Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer par feu M. Ozanam, ouvrage entièrement refondu par M. Audierne* - 1781
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

nette) et une seconde ligne de visée mobile ; l'observateur place l'instrument en alignant son zéro sur un des points formant l'angle et fait pivoter la seconde ligne de visée en direction de l'autre point. La graduation sous la seconde ligne de visée donne la valeur de l'angle.

- la planchette, qui permet non pas de mesurer des angles mais de les tracer sur une feuille de papier pour les reporter ensuite sur la carte.

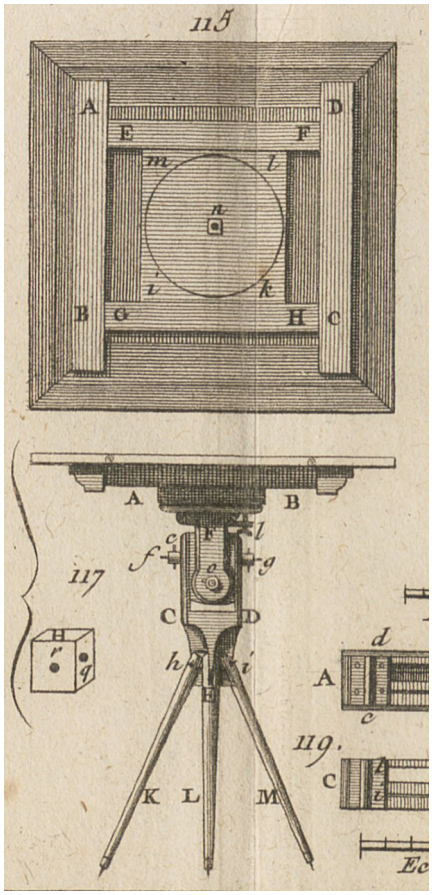
Détermination de la position d'un point

Pour déterminer la position d'un point, l'observateur mesure des angles ou des distances et les combine de plusieurs manières. La position obtenue peut être absolue ou relative à un ou plusieurs points supposés connus. Selon la technique utilisée, l'observateur opère à partir du point inconnu ou bien à partir du ou des points connus.

Position absolue

La position absolue d'un point s'obtient en déterminant sa latitude et sa longitude sur la sphère terrestre (voir chapitre 2). C'est ce que l'on appelle un point astronomique.

Au XVIIe siècle, on ne peut mesurer la longitude qu'à terre (la détermination de la longitude en mer par la mesure de la variation de l'aiguille aimantée était illusoire - voir chapitre 3). Les astronomes déterminent les longitudes en utilisant les éclipses de la lune, peu fréquentes. En 1668, l'Italien Giovanni Domenico Cassini publie des éphémérides précises des satellites de Jupiter. Les astronomes disposent alors de beaucoup plus de créneaux de mesure pour déterminer la longitude, en observant avec un quadrant astronomique muni d'une lunette le moment où un satellite de Jupiter apparaît (il sort de l'ombre de Jupiter) ou disparaît (il rentre dans l'ombre de Jupiter).



5 - planchette dans *Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer...* - 1781
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Position relative

Plusieurs techniques permettent de déterminer la position d'un point par rapport à un ou plusieurs points connus.

Gisement et distance

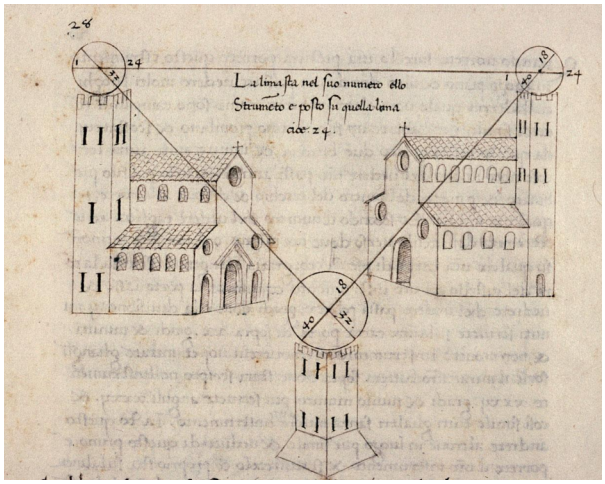
Lucien Gallois indique que l'allemand Sébastien Münster a décrit dans sa *Cosmographie* en 1528 une méthode pour dresser la carte d'une région. Il utilisait un demi-cercle (plus tard un cercle entier) gradué en divisions de 2,5° et équipé d'une règle mobile permettant de faire des visées. S'installant dans une ville en un lieu où il pouvait voir les villes voisines, il orientait le zéro de son instrument vers le Nord grâce à une boussole. Il visait ensuite une ville voisine, reportait l'angle observé sur sa carte puis, connaissant la distance (estimée) entre la ville où il se trouvait et la ville voisine, il plaçait celle-ci sur la carte en adoptant une échelle arbitraire. Utilisant la même technique et conservant l'échelle choisie, il plaçait toutes les autres villes visibles. Lorsqu'une ville était invisible, il se déplaçait dans une ville voisine déjà marquée sur sa carte, d'où la ville manquante était visible, et répétait l'opération.

Trilatération

Dans *De locorum describendorum ratione* de 1533 Gemma Frison explique comment dresser une carte à partir des distances connues entre les différents points. Il adoptait une échelle et portait les deux premiers lieux arbitrairement mais à l'échelle choisie. Il utilisait ensuite un compas pour reporter les distances, les intersections des cercles donnant les positions (en sachant si un point est à droite ou à gauche d'un autre). Gemma Frison indique que cette technique permet de tracer des cartes aussi bien de mer que de terre.

Triangulation

Thalès de Millet utilisait dans l'antiquité la triangulation pour savoir à quelle distance était un navire au large. A partir de deux points A et B situés sur la côte en vue l'un de l'autre, et connaissant la distance qui les séparait, il mesurait de chaque point l'angle fait par le navire C et l'autre point. Il était alors en mesure de tracer le triangle ABC et de connaître la distance du navire par rapport aux points A ou B.



6 - triangulation dans *Ludi Rerum Mathematicarum* de Leon Battista Alberti - 1445 ? - Rouen, Bibliothèque municipale, 3056 (Leber 1158), p. 028 - Bibliothèque virtuelle des manuscrits médiévaux (BVMM) - Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT-CNRS) - licence CC BY NC 3.0

En 1445, l'italien Leon Battista Alberti publia un traité permettant de faire des mesures à distance. Il expliquait notamment sa méthode pour décrire un pays : il utilisait un cercle divisé en 48 degrés de 4 minutes et équipé d'un viseur. Il allait dans une tour offrant une bonne vue, plaçait son cercle dans le plan horizontal grâce à un fil à plomb et notait les angles sous lesquels il voyait tous les objets environnants. Il se déplaçait ensuite sur un des objets visés, callait son cercle sur le point où il était précédemment afin que le zéro soit toujours orienté dans la même direction, et notait à nouveau tous les angles. Il se déplaçait ensuite sur d'autres points et faisait de même. Pour tracer sa carte, il portait arbitrairement les deux premiers points, y plaçait deux cercles réduits similaires à son instrument, les orientait correctement et traçait par intersection tous les objets vus. Lorsque les intersections n'étaient pas franches, il utilisait les observations d'un autre point de mesure déjà tracé sur sa carte.

Gemma Frison décrivit une méthode similaire en 1533 dans *De locorum describendorum ratione*, lorsque les latitudes, longitudes et distances étaient inconnues. Il utilisait un cercle gradué en 360° degrés et une boussole pour orienter le cercle. Il mesurait les angles par rapport au nord magnétique. Il prenait d'une ville les angles de toutes les villes visibles, puis se déplaçait dans une autre ville et faisait de même. Il situait arbitrairement la première ville sur sa carte, puis la seconde dans son vrai gisement par rapport à la première. Ensuite il traçait tous les autres angles relevés et obtenait les positions des villes aux points d'intersection. Gemma Frison précisait que cette méthode permettait de placer les fleuves et les côtes. Il décrivit ensuite la même méthode mais sans boussole, en prenant comme zéro le second point de la base de la triangulation.

Sébastien Münster exposa en 1544 une méthode permettant de trouver les distances entre trois villes non alignées. Il mesurait deux des angles du triangle et la distance entre les deux sommets d'angles. Il reportait le triangle sur une feuille et mesurait les côtés dont la longueur était inconnue.

Dans son traité de navigation de 1581 intitulé *Compendio de la Arte de Navegar* (ajouté en anglais à *Certain errors in navigation detected and corrected* de Edward Wright à partir de l'édition de 1610) Rodrigo Zamorano indiquait comment ajouter à sa carte une île, un banc ou une terre que l'on découvrait : il fallait prendre le relèvement de l'objet à la boussole et déterminer la latitude afin de se situer sur la carte par intersection de la latitude avec la route suivie. On poursuivait la route au même rumb jusqu'au lendemain et on faisait les mêmes opérations que la veille. En utilisant deux pointes sèches comme on le faisait pour l'estime, on les déplaçait jusqu'à ce que les pointes se rencontrent. On marquait à cet emplacement l'objet et son contour tel qu'on l'observait.

Relèvements

Rodrigo Zamorano décrit également dans son traité de 1581 comment situer son navire sur la carte lorsqu'on aperçoit deux points connus : il suffit de prendre le relèvement des deux points au compas et de chercher l'intersection des deux relèvements inverses sur la carte au moyen de deux pointes

sèches. Grâce à cette opération et à l'aide de l'échelle des distances de la carte on peut ensuite répondre à la question récurrente des passagers : à quelle distance sommes-nous de tel endroit ?

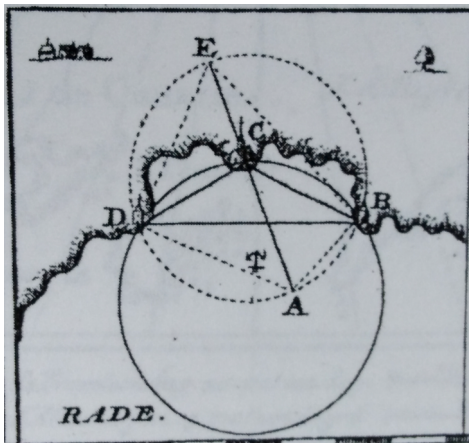
Jean Bouguer mentionne également la méthode du relèvement au moyen d'une boussole graduée en degrés dans son *Traité complet de la navigation* de 1698, pour vérifier ou pour faire une carte.

Arcs ou segments capables

Le point par segment capable a d'abord été résolu par le calcul par le hollandais Willebrord Snellius en 1617, mais sa publication est passée inaperçue.

Le britannique John Collins trouva plusieurs solutions graphiques publiées en 1671 dans les *Philosophical transactions*. Il ajoutait que ce problème pouvait être utile pour placer les bancs de sable et les rochers qui sont en vue de trois points connus, ou pour un usage chorégraphique (pour décrire une région).

Le français Laurent Pothenot résolut le problème de son côté et publia la solution en 1692. Il a longtemps été considéré comme ayant résolu « le plus célèbre problème d'arpentage », jusqu'à ce que l'antériorité de Willebrord Snellius soit établie.



7 - construction du point par segment capable dans le *Traité complet de la navigation* de Jean Bouguer - 1698

Jean Bouguer décrit le point par segment capable dans son *Traité complet de la navigation* de 1698 pour « trouver sans boussole par une seule station le point sur la carte auquel on est » : on observe avec un instrument les deux angles formés par le vaisseau A et trois points connus à terre B, C, D. On détermine ensuite un point E tel que les angles BDE et BAC d'une part et DBE et DAC de l'autre soient égaux. On fait ensuite passer un cercle par les points B, E et D. Le point cherché est l'intersection du cercle avec la ligne EC, à condition que A ne se trouve pas sur le cercle BCD, car alors le problème est indéterminé. Il ajoute : « A V E R T I S S E M E N T cette méthode est plus sûre pour trouver les dangers et les bons mouillages où l'on se trouve dans une rade que par la boussole ou compas, qui outre la variation ordinaire dans certains lieux est sujette à une infinité d'erreurs, soit par un défaut de construction, ou par le mouvement du vaisseau, ou par le fer avec lequel il est construit ».

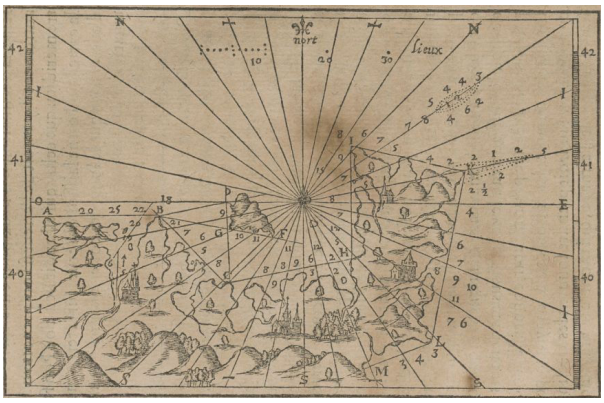
Levé du trait de côte

Le levé du trait de côte s'effectue en déterminant la position des points principaux de la côte, là où elle change de direction, c'est à dire principalement les pointes. Le dessin des parties situés entre deux points principaux, approximées par une ligne droite ou par une une courbe, se fait à vue.

Pour les îlots et les rochers, on fixe la position d'un point central ou remarquable et on complète le dessin à vue pour les objets de grande étendue.

Levé par gisement et distance

Dans le *Traité de la marine et du devoir du bon marinier* qui figure à la fin de ses *Voyages de la nouvelle France occidentale* publiés en 1632, Samuel de Champlain présente sa méthode pour faire des cartes marines, qu'il avait probablement apprise pendant qu'il naviguait pour les Espagnols.



8 - levé par gisement et distance dans *Les voyages de la nouvelle France* ... de S. Champlain - 1632
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Son navire étant au point A il détermine la latitude et prend à la boussole le relèvement du point B où la côte change d'orientation. Il estime la distance de A à B puis se rend au point B tout en notant les détails de la côte. Parfois il va à terre pour être mieux assuré et avoir le gisement de la côte. En même temps il place par triangulation les îles, rochers et bancs situés en mer en prenant leur relèvement aux points B et C. Il sonde souvent et note les mouillages.

Cette méthode de description de la côte est probablement usuelle. Michelot, dans la préface de son portulan (routier) de la Méditerranée de 1703, indique qu' « il n'y a pas de Bâtiment de Mer, plus propre et plus utile que les galères pour observer la situation des côtes et les dangers qui s'y rencontrent » : elles naviguent ordinairement de pointe en pointe et le plus près de la terre qu'elles peuvent ; les pilotes des galères ont par là des moyens assurés pour reconnaître les côtes où ils se trouvent et les dangers qu'ils rencontrent le long de la côte. Bellin, dans une lettre aux membres de l'académie royale des sciences de 1740, indique qu'en 1699 huit galères, formant escadre, ont été aux îles de Majorque et de Minorque dont elles ont parcouru presque toutes les côtes et mouillé dans la plupart des ports. Les journaux des pilotes de l'escadre sont remplis de remarques de gisements et distances d'un lieu à un autre, de latitudes observées auprès des principaux caps et de descriptions particulières des ports et mouillages.

Levé par triangulation

Le levé du trait de côte par triangulation peut se faire de mer ou de terre.

Levé de mer

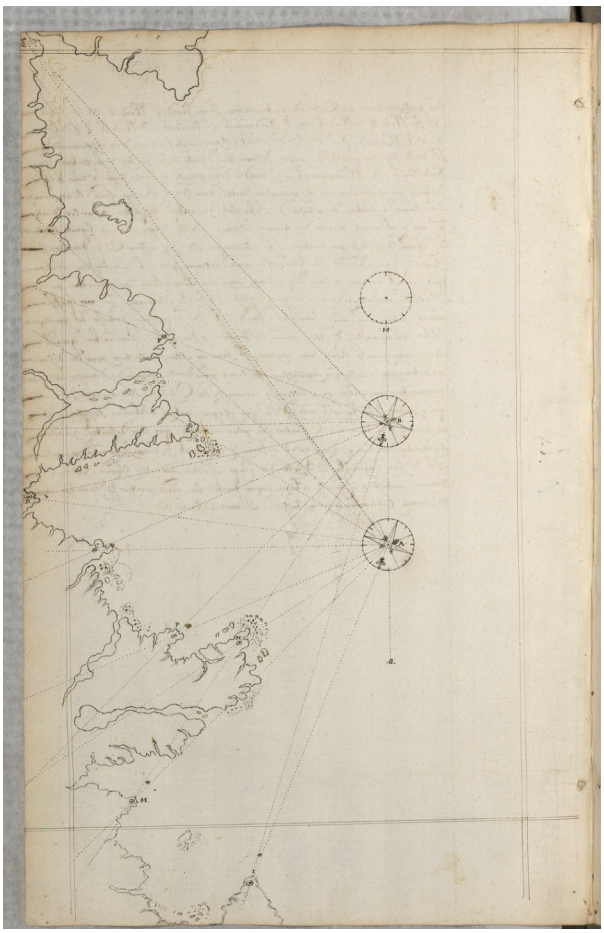
Guillaume Le Vasseur explique dans son *Traité de la géodrographie ou art de naviguer* de 1608 comment lever la côte par la mer pour faire une carte marine. Il faut pour cela une boussole divisée en 32 vents et en 360°, corrigée de la déclinaison de l'aimant.

Lorsque le navire est au point A il faut noter son cap et relever à la boussole la direction que font les points caractéristiques de la côte. Arrivé au point B en faisant route au même cap, il faut relever les mêmes points caractéristiques et noter la distance parcourue entre A et B, par exemple 2 lieues.

Pour tracer la carte on trace sur une feuille de papier une ligne droite qui représente le cap du navire et on place deux points A et B sur cette ligne. La distance qui les sépare sur la carte représentera dans l'exemple 2 lieues. On place sur chacun des points une rose orientée selon le cap suivi et on trace légèrement tous les relèvements pris à chaque point. Les points caractéristiques se trouveront aux intersections des relèvements partant de A et de B. On continue ainsi le long de la côte.

Levé de terre

Le principe du levé de terre est identique, mais il présente un inconvénient et plusieurs avantages. L'inconvénient est qu'il prend plus de temps car il faut marcher pour se rendre d'une station à une autre, en suivant des chemins qui peuvent être sinueux et pentus.



9 - levé de mer dans le *Traité de la géodrographie* de Guillaume Le Vasseur - 1608
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

En contrepartie, le résultat obtenu est bien plus précis : l'observateur peut utiliser un cercle gradué ou une planchette plutôt qu'une boussole et il a tout son temps pour faire ses observations. De plus, une fois pris tous les angles de ses deux stations A et B, il peut se rendre sur les points déterminés C, D, etc. pour constituer un enchaînement de triangles. Il suffira de mesurer sur le terrain le côté d'un seul triangle et de l'orienter avec la boussole ou l'azimut d'un astre pour pouvoir dessiner sur la carte l'ensemble des triangles à la même échelle et bien orientés. Enfin, en déterminant la position astronomique d'un des sommet des triangles, on est ensuite en mesure de dessiner sur la carte les échelles des latitudes et des longitudes.

Détermination des objets immergés et des profondeurs

Pour déterminer la position des hauts fonds ou les limites des bancs de sables afin de les ajouter sur la carte, on envoie une embarcation à la verticale

du haut fond ou à la limite du banc de sable. La position de l'embarcation est déterminée soit par triangulation à partir de la terre, soit par relèvement à la boussole, soit par recoupement d'alignements de points remarquables qui auront été relevés au préalable.

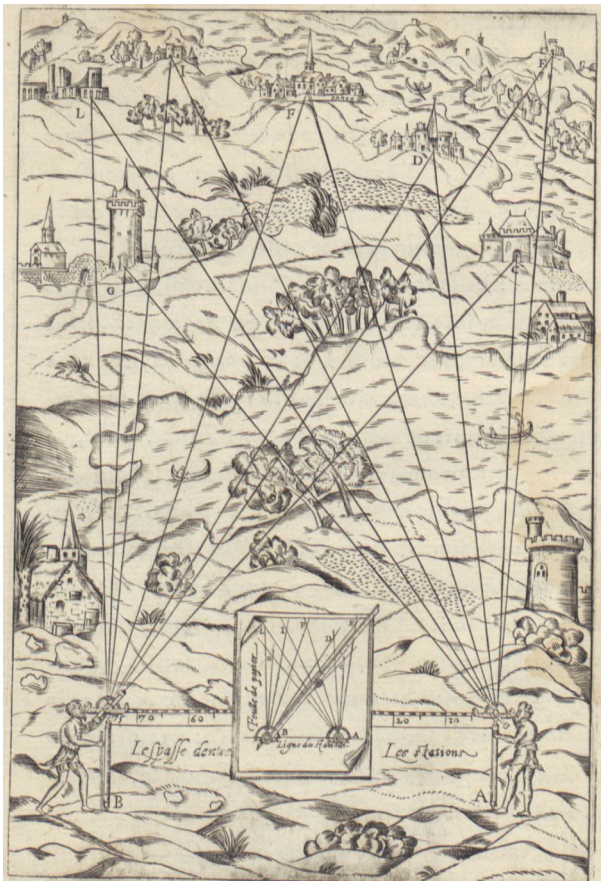
Il est également utile de relever les alignements qui permettent de suivre les chenaux d'accès aux ports.

Lever et dresser une carte marine selon Ozanam

Jacques Ozanam décrit le levé des cartes marines à partir de la terre dans son ouvrage *Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer* de 1693. Il commence par interroger les pêcheurs et marins qui pratiquent la côte à lever pour apprendre, non sans difficulté semble-t-il, le nom des rochers et les alignements qu'ils utilisent pour marquer les écueils. Ces alignements seront tracés en rouge sur la carte.

Ozanam lève ensuite à la planchette les points éminents à terre, les balises et marques des pêcheurs et les rochers visibles. Puis il fait mouiller des chaloupes sur les rochers qui ne découvrent pas et les relève. Une fois ces relevés effectués et vérifiés, il relève les sinuosités de la côte à la boussole. Il passe ensuite aux sondages. L'embarcation sonde en route en restant sur un alignement. On note sur un cahier la distance estimée à la côte (en toises, en se basant par exemple sur les coups d'aviron) et la profondeur trouvée, en brasses ou en pieds par petit fond. Lorsqu'on sonde, on essaie de trouver un alignement traversier qui permettra de placer la sonde le plus exactement possible.

Ozanam passe ensuite à la rédaction de la carte. Il trace les méridiens et les parallèles, oriente la carte et dessine les roses des vents. Puis il reporte le contour de la côte et les points remarquables, les laisses de haute et de basse mer, les rochers qui couvrent et découvrent, ceux qui ne découvrent pas et ceux qui sont toujours recouverts d'eau, les bancs de sable, les mouillages et les sondes. Il écrit ensuite le titre, la légende et les échelles en lieues marines, lieues de France et en toises. Enfin, il rédige un mémoire dans lequel il indique l'heure des marées les jours de pleine et de nouvelle lune, l'amplitude des plus grandes marées d'équinoxe, les courants, la hauteur d'eau au-dessus de tous les rochers aux plus grandes basses mers et la nature des fonds.



10 - levé de terre, illustration de l'ouvrage *Déclaration de l'usage du graphomètre, par la pratique du quel l'on peut mesurer toutes distances des choses ...* - Philippe Danfrie - 1597
ETH-Bibliothek Zürich, Rar 2939

2 - la naissance de l'hydrographie d'état

L'hydrographie privée, qui avait vu le jour au XVIe siècle sous la forme d'écoles, poursuivit une activité déclinante au siècle suivant, alors qu'un nouvel acteur entrait en jeu : l'Etat. La création d'une marine royale, initiée par Richelieu, fut achevée par Colbert. Tout était mis en œuvre pour que la marine ne dépende pas de l'étranger pour ses approvisionnements : bois, ancres, cordages, et cela incluait la science nautique et les cartes marines. Colbert dirigea de grands travaux hydrographiques qui marginalisaient la production privée. Les écoles disparurent mais une hydrographie privée et individuelle se poursuivit chez certains enseignants et pilotes.

Création de la marine royale

Suppression des amirautés

Depuis le XVe siècle, le royaume de France comptait quatre amirautés : l'amirauté de France, qui avait autorité sur les côtes de Picardie, de Normandie, d'Aunis et Saintonge, celle de Bretagne, celle de Guyenne (réunie à l'amirauté de France en 1613) et celle de Provence ou du Levant. Il faut y ajouter les cas particuliers du Languedoc et du généralat des galères.

Les amirautés étaient des juridictions qui traitaient des affaires qui se passaient en mer et sur la bande côtière. Elles étaient surtout une source de revenu pour l'amiral, qui le plus souvent ne connaissait rien aux choses de la mer.

En 1612, le duc Henri II de Montmorency reçut la charge d'amiral de France. Grâce à d'habiles manœuvres, il y ajouta en 1613 celle d'amiral de Guyenne.

Entré au conseil du roi en 1624, le Cardinal de Richelieu, premier ministre, manœuvra à son tour pour mettre la marine dans les mains de l'Etat. Deux ans plus tard, les amirautés étaient abolies et Richelieu devenait grand maître, chef et surintendant général de la navigation et commerce de France.

Enquêtes maritimes

Richelieu fit faire un état des lieux en lançant deux enquêtes maritimes : l'une au Ponant, l'autre en Provence.

Le 31 mai 1629, Louis Le Roux, sieur d'Infreville, commissaire général de la marine, recevait de Richelieu l'ordre d'aller dans tous les ports, havres et côtes de la mer océane pour inspecter l'administration de la marine et pour constater l'état des vaisseaux, ports et havres. Son enquête dura deux ans.

En Provence, c'est Henri de Séguiran, seigneur de Bouc, qui reçut en 1633 l'ordre de faire dresser une vue figurée de toute la côte marine et d'étudier les défenses de la côte méditerranéenne. Il était accompagné par le sieur Maretz, ingénieur du roi, et par les sieurs Augier et Flour, autres ingénieurs et peintres. La commission d'enquête dessina beaucoup de plans et produisit une grande carte de la côte maritime de Provence, datée de 1633, qui servit par la suite de support à l'étude d'implantation des ouvrages de défense de la côte.

Actions de Richelieu

Les enquêtes montraient que tout était à faire. Richelieu travailla alors à mettre en place une administration, à assurer le recrutement, à mettre ou remettre en service des ports, chantiers et arsenaux et à faire construire des bâtiments de guerre.



11 - la Coste maritime de Provence, de Jacques Maretz - 1633 - cote GE SH 18 PF 71 DIV 3 P 2 RES /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Dans la nouvelle organisation, les vaisseaux de guerre étaient regroupés dans les ports de Brouage, de Brest et du Havre de Grâce administrés par des commissaires généraux de la marine. Le littoral était découpé en huit districts administratifs confiés à des lieutenants généraux. Dans son *Histoire de la marine française*, La Roncière indique que ces lieutenants généraux de districts étaient chargés entre autres d'en dresser l'hydrographie. La consultation du *Règlement sur le fait de la marine* de 1631 apporterait peut-être des précisions sur ce point.

Il y eut par la suite plusieurs tournées d'inspection des côtes afin d'organiser la défense du littoral contre les pirates et les ennemis potentiels du royaume. Pendant ces tournées, des cartes étaient levées et dessinées, mais elles n'avaient pas vocation à servir à la navigation. Le 15 janvier 1636, monsieur de Sourdis, Archevêque de Bordeaux, recevait l'ordre d'étudier les défenses des côtes Atlantique et de Manche et de faire réaliser les travaux nécessaires. En 1639, d'Infreville était chargé d'une enquête spéciale sur les côtes comprises entre Calais et Cherbourg pour voir quels lieux on trouverait plus propres et plus commodes pour bâtir un port afin d'y retirer les vaisseaux du roi. Il était accompagné de M. de Caen, sergent de bataille de l'armée navale, de Charles Daniel, capitaine de marine et de Régnier Jansen de Wit (fils), ingénieur du roi. Le rapport contenait des cartes des côtes, avec sondages, et des plans des ports.

Hydrographie d'Etat

Enseignement de la navigation

Examen des pilotes

L'ouvrage *Us et coutumes de la mer* d'Etienne Cleirac rassemble les pièces françaises et étrangères qui traitent de la navigation, du commerce naval et des contrats maritimes, et de la juridiction de la marine. Cet ouvrage indique qu'un examen des maîtres de navires et des pilotes était prévu par l'article 21 de l'ordonnance de François Ier de juillet 1517 ; la lecture de cette ordonnance n'a pas permis de retrouver cette disposition.

La première mention d'un examen des pilotes provient de l'édit d'Henri III de mars 1584. Son article LXXXVI prescrit qu'à l'avenir nul ne pourra conduire, ou être maître de navire, s'il n'est expérimenté et examiné par deux anciens maîtres en présence de l'amiral ou de ses lieutenants et de deux échevins ou notables bourgeois de la ville. Selon Anthiaume, Pierre Desceliers, connu comme le premier français à enseigner la navigation, aurait eu une commission d'examinateur des pilotes du roi Charles IX. Parmi ses successeurs, seul Jean Guérard est connu pour avoir reçu une commission d'examinateur des pilotes, le 26 juillet 1615, du duc de Montmorency, amiral de France.

L'ordonnance de la marine d'août 1681 sur la marine de commerce stipule dans son livre second :

- au titre I, article I, que pour être capitaine, maître ou patron de navire il faut avoir été examiné publiquement sur le fait de la navigation par deux anciens maîtres, en présence des officiers de l'amirauté et du professeur d'hydrographie, s'il y en a un dans le lieu.

- au titre IV, article I, que pour être pilote il faut être examiné par le professeur d'hydrographie, deux anciens pilotes et deux anciens maîtres de navire, si possible en présence des officiers de l'amirauté.

Ecoles d'hydrographie

Un programme d'écoles d'hydrographie était prévu dès 1626 : trois pilotes hydrographes devaient enseigner la science du pilotage à seize gentilshommes rémunérés, ainsi qu'à tous ceux qui voudraient apprendre. Ce projet ne se concrétisa pas.

L'ordonnance de Louis XIII de 1629, connue sous le nom de code Michau, mettait en place également un enseignement de l'hydrographie mais elle ne fut pas appliquée pour des raisons politiques. Son article CCCCXXXIII prévoyait l'entretien par le roi de pilotes hydrographes « des plus capables » pour enseigner publiquement et gratuitement l'art de la navigation. L'article CCCCXXXIV instaurait un dispositif similaire dans les principales villes maritimes, à la charge de ces dernières.

Seuls les normands enseignaient, gracieusement, la science du pilotage, dans la continuité de Pierre Desceliers. En 1661 c'est le prêtre Guillaume Denis qui enseignait à Dieppe. Colbert, qui commençait alors à s'occuper des affaires de la marine, adopta sa chaire, peut-être sous la forme d'une commission d'enseignement de la science du pilotage (sur ce point les dates et les faits varient selon les auteurs). Le prêtre était prié de désigner ceux de ses élèves qui seraient le plus capables de fonder dans tous les ports de France un enseignement sur le modèle du maître. D'autres commissions furent données, en particulier pour un enseignement au Havre.

Le 30 septembre 1665, l'école d'hydrographie de Dieppe ouvrait. En 1666 une seconde école royale ouvrait au Havre. D'autres écoles suivirent : Rochefort (1676), Dunkerque (avant 1680), Bordeaux (1681), Toulon (1684), Bayonne (1685), Marseille

(école des galères et école publique, 1685), Brest (1692), Le Croisic (vers 1694), Saint-Malo (avant 1700), Vannes (1700), Les Sables d'Olonne (1700), Arles (1700), La Rochelle, Marennes, Les Martigues.

L'amiral, dont la charge avait été rétablie par le Roi le 12 novembre 1669, nommait les professeurs d'hydrographie, le Roi se réservant la nomination des professeurs de Calais, Dieppe, le Havre et Marennes. Dans les écoles établies pour la marine militaire à Brest, Toulon et Rochefort, le Roi nommait les professeurs qui étaient appelés *maîtres d'hydrographie*.

L'ordonnance de la marine d'août 1681 sur la marine de commerce, reprenant celle de 1629, instaurait au livre premier, titre VIII, article I, des professeurs d'hydrographie dans les villes maritimes les plus importantes, pour donner un enseignement gratuit. L'article II indiquait que les professeurs sauraient dessiner et enseigneraient aux élèves à figurer les ports, côtes, montagnes, arbres, tours et autres choses servant de marques aux havres et rades, et de faire des cartes des terres qu'ils découvriraient.

L'ordonnance d'avril 1689 sur la marine militaire rappelait dans son livre XIX, titre I, article I, que les ordres donnés par sa majesté pour l'établissement des écoles d'hydrographie dans les ports devaient être ponctuellement exécutés. Puis elle indiquait, à l'article VIII, que deux pilotes entretenus du port devaient assister aux leçons du maître d'hydrographie et aider les élèves les moins avancés.

Selon le livre VII, titre I, article VI, les gardes de marine devaient suivre des cours donnés par le maître d'hydrographie. L'article XIII ordonnait au commandant et à l'intendant du port de faire lever des plans aux gardes de marine qui auraient le plus de talent et de disposition pour devenir ingénieurs, ces plans étant examinés ensuite par l'ingénieur du port. L'article XXI indiquait que les gardes en mer recevaient des formations au pilotage et à l'hydrographie prodiguées par le pilote.

Enfin le livre XII, titre VIII, article VIII rappelait que les pilotes entretenus assistaient aux conférences du maître d'hydrographie.

Personnel

Au XVIIe siècle, trois catégories de professionnels pratiquent l'hydrographie : les hydrographes, les pilotes et les ingénieurs, auxquels on peut ajouter quelques officiers de marine.

Hydrographes

Le mot hydrographe semble alors désigner exclusivement les spécialistes en science nautique et en cartes marines, qui enseignent souvent l'art de la navigation. Les hydrographes *royaux*, *du Roi* ou de *sa Majesté* sont rémunérés par le royaume, les autres par la ville dans laquelle ils enseignent. En plus de l'enseignement ils peuvent avoir d'autres activités : étude de la marée, d'aménagements portuaires, fabrication de cartes marines.

Pilotes

Quelques pilotes ont également une activité hydrographique. On trouve parfois l'expression *pilote hydrographe* qui souligne sans doute le statut de spécialiste en science nautique de ces navigants.

Un état du 25 octobre 1629 donne une liste de pilotes entretenus : Guillaume Le Vasseur, hydrographe ; Jean Guérart [sic], Guillaume Gillibert, J. Valleteau, J. Roux et Guillaume Moysan.

L'état au vrai de la recette et dépense de la marine du Ponant pour 1635 dresse la liste des pilotes et hydrographes payés cette année là :

- Antoine le Metel, sieur d'Ouville, hydrographe entretenu (allé en Picardie lever les plans des villes maritimes et autres)
- Jean Guerrard [sic], pilote entretenu
- Jean Levasseur, pilote
- Jean Le Roux, pilote de la Roche Bernard

Des états plus tardifs d'avant 1660, ne mentionnent plus que deux pilotes : un pilote royal et un hydrographe.

Ingénieurs

Les ingénieurs sont, au XVIe siècle, des personnes spécialisées dans les travaux d'investissement des places fortes. Avec le temps, leurs compétences sont utilisées pour toutes sortes de travaux à caractère technique comme le creusement d'un canal.

En 1661 l'administration des fortifications est partagée entre Colbert et Le Tellier. En 1669, Colbert devient secrétaire d'Etat de la marine ; il a dans son département les ports et les fortifications. Les intendants des ports et l'intendant des galères de Marseille sont en même temps intendants des fortifications.

Les ingénieurs de Louvois, successeur de Le Tellier, proviennent des régiments d'infanterie. Ceux de Colbert n'ont pas fait la guerre. Ils peuvent être officiers de l'armée de terre mais aussi architectes, savants, inspecteurs de travaux, professeurs d'hydrographie, écrivains entretenus, etc.

Colbert met ses ingénieurs à la disposition des intendants de marine et des commandants d'expédition. Ces ingénieurs sont chargés de travaux hydrauliques, de la construction de digues, de bassins et de fortifications maritimes ainsi que de la description des côtes.

Les titres de ces premiers ingénieurs de la marine sont variés :

- ingénieur géographe,
- architecte-ingénieur,
- ingénieur ordinaire du roi,
- ingénieur aux fortifications,
- ingénieur de la marine,
- ingénieur des colonies,
- ingénieur des galères.

Travaux hydrographiques

Levés des côtes sous Richelieu

Il semble que Richelieu ait ordonné en 1627 à des hydrographes entretenus de relever et d'étudier les côtes. Le résultat en est-il l'atlas en 15 cartes *Description generalle de la coste maritime du royaume de France en la mer océane* daté d'environ 1627 et attribué à Jean Guérard que conserve la British Library ? Ou les deux cartes détaillées de Jean Guérard de l'année 1627 (voir illustration 5 au chapitre 3) ?

En 1634, Christophe Tassin, géographe ordinaire du roi, publie l'atlas *Cartes générale et particulières de toutes les costes de France tant de la mer océane que de la Méditerranée où sont remarquées toutes les isles, golphes, ports, havres, rades, bayes, bancs, escueils et rochers plus considérables, avec les anchrages et profondeurs nécessaires*. Est-ce le résultat d'une commande de Richelieu ?

Dans l'état au vrai de la recette et dépense de 1635, Jean Guérard, ingénieur et géographe du roi, reçoit une somme pour un voyage qu'il a fait pour le service de sa majesté à reconnaître les côtes de la mer.

Levés des côtes sous Colbert

Après une longue pause due aux guerres qui ravagent le royaume, les travaux hydrographiques reprennent avec Colbert.

En 1669, un sieur Lachainaye est chargé de dresser une carte marine des rochers et des côtes de la baie de Brest.

En 1666 (date incertaine), Colbert confie au chevalier Louis-Nicolas de Clerville, ingénieur et commissaire général des fortifications de France, et à quelques ingénieurs (Blondel, Louis et François le Vau) la mission de lever les côtes de l'océan. Leur mission s'achève en 1671.



12 - carte topographique des entrées de Brest de Louis-Nicolas de Clerville - 16?? - cote GE SH 18 PF 47 DIV 1 P 2 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Dans une lettre du 9 janvier 1671 adressée à son cousin Colbert de Terron, intendant général de la marine du Ponant, Colbert lui demande de ne pas commencer d'autre levés tant qu'il ne connaîtra pas la valeur du travail réalisé par Clerville. Colbert indique qu'il a pu voir le travail achevé mais il n'a aucune idée de sa « bonté » ni de son exactitude. Il est sans doute rapidement fixé car le 20 mars il demande à l'intendant de préparer la reconnaissance de la Manche pour l'été. Il prévoit d'y faire travailler l'ingénieur La Favollière. Le 23 mai, celui-ci reçoit ses instructions pour faire des cartes et des descriptions qui serviront à la navigation et au commerce. Un navire est mis à sa disposition. Il doit décrire les côtes à partir de Dunkerque en suivant la côte jusqu'à Bayonne. A chaque gouverneur il présentera son passe-port puis demandera les moyens nécessaires : pilotes



13 - extrait de la *carte particulière des environs du port de Brest du costé de la mer qui comprend tout le pais qui est entre luy et les passages du Four de l'Iroise et du Raz avec tous les dangers et leurs marques*, de Lachainaye, officier de marine - 1669 - cote CPL GE B-2132 (RES)
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

côtiers, matelots et chaloupes. Il reconnaîtra ensuite par lui-même les rades, bancs, roches et écueils, les entrées de la mer dans la terre et les embouchures des rivières. Il commencera sa description par la côte et poussera au large autant qu'il est possible. Il recueillera tous les éléments nécessaires à la sûreté de la navigation et notera les lieux qui doivent être balisés. Une fois la carte dressée, il la fera certifier par les plus experts pilotes du lieu. Il informera le sieur Colbert de l'avancement de ses travaux et à l'issue de ceux-ci il lui remettra les résultats afin que Colbert les présente au Roi.

Colbert donne de nouvelles instructions à l'intendant le 2 juillet : « Sa Majesté estime nécessaire que le sieur de Terron examine, avec les officiers de marine qui se trouveront à Rochefort, s'il ne seroit pas à propos de faire reconnoistre la mer de la Manche, dans toute son estendue, par quelqu'un



14 - carte des côtes, des Sables à la Gironde de la Favolière - 1677 - cote GE SH 18 PF 53 P 12
Les petits points noirs sont des sondes, les gros points rouges des cachets de certification - voir détail page suivante
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

des meilleurs et plus expérimentés officiers de marine, avec quelques pilotes, et, en ce cas, Sa Majesté veut qu'il choisisse ceux qu'il estimera les plus propres pour ce travail, leur donne les bastimens qui seront nécessaires et les fasse partir sans perdre un seul moment de temps. » L'ingénieur Massiac de Sainte-Colombe et d'autres parcourent alors, la sonde à la main, une partie des côtes de la Manche.

Les conditions dans lesquelles La Favollière effectue son travail ne sont pas les meilleures. Colbert lui rappelle le niveau de précision attendu : « considérez qu'il n'y a rien de si utile à la navigation que le travail que vous faites : il ne faut rien obmettre de ce qui peut contribuer à le rendre exact et fidèle. » (31 juillet 1672) et, tout en lui donnant d'autres travaux, le presse d'avancer : « il me semble que vostre travail devroit un peu plus advancer que vous ne faites, et c'est à quoy il est nécessaire que vous vous appliquiez fortement » (4 janvier 1675). Il use aussi de manipulation : « les appointemens que le Roy vous donne estant considérables, il est bien nécessaire que vous fassiez connoistre à Sa Majesté, par votre travail que vous les méritez. » (23 novembre 1674). La Favollière ayant eu sur le terrain des rapports difficiles avec les autorités locales, Colbert envisage en août 1674 de lui ôter ses appointements et de ne plus l'utiliser. Mais, craignant qu'il passe alors à l'ennemi avec toute sa connaissance des côtes de France, il songe à le faire arrêter pour la durée de la guerre avec la Hollande et à lui confisquer ses papiers et ses cartes.

Malgré tout, La Favollière poursuit son travail. En mars 1676 il devient ingénieur ordinaire de la marine au port de Rochefort. En juillet il est enlevé par des corsaires hollandais - ils étaient alors très actifs sur les côtes. Tous ses papiers, cartes et plans sont aussitôt mis à l'abri. La Favollière reste emprisonné en Hollande pendant plusieurs mois avant d'être libéré à la faveur d'un échange. Il reprend alors ses travaux.

Une nouvelle série de levés est lancée en 1678 avec comme objectif la défense des côtes. Il s'agit de parcourir la côte, de proposer la construction d'ouvrages défensifs et de faire des cartes « fort exactes de toutes les sinuosités de la coste, toutes les entrées des rivières, avec les remarques exactes et prises sur les lieux sans s'en fier au rapport de personne, de toutes les rades, hauteurs et bassesses de la mer, dunes, falaises, anses et entrées dans les terres, ensemble de tous les lieux où les ennemis pourroient aborder s'ils estoient assez forts pour faire des descentes; avec des dessins particuliers de chacun endroit où ils peuvent les faire. »

Pène, ingénieur géographe, doit visiter les côtes de la Normandie, du cap de la Hague au Tréport. Sainte-Colombe est chargé d'un secteur allant de Cherbourg à la Loire, la Favollière de Noirmoutier à la Gironde et à la Dordogne tandis que l'intendant de Bayonne doit faire visiter les côtes de la Garonne à Hendaye.

Les côtes méditerranéennes sont également cartographiées : le capitaine de Cogolin reconnaît les côtes de Provence, de Languedoc, d'Espagne, de Sicile et de Sardaigne (1671, 1685), Beaujeu, l'Italie et l'Espagne (1672), Pène, les Baléares (1680), Combres, le littoral algérien (1680/1681), Petrée, la Provence et l'Espagne puis la mer Egée (1685), Plantier, l'Asie mineure (1685), mais aucune carte de la Méditerranée n'est dressée.



15 - détail de la carte de la page précédente montrant les sondes et les cachets de certification de la carte /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Le levé des côtes étrangères est dangereux (Beaujeu est capturé par des pirates en 1672). Colbert se propose de faire lever secrètement des plans de tous les ports, côtes et rades, où les escadres françaises abordent, et d'embarquer pour cet effet un ingénieur habile sur chaque escadre. Le 6 avril 1679, l'intendant des galères Arnoul reçoit l'ordre de préparer en secret deux bâtiments pour embarquer les sieurs de Cogolin et Chevalier, qui ont pour mission de visiter certaines parties de la Méditerranée et d'en dresser la carte. Les espagnols ayant eu vent du projet, les instructions concernant le levé que Pène doit effectuer aux Baléares l'année suivante insistent sur la discrétion. L'intendant doit faire préparer une bonne barque avec des marchandises de peu de prix à échanger dans les îles, et cinq mois de vivres. Pène doit se tenir caché à Marseille et embarquer en secret, puis effectuer la reconnaissance des trois îles et lever le plan des places. Le 24 novembre 1681, l'intendant de Toulon reçoit des instructions similaires pour lever le plan du port et de la rade d'Alger en vue d'une action contre les pirates l'année suivante. Un ingénieur et un officier de marine doivent embarquer sur un navire marchand pour lever le plan de la fortification et sonder la rade.

En 1689 la France entre à nouveau en guerre et les travaux sont interrompus.

Etablissement de tables de marée

Un autre sujet attire l'attention de Colbert : la connaissance de la marée et des courants en Manche, bien utile en cas de combat naval. Le 18 novembre 1671, il demande à Colbert de Terron d'étudier un projet d'établissement de tables de marée de la Bretagne à Dunkerque. Les tables doivent décrire un cycle complet de marée (mêmes mouvements aux mêmes heures). Les mouvements irréguliers, causés par les côtes, les caps et les vents, doivent également être observés.

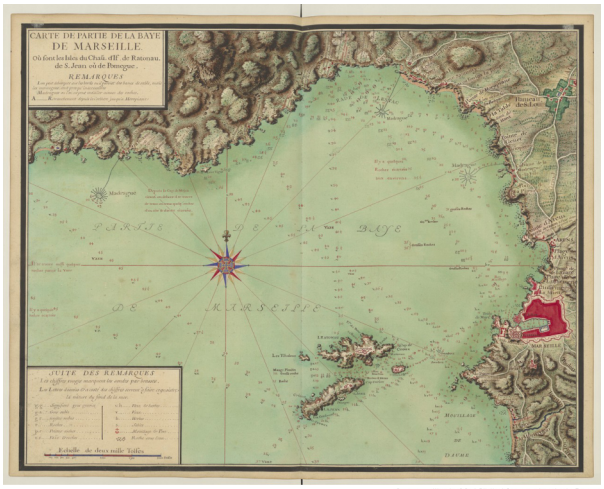
Hydrographie portuaire

L'ordonnance d'avril 1689 pour la marine militaire présente des dispositions pour la conservation de la profondeur dans les rades, entrées de rivières, ports et bassins. Les intendants doivent s'appliquer à cela et faire sonder de temps en temps les ports et rades par les officiers du port et les pilotes entretenus (livre XI, titre IV, articles I et VII).

Le pilote royal doit connaître le détail de l'entrée des ports et rades, la manière de mouiller les ancres selon les marées et courants, la qualité du fond, la profondeur et l'étendue des ports et rades ainsi que les vents qui peuvent aider à entrer et sortir. Si au cours des sondages il constate que des bancs se sont formés, il en fait des observations sur les cartes. (livre XII, titre VIII, articles I, III et VII).

Atlas de cartes

Les atlas de carte sont à la mode au XVIIe siècle. Les cartes concernant la défense des frontières, terrestres ou maritimes, sont regroupées dans des atlas comme le recueil des Cartes des environs de plusieurs places fortes, entre les Alpes et la Méditerranée et sur les côtes de la Méditerranée et de la Manche constitué en 1700 et destiné à Louis XIV. Ses cartes de la côte détaillent surtout la partie terrestre et empruntent peut-être la partie maritime à d'autres levés.



16 - carte de la rade de Marseille extraite de l'*atlas des cartes des environs de plusieurs places fortes entre les Alpes et la Méditerranée et sur les côtes de la Méditerranée et de la Manche* - 1700 - cote GE DD-4586 (6 RES) /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Recueil des cartes des costes maritimes du Royaume

En 1680 est édité un *Recueil des cartes des costes maritimes du Royaume, scavoir celles de la Mer Oceane depuis Nieupor jusques à St Sebastien en Biscaye, en dix-huit feuilles y compris le cours des trois plus grandes rivières qui si dégorgent, la Seine, la Loire et la Garonne*.

Ce recueil contient également les côtes méditerranéennes de Port-Vendre à Diano, localité située à mi-chemin entre Nice et Gênes, en quatre feuilles. Les cartes proviennent d'une réduction des cartes levées et dressées par le Chevalier de Clerville (décédé avant la constitution du recueil). Les cartes du recueil figurent les îles, chenaux, bancs de sable ou de vase, roches et hauts-fonds. Elles donnent une représentation à marée basse, avec la laisse de haute mer.

Le Neptune françois

En 1693, le Neptune françois sort de l'imprimerie royale, première publication officielle d'un atlas de cartes en France. Le titre complet de l'ouvrage est *Le neptune françois ou recueil des cartes marines levées et gravées par ordre du roy. Premier volume, contenant les costes de l'Europe sur l'océan, depuis Dronthem en Norvège jusques au détroit de Gibraltar, avec la mer Baltique*.

Le privilège du Roy, datant de fin 1691, explique que le Roi, devant l'avantage considérable procuré à sa marine par les cartes des côtes du royaume auxquelles il fait travailler avec soin depuis longtemps, a pris la résolution de les donner au public afin de rendre la navigation de ses sujets plus sûre. L'ingénieur et géographe Charles Pène aurait offert de se charger d'en faire la dépense, n'eût été le plaisir du Roi de lui accorder le privilège de faire graver, vendre et débiter les cartes Lui appartenant pendant vingt ans pour l'indemniser. Il s'agit donc d'une publication officielle sur fonds privés.

L'atlas comporte une notice et 29 cartes :

- côtes de l'Europe : carte réduite, assemblage par Sauveur et Pène des autres cartes de l'atlas,
- mer Baltique : Sauveur, sur les observations et mémoires de l'ingénieur de la Voye en 1682,
- Mer de Dannemark : carte tirée des cartes hollandaises,
- Détroit du Zund : réduction de la carte de l'ingénieur de la Voye de 1683,
- Mer d'Allemagne,
- Entrées du Zuyderzée et de l'Embs : carte tirée des cartes hollandaises,
- Entrées de l'Escaut et de la Meuse : carte tirée des cartes hollandaises,
- Entrée de la Tamise : carte tirée des cartes anglaises,
- Carte de la Mer d'Ecosse : carte tirée des cartes anglaises,
- Côtes d'Irlande et côtes occidentales d'Angleterre : carte tirée des cartes anglaises,
- Côtes orientales d'Irlande : copie de deux cartes particulières levées sur ordre en 1690 par Lambely, hydrographe et lieutenant de frégate légère et par le sieur Monteguy,
- Manche : assemblage par Chazelles des quatre premières cartes des côtes de Bretagne, des deux cartes des côtes de Normandie et de celle des côtes de Flandre et de Picardie,
- Golphe de Gascogne : assemblage par Chazelles des quatre dernières cartes des côtes de Bretagne, de la carte des côtes du Poitou, Aunis et Xaintonge, de celle des côtes de Guyenne et de Gascogne et de celle des côtes septentrionales d'Espagne,
- Côtes méridionales d'Angleterre : copie de cartes anglaises par Sauveur et Pène,
- Côtes de Flandre, de Picardie et de Normandie : réduction de deux cartes de 1689 par Duchon et Sabran,
- 2 cartes particulières des côtes de Normandie : cartes de 1689 par Razaud et Chazelles,
- 8 cartes particulières de Bretagne : cartes de l'ingénieur de la Voye levées dans les années 1675 et suivantes,
- Côtes du Poitou, Aunis et Xaintonge : réduction de la carte levée en 1675 par la Favollière,
- Côtes de Guyenne et de Gascogne,
- Côtes septentrionales d'Espagne : assemblage des cartes de Minet et Genes, corrigé par Chazelles,
- Côtes du Portugal et de partie d'Espagne : assemblage des cartes de Minet et Genes.

La notice de l'atlas indique qu'il s'agit du premier volume et que « l'on travaille au second volume du Neptune françois, qui contiendra la mer Méditerranée ». Ce second volume du Neptune ne verra pas le jour. « Après tout ce que le Roy a fait pour mettre la marine dans l'estat florissant où elle est aujourd'huy, il ne manquait à la perfection de ce grand ouvrage que des Cartes fidèles ». Pour cela le Roi a établi en 1666 l'académie des sciences, dont les mathématiciens et astronomes ont déterminé les latitudes et longitudes des principaux lieux de la terre, employé des ingénieurs et pilotes à lever les côtes du royaume et des pays étrangers et fait ramasser de toute part les cartes et mémoires qui pouvaient servir à ce dessin.

La notice explique ensuite que l'atlas est composé de cartes réduites, les cartes plates dont on se sert habituellement étant fausses. Ces dernières étant préférées pour la facilité de l'usage de leurs échelles, la notice explique comment utiliser les cartes réduites de l'atlas. Sur les cartes à petite

échelle, on dit *à petits points*, la longueur des divisions de latitude est croissante de l'équateur vers le pôle et il faut utiliser comme échelle les divisions situées à mi-chemin entre les deux points dont on veut connaître la distance. Mais sur les cartes particulières, *à grand point*, ces divisions sont fixes, l'erreur étant négligeable, et elles s'utilisent comme des cartes plates.

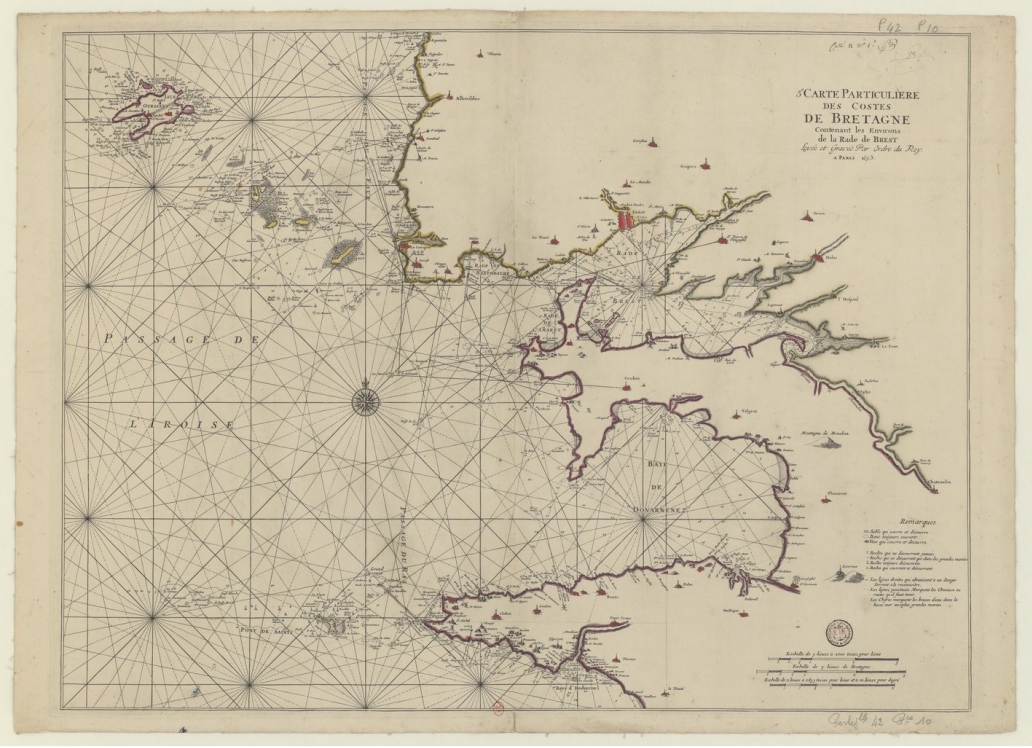
La notice vante également l'exactitude inégalée des cartes de l'atlas :

1 Les cartes ordinaires sont prises sur les cartes du siècle passé alors que les cartes de l'atlas ont été levées avec soin ou prises sur les meilleures cartes du temps.

2 Les cartes ordinaires sont corrigées à vue, de la mer et à la boussole, qui présente beaucoup de défauts, avec des distances estimées peu précises ; la taille des baies et ports est exagérée et les endroits peu fréquentés sont très mal représentés. Les cartes de l'atlas ont été levées par d'habiles ingénieurs et pilotes munis d'instruments très exacts, par des observations faites sur terre et de cap en cap. Les baies et havres ont leurs exactes proportions.

3 Les latitudes des cartes ordinaires sont prises par les pilotes, en mer, avec des instruments grossiers, et les longitudes, provenant de l'estime, sont si fausses qu'on néglige souvent de les marquer sur les cartes. Les latitudes et longitudes des cartes de l'atlas ont été observées sur terre avec des instruments très exacts. Les longitudes proviennent de l'observation des satellites de Jupiter, qui est le moyen le plus sûr et que l'on doit à Jean-Dominique Cassini, directeur de l'observatoire de Paris, qui a communiqué pour l'atlas ses nombreuses observations et celles d'autres savants astronomes.

Les cartes de l'atlas ont un degré de précision variable précise Bellin dans ses *Remarques*... de 1751. Certaines cartes ne comportent pas d'échelle des latitudes et longitudes : les 8 cartes des côtes de Bretagne, le détroit de Zund et la côte septentrionale d'Espagne, et sur celles qui en ont, la longitude est volontairement fausse. En effet, selon Fournier, le 1er juillet 1634, des lettres patentes de Louis XIII font défense « à tous Hydrographes, Pilotes, Graveurs et Compositeurs de cartes ou globes géographiques, de changer l'ancien Méridien ou le mettre ailleurs que par la partie la plus occidentale de l'île de Fer, qui est la plus occidentale des Canaries, sans s'arrêter aux nouvelles inventions des ignorants qui l'ont mis aux Açores, et commande à tous les gens de mer de n'exercer aucune hostilité contre les Espagnols entre ce méridien et le tropique du Cancer, qui sont les anciennes lignes des amitiés. ». Lelewel indique qu'une assemblée générale des plus célèbres mathématiciens d'Europe s'était tenue à Paris le 25 avril 1634 et qu'elle avait fixé le



17 - 5ème carte particuliere des costes de Bretagne contenant les environs de la rade de Brest - Neptune françois - 1693 - cote GESH18PF42P10
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

premier méridien à la partie la plus occidentale de l'île de Fer. La différence de longitude entre ce méridien et celui de Paris avait été déterminée à 19° 51', et arrondie à 20° pour des raisons pratiques, l'erreur de 9' paraissant sans conséquence. Les longitudes du Neptune françois étaient mesurées par rapport au méridien de Paris puis données par rapport au méridien réglementaire de l'île de fer. Par sécurité, on avait adopté pour Paris une longitude arrondie à 21°. Or, à l'époque de Bellin, la valeur de 20° avait été confirmée. Toutes les échelles des longitudes de l'Atlas étaient donc décalées d'un degré.

Ce Neptune françois est le fruit d'un travail d'équipe : Charles Pène, l'éditeur, Joseph Sauveur et Jean-Mathieu de Chazelles, de l'académie royale des sciences, le second étant également ingénieur de la marine, auteurs, et de nombreux ingénieurs, pilotes et astronomes ayant fourni la matière première centralisée par Pène. De 1679 à 1682, l'académie royale des sciences avait déterminé les coordonnées géographiques des villes situées sur le littoral, avec priorité aux côtes occidentales en relation avec le projet de Neptune françois : Jean-Félix Picard et Philippe de la Hire s'étaient rendus à Brest et Nantes en 1679, à Bayonne, Bordeaux et Royan en 1680 et sur la Manche en 1681, à St-Malo, Dunkerque et Calais, puis à Toulon et Antibes en 1682. En 1679 l'abbé Picard expliquait : « on avait déjà commencé plusieurs descriptions particulières des Costes auxquelles de très habiles Ingénieurs travaillaient par ordre de Sa Majesté, pour la sûreté de la navigation : mais quelqu'exactitude que l'on puisse apporter à ces sortes d'ouvrages séparez, on n'en sçaurait faire un juste assemblage sans le secours des observations célestes. Ce fut ce qui donna occasion de déterminer la position du port de Brest, qui est situé dans la partie la plus occidentale du Royaume. »

L'atlas fut un échec commercial (« la jalousie armée de la critique l'attaqua si fortement qu'il tomba dans une espèce de discrédit » écrit Bellin). Pour inciter les officiers de marine à l'acheter, le ministre de la marine de l'époque prit des dispositions pour en retenir le montant sur leurs soldes s'ils négligeaient de se le procurer.

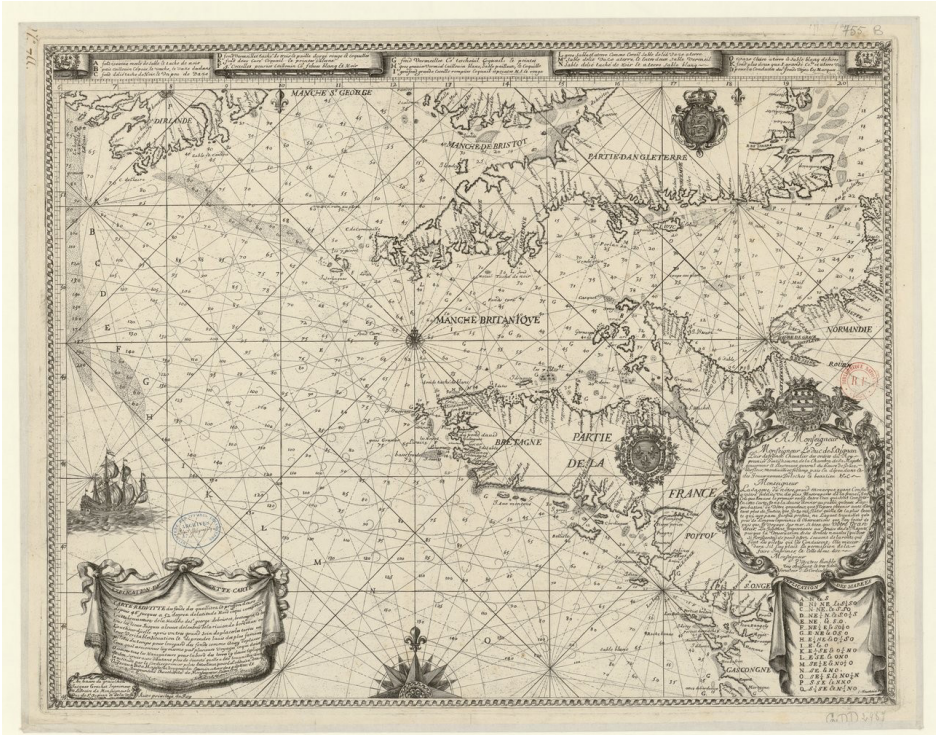
Ce fut par contre un succès de contrefaçon. L'année de sa parution, les Hollandais produisirent trois versions en français, anglais et hollandais. La version française provenait soi-disant de chez Alexis-Hubert Jaillot à Paris.

Ces contrefaçons contribuèrent aussi à l'échec commercial de l'atlas, écrit Bellin, « tant par le grand nombre qu'ils en répandirent que par les fautes dont leur copies furent remplies. »

Regroupement des documents

Journaux de bord

Les journaux de bord représentent une source d'information intéressante en l'absence de levé. Pour Guillaume Denis, cela permettrait de faire des



18 - carte reduitte des fonds... depuis 46 jusques a 52 degrez de latitude Nord - Samson Le Cordier - 1670 - cote GE DD-2987 (755 B)
La carte indique les profondeurs, les natures de fond et le décalage des marées
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

cartes plus justes par la confrontation de routes des plus habiles, mais aussi d'améliorer l'enseignement. Colbert partage cette opinion. Le 18 août 1670, il écrit à Colbert de Terron : « Il faut bien prendre garde de tirer de toutes nos navigations, et des journaux qui sont tenus, des connoissances exactes et fidèles, pour tous ceux qui auront à faire les mesmes voyages, et mesme il faudra s'en servir pour composer des cartes marines. »

Dans son *Mémoire pour mon fils, à son arrivée en Angleterre* du 24 septembre 1671, il écrit en marge du manuscrit (entre autres) : « le Roy veut qu'il soit fait une description exacte de toutes les costes de son royaume, et qu'il soit toujours travaillé dans ses ports à dresser des cartes marines sur les rapports et journaux de ses vaisseaux de guerre. »

Pierre Margry indique que l'ordonnance de février 1543 sur le fait de l'amirauté de François Ier prescrivait déjà la forme, la teneur et l'enregistrement auprès du greffe de l'amirauté des rapports de voyage au retour de mer. La consultation de l'ordonnance n'a pas permis de retrouver cette information. De son côté, Didier Neuville écrit qu'il existait depuis longtemps dans les ordonnances du royaume un article stipulant que les journaux et déclarations de tous voyages de long cours devaient être remis, au retour des navires, entre les mains des officiers de l'Amirauté du lieu, mais il n'indique pas de quelles ordonnances il s'agit. D'après l'ouvrage *Us et coutumes de la mer* d'Etienne Cleirac, la prescription de l'enregistrement des rapports de voyage au greffe de l'amirauté apparaît dans les actes suivants :

- l'édit d'Henri III de mars 1584, article XV : les greffiers des amirautés doivent tenir un registre dans lequel ils mettront les rapports des maîtres de navires et compagnons qu'ils sont tenus de faire au retour de leur voyage.

- l'ordonnance de Louis XIII de 1629, ou code Michau, non appliquée pour des raisons politiques : son article CCCCLIX ordonnait aux pilotes de remettre à l'amirauté, au retour de longs voyages, une copie scellée de leur routier et journal, avec l'observation des variations de l'aiguille, les découvertes de terres, côtes et îles ainsi que les sondes et fonds.

- l'ordonnance de 1681 sur la marine de commerce : elle reprend dans son livre premier, titre IV, article VIII les prescriptions de l'article XV de l'ordonnance de 1584, en utilisant le même mot *rapport* et non *journal*. Dans le même livre au titre VIII, l'article V indique que les professeurs examineront les journaux de navigation déposés au greffe de l'amirauté et les corrigeront en présence des pilotes en cas d'erreur. Toujours dans le même livre, au titre X, l'article IV indique que les maîtres et capitaines de navire doivent remettre leur rapport dans les 24 heures. Le rapport n'est pas le journal de navigation mais il mentionne, concernant l'hydrographie, les nouvelles découvertes, les vigies et autres écueils. Dans le livre second, au titre IV, l'article IV indique que le pilote doit tenir deux journaux dans les voyages au long cours. Sur le premier il écrira les changements de routes et de vents, les jours et les heures des changements, les lieux qu'il estimera avoir avancé sur chacun, les réductions en latitude et longitude, les variations de l'aiguille, l'ensemble des sondes et terres qu'il aura reconnues ; et sur l'autre il mettra de vingt-quatre heures en vingt-quatre heures au net, les routes, longitude et latitude réduites, les latitudes observées, avec tout ce qu'il aura découvert de remarquable dans le cours de sa navigation. L'article V indique que le pilote doit remettre à son retour d'un voyage au long cours une copie de son journal au greffe de l'amirauté.

- l'ordonnance de 1689 pour la marine militaire : son livre I, titre IX, article XVI indique que le lieutenant tient un journal de navigation qui est examiné au retour du voyage. Au titre XV, article V, le pilote tient un journal dans lequel il note notamment les sondes. A l'article VII, il s'applique « à la connoissance des terres, les observant en passant auprès, et comme elles se démontrent à chaque air de vent qu'il les pourra voir. » A l'article VIII il marque sur sa carte les bas fonds et les roches sous l'eau que l'on découvre. A l'article IX il remet au retour de son voyage son journal à l'intendant pour être examiné au conseil en présence des officiers généraux et du maître d'hydrographie. Enfin dans le livre XIX, titre I, les articles XVII et XVIII traitent des journaux de navigation des officiers de marine.

Les rapports et journaux sont donc conservés dans les greffes des amirautés, puis probablement centralisés lors de la création du *dépôt des archives de la Marine* en 1699, regroupant les papiers de la Marine, des Galères, des Colonies, du Commerce et de la Maison du Roi. Le dépôt est confié à Pierre Clairambault.

Cartes et plans

Dans un mémoire du 21 septembre 1676, Colbert indique à son fils, le marquis de Seignelay, qu'il faut prendre deux portefeuilles de maroquain. Dans l'un, y mettre les plans des arsenaux de Marine. Dans l'autre « toutes les cartes maritimes qui y pourront estre mises, et un inventaire exact de

celles qui, pour leur grandeur, ne le pourront pas ; y mettre aussi le mémoire de tous les ingénieurs qui y travaillent. Voir les appointements qu'ils ont. Les faire travailler avec soin jusques à ce que toutes les costes du Royaume soient entièrement achevées. »

En 1680 ces documents cartographiques sont regroupés dans les *cartes et plans du roi* et confiés à l'ingénieur Pène.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1543	Ordonnances royaux, sur le fait de l'admirauté
2	(texte règlementaire) - 1584	Edict du Roy, contenant les ordonnances et règlement de la jurisdiction de l'Admirauté de France
3	(texte règlementaire) - 1629	Ordonnance du roy Louis XIII Roy de France & de Navarre sur les plaintes et doléances faittes par les députez des Estats de son royaume convoquez & assemblez en la ville de Paris en l'année 1614. & sur les advis donnez à sa Majesté par les assemblées des Notables tenuës à Rouen en l'année 1617. & à Paris en l'année 1626
4	(texte règlementaire) - 1681	Ordonnance de la marine, du mois d'aoust 1681 commentée et conférée sur les anciennes ordonnances, le droit romain et les nouveaux reglemens - 1714
5	(texte règlementaire) - 1689	Ordonnance de Louis XIV pour les armées navales et arsenaux de marine du 15 avril 1689 ... Nouvelle édition, augmentée des deux règlemens par colonnes, 1764
6	(anonyme) - 1914	Notice sur le service hydrographique de la marine - annales hydrographiques n°992, 2ème série, tome 34, année 1914
7	Alberti, Leon Battista - 1445	Ludi Rerum Mathematicarum - in Opere Volgari, volume terzo - 1973
8	Anthiaume, Albert - 1920	Evolution et Enseignement de la science nautique en France, et principalement chez les Normands - tome 1
9	Anthiaume, Albert - 1920	Evolution et Enseignement de la science nautique en France, et principalement chez les Normands - tome 2
10	Apian, Pierre - 1524	Cosmographie - édition de 1544 avec corrections de Gemma Frison et deux autres livres du même dont la traduction en français de *De locorum describendorum ratione* de 1533
11	Augoyat - 1860	Aperçu historique sur les fortifications, les ingénieurs et le corps du génie en France
12	Bellin, Jacques-Nicolas - 1740	Lettre de M. J.-N. Bellin, ingénieur de la Marine, à M... de l'Académie royale des sciences de Paris, le 2 mars 1740 - version imprimée de 1756
13	Bellin, Jacques-Nicolas - 1751	Remarques sur les cartes du Neptune françois, dont les planches ont été remises au Dépôt des plans de la Marine en 1751
14	Berthaut, Henri-Marie-Auguste - 1902	Les ingénieurs géographes militaires 1624-1831
15	Bouguer, Jean - 1698	Traité complet de la navigation
16	Bourgoin, Jean - 1988	The french state and nautical cartography - in Revue hydrographique internationale n°65, 1988
17	(de) Champlain, Samuel - 1632	Les voyages de la nouvelle France occidentale dicte Canada faits par le Sr de Champlain
18	Chapuis, Olivier - 1999	A la mer comme au ciel - Beautemps-Beaupré et la naissance de l'hydrographie moderne
19	Chapuis, Olivier - 2007	Cartes des Côtes de France
20	Cleirac, Etienne - 1661	Us et costumes de la mer, divisées en 3 parties : I. De la Navigation. II. Du Commerce naval et contracts maritimes. III. De la Jurisdiction de la marine

21	Clément, Pierre - 1864	Lettres, instructions et mémoires de Colbert, Tome III - 1ère partie Marine et galères
22	Clément, Pierre - 1865	Lettres, instructions et mémoires de Colbert, Tome III - 2ère partie
23	Collins, John - 1671	A Solution, Given by Mr. John Collins of a Chorographical Probleme, proposed by Richard Townley Esq. who doubtless hath solved the same otherwise - in Philosophical Transactions 1671 6
24	Fontanon, Antoine - 1580	Les edicts et ordonnances des roys de France depuis s. Loys iusques a present : avec les verifications, modifications, et declarations sur icelles : divisees en quatre tomes, par Antoine Fontanon, advocat en la Cour de Parlement de Paris : et par luy augmentées de plusieurs belles ordonnances, anciennes & nouvelles, reduictes en leur vray ordre selon la nature des matieres
25	Fournier, Georges - 1643	Hydrographie contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la navigation - édition de 1667
26	Gallois, Lucien - 1890	Les géographes allemands de la Renaissance
27	Haasbroek, N. D. - 1968	Gemma Frisius, Tycho Brahe and Snellius and their triangulation
28	Heidenreich, Conrad E. - 2007	The history of cartography, volume 3, partie 1 , chapitre 51 The Mapping of Samuel de Champlain, 1603–1635
29	Lacour-Gayet, Georges - 1911	La marine militaire de la France sous les règnes de Louis XIII et de Louis XIV : avec deux planches
30	Lelewel, Joachim - 1857	Epilogue de la géographie du moyen âge
31	Levallois, JJ - 1988	Mesurer la terre - 300 ans de géodésie française
32	Margry, Pierre - 1867	Les Navigations françaises et la Révolution maritime du XIVe au XVIe siècle
33	Michelot, Henry - 1703	Le Portulan de partie de la mer Méditerranée, ou le Vray guide des pilotes costiers, dans lequel on verra la véritable manière de naviguer le long des côtes d'Espagne, Catalogne... avec une ample description de tous les ports... Le tout fidèlement observé sur les lieux, par Henry Michelot
34	Neuville, Didier - 1882	Les établissements scientifiques de l'ancienne marine
35	Neuville, Didier - 1898	Etat sommaire des archives de la Marine antérieures à la révolution
36	Ozanam, Jacques - 1693	Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer
37	Passerat, C. - 1910	Etude sur les cartes de Poitou et de Saintonge antérieures aux levés du XIXe siècle
38	Pastoureau, Mireille - 1984	Les atlas français XVIe-XVIIe siècle
39	Pelletier, Monique - 1997	Science et cartographie marine in La percée de l'europe sur les océans vers 1690 1790 - 1997
40	Pene, Charles - 1693	Le neptune françois ou recueil des cartes marines levées et gravées par ordre du roy. Premier volume, contenant les costes de l'Europe sur l'océan, depuis Dronthem en Norvège jusques au détroit de Gibraltar, avec la mer Baltique
41	Randier, Jean - 1978	L’instrument de marine
42	(de La) Roncière, Charles - 1910	Histoire de la marine française, tome IV
43	(de La) Roncière, Charles - 1919	Histoire de la marine française, tome V
44	Sue, Eugène - 1839	Correspondance de Henri d'Escoubleau de Sourdis, tome III
45	Taillemite, Etienne - 1998	Histoire ignorée de la marine française

46	Valin, R.-J. - 1828	Commentaire sur l'ordonnance de la marine du mois d'août 1681 - tome premier - 2e édition 1841
47	(Le) Vasseur, Guillaume - 1608	Traité de la géodrographie ou art de naviguer
48	Wright, Edward - 1599	Certain errors in navigation detected and corrected by Edw. Wright: with many additions that were not in the former editions - édition de 1657

5 – la conquête de la précision

L'hydrographie et la navigation font au XVIIIe siècle des progrès décisifs. A défaut d'être complètes, les cartes sont maintenant plus précises, aussi bien dans la position des terres sur les cartes générales que dans le détail des côtes sur les cartes particulières. Les navigateurs peuvent porter sur ces cartes leur position avec plus de sûreté grâce à de nouveaux instruments qui améliorent la détermination de la latitude et, surtout, permettent enfin de connaître la longitude en mer. De nouvelles méthodes donnent naissance vers la fin du siècle à l'hydrographie scientifique. Le XVIIIe siècle voit également la naissance du Dépôt des cartes et plans de la marine qui devient par la suite le seul organe habilité à produire des cartes pour la navigation.

A la fin du XVIIe siècle, les cartes géographiques, construites sur les coordonnées fournies par Ptolémée, donnent une représentation fausse de la terre ; les cartes hydrographiques, construites pour la plupart sur les observations peu précises des navigateurs, en donnent une représentation tout aussi fausse, quoique moins éloignée de la réalité. C'est à Guillaume Delisle que l'on doit les premiers progrès des cartes.

Guillaume Delisle, ou le renouveau de la géographie

Au XVIIe siècle, les cartes géographiques dérivaient de celles de Nicolas Sanson, géographe du roi, qui s'appuyait, comme ses prédécesseurs, sur les coordonnées de Ptolémée. Les coordonnées géographiques que les astronomes commençaient à déterminer restaient inutilisées. En 1696 Cassini fit tracer sur le sol d'une salle de l'observatoire de Paris un planisphère comportant trente-neuf positions résultant d'observations astronomiques récentes.

Guillaume Delisle, géographe précoce - il réalisa ses premières cartes à l'âge de neuf ans - prit des leçons auprès de Cassini. En 1700, à l'âge de 25 ans, il fit paraître une mappemonde, quatre cartes des continents, un globe céleste et un globe terrestre, qui prenaient en compte les récentes observations astronomiques, les itinéraires et les descriptions géographiques des voyageurs. A titre d'exemple, la largeur de la Méditerranée passait de 1 160 à 860 lieues, soit une réduction d'un quart (environ 1 300 km) ; l'Asie était raccourcie de 500 lieues (environ 2 200 km). Cette nouvelle géographie fit la renommée de Delisle et, à 27 ans, il entrait à l'Académie des sciences. Il enseigna par la suite la géographie à Louis XV, qui créa pour lui le titre de *premier géographe du roi.*

Le nom de Guillaume Delisle est associé à plusieurs personnages importants de l'hydrographie française dont il sera question dans la suite du chapitre :

- Philippe Buache, son élève, devenu, après la mort du maître en 1726, son gendre (1729) et premier géographe du roi (1730),
- Jean-Baptiste d'Après de Mannevillette, un de ses élèves,
- Jean-Nicolas Buache de la Neuville, neveu et élève de Philippe Buache, premier géographe du roi en 1782, le titre ayant été porté entretemps par Jean-Nicolas Bourguignon d'Anville,
- Charles-François Beautemps-Beaupré, cousin de Jean-Nicolas Buache et son élève à partir de l'âge de 10 ans.

L'imprécision des cartes marines

On trouve sous la plume de Louis Antoine de Bougainville, au retour de son tour du monde de 1766-1769, un témoignage sur l'état des cartes marines au milieu du siècle : « Quoique je fusse convaincu que les Hollandais représentent la navigation dans les Moluques comme beaucoup plus dangereuse qu'elle ne l'est effectivement, je n'ignorais cependant pas qu'elle fût semée d'écueils et de difficultés. La plus grande était pour nous de n'avoir aucune carte fidèle de ces parages, les cartes françaises de cette partie de l'Inde étant plus propres à faire perdre les navires qu'à les guider. [...] Je dois avertir ici que toutes les cartes marines françaises de cette partie sont pernicieuses. Elles sont inexactes, non seulement dans les gisements des côtes et îles, mais même dans les latitudes essentielles. [...] Au reste il était essentiel de déterminer

la longitude des Açores par de bonnes observations astronomiques, et de bien constater la distance des unes aux autres et leurs gisements entre elles. Rien de tout cela n'est juste sur les cartes d'aucune nation. Elles ne diffèrent que par le plus ou moins d'erreur. [...] il s'en faut environ de dix degrés qu'elle [l'île de Pâques] ne soit placée exactement en longitude sur nos cartes. »

Cette imprécision provient des données disponibles, des méthodes employées et des instruments utilisés.

Positions géographiques

Les positions géographiques des points terrestres s'obtiennent au moyen d'observations astronomiques faites sur place. Les longitudes étant difficiles à obtenir (il faut que le ciel soit dégagé au moment de l'événement céleste qui servira de référence de temps), le nombre d'observations est assez modeste, comme le montre le nombre de positions données dans la *Connaissance des temps*, publication annuelle d'éphémérides astronomiques :

- 1701 : 86 positions, toutes en Europe
- 1721 : 135 positions
- 1741 : 145 positions
- 1764 : 193 positions
- 1781 : 490 positions
- 1801 : 1029 positions

On observe une croissance importante des observations dans le dernier tiers du siècle.

Positions relatives

Pour les cartes particulières, la conquête de la précision commence au XVIIe siècle (voir le chapitre précédent) par l'exécution de levés effectués par triangulation à partir de la terre.

Bien que les levés effectués à partir de la mer, que l'on appelle *levés sous voile*, utilisent également la triangulation, ils sont bien moins précis. Leur précision dépend en effet de la qualité de l'estime, qui détermine la position des extrémités des bases des triangles, et de celle des relèvements à la boussole des sommets de ces triangles. Les levés par triangulation sont désignés sous le nom de *levés trigonométriques* ou de *levés géométriques* pour les distinguer des levés effectués avec l'ancienne méthode des gisements et distances.

L'imprécision due à la boussole affecte également la position des sondages, celle-ci étant souvent déterminée en relevant à la boussole deux points connus sur la côte.

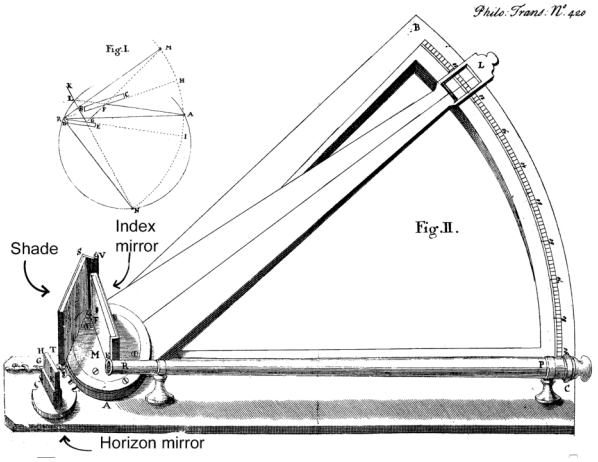
Les nouveaux instruments

Deux nouveaux instruments vont apporter de grands progrès à la navigation : les instruments de mesure d'angle par réflexion et les horloges.

La mesure d'angle par réflexion

Avec un instrument de mesure d'angle par réflexion, l'observateur vise directement un des deux points formant l'angle et ramène, en déplaçant un bras mobile équipé d'un grand miroir, l'image du second point dans un petit miroir placé dans la direction de la ligne de visée. Lorsque le point vu directement et le point doublement réfléchi sont alignés dans la ligne de visée, l'opérateur lit sur la graduation de l'instrument la valeur de l'angle qu'ils forment. Le gain apporté est double : la précision de la mesure est accrue et la mesure est assez facile à faire en mer, même lorsque le navire tangue et roule.

En 1666, Robert Hooke présente à la *Royal Society* un appareil à un seul miroir. En 1699, Isaac Newton présente un instrument à deux miroirs. En 1731, John Hadley présente deux instruments : l'un en bois à trois miroirs, l'autre en cuivre à deux miroirs. La présentation est concluante et le second instrument est essayé avec succès à la mer l'année suivante. Le nouvel instrument est alors fabriqué sous les noms de *nouveau quartier anglais* ou *octant* (certains pilotes l'appellent simplement « le Hadley »). Le nom d'octant provient de la course du bras mobile qui représente 1/8 de cercle, soit 45°. Les



1 - octant de Hadley
Extrait des Philosophical Transactions of the Royal Society, vol. 37, p. 147, 1731. [Public domain]

propriétés de la réflexion permettent à l'instrument de mesurer des angles doubles de la course, soit de 0° à 90°. En 1757, le capitaine Campbell, de la *Royal Navy*, suggère de porter le champ de visée à 120°. Le nouvel instrument, appelé *sextant* (course de 60°, soit 1/6 de cercle) est utilisé couramment pour la navigation en haute mer jusqu'au début du XXIe siècle.

D'autres inventeurs ont proposé à la même époque des instruments proches de celui de Hadley : Edmund Halley, inspiré par Newton, Caleb Smith, Thomas Godfrey, Fouchy, Bird, Elton…

Le premier usage de l'octant est la détermination de la latitude par la mesure de la hauteur du soleil. Sa précision d'une minute d'arc justifie la prise en compte de corrections qui jusque-là étaient négligeables en regard de l'imprécision des mesures. Il faut tout d'abord régler l'instrument en plaçant le bras mobile à la graduation 0° et en visant l'horizon. Si l'horizon direct et l'horizon réfléchi ne sont pas alignés, l'observateur ajuste la perpendicularité du petit miroir au plan de l'instrument afin d'obtenir la coïncidence des deux images. Après la mesure, il applique les corrections suivantes (tirées de l'ouvrage de D'Après de Mannevillette de 1739) :

- demi-diamètre du soleil : la mesure de la hauteur du soleil s'effectuant en faisant coïncider le bas du disque solaire avec l'horizon, on ajoute entre 15 minutes 3/4 et 16 minutes 1/3 en fonction de la période de l'observation dans l'année,

- dépression de l'horizon : l'œil de l'observateur étant situé au-dessus du plan de l'horizon, on retranche l'angle formé par l'horizon et le plan horizontal passant par l'œil, par exemple : 2 minutes pour une hauteur de 6 pieds, 8 minutes pour une hauteur de 40 pieds,

- réfraction des rayons lumineux due à la présence de l'atmosphère : l'observateur retranche entre 1/3 de minute pour une hauteur observée à 68° et 27 minutes pour une hauteur observée à 0° (sur l'équateur) ; la correction atteint 33 minutes à la latitude de 50°.

L'octant permet également de calculer la longitude en mer par la méthode des distances lunaires (voir encadré n°1), dont l'idée remonte au début du XVIe siècle (Johann Werner, 1514). Selon les tables utilisées, le calcul prend entre 1/2 heure et quatre heures. La précision dépend des progrès dans la précision des tables : 3° en 1750, 1° en 1761, 1/2°, voire moins, à la fin du siècle. Les multiplications et les divisions nécessaires aux calculs sont évitées par l'emploi des logarithmes.

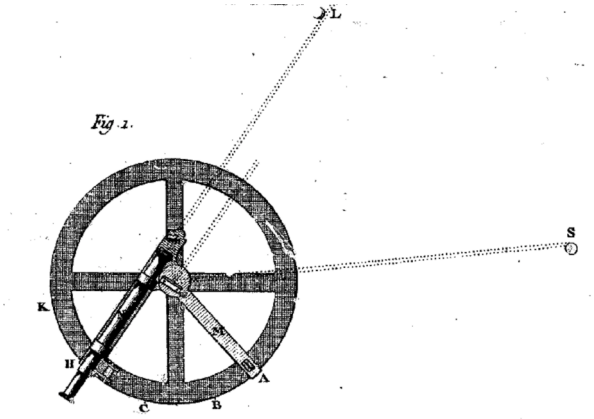
Le cercle de réflexion

En 1752, l'astronome et mathématicien allemand Tobias Mayer met au point un cercle de réflexion permettant de répéter les mesures d'angles et de diviser ainsi les erreurs de graduation de l'instrument. Pour cela, le petit miroir est placé, avec une lunette, sur un second bras mobile indépendant du bras qui porte le grand miroir. L'instrument s'utilise de la manière suivante :

1 le bras supportant le grand miroir est placé et bloqué à la graduation zéro de l'instrument,

2 le bras supportant le petit miroir est déplacé jusqu'à ce que les deux miroirs soient parallèles, c'est à dire que l'image directe et l'image réfléchie d'un point éloigné soient vues en coïncidence dans la lunette,

3 le bras supportant le petit miroir est bloqué puis l'observateur vise dans la lunette le premier point ; il déplace ensuite le bras supportant le grand miroir jusqu'à obtenir la coïncidence avec le second point formant l'angle.



2 - cercle de réflexion de Tobias Mayer - extrait de l'ouvrage *Description et usage du cercle de réflexion* de Borda - 1787 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Jusque là, le fonctionnement est identique à celui de l'octant et l'observateur pourrait lire la valeur de l'angle entre les deux points sur la graduation. Mais s'il reprend les opérations 2 et 3, il va obtenir le double de cet angle. En divisant cette valeur par 2, il obtiendra l'angle cherché et il aura divisé l'erreur de graduation par 2. En allant jusqu'à quatre observations consécutives, l'erreur de graduation sera divisée par 4.

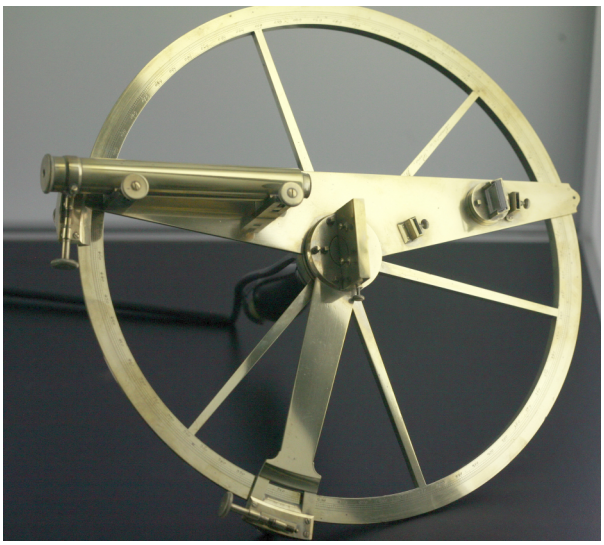
En 1755, Mayer présente son instrument au *Board of Longitudes* sans éveiller un intérêt particulier.

En 1771, le chevalier Jean-Charles de Borda, scientifique et navigateur, a l'occasion d'utiliser un

cercle de Mayer. Il observe que l'opération préliminaire du parallélisme des miroirs peut apporter des erreurs, l'observateur visant en général pour cela l'horizon. Or la mise en coïncidence de l'horizon à travers la lunette manque de netteté. En reculant un peu la lunette pour qu'elle soit en arrière du grand miroir et en avançant le petit miroir jusqu'au limbe portant la graduation, il permet de faire la coïncidence aussi bien par la droite que par la gauche et il supprime l'erreur de parallélisme des miroirs tout en divisant le nombre d'observations par deux pour un même résultat. L'utilisation de l'instrument modifié est la suivante :

1 le bras supportant le grand miroir est placé et bloqué à la graduation zéro de l'instrument, (même opération que pour le cercle de Mayer)

2 le bras supportant le petit miroir est débrayé et, tout en visant constamment le point situé à droite, l'instrument est tourné jusqu'à ce que l'image réfléchie du point situé à gauche vienne en coïncidence avec l'image directe dans la lunette,



3 - cercle de réflexion dit de Borda, construit par Étienne Lenoir, 1786 - Crédit : Rama [CC BY-SA 2.0 fr (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/deed.en)]

3 le bras supportant le petit miroir est alors bloqué puis l'observateur vise dans la lunette le point situé à gauche ; il déplace ensuite le bras

Encadré n°1 : longitude par la méthode des distances lunaires

Première observation - l'observateur, muni d'une bonne montre, mesure tout d'abord la hauteur du soleil ou d'une étoile brillante au-dessus de l'horizon. Avec cette hauteur il calcule l'heure vraie du navire et note l'écart entre cette heure et l'heure de la montre. Pour obtenir un bon résultat l'astre doit être éloigné du méridien et sa hauteur doit être d'au moins 5° au-dessus de l'horizon afin de s'affranchir de l'incertitude sur la réfraction.

Seconde observation, éventuellement plusieurs heures après la première - l'observateur mesure l'angle entre le bord de la lune et une étoile ou le bord du soleil : c'est la distance lunaire. En même temps deux autres observateurs prennent la hauteur de la lune et celle de l'autre astre choisi tandis qu'une quatrième personne note l'heure de la montre. Il est cependant possible de travailler seul en mesurant d'abord la hauteur de l'astre, puis sa distance à la lune et enfin la hauteur de la lune et en notant l'heure à la seconde près de chaque mesure. Des calculs permettent ensuite de réduire les hauteurs à l'instant de l'observation de la distance. Pour plus de précision on peut répéter les observations et calculer les valeurs moyennes des hauteurs, distances et temps.

On passe ensuite aux calculs (le mode opératoire décrit correspond au cas où la première observation a été faite avec le soleil) :

- correction des hauteurs observées de la dépression de l'horizon, de la réfraction, du demi-diamètre de la lune et du soleil et de la parallaxe, qui tient compte de l'écart entre le centre de la terre, pour lequel les calculs astronomiques sont effectués, et la position de l'observateur à la surface de la terre,
- correction de la distance observée de la réfraction, de la parallaxe et du demi-diamètre (des demi-diamètres pour une distance lune-soleil),
- calcul de l'heure vraie au moment de la première observation, en fonction de la hauteur du soleil, de la dernière position estimée, du cap et de la vitesse du navire,
- calcul de l'heure vraie au moment de la seconde observation, en fonction de l'heure de la montre notée lors des deux observations,
- calcul de l'heure au méridien de référence en fonction de la distance, grâce aux tables publiées dans la connaissance des temps,
- calcul de l'écart en heure, puis en degrés de longitude, entre l'heure du méridien de référence et l'heure vraie de la seconde observation

supportant le grand miroir jusqu'à obtenir la coïncidence avec le point situé à droite. La graduation donne alors le double de l'angle entre les deux points et le réglage du parallélisme a été fait au passage, à l'insu de l'observateur.

Le cercle de réflexion peut également s'utiliser comme un octant, la première observation rendant les miroirs parallèles et la seconde observation, par la droite ou par la gauche, donnant l'angle cherché.

Borda expérimente son cercle de réflexion en 1776. Par la suite il crée avec l'artiste Lenoir un cercle astronomique, ou cercle répétiteur, dédié aux mesures astronomiques à terre. Cet instrument utilise le principe de la répétition mais pas celui de la réflexion ; il possède deux lunettes comme le graphomètre.

Les horloges marines

L'idée de déterminer la longitude par la différence entre l'heure locale, que l'on obtient à bord d'un navire par une observation astronomique, et l'heure du méridien de référence fournie par une horloge date de 1530 (Gemma Frisius).

En Angleterre John Harrison construit des horloges marines essayées à partir de 1761. Au début la précision est insuffisante mais des avancées techniques lui permettent d'obtenir finalement une précision acceptable. L'explorateur James Cook emporte quatre horloges marines lors de son second voyage (1772-1775).

En France c'est Pierre Le Roy et Ferdinand Berthoud qui construisent des horloges marines. Les horloges ne fournissent pas exactement l'heure du méridien de référence. On constate quotidiennement un retard ou une avance dont la variation d'un jour à l'autre s'appelle la *marche*. Plus la marche est régulière, plus l'horloge est précise. Les essais sont faits en mer à partir de 1767, incluant le tir de salves d'artillerie, à l'avantage de Berthoud. La précision de la détermination de la longitude obtenue est d'environ 1/2°.

Ces instruments coûteux et rares sont attribués aux expéditions maritimes scientifiques. Ce n'est qu'à partir de 1850 que leur usage se généralise à bord de tous les navires.

L'évolution des écoles d'hydrographie

Au début du XVIIIe siècle, l'élan donné par Colbert et son fils Seignelay retombe. La marine est à nouveau dans un état précaire. Avec le temps, l'ordonnance de 1681 n'est plus observée.

En 1765, le Roi crée des écoles royales publiques dans les ports militaires de Brest, Rochefort et Toulon, à côté des écoles des gardes de marine (ordonnance du 25 mars 1765, livre V titre XL).

En 1770, les maîtres d'hydrographie, qui enseignent dans les ports militaires, deviennent professeurs d'hydrographie.

Un tableau des écoles d'Amirauté en 1785, inséré par Neuville dans *Les établissements scientifiques de l'ancienne marine*, donne la liste des ports qui possèdent une école d'hydrographie, classée selon la nomination des professeurs :

- nomination par le Roi : Calais, Dieppe, Le Havre, Brest, Rochefort, Marennes, Toulon,
- nomination par l'Amiral : Dunkerque, St Valéry-sur-Somme, Morlaix, Saint-Malo, Lorient, Auray, Nantes, Le Croisic, La Rochelle, Les Sables-d'Olonne, Bordeaux, Marseille, La Ciotat, Martigues,
- nomination par d'autres instances : Rouen, Vannes, Bayonne.

Le règlement du 1er janvier 1786 *Concernant les Ecoles d'Hydrographie, et la réception des Capitaines, Maîtres et Patrons* apporte une certaine uniformité dans l'enseignement :

- Deux hydrographes-examinateurs inspecteront chaque année les écoles (articles 1, 22 et 23).
- La liste des écoles autorisées dans les villes maritimes sera établie par un arrêté (article 2). Les écoles existantes mais non autorisées ne seront fermées qu'au décès ou à la démission de leur professeur d'hydrographie (article 14). La création de cours particuliers et d'écoles à l'initiative des villes est autorisée, mais les enseignants ne pourront prendre le titre de professeur d'hydrographie. (article 15).
- Les professeurs d'hydrographie seront sélectionnés par concours (articles 3 à 9). Chaque concours désignera les deux meilleurs candidats parmi lesquels l'Amiral choisira le titulaire ; pour les ports de Brest, Lorient, Toulon et Rochefort c'est le Roi qui choisira le titulaire.
- Le programme d'un cours élémentaire de pilotage et de navigation sera défini. Les professeurs seront tenus de le suivre (article 19).
- Les élèves navigateurs passeront un examen de pilotage devant l'hydrographe-examinateur du lieu. S'ils réussissent, ils recevront un certificat de pilotage (articles 24 à 29).

- Les candidats Capitaines de navires marchands devront posséder un certificat de pilotage (articles 30 à 36). Les candidats Maîtres au petit cabotage sont exonérés du certificat de pilotage, ainsi que les Maîtres de bateaux équipés pour la petite pêche (articles 37 et 38).

D'autre part, l'article 42 supprime la qualité de pilote-hauturier. Ce sont maintenant les capitaines qui doivent savoir naviguer. Enfin, les articles 45 à 47 sont consacrés aux journaux de navigation et de route. Les capitaines doivent les remettre au Greffe de l'Amirauté au retour de leurs voyages au long cours en même temps que leurs rapports. Si le port possède un professeur d'hydrographie, le Greffe lui transmet les journaux pour examen pendant au plus quinze jours. Le Greffe restitue ensuite les journaux aux capitaines. Les remarques et les éléments intéressant la navigation sont transmis aux hydrographes-examinateurs qui rendent compte au secrétaire d'état de la marine.

Le décret sur l'organisation de la marine du 28 avril 1791 indique à l'article 14 qu'il « y aura des écoles gratuites d'hydrographie et de mathématiques dans les principaux ports du royaume. »

La loi sur les écoles de la marine du 10 août 1791 donne dans son article 4 la liste des douze écoles de mathématiques et d'hydrographie en place : Toulon, Marseille, Sète, Bayonne, Bordeaux, Rochefort, Nantes, Lorient, Brest, Saint-Malo, Le Havre et Dunkerque. L'article 5 crée 22 nouvelles écoles, appelées simplement écoles d'hydrographie, à Antibes, Saint-Tropez, La Ciotat, Narbonne, Port-Vendres, Libourne, La Rochelle, Les Sables d'Olonne, Paimboeuf, Le Croisic, Vannes, Audierne, Saint-Pol de Léon, Saint-Brieuc, Granville, Cherbourg, Honfleur, Fécamp, Dieppe, Saint Valéry-sur-Somme, Boulogne et Calais. Un décret du 20 septembre 1791 y ajoute l'école d'hydrographie de Rouen.

Enfin, la loi concernant les écoles de service public du 30 vendémiaire de l'an IV (22 octobre 1795) stipule au titre IX, article I, que les écoles de mathématiques et d'hydrographie destinées à la marine d'état et les écoles d'hydrographie destinées à la marine de commerce seront désormais appelées écoles de navigation.

L'activité de production des cartes marines des professeurs d'hydrographie diminue, puis s'éteint rapidement après le décret du 5 octobre 1773 (voir plus loin). Les écoles retrouvent leur nom d'écoles d'hydrographie au début du XIXe siècle pour le perdre définitivement en 1919 lorsqu'elles deviennent des écoles nationales de la marine marchande. Les professeurs d'hydrographie gardent leur titre jusqu'en 1965 ; ils deviennent alors professeurs de l'enseignement maritime.

D'Après de Mannevillette et la Compagnie des Indes

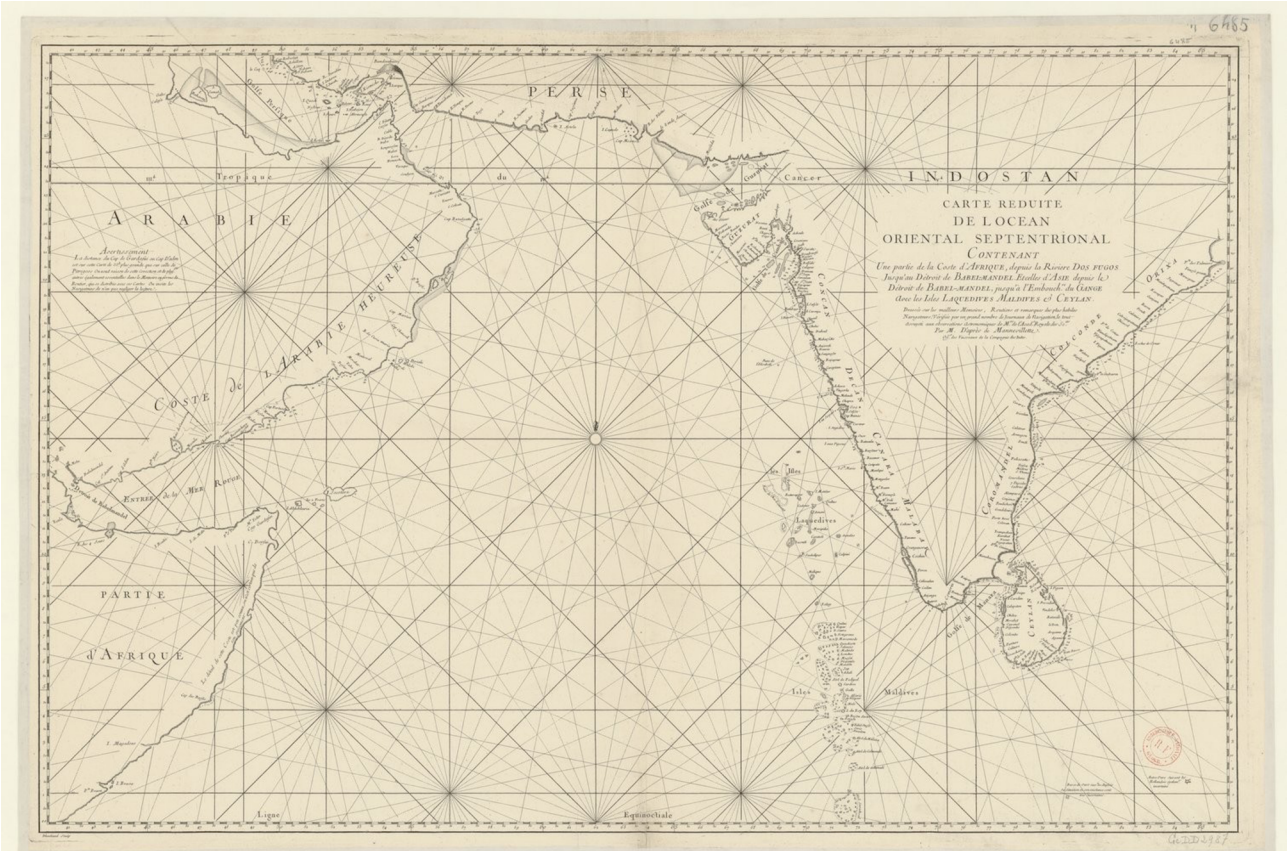
Jean-Baptiste d'Après de Mannevillette effectue son premier voyage en 1719 à l'âge de 12 ans, au Bengale, avec son père, capitaine du navire pour la Compagnie des Indes. A son retour, en 1721, il part à Paris se former auprès du géographe Guillaume Delisle et de l'astronome Philipe Desplaces.

Il reprend la mer en 1726 comme second enseigne sur un navire de la Compagnie des Indes. A partir de 1730, il commence à noter les observations qu'il effectue pendant ses voyages.

Lors de son voyage de 1736 à 1739, D'Après de Mannevillette utilise pour la première fois un octant pour déterminer la latitude. Il en rédige un mode d'emploi : *Le nouveau quartier anglais ou Description et usage d'un nouvel instrument pour observer la latitude* publié en 1739. Dans son voyage suivant, en 1740, il utilise l'octant pour déterminer la longitude par la méthode des distances lunaires. Au vu des possibilités de la méthode, il fait le projet de publier un ensemble de cartes pour les vaisseaux de la Compagnie. En 1741, il écrit à son directeur du commerce : « Par ce moyen nous parviendrons à avoir de bonnes cartes et à rendre raison des différences considérables qu'on a souvent en naviguant [...] Je mets à profit le séjour que nous faisons dans l'Inde à rectifier et à corriger les cartes de ces mers afin de nous affranchir de la nécessité où nous avons toujours été d'emprunter aux Anglais et aux Hollandais celles que nous pourrions tirer de notre propre fonds beaucoup plus parfait. »

A partir de juin 1742 il reste à Lorient pour préparer un recueil de cartes accompagné d'un routier, le *Neptune oriental* ou *Routier général des côtes des Indes orientales et de Chine*. L'ouvrage est publié en 1745, l'impression étant payée par la Compagnie des Indes. Le recueil comporte 26 cartes s'appuyant sur 8 positions astronomiques et contient des indications de fiabilité, selon que l'auteur a vu lui-même les lieux ou a compilé d'autres travaux. Cet ouvrage est bien accueilli en France et aussi à l'étranger. Il a bonne réputation mais il n'est pas exempt d'erreurs ; Bougainville écrit pendant son tour du monde : « Les cartes ont été fausses à ne pas s'y reconnaître. Celle de M. d'Après ne vaut pas mieux que les autres. »

En 1749, D'Après de Mannevillette reprend la mer, cette fois comme capitaine de navire. En 1750 la Compagnie des Indes lui confie des missions hydrographiques : détermination des positions du Cap de Bonne-Espérance et des îles des Mascareignes, et relevé des côtes du sud-est de l'Afrique. A l'issue d'une campagne difficile mais fructueuse, D'Après de Mannevillette rentre à Lorient en 1752.



4 - carte réduite de l'océan oriental septentrional - D'Après de Mannevillette - 1745 - cote GE DD-2987 (6485 B)
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

L'année suivante, il publie une carte de l'océan Indien à la demande du ministère de la marine avant de repartir pour la Chine. Il essaie une nouvelle route plus courte, passant à l'est de Madagascar, et en dessine la carte. Il rentre définitivement à Lorient en 1756.

En 1762, la Compagnie des Indes confie à D'Après de Mannevillette son dépôt des cartes et plans créé récemment à Lorient. Ce dépôt recueille les journaux de navigation et les rapports de mer des capitaines de la Compagnie. D'Après commence alors à travailler sur une nouvelle version de son *Neptune oriental*. En 1765, il publie un *Mémoire sur la navigation de France aux Indes* à la demande du ministre de la marine à la suite du naufrage du *Dromadaire*.

Après la dissolution de la Compagnie en 1770 et le rachat du port de Lorient par le Roi, D'Après de Mannevillette devient *Inspecteur pour le Roi des cartes et journaux de la navigation de l'Inde à l'Orient*.

En 1771, il soumet la deuxième version de son *Neptune oriental* à l'Académie de marine dont il est membre. L'impression est autorisée en 1773 mais des problèmes de financement retardent la publication jusqu'en 1775. La nouvelle version comporte 65 cartes et s'appuie sur 24 positions astronomiques. Cinq cartes proviennent d'Alexander Dalrymple, de l'*East India Company*, avec lequel D'Après de Mannevillette entretient une correspondance. Cartes et texte gagnent en précision et font référence pendant plus de 70 ans.

D'Après de Mannevillette meurt en 1780. Alexander Dalrymple écrit de lui : « M. D'Après n'était pas de ces hommes qui naissent tous les jours ; peu, et très peu vraiment, ont poussé aussi loin que lui les connaissances dans la partie qu'il a suivie : il n'est point d'hydrographe d'aucun âge ni d'aucune nation qui puisse entrer en concurrence avec lui, et son égal n'a jamais existé. »

Le dépôt des plans, cartes et journaux de la marine

Création du dépôt

En 1701, l'ingénieur géographe Charles Pène, en charge des Cartes et plans du roi, décède. Le ministre de la marine fait prendre à son domicile la collection des cartes dont il avait la charge et prescrit à Pierre Clairambault, qui dirige le dépôt des archives de la marine, d'en extraire ce qui concerne les fortifications et de faire porter le reste au jardin des Petits-Pères, place des Victoires à Paris, dans le pavillon qu'occupe le dépôt. Il

semble que Beauvilliers, ingénieur géographe *pour les cartes de la marine à Paris*, prenne la suite de Charles Pène le 1er novembre 1701. On connaît de lui des cartes d'îles de 1703 et une carte de la Louisiane de 1720.

Le 19 novembre 1720, le Conseil de marine, organe créé le 3 novembre 1715 pour remplacer le secrétariat d'état à la marine momentanément supprimé, crée le dépôt des plans, cartes et journaux de la marine (voir encadré n°2 ; l'organisme sera désigné le plus souvent sous le nom abrégé de « Dépôt » dans la suite du texte). Le lendemain 20 novembre, la garde du Dépôt est confiée au chevalier de Luynes, capitaine de vaisseau. Le Dépôt occupe une salle du pavillon des Petits-Pères, près de la place des Victoires à Paris, à côté des archives de la marine.

Début 1721, Jacques Nicolas Bellin, âgé de 18 ans, entre au Dépôt comme premier commis (le Dépôt compte alors deux personnes : le garde et le commis). Son premier travail consiste à extraire du dépôt des archives de la marine tous les documents ayant un intérêt nautique ou hydrographique, tels que les cartes, plans, journaux de voyage, rapports et autres mémoires envoyés par les officiers commandant les vaisseaux à leur retour de mer, et d'en dresser un inventaire. Bellin effectue également des copies sur papier huilé (calque) de cartes marines. Le géographe Philippe Buache, élève de Guillaume Delisle, intègre le Dépôt comme dessinateur cartographe à partir de 1721 ou 1729, selon les sources, jusqu'en 1737 ou 1738 où il est remplacé par Le Moyne.

L'activité première du Dépôt est la conservation, l'examen et la copie de cartes. Toutefois, en 1730, La Blandinière, alors responsable du Dépôt, et Bellin se rendent en mission à Dunkerque pour faire un état des lieux du chenal et du port. Bellin y dresse de nombreux plans. Bien que remplacé à la tête du Dépôt en 1734, La Blandinière poursuit les travaux cartographiques avec Bellin.

Cartographie de cabinet

Le Dépôt publie ses premières cartes de compilation en 1737 : côtes de Saint-Domingue, côtes de l'Acadie et carte de la Méditerranée en 3 feuilles. Cette dernière est une carte réduite, ce qui n'est pas du tout du goût des marins : en 1745 le mi-

Encadré n°2 : arrêté créant le Dépôt des plans, cartes et journaux

Mémoire présenté pour l'établissement du Bureau du Dépôt des plans, cartes et journaux de la marine en faveur de M. le chevalier de Luynes.

Il parait convenable au bien du service, et au bon ordre qu'il est nécessaire de maintenir dans la marine, qu'il y ait toujours à Paris un officier capable et de confiance, qui soit préposé à l'examen et à la garde des plans, cartes, journaux de voyages, rapports et autres mémoires envoyés par les officiers commandants des vaisseaux à leur retour de la mer.

Tous ces plans, journaux et mémoires ont été mis jusqu'ici avec les autres papiers concernant la marine dans un lieu de dépôt et, quoiqu'ils y soient soigneusement conservés et tenus dans tout l'arrangement nécessaire, on ne peut en tirer beaucoup d'utilité, par rapport à l'espèce d'oubli où ils sont quand ils y ont été une fois portés, au lieu que l'officier qui serait préposé, étant capable de connaitre et de choisir ce qui serait bon et utile, on pourrait en envoyer des copies ou extraits dans les ports, suivant que le bien du service les requerrait, et même ordonner aux officiers qui seraient commandés pour les voyages de long cours de vérifier les découvertes et observations envoyées par ceux qui auraient précédemment fait les mêmes voyages, avec ordre aux autres d'en faire mention exacte dans leurs journaux.

Il convient que ces plans, cartes et autres mémoires, restent dans le même lieu où tous les papiers de la marine sont en dépôt, mais qu'il en soit fait distraction, et qu'ils soient mis dans une chambre séparée à la seule garde de l'officier préposé et de son commis qui en auront la clef.

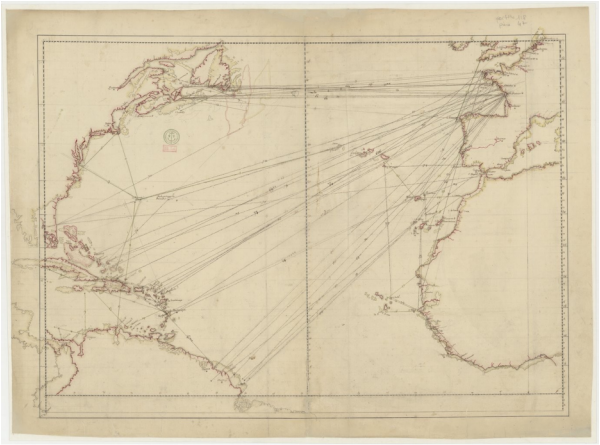
Comme ce poste ne peut être rempli utilement que par un officier expérimenté dans la marine et dans la navigation, on estime à propos de le confier à un capitaine de vaisseau en observant que lorsqu'il sera parvenu à un grade supérieur dans la marine, ce même emploi sera donné à un autre capitaine.

Il paraît que les appointements attribués à cet emploi doivent être de six mille livres payés également à Paris lieu ordinaire du Dépôt, ou dans les ports ou à la mer, mais on croit que ces appointements étant suffisants il doit cesser de recevoir ceux de capitaine de vaisseau.

Il lui sera indispensablement nécessaire d'avoir un commis qui sache bien dessiner, et soit capable de tenir l'ordre et les registres dans ce dépôt et on ne peut donner à ce commis moins de 1200 livres d'appointement.

Fait et arrêté le 19 novembre 1720

nistre de la marine demande à Bellin de graver une carte plate de la Méditerranée.



5 - carte de l'Atlantique Nord sur laquelle on a tracé des distances directes ayant servi à corriger la carte - Bellin - 1737 - cote GE SH 18 PF 118 P 47
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

A partir de 1741, Bellin est autorisé à vendre à son profit les cartes du Dépôt qu'il fait graver et imprimer à ses frais et il obtient le 1er août 1741 le premier brevet d'ingénieur hydrographe de la marine.

Le personnel du Dépôt est assez réduit : en plus de Bellin et Le Moyne on compte maintenant trois ou quatre autres commis. Sous les ordres de Bellin, ils dressent des cartes marines au moyen des renseignements extraits des journaux de navigation et des observations spéciales faites par les marins. En général ils restent au Dépôt et n'effectuent pas de travaux sur le terrain.

Le Dépôt continue d'enrichir son fonds documentaire, en particulier lors des successions. Il utilise à partir de 1742 un timbre destiné à marquer les documents lui appartenant. En 1745, le Dépôt reçoit des exemplaires du *Neptune oriental*. Un contentieux naît rapidement entre Bellin et l'auteur du *Neptune* et Bellin fait détruire tous les exemplaires du recueil remis au Dépôt.

En 1751, la marine acquiert les cuivres du *Neptune françois*. Bellin en prépare une nouvelle édition corrigée, publiée en 1753. Deux cartes dont les cuivres manquaient sont regravées. Les longitudes, qui comptaient 21° au lieu de 20° entre le méridien de l'île de fer et celui de Paris, sont corrigées. Les longitudes par rapport aux autres méridiens d'origine habituels sont ajoutées : Paris, île de Ténériffe, Londres et Cap Lizard. Pour les cartes plates qui ne possédaient ni latitude, ni longitude, le Dépôt calcule la valeur du degré de longitude à la latitude moyenne de la carte et grave l'échelle des longitudes et celle des latitudes. Cette dernière n'est pas croissante mais, comme il s'agit de cartes particulières de peu d'étendue, cela leur donne « le même avantage que les cartes réduites ». Le mémoire qui accompagne les cartes mentionne un certain nombre d'erreurs dans les cartes qu'il aurait été trop lourd de corriger.

En 1755, Joseph Nicolas Delisle, frère de Guillaume Delisle, rejoint le Dépôt dont il devient l'astronome.

En juillet 1763, le dépôt des cartes et plans et les archives de la marine sont transférés à l'Hôtel des Affaires Etrangères et de la Marine à Versailles.

Bellin décède en 1772 alors que l'activité du Dépôt décline. Les cuivres, cartes, journaux et autres documents trouvés à son domicile sont remis au Dépôt. De nombreuses voix s'élèvent pour critiquer les cartes qu'il a produites (voir encadré n°3).

En 1773 paraît la dernière édition du *Neptune françois*.



6 - détail de la carte générale des costes de Bretagne du Neptune françois avec l'ajout des échelles de latitudes et de longitudes - 1773 - cote GESH18PF42P14/2
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Monopole de la production des cartes

A côté de la production de Bellin, qui inclut des cartes et ouvrages publiés à titre personnel, on trouve peu de production cartographique privée : celle de D'Après de Mannevillette, de Jean-Baptiste Degaulle... Celui-ci, pilote et maître d'hydrographie au Havre où il enseigne à titre privé, soumet à l'académie des sciences une carte de la Manche en trois feuilles. L'académie approuve la carte le 18 octobre 1773 et la carte est publiée.

Cette affaire provoque un tollé au Dépôt. En effet, le 5 octobre 1773, le Conseil du roi a rendu un arrêt donnant au Dépôt un quasi-monopole sur la production des cartes (voir encadré n°4).

Par la suite, Degaulle, qui est également auteur, inventeur et fabricant d'instruments pour la navi-

Encadré n°3 : critiques des cartes de Bellin

Eveux de Fleurieu - 1773

Dans le compte rendu du voyage d'épreuve des horloges marines, Fleurieu critique le fait que les positions des lieux changent avec les cartes, alors que ces positions n'ont pas été révisées, et qu'elles ne sont pas en accord avec les mémoires qui les accompagnent. Il signale aussi « des défauts particuliers sans nombre, des changements continuels sans fondement et sans motifs, des négligences impardonnables d'exécution, tant dans la construction du plan que dans les divisions et la correspondance des échelles. »

Ses critiques atteignent des sommets lorsqu'il mentionne le monopole du Dépôt : « S'il était possible que ma conduite déplût : ce ne pourroit jamais être qu'à des gens dominés par un sordide intérêt, qui s'arrogeant le privilège abusif de publier et de vendre seuls des cartes marines, n'iraient pas sur la foi trompeuse de ces cartes, exposer au péril de la mer leur fortune et leurs jours, et à qui peut-être il importerait peu qu'elles fussent exactes ou infidèles, que leurs erreurs entraînassent la ruine, la perte même des citoyens précieux à l'Etat ; pourvu qu'un débit prompt & assuré fit rentrer dans les mains de l'avarice le produit odieux du monopole. »

Il conclut toutefois que la plupart des erreurs provient de l'exécution des cartes (plutôt que de leur conception) et recommande de supprimer l'emploi des calques pour reporter les cartes sur le cuivre et de construire directement sur le cuivre les échelles, puis les points principaux de la carte. Le graveur n'aura ensuite qu'à foncer le trait. « Je rends justice au Rédacteur des cartes du Dépôt, à son zèle, à sa fécondité ; mais je suis bien éloigné d'approuver tout son travail ; quoique la plupart de ses productions soient les moins imparfaites qui aient été publiées en Europe. Les erreurs y sont d'autant plus dangereuses, qu'ayant été dressées par les ordres du Ministère, et, en quelque sorte, sous ses yeux, ces Cartes ont acquis un titre qui inspire confiance & semble interdire le doute. »

Note interne du Dépôt - mai 1775

A propos de la collection des cartes de Bellin : « il seroit à désirer qu'elle fut aussi bonne qu'elle est nombreuse, mais il a travaillé dans un tems ou les connoissances en longitudes étoient très bornées, aussi on luy doit rendre compte de son immense travail sans se permettre d'en faire la critique. »

Verdun, Borda et Pingré - 1778

Dans le compte rendu de leur voyage de 1771-1772, on peut lire : « On convient assez généralement de l'imperfection des Cartes hydrographiques actuelles du Dépôt. Nous y avons relevé beaucoup d'erreurs [...] on peut rapporter à trois causes les erreurs des cartes actuelles du Dépôt, à la négligence, au défaut des connoissances nécessaires, à la méthode que l'on a suivie pour leur construction. »

Levêque - le guide du navigateur - 1779

« Il est étonnant que, malgré les dépenses considérables que le Gouvernement a faites pour la perfection des Cartes, celles du dépôt soient encore si inexactes. On n'a pas même tiré tout le parti qu'on pouvoit tirer des Mémoires qu'on avoit en main ; la plupart des Navigateurs les trouve défectueuses ; M. de Fleurieu y a reconnu une quantité considérable d'erreurs. Nous touchons cependant à l'époque où les Cartes Françaises vont être enrichies et perfectionnées. »

gation, dont une boussole à réflexion, demande et obtient en 1777 le brevet d'ingénieur hydrographe du roi sans appointements. En 1781, le ministre de la marine l'autorise à porter l'uniforme d'ingénieur de la marine. En 1783, Degaulle effectue un levé dans la rade du Havre avec le soutien de la marine et publie, en 1788, une carte de l'embouchure de la Seine.

En 1775, D'Après de Mannevillette publie la deuxième édition du *Neptune oriental*. Le Dépôt fait remarquer que son auteur ne s'est pas plié aux exigences de l'arrêt du 5 octobre 1773. On lui reproche également de ne pas avoir fourni tous les matériaux et on critique ses cartes en les comparant à celles de Bellin, soi-disant meilleures. Néanmoins le Dépôt produira une troisième édition du *Neptune oriental*, augmentée de 18 cartes, en 1781, après la mort de D'Après de Mannevillette.

Réorganisations

En 1773, l'organisation du Dépôt est la suivante :

- inspecteur : Chevalier Gabriel Joseph d'Oisy d'Assignies

Encadré n°4 : arrêt du Conseil du roi du 5 octobre 1773

[...] Sur ce qu'il a été représenté au roi étant dans son conseil, que plusieurs géographes et pilotes prétendaient s'ingérer à construire et publier des cartes marines et en faire un objet de commerce, voulant Sa Majesté prévenir un tel abus dont les suites seraient à craindre pour la sûreté de la navigation, et diminuer autant qu'il est possible les dangers de la mer à cette classe précieuse de ses sujets qui a le courage de les affronter, pour soutenir la gloire de ses armes ou pour étendre et améliorer le commerce de la navigation ; et sachant que pour faire les cartes marines les plus exactes et les portulans les plus fidèles, il faut les composer sur les meilleurs matériaux du temps, et que le souverain seul peut être en état de former, d'entretenir et d'enrichir une telle collection dans laquelle intention Sa Majesté aurait ordonné en 1720 l'établissement d'un dépôt des cartes, journaux et mémoires maritimes, observations astronomiques, et opérations topographiques dont il a déjà été formé des cartes meilleures que celles dont on se servait auparavant ; étant d'ailleurs informée, Sa Majesté, que ce dépôt précieux et qui le deviendra chaque jour de plus, est actuellement en état de produire les fruits d'utilité que Sa Majesté a eu en vue en l'établissant. Ouï le rapport du sieur de Boynes, ministre secrétaire d'Etat ayant le département de la marine, Sa Majesté étant en son conseil, a ordonné et ordonne : qu'à l'avenir, toutes les cartes marines, portulans et instructions nécessaires pour la conduite des vaisseaux tant de guerre que de commerce du royaume, soient exclusivement composés, dressés et publiés au dépôt de Sa Majesté par des personnes capables de s'en bien acquitter et que ces ouvrages soient toujours accompagnés d'analyse imprimées et indicatives des autorités dont on se sera appuyé, non seulement afin d'inspirer aux navigateurs une juste confiance, en leur exposant au vrai le degré d'exactitude ou de doute que comporte ces cartes dans chacune de leurs parties ; mais encore, afin de les garantir de l'incertitude dangereuse où les jetterait un amas de cartes que pourraient publier sans cela, des particuliers qui, quoique dénués de matériaux suffisants pour les construire, les annoncent cependant sous des titres fastueux et exagérés, pour en activer la vente : qu'en conséquence, nul particulier, savant, géographe, hydrographe, officier de marine, pilote, ne pourra publier ces tels ouvrages, sans commission expresse.

Entend cependant Sa Majesté que ceux qui ayant des matériaux neufs dont ils pourraient produire les détails des observations et des opérations faites sur les lieux et en justifier la supériorité sur tous autres déjà connus, aient le droit de prétendre à l'honneur et au profit de la première publication. Dans ce cas, ils s'adresseraient au secrétaire d'Etat ayant le département de la marine, qui fera examiner au fond et en détail ces matériaux et si le rapport constate la vérité de leur exactitude, il leur sera délivré les permissions nécessaires pour sa publication.

Mande Sa Majesté à M. de Penthièvre, amiral de France et enjoint aux officiers des amirautés dans les ports de tenir chacun en droit soi, la main à l'exécution du présent arrêt qui sera lu, publié et affiché partout où besoin sera et enregistré aux greffes des amirautés et aux contrôles de la marine, pour être exécuté suivant sa forme et teneur, dérogeant Sa Majesté, pour cet effet, à tous arrêts et règlements et autres choses à ce contraire.

- adjoint : Marquis Joseph-Bernard de Chabert de Cogolin
- hydrographe : Giovanni Antonio Rizzi Zannoni
- garde : Anne-François l'Huillier de la Serre
- astronome : abbé Rochon
- ingénieurs : Le Moyne, Claro, Bailly de Saint Paulin, Grognard du Justin, et d'autres

Le garde dirige depuis le 1er janvier 1773 le Bureau des plans et cartes de la marine chargé de l'encadrement des commis et de la gestion courante des documents.

Une ordonnance du 20 mars 1775 transfère le Dépôt à Paris, rue Saint-Antoine, au prieuré royal de Saint-Louis de la Culture.

A partir de 1775-1776, la diffusion des cartes est assurée par l'entrepôt général pour la vente des cartes et ouvrages du dépôt des cartes, plans et journaux de la marine et par des entrepôts auxiliaires mis en place dans les ports chez des commerçants agréés. La gestion de l'entrepôt général est confiée à Jean Nicolas Buache, géographe ordinaire du roi, neveu de Philippe Buache.

En 1775, les astronomes Mechain et Messier rejoignent l'abbé Rochon, astronome du Dépôt.

Un peu plus tard, le Dépôt est chargé de l'approvisionnement de la Marine en chronomètres et gardes-temps.

En 1776 démarre une époque où les réorganisations sont assez confuses : en juin, un édit installe le dépôt des chartres des colonies à Versailles. Ce dépôt est réuni au dépôt général des archives de la marine. En 1778, les Plans des Colonies, restant sous la garde de l'inspecteur du Dépôt, sont transférés à Versailles. En 1780, le dépôt des plans des fortifications des colonies est joint au Dépôt. Un décret du 29 septembre 1791 affecte à la marine le bureau du dépôt des cartes, plans et journaux des colonies. Un ordre du 25 germinal de l'an II (14 avril 1794) fait revenir à Paris les Plans des Colonies, ce qui est fait le 14 nivôse de l'an IV (4 janvier 1796). Le 15 nivôse de l'an VIII (5 janvier 1800), un arrêté des Consuls transfère les Plans des Colonies dans les bureaux du dépôt des fortifications, rue Saint-Dominique.

A la mort de D'Après de Mannevillette, en 1780, une commission part à Lorient inventorier les papiers de la Compagnie des Indes. Elle rapporte six caisses de cartes, plans et journaux qui sont versés dans la collection du Dépôt.

En 1785, l'effectif du Dépôt est de 19 personnes :

- inspecteur : Marquis Joseph-Bernard de Chabert
- inspecteur-adjoint : Chevalier Charles Pierre Claret de Fleurieu
- garde du Dépôt (administration) : François Pierre Le Moyne
- garde adjoint : Jean-Nicolas Buache
- premier ingénieur hydrographe (construction des cartes, direction des travaux) : Rigobert Bonne
- astronome hydrographe : Pierre-François Méchain
- astronomes : Charles Messier, Alexis-Marie Rochon
- 2 secrétaires
- 2 garçons de bureau
- 1 graveur
- 1 préposé à l'imprimerie
- 6 ingénieurs hydrographes (dessinateurs) : Benoît Grognard du Justin, Pierre-Nicolas Le Roy, La Roche…

Jean-Nicolas Buache est garde adjoint depuis 1780, en vue du remplacement de Le Moyne (qui quittera le poste en 1792). Mais, en même temps, il est secrètement premier ingénieur hydrographe en attendant le départ de Rigobert Bonne, dont l'inspecteur et l'inspecteur adjoint souhaitent se séparer. La mauvaise santé de Bonne laisse espérer un départ rapide, mais il faudra finalement le mettre à la retraite anticipée en 1789.

Les réorganisations reprennent avec la période trouble de la Révolution.

Une loi du 14 pluviôse de l'an II (2 février 1794) regroupe l'ensemble des dépôts d'archives. Un décret du 27 pluviôse (15 février) en exclut notamment les dépôts des cartes de géographie et d'hydrographie.

L'arrêté du Comité de Salut Public du 20 prairial de l'an II (8 juin 1794) crée une agence des cartes, dotée d'un dépôt provisoire des cartes et plans. Le 16 messidor (4 juillet), le Comité de Salut Public met les divers dépôts de cartes et plans au service de la commission des travaux publics. Le 23 messidor (11 juillet), les dépôts reçoivent l'ordre de lui présenter leur inventaire. Le 2 thermidor (20 juillet), l'hôtel d'Harcourt, rue de l'Université, est prêt à recevoir les documents topographiques et géographiques provenant de toute la France. Quelques jours après, le nombre de documents reçus est tel que les agents ne peuvent plus les classer. Il faut rapidement sursoir aux envois. Un arrêté du 16 thermidor (3 août) place tous les employés des dépôts sous les ordres directs de la commission des travaux publics afin d'aider au classement.

Les choses ne s'améliorant pas, une nouvelle organisation est mise en place. Un arrêté du 7 fructidor (24 août) crée un dépôt de la guerre de terre et de mer et de la géographie. Le dépôt de la marine lui est rattaché et le rejoint au 17 place des Piques (place Vendôme).

Le 29 thermidor de l'an III (16 août 1795), le Dépôt reprend son autonomie et s'installe 11 rue de la Place-Vendôme, dans l'hôtel d'Egmont-Pignatelli. L'hôtel loge les deux dépôts (plans et journaux de la marine et plans des fortifications des colonies), les ateliers de Lenoir, constructeur d'instruments géodésiques et ceux de l'horloger Louis Berthoud. La bibliothèque du dépôt des cartes et plans de la marine et des colonies est créée et un arrêté autorise l'ingénieur hydrographe Buache à puiser dans différents dépôts pour la constituer. Le Dépôt organise également la délivrance aux bâtiments de la flotte des documents et instruments nécessaires à la navigation.

L'arrêt du 17 prairial de l'an IV (5 juin 1796) transfère des archives de la marine au Dépôt tous les

mémoires, livres, instruments, modèles, cartes, plans et autres objets relatifs à la marine. L'arrêté du 31 mars 1808 reverse ces objets aux archives de la marine.

Le 22 floréal de l'an V (11 mai 1797), un arrêté du Directoire exécutif réorganise les services géographiques et fusionne les dépôts de la marine au sein du dépôt général de la marine. Le journal *La Chronique universelle* du 29 septembre 1798 annonce à ses lecteurs que le dépôt des archives de la marine et des colonies à Versailles est réuni au dépôt des cartes et plans de la marine à Paris, sous les ordres du vice-amiral Rosily. Les cartes publiées par le Dépôt le sont sous le nom de dépôt général de la marine, au moins à partir de thermidor de l'an VII (juillet 1799).

Les levés et les expéditions scientifiques

Comme au XVIIe siècle, les travaux officiels sur le terrain sont exécutés par des ingénieurs ou par des officiers. Ce n'est qu'à partir de 1776 que le Dépôt commence à envoyer ses hydrographes sur le terrain. Par contre il ne prend pas part aux expéditions scientifiques.

Levés

Dans la première moitié du siècle, Nicolas et Jean Magin, ingénieurs ordinaires du roi, produisent de nombreux plans et cartes de détail du littoral normand.

A partir de 1750, La Galissonnière, depuis peu en charge du Dépôt, organise des missions d'observation astronomique sur le terrain afin de déterminer les coordonnées astronomiques de points remarquables en vue d'améliorer les cartes.

En 1750 et 1751, Chabert effectue des travaux hydrographiques en Amérique du nord pour fixer les positions des lieux, à son initiative mais sous la supervision du Dépôt. Il détermine des positions astronomiques et lève plusieurs cartes.

En 1751, des sondages sont effectués au large pour faciliter les atterrages des côtes de France au moyen de la sonde (Périgny sur l'*Anémone*). La carte de ces sondages est dressée en 1756 par l'ingénieur de la marine Michel Alexandre Magin.

En 1753, Chabert présente à l'académie des sciences un projet d'observations astronomiques et hydrographiques pour rédiger le second volume du *Neptune françois* dédié à la Méditerranée, les travaux de Chazelles à la fin du XVIIe siècle n'ayant pas abouti. Chabert commence ses observations en Méditerranée, vite arrêté par la guerre. Il les reprend à partir de 1764. Il semble que son travail ne soit pas allé à son terme.

Entre 1762 et 1785, des ingénieurs géographes effectuent des travaux sur les côtes dans un but de défense du territoire. Un levé systématique des côtes de l'Océan démarre en 1771 par une reconnaissance menée par 5 ingénieurs. L'année suivante, une trentaine d'ingénieurs effectue des levés de Dunkerque à Bordeaux. En 1774, le ministre de la guerre ordonne de concentrer tous les ingénieurs en Bretagne et le ministre de la marine prévoit de compléter leurs travaux par des sondages et par la topographie des objets immergés, tels que les bancs de sable, et des rochers éloignés du rivage, afin d'obtenir une vue d'ensemble des objets pour la défense des côtes. Cette partie maritime ne sera pas exécutée. A partir de 1777, les travaux consistent à établir une triangulation sur les côtes et à la relier à la triangulation de la zone frontière.

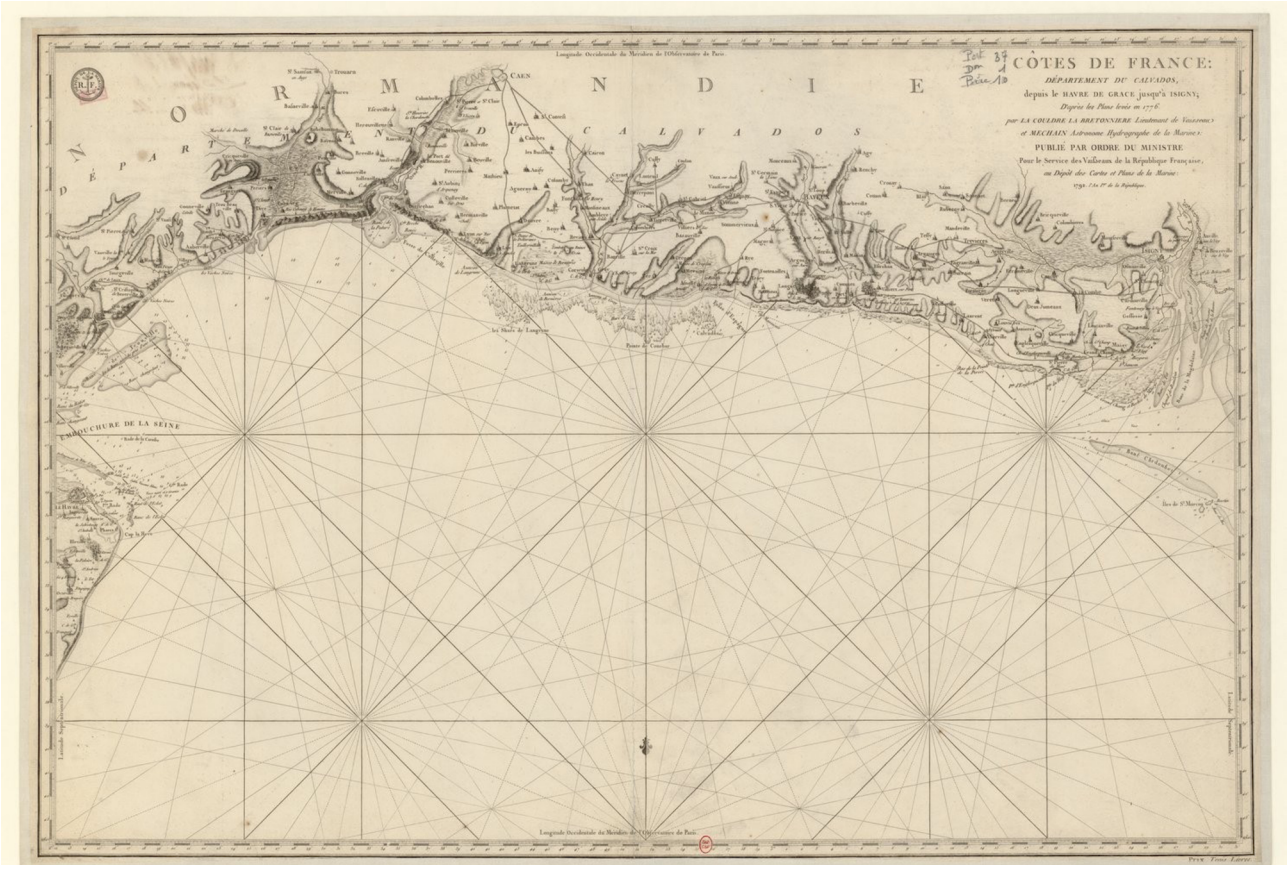
En 1775, le Dépôt projette de remplacer le *Neptune françois* par un levé des côtes de France. L'année suivante, l'astronome Méchain effectue des opérations de triangulation sur le littoral français de Dunkerque à Cancale avec le lieutenant de vaisseau Louis-Bonjean de la Couldre de La Bretonnière et les ingénieurs hydrographes Lartigue et Grancourt. Les sondages sont positionnés au graphomètre à partir de stations à terre. Les opérations sont interrompues par la guerre. Les cartes des levés effectués en 1776 et 1777 sont publiées en 1792, en même temps que cinq cartes des côtes de France en Méditerranée.

En 1789, le capitaine de vaisseau de la Bretonnière demande la vérification des sondes de la rade de Cherbourg. Le résultat est une carte comportant des courbes de niveau (voir encadré n° 5).

De juillet à novembre 1799, le Dépôt effectue un levé de l'Escaut. Les opérations principales sont faites au cercle de réflexion, la position des bancs, sondes et hauts fonds est fixée au cercle de réflexion ou avec un bon sextant, le détail topographique est levé au graphomètre. Les travaux géodésiques et hydrographiques sont réalisés par l'ingénieur hydrographe Beautemps-Beaupré et le lieutenant de vaisseau Raoul. La partie topographique est entièrement réalisée par l'ingénieur hydrographe Daussy. Le dessin est l'œuvre de l'ingénieur hydrographe Portier.

Expéditions scientifiques

1750 : travaux hydrographiques dans l'Océan Indien pour la Compagnie des Indes (D'Après de Mannevillette sur le *Glorieux*).



7 - côtes de France, département du Calvados depuis le Havre de Grace jusqu'à Isigny - Carte levée en 1776, une des premières cartes levées par le Dépôt - La Bretonnière et Méchain - 1792 - cote GESH18PF37DIV1P10
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

1764 : voyage d'épreuve de la montre marine de Berthoud (Chevalier de Goimpy, Duhamel du Monceau et abbé Chappe).

1766-1769 : tour du monde (Bougainville avec la *Boudeuse* et l'*Etoile*).

1767 : essai des montres marines de le Roy pour l'académie des sciences (l'*Aurore*).

1767-1770 : voyage dans l'océan Indien et le Pacifique (Surville, de la Compagnie des Indes).

1768 : essai des montres marines de le Roy pour l'académie des sciences (l'*Enjouée*).

1768-1769 : voyage pour éprouver les horloges marines de Berthoud (Eveux de Fleurieu et Pingré sur l'*Isis*). Le compte rendu est publié en 1773 et signale de nombreuses erreurs dans les cartes de Bellin.

1771 : Méditerranée (Chabert).

1771-1772 : terres australes (Kerguelen de Trémarec).

1771-1772 : voyage dans le Pacifique (Marion Dufresnes).

1771-1772 : voyage pour l'épreuve des horloges marines et pour vérifier l'utilité de plusieurs méthodes et instruments servant à déterminer la latitude et la longitude (Borda, Verdun de la Crenne et Pingré sur la *Flore*).

1773-1774 : terres australes (Kerguelen de Trémarec).

1776 : détermination de la position du premier méridien aux Canaries (Borda sur la *Boussole*).

1776 : Méditerranée (Chabert).

vers 1784 : expédition en Inde et en Chine (Théobald, comte de Kergariou-Locmaria).

1784-1785 : Océan Indien (Rosily).

1785-1788 : voyage dans le Pacifique (Jean François de Galaup, comte de La Pérouse avec l'*Astrolabe* et la *Boussole*).

1790-1792 : Pacifique et Océan Indien (Marchand)

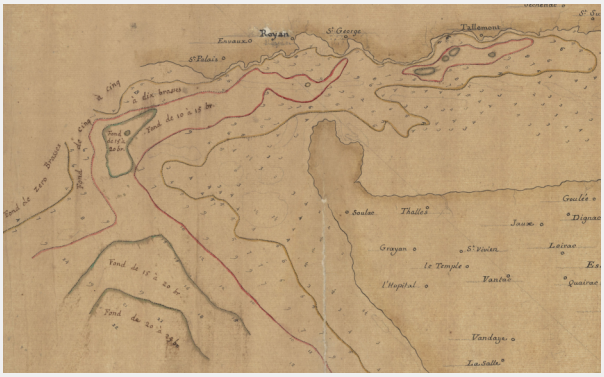
1791-1794 : voyage d'exploration à la recherche de La Pérouse (Antoine Reymond Joseph de Bruny d'Entrecasteaux avec l'*Espérance* et la *Recherche*). Beautemps-Beaupré participe à l'expédition.

Encadré n°5 : courbes de niveau

Le levé de 1789 à Cherbourg est effectué, de manière inattendue, par le génie. Le règlement du 10 mars 1743 avait partagé les fortifications de terre et de mer entre le secrétaire d'état de la guerre et celui de la marine. Après plusieurs réorganisations, les ingénieurs de la guerre avaient formé en 1776 le corps royal du génie.

Le 20 juin 1789, le ministre de la marine adressa à Meusnier, à l'état-major général de l'armée, l'instruction prescrivant la vérification des sondes du port de Cherbourg. Il se trouve que Meusnier avait présenté en 1777, alors qu'il était dans le génie, un Mémoire sur le plan de défilement concernant le figuré du terrain par courbes horizontales (courbes de niveau). Meusnier profita de la demande du ministre pour faire réaliser la première carte à courbes de niveau du génie. Sept officiers de ce corps exécutèrent le levé : deux officiers étaient aux sondes, deux aux graphomètres, un observait le niveau de la mer et les deux derniers tenaient les registres des opérations.

Les premières cartes connues portant des courbes de niveau sont des cartes hollandaises levées en 1729 par Cruquius et gravées en 1733. En France, Philippe Buache présenta en 1737 à l'Académie des sciences une carte de la Manche avec des courbes de niveau. Sa carte fut gravée en 1752. En 1765, le français Ducarla, au fait des travaux de Buache, rédigea un mémoire sur la représentation des montagnes par courbes de niveau, qu'il présenta à l'Académie des sciences en 1771. Son mémoire fut publié en 1782. Il existe une carte anonyme de la Gironde, datée de 1755, qui, à partir des sondes du *Neptune françois*, figure des courbes de niveau selon la méthode établie par Buache.



8 - détail de la Carte des côtes comprises sur l'Océan dans l'Etendue de la Généralité de Bourdeaux avec l'entrée du fleuve de la Garonne ... - 1755 - cote GE D-16041 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Beautemps-Beaupré

Charles-François Beautemps-Beaupré naît en Champagne en 1766. Dix ans après, son cousin, Jean-Nicolas Buache, propriétaire d'un fonds de géographie repris de son oncle Philippe Buache, l'emmène avec lui à Paris pour lui servir de commis. Buache est depuis peu en charge de l'entrepôt général pour la vente des cartes et ouvrages du dépôt des cartes, plans et journaux de la marine.

Au début de 1783 Beautemps-Beaupré est « élève sans appointement » sous la direction de Buache. Il effectue des travaux pour la marine. Au printemps 1785, il assiste Buache dans la préparation des cartes pour l'expédition de La Pérouse.

A partir du 1er septembre 1785 il travaille pour Claret de Fleurieu (anciennement connu sous le nom d'Eveux de Fleurieu) qui est à la fois inspecteur adjoint au Dépôt et directeur des ports et arsenaux. Fleurieu le fait nommer ingénieur (sa fonction est celle d'un dessinateur géographe), payé par la marine, et le charge de dresser sous sa direction le *Neptune des mers du Nord*, ou *Atlas du Cattégat et de la Baltique*, une œuvre personnelle qui restera inachevée.

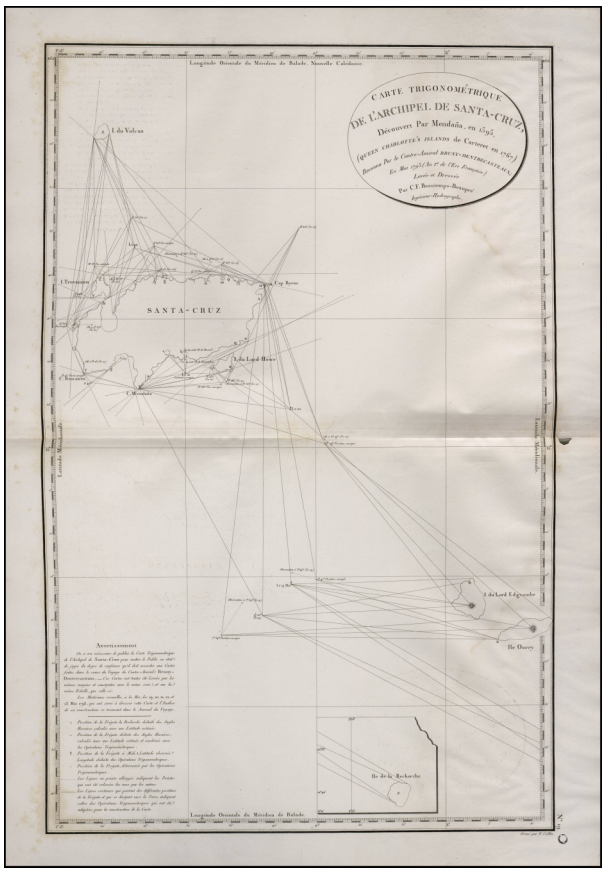
En février 1791, Fleurieu, maintenant ministre de la marine, prépare l'expédition de D'Entrecasteaux. Beautemps-Beaupré dessine les cartes destinées aux deux navires. Il fait sans doute part au ministre de son souhait de participer à l'expédition. En tout cas, Fleurieu le désigne pour faire partie de l'expédition et, le 31 juillet 1791, le nouveau ministre de la marine (Fleurieu ayant démissionné le 15 avril) nomme Beautemps-Beaupré premier ingénieur géographe de l'expédition, embarqué sur la *Recherche* sous les ordres du capitaine de vaisseau Bruny d'Entrecasteaux. L'expédition appareille de Brest le 29 septembre.

En octobre 1793, les deux navires de l'expédition arrivent à Java, territoire hollandais, avant de regagner la France. Les membres de l'expédition découvrent alors que la Hollande est en guerre contre la France et les Hollandais retiennent les navires et leurs équipages. Début 1795, la *Recherche*, sous les ordres de monsieur de Rossel, part pour la France avec les journaux de l'expédition et les cartes dressées par les ingénieurs géographes. Le navire est arraisonné par les Anglais qui se saisissent des documents. Beautemps-Beaupré, resté au Cap avec le second jeu de cartes, en fait une copie qu'il confie à un navire américain pour qu'elle parvienne à l'ambassadeur de France aux Etats-Unis.

Rentré en France avec le second jeu de cartes le 31 août 1796, via la Suède et le Danemark, Beautemps-Beaupré le remet au ministre le 5 septembre. Fleurieu, qui consacre maintenant tout son temps à ses travaux personnels, lui propose de reprendre le travail sur le *Neptune des mers du Nord*. Beautemps-Beaupré accepte.

Cette collaboration est de courte durée : le *Neptune* de Fleurieu n'est plus au niveau des progrès de la science, explique Chassériau, et surtout « M. le vice-amiral de Rosily-Meros, directeur et inspecteur du dépôt général des cartes et plans de la marine, rendit un compte on ne peut plus favorable des travaux de M. Beautemps-Beaupré, qui fut nommé, le 14 mars 1797 [Chassériau indique par erreur 1798], ingénieur hydrographe de première classe et sous-conservateur du dépôt, avec un traitement de 3.600 fr. » « Le citoyen Beaupré trouvera dans cette marque de ma confiance un nouveau témoignage de ma satisfaction des services qu'il a rendus dans le cours de la mission confiée au contre-amiral d'Entrecasteaux » ajoute le ministre.

Fin 1798, Beautemps-Beaupré supervise la rédaction des cartes du voyage de D'Entrecasteaux qui forment un atlas publié en 1807. En 1799 il effectue une reconnaissance hydrographique de Dunkerque à Flessingue et Anvers puis, à partir du 20 juillet, procède au levé de l'Escaut. Il signe alors ses cartes comme ingénieur hydrographe du dépôt général de la marine.



9 - carte trigonométrique de l'archipel de Santa-Cruz provenant de l'*Atlas du voyage de Bruny-Dentrecasteaux*. La carte montre les relèvements et les alignements qui ont permis de placer les points principaux des côtes
Beautemps-Beaupré - 1807
cote A 56 - source Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse

La naissance de l'hydrographie scientifique

L'expédition de D'Entrecasteaux a un double but : retrouver la trace de l'expédition perdue de La Pérouse et effectuer la part des travaux scientifiques qu'elle n'a pu réaliser.

Les instructions de Louis XVI fournies à La Pérouse en 1785 ont été préparées par Fleurieu. La première partie constitue le plan du voyage et les parties suivantes concernent les activités à accomplir. D'Entrecasteaux reçoit les mêmes instructions que La Pérouse, avec un nouveau plan de voyage. Les instructions qui concernent les travaux géographiques sont les suivantes.

Activité des astronomes :

- fixer avec précision les latitudes et les longitudes des lieux où le navire abordera et de ceux à vue desquels il passera,
- suivre le mouvement des horloges et des montres marines,
- déterminer les longitudes par les distances lunaires et les comparer avec celles données par les montres,
- déterminer la latitude des îles et des terres non abordées en se tenant sur le même parallèle pendant les observations servant à déterminer la latitude du navire,
- faire de même pour la longitude en se tenant sur le même méridien que l'île ou la terre,
- observer quotidiennement la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

Activité des ingénieurs géographes :

- faire la reconnaissance et les plans des ports ayant un intérêt militaire,
- dresser des cartes exactes des côtes et îles visitées ; vérifier l'exactitude des cartes et des descriptions des terres déjà connues,
- pour cela, lors de la navigation le long des côtes et à vue des îles, les relever très exactement

avec le cercle de réflexion ou avec le compas de variation ; observer que les relèvements les plus sûrs pour la construction des cartes sont obtenus lorsqu'un cap ou tout autre objet remarquable peut être relevé par un autre,

- avec l'aide des officiers, lever avec soin les plans des côtes, baies, ports et mouillages ; y joindre toutes les informations utiles à la navigation.

Au cours de l'expédition, Beautemps-Beaupré met au point un mode opératoire pour effectuer les levés sous voile, selon la méthode habituelle de la triangulation, mais en remplaçant la boussole par le cercle de réflexion, beaucoup plus précis.

Le commandant de l'expédition est très satisfait des résultats obtenus par son ingénieur géographe. Dans une dépêche du 22 septembre 1792 il écrit : « La proximité où nous nous en sommes tenus [il s'agit de la Nouvelle-Calédonie] vous fera juger également de la précision avec laquelle cette carte a pu être faite ; aussi je ne crains pas de la présenter comme un ouvrage achevé et qui doit faire le plus grand honneur à M. Beaupré. C'est avec empressement que je saisis cette circonstance, et elle se présentera souvent, de vous dire que M. Beaupré est un sujet de la plus haute distinction, digne de toutes les récompenses du Gouvernement. » Plus tard, il ajoute : « Je ne vous parle plus de M. Beaupré ; il est au-dessus de tout éloge, et je ne peux que m'en rapporter à ce que je vous ai dit de lui dans ma dépêche n°1. »

Les Anglais aussi sont satisfaits des cartes de Beautemps-Beaupré. En 1801, ils envoient Matthiew Flinders cartographier les côtes de l'Australie et lui remettent un exemplaire des cartes les plus récentes de la région, dont celles de Beautemps-Beaupré qu'ils se sont appropriées en 1795. Si Flinders trouve que les français ne s'approchent pas assez des côtes, et qu'il s'étonne de l'absence de sondes sur plusieurs de leurs cartes, il admire la précision du levé : « La ligne de côte, du cap Leeuwin jusqu'à près de 132° de longitude, était en général si bien déterminée et les cartes de Vancouver et d'Entrecasteaux semblaient si bonnes qu'il restait peu de choses à découvrir dans cet espace. [...] Les cartes des baies, des ports et des bras de mer situés à l'extrémité sud-est de la Terre de Van Diemen, construites dans le cadre de cette expédition par Mons. Beautemps-Beaupré et ses assistants semblent combiner exactitude scientifique et minutie des détails, avec un degré de netteté peu commun dans l'exécution : ils contiennent certains des plus beaux spécimens de levé maritime, peut-être jamais réalisés dans un nouveau pays. [...] Monsieur Beautemps-Beaupré, ingénieur géographe à bord de La Recherche, était le constructeur des cartes françaises ; et il faut leur permettre de lui faire grand crédit. Peut-être qu'aucune carte d'une côte aussi peu connue qu'elle l'était alors ne supportera mieux la comparaison avec le terrain que celle de M. Beaupré. »

Beautemps-Beaupré décrit son mode opératoire dans ce que l'on peut appeler un « manuel d'hydrographie », placé en appendice de la relation du voyage publiée en 1808. Le premier chapitre est consacré aux opérations effectuées pendant l'expédition : levés sous voile et reconnaissances en canot. Le deuxième chapitre décrit la manière de lever et de construire les cartes que Beautemps-Beaupré met en œuvre à partir de 1799, lorsqu'il est possible de mettre en place une infrastructure à terre. Enfin le dernier chapitre donne un exemple de construction d'une carte d'un levé sous voile.

Beaucoup de lecteurs de l'appendice au voyage de D'Entrecasteaux ont souligné la nouveauté des procédés mis en œuvre, bien que ce ne soit pas vraiment le cas. L'influence de Borda et de Dalrymple est d'ailleurs explicitée dans l'appendice ou dans la préface (voir encadré n°6). Cependant, l'apport de Beautemps-Beaupré est important et le jugement porté par le *captain* Beaufort est justifié. A la tête de l'hydrographie britannique depuis 1829, il est élu à l'Académie des sciences en 1837. Dans sa lettre de remerciement à l'Académie, il écrit qu'il tient à grand honneur d'être associé à une compagnie qui a compté parmi ses membres d'Anville et Borda, au niveau desquels il place M. Beautemps-Beaupré qu'il regarde comme « le père de l'hydrographie scientifique ».

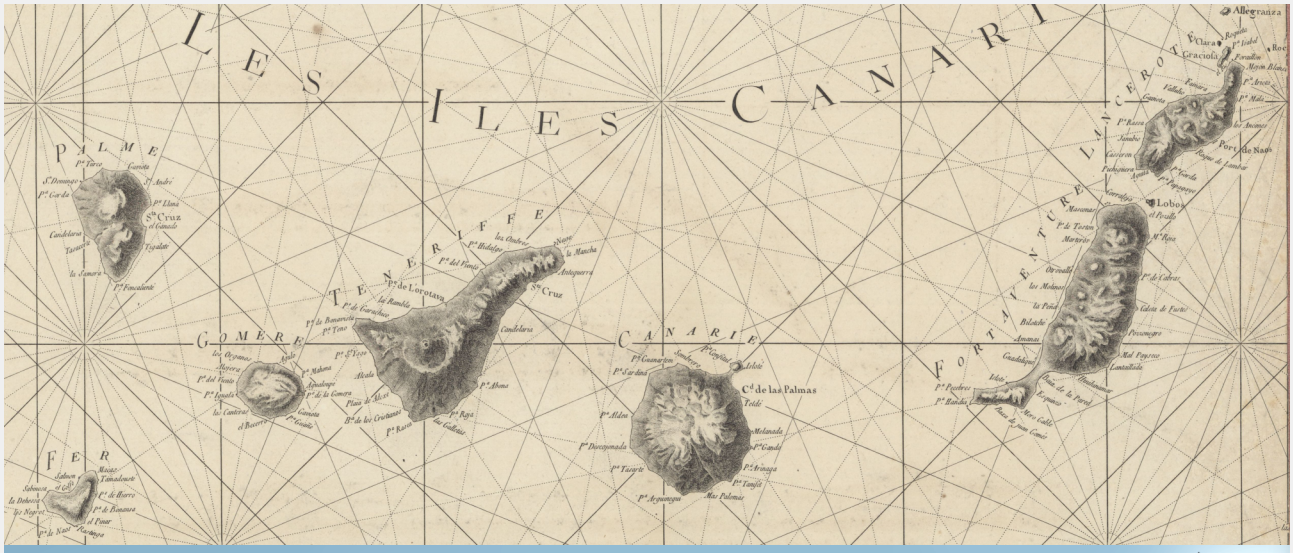
Le « manuel d'hydrographie » de Beautemps-Beaupré a fait effectivement basculer l'hydrographie dans une ère nouvelle, au point d'occulter parfois les contributions de ses prédécesseurs. Il est remarquable de constater que les méthodes décrites par Beautemps-Beaupré ont été adoptées par les autres nations, donnant à la France pendant un temps le statut de *leader* dans le domaine de l'hydrographie, et qu'elles ont été utilisées sans changement radical pendant plus de 150 ans, jusqu'à la révolution électronique de la seconde moitié du XXe siècle. Les dernières années du XVIIIe siècle marquent ainsi la fin de l'hydrographie approximative à la boussole et le début d'une hydrographie habitée par le souci de la précision.

Encadré n°6 : origine des techniques utilisées par Beautemps-Beaupré

Les instructions du roi à La Pérouse et à D'Entrecasteaux contiennent quelques points techniques qui trouvent leur source dans le compte rendu du voyage de 1771-1772 effectué par Verdun de la Crenne, Borda et Pingré : relèvements au cercle de réflexion, utilisation des alignements, détermination des latitudes et longitudes des terres. Ce compte rendu de 1778 inclut quelques informations provenant du voyage de Borda aux Canaries en 1776. Dans une note sur l'article *Reconnaissance hydrographique des Côtes d'Afrique, en 1817, par ordre du Roi*, le rédacteur des annales maritimes et coloniales écrit : « Ce grand travail de M. Borda [en 1776] n'a pas été imprimé. Le précieux manuscrit existe au dépôt général des cartes et plans de la marine. C'est M. de Borda qui sut appliquer avec tant de succès à l'hydrographie les opérations astronomiques, en même temps qu'il employait les montres marines. Le premier il trouva et mit en œuvre ces belles méthodes qui resteront la base de la science et de la gloire de leur auteur. On doit au perfectionnement de ces méthodes et à celui des montres marines les brillans et inappréciables résultats des travaux immenses exécutés pendant les voyages de d'Entrecasteaux et de Baudin [en 1800] ; on leur devra bientôt ceux des opérations hydrographiques auxquelles se livrent en ce moment M. Beautemps-Beaupré sur les côtes de l'Océan et M. Gautier dans la Méditerranée. »

Quelques passages du manuscrit de Borda ont été publiés en 1847 par l'ingénieur hydrographe Pierre Daussy. On y apprend que Borda utilisait plusieurs méthodes pour déterminer les positions géographiques des principaux points de la côte :

- observations astronomiques à terre
- longitude par les horloges marines lorsque le navire est situé sur le méridien du point à déterminer





10 - en haut : détail de la Carte particulière des iles Canaries - Borda - 1776 - cote GE SH 18 PF 120 DIV 2 P 52 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France
en bas : carte moderne des îles Canaries - Hansen - CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=606414

- latitude par le sextant lorsque le navire est situé sur le parallèle du point à déterminer
- opérations trigonométriques (triangulation à terre)
- position relative par rapport à un pic d'altitude connue (mesure en mer de la hauteur du pic lorsque le point à déterminer est aligné avec le pic puis relèvement ultérieur de ce point)
- estime et relèvements (triangulation en mer)

Il semble que Borda n'ait utilisé les relèvements astronomiques que pour placer les îles les unes par rapport aux autres. Le résultat qu'il obtient par ces méthodes est remarquable de précision (voir figure 10).

Il faut noter que, pour son voyage de 1776, Borda a emporté avec lui un exemplaire de l'essai sur les méthodes de levé maritimes d'Alexander Dalrymple (première édition, 1772), connu également de Beautemps-Beaupré, peut-être dans sa seconde édition de 1786. Dalrymple y écrit qu'« il n'est pas nécessaire de prendre plus d'un relèvement au compas pour chaque station ; les autres angles peuvent être pris au quadrant. » On obtient effectivement de meilleurs résultats en relevant le point A avec la boussole et en mesurant les angles entre les points A et B, A et C, et A et D avec un instrument à réflexion. Une simple opération permet ensuite d'obtenir le relèvement magnétique des points B, C et D. C'est la méthode qu'utilise Beautemps-Beaupré. En plus de prendre deux relèvements du point A, avec deux boussoles, il prend si possible un relèvement astronomique du point A en mesurant l'angle oblique qu'il fait avec le soleil et la hauteur du soleil. Pour éviter des corrections supplémentaires, le point A est choisi d'altitude la plus faible possible.

Relèvements astronomiques

Après la mise en évidence de la déclinaison magnétique, la boussole indiquant une direction qui peut différer de plus de 10° de la direction du nord géographique, les navigateurs ont pu déterminer cette différence en observant à la boussole l'azimut du soleil au lever ou au coucher, ce que l'on nomme l'*amplitude* du soleil, une méthode décrite au XVIIe siècle par exemple dans *L'Art de naviger perfectionné par la cognoissance de la variation de l'aimant* de Guillaume Denys (1666). Dans son *Traité complet de la navigation* de 1698, Jean Bouguer indique par ailleurs comment déterminer la variation de la boussole à toute heure par l'azimut d'un astre au moyen de la trigonométrie sphérique, en fonction de sa déclinaison, de sa hauteur et de la latitude.

Dans une lettre de 1701, l'astronome britannique Edmond Halley, auteur de quelques levés à la fin du XVIIe siècle, décrit une méthode de levé originale indépendante du compas magnétique. Il relève à terre le vrai gisement des points principaux de la côte, l'un par rapport à l'autre « en mesurant l'angle, par n'importe quel instrument approprié, avec le soleil levant ou le soleil couchant … Je préfère cette méthode de prendre ces angles par le soleil plutôt que par le compas ou l'aiguille magnétique à cause de la petitesse du rayon de sa couronne et de l'incertitude de la variation à terre. »

Borda indique dans le compte rendu du voyage de 1771-1772 qu'il a eu l'idée de faire les relèvements des côtes avec l'octant plutôt qu'avec la boussole, en prenant des relèvements astronomiques, mais que cette idée lui est venue après le voyage et qu'il n'a pas pu l'employer.

La seconde édition de l'essai de Dalrymple, datée de 1786, contient un paragraphe dans lequel Dalrymple explique qu'il a parfois utilisé l'amplitude du soleil, au lieu de la boussole, pour prendre des relèvements. Il rapporte ensuite l'observation de l'astronome royal, auquel il a exposé cette technique, qui lui a fait remarquer que l'opération pouvait s'effectuer tout au long de la journée.

Borda décrit à nouveau la manière d'obtenir un azimut astronomique dans son ouvrage *Description et usage du cercle de réflexion, avec différentes méthodes pour calculer les observations nautiques* de 1787. Il conclut : « Il est aisé de voir que cette manière de déterminer le gisement de deux points donne une exactitude beaucoup plus grande que le compas ; on pourra donc s'en servir avec avantage dans les opérations hydrographiques qui demandent beaucoup de précision. »

Utilisation du cercle de réflexion pour déterminer la position des sondes et des dangers

On a vu dans le chapitre 4 que la détermination du point par arcs (ou segments) capables a été résolue au début du XVIIe siècle. Des années plus tard, John Collins préconisait d'utiliser cette méthode pour déterminer la position des rochers et des bancs de sable. Vers la fin du siècle, Jean Bouguer indiquait que cette méthode était meilleure que l'utilisation de la boussole pour trouver les dangers et les bons mouillages.

En 1701, Edmond Halley, dans la présentation de sa méthode de levé déjà citée, utilise les arcs capables pour placer certains objets en mer.

En 1765, le Révérend John Michell donne lecture à la *Royal Society* d'un mémoire conseillant l'utilisation du quadrant de Hadley pour le levé des ports ou des bancs à partir d'un bateau. L'utilisation de l'octant rend les levés plus commodes et plus précis.

Dans son essai de 1772, Alexander Dalrymple déclare que son expérience l'a convaincu que les relèvements pris au compas ne sont pas fiables. Il propose de remplacer le compas par le quadrant de Hadley, pour plus de facilité et d'exactitude et fait référence au mémoire de Michell.

En 1774-1775, Murdoch Mackenzie (Junior) et son assistant Graeme Spence effectuent un levé dans le Kent avec une triangulation à la chaîne et au théodolite, un instrument terrestre de mesure précise d'angles. La position des nombreuses sondes provient d'angles pris au sextant entre des points connus de la côte. Aucun relèvement au compas n'est utilisé.

En 1781 est publiée la *Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer de feu M. Ozanam, ouvrage entièrement refondu et considérablement augmenté par M. Audierne*. L'auteur y décrit un sondage dont le positionnement est effectué par segments capables, les angles étant pris au graphomètre. Le graphomètre nécessitant deux visées consécutives pour prendre un angle, l'auteur préconise de faire la mesure lorsque la chaloupe sera le moins agitée. On ne sait pas si cette méthode a été mise en œuvre.

Vues de côtes

Des instructions de William Borough datant de 1580 préconisent de prendre des vues de côtes lors des relèvements en désignant les points relevés par des lettres : A, B, C, D…

Les vues de côtes dessinées au moment des relèvements sont également mentionnés dans le *Nouveau traité de navigation contenant la théorie et la pratique du pilotage* de Pierre Bouguer, revu et abrégé par l'abbé de la Caille (1760) ainsi que l'utilisation des alignements des points de la côte.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1786	Règlement du 1er janvier 1786 Concernant les Ecoles d'Hydrographie, et la réception des Capitaines, Maîtres et Patrons
2	(texte règlementaire) - 1791	Décret concernant l'organisation de la marine du 28 avril 1791
3	(texte règlementaire) - 1791	Loi sur les écoles de la marine du 10 août 1791
4	(texte règlementaire) - 1795	Loi concernant les écoles de service public du 30 vendémiaire de l'an IV
5	(anonyme) - 1817	Note sur l'article reconnaissance hydrographique des Côtes d'Afrique, en 1817, par ordre du Roi - Annales maritimes et coloniales 1817 Tome II
6	(anonyme) - 1837	Académie des sciences, séance du 13 février - Le courrier français du mercredi 15 février 1837
7	(anonyme) - 1914	Notice sur le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques n°992, 2ème série, tome 34, année 1914
8	(collectif) - 1812, 1814	Biographie universelle, ancienne et moderne - tomes cinquième et onzième
9	(collectif) - 1785	Mémoire du Roi LOUIS XVI pour servir d'instruction particulière au sieur de la PEROUSE, capitaine de ses vaisseaux, commandant les frégates LA BOUSSOLE et L'ASTROLABE - Annales maritimes et coloniales - 1818
10	(d') Après de Mannevillette, Jean-Baptiste - 1739	Le nouveau quartier anglais, ou Description et usage d'un nouvel instrument pour observer la latitude sur mer
11	Anthiaume, Albert - 1920	Evolution et Enseignement de la science nautique en France, et principalement chez les Normands - tome 1
12	Anthiaume, Albert - 1920	Evolution et Enseignement de la science nautique en France, et principalement chez les Normands - tome 2
13	Audierne - 1791	Méthode de lever les plans et les cartes de terre et de mer … par feu M. Ozanam, ouvrage entièrement refondu par M. Audierne
14	Augoyat - 1862	Aperçu historique sur les fortifications, les ingénieurs et le corps du génie en France - Tome deuxième
15	(de) Beaumont, Elie - 1859	Eloge historique de Charles-François Beautemps-Beaupré
16	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1808	Exposé des méthodes employées pour lever et construire les cartes et plans qui composent l'atlas du voyage du contre-amiral Bruny-Dentrecasteaux - Voyage de Dentrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tome I - Appendice
17	Bellin, Jacques-Nicolas - 1751	Remarques sur les cartes du Neptune françois, dont les planches ont été remises au Dépôt des plans de la Marine en 1751
18	Berthaut, Henri-Marie-Auguste - 1902	Les ingénieurs géographes militaires 1624-1831 - Tome I
19	Borda, Jean-Charles - 1787	Description et usage du cercle de réflexion, avec différentes méthodes pour calculer les observations nautiques
20	(de) Bougainville, Louis Antoine - 1772	Voyage de Bougainville autour du monde sur la frégate du roi La Boudeuse et la flûte L'Étoile ; en 1766, 1767, 1768 & 1769 raconté par lui même - nouvelle édition 1889
21	Bouguer, Jean - 1698	Traité complet de la navigation
22	Bouguer Pierre - (de la) Caille - 1760	Nouveau traité de navigation contenant la théorie et la pratique du pilotage

23	Bourgoin, Jean - 1988	Contribution des hydrographes et marins - Mesurer la terre - 300 ans de géodésie française
24	(le) Bovier de Fontenelle, Bernard - 1726	Éloge de M. Delisle - Histoire de l'Académie royale des sciences - année 1726
25	Briot, Claude - 2007	L'apport de d'Après de Mannevillette dans les progrès de la navigation en mer des Indes au XVIIIe siècle - Autour de d'Après de Mannevillette, savant navigateur havrais au siècle des lumières
26	(abbé) Buache - 1887	Notice biographique sur Beautemps-Beaupré 1766-1854
27	Chapuis, Olivier - 1999	A la mer comme au ciel - Beautemps-Beaupré et la naissance de l'hydrographie moderne
28	Chassériau, Frédéric - 1854	M. Beautemps-Beaupré - Le moniteur universel, 19 juillet et 2 août 1854
29	Chassériau, Frédéric - 1856	M. le comte de Fleurieu - Le moniteur universel, 5 janvier 1856
30	Covillault, Pierre - 1979	Histoire des archives et de la bibliothèque du service hydrographique de la marine
31	Dalrymple, Alexander - 1771	Essay on the most commodious methods of nautical surveying - 2nd edition 1786
32	Daussy, Pierre - 1847	Sur la configuration de l'île de Ténériffe - extrait du Journal de voyage de Borda aux Canaries, en 1776, pour déterminer la position et la configuration de ces îles - Bulletin de la société de géographie (Paris) - Troisième série - Tome VII
33	Denys, Guillaume - 1666	L'Art de naviger perfectionné par la cognoissance de la variation de l'aimant. Ou Traicté de la variation de l'aiguille aimantée, etc
34	Dezauche, J.C. - 1806	Catalogue des cartes et ouvrages géographiques
35	Dulague, Vincent-François - 1768	Leçons de navigation
36	Duperrey - 1854	Funérailles de M. Beautemps-Beaupré - Discours de M. Duperrey in Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France
37	(d') Eveux de Fleurieu - 1773	Voyage fait par ordre du roi en 1768 et 1769
38	Flinders, Matthew - 1814	A Voyage to Terra Australis: Undertaken for the Purpose of Completing the Discovery of that Vast Country, and Prosecuted in the Years 1801, 1802, and 1803, in His Majesty's Ship the Investigator
39	(le) Guisquet Bernard - 1992	Le Dépôt des cartes, plans et journaux de la Marine sous l'Ancien Régime (1720-1789) - Annales hydrographiques 5ème série, volume 18, n°765, 1992
40	Harrisse, Henry - 1872	Notes pour servir à l'histoire, à la bibliographie et à la cartographie de la Nouvelle France et des pays adjacents 1545-1700
41	Levêque - 1779	Le guide du navigateur
42	Mascart, Jean - 1919	La vie et les travaux du Chevalier Jean-Charles de Borda (1733-1799) - réédition 2000
43	(rév.) Michell, John - 1765	A recommendation of Hadley's Quadrant for surveying especially the surveying of harbours together with a particular application of it in some cases of pilotage - reproduit dans la Revue Hydrographique internationale - 1933
44	Neuville, Didier - 1882	Les établissements scientifiques de l'ancienne marine
45	Neuville, Didier - 1898	Etat sommaire des archives de la Marine antérieures à la révolution

46	Pelletier, Monique - 1982	Les ingénieurs géographes sur les côtes de Bretagne - Actes du 107e congrès national des sociétés savantes, Brest 1982, section de géographie - Etudes géographiques sur la Bretagne - 1984
47	Pelletier, Monique - 1997	Science et cartographie marine - La percée de l'Europe sur les océans vers 1690 1790 - 1997
48	Pelletier, Monique - 2002	Cartographie de la France et du monde de la Renaissance au Siècle des lumières
49	Randier, Jean - 1978	L’instrument de marine
50	Richard, Hélène - 1982	Le travail cartographique de Beautemps-Beaupré au cours de l'expédition de d'Entrecasteaux - Actes du 107e congrès national des sociétés savantes, Brest 1982, section de géographie - Etudes géographiques sur la Bretagne - 1984
51	Robinson, A.H.W. - 1962	Marine cartography in Britain - a history of the sea charts to 1855
52	(de) Rossel - 1808	Voyage de Dentrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tomes I et II
53	Taillemite, Etienne - 1969	Les archives et les archivistes de la Marine des origines à 1870
54	Vanderbourg - 1809	Voyage de d’Entrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse, pendant les années 1791,1792 et 1793 (extrait du Mercure de France du 27/02/1809) - Annales maritimes et coloniales - 1817
55	(de) Verdun de la Crenne - (de) Borda, Jean-Charles - Pingré - 1778	Voyage fait par ordre du roi en 1771 et 1772, en diverses parties de l'Europe, de l'Afrique et de l'Amérique

6 – gloire et désillusions

Au XIXe siècle, les ingénieurs hydrographes forment un corps qui, au sein du Dépôt général de la marine, atteint la gloire en produisant une cartographie complète et détaillée des côtes de France : le Pilote français. Malheureusement, cette œuvre est rapidement dépassée, ne correspondant plus au besoin des nouveaux navires à vapeur ou de grand tirant d'eau. Après plusieurs accidents, il faut se résoudre à refaire les cartes, avec des moyens limités.

Le Dépôt au XIXe siècle

Statut

La réunion du dépôt des archives de la marine et des colonies et de celui des cartes et plans de la marine, décidée par les arrêtés du Directoire exécutif du 11 mai 1797 (22 floréal de l'an V) et du 24 septembre 1798 (3 vendémiaire de l'an VII) prend le nom de dépôt général de la marine.

L'ordonnance du 6 juin 1814 confirme cette réunion. Elle place le dépôt des cartes et plans de la marine et des colonies et celui des chartes et archives sous les ordres d'un officier général de la marine qui a le titre de directeur général des dépôts des cartes, plans, chartes et archives de la marine et des colonies. Elle rétablit un directeur adjoint et affecte aux deux ingénieurs hydrographes en chef les titres de conservateur et de conservateur-adjoint.

En 1817 le Dépôt s'installe dans l'hôtel du n°13 de la rue de l'Université, à Paris.

En 1827 le dépôt des chartes et archives de la marine est placé sous l'autorité du secrétaire général du ministère. Le dépôt des fortifications des colonies reste dans les lieux jusqu'aux environs de 1864 et dépend administrativement du directeur du Dépôt.

Le 15 septembre 1848, un arrêté du président du conseil modifie le statut du Dépôt. Il devient une division qui dépend de la Direction du personnel sous le nom de conservation du dépôt des cartes et plans de la marine. Il est dirigé par un ancien ingénieur hydrographe parti poursuivre sa carrière dans l'industrie : le citoyen Cazeaux, portant le titre de conservateur.

Le 7 décembre 1849 un décret replace le Dépôt sous l'autorité d'un officier général qui prend à nouveau le titre de directeur général du dépôt des cartes et plans. Le Dépôt était alors considéré comme une subdivision de la direction du personnel du ministère. A partir du 5 novembre 1850 il devient un établissement spécial. Un conseil d'administration y est constitué.

Selon les termes du décret du 27 octobre 1885, le Dépôt devient la direction générale des services hydrographiques de la marine. Ce changement de nom est destiné à mieux rendre compte de la nature du service, qui est un service scientifique et producteur, avec également une fonction de conservation des cartes, ouvrages et instruments.

Le décret du 13 janvier 1886 modifie son nom qui devient service hydrographique de la marine et est rattaché à l'état-major général du ministre de la marine. L'ingénieur hydrographe en chef est chargé, sous les ordres du chef d'état-major général, de la direction générale des travaux, de la garde des archives et de la police de l'établissement.

Le décret du 21 octobre 1890 détache le service hydrographique de l'état-major général et place à sa tête un officier général de la marine avec le titre de chef du service hydrographique. Le décret indique que l'importance du service hydrographique au point de vue de la navigation s'accroît avec l'augmentation de la vitesse des bâtiments de guerre et de commerce.

Organisation interne

Jusqu'en 1860 le Dépôt n'a pas d'organisation bien définie. Les ingénieurs qui ne sont pas en mission sur le terrain sont affectés aux cartes d'une région du globe, aux instructions nautiques ou à certaines catégories d'instruments.

Selon les termes du décret du 7 décembre 1849, l'ingénieur en chef est chargé du contrôle des travaux exécutés par les ingénieurs et les officiers, et du suivi de la construction, de la répartition et de la réparation des instruments. Le conservateur dirige le service administratif et la surveillance des archives. Les activités sont réparties entre les in-

génieurs et un officier supérieur de la marine, chargé de la publication des instructions nautiques.

Le décret du 27 octobre 1860 supprime le poste de conservateur et reporte ses attributions sur l'ingénieur en chef.

Découpage en sections

Le 27 mars 1860 quatre sections, parfois appelées services, sont créées et dirigées chacune par un ingénieur assisté d'un ou deux sous-ingénieurs :

1. Hydrographie générale, instructions nautiques et archives
2. Côtes de France et marées
3. Instruments et météorologie
4. Cartes, approvisionnement en documents

Le 2 mai 1865 ce découpage est porté à sept sections :

1. Côtes d'Europe et de la Méditerranée
2. Océan Atlantique hors côtes d'Europe
3. Océan Pacifique
4. Océan Indien
5. Instruments, chronomètres et météorologie
6. Mouvements des cartes et archives, annuaires des marées
7. Instructions nautiques, annales hydrographiques

Enfin, le 4 novembre 1886, le découpage en sections est modifié de la manière suivante :

1. Hydrographie générale
2. Côtes de France, d'Algérie et de Tunisie
3. Cartes et archives
4. Instructions nautiques
5. Instruments scientifiques
6. Instruments nautiques (approvisionnements généraux)
7. Météorologie nautique

Comité hydrographique

Le 15 septembre 1848, un comité consultatif est créé. Il délibère sur les expéditions et les travaux hydrographiques à entreprendre, la priorisation de la rédaction et de la publication des travaux, l'appréciation des travaux, la réception des planches gravées et les achats de livres, cartes et instruments. Le Comité donne également un avis sur différentes questions et élabore les projets de reconnaissances hydrographiques et les instructions à donner aux bâtiments.

Sa composition est la suivante :

- le conservateur, président
- l'ingénieur hydrographe en chef, vice-président
- deux ingénieurs hydrographes de 1ère classe, désignés par le ministre de la marine
- un ingénieur hydrographe de 2ème classe, désigné par le ministre de la marine
- deux officiers de marine, désignés par le ministre de la marine
- un sous-ingénieur hydrographe, secrétaire

L'arrêté du 7 décembre 1849 supprime un des deux ingénieurs de 1ère classe.

L'arrêté du 25 novembre 1854 renomme le comité consultatif en comité hydrographique et supprime la distinction de classe des deux ingénieurs membres et l'élaboration des projets de reconnaissances et des instructions.

Enfin, l'arrêté du 6 mars 1886 modifie les attributions du comité qui donne son avis sur les propositions que lui transmet le chef d'état-major général : projets de publication de documents nautiques ou météorologiques et d'ouvrages concernant la science nautique, composition du recueil règlementaire (voir plus loin), construction d'instruments nouveaux, attachement temporaire d'officiers de marine.

Le décret du 21 octobre 1890 précise que l'un des officiers supérieurs participant doit être le chef de la section des instructions nautiques.

Le personnel du Dépôt

Quatre catégories de personnel existent au Dépôt : la direction, les ingénieurs hydrographes, les officiers de marine et le personnel secondaire.

La direction

La direction du dépôt est assurée par un amiral dont le titre évolue en fonction des réorganisations que subit le Dépôt tout au long du XIXe siècle. Un second officier de marine est adjoint au directeur de 1814 à 1826. Beautemps-Beaupré devient ensuite directeur adjoint du Dépôt. Il n'est pas remplacé.



1 - Charles-François Beautemps-Beaupré
Auguste Lemoine d'après Jules Boilly

Le corps des ingénieurs hydrographes

Le corps des ingénieurs hydrographe est créé en 1804 et peut être même quelques années plus tôt (voir annexe A3). Jusque là, le Dépôt comptait des ingénieurs hydrographes qui étaient considérés comme des entités individuelles.

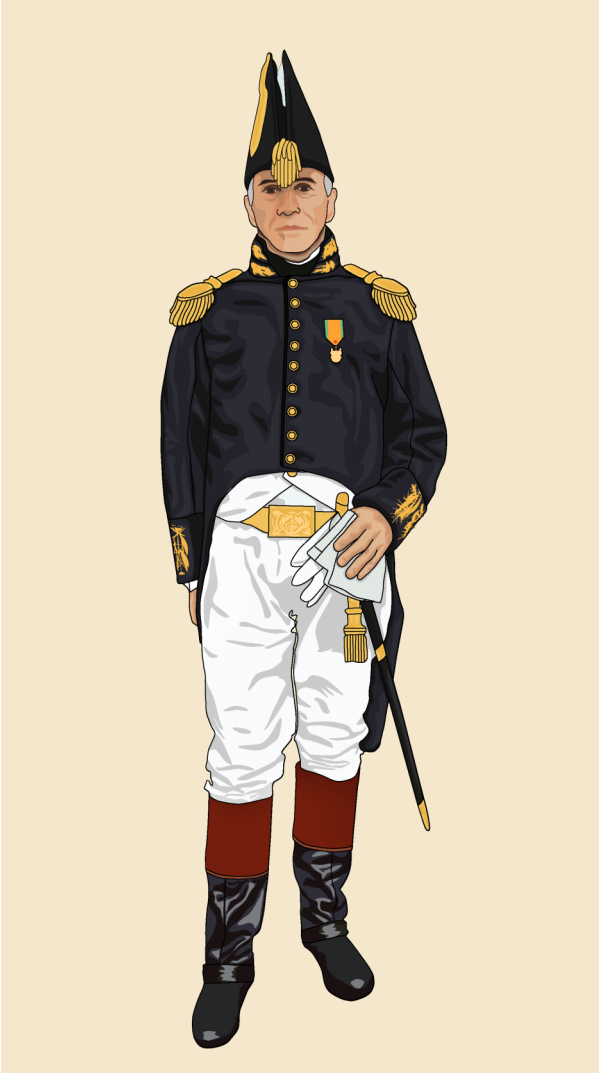
L'ingénieur en chef a le titre de conservateur (Buache), le second ingénieur dans la hiérarchie celui de conservateur adjoint (Beautemps-Beaupré).

Le corps reçoit une nouvelle organisation en 1814. Un recrutement est lancé l'année suivante auprès des élèves de l'Ecole Polytechnique, qui reçoivent la note d'information suivante : « La levée et la construction des cartes et plans nécessaires au service de la Marine sont du ressort de l'ingénieur hydrographe, dont les travaux se divisent en deux branches distinctes. La construction des cartes marines, fondée sur la connaissance et la discussion des observations astronomiques, sur l'emploi des relations de voyages, des cartes et plans gravés et manuscrits, des journaux des navigateurs, enfin sur toutes les connaissances que peuvent fournir les matériaux déjà existants, constitue la première partie de ces travaux. Les ingénieurs qui, après avoir navigué et s'être adonnés pendant longtemps aux observations et aux calculs nautiques, auront acquis par l'âge, l'étude et l'expérience, la connaissance des éléments qui doivent entrer dans la construction d'une bonne carte marine, seront particulièrement destinés à exécuter cette première partie des travaux hydrographiques. La seconde partie des fonctions des ingénieurs-hydrographes, qui exige tout à la fois une vie active et laborieuse, est spécialement du ressort des jeunes gens qui entrent dans le corps. Ces travaux sont ceux qui s'exécutent, soit dans les voyages de long-cours, soit annuellement sur les côtes de l'Empire ; ils consistent dans la levée des cartes et plans hydrographiques, d'après les méthodes nouvellement adoptées, dans l'examen de l'effet des marées, de la force des courants, des mouillages que peuvent prendre les vaisseaux de guerre pour être à l'abri des vents et de l'ennemi, dans la description des bancs qui obstruent les rivages et les embouchures des fleuves, dans la rédaction des instructions nautiques qui sont nécessaires aux marins, etc., etc.

Presque tous ces travaux exigent que l'on parcoure à pied les rivages, que l'on s'embarque journellement dans des canots et autres frêles embarcations, souvent en vue de l'ennemi et que l'on aille même quelquefois à la mer par gros temps, quand on est obligé de profiter de l'instant où la tempête a éloigné de la côte ce même ennemi, décidé à troubler et même à empêcher entièrement, s'il le peut, les opérations de l'ingénieur hydrographe. C'est à cette branche d'opérations pénibles, mais utiles, que sont principalement appelés les élèves de l'Ecole Polytechnique qui voudront passer dans le Corps Impérial des Ingénieurs hydrographes. Une bonne vue leur est nécessaire, parce que toutes les opérations se font a la mer avec le cercle de Borda, que l'on est forcé d'employer sans la lunette, pour ne pas affaiblir la réflexion des objets terrestres. Une bonne constitution ne l'est pas moins, pour pouvoir soutenir la fatigue des campagnes, qui durent quelque fois pendant 7 ou 8 mois, et après lesquelles ils devront s'occuper au Dépôt Général des Cartes, Plans et Journaux de la Marine de la rédaction de leurs travaux et de la mise au net de leurs opérations. Ces opérations ont beaucoup d'analogie avec celles dont s'occupent journellement les Ingénieurs du Corps Impérial des Ingénieurs géographes de la Guerre ; mais elles exigent, de plus, des connaissances nautiques assez étendues et une grande habitude de la

mer. L'ingénieur hydrographe ayant continuellement des marins sous ses ordres, comme coopérateurs indispensables, leur doit l'exemple de la constance dans les travaux et les fatigues inséparables de leur état ; ce n'est qu'à ce prix qu'il peut s'investir de la considération publique et mériter la seule récompense qu'il doive ambitionner : la confiance motivée de l'Empereur. »

L'effectif du corps passe de 11 ingénieurs en 1800 à 20 ingénieurs et élèves en 1824 et se maintient à ce niveau tout au long du XIXe siècle.



2 - ingénieur hydrographe en chef, uniforme de 1804, d'après photographie d'une reconstitution
illustration de V. Riabova

Les officiers de marine

Jusqu'en 1860, des officiers de marine désignés par le ministre viennent pour une durée déterminée au Dépôt pour la rédaction des levés qu'ils ont effectués ou pour traduire des instructions nautiques en langue étrangère.

Le 27 mars 1860, un capitaine de frégate intègre le Dépôt pour diriger la section des instructions nautiques. Un décret du 30 juillet 1880 crée pour cette section un effectif permanent de 3 lieutenants de vaisseau. Ils sont rejoints plus tard par quelques lieutenants de vaisseau en retraite maîtrisant certaines langues étrangères.

En 1875, un capitaine de frégate est placé à la tête de la section de météorologie nautique qui vient d'être détachée de la section des instruments.

En 1881, une section des instruments nautiques est créée à partir de la section des instruments. Elle est dirigée par un capitaine de frégate.

Le personnel secondaire

Le personnel administratif est chargé de la comptabilité et du secrétariat. L'arrêté du 15 septembre 1848 prévoit un chef de comptabilité et de secrétariat et trois commis. Il prévoit également un garde-magasin et un commis chargés des inventaires et mouvements des instruments, cartes, livres et documents, ainsi qu'un bibliothécaire. Par la suite, un agent s'occupe de la comptabilité du service des cartes et deux autres s'occupent de celle des instructions nautiques.

Au XVIIe siècle, les ingénieurs hydrographes dessinent eux-mêmes les éléments graphiques remis aux graveurs en sous-traitance. Par la suite, le Dépôt intègre des dessinateurs susceptibles d'accompagner les ingénieurs sur le terrain. Cinq dessinateurs sont mentionnés en 1811. L'arrêté de 1848 en dénombre trois. En 1849, on en compte quatre pour la reproduction des cartes étrangères et les levés d'outre-mer.

Le calcul des annuaires de marée est effectué à partir de 1839 par un ingénieur hydrographe. Le Dépôt emploie ensuite un calculateur sous-traitant, puis finit par embaucher deux calculateurs pour ce travail.

A partir de 1847, un agent s'occupe du nettoyage, des visites et des petites réparations des instruments. Par la suite, un second agent le rejoint ; l'un s'occupe des instruments scientifiques, l'autres des chronomètres.

Quatre graveurs s'occupent des petites corrections sur les cuivres, et un sur les pierres.

En 1860, un archiviste rejoint le Dépôt, puis, en 1865, un photographe pour s'occuper de l'atelier de photographie.

Trois premiers-maîtres retraités dépouillent les journaux météorologiques envoyés par les bâtiments.

Enfin, cinq dames s'occupent de coller les fiches de corrections sur les cartes en stock. Une dame enlumine les feux sur les cartes et une autre s'occupe des expéditions des bulletins et avis.

Au début du XXe siècle, le Service compte 33 agents titulaires (dessinateurs, calculateurs, graveurs, agents des cartes et des instructions, agents des instruments, photographes) et 11 auxiliaires (service météorologique, magasin, dames).

L'activité du Dépôt à Paris

L'activité principale du Dépôt est la production et la délivrance de cartes marines et d'ouvrages nautiques, mais il s'occupe également :

- de la conservation et du classement des archives,
- de la fourniture d'instruments nautiques ou hydrographiques à la marine et aux colonies,
- de la fourniture des ouvrages du ministère de la marine (à partir de 1837),
- de l'étude et de l'observation des marées, du magnétisme, de la météorologie et de la physique générale (à partir de 1886).

Cartes marines

Les cartes marines du Dépôt proviennent soit des levés effectués sur le terrain, soit des services hydrographiques étrangers.

Cartes originales

Les ingénieurs hydrographes qui effectuent des levés sur le terrain reviennent ensuite au Dépôt pour rédiger leurs travaux. De la même manière, les officiers de marine ayant effectué des levés sont ensuite attachés au Dépôt pour la durée de la rédaction de leurs travaux. Les levés d'envergure des officiers sont peu nombreux. Au fil du temps ils se restreignent à des plans ou à des portions réduites de côtes.

Une autre source d'information provient des renseignements fournis par le service des phares et balises, les services de travaux des ports militaires et de commerce et l'école de pilotage.

A l'époque de Beautemps-Beaupré, les ingénieurs rédigent leurs travaux sur des feuilles de construction et des calques portant les sondes et les dessins. En 1848, on s'inquiète de la conservation de ces documents et on fait confectionner des minutes d'ensemble à l'échelle du levé du Pilote français (1/14 400), soit 265 feuilles grand-aigle (75 x 105 cm). En 1865, il reste encore 50 feuilles à faire, qui ne seront jamais traitées.

Cartes étrangères

Les cartes étrangères sont en général retravaillées (traduction, changement d'échelle, etc.) sauf dans le cas des cartes anglaises qui sont achetées en nombre par un correspondant en Angleterre et délivrées telles quelles aux bâtiments. Au début du XXe siècle, le catalogue en compte 1 500, en plus des 3 000 cartes reproduisant des cartes étrangères.

Découpage géographique

A partir de 1849, les mers sont réparties en 5 régions gérées chacune par un ingénieur hydrographe. Après le découpage du Dépôt en sections en 1860, la répartition se fait entre deux sections, quatre en 1865 et à nouveau deux en 1886.

Composition des cartes

Les cartes sont composées par des dessinateurs. Au début du XXe siècle, on en compte 8 sous les ordres d'un chef d'atelier de dessin à la 1ère section (étranger) et 2 à la 2ème (France, Algérie, Tunisie).

Publication

La publication des cartes est d'abord confiée à l'ingénieur hydrographe conservateur. A partir de 1860, une section en est chargée.

Dès le début du fonctionnement du Dépôt, la reproduction des cartes est effectuée par un atelier de tirage sur cuivre installé dans les locaux du Dépôt et mis en œuvre par un entrepreneur externe. Vers 1849, on commence à faire des tirages sur pierre, effectués à l'extérieur. Les pierres restant chez l'imprimeur, pour un coût assez élevé, la 3ème section se dote en 1888 d'un atelier de tirage sur pierre. Ces tirages diminuant au profit des tirages sur zinc, effectués à l'extérieur, l'atelier des pierres est finalement supprimé.

Les tirages annuels portent en moyenne sur 80 000 exemplaires.

Diffusion

Le magasin, approvisionné par le service des cartes, délivre les cartes françaises et anglaises et les documents nautiques français. Cette activité est confiée à la section qui publie les cartes.

L'approvisionnement de la flotte se fait, jusqu'en 1848, sous forme d'atlas reliés remis aux navires



3 - détail de la *Reconnoissance du cours du Hont ou Wester Schelde (Escaut occidental)* - Beautemps-Beaupré, Daussy, Potier et lieutenant de vaisseau J. Raoul - 1798-1799 - cote GE ARCH-3067 (A,C)
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

ou déposés dans les ports. Le Dépôt propose alors 33 atlas consacrés chacun à une région du globe. Avec l'arrivée de nombreuses cartes remplaçant des cartes plus anciennes, le Dépôt commence à diffuser des cartes séparées, stockées à côté des atlas dans les ports de l'Océan.

En 1855, le comité hydrographique décide la mise en place d'un nouveau système à base de collections. Le catalogue des cartes est divisé en une section d'hydrographie générale et une douzaine de sections régionales. La section d'hydrographie générale contient une collection unique. Les sections régionales contiennent une collection complète, destinée aux bâtiments en station, et une collection sommaire pour les bâtiments de passage. Chaque collection est livrée dans une boîte (plus tard, dans une chemise en toile) avec un bulletin daté dressant la liste des cartes et plans qu'elle contient. Les livres sont cartonnés, les cartes et plans collés sur toile et pliés au format demi grand-aigle. Tous les mois, le Dépôt reçoit un inventaire des boîtes disponibles dans chaque port avec la date de leurs bulletins. Chaque bâtiment militaire reçoit :

- la boîte d'hydrographie générale
- une boîte régionale (collection complète) des zones où il doit séjourner
- une boîte régionale (collection sommaire) des zones qu'il doit traverser

Le règlement du 31 janvier 1860 établit des services des cartes dans les ports militaires. Dirigés par un lieutenant de vaisseau, ils sont chargés du stockage et de la délivrance des documents nautiques aux bâtiments. L'ensemble des cartes et ouvrages délivrés règlementairement aux bâtiments militaires est décrit dans un *Recueil règlementaire* qui en fait l'inventaire. Chaque mois, la section chargée de la diffusion envoie aux détenteurs des documents un état indiquant les modifications au *recueil règlementaire* : documents nouveaux, supprimés et corrigés. Ce recueil mentionne également les cartes anglaises, qui sont les seules cartes étrangères fournies telles quelles.

La commercialisation des cartes du Dépôt au public se fait d'abord par l'intermédiaire du libraire Dezauche, qui a racheté le fonds de Buache en 1780 et qui, de ce fait, est chargé de l'entrepôt général des cartes de la marine. Dezauche approvisionne lui-même des correspondants dans les ports. Par la suite, après des plaintes de capitaines qui éprouvent des difficultés à se procurer des cartes, le Comité hydrographique décide de traiter directement avec les dépositaires dans chaque port. Il y a alors 26 dépositaires, ayant une remise de 40%. En 1872, on revient à l'ancienne méthode avec un seul dépositaire chargé d'approvisionner les correspondants, l'éditeur parisien Chalamel, avec une remise de 30%. En 1888, on revient à plusieurs dépositaires, avec cette fois une remise de 33%.

Le Dépôt publie également un catalogue des cartes et ouvrages mis en vente. Le premier d'entre eux est publié en 1818 (Dezauche publiait auparavant son propre catalogue). A partir de 1891, la 3ème section publie également 19 cartes index qui indiquent de manière géographique l'emprise de toutes les cartes, cartes anglaises comprises.

Tenue à jour

Pour la sécurité de la navigation, il importe que les navires disposent de cartes à jour. Dès lors qu'une zone a été levée avec une précision suffisante, il est rare de devoir en modifier le trait de côte ou les sondes. Par contre, les modifications du balisage ou de l'éclairage, ainsi que celles liées aux travaux maritimes, sont plus fréquentes.

Jusqu'en 1860, seules les cartes en magasin et les planches de cuivre sont corrigées. Lorsque les corrections sont importantes, le Dépôt tire de nouvelles cartes et les fait parvenir aux ports et aux bâtiments qui doivent alors détruire par lacération les cartes remplacées.

Avec l'augmentation des changements, les lacérations deviennent importantes. Par souci d'économie, on décide en 1865 que certaines corrections non essentielles seront faites à la main. Les suppléments au *recueil règlementaire* sont supprimés et remplacés par des *annonces hydrographiques* qui indiquent les corrections à effectuer. Un état indiquant les cartes ayant fait l'objet de corrections essentielles (par retirage) ou de corrections manuelles à exécuter est envoyé chaque mois aux ports et aux bâtiments.

Un atelier de corrections manuelles est installé au Dépôt pour corriger les exemplaires en magasin. Les corrections apportées sont notées dans la marge des cartes. Il est parfois nécessaire de sous-traiter en partie le travail, à cause du volume des corrections. Des ateliers de correction des planches cuivre et pierre sont également installés. Les *avis officiels de corrections de cartes*, rédigés par les ingénieurs des sections chargées des régions géographiques, donnent la liste des cartes à corriger manuellement. En 1868, un service centralise le travail de correction au Dépôt. L'année suivante, les *avis officiels* sont remplacés par des *bulletins de corrections*. Les dépôts des ports et les bâtiments tiennent à jour leurs cartes en réalisant eux-mêmes les corrections sur leurs exemplaires. En 1879, les corrections secondaires, qui étaient jusque là simplement datées, sont numérotées. Les ports et les bâtiments doivent renvoyer les états mensuels de corrections de cartes en indiquant les corrections qu'ils ont effectuées. En 1894, le service des corrections est centralisé et rattaché à la 3ème section (cartes). Il se charge alors de préparer les *bulletins de corrections* pour les sections des cartes. A partir de 1896, le Service produit, à l'imitation du service hydrographique anglais, des bulletins graphiques à coller sur les cartes.

Au début du XXe siècle, les corrections reposent sur :

- 2 correcteurs pour les corrections main
- 3 graveurs sur cuivre
- 1 graveur sur pierre
- 2 dessinateurs du service des corrections
- 1 ingénieur chargé du service des corrections

Ouvrages nautiques

Les premières instructions nautiques, qui accompagnent et complètent les cartes, sont d'abord publiées, à partir de 1817, dans les *annales maritimes et coloniales*, une publication privée. Les instructions sont rédigées par le Dépôt au moyen des documents français et étrangers qu'il reçoit.

En 1845, ces instructions sont reprises et publiées dans les *mélanges hydrographiques* ou recueils de documents relatifs à l'hydrographie et à la navigation. L'année suivante, les changements intéressant la navigation sont tirés à part dans des *avis aux navigateurs* publiés tous les 15 jours et envoyés aux ports. Ces changements indiquent les numéros des cartes concernées.

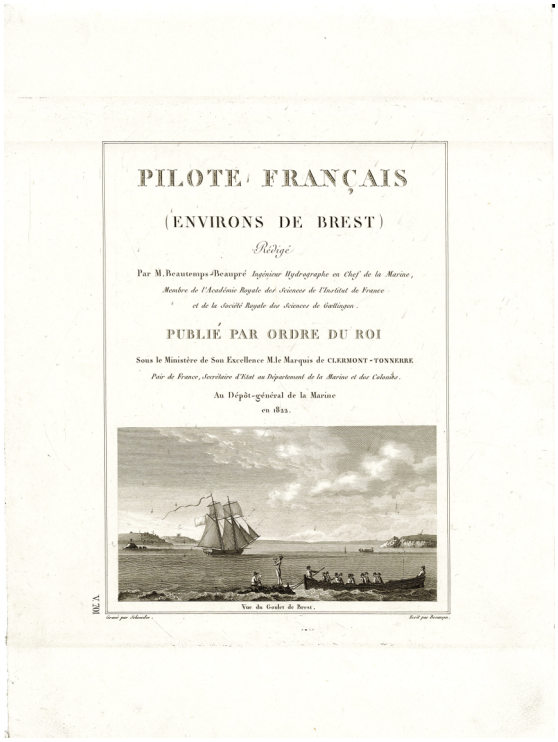
En 1847, les *annales maritimes et coloniales* cessent de paraître et les *mélanges hydrographiques* sont remplacés par les *annales hydrographiques* qui paraissent à partir de 1849. Elles sont divisées en trois parties :

- avis aux navigateurs
- instructions nautiques, relations de voyages et documents hydrographiques
- sujets divers

Jusqu'en 1860, la rédaction des ouvrages nautiques est répartie parmi les ingénieurs présents au Dépôt. Lors du découpage du Dépôt en sections, la section qui s'occupe des cartes étrangères est chargée des ouvrages nautiques. Plusieurs lieutenants de vaisseau connaissant des langues étrangères lui sont adjoints.

En 1865, lors de la structuration en 7 sections, un des lieutenants de vaisseau prend la direction de la

section des instructions nautiques. Le décret du 30 juillet 1880 fixe l'effectif de cette section à un capitaine de frégate et trois lieutenants de vaisseau. En 1882, deux sous-officiers lui sont affectés pour gérer les documents secrets. On y trouve également deux traducteurs et quatre lieutenants de vaisseau attachés temporairement, ainsi que des agents et des dames pour la correction des ouvrages.


PILOTE FRANÇAIS

(ENVIRONS DE BREST)

Rédigé

Par M. Beautemps-Beaupré Ingénieur Hydrographe en Chef de la Marine, Membre de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France et de la Société Royale des Sciences de Gottingen.

PUBLIÉ PAR ORDRE DU ROI

Sous le Ministère de Son Excellence M.le Marquis de CLERMONT-TONNERRE Pair de France, Secrétaire d'Etat au Département de la Marine et des Colonies.

Au Dépôt-général de la Marine en 1822.

Vue du Goulet de Brest.

4 - pilote français, première partie - 1822
Source Shom

La section reçoit des renseignements de source française : avis du service des phares et balises pour l'éclairage et le balisage, des ingénieurs ou officiers qui réalisent des campagnes hydrographiques, de l'école de pilotage et des services maritimes des ports. Elle reçoit de l'étranger les avis concernant la navigation, les instructions nautiques concernant les côtes étrangères et les livres des phares et du balisage. A partir de ces informations, la section rédige les avis aux navigateurs, les instructions nautiques et les livres des phares, ainsi que les autres ouvrages publiés.

L'essentiel du travail est la tenue à jour des ouvrages. Chaque avis aux navigateurs entraîne en général une correction ou une addition dans un ou plusieurs ouvrages. Ces modifications se font sous la forme de fiches ou de papillons collés à la page concernée et envoyés aux ports et aux bâtiments pour collage par leurs soins. Les navires de commerce ont la possibilité de s'abonner pour recevoir ces papillons. En 1875, on comptabilise 400 avis annuels.

Les ouvrages sont imprimés par l'Imprimerie Nationale. Les avis aux navigateurs sont imprimés dans un petit atelier de composition installé au Dépôt par un imprimeur lié par un marché. L'imprimeur expédie les fiches et papillons.

En 1879, les *annales hydrographiques* n'indiquent plus les *avis aux navigateurs*, qui sont tirés à part, mais donnent la liste des *annonces hydrographiques* parues dans l'année. En 1886, la liste des *annonces hydrographiques* est supprimée et l'année suivante les instructions nautiques ne paraissent plus dans les *annales hydrographiques*.

En ce qui concerne les phares, un ouvrage du commerce fournit en 1850 la *description générale des phares*. Le Dépôt en achète des exemplaires qu'il diffuse. En 1851, on fait des tirages à part de la partie des *annales* concernant les phares et on en fait plusieurs éditions. C'est ainsi qu'on en arrive aux *livres des phares*, au nombre de 13.

La section des instructions nautiques publie également les ouvrages suivants :

- Livre donnant la liste des bassins à flot, bassins de radoub, docks, etc. (depuis 1894)
- Livre des dépôts de charbon et de combustible liquide (confidentiel)
- Liste des bâtiments de la marine française de guerre, de commerce et de plaisance
- Album des pavillons de toutes les nations maritimes (depuis 1881)
- Code international des signaux (depuis 1854)
- Tableau des distances de port à port pour les navigations au long cours et au cabotage (depuis 1881)

L'approvisionnement de la flotte et la commercialisation des ouvrages nautiques sont pris en charge par la section qui publie les cartes.

Archives

La charge de conservation des archives revient d'abord au conservateur.

En juin 1828, Jacques Parisot est attaché au Dépôt pour s'occuper d'une section historique, ajoutée officiellement le 13 janvier 1830. Elle comprend 2 historiographes et 1 commis d'ordre.

En 1847, un ingénieur proche de la retraite entame le classement des archives. Il est maintenu hors-

cadre à sa retraite, avec le titre de conservateur, pour poursuivre le travail. Les archives sont alors constituées des pièces suivantes :

- la collection des cartes gravées françaises et étrangères et celle des cartes manuscrites : 217 portefeuilles de cartes hydrographiques et 98 portefeuilles de cartes géographiques,

- les documents, journaux, minutes des campagnes hydrographiques effectuées par les ingénieurs hydrographes et les officiers de marine,

- les documents, mémoires et notes hydrographiques, nautiques ou scientifiques accumulées depuis l'origine du Dépôt : 481 cartons.

En 1856, un capitaine de vaisseau est attaché au dépôt pour aider au classement. Le poste de conservateur est supprimé en 1860. La même année, le service des archives est rattaché à une section et placé sous l'autorité de l'ingénieur en chef. Le capitaine de vaisseau poursuit son travail jusqu'en 1873.

En 1867, deux mille neuf cent pièces historiques du Dépôt sont versées aux archives du ministère de la marine. Au début du XXe siècle, la situation est la suivante :

- les archives des missions contiennent les cahiers et registres des missions hydrographiques depuis 1800 ainsi que les minutes et calques correspondants. Les cahiers et registres sont répartis en 7 divisions géographiques, les documents graphiques en 3 divisions,

- les archives générales contiennent les correspondances, mémoires et manuscrits, les journaux de navigation et les cartes.

Instruments

Instruments nautiques

Depuis les années 1770-1780, le Dépôt est chargé d'approvisionner les dépôts des ports et les bâtiments en instruments, chronomètres et garde-temps. Les instruments sont principalement des sextants, mais on trouve dans quelques ports des dépôts d'instruments d'hydrographie. Le Dépôt fournit également des instruments aux missions du ministère des Colonies, aux observatoires de météorologie, au génie maritime dans les ports, etc.

L'achat des chronomètres s'effectue au début de gré à gré. A partir de 1838, les chronomètres sont achetés par concours, comportant des épreuves à Paris, puis à Brest et enfin sur un bâtiment en rade. Le règlement du concours évolue au fil des progrès scientifiques et techniques.

Lors du découpage en sections de 1860, la charge de tous les instruments est attribuée à l'une d'elles. Cette section est chargée de l'étude, l'acquisition et l'entretien et du perfectionnement des instruments d'astronomie, de géodésie, de topographie et de dessin nécessaires au levé et à la construction des cartes marines ; des instruments liés à la marée, à l'océanographie, à la météorologie, au magnétisme, etc. ; des chronomètres et garde-temps. La section approvisionne les bâtiments de la marine et les ports de guerre en chronomètres et instruments. Elle dispose également à partir de 1863 d'un atelier photographique utilisé pour la réduction des documents. Cette réduction se faisait auparavant à la main, au pantographe. Trois agents travaillent à l'atelier photographique.

Le décret du 20 octobre 1881 crée une section chargée de l'acquisition, de la réparation et de l'approvisionnement des instruments nautiques. Cette nouvelle section est dirigée par un officier de marine. Elle s'occupe des compas puis des télémètres et des appareils de direction de tir. Elle approvisionne les bâtiments en baromètres, longues-vues, jumelles...

Instruments hydrographiques

Les instruments hydrographiques sont regroupés avec les instruments nautiques jusqu'au décret du 20 octobre 1881. La section compte alors deux agents, l'un pour les instruments, l'autre pour les chronomètres.

Service des marées

Un service des marées est créé en 1839 pour publier un *annuaire des marées des côtes de France*. Il fait construire et installer des marégraphes dans les ports : Alger (1843), Toulon (1844), Brest (1846), Cherbourg (1847), le Havre (1850), Saint-Malo (1850), Rochefort (1859), fort Enet (île d'Aix, 1859), Saint-Nazaire (1863, anciennement à Toulon) et La Rochelle (1863).

Le service des marées reçoit les feuilles d'enregistrement des marégraphes de la marine et des travaux publics, les observations de marées faites par les missions hydrographiques ainsi que les annuaires de marées étrangers, ce qui lui permet de donner des informations sur la marée dans les ports étrangers.

Le règlement du 25 novembre 1859 organise le service des marées au Dépôt et dans les ports militaires et de commerce. Des agents des marégraphes travaillent dans les ports, sous les ordres

des directeurs des observatoires des ports militaires ou des professeurs d'hydrographie (qui enseignent la navigation) pour les ports de commerce. Les instruments sont fournis par le Dépôt et l'infrastructure par le service des travaux hydrauliques.

A partir de 1873, le service des marées publie des *tables des marées des colonies françaises des mers de Chine* puis, à partir de 1895, des *tables des marées des colonies françaises de l'Océan Indien*. En 1899, un marégraphe est installé à Dakar et le Service commence la publication des *tables des marées des colonies française de l'Atlantique*.

Les calculs sont faits au début à l'extérieur, puis, en 1866, par des calculateurs embauchés pour ce travail. Le calcul est fait pour le port de Brest selon les formules de Laplace. Pour les autres ports de France, on utilise des tableaux de concordance basés sur les observations recueillies pendant le levé du Pilote français. A partir de 1898, on utilise les observations des marégraphes pour compléter l'annuaire et perfectionner les prévisions.

Pour les ports des colonies, dont la marée est plus complexe qu'à Brest, on utilise la méthode harmonique de Lord Kelvin inventée en 1894. A partir de 1896, les éléments sont calculés par le service hydrographique puis sont transmis à l'amirauté anglaise qui dispose d'une machine de Lord Kelvin permettant de tracer les courbes de marée.

Service météorologique

Un arrêté du 16 février 1859 organise un service météorologique au sein du Dépôt. Ce service assure la délivrance ou le prêt des instruments nécessaires, confiés à l'ingénieur qui s'occupe des chronomètres. Un sous-ingénieur lui est adjoint pour la construction, l'entretien, la comparaison des instruments, l'enregistrement et le dépouillement des observations et les publications météorologiques.

Lors de la réorganisation de 1860, le service météorologique est rattaché à une des sections.

En 1861, la marine, s'inspirant du modèle anglais, crée un service de prévision des tempêtes sur les côtes de France. Un service similaire existait depuis 1856 à l'observatoire de Paris. Pour cause de double emploi, le service du ministère de la marine est supprimé en 1875. Son activité de dépouillement des observations et de publication des résultats est alors rattachée au Dépôt, l'arrêté du 24 décembre 1875 y créant un service central météorologique sous la direction d'un officier de marine. Le nouveau service prend également en charge l'enregistrement et le dépouillement des observations effectués jusque-là par le sous-ingénieur chargé de la météorologie.

En 1878 (ou 1881 ?), un arrêté du 31 juillet transfère à une des sections l'activité relative aux instruments météorologiques (entretien, conservation et comparaison des instruments). Le service central météorologique est renommé bureau météorologique avant de devenir, dans l'organisation de 1886, une section à part entière. Son chef est secondé par des auxiliaires chargés du dépouillement des journaux : d'abord des officiers-mariniers timoniers d'active, puis retraités (ils sont trois au début du XXe siècle). Le nombre de journaux reçus est de l'ordre de 300 par an.

La section de météorologie nautique dépouille et enregistre les observations météorologiques effectuées par les bâtiments de guerre et de commerce et par les sémaphores, reçoit des documents étrangers, publie les cartes donnant les résultats de ces dépouillements et rédige la partie météorologique des instructions nautiques.

Musée

Dès 1856, le comité hydrographique songe à mettre en place un « cabinet d'instruments nautiques et hydrographiques » de toutes les époques. En 1887, un musée des anciens instruments d'observation est créé au sein du Service. Il est par la suite déplacé à la bibliothèque.

Bibliothèque

La bibliothèque du Dépôt est créée officiellement en 1795, lorsqu'un arrêté du 29 thermidor de l'an III (16 août) autorise Jean-Nicolas Buache, alors inspecteur par intérim du Dépôt, à puiser, pour la constituer, des ouvrages dans différents dépôts. En 1843 paraît un catalogue général des bibliothèques de la marine. Celle du Dépôt compte alors 20 000 volumes.

Le premier catalogue sur fiches est réalisé par le bibliothécaire en 1869 (16 000 fiches). Il est repris en 1873. La bibliothèque contient des ouvrages de fond, près de quatre cent manuscrits, des cartes, Neptunes et atlas provenant en partie des archives, ainsi que des ouvrages sur la navigation, l'astronomie, les sciences physiques, les mathématiques, l'hydrographie, la géodésie, les voyages et les explorations.

L'activité du dépôt sur le terrain : les travaux hydrographiques

Les levés de cartes constituent l'essentiel des travaux effectués sur le terrain. Ils sont désignés sous

le nom de *reconnaissances hydrographiques* et sont effectués par une *mission hydrographique*. En France les travaux sur le terrain ont lieu pendant la belle saison, de mai à octobre, le reste de l'année étant utilisé pour les travaux de rédaction au Dépôt.

Principes d'exécution

Les levés de cartes comprennent en général :

- des travaux de préparation à terre
- des opérations de topographie à terre
- des opérations de sondage en mer
- l'observation de la marée à terre
- le contrôle des travaux « au fil de l'eau »
- le rapport final

Travaux de préparation

Le levé commence par une reconnaissance du terrain, qui peut se faire à terre ou en mer. Puis on choisit les points remarquables qui seront utilisés pour calculer la position des sondes et celle du trait de côte. Lorsque les points remarquables sont insuffisants on ajoute des signaux, le plus souvent construits en bois.

On détermine ensuite la position des points remarquables et des signaux par des opérations géodésiques (voir encadré n°1).

Topographie

Pour déterminer la forme et l'emplacement du trait de côte, on détermine la position de ses points principaux : pointes et creux, ainsi que celle des rochers et bancs de sable visibles de la côte.

Sondage en mer

Le sondage au large se fait sur un navire. Près de la côte on utilise une chaloupe, d'abord à voile, puis à l'aviron, plus maniable, et plus tard à vapeur. Le sondage s'effectue en suivant des *lignes de sonde* sur un alignement. Le plomb de sonde permet de connaître la profondeur et la nature du fond. Un ou plusieurs observateurs mesurent les angles sous lesquels ils voient les points remarquables et les signaux à terre afin de déterminer la position du navire ou de la chaloupe. Lorsqu'un haut fond est soupçonné, la chaloupe passe dessus en suivant des *lignes de sondes* resserrées pour trouver sa profondeur minimale.



5 - signal installé par les hydrographes - Gambiers 1967 - photothèque Amhydro - N. Cloatre

Observation de la marée

Des échelles de marée sont installées en plusieurs points de la côte. Des observateurs y lisent les hauteurs d'eau tous les quarts d'heure pendant la journée. Ces observations sur une longue durée fournissent d'une part la hauteur d'eau de manière régulière et, d'autre part, la hauteur d'eau minimale, aux plus basses mers d'équinoxe, ce qui permet après coup de ramener toutes les sondes à ce niveau.

Contrôle des travaux

Après la journée de travail on trace les positions du navire ou de la chaloupe sur un plan puis on y reporte les sondes. Ce plan, provisoire, permet de suivre l'avancement des travaux et de détecter des relèvements de fonds.

Rapport final

A la fin de chaque campagne, l'ingénieur hydrographe qui a dirigé les travaux rédige un rapport de mission publié soit dans les *annales hydrographiques*, soit dans les *recherches hydrographiques sur les régimes des côtes* s'il s'agit de reconnaissances effectuées sur les côtes de France et intéressant les travaux maritimes.

Encadré n°1 : introduction du traité de géodésie de Louis Puissant, 1819

La Géodésie est une partie de la Géométrie appliquée, qui traite de la division des champs ; mais suivant l'acception la plus étendue, elle a pour objet la mesure de la Terre, ou celle d'une partie de sa surface. Les opérations géodésiques sont donc celles par lesquelles on détermine les positions respectives des principaux lieux d'un pays dont on se propose de lever la carte. L'ensemble de ces opérations forme ce que l'on appelle un canevas trigonométrique, parce que les positions dont il s'agit représentent les sommets des angles des triangles qui, par leur enchaînement, composent un réseau continu dans tous les sens. Ces triangles, dont on observe rigoureusement les angles, réunissent les conditions les plus avantageuses, lorsqu'ils sont les plus grands possibles, à peu près équilatéraux, et qu'ils sont liés au moins à une ligne principale, ou base que l'on mesure avec beaucoup de soin. Lorsque cette base et les trois angles de chaque triangle sont connus, on a tous les élémens nécessaires pour calculer de proche en proche les distances entre les objets ; car un triangle est déterminé de grandeur, quand parmi ses six parties l'on connaît un côté. Le canevas général d'une carte étant ainsi établi, on le divise en canevas partiels, c'est-à-dire que l'on couvre de triangles secondaires et tertiaires la surface de chaque grand triangle. On conçoit que, par ce moyen, l'on a une multitude de petites bases et de points rapprochés auxquels ceux qui relèvent les détails à la planchette ou à la boussole, pour former une topographie complète du pays, rattachent continuellement leurs opérations.

L'instrument qu'on a adopté en France vers la fin du XVIII° siècle, et ensuite dans quelques autres pays de l'Europe, pour mesurer les angles des triangles du premier et du second ordre, ainsi que pour observer les latitudes et les azimuts, est le cercle répétiteur de Borda. C'est celui dont nous donnerons particulièrement la description, et dont nous ferons connaître l'usage, à cause de l'extrême précision qu'il procure, même sous d'assez petites dimensions, et de la facilité avec laquelle on l'établit dans le plans des objets (voyez les planches III et suivantes).

Mais comme l'axe de la lunette inférieure ne passe pas par celui de l'instrument, l'angle observé a quelquefois besoin d'être corrigé de la petite erreur occasionnée par l'excentricité de cette lunette.

Il est même souvent impossible de placer le cercle au centre de la station, et alors l'angle observé doit encore éprouver une correction, que l'on désigne par le nom de réduction au centre, et qui est analogue à celle dont on vient de parler.

Il arrive en outre, presque toujours, que l'angle observé est incliné à l'égard du plan horizontal qu'on imagine passer par le centre de l'instrument : la projection de cet angle, sur ce plan, se nomme réduction à l'horizon.

Enfin, si l'objet sur lequel on pointe est éclairé par le Soleil, l'observateur n'en voit ordinairement qu'une partie ou phase, et le rayon visuel, dirigé sur le milieu apparent de cette phase, ne passe pas par le centre de l'objet. Il faut donc encore à l'angle observé, faire une correction qui dépend essentiellement de la position du Soleil et de la forme de l'objet ; mais il est très rare que cette correction soit sensible, parce que l'on fait en sorte de pouvoir pointer sur des objets très distincts, et cependant d'une très petite largeur apparente.

Lorsque les angles des triangles d'une grande chaîne sont réduits à l'horizon de leurs sommets respectifs, on ajoute ceux d'un même triangle, et la somme que l'on obtient surpasse nécessairement deux angles droits ; parce que les angles ajoutés sont ceux d'un triangle sphérique dont les côtés très peu courbes, à la vérité, représentent les distances curvilignes comprises entre les verticales des stations.

Ensuite l'excès dont il s'agit, et qui est en même temps affecté de l'erreur de l'observation, se répartit indistinctement par tiers sur les trois angles du triangle dont il dépend. Quand ces angles sont ainsi réduits à ne valoir que deux angles droits, on procède au calcul des distances, en les considérant simplement comme des côtés de triangles rectilignes, en vertu du théorème de l'art. 100[1], quoiqu'elles soient des arcs de grand cercle de la sphère dont le rayon est le même que celui de la ligne géodésique, ou de la base réduite préalablement à un niveau constant, qui est celui de la mer. Quant aux triangles secondaires, ils se forment, s'observent et se résolvent de la même manière que les grands triangles qui leur fournissent pour bases un ou plusieurs de leurs côtés.

Au lieu de ramener par cette voie la résolution des triangles sphériques peu courbes à celle des triangles rectilignes, on peut réduire les angles horizontaux aux angles formés respectivement par les cordes des arcs compris entre les stations ; et pour

1 L'article 100 figure au chapitre VIII - de la résolution des triangles obliquangles - de la première partie de la *théorie des courbes et des surfaces du second ordre, ou traité complet d'application de l'algèbre à la géométrie* de Jean Louis Boucharlat.

lors les triangles à calculer sont réellement des triangles rectilignes, dont un des côtés est la base mesurée et réduite à sa corde, ainsi qu'à un horizon fixe tel que celui de la mer.

On ne peut néanmoins, à l'aide des seules distances calculées, assigner la place que les stations occupent réellement sur le globe terrestre ; il faut en outre déterminer la latitude et la longitude de l'une d'elles, ainsi que l'azimut d'un des côtés de la chaîne, c'est-à-dire l'angle qu'il forme avec le méridien connu. On déduit alors de ces nouvelles données les positions géographiques des objets terrestres, ou leurs distances à l'équateur et au méridien d'où l'on est convenu de compter les longitudes. Il est surtout essentiel dans les triangulations de premier ordre, faites dans le but de déterminer les dimensions de la Terre, ou de former une exacte description géométrique d'un grand état, de mesurer plusieurs bases de vérification, et de s'assurer si les résultats fournis par les calculs s'accordent avec les latitudes et les azimuts observés vers les extrémités de la chaîne des triangles.

Pour connaître en outre le relief du terrain, il est nécessaire de déterminer la hauteur de ses différens points au-dessus des mers : or c'est ce que procurent les nivellemens trigonométriques, qui font essentiellement partie des opérations géodésiques des différens ordres. La latitude, la longitude et la hauteur absolue de chacun des sommets des triangles d'un réseau sont donc trois coordonnées indispensables.

Lorsqu'on a recueilli ainsi tous les élémens qui constituent le canevas d'une carte, on y trace, suivant une certaine loi, deux systèmes de lignes, dont l'un représente des méridiens, l'autre des parallèles ; et l'on fixe, à l'aide de ces lignes, les positions de tous les lieux donnés par leur latitude et leur longitude. Quelquefois aussi, quand la carte n'embrasse qu'une petite étendue de pays, on en rapporte les principaux lieux à deux axes rectangles, qui sont le développement rectiligne du méridien principal de cette carte, et celui d'un arc de grand cercle perpendiculaire à ce méridien. Dans ce cas, les coordonnées des points déterminés par le réseau de triangles, sont des distances à la méridienne et à sa perpendiculaire, ou des plus courtes distances géographiques.

Tel est le précis des matières que nous allons traiter avec tout le détail nécessaire ; nous tâcherons même que les personnes qui ne sont pas versées dans l'Analyse et la Géométrie, retirent tout le fruit possible de la lecture de cet Ouvrage.

Personnel

Les ingénieurs du Dépôt ne sont pas assez nombreux pour effectuer seuls les levés. Ils assurent la direction des travaux et les opérations les plus importantes : les mesures d'angles à terre et parfois à la mer. Pour les autres tâches, ils utilisent le personnel militaire mis à leur disposition : officiers de marine et équipage.

Les officiers fournissent des observateurs pour mesurer les angles et des chefs d'équipe. L'équipage fournit, en plus des bras nécessaires à l'exécution des travaux,

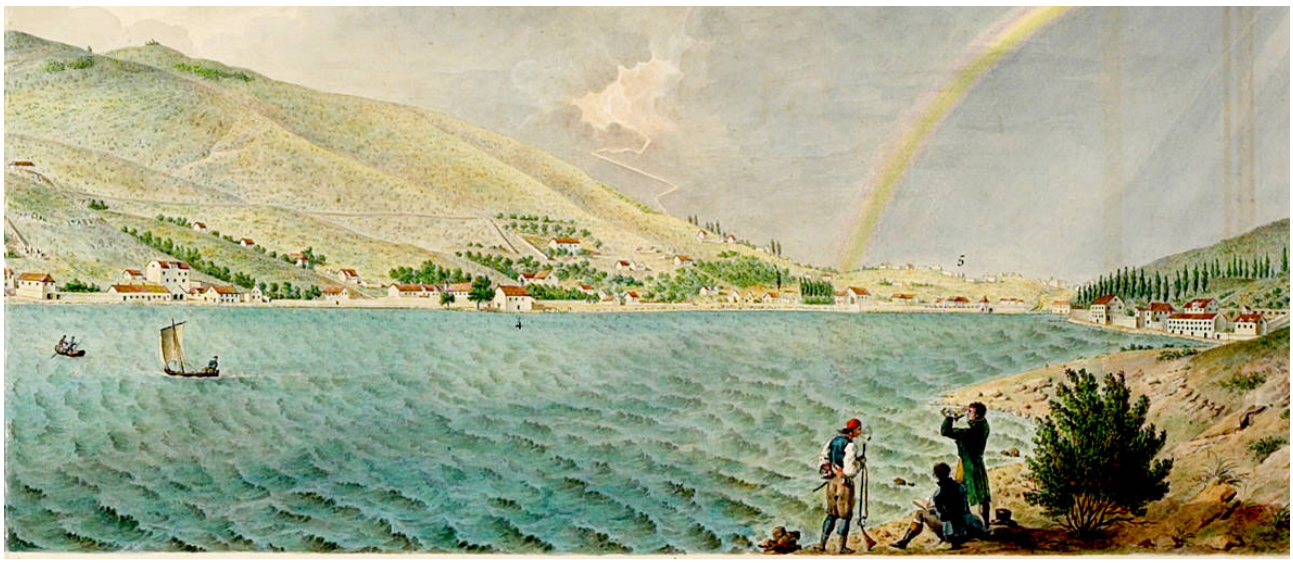
- des secrétaires, qui enregistrent dans des cahiers les observations faites à terre et en mer,
- des sondeurs, qui sondent selon des méthodes différentes des sondages de navigation,
- des patrons d'embarcations qui doivent savoir suivre des alignements et accoster des roches isolées ou des points de la côte avec du vent et du courant.

Chaque fois qu'un bâtiment est mis à la disposition d'un ingénieur pour une mission, celui-ci doit procéder à la formation des officiers et des hommes d'équipage qui travailleront avec lui, et qu'il ne reverra sans doute jamais.

A partir de 1889, lorsque les missions sur les côtes de France deviennent plus régulières, le Service obtient que la partie de l'équipage spécialisée en hydrographie soit réservée pour la campagne suivante. Il se forme ainsi, petit à petit, un noyau de quartiers-maîtres et matelots timoniers et gabiers qui peuvent ensuite former les nouveaux venus. Ceux d'entre eux qui montrent des dispositions pour le dessin sont même appelés au Dépôt pendant l'hiver pour aider aux travaux de rédaction. Les ingénieurs peuvent également leur confier des opérations élémentaires sur le terrain, leur permettant ainsi de se consacrer aux opérations plus importantes.

Du personnel civil participe également aux travaux :

- des dessinateurs (ce sont en général ceux du Dépôt) au temps de Beautemps-Beaupré puis à nouveau à la fin du siècle ; ils travaillent à terre, dans un local loué sur place,
- des observateurs de marée,



6 - opération de topographie : (de gauche à droite) un guide, le secrétaire, l'ingénieur hydrographe - détail du plan du port de Gravosa et de la rivière d'Ombla levé en 1809 - dessin de Portier en 1810 - Cote Marine 6JJ/54/ter PieceAct.22
Source Archives nationales

et parfois :

- des patrons d'embarcation,
- des guides locaux,
- dans les pays chauds, des autochtones pour accomplir les tâches pénibles : portage de matériel et armement d'embarcations.

Enfin les pêcheurs et pilotes de l'endroit sont interrogés sur la présence de hauts fonds dans les zones qu'ils fréquentent.

Navires hydrographiques

En dehors des cas où les travaux s'effectuent en embarcation à proximité d'un port ou d'un abri, les missions hydrographiques nécessitent l'utilisation d'un navire. Celui-ci permet de transporter le personnel et les équipements, de subvenir aux besoins du personnel (logement, alimentation, hygiène), de mettre à l'eau les embarcations et, si son aménagement le permet, de procéder aux contrôle des travaux dans un local disposant d'une table à dessin.

Pour le levé du Pilote français, Beautemps-Beaupré fait construire des goëlettes spécialement aménagées : la *Recherche* et l'*Astrolabe*, ainsi que des canots et des péniches. Mais, la plupart du temps, la marine met à disposition des ingénieurs hydrographes les bâtiments qui sont disponibles : gabarres, avisos, canonnières, etc. Il faut attendre 1880 pour disposer d'un navire construit spécialement pour l'hydrographie : la *Chimère* (250 tonneaux). En 1885 et 1898 on construit des chaloupes à vapeur pour servir d'annexes à la Chimère (la *Fourmi*, la *Sentinelle* et le *Compagnon*).

Aux colonies, les ingénieurs utilisent des navires divers mis à leur disposition. Quelques-uns de ces navires sont aménagés spécialement pour l'hydrographie, comme la *Rance*, un ancien aviso-transport aménagé en 1899.



7 - la Chimère, navire construit spécialement pour l'hydrographie en 1880 - source : Shom

Les levés sous le consulat et l'empire

De 1799 à 1812 Beautemps-Beaupré et ses ingénieurs effectuent plusieurs levés :

- en Mer du Nord en 1799, 1802, 1805, 1811, 1812 et 1813
- sur l'Escaut en 1799, 1801, 1802, 1803 et 1807

- en Manche en 1804
- en Adriatique en 1806, 1808 et 1809

De son côté, Raoul, officier de marine ayant participé aux levés de Beautemps-Beaupré et futur ingénieur, effectue des levés en Gironde pour le balisage des passes en 1810 et en 1815.



8 - reconstitution d'une séance de sonde vers 1804 : (de gauche à droite) le patron de la chaloupe, l'ingénieur hydrographe, le secrétaire, les hommes de nage, le sondeur
Photo I. Delumeau - 2019

Le pilote français

Peu après la modification du corps des ingénieurs hydrographes en 1814, le directeur du Dépôt propose au ministre de commencer, en 1815, la reconnaissance hydrographique des côtes de France, les cartes en service étant fausses ou incomplètes. Le travail doit durer 15 ans et revenir à 900 000 francs. « Toute la côte serait levée à l'échelle du 1/25 000 ; les cartes nouvelles particulières comprendraient 26 feuilles, y compris celles de la Méditerranée ; elles seraient accompagnées d'instructions nautiques. Les moyens d'exécution consisteraient en deux bâtiments de 40 à 50 tonneaux et quelques grands canots de frégate. Le chef de la mission aurait sous ses ordres six ingénieurs et un dessinateur ; il formerait lui-même ses équipages avec des hommes destinés au pilotage et des pêcheurs ; ces équipages comprendraient quatre observateurs de marée, quatre anciens pilotes côtiers pour servir de patrons aux bâtiments et aux embarcations, quatre matelots sondeurs et trente-deux matelots de pont. Les opérations dureraient du 1er mai à la fin d'octobre. »

Le ministre approuve ce plan, mais le retour de Napoléon en France en 1815 retarde l'exécution des travaux, qui ne commencent qu'en 1816. On construit à Brest deux goëlettes de 50 tonneaux, la *Recherche* et l'*Astrolabe*. Beautemps-Beaupré en dessine les aménagements : une grande chambre à l'arrière pour le chef de la mission et des chambres pour les ingénieurs, le capitaine et le second. Les travaux à la mer sont effectués par deux grandes péniches, des canots à dix avirons et des bateaux de pêche loués à l'occasion.

Le levé dure en fait 29 ans. Presque chaque année, de 1816 à 1845, entre 8 et 13 ingénieurs hydrographes et élèves travaillent à la belle saison sur les côtes de France, le plus souvent aidés par quelques officiers ou élèves de la marine :

- d'Ouessant aux côtes d'Espagne (1816 à 1826)
- de Granville à Bréhat (1829 et 1830)
- de Granville à la frontière de Belgique (1831 à 1836)
- de Bréhat à Ouessant (1837 et 1838)



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

9 - carte (générale) levée en 1831 et 1832 : de cap Fréhel à Carteret - Pilote français, quatrième partie - 1838
Cote GE CC-1197
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Le levé se poursuit en Méditerranée, avec 5 ingénieurs et élèves, de 1839 à 1842 puis en 1845.

En 1828 et 1829, un levé des sondes d'atterrages au large de la côte atlantique est effectué par un ingénieur hydrographe, deux élèves et des officiers de marine ayant participé aux premiers travaux. Ce levé doit permettre aux navigateurs de recaler leur latitude avant d'être en vue de la terre. Un levé similaire est effectué en Méditerranée en 1844 par 3 ingénieurs et élèves.

Des travaux complémentaires ont lieu en Manche à partir de 1840 : étude de la côte, jusqu'en 1845, en vue de la rédaction des instructions nautiques, sondages, observation des courants et de la marée au large par un officier de marine jusqu'en 1841.

Dupin, dans un discours de 1820 sur les progrès des sciences et des arts de la marine française depuis la paix, indique que l'ingénieur Daussy est chargé de rattacher par des opérations astronomiques la position des points principaux de la côte à la triangulation de Cassini. D'autres ingénieurs exécutent les travaux de géodésie pour fixer la position des amers. L'ingénieur en chef (Beautemps-Beaupré) est embarqué sur les navires d'observation avec les officiers qui l'accompagnent et dirige les opérations qui sont faites à la mer. Pendant ce temps, on observe la marée de quart d'heure en quart d'heure.

Les grandes chaînes de triangles des ingénieurs géographes n'ayant pas encore atteint la mer, l'ingénieur hydrographe Daussy a dû mettre en place des grands triangles de Brest à la frontière d'Espagne. Il a observé les angles avec des cercles répétiteurs de Gambey. Les triangles ont été calés par une mesure de latitude. La longitude a été prise dans la *Connaissance des temps*, mais une erreur d'interprétation du point de référence y a introduit un biais de 50 secondes qui ne sera corrigé que plus tard.

Les premières cartes paraissent en 1821. Le Pilote français des côtes Ouest et Nord paraît par parties en 1822, 1829, 1832, 1838, 1841 et 1843.

Les cartes du Pilote français comportent des alignements sur les dangers, comme cela se faisait au XVIIe siècle (cf. *Lever et dresser une carte marine selon Ozanam* dans le chapitre 4). Cette innovation déplaît aux navigateurs qui auraient préféré y voir figurer les alignements sur les chenaux à suivre pour naviguer sans danger. Une autre innovation est la suppression des aires de vent (le marteloire) sur les cartes particulières. Beautemps-Beaupré rapporte qu'un assez grand nombre de navigateurs de commerce ont adressé une réclamation à ce sujet au directeur du dépôt général de la marine. Il justifie cette suppression par la confusion qui en serait résulté sur les cartes, avec les alignements sur les dangers et le carroyage en latitude et longitude. Par contre, les sondes restent exprimées en pieds, les marins n'étant pas encore habitués au nouveau système métrique.

Globalement, le Pilote français est très bien accueilli en France et à l'étranger et couvre de gloire Beautemps-Beaupré et le corps des ingénieurs hydrographes (voir encadré n° 2). Dans une intervention à la chambre du 6 juin 1837, à propos de la menace de réduction d'effectif pesant sur le corps des ingénieurs hydrographes (voir plus bas), le député et homme de science Arago fait l'éloge du



10 - détail de la carte particulière levée en 1830 et 1831 : île Bréhat... - Pilote français, quatrième partie - 1838
Cote GE CC-1197 - /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Encadré n°2 : rapport du directeur général du Dépôt au ministre, vers 1821

Ce premier fruit des grands travaux des ingénieurs hydrographes sur la portion la plus fréquentée, et sans contredit la plus importante à la Marine militaire, sera fait pour donner une idée avantageuse de la précision que l'on a mise à les exécuter. Ce grand travail, devenu nécessaire pour que les cartes de nos côtes puissent supporter la comparaison avec la nouvelle carte de France dont s'occupe le Dépôt de la Guerre, sera un exemple honorable que nous donnerons à nos voisins, qui n'auront rien fait dans ce genre qui puisse lui être comparé [...] A en juger par les observations qui lui servent de base, le levé de nos côtes tient à ce que la pratique a de plus délicat et la science de plus élevé ! D'un autre côté, lorsqu'on songe aux détails auxquels il faut se livrer, aux dangers que l'on doit braver dans de petites embarcations, au milieu de la multitude d'écueils dont nos côtes sont parsemées, on reconnaîtra sans peine qu'une pareille reconnaissance exige autant de lumières, de talent et de résolution que celles qui se font au loin, sur des bâtiments d'une certaine grandeur, quoique ces dernières jettent en général un plus grand éclat. Cependant elles sont exemptes d'une difficulté particulière et qui est propre à la reconnaissance de nos côtes.

Dans les campagnes de découverte, on passe légèrement sur certains détails, lorsque l'on est contrarié par le mauvais temps : le grand objet est de s'occuper des masses. Sur nos côtes, au contraire, dont l'ensemble nous est bien connu, il ne faut penser qu'aux détails et en visiter tellement toutes les parties que l'on puisse se flatter de n'avoir laissé échapper aucun écueil, ni aucun des mouillages où un bâtiment en danger pourrait se réfugier. Il faut, pour y parvenir, s'engager, avec des courants violents, au milieu de groupes de rochers entremêlés, dont, auparavant, peu de bateaux avaient osé s'approcher. On doit fixer les lieux dont l'accès sera interdit pour toujours et dévoiler la route qui conduit à des asiles ignorés jusqu'alors ou connus seulement d'un petit nombre de pilotes côtiers. Tous les genres de recherches dont on vient de parler ont été faits pendant les reconnaissances de M. Beautemps- Beaupré.

Les ingénieurs chargés sous le règne de Louis XIV de lever les côtes de France ne s'étaient occupés que des grandes et larges passes fréquentées par tous les vaisseaux. Ils avaient considéré les amas de rochers ou d'écueils rassemblés les uns près des autres comme un seul écueil, dont ils ont marqué les limites par des méthodes moins précises que celles d'aujourd'hui, et ils ont ainsi interdit l'approche de la masse entière. Ce parti, d'une prudence très louable à la vérité puisqu'il a préservé depuis un siècle notre navigation de graves accidents, pouvait nous priver de quelques ressources, et cette privation a pu en occasionner d'autres qu'une connaissance exacte de nos côtes aurait fait éviter.

Aujourd'hui on reconnait en détail tous les groupes de rochers ou de bancs ; lorsque ce grand travail sera terminé, il augmentera considérablement la sûreté de la navigation, car il n'y a presque pas de passe où l'on n'ait découvert de roches sous l'eau qui n'étaient pas marquées sur les anciennes cartes et n'étaient connues que de quelques pêcheurs qui les regardaient comme les indices de lieux favorables à leur pêche, mais les pilotes généralement n'en avaient pas entendu parler.

On a lieu d'être surpris que les accidents n'aient pas été plus fréquents, quand on songe aux risques que les grands vaisseaux ont courus sans le savoir, dans les environs de Brest.

Corps : « Messieurs, parmi les corps entretenus par l'Etat, il en est un qui a pris pour devise la contre-partie d'un adage vulgaire ; il fait, lui, beaucoup de besogne et très peu de bruit... Il y a, en France, vingt ingénieurs hydrographes ou élèves. Dans ce nombre figurent un ingénieur en chef et un ingénieur en chef-adjoint. Je les nommerai ; car se sont des notabilités dans la marine et dans le monde entier : l'ingénieur en chef est M. Beautemps-Beaupré ; l'ingénieur-adjoint est M. Daussy... en peu d'années ils ont publié, non pas comme compilations, mais comme résultat de leurs travaux, quatre-vingt-dix-neuf grandes cartes, cent-soixante-douze vues de côte prises sur les dangers, quatre-vingt-onze tableaux d'observation de marée. Tous ces travaux sont exécutés avec une précision extrême et par des méthodes nouvelles...

Il est bien rare, dans l'état actuel du monde, qu'un pays puisse, en quoi que ce soit, dire sans hésiter qu'il est au premier rang. Prétendez-vous à ce privilège en chimie, vos adversaires citeront un savant Suédois ; parlez-vous de mathématiques, on vous oppose des noms allemands, et ainsi de suite pour chaque branche des connaissances humaines. Eh bien ! Ce premier rang si envié, si contesté, vous pouvez vous l'attribuer hardiment en hydrographie ; les étrangers eux-mêmes vous l'accordent. J'ai reçu naguère du chef si distingué du bureau hydrographique de l'amirauté anglaise, de M. le capitaine Beaufort une lettre dans laquelle il proclame hautement que les travaux hydrographiques exécutés, sous la direction de M. Beautemps-Beaupré, par le corps des ingénieurs hydrographes sont les plus parfaits qu'on

connaisse ; M. Beaufort ajoute que tous les hydrographes sont maintenant *les élèves*, je rapporte ses propres expressions, les élèves des hydrographes français… »

La révision des côtes de France

Première révision

Malgré leur valeur, on constate dès 1848 que les cartes du Pilote français ne représentent plus la réalité : à certains endroits le fond à changé, les constructions nouvelles pouvant servir d'amer ne figurent bien sûr pas sur les cartes et les positions des nouveaux phares et balises, données par le service des travaux publics, sont trop imprécises.

En 1850, une reconnaissance de la Loire montre des changements considérables. Le comité consultatif est saisi et se résout à corriger les cartes du Pilote français, considérées pourtant comme « un monument impérissable ».

Le directeur du Dépôt écrit au ministre : « Les travaux si remarquables de M. Beautemps-Beaupré sont devenus surannés. Votre Excellence sait combien notre côte a changé et elle est convaincue que la Marine qu'elle dirige ne peut rester en arrière de celles des autres nations qui, pour la plupart, font le relevé de leurs côtes avec soin et même avec un luxe d'exécution dont nous ne cherchons pas à approcher mais qui montre l'importance d'avoir pour notre littoral des cartes qui portent tout ce qui est nécessaire à la navigation … ».

Il est question un temps d'affecter un ingénieur hydrographe à chaque arrondissement maritime pour déterminer la position des phares et des balises, mais cela ne se concrétise pas. Aussi, le Dépôt envoie-t-il des missions de révision sur les côtes Ouest, Nord et Sud.

Un problème important lié aux révisions est que les signaux mis en place pour le levé original ont souvent disparu. Certains points remarquables ont été démolis, d'autres ont été déplacés. Il faut donc recommencer les travaux de préparation. Cependant la France est maintenant couverte par les triangles des ingénieurs géographes et une grande triangulation n'est plus nécessaire.

La révision de la côte Ouest est effectuée de 1864 à 1868 par un ingénieur et trois sous-ingénieurs. A la suite du levé, le chef de la mission rédige une instruction nautique, le *Pilote des côtes Ouest de France*, dont le premier tome est publié en 1869.

La révision des côtes Nord démarre en 1865 avec un ingénieur, un élève et un enseigne de vaisseau, renforcés plus tard par un sous-ingénieur et un autre élève. Les travaux durent jusqu'à l'entrée en guerre en 1870. En plus des nombreuses corrections de cartes, la mission permet la publication de deux volumes d'instructions nautiques en 1876 et 1884.

D'autres missions de révision, plus localisées, sont effectuées dans les années 1880.

En Méditerranée, la révision commence en 1872. Elle mobilise 3 sous-ingénieurs. Les travaux se terminent en mai 1873.

Les cartes sont refondues : on transforme les sondes, qui étaient en pieds, en mètres, et on corrige les longitudes des cartes de la côte Ouest. Le travail concerne 137 planches de cuivre, demande beaucoup d'effort et fait appel aux techniques les plus récentes : reports lithographiques, galvanoplastie.

Seconde révision

Une nouvelle révision des cartes est nécessitée par l'évolution des navires et des usages. Rollet de l'Isle indique que Beautemps-Beaupré, ayant à lever une grande étendue de côtes pour le Pilote français, n'avait pu effectuer des sondages systématiques. Il avait limité le nombre de lignes de sonde au strict nécessaire pour étudier les passes et les mouillages. Il sondait autour des dangers connus et délimitait les zones où les voiliers ne devaient pas s'aventurer.

L'arrivée de la machine à vapeur permit aux navires de naviguer dans des eaux où les voiliers, manquant d'espace pour évoluer, ne se risquaient pas. La doctrine d'emploi des torpilleurs leur faisait fréquenter des zones de faible profondeur. Les tirants d'eau des navires étaient en augmentation, en particulier ceux des cuirassés. Enfin, il fallait tenir compte des tous récents sous-marins.

Des accidents de torpilleurs et de cuirassés sur des hauts fonds ou des roches inconnus montrèrent les limites des cartes disponibles :

- date indéterminée : échouage du *Bouvet* aux abords de Brest
- 1er mars 1887 : le garde-côte cuirassé le *Fulminant* déchire sa coque sur 18 mètres dans le chenal du Four près de Brest
- 1892 : le *Magellan* rencontre 2,7 m dans des fonds de 11 à 16 m à l'entrée de Brest
- 13 novembre 1895 : trois cuirassés de l'escadre de la Méditerranée s'échouent sur un haut fond en rade d'Hyères

- 1896 : le cuirassé *Hoche* a un accident à Molène

- 23 décembre 1896 : le cuirassé *Charles Martel* s'échoue sur un haut fond de 3,7 m dans des fonds de 9 à 13 m à l'entrée de Brest

- 1897 : le cuirassé *Infernet* touche sur un haut fond dans le golfe Juan

- 13 mai 1898 : le cuirassé *Hoche* est gravement endommagé par une roche inconnue de 6 m dans des fonds de 15 m dans la passe de la Teignouse à Quiberon

Ces accidents entrainèrent des missions de contrôle des zones incriminées. Avec le temps, le Service se rendit compte qu'il était nécessaire d'exécuter une révision complète des côtes de France.

Cette révision commença en 1894 par le levé des ports militaires et des parages intéressant la marine pour répondre aux besoins des torpilleurs et des sous-marins. En Méditerranée, elle s'effectua de 1895 à 1898 avec 5 ingénieurs et élèves. Elle incluait le levé de 152 plans de mouillage pour les torpilleurs. La révision se poursuivit par la zone allant de Brest à la Loire, puis par les côtes de la Mer du Nord et du Pas de Calais. Ces nouveaux levés permirent de découvrir de nombreux dangers.

Les autres levés sur les côtes de France

De 1815 à la fin du XIXe siècle, des levés sont effectués localement sur les côtes de France. Ils concernent les accès aux ports, incluant les estuaires des fleuves. Quelques levés sont effectués par des officiers de marine mais le plus souvent un ingénieur en a la charge, éventuellement assisté de sous-ingénieurs ou d'élèves.

Ces levés sont nécessités par les changements fréquents du relief sous-marin à l'embouchure des fleuves (Gironde, Baie de Seine, Loire, Charente, etc.), les problèmes d'accès aux ports (à titre d'exemple, la rade de Saint-Jean-de-Luz fait l'objet de levés en 1856, 1864, 1873, 1876 et 1882) ou les projets d'aménagement des grands ports de commerce. Certains de ces travaux sont demandés par les services maritimes des travaux publics, qui concourent alors pour mettre en place les échelles de marée et pour fournir les embarcations. Il existe en effet une limite de responsabilité des eaux entre le ministère de la marine et celui des travaux publics, qui fait l'objet de plusieurs textes règlementaires au cours du XIXe siècle. De nos jours, le décret n° 59-951 du 31 juillet 1959 porte fixation des limites des affaires maritimes dans les estuaires, fleuves, rivières et canaux fréquentés par les bâtiments de mer.

Les levés de la Corse

Un premier levé de la Corse est fait par le capitaine de frégate Hell de 1820 à 1824, sans le concours des ingénieurs hydrographes. Son levé s'appuie sur la triangulation effectuée par les ingénieurs géographes en 1791 et sur leurs cartes du cadastre. La carte de la Corse est publiée en 1831. Elle incorpore le détail topographique du littoral provenant d'une carte publiée en 1824 par le dépôt de la guerre.

A la suite de l'échouage d'un paquebot et du signalement de nombreux dangers ne figurant pas sur la carte de 1831, un nouveau levé partiel est effectué en 1884. Les signaux de 1820 ayant disparu et la topographie étant à refaire, la décision est prise de refaire un levé complet. Il est effectué par un ingénieur hydrographe assisté de sous-ingénieurs et d'élèves, de 1884 à 1891.



11 - carte générale de l'île de Corse levée de 1820 à 1824 - publiée en 1831 - Source Shom

Les levés aux colonies

La France se constituant au XIXe siècle un empire colonial, de nombreux travaux hydrographiques sont effectués pour en établir les cartes marines. L'hostilité des indigènes et l'état de guerre obligent parfois les hydrographes à ne travailler qu'à partir de la mer, sans mettre le pied à terre.

En Amérique les levés concernent :

- la Martinique (1824-1825, 1873-1874)
- Saint Pierre et Miquelon (1841)
- la Guadeloupe (1867-1869)
- Terre-Neuve (1892)

En Méditerranée :

- l'Algérie (1831-1833, 1843-1846, 1857)
- la Tunisie (1882-1886)

Ailleurs dans le monde :

- l'Indochine (1857-1870, 1873-1887, 1896)
- Madagascar (1847-1851, 1861-1864) - à partir de 1887, une mission hydrographique à caractère permanent y est mise en place
- les îles Marquises et Tahiti (1843-1847, 1849-1850)
- la Nouvelle-Calédonie (1854-1858)

Les levés à l'étranger et les voyages d'exploration

Les ingénieurs hydrographes ont participé aux opérations suivantes (les noms indiqués sont les noms des officiers de marine commandant les bâtiments) :

- Méditerranée et Mer Noire : Gauttier avec la *Chevrette* (1816-1820)
- côte ouest d'Afrique et du Brésil : Roussin avec la *Bayadère* et le *Lévrier* (1816-1820)
- Brésil : Barral avec l'*Emulation* (1829-1832)
- tour du monde : Vaillant avec la *Bonite* (1835-1837)
- tour du monde : Dupetit-Thouars avec la *Vénus* (1836-1839)
- Pôle Sud et Océanie : Dumont-Durville avec l'*Astrolabe* et la *Zélée* (1837-1840)
- Scandinavie avec la *Recherche* (1839-1840)
- Méditerranée (banc des Esquerquis) : Bonard avec le *Volage* (1840)
- Sardaigne : Jurien avec la *Comète* (1841-1842)
- Chine : Cécille avec l'*Erigone* (1841-1844)
- Mers de Chine (1843-1847)
- côte ouest d'Italie (1846-1858)
- côte occidentale d'Afrique (1848-1851)
- Brésil (1850-1851)
- détroit de Gibraltar et côtes voisines du Portugal, du Maroc et de l'Espagne (1852-1855)
- Mer Noire pendant la guerre de Crimée (1853-1855)
- Egypte (1861 et 1872)

Plusieurs voyages d'exploration ont été l'occasion de travaux hydrographiques effectués uniquement par des officiers de marine :

- Terres Australes : Baudin avec le *Géographe* et le *Naturaliste* (1800-1803)
- hémisphère sud : Freycinet avec l'*Uranie* (1817-1820)
- hémisphère sud : Duperrey avec la *Coquille* (1822-1825)
- océans Indien et Pacifique : Bougainville avec la *Thétis* et l'*Espérance* (1824-1826)
- océan Pacifique : Dumont-Durville avec l'*Astrolabe* (1826-1829)
- océan Pacifique : Le Gorant de Tromelin avec la *Bayonnaise* (1827)
- côte occidentale d'Afrique : Le Prédour avec la *Lilloise* (1829-1830)
- hémisphère sud : Laplace avec la *Favorite* (1829-1832)
- Terres Australes : Cécille avec l'*Héroïne* (1837-1839)

A partir de 1840, les voyages d'exploration cessent mais les contributions des officiers de marine à l'hydrographie restent importantes, en particulier celles de l'amiral Mouchez qui leva les côtes du Brésil en 1854 puis celles de l'Algérie de 1869 à 1873.

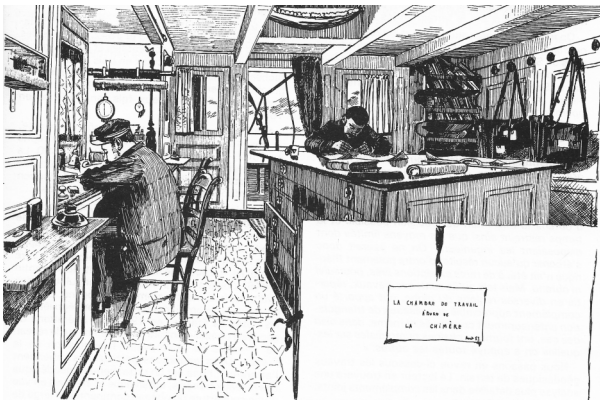
Les travaux spéciaux

De 1855 à 1884 le Dépôt participe à la pose des câbles sous-marins permettant la communication

par télégraphe entre les continents, ou entre le continent et les îles, en effectuant des sondages et des études particulières.

Les ingénieurs hydrographes participent également à l'établissement des bases de vitesse pour la recette des navires de guerre (les vitesses y sont mesurées au centième de nœud).

Enfin, les ingénieurs hydrographes participent régulièrement à des commissions nautiques pour donner leur avis sur les projets de travaux maritimes.



12 - la salle de dessin de la Chimère - illustration de A. Bouquet de la Grye - 1887

Difficultés rencontrées par le Dépôt

Effectif insuffisant

L'effectif du corps des ingénieurs hydrographes, qui est de 11 en 1800, atteint en 1824 le nombre de 21, ce qui représente son maximum au XIXe siècle. L'effectif moyen sur la période 1824 à 1900 s'établit entre 18 et 19 ingénieurs et élèves.

Même avec le renfort d'officiers de marine, il faut 30 ans pour lever les côtes de la France (hors Corse). Et il faut également produire des cartes pour les autres territoires et les colonies, ce qui représente un effort encore plus grand.

La formation des officiers de marine affectés temporairement à l'hydrographie prend du temps et est à refaire pour chaque nouvel arrivant. De plus, les responsabilités du Dépôt augmentent et occupent plusieurs ingénieurs à Paris.

Or, dès 1837, les députés s'inquiètent de l'effectif trop nombreux du corps des ingénieurs hydrographes. Le rapport de la commission qui examine le budget de la marine indique : « Votre commission a dû voter le crédit sans hésiter ; mais elle s'est préoccupée de la question de savoir si, après l'achèvement de la reconnaissance hydrographique des côtes de France, la marine devait entretenir, au dépôt des cartes et plans, un personnel aussi nombreux que celui qui vous est aujourd'hui proposé. Elle considère que, dès à présent, nul accroissement de ce personnel ne serait admissible, le dépôt pouvant s'aider, et s'aidant en effet avec succès de la capacité spéciale de ceux des officiers de la marine qui se sont adonnés plus particulièrement à la levée des cartes et des plans. Elle s'étonne que l'organisation du corps des ingénieurs hydrographes soit telle, que le dernier élève doive, avec l'aide du temps, arriver infailliblement à l'emploi d'ingénieur en chef. »

Le 6 juin, le député Arago prend la défense du corps à la Chambre : « … On a dit que les ingénieurs hydrographes n'auront plus rien à faire aussitôt que les cartes de nos côtes occidentales seront terminées ; il paraîtrait en effet, que d'après l'activité qu'on y apporte, cet ouvrage sera fini dans deux ans. Mais M. le rapporteur de la commission sait aussi bien que moi que les travaux hydrographiques sont la toile de Pénélope, que c'est toujours à recommencer… » Arago parle alors des bancs de sable changeants à l'embouchure des fleuves, puis des études des courants et des tempêtes près des ports, des côtes de la Méditerranée, des cartes de compilation, de l'outre-mer…

Malgré son intervention, les même remarques sont formulées l'année suivante « La reconnaissance hydrographique des côtes de France se poursuit sous la direction et la surveillance du savant M. Beautemps-Beaupré, dont le nom, devenu européen, est désormais attaché à l'une des Gloires de la France. Ce grand et précieux travail doit cependant avoir un terme qu'il serait possible d'indiquer… »

Ces discussions ont de quoi inquiéter les ingénieurs. En 1840, Beautemps-Beaupré écrit dans une note : « Le Corps des Ingénieurs hydrographes est-il organisé de manière à rendre aujourd'hui à la Marine tous les services qu'elle est en droit d'attendre des hommes distingués qui le composent ? Je ne le pense pas…

Ces ingénieurs ne faisant pas partie du Corps des Officiers militaires et, pour cette raison, ne pouvant jamais être chargés de la direction des travaux hydrographiques qui exige l'emploi des grands bâtiments de l'Etat, seront bientôt condamnés à ne plus servir qu'en sous-ordre, trop heureux quand ils seront donnés pour collaborateurs à des officiers capables d'apprécier des hommes devenus habiles par de longs et laborieux travaux.

Je vois dans les Officiers de Marine un corps nombreux et instruit qui peut rendre les plus grands services aux sciences et notamment à l'hydrogra-

phie, et dans les Ingénieurs hydrographes un petit corps spécial, dont les membres, après avoir exécuté des travaux, auxquels les Officiers de la Marine ne peuvent refuser leur approbation, sont arrivés prématurément à désespérer de leur avenir.

Après avoir mûrement réfléchi sur cette affaire, je suis resté convaincu qu'une fusion du petit corps des ingénieurs hydrographes dans le grand corps militaire de la Marine était devenue nécessaire… »

Des projets ultérieurs de même nature sont formulés, mais aucun n'aboutit.

En 1894, une commission d'enquête parlementaire sur la marine entend l'ingénieur hydrographe en chef Manen au sujet du corps des ingénieurs hydrographes. Manen demande de porter le nombre d'ingénieurs à 25 et de mettre à leur disposition un personnel secondaire spécialisé. Peu après, le ministère prépare un projet de loi pour les cadres des corps assimilés. L'ingénieur hydrographe en chef Heraud rédige un projet portant le nombre des ingénieurs à 31 et prévoyant un personnel secondaire comprenant des officiers-mariniers hydrographes et des adjudants principaux hydrographes. Il demande également de faire des ingénieurs des officiers pouvant commander leur bâtiment. Ces deux derniers points sont vivement critiqués et la situation reste inchangée.

Problème de direction des travaux

Il existe un flou pendant un certain temps sur le statut militaire des ingénieurs hydrographes (voir annexe A3). Aucun texte ne règle leurs rapports avec le commandant du navire sur lequel ils travaillent. D'après le règlement, ils sont dans la situation d'officiers passagers. Sur les côtes de France, les bâtiments affectés à l'hydrographie sont commandés par des premiers-maîtres, des pilotes ou des pilotes-major, qui ont donc un rang inférieur à celui de l'ingénieur. Cela facilite pour ce dernier l'utilisation du personnel et du matériel qui restent sous la responsabilité du commandant du navire et sous son autorité.

Aux colonies, le commandant du bâtiment peut être d'un rang supérieur à celui de l'ingénieur. Dans les premiers temps, l'ingénieur pouvait toutefois correspondre directement avec le ministre. Par la suite, on convint que ni le commandant, ni l'ingénieur ne porteraient le titre de chef de mission. Les instructions techniques préparées par le service hydrographique à destination du ministre étaient remises au commandant qui les communiquait à l'ingénieur. Les rapports mensuels étaient rédigés par le commandant qui les adressait au commandant de division pour envoi au ministre.

Difficultés techniques

La localisation des navires et des embarcations qui sondent étant effectuée par des moyens optiques, il se pose un problème lorsque les travaux doivent se faire hors de vue de terre. Les ingénieurs hydrographes utilisent alors des signaux flottants ou des navires relais, comme dans le cas du levé du plateau de Rochebonne (voir encadré n°3).



13 - mise en place d'une balise flottante - Madagascar, années 1960 - photothèque Amhydro - P. Nicolas

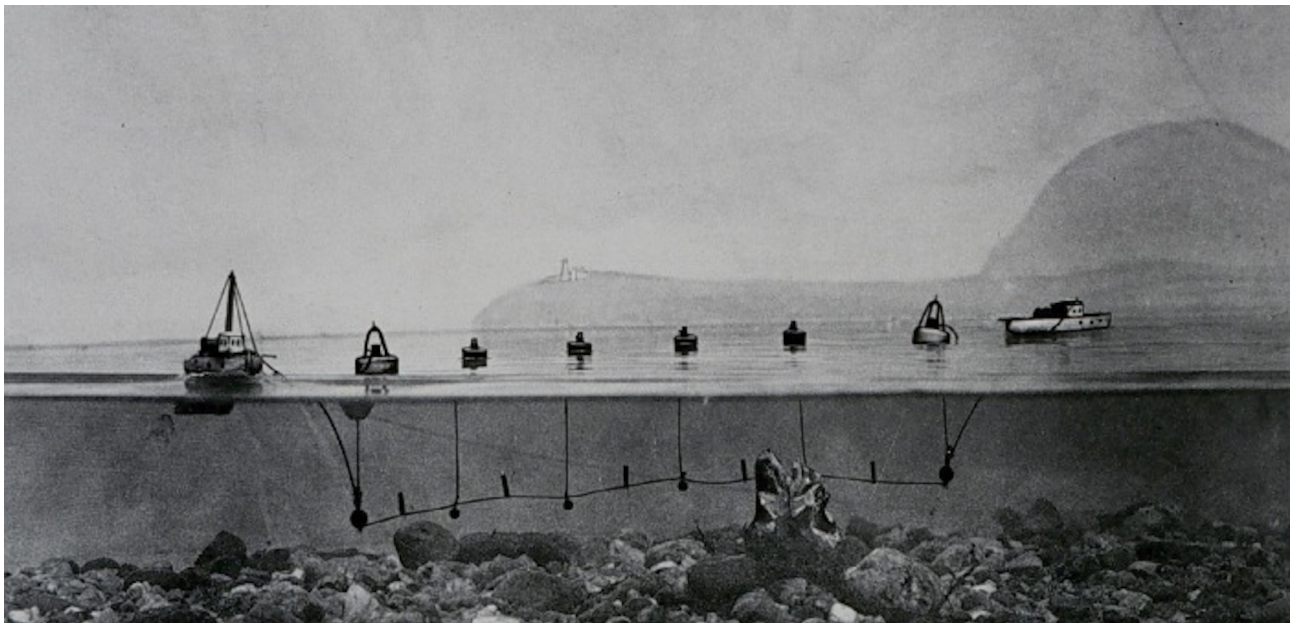
Si l'hydrographie s'est modernisée dans son ensemble depuis la fin du XVIIIe siècle, les sondages reposent toujours sur l'antique plomb de sonde. Au cours du XIXe siècle, des sondeurs adaptés aux grandes profondeurs apparaissent, mais pour les petits fonds, ceux qui présentent un danger pour les navires, il n'y a aucune évolution technique. L'ingénieur Renaud écrit en 1902 : « Dans certains pays, notamment sur les côtes de Bretagne, les roches sont de véritables aiguilles que les méthodes habituelles de sondage sont impuissantes à découvrir ; si même on réussit à trouver la tête du haut-fond, le plomb de sonde glisse sur le goémon qui le recouvre, et il est très difficile d'avoir le brassiage exact du sommet. »

Certains de ces hauts fonds sont connus des pêcheurs. Pour les inciter à les porter à la connaissance du service hydrographique, une prime de découverte d'écueil est instituée en 1898. Elle va de 10 à 200 francs selon l'emplacement et la profondeur du danger.

Les sondages réguliers, sur des lignes de sonde parallèles assez rapprochées, permettent, après leur report sur un plan, de connaître l'allure générale du fond. Il faut revenir ensuite avec plusieurs canots, et à un moment favorable, pour sonder de manière plus serrée les points les plus élevés, révélés par le sondage régulier, afin d'en déterminer la profondeur exacte.

Des dangers échappant malgré tout à cette recherche systématique, l'ingénieur Renaud invente vers 1884 une drague flottante. Elle

consiste, écrit-il, « en une sorte de grand filet tendu en travers du courant, qui dérive si le chenal est dégagé, mais qui s'arrête s'il rencontre un obstacle ». La mise en œuvre de la drague est assez délicate, mais elle permet en général de garantir une profondeur minimale dans un chenal. Le dragage hydrographique sera beaucoup employé dans la première moitié du siècle suivant.



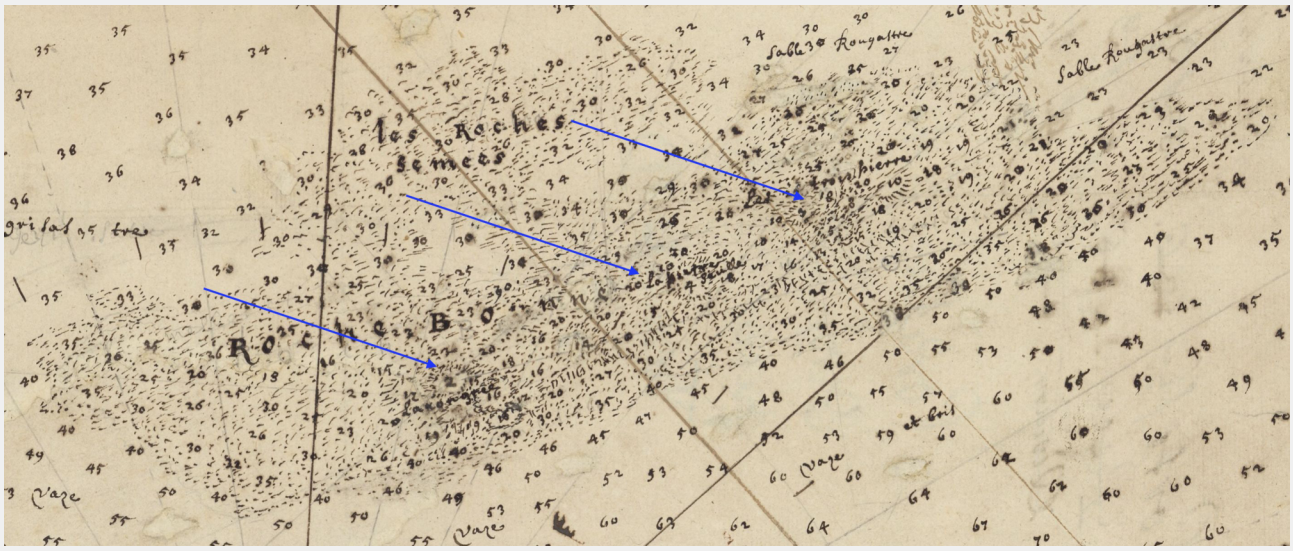
14 - drague américaine - illustration du NOAA vers 1920 - NOAA image / Public domain

Encadré n°3 : le Plateau de Rochebonne, un levé difficile

La première exploration du plateau de Rochebonne, un haut fond situé à 35 nautiques à l'ouest de l'île de Ré, hors de vue de terre, et s'étendant sur près de 100 km2, est effectuée en 1670 par l'ingénieur La Favolière. Sur la carte de la page suivante (illustration 15), le Nord est à 315° environ (dans la direction des deux traits noirs parallèles). Les sondages détectent trois têtes orientées nord-ouest sud-est : La Congrée (3,5 m), Pierre-Levée (6,5 m) et Roches-Semées (5,5 m), qui seront appelées dans la suite du texte : T1, T2 et T3.

En 1824, Beautemps-Beaupré lève le plateau avec une gabarre, l'*Infatigable*, qui vient mouiller sur le plateau le 18 juillet. Le brick l'*Alsacienne* mouille en vue des Sables d'Olonne et annonce qu'il voit l'*Infatigable* au mouillage. La position de la gabarre est alors déterminée du 19 au 21 juillet par triangulation à partir d'une goëlette, située en vue à la fois des Sables d'Olonne et de la gabarre, et d'observateurs à terre sur l'île de Ré, l'île d'Yeu et les Sables d'Olonne. La latitude du plateau est ainsi corrigée de plus de 5 minutes par rapport aux cartes en service. Un chasse-marée se rend ensuite en sondant des Sables d'Olonne jusqu'à l'*Infatigable*. Le 22 juillet, Beautemps-Beaupré rejoint le plateau avec l'*Alsacienne*, qui transporte les chaloupes pontées destinées aux sondages. Le temps étant assez clément, les sondages commencent. Les chaloupes sont placées à la fois par des angles qu'elles prennent entre les navires au mouillage et par des angles pris de la gabarre et du brick sur les chaloupes lorsqu'elles font un signal convenu. Le temps devenant rapidement mauvais, les travaux sont interrompus. Les sondages ont permis de trouver deux têtes du plateau à 5,8 m et 7,5 m, correspondant respectivement à T3 et T2. Mais Beautemps-Beaupré, n'étant pas certain de leur identification, fait porter T3 sur les cartes sous le nom de « roches du sud-est ».

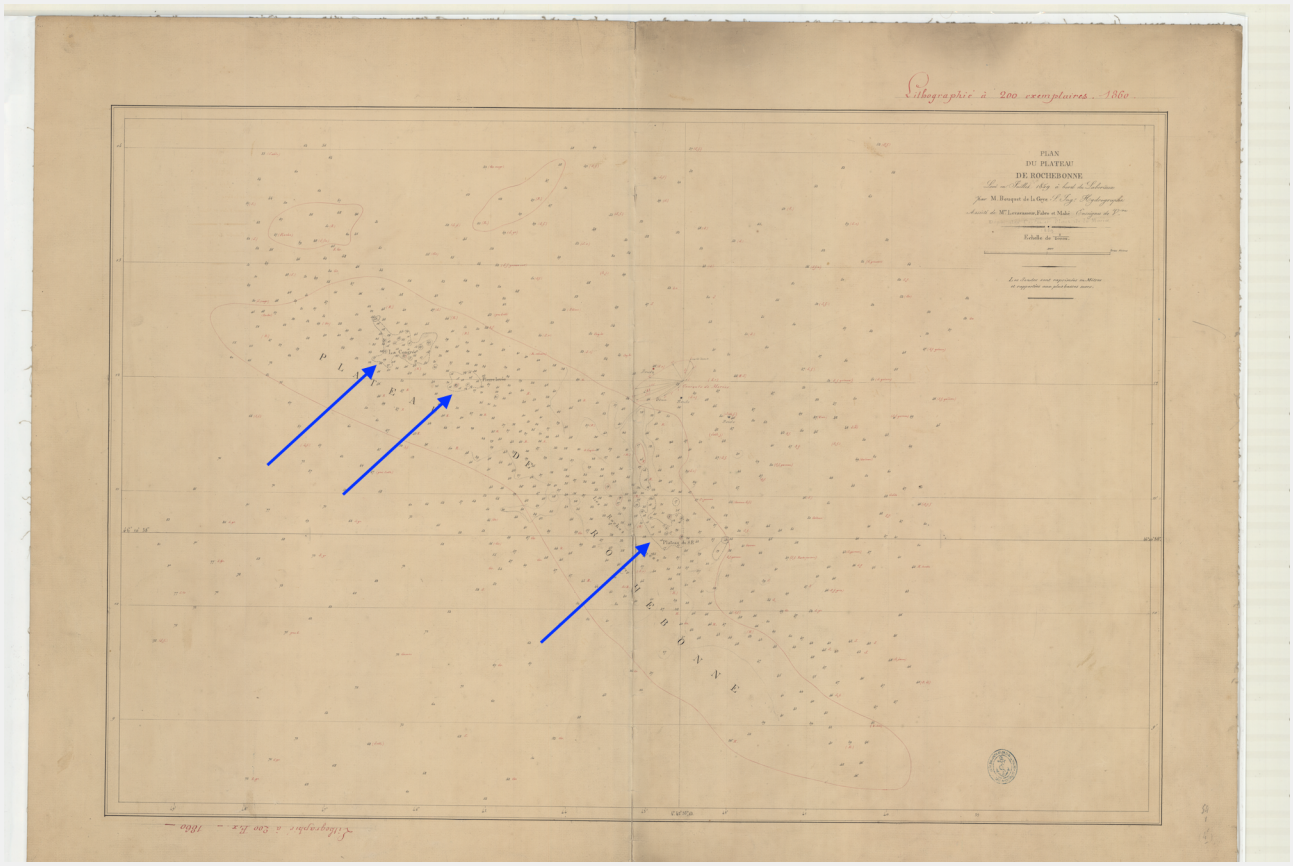
Après plusieurs naufrages que l'on pense causés par le plateau, une commission nautique décide en 1858 d'étudier le mouillage d'un feu flottant à proximité du danger. Elle demande une exploration hydrographique du plateau pour déterminer le lieu de mouillage du feu. Le sondage est exécuté en 1859 avec le remorqueur le *Laborieux*, un brick et un bateau ponté, de la même manière qu'en 1824. Par contre, la position du plateau est déterminée de la façon suivante : le bateau ponté est mouillé sur le plateau, le brick est entre le plateau et le phare des Baleines (île de Ré) et le *Laborieux* entre le phare et le brick. Le *Laborieux* tire des coups de canon dont la lumière sert de « top » à la mesure du temps que met le son du canon à se propager. Ce temps est mesuré au phare et sur le brick, ce qui détermine leurs distances respectives.



15 - extrait de la carte du plateau de Rochebonne par La Favolière, vers 1670
le Nord est à 315% environ, dans la direction des deux lignes noires parallèles ; les sondes sont en brasses ; les flèches bleues indiquent l'emplacement des trois têtes - cote GE SH 18 PF 54 DIV 1 P 3 D
/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Les azimuts sont également relevés au moyen de tirs de fusée. Le *Laborieux* se place ensuite entre le brick et le bateau ponté mouillé à Rochebonne pour répéter l'opération, ce qui permet de placer le plateau en azimut et distance par rapport au phare de l'île de Ré.

Le sondage de 1859 permet de retrouver T3 (8 m), mais sa position est décalée de 3 nautiques. Jugeant avec raison que sa méthode de détermination des positions n'est pas en cause, le chef de la mission conclut logiquement à une erreur d'identification des têtes, qu'il impute sans sourciller à son prédécesseur, l'illustre Beautemps-Beaupré,



16 - plan du plateau de Rochebonne levé en 1859 avec l'emplacement supposé des têtes T1, T2 et T3, en réalité T2, T3 et T4
Minute N° 012_5_08bis - Source Shom

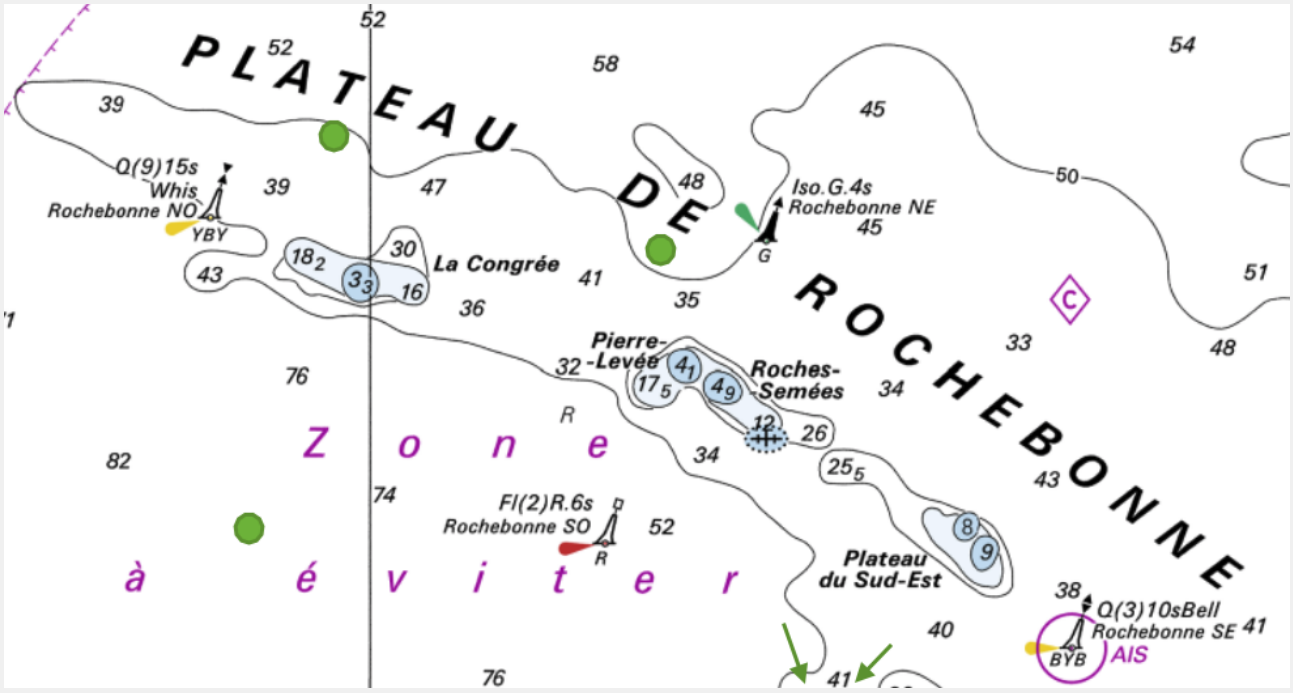
mort depuis 5 ans. Il poursuit les sondages et retrouve T2 (8,7 m) et T1 (4,7 m). En réalité, la mission a découvert une quatrième tête, T4, puis retrouvé T3 et T2. Les nouvelles cartes portent alors, à leurs vraies positions, les têtes T2, T3 et T4, mais avec une identification erronée : la Congrée, Pierre levée et Plateau du sud-est, alors que la vraie Congrée, T1, n'y figure plus. L'emplacement du bateau feu est ensuite choisi sur la carte.

En 1869, les Phares et Balises installent le bateau feu. Se repérant par rapport à la vraie Congrée (T1) dont ils connaissent l'emplacement, ils mouillent le bateau feu relativement à elle selon les indications de la carte. L'emplacement du bateau feu sur la carte est ainsi décalé de 3 nautiques. Avec le temps, les accidents cessent…

Le 9 janvier 1920, le paquebot Afrique, parti de Bordeaux pour le Sénégal, est victime d'une voie d'eau alors qu'une tempête se forme. Cherchant à rallier La Pallice pour s'y abriter et réparer, il perd sa capacité de manœuvre et finit par traverser le plateau de Rochebonne. Passant au milieu des têtes, il vient heurter le bateau feu et coule quelques heures plus tard. Le bilan est très lourd : 36 rescapés sur 599 personnes à bord. Après le drame, on remplace le bateau feu par quatre bouées cardinales. Ces bouées sont mises en place, comme le bateau feu autrefois, par rapport à la Congrée (T1) et sont donc à une distance de 3 nautiques de leur position sur la carte. Les têtes T3 et T4 sont en dehors du polygone qu'elles forment.

En 1951, un navire hydrographique, équipé d'un récepteur de localisation DECCA, signale que la bouée Sud est à 3 nautiques de sa position sur la carte. En 1953, un bâtiment école de pilotage de la marine mouille à proximité de la Congrée (T1) et, après de nombreuses observations, trouve que sa position est décalée de 3 nautiques par rapport à la carte. Le Service hydrographique, ne pouvant déterminer d'après les archives où se trouve l'erreur, porte alors sur la carte la mention « le plateau serait trois milles plus à l'Ouest ».

En 1957, le paquebot Djibouti confirme par des distances radar ne pouvant être mises en doute le décalage des bouées. Le service hydrographique décale alors le plateau et son balisage sur la carte. Cette fois, les bouées sont à leur place, mais la représentation du fond ne correspond plus à la réalité : T2, T3 et T4 sont décalés de 3 nautiques, T2 se retrouvant à l'emplacement de T1. Une reconnaissance hydrographique est décidée pour 1960. C'est alors que la vérité apparaît. Un nouveau plan de balisage est dressé pour couvrir les 4 têtes et, en 1962, la carte et le terrain se trouvent enfin en accord.



17 - le plateau de Rochebonne avec ses quatre têtes : la Congrée T1, Pierre-Levée T2, Roches-Semées T3 et Plateau du Sud-Est T4 - les trois ronds verts et les deux flèches vertes à bas à droite indiquent la position de l'ancien balisage - Source data.shom.fr

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1804	Arrêt du 26 pluviôse de l'an XII (15 février 1804) publié dans la Gazette Nationale ou le Moniteur Universel du 6 mars 1804
2	(texte règlementaire) - 1814	Ordonnance du 6 juin 1814 publiée dans la Gazette Nationale ou le Moniteur Universel du 12 juin 1814
3	(texte règlementaire) - 1830	Ordonnance du 28 mars 1830 publiée dans la Gazette Nationale ou le Moniteur Universel du 6 avril 1830
4	(texte règlementaire) - 1830	Ordonnance du 6 juin 1830 publiée dans le Moniteur Universel du 12 juin 1830
5	(texte règlementaire) - 1838	Ordonnance du 2 mars 1838 publiée dans le Moniteur Universel du 10 mars 1838
6	(texte règlementaire) - 1848	Arrêté du 15 septembre 1848 publié dans le Moniteur Universel du 19 septembre 1848
7	(texte règlementaire) - 1854	Arrêté du 25 novembre 1854 publié dans le Moniteur Universel du 7 décembre 1854
8	(anonyme) - 1824	Pilote français, 1ère partie, environs de Brest - Annales maritimes et coloniales - Tome I - 1824
9	(anonyme) - 1898	Prime pour découverte d'écueils dans La république française du 3 juin 1898
10	(anonyme) - 1914	Notice sur le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques n°992, 2ème série, tome 34, année 1914
11	Arago - 1837	intervention à la Chambre du 6 juin 1837 - la Gazette Nationale ou le Moniteur Universel des 6 et 7 juin 1837
12	Beaumont (de), Elie - 1859	Eloge historique de Charles-François Beautemps-Beaupré
13	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1808	Exposé des méthodes employées pour lever et construire les cartes et plans qui composent l'atlas du voyage du contre-amiral Bruny-Dentrecasteaux - Voyage de Dentrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tome I - Appendice
14	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1829	Exposé des travaux relatifs à la reconnaissance hydrographique des côtes occidentales de France
15	Bourgoin, Jean - 1988	Contribution des hydrographes et marins - Mesurer la terre - 300 ans de géodésie française
16	Chapuis, Olivier - 1999	A la mer comme au ciel - Beautemps-Beaupré et la naissance de l'hydrographie moderne
17	Chassériau, Frédéric - 1845	Précis historique de la marine française, son organisation et ses lois - 2 volumes
18	Chassériau, Frédéric - 1854	M. Beautemps-Beaupré - Le moniteur universel, 19 juillet et 2 août 1854
19	Darondeau, Benoît - 1842	Des ingénieurs hydrographes - Annales maritimes et coloniales - 1842 - tome 1
20	Daussy, Pierre - 1842	Quelques mots sur le corps des ingénieurs hydrographes - Annales maritimes et coloniales - 1842 - tome 1
21	Dupin, Charles - 1820	Institut royal de France. Progrès des sciences et des arts de la marine française depuis la paix, discours lu à la séance publique de l'Académie des sciences, le 27 mars 1820, par Ch. Dupin,...
22	Estival, Bernard - 2003	Un siècle de navires scientifiques français

23	Mannevy, Pierre - 1996	Roche bonne ou mauvaise ? - revue Navigation aérienne maritime spatiale terrestre - volume 44 - numéro 178 - juillet 1996
24	Puissant, Louis - 1819	Traité de géodésie ou exposition des méthodes trigonométriques et astronomiques, applicables soit à la mesure de la Terre, soit à la confection des canevas des cartes et des plans topographiques - deuxième édition
25	Renaud, Marie Joseph - 1902	Note au sujet de la recherche des roches sous l'eau - Annales hydrographiques - 2ème série - tome 24 - 1902
26	Rollet de l'Isle, Maurice - 1914	Etude historique sur les ingénieurs hydrographes et le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques - 4ème série - tome premier (bis) - 1950
27	(de) Rossel, Elisabeth-Paul-Edouard - 1808	Voyage de Dentrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tomes I et II

7 – le rebond

Le Service hydrographique se trouve dans une situation difficile au début du XXe siècle : ses cartes marines sont incomplètes, ce qui provoque depuis une quinzaine d'années des accidents parmi les plus grands navires de guerre, et les moyens matériels, humains et techniques dont il dispose ne lui permettent pas de résoudre ce problème avant longtemps. La situation change radicalement après la première guerre mondiale, le Service hydrographique bénéficiant alors d'un renforcement significatif de ses moyens ainsi que d'importants progrès techniques.

1 - le service hydrographique jusqu'à la première guerre mondiale

Situation au début du XXe siècle

Depuis le décret du 21 octobre 1890, le service hydrographique est un organe indépendant de l'état-major général. Il est dirigé par un officier général de la marine, sous les ordres directs du ministre.

Organisation

Le service hydrographique à Paris comporte un bureau administratif, un magasin, une bibliothèque et sept sections :

- section 1 : hydrographie générale (cartes des colonies et du reste du monde)
- section 2 : côtes de France (cartes de France, d'Algérie, de Tunisie et du Maroc)
- section 3 : cartes et archives (impression et correction des cartes)
- section 4 : instructions nautiques
- section 5 : instruments scientifiques
- section 6 : instruments nautiques
- section 7 : météorologie maritime

Il dispose en outre :

- de missions hydrographiques, chargées de lever les cartes des côtes de France et des colonies,
- de dépôts situés dans les ports militaires et aux colonies : les services OCD (observatoires, cartes et documents).

Les services OCD dépendent du port dans lequel ils sont placés. Ils sont chargés d'approvisionner les navires et les services à terre de la marine en cartes, documents et instruments, en particulier en chronomètres. A cet effet, ils tiennent à jour leurs stocks de cartes et d'ouvrages et observent quotidiennement le fonctionnement des chronomètres qu'ils ont en dépôt. Les services OCD sont situés à Cherbourg, Brest, Lorient, Toulon, Bizerte, Dakar, Diégo-Suarez et Saïgon.

Enfin, la vente des cartes et des ouvrages au public s'effectue par l'intermédiaire des libraires commissionnés et parfois des services OCD.

Personnel

Personnel principal

L'effectif des ingénieurs hydrographes est resté stable depuis la montée en puissance du corps, où il était passé de 13 à 21 entre 1814 et 1824. Sa moyenne annuelle oscille depuis entre 18 et 19. On note même une diminution temporaire de l'effectif vers 1904.

Les quatre ou cinq ingénieurs les plus anciens travaillent au siège du Service, à Paris, dans les différentes sections. Les autres ingénieurs partagent leur temps entre les missions effectuées sur le terrain et la rédaction de leurs travaux à Paris (voir encadré n°1). Les ingénieurs sont renforcés par des officiers de marine, à titre permanent ou temporaire :

- officiers en poste dans les sections du Service à Paris ou dans les services OCD,
- officiers spécialement adjoints aux ingénieurs en mission ou faisant partie de l'état-major des

Encadré n°1 : une vie d'ingénieur hydrographe - Donatien Cot

Donatien Cot (1873 - 1961) choisit, à sa sortie de l'Ecole polytechnique en 1894, à l'âge de 21 ans, le corps des ingénieurs hydrographes. L'élève ingénieur effectue d'abord une courte période de formation à terre, puis à bord du croiseur-école d'application des aspirants de marine. Il part ensuite effectuer la première partie de sa carrière sur le terrain.

A cette époque, l'affectation aux missions lointaines était d'un an, traversées en paquebot pour rallier Madagascar ou l'Indochine non comprises. Les conditions de travail étaient difficiles. André Gougenheim décrit ainsi la vie des ingénieurs hydrographes en mission : « En effet, dans les missions hydrographiques de cette époque, les ingénieurs payaient beaucoup de leur personne, passant de longues heures en embarcation pour diriger les équipes de sondage, parcourant le terrain en tous sens pour établir des signaux géodésiques et effectuer les observations destinées à en déterminer la position, ou pour procéder à des levés topographiques du littoral et des roches côtières. Rentrés à bord du navire hydrographique, ils avaient ensuite à effectuer les calculs géodésiques et à diriger la rédaction des sondages et de la topographie. Les ingénieurs souffraient instinctivement de la lenteur inévitable qui marquait la progression des opérations de levé, surtout quand ils la rapprochaient de l'immensité des côtes à cartographier, et ils tendaient tous leurs efforts pour ne pas laisser passer la moindre occasion favorable, pour ne pas perdre le moindre instant précieux. Le travail ainsi conçu et conduit était particulièrement épuisant aux colonies sous le chaud soleil des tropiques, tantôt dans la brousse où il fallait se frayer des chemins au coupe coupe à travers une végétation luxuriante, tantôt dans des régions marécageuses où sévissaient les fièvres. Sur onze ingénieurs qui furent affectés entre 1895 et 1909 à la mission hydrographique de Madagascar, la plupart pour deux campagnes, l'un y mourut, et six furent rapatriés pour raisons de santé, dont deux à deux reprises. »

La liste des missions auxquelles participe l'ingénieur Cot est la suivante :

- 1895-1896 : mission des côtes de France
- 1897-1900 : mission des abords de Brest
- 1900-1901 : mission de Madagascar
- 1902 : mission des abords de Brest
- 1903-1904 : mission de Madagascar
- 1905-1906 : mission des côtes de France

A partir de 1907, l'ingénieur Cot prend la direction de missions hydrographiques. Ses différentes affectations sont les suivantes :

- 1907-1908 : mission d'Indochine
- 1908-1910 : en congé de convalescence (3 mois) puis à Paris pour la rédaction de ses travaux et ensuite pour l'exécution de diverses tâches au service hydrographique
- 1910 : établissement de bases télémétriques dans les ports militaires
- 1910 : reconnaissance de l'embouchure de la Loire pour le ministère des Travaux publics
- 1910-1911 : levé du port et de la rade de Brest
- 1911-1913 : en poste au service hydrographique à Paris
- 1913 : reconnaissance de l'embouchure de la Seine pour le ministère des Travaux publics
- 1914 : mission d'Indochine, puis suspension des travaux hydrographiques à cause de la guerre et retour en France
- 1915-1919 : affectation de guerre : batteries de canonniers marins puis groupe de canevas de tir des armées
- 1920 : mission des côtes de France

En 1920, l'ingénieur Cot est promu au grade d'ingénieur en chef de 1ère classe et passe du côté des « anciens », travaillant exclusivement à Paris :

- 1921-1930 : chef de la section des côtes de France
- 1930-1932 : ingénieur adjoint au chef du service hydrographique
- 1932-1938 : chef, puis directeur, du service hydrographique

L'ingénieur Cot quitte alors le service actif. Il effectue ensuite des travaux scientifiques au sein du Bureau des longitudes, de l'Académie de marine, de l'Académie des sciences et du Comité national français de géodésie et géophysique, jusqu'à son décès à l'âge de 87 ans.

navires des missions hydrographiques ; ces officiers se consacrent à l'hydrographie pendant une ou deux années,

- officiers qui effectuent un levé indépendamment des ingénieurs hydrographes ; comme eux, ils se rendent ensuite à Paris pour rédiger leurs travaux avant de retourner au service général.

Le sénateur Cabart-Danneville, auteur d'une proposition de loi déposée en 1906, fait le décompte suivant du personnel principal :

- 17 ingénieurs hydrographes (8 à Paris, 3 aux colonies et 6 sur les côtes de France)
- 8 officiers de vaisseau du cadre de résidence fixe (3 capitaines de frégate chefs des sections instructions nautiques, instruments nautiques et météorologie, 5 lieutenants de vaisseau)
- 3 lieutenants de vaisseau à la retraite travaillant au Service à Paris
- 8 lieutenants de vaisseau affectés temporairement au Service à Paris
- 7 officiers, dont 2 en résidence fixe, dans les services OCD

La formation des officiers qui assistent les ingénieurs en mission est effectuée par les ingénieurs eux-mêmes, qui doivent distraire pour cela une partie de leur temps. Ces officiers ne restant dans l'hydrographie que pendant un à deux ans, ces formations doivent être sans cesse recommencées.

Personnel secondaire

Les ingénieurs et officiers sont assistés par trois catégories de personnel secondaire :

- les employés civils et les militaires en poste au Service à Paris
- quelques dessinateurs du Service envoyés temporairement dans les missions hydrographiques
- des officiers mariniers, quartiers-maîtres et matelots qui participent aux travaux hydrographiques sur le terrain

Le sénateur Cabart-Danneville compte, en 1906, 41 employés civils : 9 agents titulaires, ou entretenus, et 32 agents auxiliaires, qui sont en fait des agents permanents « hors budget », mais sans droit à la retraite. Depuis la circulaire du 30 janvier 1903, ils sont reconnus comme personnel de la marine.

- 15 dessinateurs (dont 4 titulaires)
- 2 calculateurs de marée (dont 1 titulaire)
- 1 archiviste
- 3 agents des services des instruments (tous titulaires)
- 1 agent du service des cartes
- 2 agents du service des instructions nautiques
- 3 photographes (dont 1 titulaire)
- 4 graveurs sur cuivre
- 1 graveur sur pierre
- 2 imprimeurs sur pierre
- 7 dames à la section des cartes

3 officiers mariniers à la retraite sont agents de la météorologie nautique.

On trouve ensuite le personnel administratif :

- 1 chef de bureau
- 1 sous chef de bureau
- 3 commis rédacteurs

et enfin celui du magasin :

- 1 garde-magasin
- 1 commis aux écritures
- des journaliers

Les dessinateurs placés en bas de la hiérarchie peuvent être appelés à accompagner les ingénieurs en mission, y compris aux colonies, pour une durée de deux ans au plus. Ils rédigent sur place les travaux au fur et à mesure de leur avancement et assurent la publication partielle des levés.

Production

Le manque de moyens se ressent dans la production des cartes. Le service hydrographique produit environ 550 cartes de l'hydrographie française, provenant des levés effectués par les missions, et 2 300 cartes d'hydrographie générale, reproduites à partir des cartes fournies par les services hydrographiques étrangers. Ces cartes sont tirées

chaque année à un nombre d'exemplaires variant entre 80 000 et 100 000.

A cause du manque de personnel, la mise à jour des cartes d'hydrographie générale souffre d'un grand retard. Quant aux cartes des côtes de France et des colonies, elles sont, selon les termes du sénateur Cabart-Danneville, « incomplètes, d'un usage souvent dangereux ».

Le service hydrographique estime qu'avec les moyens dont il dispose, il lui faudra 30 ans pour lever les cartes précises des côtes de France et 100 ans pour celles des colonies.

Techniques mises en œuvre



1 - station sur l'île Matsou - dessin de Rollet de l'Isle - *Au Tonkin et dans les mers de Chine : souvenirs et croquis (1883-1885)* - 1886 /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Les améliorations apportées aux techniques hydrographiques depuis la fin du XVIIIe siècle, qui ont permis de produire des cartes précises, n'ont pas concerné les sondages de faible profondeur[1] qui s'effectuent toujours au moyen du plomb de sonde et semblent ne pas être d'un grand attrait pour les hydrographes. On trouve dans les annales hydrographiques de 1864 la traduction d'une instruction générale de l'amirauté anglaise pour les levés hydrographiques. On peut y lire que : « les jeunes officiers qui font de l'hydrographie n'attachent généralement pas assez d'importance aux sondes ; l'officier qui dirige le travail se voit souvent empêché d'employer les jeunes gens qui sont sous ses ordres aux travaux de triangulation d'un pays, parce qu'il sait qu'ils considéreraient ensuite comme au-dessous de leur dignité d'être envoyés pour faire des sondages après s'être servi d'un théodolite. »

La recherche des roches sous l'eau

Dans ses *notes au sujet de la recherche des roches sous l'eau* de 1902, l'ingénieur Renaud indique que l'expérience a montré que le plomb de sonde ne permet pas de détecter certains dangers représentés par des aiguilles sous-marines. Il passe en revue les moyens disponibles pour y remédier : drague flottante, câble transversal remorqué, lunette d'eau, renseignements des pêcheurs et vue plongeante du haut d'une falaise, d'un phare ou d'un ballon. La vue plongeante permet de découvrir les hauts fonds et les chenaux, et ainsi de préparer le travail de sondage et de le contrôler. Les ingénieurs Favé et Rollet de l'Isle étudient, dans une note datée du 4 novembre 1901, les meilleures méthodes à employer en hydrographie pour tirer parti des observations en ballon captif.

Le Figaro du 23 février 1902 rapporte que « le personnel aérostatier de la marine a fait à Toulon [le 19 février] des exercices d'exploration du fond de la mer dans les parages des îles Embiez avec un ballon. Cet exercice a eu lieu pour démontrer l'utilisation possible d'un aérostat dans les levés hydrographiques. A 30 m au-dessus du niveau de la mer, le câble étant fixé sur un remorqueur à vapeur, le fond de la mer paraît nettement jusqu'à 40 m de profondeur, sur une zone large de 50 m. Si les résultats sont bons, le ballon et le personnel d'aérostation du parc de Lagoubran seront adjoints à la prochaine mission chargée de faire une reconnaissance hydrographique au raz de Sein, à l'entrée de Brest et sur divers points dangereux des côtes de la Manche et de l'Océan. »

Lors de la mission de 1902 en Bretagne, le chef de mission envisage effectivement l'emploi d'un ballon pour faciliter la recherche des roches. La proposition adressée au ministre n'a pas de suite, peut-être à cause de la mort accidentelle du lieutenant de vaisseau Baudic, qui commandait le parc d'aérostats, le 10 juin 1902. Sa mort désorganise le service aérostatique de la marine et les expériences ne sont pas poursuivies.

Le projet de réorganisation Cabart-Danneville

En l'espace de quelques mois, deux accidents dus à des roches inconnues surviennent aux colonies :

- le 7 novembre 1904, le croiseur *Château-Renault* touche sur un plateau de roches non porté sur les cartes, en suivant un alignement aux abords du cap Saint Jacques, à l'embouchure

[1] Les avancées techniques ont porté sur le sondage à profondeur moyenne, entre 30 et 200 m : sondeurs à mémoire Thomson et Warluzel, et sur le sondage à grande profondeur : sondage à plomb perdu (Aimé, Brooke) ou à fil perdu (Maury), machines à sonder. Pour les sondages à grande profondeur, voir le chapitre 10.

de la rivière de Saïgon. Le navire doit rentrer en France pour y être réparé.

- le 7 février 1905, le croiseur cuirassé *Sully* s'échoue en baie d'Halong sur un plateau de roches de 6 m non porté sur les cartes. Le navire est allégé (on retire ses canons et ses équipements) puis son épave est abandonnée, faute de moyens de renflouement.

Le sénateur de la Manche Cabart-Danneville se penche sur l'état des cartes du service hydrographique et constate que les cartes des côtes de France nord et ouest, levées de 1816 à 1855 sont insuffisantes pour assurer la sécurité de la navigation moderne. Les cartes des colonies ont le même défaut ; de plus elles sont trop incomplètes pour permettre l'exécution des travaux maritimes réclamés par les colonies. Enfin, les cartes de l'hydrographie générale souffrent d'un grand retard dans leur publication.

Ce constat conduit le sénateur à étudier une proposition de loi tendant à réorganiser le service hydrographique de la marine.

La proposition de loi

Dispositions principales

Les dispositions principales de la proposition de loi du sénateur sont les suivantes :

- augmentation de l'effectif du corps des hydrographes, porté à 42 officiers, recrutés à la fois à l'Ecole polytechnique et parmi les officiers de vaisseau présentant des aptitudes spéciales
- organisation du corps, basée sur la spécialisation complète et définitive et sur l'homogénéité absolue du personnel quelle que soit son origine (fin de la dualité entre ingénieurs hydrographes et officiers de marine)
- organisation d'un personnel secondaire participant aux travaux à la mer et à ceux du service central, avec adoption de mesures lui procurant une carrière assez avantageuse et permettant au besoin l'accès dans le corps des hydrographes
- liberté d'action pour le personnel supérieur dans l'exécution des travaux où sa responsabilité est engagée : le chef du Service doit être un hydrographe et être responsable devant le ministre ; le chef d'état-major de la marine doit être représenté dans le Comité hydrographique
- affectation exclusive à l'hydrographie d'un nombre suffisant de bâtiments entièrement appropriés à ce service

Caractéristiques des bâtiments hydrographiques

Le sénateur définit ainsi les caractéristiques que doivent avoir ces bâtiments hydrographiques :

- coque en bois
- vitesse de 12 nœuds en transit, 3 nœuds en sondage
- facilité et rapidité d'évolution
- embarcations à vapeur et à l'aviron
- facilité de hisser les ancres et les embarcations et de rentrer les lignes de grande sonde
- grande chambre de travail (pour le dessin des cartes)
- passerelle supérieure bien dégagée et kiosque de grande dimension
- aucun matériel militaire
- logements spacieux et aérés

Structuration du Service

Le nouveau service hydrographique aurait le découpage suivant :

- service de production, regroupant la section des cartes et documents nautiques, la section des instruments et les 3 missions hydrographiques, avec 33 hydrographes, 25 dessinateurs et 20 agents
- service des approvisionnements avec 2 hydrographes, 2 dessinateurs et 16 agents
- service administratif
- services des cartes et des observatoires dans les ports avec 5 hydrographes

Personnel principal

Les 42 hydrographes seraient recrutés à l'Ecole polytechnique et par concours parmi les enseignes de vaisseau. Ils seraient aptes à commander un navire (les polytechniciens étant embarqués au préalable sur le bâtiment-école des aspirants). Ils perdraient le titre d'ingénieur.

En contrepartie, 42 officiers seraient rendus au service général : 9 officiers du service central, 7 officiers des services OCD, 1 officier présidant les commissions nautiques, 3 officiers employés au le-

vé du cadastre ostréicole et 22 officiers constituant l'état-major des bâtiments des missions hydrographiques.

Personnel technique secondaire navigant

Cette nouvelle catégorie de personnel serait instituée par un brevet d'hydrographe comportant 3 classes :

- 1ère classe : officiers mariniers timoniers, utilisés comme adjoints auprès des hydrographes
- 2ème classe : quartiers-maîtres timoniers, utilisés comme équipage spécialisé
- 3ème classe : quartiers-maîtres de manœuvre et gabiers et quartiers-maîtres timoniers, utilisés comme équipage spécialisé

Ce personnel continuerait de faire partie des cadres généraux de sa spécialité mais il ne serait disponible pour le service général que lorsque le service hydrographique ne l'utiliserait pas.

Ce personnel serait affecté aux missions hydrographiques ainsi qu'aux services OCD.

Suites données à la proposition de loi

La proposition de loi du sénateur n'aboutit pas. Par la suite, quelques projets sont élaborés, puis abandonnés.

Un projet de loi relatif au recrutement des officiers et ingénieurs de la marine est mis à l'étude en 1908. Il supprime le recrutement des ingénieurs à l'Ecole polytechnique et le remplace par un concours parmi les officiers de marine. Dans ce projet, les hydrographes deviennent des officiers, dont l'appellation est suivie de l'adjectif hydrographe (par exemple : capitaine de vaisseau hydrographe).

Le ministre Pierre Baudin dépose en 1913 un projet de loi sur l'organisation du corps des officiers de marine. Le corps distingue trois cadres : celui des officiers du service général, celui de la défense des côtes et celui de l'hydrographie. Pour ce dernier cadre, l'exposé des motifs indique : « l'extension de notre Empire colonial, l'accroissement du tonnage et de la mobilité des bâtiments, le développement de la navigation sous-marine exigent une puissante organisation du service hydrographique. Malgré leur zèle infatigable et leurs brillantes qualités professionnelles, les 18 officiers qui composent le cadre actuel des ingénieurs hydrographes ne peuvent entreprendre qu'une infime partie des travaux nécessaires. En formant de 45 unités le nouveau cadre des officiers hydrographes nous assurerons la régularité de leur avancement. En les recrutant parmi les officiers de Marine, nous les mettrons à même de commander leurs bâtiments spéciaux et de centraliser, pour le plus grand bien du service, toutes les questions qui relèvent naturellement de leurs attributions. » Comme dans la proposition de loi Cabart-Danneville, il s'agit en fait de grouper dans une même structure les officiers détachés du service général : officiers en service au service hydrographique, officiers en charge des cartes dans les ports et états-majors des navires hydrographiques, sans augmentation réelle des effectifs. Le gouvernement est renversé avant que le projet soit mis en discussion.

En 1919, le député Gustave de Kerguézec dépose une proposition de loi dont le détail n'est pas connu. La même année, l'ingénieur Renaud reprend la proposition du sénateur Cabart-Danneville. Il prévoit de passer de 17 à 45 ingénieurs en fusionnant les ingénieurs avec des officiers de marine et de faire évoluer l'organisation du service hydrographique.

Modifications apportées au service hydrographique

Rattachement au chef d'état-major de la marine

Un décret du 26 septembre 1901 replace le service hydrographique sous l'autorité directe du chef d'état-major général, secondé par un des sous-chefs d'état-major général délégués et par le directeur d'hydrographie. Les sections dirigées par un officier de marine sont placées directement sous les ordres du sous-chef d'état-major ; celles qui sont dirigées par un ingénieur hydrographe sont placées sous les ordres du directeur d'hydrographie.

Peu après, un décret du 31 janvier 1902, qui réorganise les services du ministère de la marine, replace le service hydrographique sous l'autorité directe du chef d'état-major général. Le Service est alors dirigé par le directeur d'hydrographie.

Comité hydrographique

Le décret du 26 septembre 1901 réorganise le Comité hydrographique qui comprend :

- un président, vice-amiral
- un vice président, le directeur d'hydrographie
- un officier supérieur de marine
- deux ingénieurs hydrographes en chef

- le capitaine de frégate chef du service des instructions nautiques

- un secrétaire, ingénieur hydrographe avec voix consultative

Réorganisation du personnel des agents techniques

Le décret du 11 janvier 1908 réorganise le personnel des agents techniques du service hydrographique. La plupart des agents auxiliaires sont titularisés, ce qui fait passer le nombre des agents techniques de 9 à 33. Deux catégories d'agents sont prévues :

- d'un côté, 2 calculateurs, 12 dessinateurs et 5 graveurs

- de l'autre, 6 agents des cartes et des instructions nautiques, 2 agents des instruments, 3 correcteurs et 3 photographes

Les agents auxiliaires restants sont :

- les 3 maîtres retraités du service de la météorologie nautique

- l'agent chargé de la manutention du matériel technique

- les 7 dames employées aux services des cartes et des instructions nautiques

Les dessinateurs peuvent être adjoints aux missions hydrographiques pour une durée maximum de 6 ans, dont 4 ans maximum aux colonies (hors France, Algérie et Tunisie).

Création du certificat d'aide-hydrographe

Le décret du 17 juillet 1908 (refondu le 15 juillet 1914) crée un certificat d'aide-hydrographe. L'arrêté ministériel du 30 juillet 1910 fixe les conditions d'obtention de ce certificat, accessible :

- aux officiers mariniers, quartiers-maîtres et marins de la spécialité de timonerie,

- aux quartiers-maîtres et marins de la spécialité de la manœuvre.

Le certificat instaure trois niveaux de compétences qui semblent correspondre aux classes du brevet d'hydrographe proposé par le sénateur Cabart-Danneville :

- les quartiers-maîtres et marins de la manœuvre doivent savoir préparer et effectuer une séance de sonde, suivre des alignements et effectuer des recherches de roches,

- les quartiers-maîtres et marins de la timonerie doivent en plus savoir tenir les cahiers[2], corriger les sondes, prendre des angles au cercle et préparer une séance de topographie,

- enfin, les officiers mariniers timoniers doivent savoir rédiger une minute, mettre en place des signaux de triangulation et des échelles de marée, et faire une séance de topographie. Ils doivent également connaître des éléments de géométrie plane et de cartographie.

Le certificat d'aide-hydrographe est délivré aux brevetés timoniers et gabiers ayant fait une ou plusieurs campagnes sous les ordres d'ingénieurs hydrographes et ayant subi avec succès un examen théorique et pratique. Les titulaires du certificat sont désignés en priorité pour faire partie des équipages des bâtiments hydrographiques. Sur les côtes de France, ils peuvent être réservés d'une année sur l'autre pour trois campagnes successives et être attachés pendant trois ans au service hydrographique à Paris, dans l'intervalle des campagnes, pour aider à la rédaction des travaux effectués par les missions.



2 - sondage en canot à vapeur White - le personnel hydrographique est à l'arrière : un ingénieur ou officier de marine et trois aides-hydrographes : un observateur au cercle, un sondeur au plomb poisson et un secrétaire de séance - source : Shom (1920)

Détachement de la section des instruments nautiques

Le 6 mai 1912, une décision ministérielle retire du service hydrographique la section des instruments nautiques (section n° 6) pour l'affecter à la Direction militaire des travaux. Cette section était char-

[2] Les mesures effectuées pendant les sondages (profondeurs et angles entre les signaux à terre) sont enregistrées dans des cahiers. Ces cahiers servent ensuite à corriger les profondeurs de la marée observée puis à dessiner les minutes, qui sont des cartes détaillées, elles-mêmes utilisées par la suite pour dessiner les cartes marines.

gée de l'achat et de l'entretien des compas, longues-vues, baromètres et autres instruments d'usage courant sur les bâtiments de la flotte. La section de météorologie marine (section n° 7) prend le numéro 6. Il ne reste plus que deux sections qui emploient des officiers de marine : la n°4 (instructions nautiques) et la n°6.

Travaux hydrographiques

Missions hydrographiques

Trois missions hydrographiques effectuent les travaux sur le terrain : une mission sur les côtes de France et deux missions aux colonies, l'une à Madagascar, l'autre en Indochine.

Pour la France, le programme des travaux à effectuer à la belle saison est arrêté par le Comité hydrographique et préparé par la deuxième section (côtes de France). Pour les colonies, la préparation du programme des missions est à la charge de la première section (hydrographie générale).

Aux colonies, les missions opèrent sur des bâtiments armés spécialement pour l'hydrographie. Chaque mission comprend un ou deux ingénieurs hydrographes et huit ou neuf enseignes de vaisseau.

Mission hydrographique des côtes de France

La mission, créée en 1897, dispose de la *Chimère*, de son annexe la *Fourmi*, construite en 1898, et du remorqueur le *Laborieux*. Elle poursuit la nouvelle reconnaissance des côtes de France sur la côte Ouest et en Manche jusqu'en 1914.

En 1904, la mission dispose, pour la première fois, d'un dessinateur travaillant dans un local à terre. En 1906, la *Chimère* est désarmée pour cause de vétusté. Le remorqueur l'*Utile* la remplace l'année suivante après avoir été aménagé pour l'hydrographie. Il mesure 60 m de long, a un tirant d'eau de 4 m et une vitesse de 10 nœuds. Il dispose de 2 canots à vapeur White et de baleinières, ainsi que de treuils électriques pour les sondages à moyenne profondeur. Son annexe, la *Sonde*, mise en service en 1911, est une chaloupe à vapeur de 20 m de long. L'équipage total compte 60 personnes. Un dessinateur est embarqué sur l'*Utile* pour la rédaction des travaux.

Mission hydrographique de Madagascar

La mission de Madagascar, créée en 1887, continue son activité jusqu'en 1914. Elle dispose de l'aviso-transport la *Rance*, remplacé de 1902 à 1905 par la *Nièvre* puis, en 1908, par le *Vaucluse*.



3 - l'Utile - source : Shom

A partir de 1910, l'hydrographie à Madagascar est faite uniquement par des officiers de marine.

Mission hydrographique de l'Indochine

L'hydrographie de l'Indochine, commencée par des ingénieurs hydrographes, est poursuivie par des officiers de marine avec deux petits bâtiments, le *Bengali* et la *Comète*. En avril 1905, après l'accident du *Sully* en baie d'Halong, le ministre de la marine décide la création d'une mission hydrographique de l'Indochine, avec deux ingénieurs hydrographes et l'aviso-transport la *Manche*.

Autres levés

Des officiers de marine effectuent des travaux d'hydrographie dans le haut Yang-Tsé (1901-1902), en Nouvelle-Calédonie (1906-1907) et à Dakar (1909-1911).

En Polynésie, une goëlette de 337 t, la *Zélée*, assure ponctuellement des travaux hydrographiques.

Travaux divers

Missions pour les Travaux publics

De 1901 à 1913, des missions sont organisées au profit du ministère des Travaux publics avec son concours. Il s'agit d'effectuer des levés précis des embouchures de fleuves et du cours aval des fleuves où des travaux d'amélioration sont prévus. La marine fournit les ingénieurs hydrographes et quelques aides-hydrographes, le département des Travaux publics fournit les moyens d'exécution en matériel et en personnel subalterne. Les fleuves concernés sont la Loire, la Gironde et la Seine.

Bases d'étalonnage

Les ingénieurs déterminent plusieurs bases de vitesse pour les essais de recette des navires de guerre : Cherbourg en 1901, Trévignon en 1903, Porquerolles-Taillat en 1904 et les Glénans en 1910.

Ils déterminent également des bases télémétriques dans les ports de Toulon, Brest, Cherbourg et Bizerte pour l'étalonnage des télémètres de tir. En 1913, le Service produit des abaques télémétriques nécessitant une triangulation précise (la précision demandée est de 5 m).

Concours

Le service hydrographique prête du personnel et/ou du matériel à diverses expéditions : explorations du Haut-Sénégal et du Niger, explorations antarctiques du Dr Charcot, missions du Maroc (comité du Maroc / institut Henriot), mission du Congo (participation d'un ingénieur hydrographe), mission du Gabon.

Commissions nautiques

Les ingénieurs hydrographes continuent à participer aux commissions nautiques qui examinent les projets d'amélioration des ports, du balisage et de l'éclairage préparés par les services des Travaux publics.

Changement du méridien origine

Le 9 mars 1911, le Sénat vote l'adoption de l'heure de Greenwich, décalée de 9 minutes et 21 secondes par rapport à l'heure de Paris. Les documents nautiques sont rapportés au méridien de Greenwich à partir du 1er janvier 1914.

Renouvellement des navires hydrographiques

En 1914, le ministre décide de construire trois navires hydrographiques et demande au service hydrographique d'établir leurs caractéristiques :

- un déplacement entre 1 800 et 2 000 t
- de grandes salles de travail
- de grandes soutes
- une vitesse de 14 nœuds pour les transits et une vitesse ralentie à 2 ou 3 nœuds pour les travaux hydrographiques
- un tirant d'eau inférieur à 5 m
- 4 canots à vapeur White de 7,65 m, plusieurs baleinières, un grand canot, un youyou
- des treuils électriques
- la T.S.F.

La première guerre mondiale

Les missions hydrographiques stoppent leur activité dès l'annonce de la mobilisation. Aucune disposition n'est prévue pour les ingénieurs hydrographes en cas de mobilisation. Le 9 août 1914, le ministère de la guerre demande des ingénieurs hydrographes pour le service géographique des armées afin de remplacer les officiers géodésiens qui se trouvent au front. Les 21 ingénieurs en activité sont alors répartis de la manière suivante :

- directeur d'hydrographie : reste au Service
- 6 ingénieurs en chef : restent au Service
- 3 ingénieurs principaux : un reste au Service, un second est envoyé aux armées, le troisième est en Indochine en attente de rapatriement
- 11 ingénieurs : deux restent au Service, deux sont en Indochine en attente de rapatriement, six sont envoyés aux armées pour les canevas de tir et le dernier arrivé, dont la formation n'est pas terminée, est envoyé au corps des canonniers marins

Deux anciens directeurs et un ancien ingénieur sont rappelés en activité.

Début septembre, la menace de l'avance allemande entraîne le repli à Rochefort de la partie production du Service et de 6 ingénieurs, jusqu'au 10 décembre.

Le 29 septembre, un ingénieur principal et un ingénieur sont demandés par le service géographique. L'ingénieur en chef Driencourt part également au service géographique pour expérimenter un procédé de repérage par le son des batteries ennemies qu'il a imaginé avec le lieutenant-colonel du génie Ferrié.

Par la suite, un ingénieur, revenu d'Indochine, est affecté au corps des canonniers marins. Deux autres ingénieurs rentrent d'Indochine en février 1915 et sont également affectés au corps des canonniers marins, devenu « Artillerie Lourde sur Voie Ferrée ». L'ingénieur Rivier y trouve la mort pendant une reconnaissance aérienne de réglage de tir en 1915.

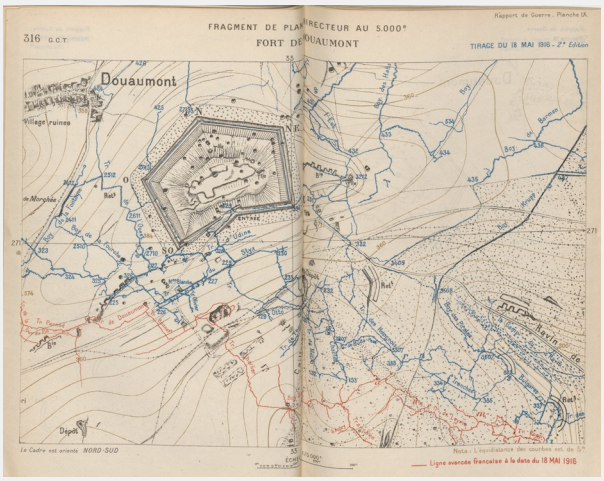
Au cours de la guerre, les ingénieurs hydrographes affectés au service géographique servent dans les groupes de canevas de tir chargés de dresser les plans directeurs destinés à fournir des cibles à l'artillerie. Les procédés de levés classiques n'étant pas utilisables au-delà de la ligne de front, le service géographique met en œuvre l'utilisation de photographies aériennes pour compléter les

cartes, ainsi que le repérage par le son (voir encadré n°2). Pendant ce temps, les ingénieurs restés au service hydrographique continuent d'approvisionner la flotte, avec un effectif réduit, une partie du personnel secondaire ayant été mobilisée.

A la fin de la guerre, les ingénieurs hydrographes reviennent un par un au service hydrographique, entre décembre 1918 et décembre 1919.

Encadré n°2 : canevas de tir et repérage par le son

Le 20 décembre 1918, le maréchal Pétain adresse une lettre de félicitations au service géographique : « les éminents services rendus, depuis le début de la campagne, par le Service géographique, n'ont pas échappé au Maréchal Commandant en chef les Armées de l'Est… ». Le *Rapport sur les travaux exécutés du 1er août 1914 au 31 décembre 1919 : historique du service géographique de l'armée pendant la guerre*, qui reproduit cette lettre, ajoute : « C'est au Général Bourgeois que revient pour la plus large part l'honneur des services ainsi rendus à la cause nationale par le Service Géographique […] Ses collaborateurs ont été nombreux et de grand mérite. Citons d'abord, en vue de leur rendre un hommage tout spécial, les ingénieurs hydrographes mis par le Ministère de la Marine à la disposition du Service Géographique, peu après le début des hostilités. Techniciens d'une science consommée, aux connaissances très étendues, et entièrement spécialisés dans les questions géographiques, ils ont fourni pendant toute la guerre un effort exceptionnel et se sont signalés par des services inappréciables, en particulier au Service Central du repérage et dans les Groupes de Canevas de Tir des Armées. »



4 - fragment de plan directeur, avec localisation des tranchées et des trous d'obus - Rapport sur les travaux exécutés du 1er août 1914 au 31 décembre 1919… /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Canevas d'ensemble et canevas de tir

Les canevas d'ensemble et les canevas de tir sont des plans, issus de travaux topographiques, qui fournissent l'emplacement des batteries d'artillerie, celui de leurs objectifs et les repères nécessaires à l'exécution et à l'observation des tirs dans les opérations de siège. Avec la stabilisation du front à partir de septembre 1914, ces plans vont être étendus à l'ensemble du front pour fournir aux armées des cartes détaillées du terrain et des positions amies et ennemies.

Groupes de canevas de tir des armées

Les groupes de canevas des tirs des armées (G.C.T.A.) sont constitués en novembre 1914.

Placés sous l'autorité du chef d'état-major des armées et dépendants du service géographique des armées, ils sont chargés des missions suivantes :

- l'établissement et la distribution des plans directeurs et croquis à toutes les échelles
- l'exécution des canevas d'ensemble et l'établissement de tous les documents cartographiques nécessaires à l'organisation du tir de l'artillerie, tant dans la guerre de position que dans la guerre de mouvement
- la distribution aux Etats-majors, Corps et Services de tout le matériel topographique et d'observation que le service géographique de l'armée est chargé de fournir aux armées
- le tirage par les moyens dont il dispose des croquis dont la reproduction lui est demandée par le chef d'état-major de l'armée
- l'instruction technique topographique des officiers de toutes armes, et d'une façon générale, l'instruction technique du personnel appelé à utiliser les instruments topographiques et d'observation fournis par le service géographique de l'armée. Le chef du G.C.T.A. s'assure des conditions d'emploi et d'entretien de ces instruments
- la direction technique des sections de repérage par le son affectées à l'armée ainsi que l'exécution des opérations géodésiques et topographiques nécessaires à l'installation de ces sections sur le terrain
- le concours à prêter aux sections topographiques de Corps d'armée pour l'exécution de

leurs travaux et la reproduction de tous les plans et croquis dressés par leurs soins

Pour dresser les plans directeurs, les groupes de canevas de tir utilisent tous les renseignements disponibles sur l'ennemi, en particulier les photographies fournies par les reconnaissances aériennes.

Repérage par le son

Le repérage par le son consiste à déterminer l'emplacement d'une pièce d'artillerie par l'observation des instants où le bruit des détonations qu'elle produit arrive à des emplacements connus.

Ces bruits, qui se propagent à la vitesse du son dans l'air, soit environ 340 m/s, sont les suivants :

- l'onde de bouche, ou onde de détonation, due à la sortie brutale des gaz au départ du projectile
- l'onde d'éclatement, générée par l'explosion du projectile
- l'onde balistique, ou onde de choc, due au passage dans l'air du projectile lorsque sa vitesse est plus grande que celle du son. Elle se manifeste par un claquement et est accompagnée du sifflement du projectile

Quatre observateurs placés à des endroits connus, O1, O2, O3 et O4, entendent le bruit de l'onde de bouche à des instants différents T1, T2, T3 et T4. On calcule les différences de temps T2 - T1, T3 - T2 et T4 - T3. Ces différences de temps sont transformées en différences de distances en les multipliant par la vitesse du son. Chaque différence de distances se matérialise par une hyperbole, ensemble des points où peut se situer la source de bruit, et l'intersection des trois hyperboles donne l'emplacement précis de la source de bruit.

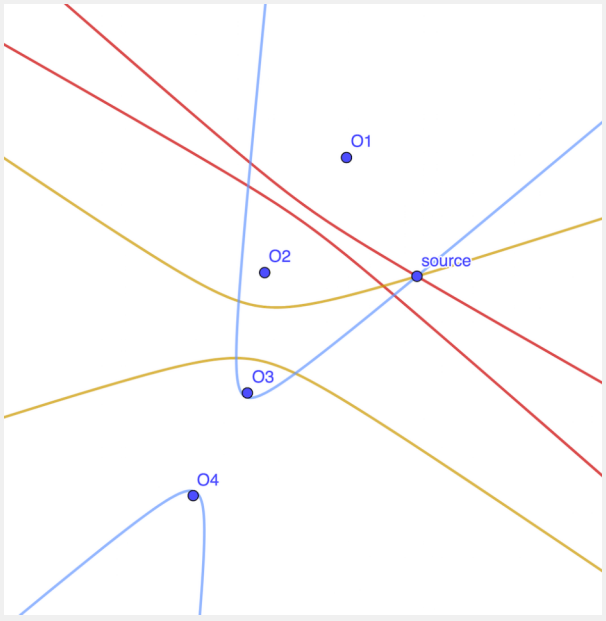
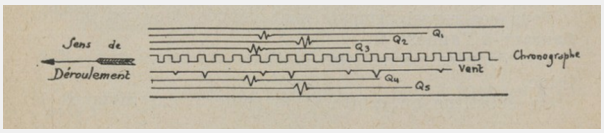


figure 1 - détermination de la position de la source du bruit par intersection d'hyperboles

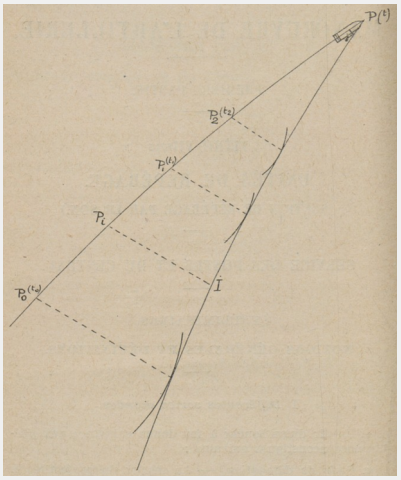
Il faut toutefois apporter des corrections aux mesures : la vitesse du son dans l'air varie en effet en fonction de la température de l'air et du degré d'hygrométrie. On tient compte également de la vitesse et de la direction du vent et de l'altitude des observateurs.

Le marquage de l'instant d'arrivée de l'onde de bouche s'effectue soit de manière manuelle, au moyen d'un interrupteur (manipulateur Morse), soit de manière automatique au moyen d'un microphone associé à un oscillographe. Le résultat est enregistré sur des bandes de papier ou par d'autres techniques ; il faut en tout cas une référence de temps commune aux observateurs. Au printemps 1915, l'armée française dispose d'une demi-douzaine de sections de repérage par le son.



5 - enregistrement des signaux des oscillographes - *Règlement de manœuvre de l'artillerie. Première partie. Titre VIISRS...* / Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Les militaires constatent alors que les résultats sont parfois inexploitables. C'est le cas lorsque la pièce ennemie lance des projectiles à une vitesse supérieure à celle du son. Les projectiles génèrent alors, tout au long de leur trajet, une onde de choc. Cette onde de choc a la forme d'un sillage de navire dont la pointe correspond à la position instantanée du projectile. Un observateur « dans le sillage » entendra d'abord le bruit de l'onde de choc, puis un sifflement de plus en plus faible et



6 - onde de choc - un observateur placé en I perçoit un son qui semble provenir de P(i) - *Règlement de manœuvre de l'artillerie. Première partie. Titre VIISRS...* /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

enfin le bruit sourd de l'onde de bouche, alors qu'un observateur « hors sillage » n'entendra que le bruit de l'onde de bouche. Lorsque la vitesse du projectile est à peu près identique à la vitesse du son, l'onde de choc, assez longue, masque complètement le bruit du coup de départ, plus bref.

Plusieurs mois seront nécessaires pour résoudre le problème. L'analyse des sons montrera que l'onde de choc et l'onde de bouche sont de natures très différentes, les premières produisant des fréquences élevées et les secondes des fréquences très basses. Ce constat permettra de réaliser des microphones insensibles aux ondes de choc pour équiper les sections de repérage par le son à partir de l'automne 1915.

Pour obtenir la position de la pièce ennemie, les sections utilisent plusieurs techniques : construction des asymptotes des hyperboles, cartes de réseaux d'hyperboles prédéterminés ou abaques sur calques portant des cercles concentriques de différents rayons. On peut en effet déterminer la position de la pièce en trouvant le centre d'un cercle tangent aux cercles dont les centres sont les positions des observateurs et dont les rayons sont les distances correspondant aux différences des instants de perception du son, par rapport à l'opérateur de référence, ce dernier (O1 sur la figure 2) se résumant à un point.

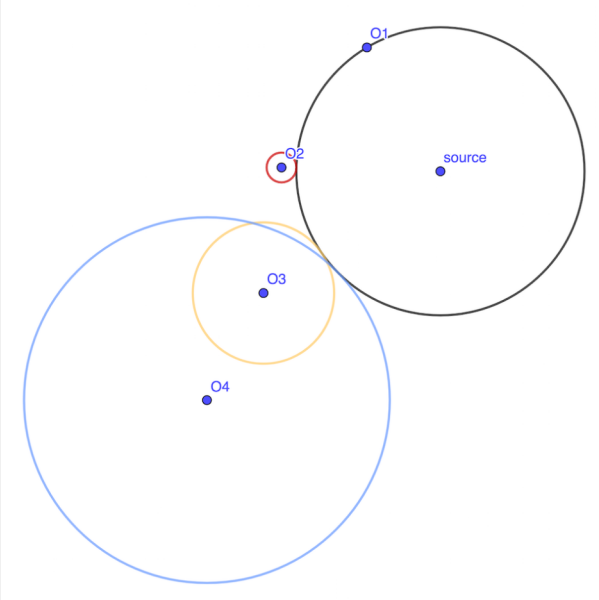


figure 2 - détermination de la position de la source du bruit par cercles tangeants

Le repérage par le son a permis de localiser à moins de 50 m des pièces situées entre 8 et 16 km. Le même principe était utilisé pour le réglage des tirs d'artillerie, en observant les ondes d'éclatement des projectiles.

2 - le service hydrographique jusqu'à la seconde guerre mondiale

Les progrès techniques

Dès leur retour au Service, les ingénieurs hydrographes cherchent à appliquer les techniques nouvelles qu'ils ont mises en œuvre pendant le conflit : l'exploitation des photographies aériennes et le repérage par le son, qu'ils vont utiliser pour la localisation des navires et pour la détermination des profondeurs.

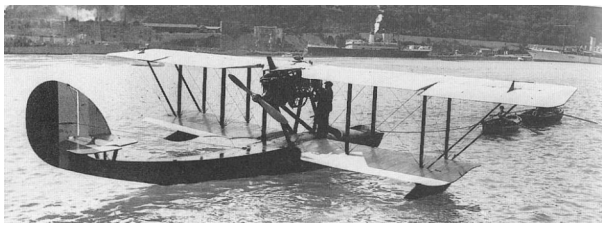
Exploitation des photographies aériennes

Les premières photographies aériennes ont été prises au XIXe siècle, d'abord en ballon, ensuite, de manière automatique par cerf-volant (1889) puis en avion. L'activité s'est développée fortement pendant la guerre, où les groupes de canevas de tir l'ont utilisée pour compléter leurs cartes avec les détails topographiques intéressants et les ouvrages de l'ennemi.

A cet effet, les militaires ont développé des procédés de restitution des photographies aériennes permettant d'en reporter les détails sur les cartes. Des appareils de restitution ont vu le jour, dont celui des ingénieurs hydrographes Cot et Marti, du régiment des canonniers marins, et celui de l'ingénieur hydrographe Roussilhe, des groupes de canevas de tir.

Après la guerre, le service hydrographique étudie l'emploi des photographies aériennes pour :

- les levés hydrographiques
- la reconnaissance des hauts-fonds (au plus fort des courants de marée par temps calme, ou par grande houle sans vent)



7 - hydravion Levy-Le Pen HB2 - CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47619458

L'aménagement photographique des hydravions de type G.L. est étudié à Saint-Raphaël du 12 au 19 juin 1919. Une mission d'expérimentation se déroule à Brest, du 7 juillet au 7 octobre. Les appareils utilisés sont des hydravions Levy-Le Pen HB2, équipés d'un moteur Renault de 300 cv.

Quatre hydravions sont équipés. Entre le 21 juillet et le 7 octobre, ils effectuent 28 reconnaissances, représentant 60 heures de vol et 663 clichés. Les photographies sont prises à 2 600 mètres d'altitude avec un appareil de 26 mm de focale sur des plaques de 18x24. L'échelle obtenue correspond au 1 / 10 000.

La mission d'expérimentation conclut que la photographie aérienne permet :

- d'obtenir les détails de la topographie : trait de côte, planimétrie près de la côte, contour des roches découvertes à basse mer
- de déterminer, lors du parcours à pied de la côte, photo en main : la nature du terrain, la laisse de pleine mer[3], la cote des rochers remarquables des plateaux découvrant
- de découvrir les hauts fonds par l'aspect du fond ou de la surface (effet des courants) ; le fond est visible jusqu'à 17 m dans les conditions les plus favorables
- de contrôler que les passes et les chenaux sont sains

Dès l'année suivante, le service hydrographique fait effectuer des reconnaissances photographiques avant chaque levé.

Repérage par le son

En 1919, le service hydrographique étudie l'emploi possible des ondes sonores sous-marines, aussi bien en propagation horizontale qu'en propagation verticale. Dans le premier cas, il s'agit de mesurer des distances en mer pour permettre la localisation des navires hydrographiques lorsqu'ils sont situés hors de vue de côte. Dans le second cas, il s'agit de mesurer la profondeur de la mer au moyen de l'écho renvoyé par le fond.

Des expérimentations sont conduites avec succès. Le service hydrographique se penche alors sur la connaissance précise de la vitesse du son dans l'eau, dont dépend la précision des distances qui seront calculées à partir des temps de propagation de l'onde sonore (voir encadré n°3).

3 Limite atteinte par la mer lorsqu'elle est au plus haut. Cette limite est souvent matérialisée sur les plages par une ligne d'algues et de débris divers apportés par la mer.

Encadré n°3 : la vitesse du son dans l'eau

La connaissance de la vitesse de propagation du son dans l'eau est très importante en hydrographie car c'est cette vitesse qui permet de convertir en distances les écarts de temps mesurés par les sondeurs et autres dispositifs acoustiques.

Une première expérience de mesure de la vitesse du son dans l'eau douce est effectuée en 1826-1827 dans le lac de Genève par Colladon et Sturm, qui trouvent une vitesse de 1 435 m/s dans de l'eau à 8°C. Dans l'eau de mer, Bragg trouve, pendant la première guerre mondiale, 1 512 m/s à 16,7°C.

En juillet 1919, l'ingénieur Marti effectue des mesures de propagation en rade de Cherbourg. On sait alors que la vitesse du son dans l'eau varie avec la température, la salinité et la pression, cette dernière dépendant de la profondeur. Mais on ne connaît pas précisément l'influence de chacun de ces facteurs.

Marti met en place, sur un alignement, trois microphones sous-marins A, B et C, espacés d'environ 900 mètres. Puis il déclenche des explosions sur cet alignement, à 1 200 m du microphone le plus proche, soit du côté de A, soit du côté de C, pour éliminer l'effet du courant. Les signaux des microphones sont enregistrés sur un graphique. Marti trouve une vitesse (horizontale) de 1 504 m/s dans des conditions moyennes (15°, densité de 1,0246, à faible profondeur). Il donne également, de manière théorique, les lois de variation de la vitesse du son dans l'eau.

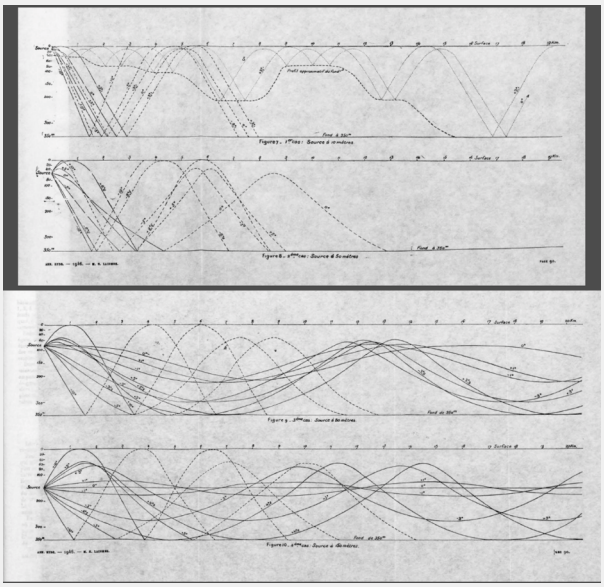
La vitesse du son dans l'eau augmente avec la pression, la température et la salinité. La pression augmente régulièrement avec la profondeur. La température a tendance à diminuer avec la profondeur, jusqu'à atteindre 4°C, mais, de même que la salinité, elle est inégalement répartie.

En propagation verticale, la variation de la pression et celle de la température ont tendance à s'annuler. La vitesse du son reste à peu près la même, pour une salinité constante, jusqu'à la profondeur où la température se stabilise. La vitesse du son augmente alors avec la profondeur.

En propagation horizontale, les observations effectuées pendant la guerre montrent que le son cherche à se propager à la vitesse la plus faible. Il se courbe vers le fond en été, quand la couche de surface est chaude, ce qui limite sa portée, alors qu'il se courbe vers la surface en hiver et rebondit sur elle, ce qui accroît sa portée. Lorsque le son rebondit à la surface, il subit un déphasage qui crée une interférence pouvant l'annuler et le rendre imperceptible. Lorsque le son rebondit sur le fond, celui-ci en absorbe une bonne partie et il n'y a pas de phénomène d'interférence.

Après la guerre, l'étude de la propagation des ondes sonores dans les différentes couches sous-marines, selon leur température et leur salinité, montre qu'il existe dans les profondeurs moyennes, vers 1 300 m[1], une couche dans laquelle la vitesse du son est minimum. Dans cette couche, le son se propage sans parvenir au fond ou à la surface, ce qui lui permet de conserver son énergie et d'atteindre des portées considérables. Tout se passe comme s'il existait à cette profondeur une sorte de tube acoustique (l'équivalent d'une fibre optique pour la lumière). Une petite bombe explosive qui éclate à cette profondeur émet des ondes sonores qui peuvent être captées à plus de 3 000 milles de distance par des récepteurs situés à la même profondeur. La différence d'arrivée de ces ondes dans les stations de repérage permet de calculer l'endroit où la bombe a été lancée.

Ce canal, appelé SOFAR (SOund Fixing And Ranging), a permis à l'U.S. Navy, pendant la seconde guerre mondiale, de repérer la position exacte d'aviateurs perdus en mer, et de les secourir.



8 - propagation du son dans la mer en fonction de l'immersion et de l'incidence de la source de bruit - *La propagation du son dans ses rapports avec le repérage radio-acoustique* - source : Shom, extrait des Annales hydrographiques 1948

1 Cette profondeur varie beaucoup selon les endroits et la période de l'année

Localisation des navires

Le repérage par le son des navires fonctionne de la même manière que celui des canons ennemis, à la différence près que le navire indique à quel moment a lieu l'explosion de départ, ce qui permet de déterminer sa position par des cercles plutôt que par des hyperboles.

Le repérage par le son s'utilise sans retransmission ou avec retransmission. Dans les deux cas, le navire qui sonde à vitesse normale lâche à la mer toutes les dix ou quinze minutes rondes une charge explosive amorcée. Le bruit de l'explosion se propage dans toutes les directions et atteint à des instants différents trois microphones M1, M2 et M3 immergés à des emplacements connus.

On mesure les temps T1, T2 et T3 mis par le bruit de l'explosion pour arriver à chacun des microphones. En multipliant ces temps par la vitesse de propagation du son dans l'eau de mer, on obtient les distances D1, D2, D3 que l'on matérialise sur une carte en traçant trois cercles centrés sur la position des microphones. L'intersection de ces cercles indique la position du bâtiment.

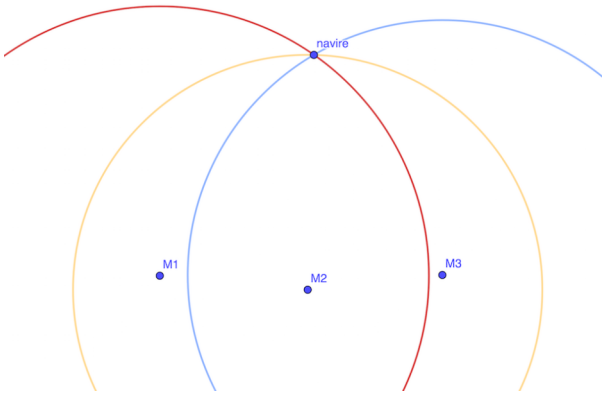


figure 3 - détermination de la position du navire par le son

Dans le repérage sans retransmission, chaque microphone est relié à une station d'écoute située à terre ou à bord d'un navire au mouillage. Le personnel de la station d'écoute détermine la distance de l'explosion et la retransmet par T.S.F. au navire. Le navire et chaque station d'écoute disposent d'un enregistreur graphique qui inscrit :

- un battement de chronomètre
- le signal transmis par T.S.F. par le navire lorsqu'il ressent les secousses due à l'explosion - ce signal sert d'origine des temps
- le niveau sonore reçu par le microphone

Dans le repérage avec retransmission, chaque microphone émet par T.S.F. un signal lorsqu'il reçoit le bruit de l'explosion. Ce signal est inscrit sur l'enregistreur graphique du navire. La lecture de l'enregistrement permet de déterminer les temps de propagation T1, T2 et T3.

Détermination des profondeurs

Jusqu'à la première guerre mondiale, les sondages par petits fonds s'effectuaient en route à petite vitesse avec une ligne de sonde terminée par un plomb de sonde. Le sondeur lançait sur l'avant le plomb de sonde, le plus loin possible, puis il remontait avec précaution la ligne de sonde jusqu'à ce qu'elle soit verticale. Il lisait alors la profondeur sur les graduations portées par la ligne puis remontait le plomb.

La même technique était utilisée pour des fonds plus importants mais elle nécessitait de stopper le navire, la remontée de la ligne à la main prenant beaucoup de temps.

Dès 1807, Arago proposait d'utiliser la propagation du son pour les sondages à grande profondeur. Matthew Fontaine Maury, le fondateur de l'océanographie, rapporte des essais infructueux effectués dans ce domaine, avec des pétards et des cloches.

En 1831-1833, l'ingénieur hydrographe Dortet de Tessan effectua le levé des côtes de l'Algérie. Parmi les notes qu'il a produites à ce propos, figure une méthode pour sonder par grande profondeur en employant une bombe qui explose en touchant le fond. En mesurant le temps écoulé entre l'instant où on lâche la bombe et celui où le son de l'explosion arrive à la surface, et en connaissant la vitesse de chute de la bombe dans l'eau, on peut déterminer la profondeur. Le temps de chute est augmenté du temps de propagation du son de l'explosion vers la surface, une quantité qu'il juge négligeable mais, s'il le fallait, qui pourrait être corrigée.

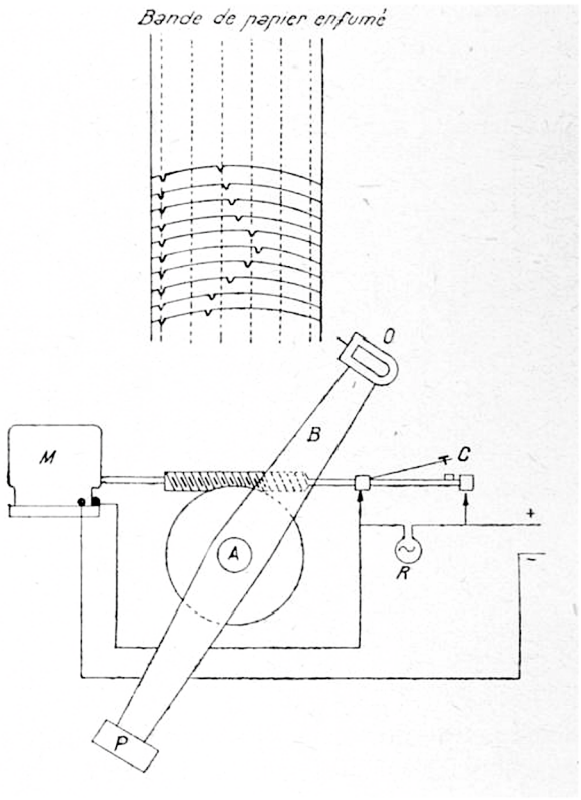
La catastrophe du *Titanic* en 1912 donne l'idée à plusieurs inventeurs de détecter la présence des icebergs devant un navire, aussi bien dans l'air que dans l'eau, par l'écho d'un son émis par le navire. L'idée de l'écho est reprise quelques années plus tard, en 1915, pour la détection des sous-marins allemands (voir plus loin).

Après la guerre, l'ingénieur hydrographe Marti exploite l'idée de l'écho pour la détection du fond, le navire étant en route. En mai 1919, il enregistre les premiers échos sur le fond à bord d'un torpilleur en Manche. En août de la même année, il effectue un sondage dans le golfe de Gascogne à bord du câblier *Charente* à 9 nœuds, par fonds de 4 000 m, avec des cartouches de 40 g d'explosif.

Son dispositif de sondage au son nécessite une source de bruit comme émetteur et un système récepteur.

La source de bruit est une charge explosive, comme dans la localisation des navires. Marti utilise ensuite le canon de 37 mm, qu'il faut immerger pour le tir puis remonter pour le nettoyage et le rechargement, puis le fusil de guerre qui tire immergé ou qui tire une balle dont le choc sur la surface de la mer sert de source de bruit, et enfin un marteau qui frappe la coque du navire.

Le récepteur est constitué d'un microphone, du type de ceux qui ont été utilisés pendant la guerre pour détecter les sous-marins allemands, placé sous un flotteur remorqué, et d'un enregistreur graphique à vitesse de déroulement constante qui enregistre sur papier fumé le signal du microphone. Le temps de propagation aller-retour du bruit est mesuré sur la bande entre le crochet inscrit à la première réception du bruit et celui inscrit à la réception de l'écho. La profondeur est obtenue en multipliant ce temps par la vitesse du son dans l'eau de mer, puis en divisant le résultat par deux.



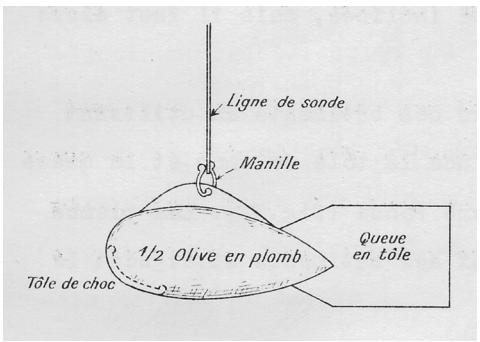
9 - enregistreur Marti - les crochets d'émission sont à gauche de la bande de papier - *Les procédés récents de sondage par le son* /Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Le sondage par le son présente certains inconvénients : le son se propageant dans toutes les directions, on reçoit parfois l'écho d'une falaise proche avant celui du fond. D'autre part, la source de bruit perturbe le sommeil du personnel à bord et entraîne une grande fatigue. Un de ses avantages est cependant une faible absorption des ondes sonores (leur absorption croît avec leur fréquence), ce qui permet de sonder à très grande profondeur.

Plomb poisson

En avril 1919, en étudiant dans le cadre du sondage au son en route l'efficacité des microphones selon leur emplacement (sous un flotteur remorqué, dans un poisson remorqué ou fixés contre la coque dans un ballast), l'ingénieur Marti remarque les propriétés d'évolution du dispositif d'écoute de l'officier principal des équipages Levêque. Ce dispositif, utilisé dans la détection des sous-marins et baptisé *le pilote*, ressemble à un poisson dans lequel se trouve le microphone. Marti a l'idée de réaliser un plomb de sonde ayant la même forme, que l'on ne serait pas obligé de remonter complètement entre deux coups de sonde.

Un progrès avait été récemment apporté aux lignes de sonde des navires pour le sondage en route. Les lignes de sonde en chanvre ne pouvaient être utilisées en route au-delà de 40 m de profondeur à cause de leur élongation. En 1914, l'ingénieur Cot les avait remplacées par des fils d'acier zingués, plus tard galvanisés, permettant de sonder jusqu'à 90 m à la vitesse de 3 nœuds. En combinant fil d'acier et plomb poisson, il devenait possible de sonder en route à la vitesse de 2 à 3 nœuds tout en conservant une quasi verticalité de la ligne de sonde.



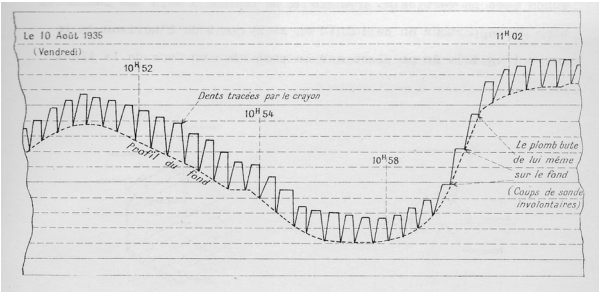
10 - plomb poisson - source : Shom, extrait du manuel du breveté hydrographe (1937)

Le sondage au plomb poisson utilise un plomb profilé de 20 kg. La ligne de sonde est enroulée sur un rouet de relevage à manivelle placé à l'arrière du bâtiment ou de l'embarcation de sonde. Le sondeur déroule lentement la ligne jusqu'à ce qu'elle mollisse, signe que le plomb a touché le fond. Après avoir lu la profondeur sur les marques de graduation de la ligne, il relève le plomb d'un quart de tour (cinquante centimètre environ) puis

revient toucher le fond en notant la nouvelle profondeur. La ligne de sonde restant à peu près verticale, aucune correction d'inclinaison n'est nécessaire.

Les coups de sonde sont donnés toutes les 5 secondes. Toutes les 16 sondes, l'observateur prend un angle traversier et toutes les 48 sondes, soit 4 minutes, les observateurs prennent les angles permettant de calculer la station[4]. A la vitesse de 2 nœuds, on obtient des sondes espacées de 5 mètres.

En 1924, Marti améliore l'appareil en lui ajoutant un enregistreur graphique qui reproduit les mouvements de la ligne.



11 - enregistrement de plomb poisson - les « dents » correspondent aux montées et descentes du plomb poisson - source : Shom, extrait du manuel du breveté hydrographe (1937)

Au-delà de 80 m, le sondage se fait sur les bâtiments avec un plomb de 50 kg à la vitesse de 4 nœuds. Il faut alors deux hommes aux manivelles et un homme à la lecture de la ligne de sonde.

Le plomb poisson est utilisé dans les missions hydrographiques à partir de 1921. Il est parfois appelé incorrectement sondeur Warluzel à cause de l'inscription qui figure sur les rouets provenant des anciens sondeurs Warluzel. L'ancien plomb de sonde est renommé plomb olive et le sondage au plomb poisson devient la norme. Le plomb olive reste utilisé pour déterminer la nature du fond au moment de la station, ce que ne permet pas le plomb poisson.

Les avantages de cette nouvelle méthode de sondage sont les suivants :

- le sondage est pratiquement continu, avec une grande densité de sondes
- la densité des sondages est la même pour toutes les profondeurs
- en cas de relèvement brusque de fond le plomb vient heurter le flanc du relèvement et le sondeur est prévenu par une secousse de la ligne de sonde
- la ligne étant toujours tendue, les sondes sont exactes à 10 cm près
- la fatigue du personnel est diminuée
- la ligne ne s'allonge pas, il n'y a pas besoin de correction
- la ligne ne peut pas s'engager dans l'hélice
- le poisson ne s'enfonce pas si le fond est mou



12 - sondage au plomb poisson en canot à moteur, vers 1930 - de gauche à droite : le sondeur au plomb olive (pour la nature du fond), le patron et le mécanicien, deux observateurs et le sondeur au plomb poisson. Le secrétaire, assis à l'arrière, est caché par le sondeur - source : Shom

Sondage ultrasonore

La détection sous-marine

Pendant la guerre, les marines alliées doivent faire face à une nouvelle menace : le sous-marin. Pour s'en protéger, elles vont développer des techniques de repérage par le son. En France, le Centre d'études maritimes (C.E.M.) de Toulon supervise ces études. Il dépend de la Direction des inventions intéressant la défense nationale, créée fin 1915 par Painlevé.

Un sous-marin est bruyant. Lorsqu'il se déplace, il émet des bruits liés à la rotation de ses hélices. Pour déceler ces bruits, les alliés utilisent d'abord des stéthoscopes, puis des géophones et enfin des hydrophones, rendus directifs pour indiquer d'où provient le bruit. L'écoute se fait le plus souvent à l'arrêt, mais certains appareils sont remorqués pour permettre l'écoute en route.

4 La station est un point du trajet suivi par le bâtiment ou l'embarcation qui sonde, point dont on détermine la position. Si dans le passé la détermination de la position se faisait à l'arrêt, elles se fait depuis le début du XIXe siècle le plus souvent en route.

Avec ces dispositifs, un sous-marin à l'arrêt reste indétectable. Pour y remédier, le scientifique français Chilowsky proposa de détecter les sous-marins par la méthode de l'écho. Un son bref émis par le navire serait réfléchi par le sous-marin et entendu au moyen d'un hydrophone. En mesurant l'intervalle de temps entre l'émission du son et la réception de l'écho, et connaissant la vitesse de propagation du son dans l'eau, on pourrait déterminer à quelle distance se situe le sous-marin.

Le son se propageant dans toutes les directions, on ne saurait pas toutefois où se trouve le sous-marin. Il faudrait donc émettre un son directionnel. Or, pour rendre un son directif, le diamètre de sa source sonore doit être nettement plus grand que sa longueur d'onde, qui varie en fonction inverse de la fréquence. Afin de garder un diamètre raisonnable à la source sonore, Chilowsky préconisa en 1915 d'utiliser un son à la fréquence de 40 KHz (40 000 vibrations par seconde, soit une longueur d'onde d'environ 3,75 cm dans l'eau de mer[5]) . A cette fréquence, le son n'est plus audible ; on l'appelle un ultrason.

Le professeur Langevin est alors mis en relation avec Chilowski. Après un début de collaboration, Langevin travaille seul, avec le C.E.M. Il a l'idée d'utiliser un phénomène physique découvert en 1880 par les frères Curie : la piézoélectricité. En appliquant un champ électrique à une lame de quartz, on provoque sa déformation. A l'inverse, en appliquant une pression sur la lame, on génère un champ électrique. Le quartz peut réagir de cette manière à une grande fréquence, jusqu'à 50 000 fois par seconde.

Sur ce principe, Langevin développe un projecteur à ultrasons, capable à la fois d'émettre un bruit ultrasonore et de détecter son retour. La première détection d'écho a lieu en février 1918, celle d'un sous-marin en mai 1918.

Le sondeur à ultrason

Puis vient la fin de la guerre. Au C.E.M., les travaux de Langevin se poursuivent. En septembre 1919, l'ingénieur Florisson le rejoint. A la même époque, le C.E.M. demande à Langevin d'orienter ses travaux vers la réalisation d'un sondeur à ultrason, en dirigeant le projecteur vers le fond[6]. La demande de la marine précise que :

- le sondeur doit permettre de sonder à toutes les profondeurs
- la profondeur doit être mesurée avec une précision au moins égale à celle du sondage mécanique
- l'utilisation du sondeur doit être simple

Langevin et Florisson envisagent de restituer la profondeur sur un enregistreur Boulitte à cylindre enduit de noir de fumée. Pour se faire aider dans sa conception, ils contactent en novembre 1919 l'ingénieur hydrographe Marti, qui travaille sur le sondage au son et utilise déjà un enregistreur. En avril 1921, Marti reçoit l'enregistreur commandé à Boulitte. A partir de ce moment, il se retrouve associé au développement et aux essais du sondeur à ultrason.

L'industriel chargé de fabriquer les sondeurs est la S.C.A.M. (Société de condensation et d'applications mécaniques). Trois modèles de sondeur ultrasonore sont prévus :

- le Langevin-Florisson, pour la navigation des navires de guerre et de commerce,
- le Langevin-Florisson-Touly, pour les chalutiers,
- le Langevin-Florisson-Marti, pour les services hydrographiques.

Le premier modèle est équipé d'un analyseur optique permettant une lecture par indicateur lumineux de la profondeur. Le second modèle, portant à 400 m, est associé à un indicateur Touly, également de type lumineux. Le dernier modèle dispose d'un enregistreur graphique.

En 1933, la S.C.A.M. produit un sondeur portatif pour embarcation, portant à 60 m, équipé d'un échoscope permettant une lecture par indicateur lumineux (voir encadré n°4).

La profondeur de détection minimale de ces sondeurs est de quelques mètres. Elle est limitée par le temps de commutation du projecteur entre le mode émission et le mode réception.

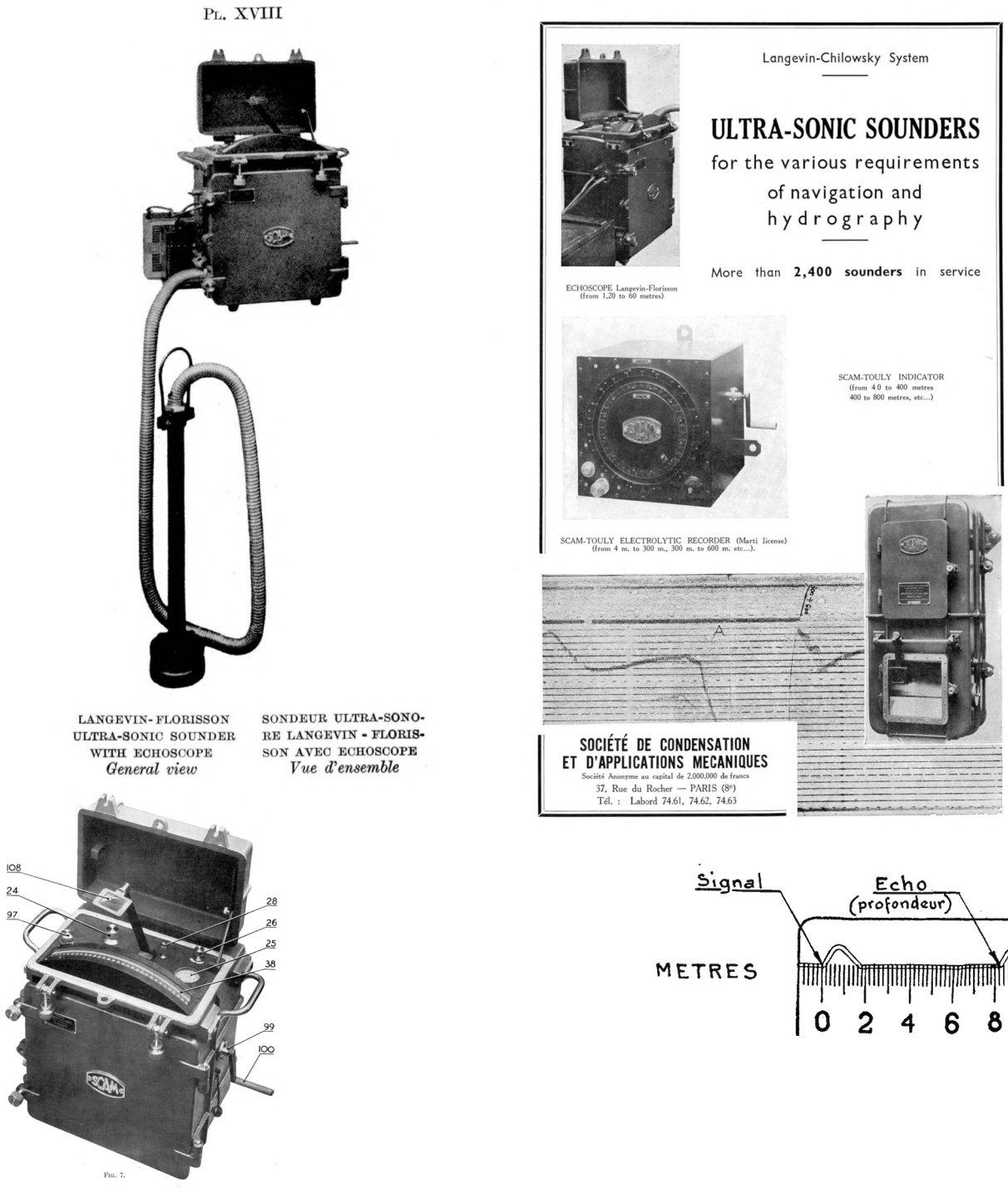
Les premiers essais en mer ont lieu en 1922, l'utilisation courante à partir de 1925.

Le sondage par ultrasons permet de sonder à vitesse rapide, avec une fréquence bien supérieure au sondage manuel (à 7 nœuds on obtient une sonde tous les 10 m). De plus, l'enregistrement automatique supprime une cause d'erreur. Par

5 La longueur d'onde, en mètres, s'obtient en divisant la vitesse de propagation, en mètres par seconde, par la fréquence, qui est le nombre de vibrations par seconde.

6 Les britanniques poursuivront leurs travaux sur la détection des sous-marins par ultrason, pour aboutir à l'ASDIC, appelé plus tard Sonar par les américains.

Encadré n°4 : l'échoscope, sondeur d'embarcation



13 - illustrations provenant de la Revue Hydrographique Internationale : en haut à gauche : sondeur avec échoscope (vol XI n°2 1934) - en haut à droite : publicité pour les sondeurs Langevin (en haut l'échoscope, en bas un modèle à enregistreur électrolytique Marti - vol XV n°2 1938) - en bas à gauche : le boîtier de l'échoscope (vol X n°2 1933) - en bas à droite : son affichage (vol X n°2 1933)

Autorisation No 03/2020

Le matériel provenant de la publication P-1 de l'OHI Revue Hydrographique Internationale (RHI) est reproduit avec la permission du Secrétariat de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) (Autorisation N° 03/2020), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI.

contre, la nature et l'inclinaison du fond peuvent donner de mauvais échos (vase molle, algues).



14 - embarcation munie d'un dispositif de sondage au plomb poisson (treuil de sondeur Warluzel) et d'un échoscope (boîtier indiqué par une flèche). La lecture de la profondeur se fait sur le dessus du boîtier, la tête sous un voile noir de photographe - source : Shom

De leur côté, les anglais utilisent pour leurs sondeurs une technologie différente, la magnétostriction, déformation de corps magnétiques comme le nickel sous l'action d'un champ électromagnétique. Leurs sondeurs sont produits par la maison Henry Hughes & son.

Utilisation des sondeurs par le service hydrographique

A la veille de la seconde guerre mondiale, le service hydrographique utilise les appareils de sonde suivants sur embarcation :

- plomb olive
- plomb poisson, avec ou sans enregistreur, jusqu'à 30 m
- sondeur à ultrason et échoscope, jusqu'à 60 m

et sur bâtiment :

- plomb poisson avec enregistreur, jusqu'à 100 m
- sondeur au son C.E.T 1931 (enclume, coup par coup, avec enregistreur coup par coup), jusqu'à 200 m
- sondeur au son C.E.T 1938 (enclume, en continu, avec enregistreur Marti), jusqu'à 200 m
- sondeur au son (fusil) avec enregistreur coup par coup ou continu, jusqu'à 1 000 m
- sondeur à ultrason (piézoélectrique) avec indicateur Touly ou enregistreur électrolytique Langevin-Touly ou enregistreur Marti, jusqu'à 1 000 m
- sondeur à ultrason Husun (Hughes & son, magnétostriction), avec enregistreur électrolytique, jusqu'à 6 000 m
- sondeur au son (explosif) avec enregistreur coup par coup ou continu, jusqu'aux grands fonds (10 000 m)

Les sondeurs au son et aux ultrasons permettent également, par l'étude de la forme de l'écho renvoyé par le fond, de déterminer sa dureté.

La reprise des travaux hydrographiques

Reconstitution de la flotte hydrographique

L'*Utile* reprend du service en hydrographie en 1920, avec son annexe la *Sonde*.

Dès 1919, la marine décide d'attribuer au service hydrographique des navires construits pendant la guerre et devenus sans emploi. Deux transports de type *Jacques-Cœur*, rallongés de 12 m pour servir de ravitailleurs d'escadre, sont mis à la disposition du Service sous les noms de *Beautemps-Beaupré* et *Lapérouse*. Leur déplacement est de 540 t.



15 - le Beautemps-Beaupré à Oran en 1926 - source : Shom

De même, cinq chasseurs de sous-marins de 460 t, construits sur des plans de chalutiers, sont mis à la disposition du service hydrographique :

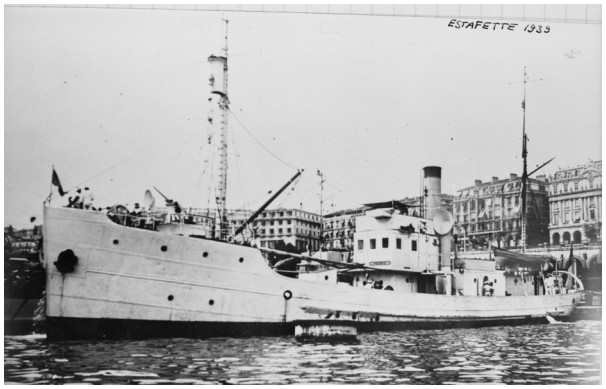
- l'*Alidade* (ex *Martin-pêcheur*)
- l'*Astrolabe* (ex *Mauviette*)
- la *Boussole* (ex *Pinson*)

- le *Gaston-Rivier* (ex *Ortolan*)
- l'*Octant* (ex *Pivert*)

En 1924, le *Huron*, un remorqueur de la marine américaine de 500 t transféré à la France en 1917, est affecté à l'hydrographie sous le nom de *Zélée*, rebaptisé *Chimère* en 1932. Il cesse son activité hydrographique en 1934, remplacé par l'aviso *Dubourdieu*, de 540 t, construit en 1915.

La *Sonde* est retirée du service en 1928.

Fin 1931, une tempête coule à quai l'*Alidade* et la *Boussole*. Deux autres chasseurs de sous-marins les remplacent : L'*Estafette* (ex *Pie*) et la *Sentinelle* (ex *Perruche*).



16 - la Sentinelle - source : Shom (1936)

Le *Beautemps-Beaupré* est désarmé en 1935. Il est remplacé, en 1936, par l'aviso *Ypres*, de 655 t.

L'*Utile* est retiré du service en 1936. Il est remplacé l'année suivante par l'*Amiral-Mouchez*, un navire de 720 t spécifiquement construit pour l'hydrographie, mis sur cale à Cherbourg en 1932.

En 1936, la marine achète deux chalutiers, le *Léon-Foret* et le *Rémy-Chibard*, destinés à devenir des navires hydrographiques sous les noms d'*Austral* et de *Boréal*. Ils n'ont pas le temps d'entrer en service avant la guerre.

Dans le Pacifique, une nouvelle goëlette nommée la *Zélée*, de 200 t, effectue des travaux hydrographiques. Entre 1934 et 1937, les avisos-coloniaux *Rigault-de-Genouilly*, *Amiral-Charner* et *Savorgnan-de-Brazza* effectuent des campagnes hydrographiques dans le Pacifique.

Enfin, entre 1925 et 1939, les missions hydrographiques utilisent des remorqueurs pour les opérations de dragage :

- remorqueurs de mer *Crabe*, *Tourteau*, *Trottebec* et *Ter*
- remorqueurs de port *Goury*, *Reville*, *Flamanville*, *Jobourg*, *Larmor*, *Djerba* et *Zembra*

En ce qui concerne les embarcations, les missions utilisent d'abord des canots White (coque en bois, machine à vapeur). Par la suite, elles les remplacent, sauf en Indochine, par des canots en bois avec moteur à essence équipés progressivement de gouvernail Kitchen[7] : les canots « type Brestois ». Les missions utilisent également des pinasses pour leurs opérations de dragage.

Remise en route des missions hydrographiques

Les missions sont indiquées ci-dessous avec leur nom générique, mais elles utilisent parfois un nom lié à leur zone de travail de l'année, par exemple : mission de la baie de Saint-Brieuc.

Mission hydrographique de dragage des côtes de France

Cette mission démarre en 1919 avec le *Gaston-Rivier* et le remorqueur *Mathurin*. Elle fonctionne en général d'avril à octobre, avec deux ingénieurs hydrographes. Elle opère en Manche.

En 1919 elle procède à des essais de localisation du plateau de Rochebonne, supposé alors être placé à 400 m près (en fait, quatorze fois plus, voir chapitre précédent), avec la toute nouvelle technique du repérage par le son. Des explosions sont effectuées près du plateau. On tente, sans succès, de les écouter avec des microphones installés sur la côte.

La mission fonctionne ensuite comme une annexe de la mission hydrographique des côtes de France avant de redevenir autonome en 1925, avec le renfort d'un remorqueur. En 1939, elle est désarmée à la déclaration de la guerre.

Mission hydrographique des côtes de France

La mission démarre en 1920 avec l'*Utile* et la *Sonde*. Elle emploie entre 4 et 5 ingénieurs hydrographes. Elle fonctionne en général d'avril à octobre et opère en Manche jusqu'en 1938, puis au large du Morbihan.

La mission hydrographique de dragage des côtes de France lui est annexée jusqu'en 1925. La mission reçoit ensuite le renfort du *La Valette*.

7 Le gouvernail Kitchen permet de réduire et même d'inverser l'allure d'une embarcation sans modifier son régime moteur. Il améliore la fiabilité des moteurs à explosion qui avaient tendance à s'encrasser à force de fonctionner au ralenti.

En 1928, la *Sonde* est désarmée et le *La Valette* est retiré de la mission. La mission dispose en remplacement de remorqueurs de mer ou de port.

En 1937, l'*Utile* est remplacé par l'*Amiral-Mouchez*. En 1939, la mission est dissoute à la déclaration de la guerre.

Mission hydrographique de l'Indochine

Cette mission est créée en 1921. En attendant de traverser l'océan Indien à la période d'inter-mousson, la mission, avec le *Lapérouse*, l'*Octant* et l'*Astrolabe*, effectue un levé en Algérie (sous le nom de mission hydrographique de l'Algérie et du Maroc).

La mission arrive en Indochine en 1922. Elle travaille sans interruption jusqu'à la guerre. Lorsque le *Lapérouse* est indisponible pour entretien, il est remplacé temporairement par un aviso.

La mission ne reçoit des sondeurs ultrason qu'en 1928. Par contre elle est une des premières à utiliser régulièrement les photographies aériennes pour compléter la topographie.

Mission hydrographique d'Algérie

La mission est prévue pour travailler de mars à novembre, puis retourner à Toulon pour l'hiver. Elle démarre ses travaux en 1920 par la côte syrienne (sous le nom de mission hydrographique de Syrie). Elle dispose du *Beautemps-Beaupré*, de l'*Alidade* et de la *Boussole*.

A partir de 1922, la mission travaille en Algérie et en Tunisie. Elle est suspendue pour des raisons budgétaires à la fin de l'année 1926.

Elle reprend son activité en 1930, après l'accident de l'*Edgar-Quinet* (voir plus loin).

En 1931, elle reçoit les remorqueurs *Djerba* et *Zembra*. Exceptionnellement, elle ne rallie pas Toulon cet hiver là et reste à Bizerte. Le 12 décembre, une violente tempête coule l'*Alidade* et la *Boussole* et endommage le *Beautemps-Beaupré*. Les deux annexes sont remplacées en 1933 par la *Sentinelle* et l'*Estafette*.

En 1935, le *Beautemps-Beaupré* est condamné et remplacé par l'*Ypres*.

En 1937, la mission travaille au large, sur le banc des Esquerquis. Le repérage par le son étant limité à une distance de 25 milles, elle utilise en particulier un système à fil perdu pour la mesure des bases. A la fin de l'année elle est dirigée vers la côte Ouest d'Afrique et prend le nom de mission hydrographique de l'Afrique occidentale française. La mission s'interrompt fin août 1939.

Mission de dragage des côtes de France, ou « Loire-Gironde »

La mission est mise sur pied en avril 1923, d'abord à titre temporaire, après la perte du cuirassé *France* à Quiberon (voir plus loin). Elle est chargée de draguer la zone où le cuirassé à été accidenté. Elle dispose des remorqueurs *Gladiateur*, *Minou* et *Larmor* ainsi que de pinasses pour le dragage. Par manque d'ingénieur hydrographe, la mission est dirigée par un officier de marine.

La mission est ensuite constituée pour durer. Elle reçoit la *Zélée* en 1924 et travaille pendant la mauvaise saison en effectuant des levés de circonstance aux abords de Lorient où elle est stationnée.

En 1931, la mission effectue, pour la navigation sous-marine, un dragage en mer d'Iroise de 5 milles de large sur 10 milles de long et 85 m de profondeur.

En 1932, la *Zélée* est renommée *Chimère*, avant d'être remplacée par le *Dubourdieu* en 1934. La mission est dissoute en 1939 à la déclaration de la guerre.

Missions des dragueurs de mines

Pendant la guerre 1914-1918, la drague Ronarc'h est utilisée pour couper les orins qui maintiennent les mines à contact sous l'eau. Un câble de remorque est fixé à l'arrière du dragueur. Il aboutit à un panneau immergé d'où partent deux fils de dragues munis à leur extrémité d'un divergent qui fait s'éloigner chaque fil de drague de la trajectoire du dragueur.

De 1923 à 1926, à la suite de la perte du cuirassé *France*, les escadrilles de dragage des arrondissements maritimes effectuent des dragages de nature hydrographique avec la drague Ronarc'h. Etant donné qu'il était difficile de prédire l'immersion des fils de drague et de conserver cette immersion pendant les évolutions des dragueurs, le service hydrographique a préféré ne pas tenir compte de ces travaux et les a refaits.

Missions diverses

De 1917 à 1940, les ingénieurs hydrographes effectuent des mission ponctuelles et variées sur les côtes françaises et au large. Parmi celles-ci figurent deux croisières d'étude de l'intensité de la pesanteur en Méditerranée, effectuées à bord de sous-marins (pour s'affranchir des mouvements

de la mer en surface) en 1934-1935 avec le *Fresnel* et en 1936 avec l'*Espoir*.

Hors de France, des missions hydrographiques ponctuelles sont réalisées par des ingénieurs hydrographes ou par des officiers de marine entre 1914 et 1939. Ces missions ont notamment impliqué :

- l'aviso *Antarès* (Djibouti, 1927 et 1928, Guyane, 1929, les Kerguélen, 1932, Guyana 1936 et 1937)
- l'aviso *Bellatrix* (Madagascar et Mayotte, 1924)
- l'aviso-colonial *Bougainville* (Djibouti, 1934 et 1935, les Kerguélen, 1939)
- l'*Aldébaran* (Antilles, 1930)
- l'aviso-colonial *d'Entrecasteaux* (Madagascar, 1938)

La perte du cuirassé France et ses conséquences


12 Pages — 12 Pages

Le Petit Journal

illustré

HEBDOMADAIRE 61, rue Lafayette, Paris — PRIX : 0 fr. 30 — 10 Septembre 1922

Le Naufrage du Croiseur « France »

Près de Quiberon, le *France*, une des plus belles unités de notre marine de guerre, rencontre une roche sous-marine inconnue. Toute tentative de sauvetage du navire fut inutile ; malgré le dévouement, l'héroïsme admirable de l'équipage, il fallut se décider à abandonner l'immense vaisseau.

17 - couverture du petit journal illustré du 10 septembre 1922 / Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Le 26 août 1922, à 1 heure du matin, le cuirassé *France*, rentrant d'un exercice en baie de Quiberon, heurte dans la passe de la Teignouse une roche inconnue, une aiguille haute de 7 m. Le cuirassé déchire son flanc sur 80 m et coule quelques heures plus tard. Il ne sera pas renfloué. Sur les neuf cents hommes d'équipage, on déplore trois disparus.

Enquêtes

L'émotion est grande. A côté de l'enquête habituelle sur les éventuelles responsabilités du commandant du navire dans l'accident, M. Raiberti, le ministre de la marine, diligente une seconde enquête chargée de rechercher les éventuelles responsabilités du service hydrographique dans cet évènement. L'accident s'est en effet produit dans une zone révisée entre 1906 et 1910. L'enquête montrera qu'une révision de la passe avait été effectuée en urgence et incomplètement en 1898, après l'accident du cuirassé Hoche dans l'ancienne passe de la Teignouse. Or, ce travail avait été considéré comme définitif, la nouvelle passe étant exclue de la révision de 1906. La commission d'enquête remet un premier rapport deuxième quinzaine de septembre. Elle conclut qu'une erreur a été commise par les responsables du service hydrographique en 1898, tous disparus depuis.

Le 20 septembre, le sénateur Guilloteaux interpelle le ministre de la marine sur « l'insuffisance actuelle du service hydrographique et sur la nécessité qui s'impose d'une réforme du corps des ingénieurs hydrographes ».

Le 13 décembre, le conseil de guerre acquitte le commandant du cuirassé.

Mesures prises

Juste après l'accident, le ministre fait réviser la passe de la Teignouse (l'ingénieur Marti y découvre une seconde roche) et les chenaux de Brest (l'ingénieurs Villain y trouve six roches non portées sur les cartes). Il fait également publier un avis aux navigateurs sur le risque de trouver des aiguilles non portées sur les cartes dans les fonds de roche.

Il est en effet admis que le plomb de sonde ne permet pas de déceler certaines roches effilées. Seul le dragage peut donner cette assurance (voir encadré n°5). Aussi, le ministre fait-il étudier par une commission le meilleur modèle de drague à utiliser. Une fois le choix effectué, les escadrilles de dragage de mines des arrondissements maritimes constitueront quatre missions hydrographiques auxiliaires et exploreront les chenaux et les accès aux ports de leur arrondissement.

Après la remise du rapport de la commission d'enquête, le ministre prend d'autres mesures.

Une nouvelle mission des côtes de France est créée

Encadré n°5 : le dragage hydrographique

Les sondages hydrographiques permettent de découvrir le relief général du fond. Dans les zones où on observe des relèvements du fond, des sondages resserrés sont effectués pour localiser leurs sommets et déterminer leurs cotes. Mais certaines roches, en forme d'aiguille, peuvent rester inconnues et provoquer, un jour ou l'autre, un grave accident, comme cela a été le cas à partir de la fin du XIXe siècle.

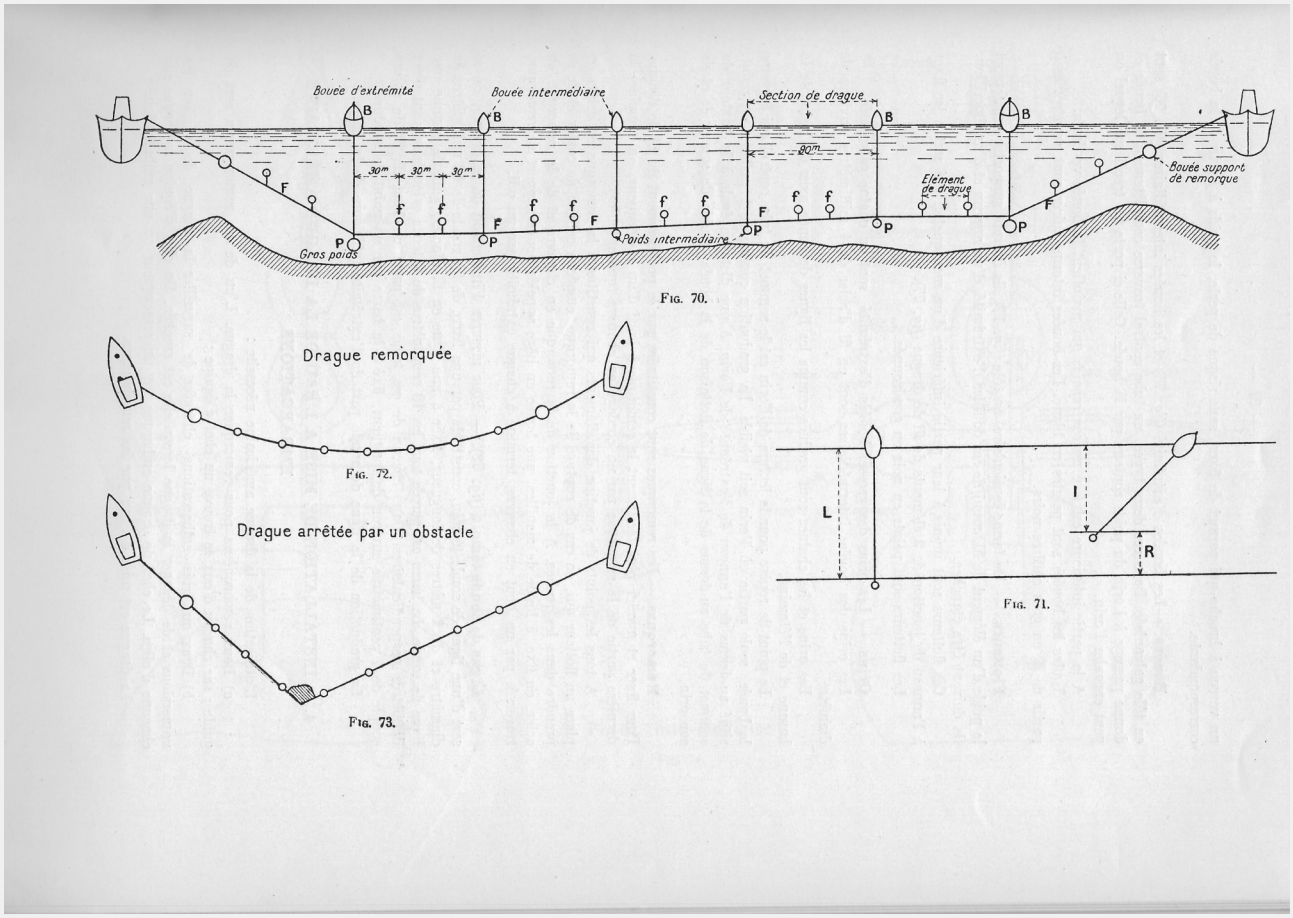
C'est à l'enseigne de vaisseau M.T. Allègre que l'on doit d'avoir trouvé une solution à cette difficulté : le dragage hydrographique.

En 1822, le capitaine de vaisseau Hell effectue le levé de la Corse. Il passe trois semaines à rechercher sans succès, au moyen de la sonde, un haut fond signalé par de nombreuses sources. L'enseigne de vaisseau Allègre a alors l'idée d'utiliser un appareil dont se servent les pêcheurs méditerranéens pour vérifier l'absence de rochers dans les endroits où ils veulent faire passer leurs filets. Allègre ne trouve pas de roche dans la zone signalée, mais en trouve dans d'autres endroits lors de dragages systématiques.

L'appareil d'Allègre est constitué d'une corde maintenue à profondeur constante par des plombs et des soutiens munis de flotteurs de liège. Trois grandes bouées avec pavillon permettent de contrôler le déplacement de l'appareil, terminé par deux embarcations. Chaque embarcation possède une corde de la moitié de la longueur voulue. Les deux cordes sont réunies par un nœud, auquel on fixe un soutien avec une grande bouée. Puis les embarcations s'écartent et les autres soutiens sont ajoutés à intervalles réguliers, avec au milieu de la corde une grande bouée. Un plomb de sonde et une remorque sont fixés aux soutiens d'extrémité.

Une fois que l'appareil est déployé, les embarcations font en sorte que les trois pavillons soient alignés et l'ensemble dérive au gré du courant. Les embarcations prennent régulièrement des angles pour déterminer la position de l'appareil.

Si l'appareil rencontre une roche, celle-ci retient la corde et la ligne formée par les trois pavillons se brise. On détermine alors la position du point où se trouve la roche.



18 - drague américaine - source : Shom, extrait du manuel de l'aide-hydrographe (1941)

Cet appareil n'est pas utilisé par la suite et il faut attendre les années 1880 pour que l'ingénieur Renaud mette au point une drague dérivante à grappins, la drague Renaud, dont la largeur va de 100 à 250 m. Au tout début du XXe siècle, les américains en dérivent un modèle allégé : la drague américaine, pouvant atteindre une largeur de 3 000 m, remorquée par beau temps à la vitesse d'un nœud et demi. La profondeur de drague, réglable, atteint 20 m.

Le dragage est très utilisé par le service hydrographique après l'accident du cuirassé *France*.

D'autres types de dragues sont mis en œuvre :

- la drague râteau (largeur de 80 m, profondeur maximum de 20 m)
- la drague finlandaise (largeur de 20 m, profondeur maximum de 10 m) ; un observateur est placé sur la drague pour en ressentir les secousses lorsqu'elle rencontre une roche
- drague divergente Ronarc'h, ordinairement utilisée pour le dragage des mines sous-marines

avec un nouveau bâtiment, le *Huron* (renommé *Zélée*), qui doit être aménagé pour l'hydrographie. Le service hydrographique disposera alors de 4 missions hydrographiques : une pour réviser les cartes de Beautemps-Beaupré, une pour réviser les cartes déjà révisées, et deux aux colonies. La flotte hydrographique sera composée de 4 navires principaux de 600 à 1 200 t et de cinq annexes de 500 t, tous munis d'installations de sondage au son.

Un décret est en préparation pour rendre le service hydrographique autonome et réorganiser le Comité hydrographique. Un projet de loi est élaboré pour réorganiser les cadres du service hydrographique et porter leur effectif à 50 officiers en fusionnant, comme dans les projets précédents, ingénieurs hydrographes et officiers de marine. Ces officiers pourront commander les navires hydrographiques.

L'enquête a également mis en évidence le manque de personnel secondaire. Plusieurs mesures sont prises pour y remédier :

- envoi d'un renfort de dix officiers mariniers timoniers au service hydrographique pour aider à la rédaction des levés et à la correction des cartes,
- publication d'un décret en octobre 1922 mettant fin à la différenciation faite entre timoniers et manœuvriers par le certificat d'aide-hydrographe ; le certificat ne comporte plus que deux niveaux : l'un pour les quartiers-maîtres et matelots timoniers et manœuvriers (programme A), l'autre pour les officiers mariniers de ces deux spécialités (programme B),
- augmentation du nombre de dessinateurs susceptibles de participer aux missions hydrographiques (augmentation de 4),
- décision de créer un personnel secondaire hydrographe.

Modifications apportées au service hydrographique

Organisation générale

Le décret du 12 mai 1923 apporte trois modifications principales dans l'organisation du service hydrographique.

« Les changements survenus dans les conditions générales de la navigation et les progrès scientifiques de ces dernières années imposent au service hydrographique une tâche très lourde qui exige un développement considérable des moyens en personnel et en matériel. Il devient par suite nécessaire de le constituer en service autonome ; un tel développement ne peut en effet permettre de le maintenir dans le cadre de l'un des services de l'état-major général. » Le service hydrographique devient donc autonome. Il est dirigé par un ingénieur général hydrographe, qui prend le titre de chef du service hydrographique, et dépend directement du ministre.

« Il importe toutefois que ses travaux demeurent placés dans une juste mesure sous le contrôle du haut commandement militaire en qualité d'utilisateur. » Ce contrôle est exercé par un amiral, qui porte le titre d'inspecteur général permanent de l'hydrographie.

« La mise en œuvre d'un personnel important, le concours demandé aux formations de dragage et à l'aéronautique maritime, ne pourront atteindre leur plein rendement que si la tâche de ces divers éléments est nettement définie, et leur action coordonnée suivant une méthode mûrement étudiée et suivie avec continuité. » C'est le Comité hydrographique qui est chargé de tracer le programme des missions hydrographiques et de définir les moyens d'action nécessaires. Il est présidé par l'inspecteur général permanent de l'hydrographie.

Le décret du 22 avril 1927 donne une nouvelle appellation au Service, celle de service central hydrographique. Il compte à nouveau sept sections :

- section 1 : hydrographie générale
- section 2 : côtes de France
- section 3 : cartes marines et aéronautiques
- section 4 : instructions nautiques
- section 5 : instruments scientifiques
- section 6 : marées
- section 7 : météorologie maritime

Cette organisation est précisée par le décret du 13 octobre 1930.

Corps des ingénieurs hydrographes

Le projet de loi qui devait créer un « cadre de l'hydrographie » fort de 50 officiers ingénieurs hydrographes prend le même chemin que ses prédécesseurs : l'oubli. Il faut attendre la loi cadre du 4 mars 1929 sur l'organisation des corps d'officiers de l'armée de mer et du corps des équipages de la flotte pour voir une augmentation de l'effectif du corps des ingénieurs hydrographes, porté de 17 à 25, avec la répartition suivante :

- 1 ingénieur général
- 4 ingénieurs en chef de 1ère classe (augmentation de 1)
- 4 ingénieurs en chef de 2ème classe (augmentation de 1)
- 5 ingénieurs principaux (augmentation de 2)
- 8 ingénieurs de 1ère classe (augmentation de 3)
- 3 ingénieurs de 2ème classe (augmentation de 1)

auxquels il faut ajouter un nombre variable d'ingénieurs de 3ème classe.

Le changement le plus important réside dans le recrutement du corps, qui s'effectue selon le rythme suivant : 3 postes parmi les nouveaux polytechniciens, 1 poste par concours parmi les officiers de marine.

Le premier officier de marine recruté par concours rejoint le corps en 1935.

La loi du 2 mars 1938 porte l'effectif à 31 ingénieurs :

- 2 ingénieurs généraux (augmentation de 1)
- 4 ingénieurs en chef de 1ère classe
- 5 ingénieurs en chef de 2ème classe (augmentation de 1)
- 7 ingénieurs principaux (augmentation de 2)
- 9 ingénieurs de 1ère classe (augmentation de 1)
- 4 ingénieurs de 2ème classe (augmentation de 1)

auxquels il faut ajouter un nombre variable d'ingénieurs de 3ème classe.

Agents techniques

Le décret du 17 février 1923 fusionne les deux catégories d'agents techniques en une seule pour constituer le « personnel des agents techniques du service hydrographique de la marine », chargé de seconder, pour l'exécution des travaux, les ingénieurs et officiers du Service. L'effectif est inchangé.

L'effectif est porté par la suite à 38 agents, puis 41 (décret du 25 juin 1931) et enfin 45 (décret du 27 avril 1937).

Auxiliaires et personnel administratif

Le cas des auxiliaires et du personnel administratif est réglé par le décret du 13 décembre 1936 et les arrêtés pris le même jour. Ce personnel, dénommé employés d'administration du service hydrographique, est employé pour des travaux de :

- manutention du matériel technique,
- classement et expédition des cartes et ouvrages nautiques,
- correction de documents nautiques,
- tenue de comptabilité et de caisse,
- dactylographie.

A titre exceptionnel, ces employés peuvent se voir confier des travaux à exécuter en dehors des locaux du Service et en dehors des heures de présence obligatoire. Ces travaux particuliers sont rémunérés au forfait. Le travail hebdomadaire est fixé à 42 heures, plus des heures supplémentaires exceptionnelles pouvant être demandées même les dimanches et jours fériés.

Le service hydrographique emploie également du personnel des équipages de la flotte (11 quartiers maîtres et officiers mariniers en 1932, probable-

ment tous timoniers) pour les travaux de rédaction et les corrections de cartes.

Création d'un personnel secondaire hydrographe

Dans un rapport au ministre sur les « mesures à prendre pour augmenter les moyens du service hydrographique », daté du 17 décembre 1922, le service hydrographique explique que « le petit nombre des ingénieurs hydrographes rend nécessaire la création d'adjoints techniques qui puissent les suppléer dans la partie la plus courante des opérations de sondage, de topographie et de rédaction. Le service géographique de l'armée possède un cadre permanent de sous-officiers topographes créés par la loi du 15 avril 1914. Le service hydrographique pourrait aussi trouver les adjoints dont il a besoin en complétant les connaissances d'un certain nombre d'officiers mariniers pourvus du certificat d'aide-hydrographe. »

Le Service propose la création d'un certificat d'adjoint hydrographe accessible aux officiers mariniers de la manœuvre et de la timonerie, qui doivent posséder le certificat d'aide-hydrographe complet (A et B) ou passer les épreuves qui permettent de l'obtenir. Cette proposition est acceptée et le décret du 15 février 1923 institue le certificat d'adjoint hydrographe.

Les adjoints hydrographes remplacent progressivement, dans les travaux courants des levés, les ingénieurs et les officiers. L'objectif du service hydrographique est d'en avoir une trentaine. Ce nombre ne sera jamais atteint : de 1923 à 1927, le nombre d'adjoints augmente : 5, 17, 22, 22 et 28 mais, à partir de 1928, il redescend à 23, puis 20, puis une quinzaine. En effet, comme les aides-hydrographes, les adjoints hydrographes doivent retourner au service général pour une durée d'un an après trois campagnes annuelles successives. Ils découvrent alors qu'ils sont désavantagés sur le plan de l'avancement par rapport à leurs camarades restés dans la spécialité. Selon le cas, ils prennent leur retraite ou décident de ne plus retourner dans l'hydrographie, ce retour étant basé sur le volontariat. Un bilan dressé fin 1932 indique que, sur 70 adjoints hydrographes formés dans la période :

- 15 sont au service général
- 23 ont pris leur retraite
- 2 ont demandé à résilier leur certificat
- 1 a été admis parmi les officiers des équipages
- 3 sont décédés

Il en reste donc 26 à la disposition du Service.

Le 4 janvier 1930, le croiseur-cuirassé *Edgar-Quinet*, navire-école, s'échoue en Algérie sur une roche inconnue, avant de sombrer quelques jours plus tard. Cette roche, qui aurait sans doute été découverte par la mission hydrographique d'Algérie, si elle n'avait été interrompue en 1926 pour raisons budgétaires, remet en lumière le manque de personnel du service hydrographique.

Dès le 16 janvier 1930, le service hydrographique propose de créer une spécialité de 60 officiers mariniers hydrographes afin de résoudre le problème du recrutement et de disposer de ce personnel en permanence. Le projet est accepté par le ministre le 20 septembre, avec un effectif de 43. Des problèmes administratifs retardent la publication du décret au 10 avril 1934. Le décret indique que « le recrutement des adjoints hydrographes parmi les officiers mariniers des spécialités de la manœuvre et de la timonerie n'a pas donné tous les résultats que l'on espérait car ces officiers mariniers retournent tôt ou tard à leur spécialité d'origine, privant ainsi les missions hydrographiques d'un personnel déjà formé qu'elles éprouvent de grande difficulté à remplacer. Il devient donc nécessaire de constituer une spécialité d'hydrographes dont le personnel sera en temps de paix affecté exclusivement aux travaux hydrographiques. »

Le recrutement s'effectue d'abord parmi les titulaires du certificat d'adjoint hydrographe, puis parmi les seconds maîtres titulaires du certificat d'aide-hydrographe.



19 - formation des futurs officiers mariniers hydrographes à Paris, en 1969 - photothèque Amhydro - P.Nicolas

La formation est définie par le décret du 26 novembre 1937. Elle consiste à effectuer un stage au service central hydrographique, puis un stage à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique sur les côte de France. Elle se termine par un examen.

La coopération internationale hydrographique

Le Bureau hydrographique international

En 1912, une conférence internationale sur les besoins de la navigation et du commerce se tient à Petrograd (aujourd'hui : Saint-Petersbourg). Beaucoup de points abordés pendant cette conférence, à laquelle n'assiste pas la Grande-Bretagne, portent sur l'hydrographie. La nécessité d'une conférence internationale sur l'hydrographie apparaît alors et la France et l'Angleterre organisent cette conférence à Londres en 1919. Tous les états maritimes possédant un service hydrographique y sont conviés, y compris Monaco, compte tenu du renom des travaux océanographiques effectués par son souverain, le prince Albert.

Les dix thèmes inscrits à l'ordre du jour portent sur :

- les documents nautiques : cartes, instructions nautiques, livres des phares, avis aux navigateurs, livres des signaux et autres documents
- les tables de marées
- les instruments : instruments nautiques et instruments de mesure du temps
- l'échange des publications
- la création éventuelle d'un Bureau hydrographique international

Les résultats de la conférence sont des règles de standardisation de certains documents et l'émission de vœux, comme celui d'adopter partout le système métrique ou celui de standardiser le niveau de réduction des sondes (le « zéro » des cartes). Un autre souhait concerne la création d'un Bureau hydrographique international. Un Comité de la Conférence hydrographique internationale est mis sur pied en vue de la création de ce bureau qui voit le jour le 21 juin 1921, avec 18 états-membres.

Le Bureau doit établir des liaisons étroites entre les services hydrographiques nationaux, encourager l'adoption des meilleures méthodes de travail pour rendre la navigation plus sûre et obtenir une uniformité des documents destinés aux navigateurs.

Le prince Albert proposant de mettre des locaux dans sa principauté à la disposition du Bureau, l'installation se fait à Monaco à partir de juillet 1921.

Le Bureau hydrographique international (BHI) est placé la même année sous l'autorité de la Société des nations. Il organise régulièrement des conférences hydrographiques internationales : la deuxième en 1926, la troisième en 1932, la quatrième en 1937.

La GEBCO

L'idée de créer une carte générale bathymétrique des océans, ou GEBCO, est émise lors du septième Congrès géographique international de 1899. Le prince Albert de Monaco en assure l'organisation et le financement et, en 1903, paraît la première édition composée de 24 feuilles. La deuxième édition paraît en 1930 sous la supervision du directeur du Musée océanographique de Monaco. Le gouvernement de Monaco propose alors au BHI de prendre en charge la poursuite du projet.

La seconde guerre mondiale

Les hostilités

La drôle de guerre

Entre les deux guerres, le risque de bombardement aérien sur Paris entraîne l'adoption d'un plan d'évacuation du service hydrographique sur Rochefort. Ce plan est déclenché pendant la période de tension qui précède la guerre. Un premier ingénieur hydrographe est envoyé à Rochefort avec un stock de cartes.

A la déclaration de guerre, les missions hydrographiques s'arrêtent. Les officiers mariniers hydrographes, n'étant affectés au service hydrographique qu'en temps de paix, sont reversés, pour une partie, au régime général. Six ingénieurs sont envoyés en renfort au service géographique mais, cette fois, celui-ci est suffisamment fourni en personnel et les ingénieurs hydrographes sont rappelés.

Après réorganisation, la ventilation des ingénieurs est la suivante :

- 4 ingénieurs à la direction à Paris,
- 6 ingénieurs à l'échelon principal à Rochefort,
- 2 ingénieurs auprès de l'état-major de la marine près de Tours,
- 7 ingénieurs à la mise au point et à l'entretien des appareils d'écoute sous-marine,
- 7 ingénieurs répartis dans les ports pour le dragage des mines,

- 8 ingénieurs, dont la formation maritime est insuffisante, à la DCA (défense contre avions) de la marine.

La campagne de mai-juin 1940

L'ingénieur Nicolas trouve la mort le 4 juin pendant l'évacuation de Dunkerque. Un autre ingénieur est évacué à Dunkerque puis revient à Cherbourg. Deux ingénieurs rallient l'Angleterre à partir de Cherbourg. Ils feront par la suite partie des Forces française libres. Les ingénieurs en poste dans des localités menacées par l'avance allemande se replient quand c'est possible. La direction du Service se retrouve ainsi au Mont-Dore au moment de l'armistice.

Deux ingénieurs sont envoyés en mission en juin 1940 pour la sortie du cuirassé *Jean-Bart*, en cours de construction à Saint-Nazaire, qui nécessite le creusement d'un chenal. Des sondages sont nécessaires pour contrôler le travail des dragues chargées d'approfondir le chenal. Le *Jean-Bart* sortira le 19 juin, avec juste assez d'eau dans son chenal, puis ralliera Casablanca.

L'armistice

Après l'arrêt des hostilités, les ingénieurs hydrographes se trouvent éparpillés en France, en Afrique du Nord et en Angleterre. Trois d'entre eux sont prisonniers de guerre.

Une nouvelle organisation est mise en place :

- un établissement à Paris (10 ingénieurs)
- une antenne à Toulon (7 ingénieurs)
- un ingénieur auprès de l'état-major de la marine à Vichy

Deux ingénieurs sont affectés au dragage des mines et cinq jeunes ingénieurs sont en formation maritime.

Une loi du 29 mars 1941 permet de renforcer le corps des ingénieurs hydrographes avec des officiers de marine expérimentés. Trois officiers de marine et deux polytechniciens intègreront le corps en 1942 ; deux officiers de marine et deux polytechniciens en 1943.

Un recrutement d'officiers mariniers hydrographes est organisé début 1942 ; 9 candidats seront promus.

Un bureau hydrographique est créé à Dakar, un autre à Casablanca, tandis que l'unité de dragage effectue des travaux hydrographiques à Abidjan.

La répartition des effectifs fin 1941 est la suivante :

- établissement de Paris (10 ingénieurs)
- antenne de Toulon (6 ingénieurs)
- état-major de la marine à Vichy (1 ingénieur)
- bureau hydrographique de Dakar (3 ingénieurs)
- bureau hydrographique de Casablanca (3 ingénieurs)
- amirauté de Tunis (1 ingénieur)

Quatre jeunes ingénieurs sont en formation maritime.

Le 15 août 1942, la direction du Service s'installe à Toulon, l'établissement de Paris restant en fonctionnement.

Le 11 novembre 1942, les Allemands envahissent la zone libre. Le 27 novembre, ils entrent à Toulon, provoquant le sabordage de la flotte. La direction et l'échelon de Toulon regagnent alors Paris. Le service hydrographique se retrouve coupé en deux : Paris, avec 12 ingénieurs et 5 élèves, et l'Afrique avec Casablanca (5 ingénieurs), Dakar (2 ingénieurs) et Oran (1 ingénieur).

A Paris, les ingénieurs mettent à jour cartes et documents. Par précaution, une partie des instruments, cartes, ouvrages et archives est répartie dans des dépôts, au nombre de onze à Paris et de quinze en Province.

En parallèle, un service hydrographique se constitue à Casablanca pour effectuer, non sans difficultés, des reproduction de cartes et de documents pour les Forces navales françaises libres.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1901	Décret du 26 septembre 1901, publié dans le journal officiel de la République française du 1er octobre 1901
2	(texte règlementaire) - 1902	Décret du 31 janvier 1902, publié dans le journal officiel de la République française du 2 février 1902
3	(texte règlementaire) - 1908	Décret du 11 janvier 1908, publié dans le journal officiel de la République française du 1er février 1908
4	(texte règlementaire) - 1908	Décret du 17 juillet 1908 définissant l'armée de mer et portant réorganisation du corps des équipages de la flotte et du personnel des musiques de la flotte, publié dans le bulletin des lois de la République française de juillet 1908
5	(texte règlementaire) - 1910	Arrêté ministériel du 30 juillet 1910
6	(texte règlementaire) - 1922	Décret du 7 octobre 1922, publié dans le journal officiel de la République française du 13 octobre 1922
7	(texte règlementaire) - 1923	Décret du 15 février 1923, publié dans le journal officiel de la République française du 17 février 1923
8	(texte règlementaire) - 1923	Décret du 17 février 1923, publié dans le journal officiel de la République française du 22 février 1923
9	(texte règlementaire) - 1923	Décret du 12 mai 1923, publié dans le journal officiel de la République française du 15 mai 1923
10	(texte règlementaire) - 1927	Décret du 22 avril 1927, publié dans le journal officiel de la République française du 7 mai 1927
11	(texte règlementaire) - 1929	Loi du 4 mars 1929 portant organisation des différents corps d'officiers de l'armée de mer et du corps des équipages de la flotte, publiée dans le journal officiel de la République française du 5 mars 1929
12	(texte règlementaire) - 1930	Décret du 13 octobre 1930, publié dans le journal officiel de la République française du 19 octobre 1930
13	(texte règlementaire) - 1931	Décret du 25 juin 1931, publié dans le journal officiel de la République française du 30 juin 1931
14	(texte règlementaire) - 1934	Décret du 10 avril 1934, publié dans le journal officiel de la République française du 14 avril 1934
15	(texte règlementaire) - 1934	Circulaire du 10 avril 1934 relative à l'organisation de la spécialité d'hydrographe, publiée dans le journal officiel de la République française du 19 avril 1934
16	(texte règlementaire) - 1936	Décret du 13 décembre 1936 portant sur l'organisation du personnel des employés d'administration et des auxiliaires temporaires du service hydrographique de la marine, publié dans le journal officiel du 20 décembre 1936 - rectificatif publié le 24 décembre 1936
17	(texte règlementaire) - 1937	Décret du 27 avril 1937, publié dans le journal officiel de la République française du 21 juin 1937
18	(texte règlementaire) - 1937	Décret du 26 novembre 1937 relatif à l'organisation du corps des équipages de la flotte et du personnel des musiques de la flotte, publié dans le journal officiel de la République française du 17 janvier 1938

19	(texte règlementaire) - 1938	Loi du 2 mars 1938 modifiant la loi du 4 mars 1929 portant organisation des différents corps d'officiers de l'armée de mer et du corps des équipages de la flotte, publiée dans le journal officiel de la République française du 4 mars 1938
20	(journal officiel) - 1905	Journal officiel de la République française. Débats parlementaires. Chambre des députés : compte rendu in-extenso - séance du 22/02/1905
21	(journal officiel) - 1907	Journal officiel de la République française. Débats parlementaires. Sénat : compte rendu in-extenso - séance du 21 janvier 1907
22	(journal officiel) - 1923	Journal officiel de la République française. Débats parlementaires. Sénat : compte rendu in-extenso - séance du 25 janvier 1923
23	(journal officiel) - 1923	Journal officiel de la République française. Débats parlementaires. Sénat : compte rendu in-extenso - séance du 26 janvier 1923
24	(journal officiel) - 1925	Journal officiel de la République française. Débats parlementaires. Sénat : compte rendu in-extenso - séance du 3 avril 1925
25	(anonyme) - 1825	Notice sur l'emploi d'un appareil des pêcheurs de la méditerranée, pour trouver les écueils isolés dont rien à la surface de l'eau n'indique l'existence - Annales maritimes et coloniales -1825 - tome 2
26	(anonyme) - 1905	Cartes marines et récifs sous-marins - revue des Deux Mondes, 5e période, tome 27, 1905
27	(anonyme) - 1914	Notice sur le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques - 2ème série, tome 34 - 1914
28	(anonyme) - 1919	Le repérage et le réglage par le son - La Nature - 1919 : quarante-septième année, deuxième semestre
29	Belloc, Gérard - 1928	La croisière de la Tanche (août 1927) - Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes - 1928-03
30	Belloc, Gérard - 1929	La croisière de la Tanche en juillet-août 1928 - Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes - 1929-03
31	Berling, E.L. - 1919	Note sur la conférence hydrographique internationale tenue à Londres en 1919 - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 3 - 1919-1920
32	Bourgoin, Jean - 1988	Contribution des hydrographes et marins - Mesurer la terre - 300 ans de géodésie française
33	Cabart-Danneville, Charles Maurice - 1906	Proposition de loi tendant à réorganiser le service hydrographique de la marine - Documents parlementaires - Sénat - Annexe n°337, séance du 10 juillet 1906 - 7 avril 1907
34	Cathenod, Henri - 1922	Note sur quelques procédés de sondage - Sondage en marche à allure moyenne avec le plomb-poisson - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 5 - 1922
35	Cot, Donatien - 1922	Note sur quelques procédés de sondage - Emploi de lignes metalliques en fil d'acier - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 5 - 1922
36	Cot, Donatien - 1922	Rapport sur l'emploi des photographies aériennes - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 5 - 1922
37	Cot, Donatien - 1937	Les procédés récents de sondage par le son - Annuaire pour l'an 1937 publié par le bureau des longitudes
38	Covillault, Pierre - 1979	Histoire des archives et de la bibliothèque du service hydrographique de la marine

39	Covillault, Pierre - 1979	Histoire du service hydrographique de la marine (de 1914 à 1970)
40	Dortet de Tessan, Urbain - 1837	Note VI sur le sondage par très grande profondeur - Description nautique des côtes de l'Algérie par le CC A. Berard suivi des notes de l'IH A. de Tessan - 1837
41	Estival, Bernard - 2003	Un siècle de navires scientifiques français
42	Favé, Louis - Rollet de l'Isle, Maurice - 1902	Note au sujet de l'emploi des aérostats dans la recherche des dangers sous-marins - 1902
43	Gougenheim, André - 1963	Notice sur la vie et l'œuvre de Donatien Cot (1873-1961) - Académie des sciences - notices et discours - 1963
44	Grand quartier général - 1915	Instruction sur l'organisation et les attributions des groupes de canevas de tir des armées (G.C.T.A.) - 1915
45	Juhel, Pierre - 2005	Histoire de l'acoustique sous-marine
46	Jupas, Jean-Serge - 1998	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 1 du début à 1934 - Bulletin Amhydro n°18 - 1998
47	Jupas, Jean-Serge - 1999	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 2 de 1934 à 1945 - Bulletin Amhydro n°19 - 1999
48	La Garde, Lucie - 1979	Historique du problème du Méridien origine en France - Revue d'histoire des sciences - tome 32, n° 4 - 1979
49	Lacombe, Henri - 1946	La propagation du son dans ses rapports avec le repérage radioacoustique - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 18 - 1946
50	Lelong, Benoît - 2001	Paul Langevin et la détection sous-marine 1914-1929 un physicien acteur de l'innovation industrielle et militaire - Epistémologiques - volume 1 n° 3-4 2001
51	Marti, Pierre - 1919	Note sur la vitesse de propagation du son dans l'eau de mer - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 3 - 1919-1920
52	Marti, Pierre - 1923	Sondage en mer par le son, aux grandes profondeurs, au moyen de détonations - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 6 - 1923-1924
53	Marti, Pierre - 1925	La sonde au plomb poisson - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 7 - 1925-1926
54	Martin (traducteur) - 1864	Instructions générales de l'amirauté anglaise pour les levés hydrographiques - Annales hydrographiques - tome 26ème - 1864
55	Maury, Matthew Fontaine - 1860	The Physical Geography of the Sea, and Its Meteorology - 1860
56	Ministère de la défense nationale et de la guerre - 1938	Règlement de manœuvre de l'artillerie. Première partie. Titre VIISRS. Unités de repérage. (Section de repérage par le son). Service des postes et du central - 1938
57	OHI - 2019	L'OHI et son Secrétariat- une histoire mise à jour - 1921 - 2017 - Publication M-10 - 3ème édition 2019
58	Reichel, Frantz - 1902	Aérostation - journal le Figaro du 23/02/1902
59	Renaud, Marie Joseph - 1902	Note au sujet de la recherche des roches sous l'eau - Annales hydrographiques - 2ème série, tome 24 - 1902
60	Rollet de l'Isle, Maurice - 1914	Etude historique sur les ingénieurs hydrographes et le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques - 4ème série, tome premier (bis) - 1950
61	Rouch, J - 1943	Traité d'océanographie physique - volume 1 sondages

62	Roussille, Henri - 1917	Applications de la photographie aérienne aux levés topographiques de précision - appareils de photorestitution - Annales hydrographiques - 3ème série, tome premier - 1917
63	Service central hydrographique - 1937	Manuel du breveté hydrographe - Tome 1 - hydrographie - 1937
64	Service central hydrographique - 1941	Manuel de l'aide-hydrographe - 2ème édition - 1941
65	Service central hydrographique - 1943	Manuel du breveté hydrographe - Tome IV - sondage et repérage acoustique - 1943
66	Service géographique de l'armée - 1936	Rapport sur les travaux exécutés du 1er août 1914 au 31 décembre 1919 : historique du service géographique de l'armée pendant la guerre - 1936
67	Sinat, André - 1932	La science au service de l'hydrographie - La science et la vie - N°175 - janvier 1932
68	Trevisan, Bernard - 2019	De la perte du Sully à la création de la spécialité d'hydrographe - Bulletin Amhydro n°39 - 2019
69	Trevisan, Bernard - 2020	1923-1934 La naissance des officiers mariniers hydrographes - Bulletin Amhydro n°40 - 2020
70	Troller, A. - 1921	L'écoute sous-marine - La Nature - 1921 : quarante-neuvième année, premier semestre
71	(de) Vanssay de Blavous, Pierre - 1917	Note sur l'emploi, pour les travaux cartographiques, des photographies prises en avion - Annales hydrographiques - 3ème série, tome premier - 1917
72	Volmat, Joseph - 1919	Rapport sur la mission photohydrographique de Brest (1919) - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 3 - 1920
73	Volmat, Joseph - 1948	Mission hydrographique de Saint-Nazaire pour la sortie du "Jean-Bart" - Annales hydrographiques - 3ème série, tome 20 - 1948

8 – évolution des moyens depuis 1945

Si la décolonisation des années 1950-1960 entraîne une diminution du périmètre d'activité du Service hydrographique, ce dernier voit cependant ses moyens augmenter en réponse à de nouveaux besoins, liés par exemple à l'augmentation de la profondeur d'immersion des sous-marins, et de nouvelles missions, en particulier l'océanographie militaire. L'évolution technique conduit aussi à augmenter les effectifs, à cause de la spécialisation qu'elle induit au moins dans un premier temps.

Statuts et organisation du service hydrographique

L'organisation de 1945

L'organisation du service hydrographique après la guerre est fixée par un arrêté du 31 octobre 1945*[1]. Le Service comporte sept sections :

- section de cartographie : élaboration, édition, remplacement et tenue à jour des cartes. La section est subdivisée en cinq sous-sections : cartes originales, cartes de compilation, corrections, cartes étrangères et matrices de cartes
- section des missions, subdivisée en trois sous-sections :
  - missions hydrographiques : organisation des levés, personnel hydrographique, navires et équipements de levé,
  - bureau technique : triangulation des côtes, repères de marée, sondeurs et équipements de localisation,
  - école d'application : formation des personnels
- section des ateliers et magasins : impression et stockage des cartes et ouvrages
- section navigation : rédaction, publication et mise à jour des instructions nautiques et ouvrages de navigation : information urgente destinée aux navigateurs
- section instruments scientifiques : fourniture des instruments et étude de leur emploi, chronomètres
- section marées et géophysique : marée, courants, océanographie physique, magnétisme et gravimétrie
- section de météorologie maritime

Sous les ordres du directeur se trouvent également le secrétariat et le bureau d'études et de documentation auquel est rattachée la bibliothèque. Un bureau administratif supervise le service des ventes au public.

L'orientation océanographique

L'océanographie en France

L'océanographie, qui est l'étude du milieu marin, naît au XIXe siècle. Des campagnes d'initiative privée ou publique, non coordonnées, permettent d'amasser de nombreuses observations sur l'océan.

L'Institut scientifique technique des pêches maritimes

En France, le Service technique des pêches maritimes est créé par une décision impériale du 20 mars 1861. Ayant cessé de fonctionner en 1874, il est rétabli par un décret du 17 mai 1887 avant de devenir, par un arrêté du 15 mars 1912, le Service scientifique des pêches maritimes. Ce service est chargé d'effectuer des études et des recherches scientifiques intéressant l'industrie des pêches maritimes et d'informer le ministre de la marine sur les questions scientifiques se rapportant à l'exploitation des richesses de la mer.

Après la première guerre mondiale, ce service devient l'Office scientifique technique des pêches maritimes (OSTPM - loi des finances du 31

[1] Non consulté - dans le reste du chapitre, un astérisque placé après la date d'un texte règlementaire indique que ce texte n'a pu être consulté.

décembre 1918). Son rôle est de favoriser, par les progrès de la science, le développement des opérations industrielles se rattachant directement ou indirectement à l'exploitation des richesses de la mer. Il dispose d'un navire équipé pour effectuer des mesures océanographiques : la *Perche* puis, en 1921, la *Tanche* et, en 1933, le *Président-Théodore-Tissier*. Par un décret du 14 octobre 1953, l'Office devient l'Institut scientifique technique des pêches maritimes (ISTPM).

Le Centre national pour l'exploitation des océans

En décembre 1959, le Comité pour l'exploitation des océans (COMEXO) est créé pour coordonner les recherches océanographiques.

En 1967, le Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO) voit le jour (loi 67-7 du 3 janvier). Il est chargé de développer la connaissance des océans et les études et recherches tendant à l'exploitation des ressources contenues à leur surface, dans leur masse, leur sol et leur sous-sol.

Le CNEXO reprend les attributions du COMEXO. Il crée trois centres océanologiques à Brest (Centre océanologique de Bretagne), à Toulon (Base océanologique de Méditerranée) et à Tahiti (Centre océanologique du Pacifique).

L'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

Le regroupement de l'ISTPM et du CNEXO est réalisé par le décret du 5 juin 1984. Le nouvel organisme, baptisé Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER, aujourd'hui Ifremer), est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). Ses missions sont les suivantes :



1 - le *Suroît*, navire océanographique d'Ifremer, lancé en 1975 - Attribution : Julien1978 / CC BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)

- conduire et promouvoir des recherches fondamentales et appliquées et des actions de développement technologique et industriel destinées à connaître, évaluer et mettre en valeur les ressources des océans et à rationaliser leur exploitation,
- améliorer la connaissance et les méthodes de protection et de mise en valeur de l'environnement marin,
- favoriser le développement socio-économique du monde maritime.

L'océanographie militaire

Le Comité d'océanographie et d'étude des côtes

Un arrêté ministériel du 2 avril 1947 institue un Comité d'océanographie et d'études des côtes (COEC). Ce comité est chargé d'orienter les études et recherches sur les sciences de la mer et d'en diffuser les travaux. Le service hydrographique y siège à côté de nombreuses autres organisations, dont l'OSTPM, et le secrétariat du Comité est assuré par sa section marées-géophysique.

Le transfert de la section de météorologie maritime

Un décret du 1er mars 1951 rattache au service de la météorologie nationale la section de météorologie maritime du service hydrographique. Le transfert est effectif avec l'arrêté du 1er octobre 1951. Cependant, une collaboration est mise en place par la convention du 21 octobre 1954 qui définit les relations entre le secrétaire d'état à la marine et l'Office national météorologique : la section de météorologie marine étudie, en liaison avec le service hydrographique, les phénomènes météorologiques intéressant l'océanographie, ainsi que les documents météorologiques devant servir à la rédaction des ouvrages nautiques.

La réorganisation de 1961

La revue hydrographique internationale publie en 1962 le texte d'un arrêté du ministre des armées (arrêté du 25 août 1961*) portant sur la réorganisation du service central hydrographique.

D'après ce texte, le service central hydrographique de la marine est chargé de :

- dessiner et tenir à jour, pour le monde entier, les documents de toute nature nécessaires à la navigation, en utilisant soit des travaux hydrographiques originaux, soit des documents de provenance étrangère, et toute l'information nautique,
- fournir à la marine et aux forces aéro-navales des documents et instruments nautiques et aé-

ronautiques, et assurer la diffusion au public de certains documents nautiques,

- effectuer des levés hydrographiques et des missions ou des recherches à caractère scientifique ou technique, d'intérêt général ou militaire, concernant la navigation, l'océanographie et la physique du globe,

- administrer le corps des ingénieurs hydrographes et celui des ingénieurs relevant des services opérationnels du service hydrographique,

- effectuer le contrôle direct du corps des techniciens d'études et de fabrication au service hydrographique.

Une nouvelle organisation est mise en place avec un remaniement des sections et la création d'un niveau hiérarchique au dessus des sections : le groupe. Le service central hydrographique comporte désormais :

- le secrétariat du directeur

- le groupe production-approvisionnement-délivrance, avec :

  - trois sections en charge de la préparation des documents : cartographie ; publication et information nautique ; marées et géophysique

  - deux sections en charge des approvisionnements : impression ; instruments scientifiques et équipements

  - le magasin

  - le service de délivrance au public

- le groupe recherche et opérations avec :

  - la section missions, chargée de l'organisation du personnel, des équipements et des services techniques pour les missions hydrographiques et océanographiques, et du contrôle de leur travail

  - la section études et recherches

  - l'école d'application

  - la bibliothèque

- le bureau administratif

Les missions hydrographiques et océanographiques, ainsi que les services OCI[2] , sont rattachés au service central hydrographique.

L'océanographie au service hydrographique

L'océanographie apparaît parmi les domaine d'activité du Service dans l'organisation de 1961[3]. L'appellation « mission océanographique » apparaît également, bien qu'il n'en existe alors aucune, la première n'étant créée qu'en 1964[4]. Il existe cependant à Toulon, depuis 1960[5], un Bureau d'études océanographiques (BEO), dirigé par un ingénieur hydrographe.

Le premier rapport d'activité du Bureau d'études océanographiques qui soit publié concerne la période 1966-1969. Il indique : « La Marine nationale accorde depuis longtemps déjà une attention toute particulière aux problèmes de détection sous-marine, liés à la connaissance précise du milieu marin et en particulier des couches profondes, peu accessibles à la mesure au cours d'opérations militaires, mais suffisamment stables pour qu'on puisse espérer en définir les caractéristiques moyennes probables aux diverses périodes de l'année ». Une des tâches confiées au Bureau d'études océanographiques est l'exploitation des observations effectuées, afin d'aboutir à une connaissance plus précise du milieu marin et du sol sous-jacent, en vue d'une prévision des conditions acoustiques. On perçoit déjà ici la finalité de l'océanographie militaire, qui consiste à fournir pour l'océan des prévisions similaires à celles que peut fournir la météorologie pour l'atmosphère.

Pour effectuer ces observations, le Bureau d'études océanographiques dispose, à partir du 11 juillet 1960, du dragueur océanique *Origny*. Celui-ci effectue d'abord des mesures de température de l'eau de mer à grande profondeur dans les zones d'opérations de la marine française, dans le nord-ouest de la Méditerranée. Puis, il s'intéresse également aux couches de surface et à leur déplacement. Il mesure la température et la salinité de l'eau de mer afin d'en déterminer la densité, ainsi que les paramètres qui peuvent influer sur la vitesse de propagation du son : nature du fond de la mer, dosage d'oxygène, identification du plancton. Il effectue des mesures en Méditerranée et, à partir de 1964, en Atlantique.

2 OCI (observatoires, cartes et instruments) est le nouveau nom des services OCD (observatoires, cartes et documents) situés dans les ports. Ceux de Saïgon, Diego-Suarez, Dakar, Bizerte et Oran disparaissent avec la décolonisation. Il ne reste plus que les services situés en métropole : Toulon, Brest et Cherbourg.

3 Dans l'organisation de 1945, la section marées et géophysique s'occupait déjà d'océanographie physique.

4 Il s'agit de la Mission océanographique de l'Atlantique Nord.

5 Dépêche ministérielle 379/M/SH6 du 11/07/60*

Le SHOM

Changement de nom

L'importance de l'océanographie est inscrite dans le décret 71-396 du 25 mai 1971. Par ce décret, le service hydrographique devient le service hydrographique et océanographique de la marine (S.H.O.M., par la suite « SHOM », depuis 2017 « Shom »), chargé de :

- participer à l'élaboration du programme d'hydrographie et d'océanographie militaire,
- élaborer des documents répondant aux besoins militaires en océanographie,
- approvisionner les forces maritimes en documents et instruments nautiques et aéronautiques,
- établir les documents nautiques nécessaires à la sécurité de la navigation,
- centraliser et traiter les informations nautiques, les diffuser et en contrôler la diffusion,
- diriger ou contrôler, à la mer ou sur le terrain, l'exécution des études et travaux nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

Le décret indique ensuite que les relations entre le SHOM et les autres départements ministériels et organismes qui en dépendent, dont le Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO) seront définies par des arrêtés interministériels.

L'arrêté n°9 du 1er juin 1971 fixe l'organisation et le fonctionnement du Service, composé :

- d'un organe de direction, avec un secrétariat et trois bureaux :
  - bureau « études générales »
  - bureau « établissements-missions »
  - bureau administratif
- d'un établissement principal, à Brest, dont la composition est la suivante :
  - groupe « études », avec les sections cartographie, informations et ouvrages nautiques, géodésie-géophysique et océanographie
  - groupe « production », avec le magasin et les sections impressions et achats et délivrance
  - bureau « instruments scientifiques et matériel »
  - centre de calcul et de documentation
  - bureau « personnel et comptabilité »
  - bureau du service intérieur
  - secrétariat
- d'un établissement secondaire, à Toulon, le Bureau d'études océanographiques (BEO)
- des missions hydrographiques, océanographiques et géodésiques

Le SHOM supervise également l'activité technique des services OCI des ports militaires.

Le COEC est supprimé à la création du SHOM.

Déménagement

En septembre 1971, le service hydrographique quitte le n° 13 de la rue de l'Université à Paris, où il était installé depuis 1817. La direction s'installe 3 avenue Octave Gréard, à Paris, et le reste du personnel s'installe à Brest où un ensemble de bâtiments neufs l'attend : l'établissement principal du SHOM (E.P.S.H.O.M. puis EPSHOM). Envisagé en banlieue parisienne puis à Nantes, le choix s'est finalement porté sur Brest qui affirme ainsi son orientation océanographique. Le personnel est en grande partie renouvelé, beaucoup d'agents parisiens ayant préféré changer de poste pour ne pas déménager.



2 - l'EPSHOM à Brest dans les années 1970 - photo X

A titre provisoire, deux ateliers (gravure sur cuivre et taille douce) sont conservés en région parisienne jusqu'au 31 mars 1976. C'est la fin des « cuivres » au service hydrographique.

La direction emploie 25 personnes, organisées en bureaux : études générales, établissements-missions, personnel et administration.

L'EPSHOM regroupe l'essentiel des effectifs, dont les deux groupes « recherche et opérations » et « production-approvisionnement-délivrance » (renommés « études » et « production »), dans lesquels sont réparties les sections :

- groupe étude : sections information et ouvrages nautiques, cartographie, océanographie, géodésie-géophysique
- groupe production : sections impression, délivrances (et magasin), bureau puis section instruments scientifiques

L'école d'application, devenue école des hydrographes, s'installe dans les locaux de l'EPSHOM.

Le Comité hydrographique est supprimé en 1972. Le 1er août de la même année, le Bureau d'études océanographiques fusionne avec la mission hydrographique de recherche pour devenir la mission océanographique de Méditerranée.

En octobre 1983, la météorologie réapparaît sous la forme d'un bureau d'études METEO SHOM. Ce bureau fonctionne au sein du service de prévision de la météorologie nationale. Il est renommé bureau de recherches et d'études SHOM-Météo (BRESM) et délocalisé à Toulouse en 1986.

Le Centre militaire d'océanographie

Fin 1989, le SHOM devient le responsable de l'océanographie militaire. Il dépend, pour la partie recherche et développement en océanographie, du délégué général pour l'armement (DGA). Des partenariats sont conclus avec l'Ifremer et la météorologie nationale.

Un Centre militaire d'océanographie (CMO) est créé le 1er juin 1990 sur le site de l'EPSHOM. Il résulte d'un protocole d'accord entre le délégué général pour l'armement (DGA) et le chef d'état-major de la marine.

Un Comité militaire océanographique est mis sur pied la même année pour coordonner les actions du SHOM et de la marine et les relations de la défense avec le secteur civil dans le domaine de l'océanographie.

Le SHOM a maintenant deux missions :

- l'hydrographie nationale, une mission de service public liée à la sécurité de la navigation,
- l'océanographie militaire, une mission de service à la défense.

L'organisation de L'EPSHOM est alors la suivante :

- le groupe hydrographie, avec l'école des hydrographes, une cellule documentation-archive, un bureau de contrôle-édition et trois sections :
  - géodésie-géophysique
  - informations et ouvrages nautiques
  - cartographie
- le centre militaire d'océanographie, avec le BRESM à Toulouse, un laboratoire de chimie océanographique et deux sections : études océanographiques et océanographie appliquée
- le groupe impression - distribution, avec trois sections : impression, magasin et délivrances
- le groupe soutien technique, avec le centre informatique et la section instruments scientifiques et matériels
- un bureau personnel-comptabilité, les services généraux, la documentation

Le BRESM se spécialise en océanographie spatiale en coopération avec le CNES et la météorologie nationale.

Les comités d'océanographie militaire

Un arrêté du 12 novembre 1990 crée un Comité directeur de l'océanographie militaire et un Comité scientifique de l'océanographie militaire. Un des rôles du comité directeur, où siège le directeur du SHOM, est d'orienter et de coordonner les activités de recherche, de développement et d'utilisation opérationnelle en matière d'océanographie et d'hydrographie militaires. De son côté le Comité scientifique doit, entre autres activités, sensibiliser la recherche civile aux préoccupations de la défense en océanographie et hydrographie.

Evolutions ultérieures

Missions

Le SHOM reçoit une nouvelle mission en 2005 : le soutien aux politiques publiques maritimes, qui vient s'ajouter aux missions de service hydrographique national et de service à la défense.

La même année, une décision n°370 transfère à Brest la direction du SHOM, à compter du 1er septembre 2005 (l'appellation EPSHOM cesse alors

d'être utilisée). L'implantation parisienne n'est pas abandonnée : une antenne du SHOM s'installe à Saint-Mandé le 1er novembre 2005, dans les locaux de l'IGN.

Statut

Le 11 mai 2007, le SHOM devient un établissement public à caractère administratif (EPA), sous tutelle du ministère de la défense (décision du 3 avril 2006 - décret 2007-800).

Sa mission est de connaître et de décrire l'environnement physique marin dans ses relations avec l'atmosphère, avec les fonds marins et les zones littorales et d'en prévoir l'évolution. Il assure la diffusion des informations correspondantes.

Cette mission comporte trois volets :

- l'hydrographie nationale : recueil, archivage et diffusion des informations officielles nécessaires à la navigation
- le service à la défense :
  - expertise, évaluation des capacités futures et soutien opérationnel de la défense
  - représentation du ministre de la défense dans les relations avec les organismes de recherche
  - approvisionnement et maintenance du matériel du domaine hydro-océanographique des armées
- le soutien aux politiques publiques maritimes et littorales (action de l'état en mer et sur le littoral):
  - expertise et fourniture d'informations sur l'environnement physique marin
  - concours aux collectivités territoriales pour la collecte, la gestion ou la diffusion des informations sur l'environnement physique marin
  - gestion de bases nationales d'information sur l'environnement physique marin
  - mise à disposition du public des produits non confidentiels

Un conseil d'administration, présidé par le chef-d'état-major de la marine, administre l'établissement. Le directeur général doit posséder les qualifications reconnues par l'Organisation hydrographique internationale (voir encadré 1). Trois comités assistent le conseil d'administration et le directeur général :

- le comité directeur de l'océanographie militaire
- le comité scientifique de l'océanographie militaire
- le comité consultatif des utilisateurs des documents, levés et prestations du SHOM

Les missions hydrographiques et océanographiques existantes deviennent des « groupes ».

Le décret abroge deux arrêts du conseil du roi : celui du 5 octobre 1773 sur l'interdiction de publier des cartes marines et celui du 10 juin 1786 sur l'obligation de communication des cartes géographiques.

Organisation

En 1992, les groupes de l'EPSHOM sont remplacés par des centres : centre d'hydrographie, centre militaire d'océanographie, centre de fabrication et de distribution, auxquels s'ajoutent divers services et l'école. Le 1er mars (instruction n°84 du 24 février 1992), le centre militaire d'océanographie dispose d'une seconde antenne à Toulouse : la cellule opérationnelle d'environnement de la marine (CELENV), chargée de faire des prévisions d'environnement pour les forces militaires.

Une organisation par projets est mise en place en 2001. On voit apparaître le trigramme « HOM », qui correspond à l'environnement hydrographique, océanographique et météorologique dans lequel évoluent les unités de la marine nationale.

A la suite de la transformation du SHOM en EPA, un nouveau niveau hiérarchique est ajouté, celui des directions. Les centres sont regroupés dans la direction des opérations où ils deviennent des divisions.

Du fait du changement de statut du SHOM, la CELENV est rattachée à l'état-major des opérations de l'état-major de la marine (décision du 13 juin). Le SHOM est alors un partenaire privilégié de la CELENV, à laquelle il fournit les données hydro-océanographiques qui sont intégrées dans les données et produits GHOM[6] de la marine (Instruction du 11 juillet 2008).

6 Géographique, hydrographique, océanographique et météorologique

Encadré n°1 : la norme de compétence des hydrographes

L'exercice de l'hydrographie à titre privé se développe après la seconde guerre mondiale dans le secteur de l'exploration offshore, de l'exploitation des hydrocarbures et de l'aménagement du littoral. Jusque là, chaque pays doté d'un service hydrographique formait son personnel dont les compétences étaient assez variables d'un pays à l'autre. Mais lorsque des sociétés privées ont commencé à recruter des hydrographes ou à proposer des services en hydrographie, le problème de la compétence des hydrographes s'est posé. L'amiral Kapoor, dans un article sur le sujet publié dans la revue hydrographique internationale en 1980, cite le cas d'un contrat attribué à une société pour un levé important. Il s'est avéré par la suite qu'aucun des membres du personnel employé n'avait une formation hydrographique appropriée, de sorte que les données fournies par la société étaient d'une exactitude si douteuse qu'elles furent rejetées, entraînant un long litige.

Le besoin d'une norme acceptée internationalement a été soulevé initialement au congrès de la Fédération internationale des géomètres (FIG) en 1971. Sa commission IV (hydrographie) y avait créé un groupe de travail pour développer une norme internationale de compétence.

De son côté, l'Organisation hydrographique internationale (OHI) avait créé lors de la conférence hydrographique internationale de 1972 un groupe de travail pour compiler les programmes de formation en hydrographie des états membres.

En 1974, le congrès de la FIG avait décidé de former un groupe de travail commun FIG-OHI pour établir une norme de formation des hydrographes. Le rapport de ce groupe de travail avait été rendu en 1977 aux deux organismes, qui avaient alors mis sur pied un Comité consultatif international pour mettre en place les recommandations du groupe de travail (International Advisory Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors).

En 2002, le développement d'une norme de compétence pour les cartographes nautiques est approuvé. L'Association cartographique internationale (ACI) rejoint le comité consultatif, qui devient le Comité consultatif international FIG-OHI-ACI pour les normes de compétence des hydrographes et des cartographes nautiques. Le mot « consultatif » est supprimé en 2009.

La norme de compétence des hydrographes est appelée S-5. Celle des cartographes nautiques est appelée S-8. La première édition de la norme S-5 date d'août 1978, celle de la norme S-8 de 2003.

Etant donné la grande disparité des formations prodiguées par les différentes nations à leurs hydrographes, la norme définit un niveau minimal de compétence, ou plutôt deux niveaux, dénommés A et B. Les formations souhaitant être homologuées sont évaluées par rapport au programme de formation établi par la norme. L'homologation est attribuée pour 10 ans, ramenés à 6 ans à partir de 2008.

A l'origine, les hydrographes de catégorie A étaient considérés comme des gestionnaires et chefs de projets, capables d'effectuer et de superviser des opérations hydrographiques en en prenant la responsabilité. Les hydrographes de catégorie B étaient considérés comme des assistants, en capacité d'effectuer de nombreux travaux hydrographiques sans supervision directe. Le niveau de compétence B était un sous-ensemble du niveau A.

A partir de 2012, chaque niveau a formé une branche distincte. Les programmes de catégorie A offrent un niveau de connaissances complet et étendu dans tous les aspects de la théorie et de la pratique de l'hydrographie. Les programmes de la catégorie B offrent un niveau de compréhension pratique, ainsi que le cadre théorique essentiel, nécessaires aux individus pour effectuer les diverses tâches des levés hydrographiques.

Pour les deux catégories, l'expérience de marin et de navigateur est un élément important. Aussi la norme prévoit que les candidats doivent être aptes à la mer, que les formations doivent comporter une part importante d'exercices en mer et que la compétence ne peut être acquise qu'au bout de deux ans de pratique après la formation.

Un des problèmes posé par ce standard est qu'il est non contraignant. Aucune certification n'est requise pour proposer des services hydrographiques. C'est aux clients qu'il revient d'écarter les offres qui ne s'appuient pas sur du personnel certifié A ou B (ou suffisamment qualifié), ce dont il ne sont pas forcément conscients. Aussi quelques pays (le Canada, l'Australie, la France) ont-ils étudié, ou sont-ils en train d'étudier, un schéma de certification national qui englobe les hydrographes n'ayant pas suivi une formation reconnue de niveau A ou B. Ces dispositifs, destinés à être agréés par l'OHI, seront rendus obligatoires afin de réduire le risque associé à la fourniture de services hydrographiques au public par des personnes non qualifiées ou inexpérimentées.

Personnel

Le Service hydrographique emploie un personnel de plus en plus nombreux, réparti dans différents corps ou catégories soumis à des changements règlementaires importants.

Ingénieurs militaires

Ingénieurs hydrographes

Les ingénieurs hydrographes sont recrutés soit à la sortie de l'école polytechnique, où ils sont nommés ingénieurs hydrographes de 3ème classe et passent une année de formation à la mer avec les élèves de l'école navale, soit par concours parmi les lieutenants de vaisseau et enseignes de vaisseau de 2ème classe, qui deviennent alors ingénieurs hydrographes de 1ère classe.

Après la seconde guerre mondiale, les jeunes gens sont moins attirés par la carrière militaire. Afin de conserver l'effectif prévu, un décret du 15 septembre 1947* permet d'augmenter la proportion de candidats officiers de marine lorsque le nombre de candidats polytechniciens est trop faible.

En 1951, un décret du 16 avril ouvre l'accès au corps aux licenciés en sciences et aux élèves de huit grandes écoles. Il semble qu'aucun recrutement n'ait été effectué par cette voie.

En 1954, l'effectif du corps est porté à 33 ingénieurs.

La loi du 21 décembre 1967 crée, au 1er janvier 1968, le corps militaire des ingénieurs de l'armement (IA). Ce corps regroupe les ingénieurs du génie maritime et de l'artillerie navale, et les ingénieurs militaires de l'air, des poudres, des fabrications d'armement et des télécommunications.

Au cours de cette réorganisation des ingénieurs militaires, les ingénieurs hydrographes ont été oubliés. Leur sursis est de faible durée : la loi du 2 janvier 1970, modifiant la loi du 21 décembre 1967, les intègre, avec effet rétroactif, dans le corps des ingénieurs de l'armement. C'est la fin du corps des ingénieurs hydrographes.

Ingénieurs hydrographes de réserve

Le corps des ingénieurs hydrographes de réserve est créé par l'arrêté du 21 avril 1948. Les ingénieurs suivent d'abord une formation militaire et maritime de six mois, puis les cours de l'école d'application du service hydrographique pendant cinq mois. Après l'examen de sortie, ils sont nommés ingénieurs hydrographes de 3ème classe et embarquent sur un navire hydrographique. Voici le parcours de l'un d'eux :

- incorporation en octobre 1960,
- formation de chef de quart sur le cuirassé *Richelieu* jusqu'à la fin de l'année 1960,
- cours à l'école d'application du service hydrographique jusqu'à fin mars 1961,
- embarquement sur l'*Amiral-Mouchez* jusqu'en septembre 1961,
- mission hydrographique en Terre-Adélie jusqu'en avril 1962,
- rédaction à Paris et courte mission de topographie,
- démobilisation en octobre 1962[7].

L'intégration des ingénieurs hydrographes dans le corps des ingénieurs de l'armement en 1970 entraîne la fermeture de la première division de l'école d'application du service hydrographique et l'arrêt de cette filière qui aura formé quatorze ingénieurs hydrographes de réserve entre 1950 et 1968.

Ingénieurs des directions de travaux du service hydrographique

Ce corps militaire est créé par décret du 17 septembre 1949 pour fournir aux ingénieurs hydrographes des adjoints. Leur travail s'effectue au siège du Service puis, plus tard, dans les bases à terre des missions.

Les ingénieurs sont choisis parmi les agents techniques principaux du service hydrographique, au choix à titre transitoire et par la suite sur examen. Le noyau du corps est constitué en 1950 par l'intégration de douze agents techniques du service hydrographique (par un arrêté du 1er février 1950*).

L'effectif initial du corps est de 18 ingénieurs, porté à 20 en 1957.

La loi du 21 décembre 1967 qui crée le corps des ingénieurs de l'armement crée également le corps militaire des ingénieurs des études et techniques d'armement (IETA). Parmi les oubliés figurent les ingénieurs des directions de travaux hydrographiques. Comme c'est le cas pour les ingénieurs

7 L'engagement était de 18 mois ou de la durée du service militaire si celle-ci excédait 18 mois. Cette durée avait été portée à 30 mois pendant la guerre d'Algérie, jusqu'en mars 1962 où elle fut ramenée à 18 mois.

hydrographes, leur situation est régularisée par la loi du 2 janvier 1970.

Rôle et répartition des ingénieurs

A la fin des années 1960, l'effectif est de l'ordre de 33 ingénieurs de l'armement et 20 ingénieurs des études et techniques d'armement. Avec le temps, la répartition change. En 1998 on compte 24 ingénieurs de l'armement et 42 ingénieurs des études et techniques d'armement.

Contrairement à leurs prédécesseurs, les ingénieurs des études et techniques d'armement embarquent sur les navires hydrographiques et vont accéder progressivement aux mêmes fonctions que les ingénieurs de l'armement, notamment à la direction des missions ou des sections. Ils sont aujourd'hui considérés comme « des ingénieurs hydrographes à part entière ». Dans un article sur le personnel du SHOM en 1998, l'ingénieur Guyon indique toutefois qu'ils ont des rôles différents : les ingénieurs de l'armement sont destinés à exercer des fonctions d'encadrement supérieur ou des recherches et études de haut niveau, tandis que les ingénieurs des études et techniques d'armement assurent des fonctions d'encadrement et d'études dans tous les domaines d'activité du service.

Le dernier état détaillé des effectifs publié dans un rapport annuel du Service est celui du 31 décembre 2012. Le SHOM compte alors 10 ingénieurs de l'armement, tous au siège, et 50 ingénieurs des études et techniques d'armement, dont 15 sont embarqués dans les groupes hydrographiques et océanographiques.

Autre personnel

Officiers des équipages hydrographes

Les officiers mariniers hydrographes pouvaient accéder au corps des officiers des équipages de la flotte jusqu'en 1970 (la loi du 20 décembre 1969 a mis un terme au recrutement du corps). Ils avaient alors accès au commandement des annexes hydrographiques. Entre 1945 et 1970, neuf officiers mariniers hydrographes ont rejoint ce corps.

Officiers mariniers hydrographes

Recrutement

Le recrutement des officiers mariniers hydrographes s'effectue parmi les quartiers-maîtres et second-maîtres du corps des équipages de la flotte de certaines spécialités[8]. L'obtention du certificat d'aide-hydrographe n'est plus une condition nécessaire au recrutement.

La spécialité d'hydrographe est ouverte au personnel féminin depuis 2002.

Rôle

Le décret du 10 avril 1934 qui crée leur spécialité indique sobrement que les hydrographes « sont affectés aux travaux hydrographiques ».

Après la seconde guerre mondiale, les chefs des équipes hydrographiques sont des lieutenants de vaisseau. Mais à partir des années 1950, ils sont progressivement remplacés par des officiers mariniers hydrographes.



3 - formation des futurs officiers mariniers hydrographes en 1950 - photothèque Amhydro - J.S. Jupas

Dans une brochure de recrutement de 1978, le SHOM indique que le rôle de l'officier marinier hydrographe « est essentiellement de diriger les équipes spécialisées exécutant les travaux des missions hydrographiques et océanographiques à la mer. Il peut également participer à des travaux d'exploitation des données à l'Établissement du SHOM à Brest (EPSHOM). Il a, enfin, des fonctions de chef de quart à bord des bâtiments hydrographiques et peut exercer le commandement de petites unités hydrographiques à la mer. »

La brochure aborde ensuite les relations hiérarchiques et indique : « ... il n'est pas exagéré d'écrire qu'il existe des **liens privilégiés, tech-**

8 En 1978 : manœuvriers, timoniers, télécommunications, détecteurs, détecteurs anti sous-marins, météorologistes, photographes. D'autres spécialités ont été ajoutées par la suite. Aujourd'hui toutes les spécialités sont éligibles.

niques, hiérarchiques et de camaraderie, entre les hydrographes, ingénieurs et officiers mariniers[9]. »

Enfin, elle conclut : « Appartenant à une spécialité essentiellement maritime puisqu'il a accès au commandement, l'hydrographe est aussi un technicien de la mesure à la fois à terre et à la mer. La dominante maritime de sa formation ne doit pas faire oublier qu'il possède aussi la compétence et l'expérience des géomètres pour ce qui concerne les levés terrestres… En résumé, la qualité des mesures hydro-océanographiques et leur bonne exécution dépendent pour la plus grande part des officiers mariniers brevetés hydrographes. »

Dans une instruction relative à l'organisation de la spécialité d'hydrographe, datant de 1996, le rôle attribué aux officiers mariniers hydrographes est d'assurer les fonctions d'hydrographe et d'océanographe au sein des unités hydrographiques et océanographiques de la marine nationale, à savoir :

- préparer les opérations à la mer et sur le terrain nécessaires au recueil des données hydrographiques et océanographiques,
- conduire les travaux correspondants en mettant en œuvre des matériels spécifiques,
- assurer le traitement, la mise en forme et l'exploitation des mesures effectuées,
- commander une embarcation équipée pour effectuer des travaux hydrographiques.

Débouchés

Parmi les personnels du service hydrographique, les officiers mariniers hydrographes ont la particularité de faire, pour beaucoup d'entre eux, des carrières courtes (la brochure du SHOM de 1978 indique que seuls 15% d'entre eux font une carrière longue).

Les officiers mariniers hydrographes ont accès au corps des officiers des équipages de la flotte jusqu'en 1970, puis au corps des officiers techniciens jusqu'au 1er juillet 1976 (peu y accèderont). Ils peuvent ensuite accéder au corps des officiers spécialisés, en perdant leur spécialité d'hydrographe, ou au corps des majors (décrets du 22 décembre 1975). En 1983, l'accès des officiers mariniers hydrographes au corps des ingénieurs des études et techniques d'armement est envisagé, sans qu'il y ait de suite.

Une partie des officiers mariniers hydrographes qui quitte l'uniforme se reclasse dans son domaine d'activité :

- emploi civil au service hydrographique,
- hydrographe portuaire,
- hydrographe dans un organisme public ou privé,
- spécialiste dans une entreprise de prospection ou d'opérations offshore,
- hydrographe dans une entreprise de travaux fluviaux ou maritimes ou de dragage,
- support technique chez un distributeur de matériel hydrographique

Agents techniques du service hydrographique

L'effectif de ce corps passe de 45 à 27 agents lors de la création du corps des ingénieurs de direction des travaux, ce dernier ayant été créé en incorporant 18 agents techniques.

Les agents techniques deviennent, par décret du 8 décembre 1953, des techniciens d'études et de fabrication (TEF) du service hydrographique. Le nouveau corps comporte trois spécialités, chacune ayant plusieurs options :

- arts graphiques : options cartographe, graveur, photograveur et imprimeur,
- instruments scientifiques : options spécialiste des instruments généraux et spécialiste des instruments électroniques,
- secrétaires techniques : options calculateur, documentaliste cartographe et documentaliste nautique

Le corps est réorganisé en 1976 et comporte cinq options : hydrographie-océanographie, cartographie-documentation, arts graphiques, électronique et instruments.

Par décret du 17 juin 1977, le corps se fond dans le corps des techniciens d'études et de fabrications des services de la marine dont il forme la branche hydrographie.

Ce dernier corps devient, par décret du 18 octobre 1989, corps des techniciens supérieurs d'études et de fabrications (TSEF) des armées et des services communs. Ils comporte six branches, dont une branche hydrographie.

9 Souligné en gras dans la brochure.

Ingénieurs techniciens d'études et de fabrications

Le corps des ingénieurs techniciens d'études et de fabrications (ITEF) du ministère de la défense est créé par décret du 7 avril 1976. Le corps est constitué par recrutement exceptionnel de techniciens d'études et de fabrications et d'agents sous contrat. Il est par la suite ouvert partiellement, par concours, aux techniciens d'étude et de fabrication (60% de l'effectif).

Le corps devient corps des ingénieurs d'études et de fabrications (IEF) du ministère de la défense par décret du 18 octobre 1989. Il est renommé corps des ingénieurs civils de la défense (ICD) par décret du 6 mai 2020.

Personnel auxiliaire et statuts particuliers

Le personnel dont il dispose étant insuffisant pour son bon fonctionnement, le service hydrographique a recours à du personnel sous contrat. Avec le temps, l'évolution de la règlementation rend cette pratique de plus en plus difficile. Une solution est trouvée par l'emploi d'ouvriers et de techniciens à statut ouvrier (TSO) embauchés par la Direction des constructions et armes navales (DCAN). Un arrêté du 22 octobre 1965 permet aux techniciens à statut ouvrier d'intégrer le corps des techniciens d'études et de fabrications sur examen professionnel dans les proportions d'un pour cinq, les quatre autres étant admis sur concours.

Seule l'impression des cartes est totalement sous-traitée, l'atelier d'impression étant toutefois installé dans les locaux de l'EPSHOM en 1971 et confié à un artisan.

Les correctrices-main, qui corrigent les stocks de cartes avec un statut de travailleurs à domicile, deviennent des ouvriers temporaires de complément au 1er janvier 1980.

Le SHOM recrute également des dessinateurs comme ouvriers temporaires. Cette pratique disparaît avec la création de nouvelles professions parmi les ouvriers du livre : agents cartographes (1978), agents de traitement de données graphiques (1992).

De son côté, la section des informations et ouvrages nautiques recrute des collaborateurs scientifiques parmi les anciens officiers de la marine militaire ou marchande. Ils sont ensuite recrutés sous le statut d'ingénieurs sur contrat. Ce statut permet également de recruter des spécialistes dans différents domaines : informatique, océanographie, etc.

Météorologistes-océanographes

Le 3 juillet 1996, l'instruction n°1300 crée dans la marine la spécialité de météorologiste océanographe (METOC). Ces spécialistes sont chargés d'exécuter les travaux d'observation et d'exploitation en temps quasi réel de l'environnement météorologique et océanographique. Le SHOM est l'autorité de tutelle de la spécialité. Au nombre de 160 en 1998, les météorologistes océanographes sont affectés pour la plupart à bord des grands bâtiments de la marine, des bases aéronavales ou des états-majors.

Leur formation est assurée par l'école des marins METOC implantée sur le site de l'école nationale de météorologie à Toulouse.

En 2007, lorsque le SHOM devient un établissement public à caractère administratif, l'école des marins METOC passe sous l'autorité du directeur du personnel militaire de la marine.

Effectif

Situation initiale

A la reprise des travaux hydrographiques après la seconde guerre mondiale, le Service hydrographique dispose de l'effectif suivant :

- 31 ingénieurs hydrographes,
- plusieurs officiers de marine,
- 40 agents techniques,
- 43 officiers mariniers hydrographes,
- des agents et employés

Augmentation des effectifs

L'effectif augmente par la suite, particulièrement lorsque l'océanographie militaire prend de l'ampleur à partir de 1990.

Un bilan effectué au 31 décembre 1997 donne le décompte présenté dans le tableau n°1.

Réduction des effectifs

Une réduction des effectifs s'opère par la suite, par l'effet de la suppression du service national mais aussi par une volonté de réduire les moyens de la défense.

Le dernier bilan détaillé disponible, publié dans le rapport d'activité du SHOM de 2012, est présenté dans le tableau n°2.

Catégories	Direction (Paris)	Brest	Toulouse	Groupes	Total
Ingénieurs de l'armement	5	11	2	6	24
Ingénieurs des études et techniques d'armement	2	27	4	12	45
Officiers	2	15	7	4	28
Officiers mariniers hydrographes	2	24	-	57	83
Officiers mariniers METOC	1	4	17	-	22
Officiers mariniers d'autres spécialités	2	12	4	17	35
Scientifiques du contingent	-	13	7	7	27
Quartiers-maîtres et matelots	4	23	1	48	76
Total personnel militaire	**18**	**129**	**42**	**151**	**340**
Ingénieurs et agents contractuels N1	-	29	1	-	30
Agents contractuels N2 et N3	-	11	-	-	11
Fonctionnaires administratifs N1	-	3	-	-	3
Fonctionnaires administratifs N2 et N3	5	25	1	-	31
Fonctionnaires techniques N1	-	25	-	-	25
Fonctionnaires techniques N2	-	50	-	-	50
Techniciens à statut ouvrier	-	13	-	-	13
Ouvriers	1	98	-	-	99
Total personnel civil	**6**	**254**	**2**	-	**262**
Total général	**24**	**383**	**44**	**151**	**602**

Tableau 1 - effectif du SHOM au 31 décembre 1997. En plus de ces personnes, 254 militaires de la marine nationale forment l'équipage des six bâtiments hydrographiques et océanographiques mis à la disposition du SHOM.

L'école d'application du service hydrographique

L'organisation de 1946

L'école d'application du service hydrographique est réorganisée en 1946 (arrêté du 11 mai*). Elle comporte trois divisions, chacune dédiée à une catégorie de personnel et dispose d'un laboratoire radioélectrique et acoustique, d'un laboratoire d'océanographie et d'une bibliothèque. Les exercices pratiques se déroulent sur la Seine ou sur ses berges et à l'observatoire du service hydrographique.

La première division forme les ingénieurs hydrographes ainsi que des étudiants français ou étrangers. Les cours sont divisés en deux sessions de cinq mois chacune, du 1er novembre au 1er avril, entre lesquelles est placé un stage embarqué sur l'*Amiral-Mouchez*.

La deuxième division forme les futurs officiers mariniers hydrographes, recrutés parmi les seconds-maîtres et quartiers-maîtres des spécialités suivantes : timoniers, manœuvriers, pilotes et radiotélégraphistes. La formation dure cinq mois, du 1er novembre au 1er avril, suivie d'un stage de 7 mois à bord d'un navire hydrographique sur les côtes de France et d'un examen final.

La troisième division forme les techniciens civils (calculateurs, dessinateurs, cartographes, graveurs, spécialistes des instruments, photographes) recrutés sur concours. La formation dure cinq mois, du 1er novembre au 1er avril. Ces élèves suivent les cours des deux autres divisions correspondant à leur spécialité.

La disparition du corps des ingénieurs hydrographes

A partir du moment où, début 1970, les ingénieurs hydrographes deviennent des ingénieurs de l'armement, leur formation est assurée par l'école nationale supérieure des techniques avancées (ENSTA) qui regroupe déjà l'école nationale supérieure des poudres et l'école nationale supérieure de l'armement. La première division de l'école d'application est alors intégrée à l'ENSTA.

Les ingénieurs des études et techniques d'armement hydrographes sont formés à l'école nationale supérieure des ingénieurs des études et techniques d'armement (ENSIETA), devenue école nationale

Catégories	Brest	Saint-Mandé	Toulouse	Groupes	Total
Ingénieurs de l'armement	10	-	-	-	10
Ingénieurs des études et techniques d'armement	31	2	2	15	50
Officiers	2	-	-	-	2
Officiers mariniers hydrographes	26	1	-	63	90
Officiers mariniers d'autres spécialités	7	-	4	31	42
Quartiers-maîtres et matelots	-	-	-	6	6
Total personnel militaire	**76**	**3**	**6**	**115**	**200**
Ingénieurs et agents contractuels N1	43	1	10	-	54
Agents contractuels N2 et N3	12	1	-	-	13
Fonctionnaires administratifs N1	7	2	-	-	9
Fonctionnaires administratifs N2 et N3	47	2	2	2	53
Fonctionnaires techniques N1	57	-	4	-	61
Fonctionnaires techniques N2 et N3	74	-	1	-	75
Techniciens à statut ouvrier	6	-	-	-	6
Ouvriers	63	-	-	1	64
Total personnel civil	**309**	**6**	**17**	**3**	**335**
Total général	**385**	**9**	**23**	**118**	**535**

Tableau 2 - effectif du SHOM au 31 décembre 2012. En plus de ces personnes, 166 militaires de la marine nationale forment l'équipage des quatre bâtiments hydrographiques et océanographiques mis à la disposition du SHOM.

supérieure des techniques avancées (ENSTA Bretagne) en décembre 2010. La formation dure 4 ans, dont 2 ans en spécialisation en environnement marin et en hydrographie-cartographie. La formation spécifique est assurée par l'école d'application du service hydrographique.

Cette formation de l'ENSIETA est homologuée FIG-OHI catégorie A (voir encadré n°1) à partir de 1982. Pour les ingénieurs de l'armement et les ingénieurs des études et techniques d'armement n'ayant pas suivi la formation homologuée de l'ENSIETA, la qualification d'ingénieur hydrographe catégorie A est soumise à l'examen d'une commission de qualification (instruction du 7 avril 2005).

L'école des hydrographes

En 1973, l'école d'application du service hydrographique devient, selon les termes de deux arrêtés n°14 et 15 du 16 août*, l'école des hydrographes. L'école forme les officiers mariniers hydrographes (voir annexe A4) et enseigne la spécialité hydrographie aux ingénieurs des études et techniques d'armement ainsi qu'aux techniciens d'étude et de fabrication (à l'école technique normale de Brest).

L'école du SHOM

La transformation du SHOM en EPA en 2007 entraîne un changement de nom : l'école des hydrographes devient l'école du SHOM.

Le catalogue de formation en 2020

L'école du SHOM dispense des formations dans les domaine de l'hydrographie, de la cartographie marine et de l'océanographie, au profit :

- des élèves ingénieurs de l'ENSTA Bretagne,
- des personnels civils ou militaires de l'Etat,
- des personnels étrangers.

Le catalogue distingue les formations courtes, de 1 à 5 jours, les formations du cycle de formation de l'association francophone d'hydrographie (AFHY) et les formations longues.

Les formations courtes, au nombre de vingt-cinq, portent sur le positionnement, l'hydrographie, l'océanographie, la géophysique, la métrologie, l'information nautique, la cartographie marine et la diffusion des données.

Le cycle de formation de l'association francophone d'hydrographie, en place depuis 2006, couvre les quatre modules de formation : environnement maritime et fluvial, positionnement et mise en

œuvre d'un système de positionnement par satellite, conduite d'un levé hydrographique et pratique du levé hydrographique.

Enfin les formations longues portent sur :

- le brevet supérieur d'hydrographe,
- le certificat supérieur d'hydrographie,
- le certificat d'administrateur systèmes et réseaux d'hydrographie, d'océanographie et de météorologie,
- le cours de technicien préparateur en cartographie marine

Les trois premières formations sont détaillées dans l'annexe A4. A la suite d'un partenariat conclu entre le SHOM et l'Université de Bretagne occidentale (UBO) en 2016, les élèves de l' université peuvent suivre depuis septembre 2017 les cours du brevet supérieur d'hydrographe afin d'obtenir un licence mention Sciences de la terre - Parcours Hydrographie.

La flotte hydrographique

Reconstitution de 1947

Des bâtiments qui composaient la flotte hydrographique avant la guerre, seul l'*Amiral-Mouchez* reprend du service en hydrographie, le 1er juillet 1947. Le reste de la nouvelle flotte est composé de navires de récupération :

- *Alidade*[10] : ancien chalutier de 1 000 t *Van-Rozeland*, utilisé par la Kriegsmarine (M4621), affecté en 1947 comme annexe du *La-Pérouse*
- *Beautemps-Beaupré* : ex *Sans-soucis*, ravitailleur d'aviation de 1 370 t en chantier en 1939. Les allemands en font poursuivre la construction pendant la guerre. Les ouvriers effectuent des sabotages subtils (circuit électrique) et le navire reste « en construction » pendant toute la guerre. Achevé après la guerre, il est affecté à l'hydrographie. Malheureusement, les sabotages passés entraînent des avaries qui rendent le bâtiment régulièrement indisponible pour réparation.
- *Estafette* : ex *Treff 2*, baleinier allemand de 700 t sabordé à Saint-Nazaire et renfloué pour servir d'annexe à l'*Amiral-Mouchez*



4 - l'*Amiral-Mouchez* - photothèque Amhydro

- *La-Pérouse*[11] : ex *Sans-peur*, de même nature que le *Beautemps-Beaupré*
- *Octant* : ancien chalutier *Osteriedland*, utilisé par la Kriegsmarine (M4626), affecté en 1947 comme annexe du *Beautemps-Beaupré*
- *Sentinelle* : ex *Treff 6*, baleinier allemand de 700 t sabordé à Saint-Nazaire et renfloué pour servir d'annexe à l'*Amiral-Mouchez*
- *Zélée* : ketch de 12 m acheté par la marine à Tahiti en 1947

Deux autres anciens navires utilisés par la Kriegsmarine étaient prévus comme annexes, sous les noms d'*Astrolabe* et de *Boussole*, mais ne furent pas mis en service.

En 1948, le chalutier de 1 080 t *Otto Brohar*, utilisé par la Kriegsmarine (B206), sabordé puis renfloué en 1945, est remis en service sous le nom d'*Ingénieur-hydrographe-Nicolas*.

Enfin, en 1949, un petit cargo américain de 950 t, acheté par les Ponts-et-Chaussées d'Indochine, est prêté au Service hydrographique sous le nom d'*Ingénieur-en-chef-Girod*.

Renouvellement des années 1960

Alors que les navires de 1947 cessent progressivement leur activité, de nouveaux navires sont affectés à l'hydrographie dans les années 1960-1970 :

10 Tous ces bâtiments utilisent pour la seconde fois un nom de navire hydrographique, si on prend comme origine la Chimère de 1880. Pour la *Sentinelle*, il s'agit de la troisième utilisation.

11 Les navires portant le nom de cet explorateur l'utilisent souvent sous la forme « Lapérouse ».

- *Alidade* (III) : chalutier en bois de 150 t *Evelyne-Marie* acquis par la marine nationale, entre en service le 11 avril 1963,

- *Astrolabe* (II) : navire de 440 t conçu spécialement pour l'hydrographie, entre en service le 1er juillet 1964,

- *Boussole* (II) : navire de 440 t conçu spécialement pour l'hydrographie, entre en service le 1er juillet 1964,

- *Corail* : ex chalutier belge *Tiburon* de 55 t, en bois, acheté par la marine nationale en Australie, entre en service en 1960,

- *Corail* (II) : ex vedette de 55 t *Marc-Joly* achetée en 1973, entre en service à la mi-mai 1974,

- *Découverte* : ancienne gabare anglaise de 900 t *Barwood* construite en 1939, aménagée par la société Doris en navire océanographique, entre en service le 21 juin 1969,

- *D'Entrecasteaux* : bâtiment de 2 500 t construit spécialement pour l'hydrographie, entre en service le 2 décembre 1971,

- *Espérance* : chalutier de haute mer de 1 350 t *Jacques-Cœur* construit en Pologne, acheté par la marine nationale, entre en service en juillet 1969,

- *Estafette* (III) : chalutier de haute mer de 1 350 t *Jacques-Cartier* construit en Pologne, acheté par la marine nationale, entre en service en mai 1972,

- *Octant* (III) : chalutier en bois de 150 t *Michel-Marie* acquis par la marine nationale, entre en service le 11 avril 1963,

- *Origny* : dragueur océanique américain en bois de 700 t, transféré à la marine nationale en 1953, entre en service le 11 juillet 1960,

- *Paul-Goffeny* : ancien dépanneur d'hydravion allemand de 1 400 t *Max-Ginsky*, utilisé comme aviso, entre en service en 1964,

- *Recherche* : ex paquebot *Guyane* de 900 t construit en 1953, acheté par la marine nationale en 1960. Modifiée, elle entre en service le 19 mars 1962,

- *Zélée* (III) : vedette achetée par la marine nationale, entre en service en 1964.

A partir des années 1970, les principaux navires hydrographiques sont classés en catégories :

- bâtiments hydrographiques de 1ère classe (BH1) : *Découverte*, *Espérance*, *Estafette*, *Recherche*,

- bâtiments hydrographiques de 2ème classe (BH2) : *Alidade*, *Astrolabe*, *Boussole*, *Octant*,

- bâtiments océanographiques (BO) : *D'Entrecasteaux*, *Origny*.

Renouvellement des années 1990

Une nouvelle génération de bâtiments hydrographiques de 970 t entre en service autour des années 1990. Construits sur le même modèle, ils existent en deux versions qui, en plus de leur capacité à effectuer des levés bathymétriques au large, leur donnent un capacité supplémentaire. La version « annexe » (BH2A), permet la recherche d'obstructions au moyen d'un sonar, et la version « côtier » (BH2C) permet les levés hydrographiques par petits fonds, avec deux vedettes :

- le BH2C *Arago*, entré en service le 1er octobre 1991,

- le BH2C *Borda*, entré en service le 16 juin 1988,

- le BH2A *Lapérouse* (III), entré en service le 20 avril 1988,

- le BH2C *Laplace*, entré en service le 5 octobre 1989.

La flotte hydrographique au début du XXIe siècle

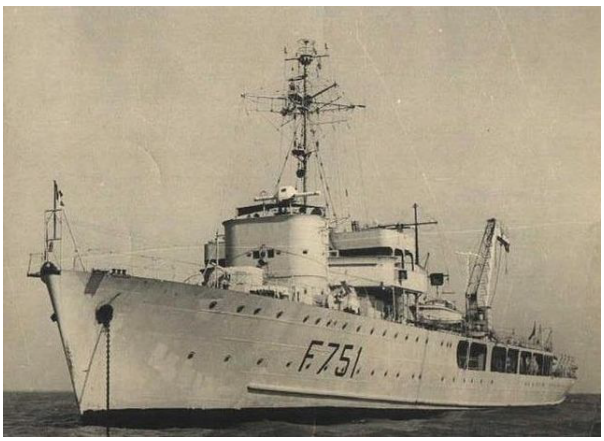
Au début des années 1990, la flotte hydrographique se compose du BO *D'Entrecasteaux*, du BH1 *Estafette*, tous les deux en fin de carrière, et des quatre récents BH2. Le SHOM étudie le remplacement des deux anciens bâtiments. Le programme de leur remplacement par deux bâtiments hydro-océanographiques (BHO) est lancé en 1994.

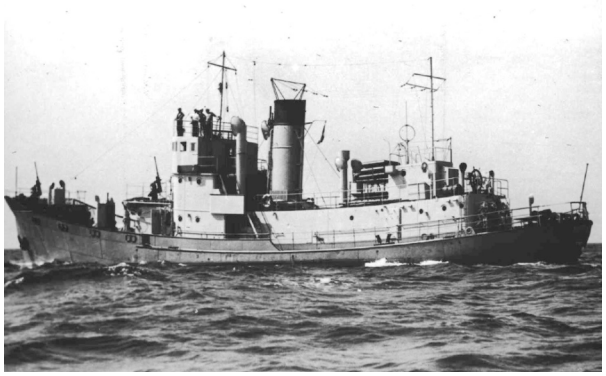
Peu après, l'Ifremer met à l'étude le remplacement d'un de ses navires, le *Nadir*. L'idée de combiner les deux programmes naît et, en 1998, les ministres de la recherche et de la défense demandent à l'Ifremer et à la marine de réfléchir en commun au renouvellement des navires.

Les deux ministres signent une lettre d'intention en 2000 et une convention est conclue le 12 avril 2001, prévoyant une participation croisée :

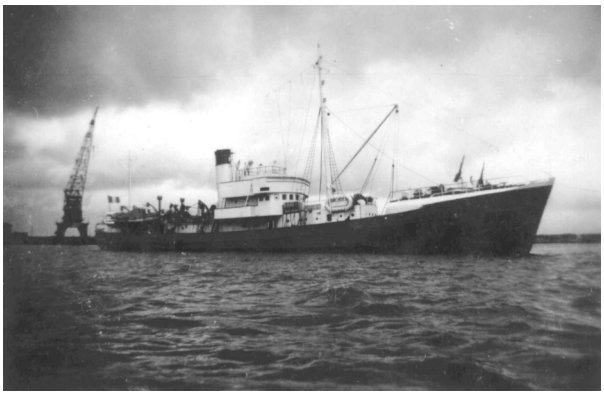
- la marine fait construire le bâtiment hydro-océanographique (BHO) *Beautemps-Beaupré* (III) de 3 300 t, l'Ifremer participant financiè-



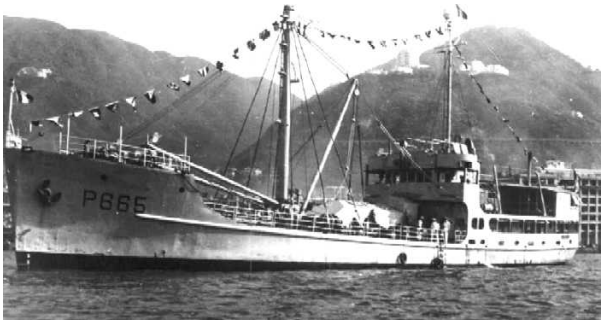












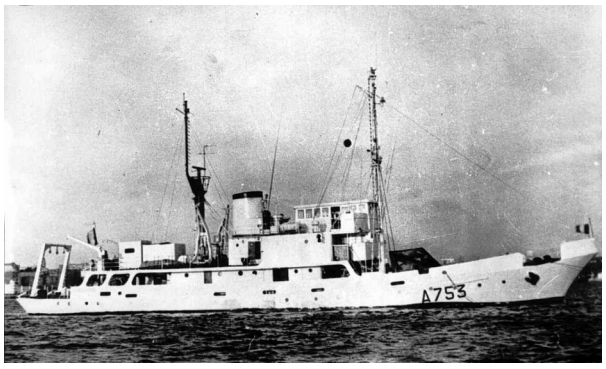
5 - de gauche à droite et de haut en bas :
l'*Alidade* II (photothèque Amhydro) - le *Beautemps-Beaupré* II (photothèque Amhydro - M.Marchand) - l'*Estafette* II (photothèque Amhydro) - le *Lapérouse* II (photothèque Amhydro) - l'*Ingénieur-hydrographe-Nicolas* (photothèque Amhydro) - la *Zélée* II (photothèque Amhydro) - l'*Ingénieur-en-chef-Girod* (photothèque Amhydro)

















6 - de gauche à droite et de haut en bas :
l'*Alidade* III (photothèque Amhydro) - l'*Astrolabe* II (photothèque Amhydro) - le *Corail* (photothèque Amhydro) - le *Corail* II (photothèque Amhydro) - la *Découverte* (photothèque Amhydro) - le *D'Entrecasteaux* (photothèque Amhydro) - l'*Espérance* (photothèque Amhydro) - la *Recherche* (photothèque Amhydro)

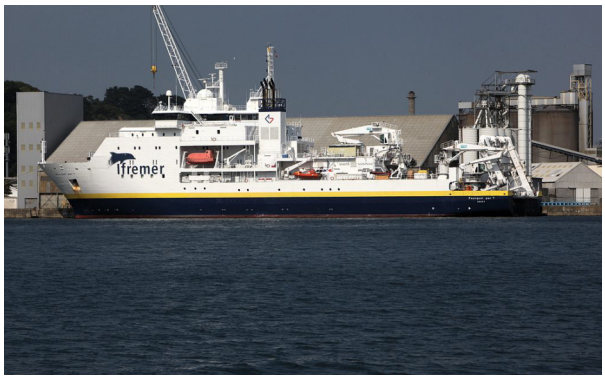












7 - de gauche à droite et de haut en bas :
l'*Arago* (photothèque Amhydro) - le *Borda* (photothèque Amhydro) - le *Lapérouse* III (photothèque Amhydro) - le *Laplace* (photothèque Amhydro) - le *Beautemps-Beaupré* III (Ph. Saget / CC BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)) - le *Pourquoi-pas-?* (Photograph by Rama, Wikimedia Commons, Cc-by-sa-2.0-fr / CC BY-SA 2.0 FR (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/deed.en))

rement à hauteur de 5% et, en contrepartie, pouvant l'utiliser 10 jours par an,

- Ifremer construit le navire océanographique (NO) *Pourquoi-Pas-?* de 6 600 t, la marine participant financièrement à hauteur de 45% et, en contrepartie, pouvant l'utiliser 150 jours par an

Le *Beautemps-Beaupré* est prévu pour être en activité 300 jours par an, ce qui impose la création de deux équipages qui se relaient à bord, cette disposition devenant courante dans la marine.

Sur les deux navires, les émetteurs et récepteurs ultrasonores sont regroupés dans une « gondole » située sous le navire, ce qui permet d'éviter sur leur surface les bulles d'air qui empêchent la propagation du son.

En dehors des navires classé hydrographes ou océanographes, le SHOM utilise d'autres navires de la marine nationale, comme la *Gazelle* utilisée en Méditerranée entre 1978 et 2002, ou des navires civils, comme l'*Atalante* d'Ifremer, utilisé à partir de 2015, ou le *Louis-Hénain* du service des Phares et Balises de Nouvelle-Calédonie, utilisé à partir de 2004.

Les vedettes hydrographiques

A la fin des années 1950, de nouvelles vedettes hydrographiques en bois sont mises en service. Dénommées VH8 (longueur 8 m), elles sont conçues à partir des vedettes affectées aux grands bâtiments de la marine nationale pour le déplacement des officiers.

Vers le milieu des années 1970, de nouvelles vedettes sont étudiées pour les nouveaux navires de la flotte hydrographique : *D'Entrecasteaux*, *Espérance*, *Estafette*. Ces vedettes en matière plastique sont dénommées VH9 (longueur 9 m). En 1978, le renouvellement des vedettes des bâtiments hydrographiques de 2ème classe est à l'étude. Les VH9 étant trop grandes, et la construction de vedettes en bois n'étant plus possible à l'arsenal de Cherbourg, une nouvelle vedette de 8 m en matière plastique est étudiée : la VH8 MP. Les deux modèles de vedettes sont mis en service au début des années 1980.

En 1995, la marine construit un prototype de nouvelle vedette hydrographique destinée à remplacer les VH8 et VH9 : la VH90. Seul le prototype est mis en service.

En 2001, le SHOM choisit, pour renouveler sa flotte de vedettes hydrographiques, des vedettes construites par le chantier allemand Fassmer. Ces



8 - vedettes hydrographiques - de haut en bas :
VH8 (photothèque Amhydro - L. Penven) - VH8MP (photothèque Amhydro) - Fassmer (photothèque Amhydro)

vedettes sont désignées sous le nom de « vedettes Fassmer ».

Missions hydrographiques

Redémarrage de l'activité après la guerre

Dès la fin de la guerre, l'urgence est de rétablir la sécurité de la navigation, menacée d'abord par les mines mises en place par les belligérants, ensuite par les nombreuses épaves laissées par le conflit, enfin par l'absence de mise à jour des cartes marines pendant les hostilités.

Dans les années 1950-1960, la décolonisation entraîne une réduction de la zone d'activité du service hydrographique. Malgré cela, le volume de

travail à réaliser est en augmentation :

- augmentation du tirant d'eau des navires, qui nécessite des levés précis jusqu'aux fonds de 50 m,
- augmentation de la profondeur d'immersion des sous-marins, passant de 100 m pendant la seconde guerre mondiale à 400 m aujourd'hui,
- progrès technique qui rend les levés anciens caducs et nécessite de les refaire,
- prise en compte de nouveaux besoins : pêche par grands fonds, exploitation du plateau continental, guerre des mines, lutte anti-sous-marine, opérations amphibies, océanographie militaire.

En 2020, il reste encore sur les côtes de France quelques zones qui n'ont pas été levées depuis Beautemps-Beaupré, en Bretagne Nord et sur les côtes landaises.

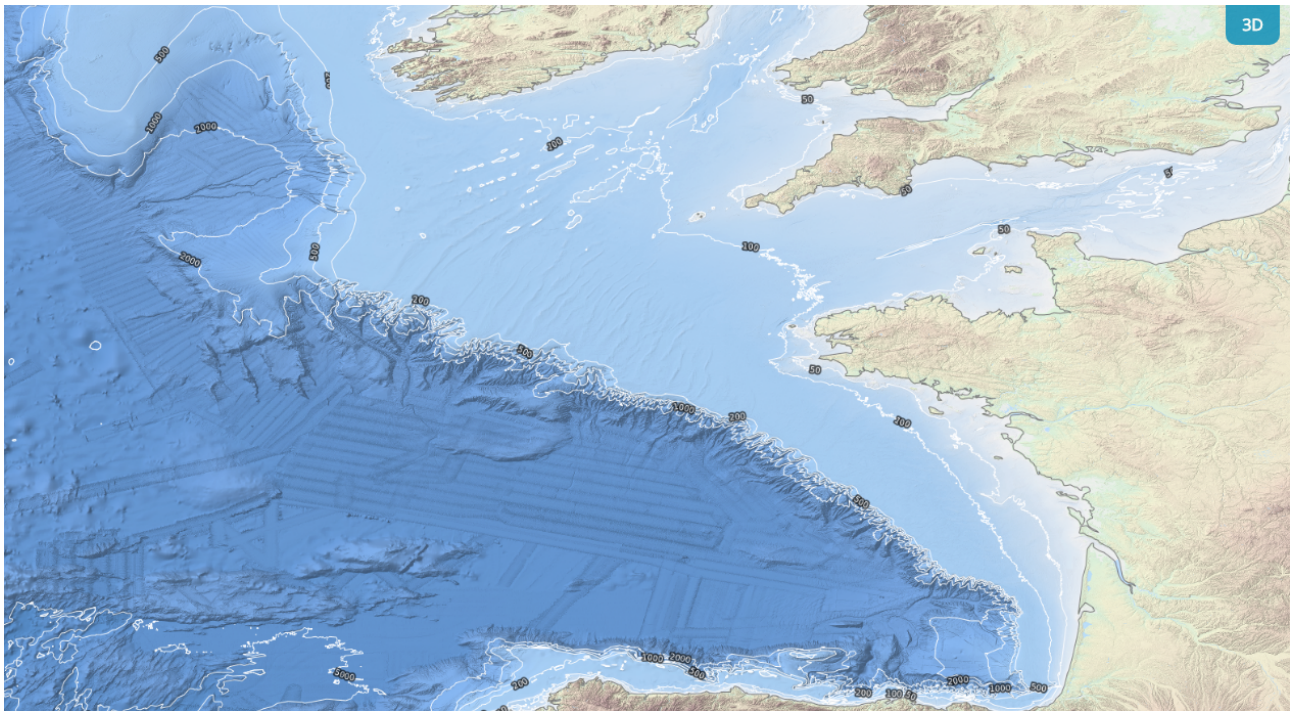
Les missions hydrographiques de dragage de mines

A la fin de la guerre, le dragage des mines pose de nombreux problèmes à la marine française :

- variété des moyens de dragage mis en œuvre : dragueurs américains de type YMS ou MMS, dragueurs allemands de classe M, chasseurs,
- variété des modèles de mines : classiques à contact, nouvelles à influence (magnétiques, acoustiques),
- variété des méthodes à mettre en œuvre : dragage de mines anglo-saxonnes en Atlantique, allemandes ailleurs,
- manque de personnel entraîné,
- nécessité de ne pas laisser de « trous » dans les zones traitées, donc de naviguer avec précision,
- absence de documentation en français sur les mines à influence.

Or, le service hydrographique dispose d'un personnel, ingénieurs et officiers mariniers hydrographes, spécialisé dans les travaux de précision à la mer, ainsi que de moyens, à Paris, permettant de suivre l'avancement des travaux. D'autre part, plusieurs ingénieurs ont été affectés au dragage des nouvelles mines magnétiques au début de la guerre. Aussi la marine demande-t-elle au service hydrographique son concours.

Trois ingénieurs sont envoyés en Grande-Bretagne pour se mettre au courant des méthodes de dragage en usage. Puis, des formations rapides sont organisées à Paris, où des ingénieurs hydrographes enseignent aux officiers et officiers mariniers la théorie des mines, des engins de dragage et de la navigation de précision. En parallèle, une documentation technique est produite par traduction de manuels anglais, américains et allemands.



9 - le vaste plateau continental au large des côtes atlantiques (en bleu clair) - sa profondeur, inférieure à 200 m, nécessite d'en faire un levé complet pour la navigation sous-marine - source : EMODnet Bathymetry Consortium (2018). EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2018). EMODnet Bathymetry Consortium. https://doi.org/10.12770/18ff0d48-b203-4a65-94a9-5fd8b0ec35f6

Le service hydrographique participe également à la préparation des programmes de dragage et tient à jour quotidiennement les cartes montrant la progression des opérations.

Trois missions hydrographiques de dragage de mines sont créées, une par région maritime : 1ère région (Manche et mer du Nord), 2ème région (Atlantique), 3ème région (Méditerranée et côtes d'Afrique). Chaque mission est dirigée par un ingénieur hydrographe.

Ces missions opèrent de 1945 à 1947. Leur rôle est d'établir précisément la couverture des zones draguées. Elles sont composées d'officiers mariniers hydrographes et de quartiers-maîtres et matelots formés par chaque mission. Beaucoup de ces derniers deviendront par la suite aides-hydrographes.

Missions hydrographiques principales

Mission hydrographique des côtes de France

La mission est créée le 1er juin 1946 pour entraîner la première promotion d'officiers mariniers hydrographes d'après guerre. Elle dispose uniquement de canots à moteur.

La mission démarre réellement son activité à partir de 1947. Elle dispose de l'*Amiral-Mouchez* et des annexes *Estafette* et *Sentinelle*.

La mission opère d'abord alternativement sur les côtes de France (Manche puis Atlantique) et du Maroc, où elle est gênée par les évènements qui précèdent l'indépendance en 1956, puis sur les côtes d'Algérie et, après l'indépendance de l'Algérie, exclusivement sur les côtes de France.

Fin 1964, l'*Amiral-Mouchez* est retiré du service actif. La mission reçoit les navires, en fin de vie, des missions coloniales dissoutes ainsi que les nouveaux navires de la génération 1960. Elle s'installe dans une base à terre permanente à proximité de Brest : Montbarrey puis Toulbro'ch.

Elle effectue par la suite des travaux hydrographiques et des campagnes océanographiques, principalement en Atlantique.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique des Coureaux d'Oléron
- mission hydrographique des côtes de France (début 1947)
- mission hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord (1er janvier 1949)
- mission hydrographique de France et d'Algérie (1er janvier 1961)
- mission hydrographique des côtes de France (1er juillet 1962), parfois désignée sous le nom de mission hydrographique d'Atlantique Nord à partir de 1965
- mission hydrographique de l'Atlantique (1er avril 1971)
- groupe hydrographique de l'Atlantique (11 mai 2007)

En 2015, le groupe fusionne avec le groupe océanographique de l'Atlantique pour former le groupe hydrographique et océanographique de l'Atlantique.

Mission hydrographique de Madagascar

Il n'y avait plus de travaux hydrographiques à Madagascar depuis 1914. Une mission y est mise en place en avril 1947, avec le *La-Pérouse* et l'*Alidade*. Elle travaille principalement sur les côtes de Madagascar mais effectue quelques levés sur les côtes d'autres territoires français de l'océan Indien.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de Madagascar
- mission hydrographique de l'océan Indien (1er janvier 1961, Madagascar étant devenue indépendante en 1960)

La mission est dissoute le 19 février 1965.

Mission hydrographique de la côte ouest d'Afrique

La mission entre en activité en novembre 1947 avec le *Beautemps-Beaupré* et l'annexe *Octant*. Elle travaille le long de la côte des pays qui constituent alors l'Afrique occidentale française et l'Afrique équatoriale française : Mauritanie, Sénégal, Guinée, Côte d'Ivoire, Togo, Bénin, Cameroun, Gabon, Congo.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de la côte ouest d'Afrique

- mission hydrographique de l'Atlantique Sud (fin 1960, alors que les anciennes colonies françaises viennent d'accéder à l'indépendance)

La mission est dissoute en juillet 1965.

Mission hydrographique de recherche d'épaves

La mission est constituée en novembre 1948, avec l'*Ingénieur-Hydrographe-Nicolas*, pour la détection des nombreuses épaves laissées par la guerre. Elle recherche les épaves au moyen de l'Asdic (Sonar) du bâtiment, puis les localise avec une drague remorquée par ses vedettes et détermine leur profondeur minimale avec ses plongeurs équipés de manomètres.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de recherche d'épave

- mission hydrographique de dragage des côtes de France et d'Afrique du Nord (1951)

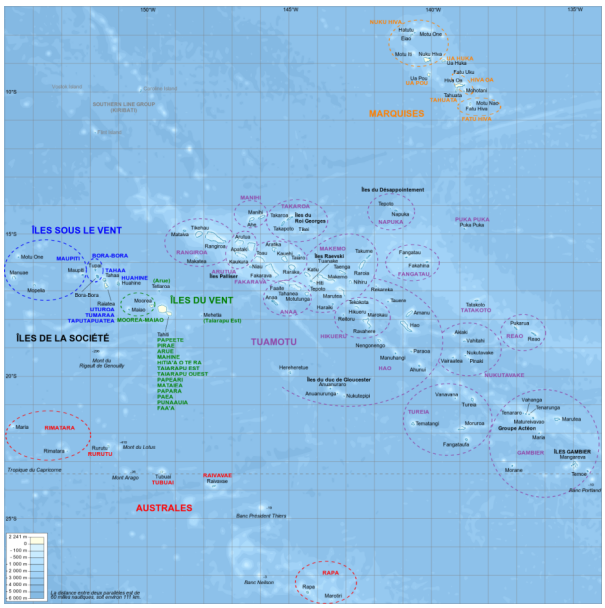
La mission est dissoute le 1er juillet 1960, son bâtiment, l'*Ingénieur-hydrographe-Nicolas*, étant condamné. Le matériel spécifique, dont l'Asdic, est stocké en vue d'une utilisation ultérieure.

Mission géodésique des Tuamotu

La Polynésie française est un territoire de vaste étendue (environ 2 200 km en largeur et en longueur) composé de cinq archipels. Celui des Tuamotu est le plus grand, étendant ses 76 atolls sur 1 762 km. Ces atolls sont très plats et, en général, hors de visibilité les uns des autres. La mission géodésique des Tuamotu est chargée, à partir de janvier 1947, de déterminer la topographie et la position précise, par la méthode des hauteurs égales (voir encadré n°2), de chacun de ces atolls. Elle dispose pour cela de la *Zélée*, ketch de 12 m, qui transporte 6 hommes, les vivres et le matériel nécessaire.

Les atolls sont des sommets de montagnes sous-marines sur lesquels se sont développés des coraux qui délimitent un lagon, qui peut comporter des passes ou être fermé. Dans ce cas, l'accès se fait uniquement en franchissant la barrière de corail avec un canot, à l'aide des vagues provoquées par les fortes pentes de la montagne sous-marine (de l'ordre de 45°).

La mission poursuit son travail jusqu'en septembre 1953 par la vérification de certaines positions dans les archipels des Marquises, des Iles de la Société et des Iles Australes, avant d'être dissoute.



10 - archipels qui composent la Polynésie française - L. Claudel (Sardon - fr:Sardon) / CC BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)

Mission hydrographique de l'Indochine

A la fin de la seconde guerre mondiale, la situation en Indochine est chaotique. Elle se stabilise en 1946. Les fonds ayant changé dans les deltas des fleuves et dans les voies fluviales depuis l'arrêt des travaux hydrographiques en 1939, l'autorité maritime en Indochine demande la mise en place d'une mission hydrographique. Un comité local des travaux hydrographiques définit le programme de ses travaux. Les Travaux Publics fournissent un navire qui, sous le nom d'*Ingénieur-en-chef-Girod*, est aménagé pour l'hydrographie. La mission démarre le 1er avril 1949.

Elle effectue différents levés pour la navigation mais aussi pour les opérations navales puis, à partir de fin 1951, des sondages de plages en vue d'y effectuer des débarquements. Une partie du travail s'effectue en zone rebelle ou semi contrôlée par les troupes françaises, impliquant de raccourcir les périodes passées sur le terrain. La qualité des travaux s'en ressent.

Aucun ingénieur ne participe à la mission, sauf à partir du 1er janvier 1955. L'objectif de la mission est alors de former les hydrographes vietnamiens du nouveau service hydrographique du Viet-Nam, tout en poursuivant l'exécution de levés hydrographiques. Le navire est rétrocédé à l'état vietnamien le 1er décembre 1955, la mission ne disposant plus que de ses deux vedettes.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de l'Indochine

Encadré n°2 : détermination précise de la position d'un point par la méthode des hauteurs égales

En 1808, le mathématicien allemand Carl Friedrich Gauss publie un mémoire exposant comment déterminer précisément une position, en latitude et en longitude, en observant les instants ou trois étoiles se trouvent à la même hauteur au-dessus de l'horizon. C'est la méthode des hauteurs égales.

Le cercle de hauteur

Le chapitre 2 d'une histoire de l'hydrographie française introduit la notion de latitude : sur une terre assimilée à une sphère, tous les points ayant la même latitude sont situés sur un cercle parallèle à l'équateur. De chacun de ces points, on peut voir au-dessus de l'horizon, sous un même angle égal à la latitude, un astre situé, à l'infini, dans le prolongement de l'axe de rotation de la terre.

Cette particularité s'applique en fait à tout astre : à un instant donné, il existe un point sur la terre d'où l'on peut voir cet astre au zénith. En reliant ce point au centre de la terre, on obtient un rayon dont chaque point est le centre d'un cercle qui lui est perpendiculaire et d'où l'on peut voir cet astre sous un même angle au-dessus de l'horizon (l'équivalent, pour cet astre, du système pôle, parallèles, équateur).

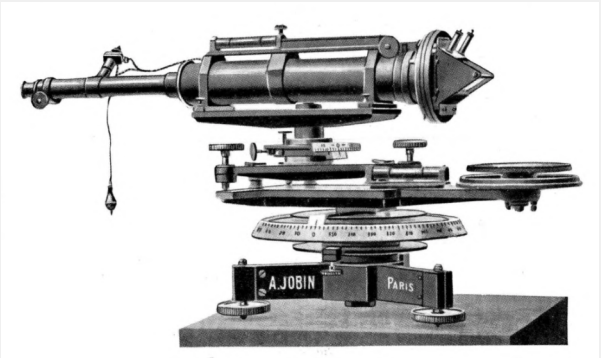
Le capitaine américain Thomas H. Sumner découvre cette particularité en 1837 : alors qu'il s'approche de sa destination, en Ecosse, il se trouve dans une situation inconfortable. Le temps est mauvais et il a parcouru 700 nautiques depuis sa dernière observation du soleil. Il n'est donc pas sûr de sa position et aimerait la confirmer. Il arrive finalement à prendre une hauteur du soleil. Ne pouvant se fier à sa latitude estimée, il calcule trois positions correspondant à trois valeurs de latitude séparées de 10 minutes. Il constate que ces positions sont alignées et que plus loin sur l'alignement se trouve un phare qu'il connaît (le phare des Smalls). Sumner a alors l'intuition qu'il se trouve quelque part sur cette « droite de hauteur[1] » et que, s'il la suit, il finira par arriver au phare. Il ordonne le changement de cap et se trouve un peu plus tard en vue du phare. Sumner, tirant parti de sa découverte, publie en 1843 une méthode pour déterminer le point par droite de hauteur, mais c'est le français Marcq Saint-Hilaire qui proposera, en 1875, une méthode de calcul simple, adoptée depuis par tous les navigateurs.

La méthode des hauteurs égales

Si on observe en un même point fixe, à des instants différents, la hauteur de quelques astres au dessus de l'horizon et si on note l'instant de chaque observation, on obtient plusieurs cercles de hauteur[2] dont l'intersection fournit la position du point d'observation. En observant tous les astres à la même hauteur, ce que préconise Gauss, on s'affranchit de différentes erreurs comme, par exemple, les erreurs de graduation de l'instrument. Avec un bon instrument, l'erreur sur la position du point peut atteindre une dizaine de m, ce qui donne une précision remarquable.

L'astrolabe à prisme

En 1900, le français André Claude publie la description d'un instrument d'observation, simple et portable, qui permet d'obtenir, grâce à la méthode des hauteurs égales, une précision d'une quarantaine de mètres : l'astrolabe à prisme. L'observateur voit dans la lunette de l'instrument l'image de l'astre réfractée dans un prisme et celle du même astre réfléchie dans un bain de mercure puis réfractée dans le prisme. Les deux images évoluent verticalement en sens inverse. Lorsqu'elles sont à la même hauteur, l'astre est à 60° au-dessus de l'horizon. L'observation consiste à noter l'instant de cette coïncidence.



11 - astrolabe à prisme - le plateau situé devant le prisme à droite reçoit le miroir à bain de mercure - Revue hydrographique internationale, vol XII n°1 1935

L'ingénieur hydrographe Driencourt voit immédiatement l'intérêt d'un tel instrument pour les opérations géodésiques des levés hydrographiques. Il prend contact avec Claude, fait apporter quelques améliorations à l'instrument et le met en œuvre dès 1902 à la mission hydrographique de

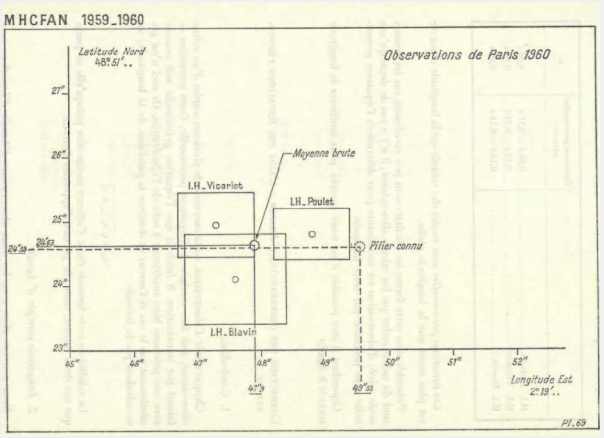
1 Sur sa carte, la petite portion du cercle de hauteur est assimilable à une droite.
2 Les tables astronomiques permettent de calculer les centres de ces cercles aux instants d'observation.

Madagascar. Driencourt indique qu'il obtient une précision de 0,2 / 0,3 seconde de latitude (entre 6 et 10 m) et de 0,75 seconde pour la longitude (23 m à l'équateur).

L'astrolabe à prisme est utilisé, à partir de 1947, par la mission géodésique des Tuamotu pour déterminer la position géographique de chaque atoll. Le chef de la mission estime que les positions qu'il obtient sont de deux à trois secondes d'arc près (entre 60 et 100 m), en particulier à cause d'erreurs non ou mal prises en compte : l'équation personnelle de l'observateur et la déviation de la verticale.

Equation personnelle de l'observateur

L'observation de l'instant auquel l'astre se trouve à la hauteur de 60° s'effectue de la manière suivante : un enregistreur graphique[3] permet de reproduire les signaux d'un garde temps, synchronisé au moyen de signaux horaires transmis par radio à l'usage des navigateurs. Lorsque l'observateur constate la coïncidence des deux images de l'astre, il déclenche une marque sur la bande de papier qui se déroule en continu, ce qui permet après coup de déterminer l'heure précise de l'évènement. Or, quelle que soit l'attention dont fait preuve l'opérateur, il se produit un délai entre le moment où la coïncidence des images apparaît devant son œil et celui où la bande de l'enregistreur reçoit la marque indiquant que l'évènement a eu lieu. Ce délai, à peu près constant pour un opérateur dans des conditions normales, mais variant d'un opérateur à l'autre, se nomme l'équation personnelle de l'opérateur.



12 - résultats de l'observation de Paris en 1960. Les trois rectangles indiquent la position moyenne et la dispersion des mesures de chaque observateur. La moyenne brute de leurs observations est proche en latitude mais éloignée en longitude de la position réelle du pilier (cercle le plus à droite) - Annales hydrographiques 1971

En 1959, la mission hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord effectue un point astronomique à Agadir, à l'astrolabe à prisme, avec quatre observateurs différents. Pour déterminer l'équation personnelle de ces observateurs, la mission fait faire par trois d'entre eux le même type de mesure à Paris l'année suivante. Le point de mesure est le pilier du service hydrographique dont la position est connue avec une grande précision. Les conditions de mesure ne sont pas tout à fait les mêmes, mais le résultat montre bien le décalage en longitude, pouvant aller jusqu'à 3 secondes d'arc, apporté par les opérateurs, alors que le décalage moyen en latitude est insignifiant.

Déviation de la verticale

La terre, cette surface complexe sur laquelle nous évoluons, peut être modélisée de manière peu précise par une sphère de rayon 6 371 km. La terre étant un peu aplatie au niveau des pôles, une meilleure approximation est obtenue avec un ellipsoïde, une figure obtenue en faisant tourner une ellipse sur un de ses axes. L'axe le plus court est l'axe pôle nord - pôle sud. L'aplatissement, c'est à dire la différence entre les deux axes rapportée à l'axe le plus grand, est d'environ 1 / 300.

Lorsqu'on effectue des mesures d'angles verticaux (par exemple pour déterminer la hauteur d'un astre) ou horizontaux (pour effectuer une triangulation) on fait ces mesures par rapport au plan horizontal, que l'on peut déterminer au moyen d'un niveau à bulle, ou au plan vertical, qui forme un angle droit avec le précédent et qui peut être déterminé par un fil à plomb. Or ces accessoires utilisent l'attraction terrestre, la pesanteur, et cette attraction peut être déviée par une répartition non homogène des masses. Ainsi, la surface de la mer, que l'on pourrait croire parallèle à la surface de l'ellipsoïde, forme-t-elle une « bosse » lorsque elle est au-dessus d'une montagne sous-marine. La verticale étant toujours perpendiculaire au plan que forme, localement, la surface, il y a, par conséquent, un écart angulaire entre la verticale observée et la verticale théorique indiquée par l'ellipsoïde (qui est, elle, perpendiculaire à la surface de l'ellipsoïde). Dit autrement, le fil à plomb est dévié par l'anomalie de pesanteur et n'indique plus la direction de la verticale, mais une direction qui en est proche. Cet écart angulaire est appelé « déviation de la verticale ».

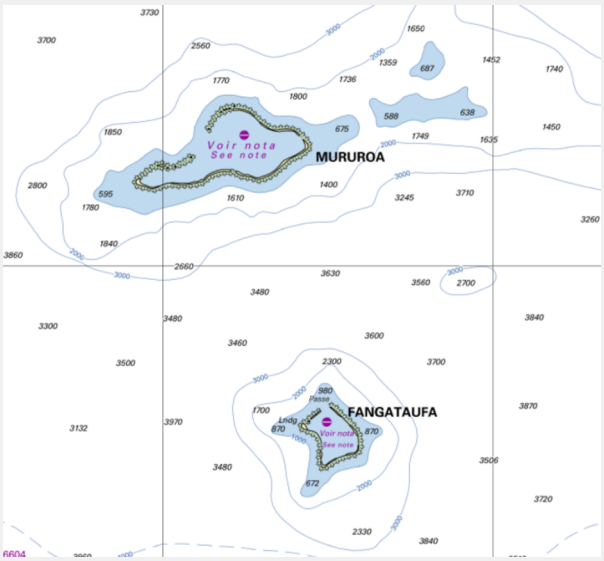
Sur les atolls, qui sont des sommets de montagnes sous-marines, cette déviation de la verticale peut aller jusqu'à 40 secondes d'arc. Ces déviations de

3 En principe un chronographe au 1/100 de seconde, mais ce matériel se révéla trop fragile et la mission utilisait un polygraphe déroulant à 35 mm par seconde.

la verticale sur les atolls sont suffisamment importantes pour que les positions astronomiques de deux points situés sur deux atolls, dont les erreurs sont de l'ordre d'une centaine de mètres, présentent en fait un défaut d'homogénéité d'un millier de mètres. Ainsi, la disposition relative des atolls de Mururoa et de Fangataufa[4], distants d'une quarantaine de km, n'était donc connue à priori qu'à 1 km près.

La mission hydrographique de Polynésie française effectua le rattachement des deux atolls en 1965-1966 par une triangulation utilisant, comme sommet commun, un pétrolier portant une couronne lumineuse, placé à une position d'où il était visible, la nuit, des deux atolls. La distance entre les deux atolls fut ainsi déterminée à une vingtaine de mètres près.

4 Il s'agit des deux atolls retenus pour les essais nucléaires français.



13 - les atolls de Mururoa et de Fangataufa - chaque atoll est le sommet d'une montagne de 3 000 m de haut - source data.shom.fr

- mission hydrographique d'Indochine (1954)
- mission hydrographique française en Indochine (1er janvier 1955)
- mission hydrographique française au Vietnam (1er décembre 1955)

Elle est dissoute le 30 juin 1958.

Mission amphibie

La mission est créée en mai 1950 pour lever les approches de plages pouvant servir à un débarquement. Il s'agit donc d'une mission à destination militaire. La mission opère avec des véhicules amphibies (DUKW) et se déplace exclusivement par voie terrestre, s'installant dans des campements mobiles. Elle opère d'abord en Tunisie, puis, à partir de juin 1952 en Algérie, à partir de décembre 1954 au Maroc, et à partir de mars 1957 en Provence et en Languedoc. Elle passe sur la côte Atlantique vers 1959/1961.

La mission est dissoute en janvier 1965.

Mission hydrographique des établissements français d'Océanie

La mission est créée en octobre 1953 avec, en particulier, les moyens de la mission géodésique des Tuamotu (la *Zélée*). La mission ne dispose pas en propre de moyens de transport suffisants et ne peut réaliser de grands travaux. Elle effectue principalement des levés de passes et de mouillages et des recherches de dangers. Lorsque, en 1962, la marine veut faire un levé complet de l'atoll de Mururoa[12], dans l'archipel des Tuamotu, envisagé comme nouveau site des essais nucléaires français, elle doit s'appuyer sur les moyens de la mission hydrographique de l'océan Indien (voir encadré n°3).

La création du Centre d'expérimentation du Pacifique (CEP) pour les essais nucléaires a pour conséquence d'étoffer la mission hydrographique, en particulier avec un nouveau navire (la nouvelle *Zélée*). La mission travaille principalement pour répondre aux demandes du CEP. A partir de 1966, le volume des demandes diminue et la mission peut retourner à des occupations hydrographiques normales. Elle commence même à réaliser des travaux d'envergure et dispose de locaux à Tahiti. Fin juin 1968, elle reçoit la *Boussole*.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique des établissements français d'Océanie
- mission hydrographique de Polynésie française (avril 1956, à la suite du changement de nom du territoire)

La mission est dissoute le 1er septembre 1974 et ses moyens sont affectés à la mission océanographique du Pacifique.

12 Le vrai nom de l'atoll est Moruroa, mais il a été popularisé sous le nom de Mururoa. Dans son rapport de mission 1950-1953, publié en 1954, le lieutenant de vaisseau Vallaux, chef de mission, utilise déjà le nom Mururoa.

Encadré n°3 : hydrographie et dissuasion nucléaire

Dans les années 1960, le service hydrographique a effectué des travaux particuliers liés à la mise en place de la dissuasion nucléaire nationale, à la fois dans le contexte des essais nucléaires dans le Pacifique et dans celui de l'environnement dans lesquels les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) allaient être déployés.

Centre d'essai du Pacifique

Levé de Mururoa

Lorsque la France décide de poursuivre ses essais nucléaires dans le Pacifique et s'intéresse à l'atoll de Mururoa, le service hydrographique est chargé de faire un levé détaillé du lagon.

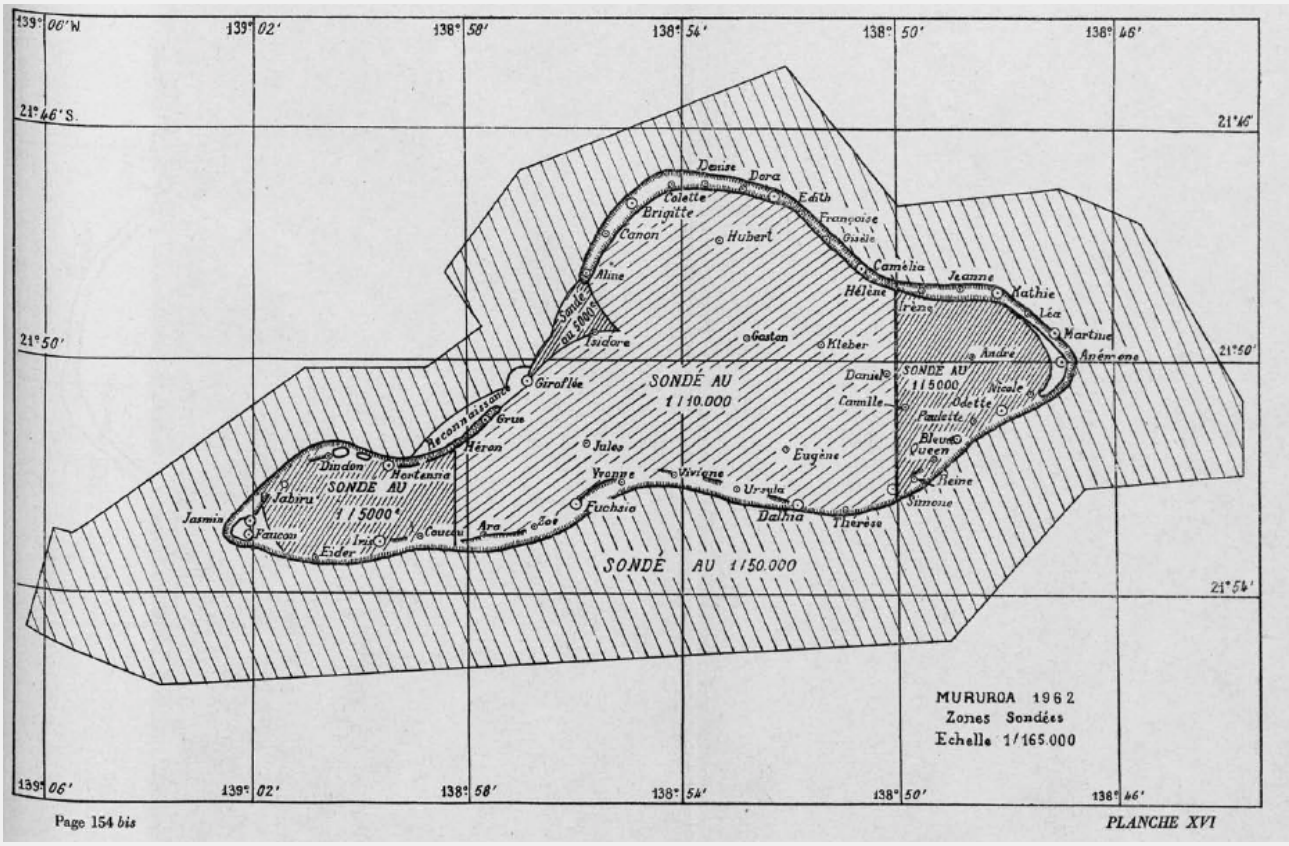
L'atoll a déjà été cartographié en 1881. La mission géodésique des Tuamotu en a dressé une carte plus précise en 1951, en y plaçant 12 signaux, et la mission hydrographique de Polynésie française a levé la passe qui permet l'accès au lagon en 1959.

Cette mission ayant des moyens trop limités (trois officiers mariniers hydrographes), c'est la mission hydrographique de l'océan Indien qui est en charge du levé, qu'elle effectue entre juillet 1962 et février 1963 avec la mission de Polynésie française. Le levé lui-même demande soixante-deux jours de travail sur zone. Il emploie neuf officiers mariniers hydrographes, le *La-Pérouse* et le dragueur la *Bayonnaise*, bâtiment stationnaire de Polynésie, qui lève les abords de l'atoll. Un détachement du génie de l'air effectue par ailleurs des travaux de topographie sur la bordure de l'atoll, probablement en vue d'y créer une piste d'atterrissage.

La mission met en place neuf signaux de triangulation désignés par un nom de fleur, complétés par des signaux secondaires, désignés le plus souvent par un prénom féminin, pour les sondages et le balisage. Ces noms, figurant sur les documents produits par le service hydrographique, seront par la suite utilisés par les militaires et les civils sur place pour désigner les différents emplacements de l'atoll.

Travaux spéciaux

En mai-juin 1966, une équipe de la mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie se rend à Mururoa et à Fangatofa pour y implanter une structure géodésique résistante aux tirs. La plupart des bornes géodésiques sont reconstruites et les points



14 - schéma des sondages de l'atoll de Mururoa en 1962 - les signaux de triangulation sont nommés Camélia, Anémone, Bleuet, Dahlia, Fuchsia, Iris, Jasmin, Hortensia et Giroflée - Annales hydrographiques 1965-1966

principaux sont équipés de pyramides tubulaires démontables. Retirées avant les tirs, ces pyramides sont remises en place quelques jours après et une vérification de la stabilité de l'atoll est effectuée.

L'équipe doit également sonder la zone des premiers tirs prévus (tirs effectués sur barge flottante) avant et après les tirs. Elle intervient donc en zone contaminée. Plusieurs membres de cette équipe décèderont par la suite de manière prématurée.

Autres travaux

Entre 1962 et 1966 la mission hydrographique de Polynésie française effectue de nombreaux autres travaux hydrographiques à la demande du Centre d'expérimentation du Pacifique (CEP).

Mesures de la déviation de la verticale

Pour être en mesure d'atteindre les cibles assignées à leurs missiles balistiques, les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins, que la France construit dans les années 1960, ont besoin de déterminer leur position très précisément. Ils utilisent pour cela une centrale inertielle. Parmi les paramètres dont ils doivent tenir compte, figure la valeur de la déviation de la verticale (voir encadré n° 2) à l'endroit où ils sont susceptibles de lancer leurs missiles.

Un moyen de déterminer cette déviation est de mesurer la pesanteur (notée g) dans toute la zone prévue pour le déploiement des sous-marins. Le service hydrographique avait effectué dans les années trente des mesures d'intensité de la pesanteur en Méditerranée en utilisant un sous-marin (voir chapitre 7). Trente ans plus tard, on commence à trouver sur le marché des gravimètres sur plate-forme stabilisée capables de fonctionner à bord d'un navire. Le service hydrographique fait alors l'acquisition d'un gravimètre Askania, l'étudie en laboratoire puis l'installe sur l'*Amiral-Mouchez* en 1963. Une mission océanographique de l'Atlantique Nord est constituée en 1964 avec le *Paul-Goffeny*. Entre 1964 et 1968 elle réalise des mesures de profondeur et de pesanteur en mer de Norvège, zone de déploiement prévue pour les sous-marins.

Bureau d'études océanographiques

Créé le 11 juillet 1960, dirigé par un ingénieur hydrographe, il diffère d'un mission classique par son objet et dépend du préfet maritime de la 3ème région. Disposant du dragueur océanique *Origny*, transformé par la suite en bâtiment océanographique, il est chargé :

- de dépouiller les observations recueillies sous son contrôle,
- d'exploiter ces observations afin d'aboutir à une connaissance plus précise du milieu marin et du sol sous-jacent, en vue d'une prévision des conditions acoustiques,
- de suivre la mise au point et d'étudier l'utilisation de nouveaux appareils de mesure.

Le bureau dispose d'une infrastructure importante à terre, avec en particulier un laboratoire d'océanographie. Il utilise l'ordinateur des constructions navales pour exploiter ses mesures, puis l'ordinateur du service hydrographique lorsque celui-ci en acquiert un.

Le 1er août 1972, il est absorbé par la mission hydrographique de dragage devenue mission océanographique de Méditerranée.

Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie

La mission est créée le 8 août 1960 pour permettre en particulier l'exploitation des gisements de nickel de l'île, une de ses principales richesses[13]. Elle dispose du *Corail*. La faiblesse de ses moyens et les conditions environnementales limitent sa capacité de production.

Pendant le premier semestre 1966, la mission prête son concours à la mission hydrographique de Polynésie française pour réaliser des travaux au profit du Centre d'expérimentation du Pacifique.

Le 1er septembre 1974, les deux missions hydrographiques opérant dans le Pacifique sont regroupées à Nouméa au sein d'une mission océanographique du Pacifique.

A partir de 1986, la mission se scinde en deux échelons, composés chacun d'une unité hydrographique[14], l'un en Polynésie, l'autre en Nouvelle-Calédonie.

Au début des années 2000, la mission ne dispose plus de navire en propre et utilise des moyens

13 C'est le « boom » du nickel calédonien - en 1970, l'industrie du nickel représente 30% du PIB de la Nouvelle-Calédonie.

14 L'unité hydrographique de Nouvelle-Calédonie devient base hydrographique en 1999, avec réduction de personnel. Celle de Polynésie devient base hydrographique à l'été 2002, également avec réduction de personnel.

fournis temporairement par la marine. Le fonctionnement de la mission diffère selon le territoire[15] :

- en Nouvelle-Calédonie, une convention conclue entre le territoire et la marine en 2001 permet de mettre en commun les ressources et les objectifs. La base hydrographique de Nouvelle-Calédonie se rapproche du service des Phares et Balises de la Direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres (DITTT), dont elle utilise les moyens : baliseur Polyvalent *Louis-Henin* et vedette hydrographique *Chambeyron*.

- en Polynésie, le territoire assume les responsabilités relatives à la sécurité de la navigation dans les eaux intérieures[16] (lagons par exemple), l'Etat, à travers la mission océanographique, assumant sa responsabilité dans les autres zones.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie

- mission océanographique du Pacifique (1er septembre 1974 - absorption de la mission hydrographique de Polynésie française)

- groupe océanographique du Pacifique (11 mai 2007)

Mission hydrographique de dragage

La mission hydrographique de dragage des côtes de France et d'Afrique du Nord renaît à l'été 1961 sous le nom de mission hydrographique de dragage, avec un nouveau bâtiment, la *Recherche*, et deux remorqueurs de drague, l'*Alidade* et l'*Octant*.

Les opérations de recherche d'épave se font plus rares et la mission effectue principalement des opérations classiques de sondage.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission hydrographique de dragage

- mission océanographique de Méditerranée (1er août 1972) - elle absorbe alors le Bureau d'études océanographiques (BEO)

- mission océanographique de l'Atlantique (1er janvier 1996)

- groupe océanographique de l'Atlantique (11 mai 2007)

En 2015, le groupe fusionne avec le groupe hydrographique de l'Atlantique pour former le groupe hydrographique et océanographique de l'Atlantique.

Mission océanographique d'Atlantique Nord

Cette mission est créée le 25 juin 1964 pour effectuer des mesures gravimétriques devant servir à la Force océanique stratégique (FOST - voir encadré n°3). Elle dispose du *Paul-Goffeny* sur lequel est installé un gravimètre marin et effectue des levés bathy-gravimétrique (mesure de la profondeur et de la pesanteur) en mer de Norvège.

Après le retrait du *Paul-Goffeny* en décembre 1968, la mission utilise l'*Espérance* (juillet 1969) puis le d'*Entrecasteaux* (décembre 1971).

Elle effectue par la suite des travaux hydrographiques et des campagnes océanographiques, principalement en Atlantique.

La mission opère successivement sous les noms suivants :

- mission océanographique d'Atlantique Nord

- mission océanographique de l'Atlantique (1er avril 1971)

La mission est dissoute le 1er septembre 1988

Mission hydrographique de recherche

Cette mission est créée en septembre 1988 avec le BH2A *Lapérouse* qui dispose d'un sonar.

La mission est dissoute le 1er janvier 1992 et ses moyens sont affectés à la mission hydrographique de l'Atlantique.

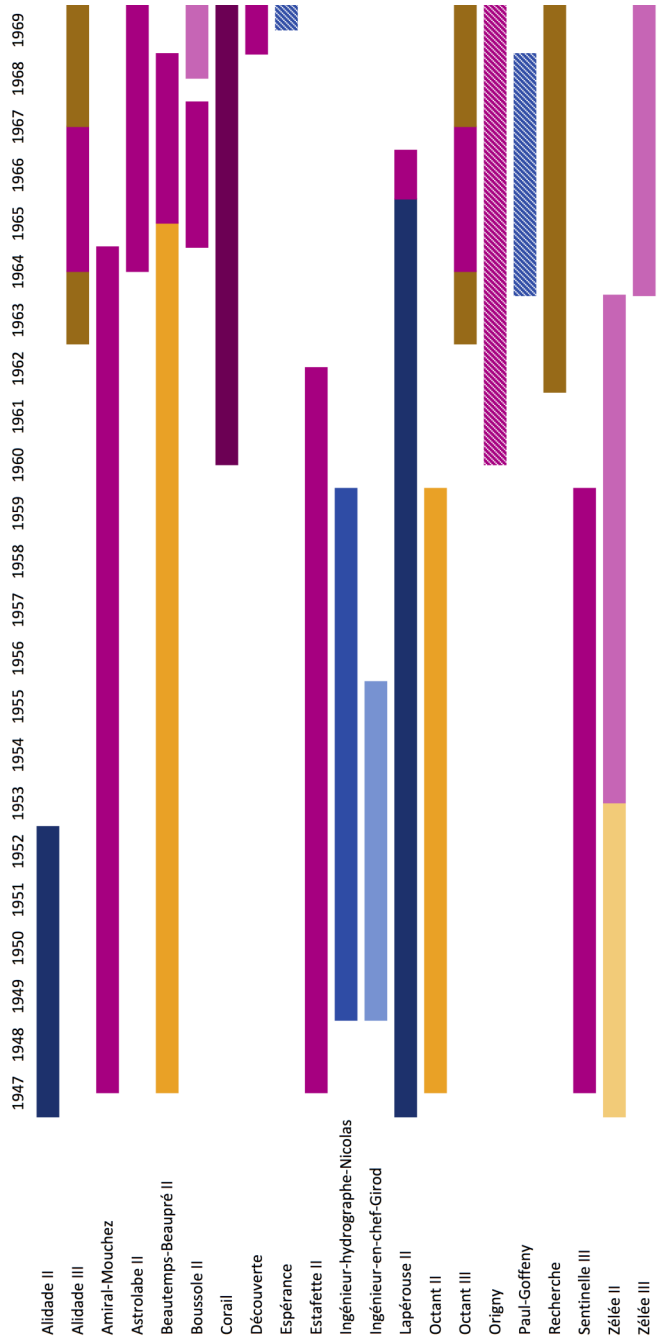
Les missions particulières

Des missions temporaires sont également mises sur pied dès la fin de la guerre :

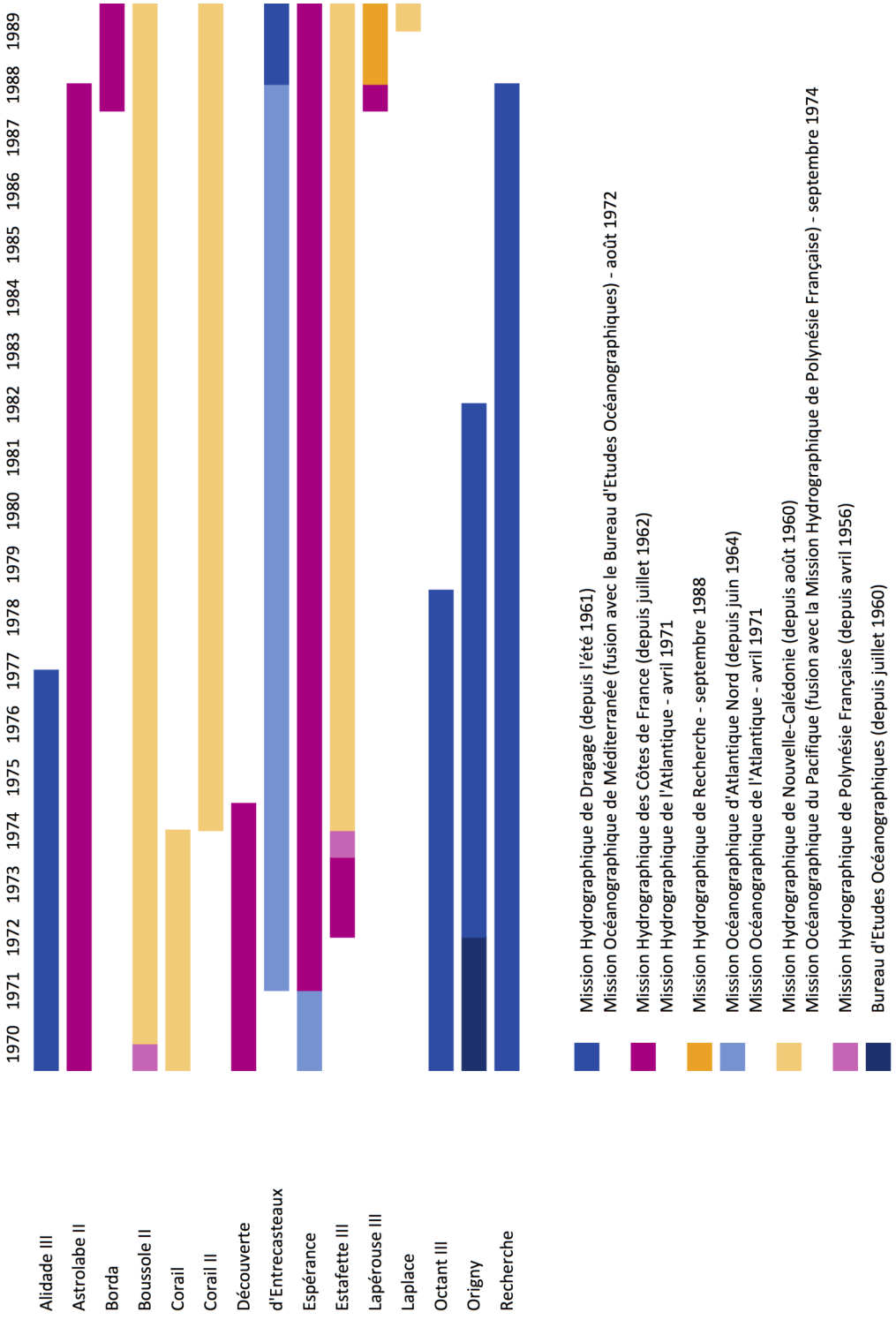
- missions géodésiques (Guadeloupe 1946-1948, Afrique de l'Ouest 1946-1948, Madagascar 1946-1948, côte Nord de France 1955, côte ouest de France 1956, moyen Congo 1959)

15 Après la seconde guerre mondiale les colonies françaises deviennent des territoires ou des départements d'outre-mer. En 2003, les territoires deviennent des collectivités d'outre-mer. On trouve ainsi les collectivités de Polynésie française et de Nouvelle-Calédonie.

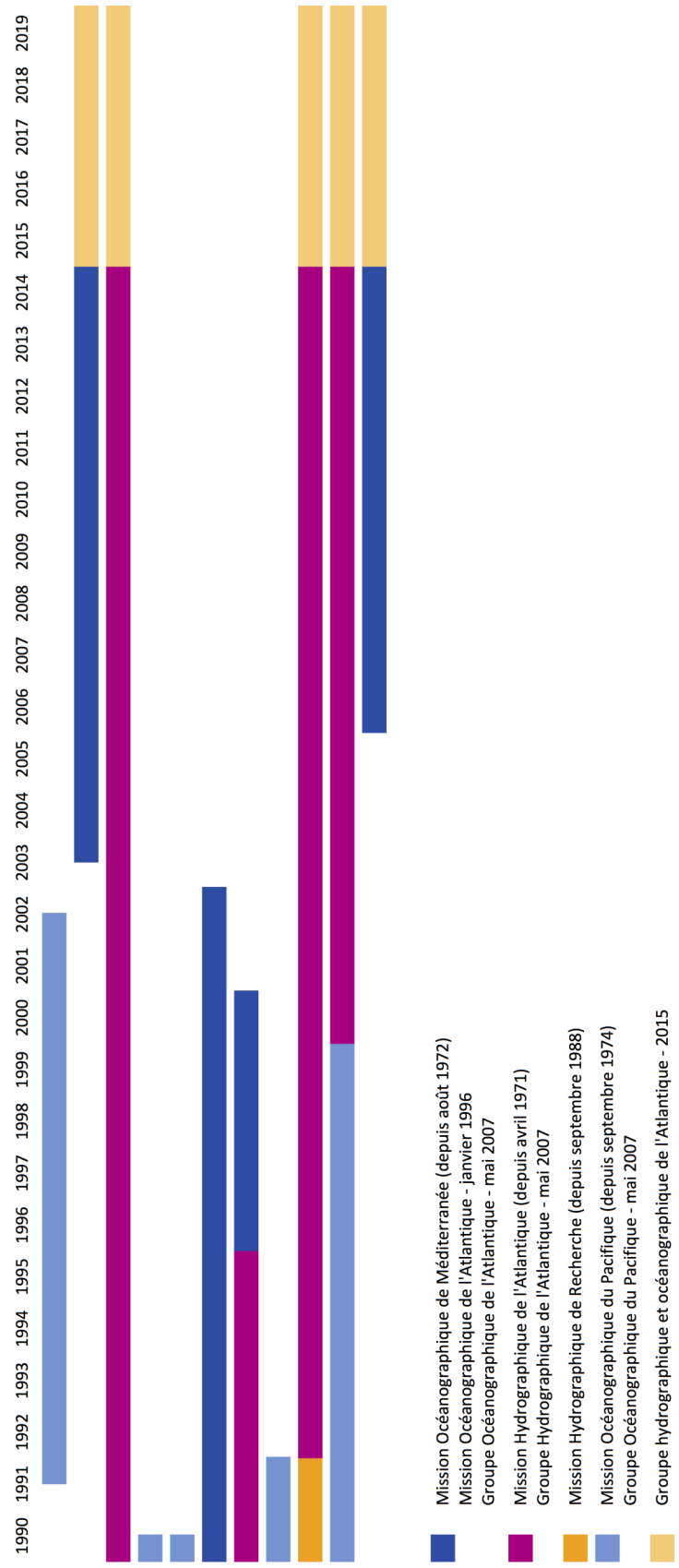
16 Deux techniciens hydrographes du territoire sont formés en 2001 dans ce but par l'école des hydrographes.



15 - affectation des navires hydrographiques et océanographiques aux missions entre 1947 et 1969



16 - affectation des navires hydrographiques et océanographiques aux missions entre 1970 et 1989



17 - affectation des navires hydrographiques et océanographiques aux missions entre 1990 et 2019

- missions hydrographiques (Hourtin 1946, Guyane 1947-1948, Algérie 1958, Provence 1950, étang de Berre 1962, Djibouti 1970, les Glorieuses 1977, océan Indien 1980-1981)

- missions en Terre-Adélie, disposant d'une « fenêtre météo » favorable assez courte (1 mois) : de 1948 à 1951, de 1959 à 1962 et de 1995 à 2000

Coopération hydrographique internationale

Les relations de service à service

Les échanges de documents entre services hydrographiques, effectifs depuis le début du XIXe siècle pour ce qui concerne les services hydrographiques français et britannique, reprennent une fois la paix revenue.

La coopération particulière avec le service britannique se manifeste en particulier :

- en 1966, lorsque le service britannique aide le service français à installer des émetteurs de radiolocalisation en Angleterre et en Irlande afin de permettre le levé des atterrages de Brest,

- en 1973, quand les deux services signent un accord de coopération pour les levés hydrographiques en Manche, avec un partage des zones de responsabilité et l'exécution d'un levé commun. Les britanniques déploient pour un temps leur système de radiolocalisation sur les côtes françaises.

L'organisation hydrographique internationale (OHI)

En 1956, le Bureau hydrographique international (BHI) décide de se doter du statut d'organisation intergouvernementale mondiale. Une convention est rédigée en 1958 et soumise à la signature des états membres. Neuf années seront nécessaires pour obtenir un texte définitif de la convention, et trois années supplémentaires pour atteindre le nombre de signatures suffisant. Le 22 septembre 1970 naît l'Organisation hydrographique internationale (OHI), le terme *bureau* désignant désormais son siège et son secrétariat.

Les premiers services hydrographiques nationaux des XVIIIe et XIXe siècles tendaient à fournir à leurs navigateurs des cartes leur permettant de naviguer dans le monde entier. Il en découlait un gaspillage des efforts et un délai parfois important dans la mise à jour de ces cartes. La création du Bureau hydrographique international en 1921 avait pour but d'améliorer la situation en diminuant la redondance des cartes, principalement par des actions de normalisation, nécessitant de longues discussions entre les représentants des services hydrographiques. Ces actions ont conduit, en particulier, au concept de cartes internationales (cartes INT), qui a permis aux différents services hydrographiques de diminuer leur compilation des cartes étrangères au profit d'une reproduction par fac-similé.

Certains travaux de l'Organisation sont sensibles. Ainsi la publication S-23 sur les limites des océans et des mers, en chantier depuis de longues années, reste-t-elle « en l'état » : bien que la publication indique clairement que ces limites n'ont aucune signification politique, elles en ont une de facto pour certains états ayant des - ou faisant l'objet de - revendications territoriales non satisfaites.

La liste ci-dessous reprend les principales normes publiées par l'OHI et l'année de leur première publication :

- S-4 Règlement pour les cartes internationales (INT) et spécifications pour les cartes marines (1984)

- S-5 Normes de compétence pour les hydrographes (1978)

- S-8 Normes de compétence pour les spécialistes en cartographie marine (2003)

- S-12 Normalisation des livres des feux et des signaux de brume (2004)

- S-32 Dictionnaire hydrographique

- S-44 Normes OHI pour les levés hydrographiques (1968)

- S-52 Spécifications pour le contenu cartographique et les modalités d'affichage des ECDIS[17] (1994)

- S-53 Manuel conjoint OMI/OHI/OMM[18] sur les renseignements de sécurité maritime (1996)

- S-57 Normes de l'OHI pour le transfert de données hydrographiques numériques (1996)

17 Electronic Chart Display and Information Systems - systèmes permettant d'utiliser des cartes électroniques.
18 OMI : Organisation maritime internationale - OMM : Organisation météorologique mondiale

- S-65 Guide pour la production, la mise à jour et la diffusion des ENC[19]

- S-100 Modèle universel de données hydrographiques de l'OHI (2010)

L'organisation vise par ailleurs au renforcement des capacités hydrographiques des pays, en aidant à la mise en place ou à l'amélioration des services hydrographiques dans les pays en voie de développement.

L'organisation s'occupe également de la promotion de l'hydrographie :

- rapprochement avec d'autres organisation internationales

- organisation d'une journée mondiale de l'hydrographie, le 21 juin (première journée en 2006)

Les commissions régionales

Dans le cadre du BHI, un groupe hydrographique nordique se crée en 1928.

En 1962, toujours dans le cadre du BHI, une commission hydrographique de la mer du Nord voit le jour. Elle vise à coordonner l'activité hydrographique des pays riverains pour assurer la sécurité de la navigation des nouveaux navires à grand tirant d'eau. La commission étudie également d'autres sujets, comme la création de cartes internationales.

En 1967, la neuvième conférence hydrographique internationale décide de généraliser les commissions hydrographiques régionales, regroupant les états membres concernés, en vue d'établir une coopération pour résoudre les problèmes de cartographie, de recherche ou de collecte de données et d'entreprendre des levés et autres projets. Une quinzaine de commissions est constituée.

La France est membre des commissions régionales suivantes :

- commission hydrographique pour la mer du Nord

- commission hydrographique de la Méditerranée et de la mer noire

- commission hydrographique de l'Atlantique oriental

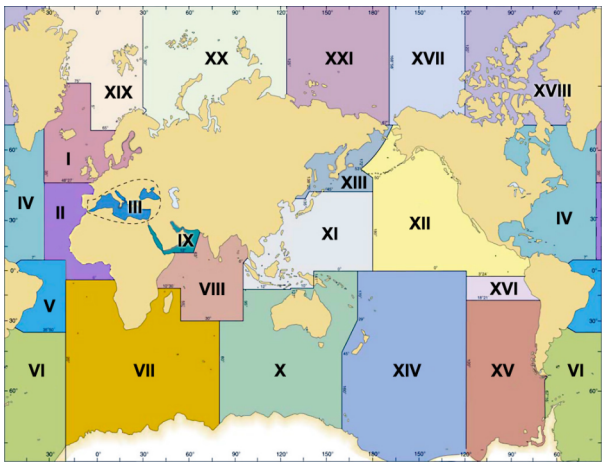
- commission hydrographique du Pacifique Sud-Ouest

- commission hydrographique de la mer des Caraïbes et du golfe du Mexique

- commission hydrographique de l'Afrique et des îles Australes

Le service mondial d'avertissements de navigation

En 1977, l'OHI crée, conjointement avec l'Organisation maritime internationale (OMI), le service mondial d'avertissement de navigation (SMAN). Le monde est divisé en vingt-et-une zones maritimes (NAVAREAS), disposant chacune d'un coordonnateur chargé de diffuser l'information urgente aux navigateurs. La France est coordonnateur pour la zone II et fournit de l'information pour neuf autres zones.



18 - carte des 21 NAVAREAS (ou METAREAS) qui divisent l'océan mondial - source Chrumps / CCo

L'obligation d'hydrographie

Plusieurs textes internationaux font obligation aux Etats de fournir des services hydrographiques :

- en 1982, la convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) s'appuie sur des notions de limites maritimes qui sous-entendent l'existence de cartes marines à jour

- en 1998, la résolution A/RES/53/32 indique que l'Assemblée générale des Nations Unies invite les états à coopérer en procédant à des levés hydrographiques et en fournissant des services nautiques afin d'assurer la sécurité de la navigation

- en 2003 (résolution A/RES/58/240) et en 2015 (résolution A/RES/70/235) l'Assemblée générale des Nations Unies promeut le développement de la cartographie marine électronique et de l'hydrographie

19 Electronic Navigation Chart - cartes électroniques

L'obligation d'hydrographie apparaît également dans la convention SOLAS (Safety of Life at Sea - sauvegarde de la vie en mer).

La première convention SOLAS a été adoptée en 1914, à la suite de la catastrophe du Titanic. D'autres versions ont vu le jour par la suite[20] et la version actuelle date de 1974. Grâce à de judicieuses dispositions juridiques, cette version est améliorée régulièrement sans qu'un vote soit nécessaire pour cela. En 2002, le chapitre V est ainsi entré en vigueur. Ce chapitre, consacré à la sécurité de la navigation, contient une règle (n°9) qui précise les services hydrographiques que doivent fournir les pays signataires. Une seconde règle (n°4) traite des avertissements de navigation.

L'assistance hydrographique

Dans les années 1960, de nombreux pays, anciennement colonies des grandes puissances, accédèrent à l'indépendance. Une partie d'entre eux demanda par la suite une assistance « hydrographique » à la France. D'autres pays, plus anciens, ont également fait appel à la France. Cette assistance, qui s'inscrit souvent dans le cadre des commissions hydrographiques régionales de l'OHI ou dans celui de la convention SOLAS, prend plusieurs aspects :

- formation de personnels par l'école du service hydrographique
- expertise technique
- assistance à la mise en place d'une capacité hydrographique

Parmi ces pays, on peut citer :

- pour la formation : l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, la Mauritanie, le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Cameroun, le Congo, Madagascar, les Seychelles, le Bangladesh et l'Indonésie
- pour l'expertise : le Liban, Madagascar, le Kenya, le Koweit, l'Arabie Saoudite, le Bangladesh et le Viet-Nam

Des détachements d'hydrographes, ou l'intervention d'anciens hydrographes, ont par ailleurs eu lieu en Tunisie, au Congo, au Malawi, à Madagascar et aux Seychelles.

20 La convention SOLAS a été prise en charge à partir de 1959 par la toute récente Organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime (OMCI), devenue Organisation maritime internationale (OMI) en 1982.

Bibliographie

La Revue Hydrographique Internationale est publiée depuis 1923 en deux langues : anglais et français. Seule la version anglaise est consultable en ligne ; les titres des articles utilisés pour ce chapitre et mentionnés dans la bibliographie sont les titres de la version anglaise.

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1887	Décret du 17 mai 1887 rétablissant le service technique des pêches maritimes, publié dans le journal officiel de la République française du 20 mai 1887
2	(texte règlementaire) - 1912	Arrêté du 15 mars 1912 instituant le service scientifique des pêches maritimes, publié dans le journal officiel de la République française du 16 mars 1912
3	(texte règlementaire) - 1918	Loi des finances du 31 décembre 1918, publiée dans le journal officiel de la République française du 1er janvier 1919
4	(texte règlementaire) - 1919	Décret du 12 mars 1919 sur le fonctionnement de l'office scientifique et technique des pêches maritimes, publié dans le journal officiel de la République française du 14 mars 1919
5	(texte règlementaire) - 1948	Arrêté du 21 avril 1948 sur les conditions d'obtention des grades d'aspirant hydrographe de réserve et d'ingénieur hydrographe de 3ème classe de réserve, publié dans le journal officiel de la République française du 27 avril 1948
6	(texte règlementaire) - 1949	Décret n° 49-1341 du 17 septembre 1949 portant organisation du corps des ingénieurs des directions de travaux du service hydrographique, publié dans le journal officiel de la République française du 2 octobre 1949
7	(texte règlementaire) - 1951	Décret n°51-263 du 1er mars 1951 portant organisation du service de la météorologie nationale, publié dans le journal officiel de la République française du 3 mars 1951
8	(texte règlementaire) - 1951	Décret n° 51-430 du 16 avril 1951 fixant les conditions d'admission dans le corps des ingénieurs hydrographes, publié dans le journal officiel de la République française du 18 avril 1951
9	(texte règlementaire) - 1951	Arrêté du 1er octobre 1951 organisant la section de météorologie maritime de la météorologie nationale, publié dans le journal officiel de la République française du 21 octobre 1951
10	(texte règlementaire) - 1953	Décret n° 53-1012 du 14 octobre 1953 modifiant l'organisation de l'office scientifique et technique des pêches maritimes, publié dans le journal officiel de la République française du 15 octobre 1953
11	(texte règlementaire) - 1953	Décret n° 53-1221 du 8 décembre 1953 portant règlement d'administration publique et fixant le statut commun des corps de techniciens d'études et de fabrications des arsenaux, établissements et services du ministère de la défense nationale, publié dans le journal officiel de la République française du 12 décembre 1953
12	(texte règlementaire) - 1954	Convention du 21 octobre 1954 entre le secrétaire d'état à la marine et l'office national météorologique, publiée dans le bulletin officiel des armées
13	(texte règlementaire) - 1965	Arrêté du 22 octobre 1965 sur les conditions de recrutement et de formation des techniciens d'études et de fabrications du service hydrographique, spécialités et options existant dans ce corps, publié dans le journal officiel de la République française du 5 novembre 1965

14	(texte règlementaire) - 1967	Loi 67-7 du 3 janvier 1967 portant création d'organismes de recherche, publiée dans le journal officiel de la République française du 5 janvier 1967
15	(texte règlementaire) - 1967	Loi 67-1115 du 21 décembre 1967 relative aux corps militaires des ingénieurs de l'armement et des ingénieurs des études et techniques de l'armement, publiée dans le journal officiel de la République française du 22 décembre 1967
16	(texte règlementaire) - 1969	Loi 69-1138 du 20 décembre 1969 modifiant l'organisation des corps de la marine, publiée dans le journal officiel de la République française du 23 décembre 1969
17	(texte règlementaire) - 1970	Loi 70-4 du 2 janvier 1970 modifiant la loi 67-1115 du 21 décembre 1967 relative aux corps militaires des ingénieurs de l'armement et des ingénieurs des études et techniques de l'armement, publiée dans le journal officiel de la République française du 4 janvier 1970
18	(texte règlementaire) - 1971	Décret n° 71-396 du 25 mai 1971 fixant les attributions du service hydrographique et océanographique de la marine, publié dans le journal officiel de la République française du 30 mai 1971
19	(texte règlementaire) - 1971	Arrêté n°9 du 1er juin 1971 relatif à l'organisation et au fonctionnement du service hydrographique et océanographique de la marine, publié dans le bulletin officiel des armées
20	(texte règlementaire) - 1975	Décrets n°75-1207, 75-1210 et 75-1212 du 22 décembre 1975, publiés dans le journal officiel de la République française du 24 décembre 1975
21	(texte règlementaire) - 1976	Décret n° 76-313 du 7 avril 1976 portant statut particulier du corps des ingénieurs techniciens d'études et de fabrications du ministère de la défense, publié dans le journal officiel de la République française du 10 avril 1976
22	(texte règlementaire) - 1977	Décret n° 77-621 du 17 juin 1977 fixant les mesures statutaires particulières relatives aux corps des techniciens d'études et de fabrications des arsenaux, établissements et services du ministère de la défense, publié dans le journal officiel de la République française du 19 juin 1977
23	(texte règlementaire) - 1984	Décret n° 84-428 du 5 juin 1984 relatif à la création, à l'organisation et au fonctionnement de l'institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, publié dans le journal officiel de la République française du 8 juin 1984
24	(texte règlementaire) - 1989	Décret n° 89-749 du 18 octobre 1989 relatif au statut des corps de techniciens supérieurs d'études et de fabrications du ministère de la défense, publié dans le journal officiel de la République française du 19 octobre 1989
25	(texte règlementaire) - 1989	Décret n° 89-750 du 18 octobre 1989 portant statut particulier du corps des ingénieurs d'études et de fabrications du ministère de la défense, publié dans le journal officiel de la République française du 19 octobre 1989
26	(texte règlementaire) - 1990	Arrêté du 12 novembre 1990 portant création du comité directeur de l'océanographie militaire et du comité scientifique de l'océanographie militaire, publié dans le bulletin officiel des armées
27	(texte règlementaire) - 1992	Instruction N° 84/DEF/EMM/PL/ORA du 24 février 1992 relative à la constitution, à l'organisation et au fonctionnement de la cellule opérationnelle d'environnement de la marine (CELENV), publiée dans le bulletin officiel des armées

28	(texte règlementaire) - 1996	Instruction N° 212/DEF/DPMM/2/E du 26 janvier 1996 relative à l'organisation de la spécialité d'hydrographe, publiée dans le bulletin officiel des armées
29	(texte règlementaire) - 1996	Instruction N° 414/DEF/SHOM/PERS du 5 avril 1996 relative aux missions et à l'organisation de l'école des hydrographes, publiée dans le bulletin officiel des armées
30	(texte règlementaire) - 1996	Instruction N° 1300/DEF/DPMM/2/E du 3 juillet 1996 relative à l'organisation de la spécialité de météorologiste océanographe, publiée dans le bulletin officiel des armées
31	(texte règlementaire) - 2002	Arrêté du 1er février 2002 portant création du comité directeur de l'océanographie militaire et du comité scientifique de l'océanographie militaire, publié dans le bulletin officiel des armées
32	(texte règlementaire) - 2005	Instruction N° 145/DEF/SHOM/DIR du 7 avril 2005 relative à la qualification des ingénieurs hydrographes en service dans la marine nationale, publiée dans le bulletin officiel des armées
33	(texte règlementaire) - 2005	Décision N° 370/DEF/EMM/PL/ORA du 3 octobre 2005 relative au transfert de la direction du service hydrographique et océanographique de la marine, publiée dans le bulletin officiel des armées
34	(texte règlementaire) - 2007	Décret n°2007-800 du 11 mai 2007 portant création, organisation et fonctionnement de l'établissement public administratif Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM), publié dans le journal officiel de la République française du 12 mai 2007
35	(texte règlementaire) - 2007	Décision N° 000-32442-2007/DEF/EMM/ORJ du 13 juin 2007 portant rattachement de la cellule opérationnelle d'environnement de la marine, publiée dans le bulletin officiel des armées
36	(texte règlementaire) - 2007	Décision N° 000-32465-2007/DEF/EMM/ORJ du 13 juin 2007 portant rattachement de l'école des marins météorologistes océanographes, publiée dans le bulletin officiel des armées
37	(texte règlementaire) - 2008	Instruction N° 0-55296-2008/DEF/EMM/EMO du 11 juillet 2008 relative à la constitution, à l'organisation et au fonctionnement de la cellule opérationnelle d'environnement de la marine, publiée dans le bulletin officiel des armées
38	(texte règlementaire) - 2008	Décret n°2008-1219 du 25 novembre 2008 relatif aux dispositions réglementaires de la troisième partie du code de la défense, publié dans le journal officiel de la République française du 27 novembre 2008
39	(texte règlementaire) - 2020	Décret n° 2020-531 du 6 mai 2020 modifiant la dénomination du corps des ingénieurs d'études et de fabrications du ministère de la défense et les conditions de recrutement dans ce corps, publié dans le journal officiel de la République française du 6 mai 2020
40	(anonyme) - 1949	Training School of the French Hydrographic Service - Revue hydrographique internationale - volume XXVI n°1 - 1949
41	(anonyme) - 1949	Hydrographic Service of the French Navy - Revue hydrographique internationale - volume XXVI n°2 - 1949
42	(anonyme) - 1962	French naval hydrographic office - Revue hydrographique internationale - volume XXXIX n°2 - 1962
43	(collectif) - 1980-2019	Nouvelles du Shom publiées dans le bulletin Amhydro de 1980 à 2019
44	(chefs puis directeurs de missions) - 1947-2013	Rapports de missions publiés dans les Annales hydrographiques de 1947 à 2013

45	Bénéteau, Didier - 2005	Les moyens nautiques du SHOM en 2005 - Bulletin Amhydro n°25 - 2005
46	Caillemer, André - 1971	Astronomie de position, géodésie - 1ère édition 1971 et 2ème édition 1983
47	Cailliau, Etienne - 1996	Il y a 25 ans l'Epshom - Cols bleus - n°2363 - 14 septembre 1996
48	Chandon, Edmée et Gougenheim, André - 1935	Instruments for observing equal-altitudes in astronomy - Revue hydrographique internationale - volume XII n°1 - 1935
49	Chatry, Gilles - 2016	Histoire et textes fondateurs de l'Ifremer
50	Comolet-Tirman, André - 2007	Proposition de nouvelle rédaction du paragraphe GRAVIMÉTRIE de l'Histoire du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine - texte non publié
51	Covillault, Pierre - 1979	Histoire du service hydrographique de la marine (de 1914 à 1970)
52	Débarbat, Suzanne - 1983	Méthode de Gauss et astrolabe à prisme - revue d'histoire des sciences - tome 36 - n°3-4 - 1983
53	Estival, Bernard - 2003	Un siècle de navires scientifiques français
54	Guyon, Jean-Claude - 1998	Le personnel du SHOM en 1998 - Annales hydrographiques - n°769 5ème série volume 22 - 1998
55	Jupas, Jean-Serge - 1999	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 2 de 1934 à 1945 - Bulletin Amhydro n°19 - 1999
56	Jupas, Jean-Serge - 2000	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 3 de 1946 à 1970 - Bulletin Amhydro n°20 - 2000
57	Jupas, Jean-Serge - 2001	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 4 de 1971 à 2000 - Bulletin Amhydro n°21 - 2001
58	Kapoor, D.C. - 1980	Standards of competence for hydrographic surveyors - Revue hydrographique internationale - volume LVII n°1 - 1980
59	Lami, Christophe - 2009	Des élèves de l'APHY à l'école du SHOM - Bulletin Amhydro n°29 - 2009
60	Marchand, Michel - 2018	Polynésie, atolls et atome - Bulletin Amhydro n°38 - 2018
61	Marguet, Frédéric - 1931	Histoire générale de la navigation du XVe au XXe siècle
62	Milard, François - 1998	Aperçu sur le personnel du service hydrographique et océanographique de la marine. Ses fonctions, son recrutement, sa formation - Annales hydrographiques - n°769 5ème série volume 22 - 1998
63	Moreau, David - 2010	L'arrivée des nouveaux porteurs mis à la disposition du SHOM : le BHO Beautemps-Beaupré et le NO Pourquoi-Pas ? - Annales hydrographiques - n°775 6ème série volume 6 - 2010
64	Organisation hydrographique internationale - 2018	La nécessité des services hydrographiques nationaux - publication M-2 - version 3.0.7 - juin 2018
65	Organisation hydrographique internationale - 2019	Guidelines for the implementation of the standards of competence for hydrographic surveyors and nautical cartographers - version 2.1.0 - mai 2019
66	Organisation hydrographique internationale - 2019	L'OHI et son Secrétariat- une histoire mise à jour - 1921 - 2017 - Publication M-10 - 3ème édition 2019
67	Pasquay, Jean-Nicolas - 1998	Le service hydrographique français et la coopération internationale en hydrographie - Annales hydrographiques - n°769 5ème série volume 22 - 1998

68	Service central hydrographique - 1937	Manuel du breveté hydrographe - Tome 1 - hydrographie - 1937
69	Service central hydrographique - 1941	Manuel de l'aide-hydrographe - 2ème édition - 1941
70	Service central hydrographique - 1967	Manuel d'hydrographie - 2ème édition - 1967
71	SHOM - 1978	Les officiers mariniers hydrographes - brochure - 1978
72	SHOM - 2007-2019	Rapport annuels des années 2006 à 2018
73	Shom - 2019	Offre de formation 2019-2020
74	Souquière, Patrick - 1981	Les vedettes hydrographiques en service en 1981 - Annales hydrographiques - n°757 5ème série volume 10 - 1982

Autorisation No 03/2020

Le matériel provenant de la publication P-1 de l'OHI Revue Hydrographique Internationale (RHI) est reproduit avec la permission du Secrétariat de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) (Autorisation N° 03/2020), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI.

9 – un nouveau métier

L'hydrographe de l'après-guerre utilisait encore beaucoup d'instruments qui faisaient partie, sous une forme un peu moins élaborée, de la panoplie de son ancêtre du XIXe siècle. Les progrès apportés aux composants électroniques, et particulièrement leur miniaturisation, ont permis de concevoir des appareils compacts, de faible consommation et de plus en plus autonomes qui, installés à terre, sous l'eau, à bord des navires ou dans des satellites, ont transformé en quelques décennies la pratique de l'hydrographie et en ont fait un nouveau métier.

Localisation

Retour des observateurs sur le rivage

Dans son appendice au voyage de D'Entrecasteaux, Beautemps-Beaupré identifie deux méthodes permettant de localiser les canots qui sondent : observer à partir du rivage et observer à partir du canot. Pour observer à partir du rivage, il faut placer, en deux points déterminés, des observateurs qui relèvent avec des instruments de mesure d'angles la position du canot chaque fois qu'il mouille et qu'il fait un signal. Cette méthode est bonne, écrit-il, « mais elle a le désavantage de ne pouvoir être employée que quand il s'agit de sonder de très petits espaces de mer : elle est aussi d'une longueur extrême. A combien de méprises d'ailleurs, n'est-on pas exposé lorsqu'on en fait usage ! Il faut mouiller à chaque instant, les signaux peuvent se confondre, les montres s'arrêter, les instruments se déranger ; et le moindre inconvénient qu'il y ait à craindre, c'est de perdre le fruit d'un travail très pénible. » Beautemps-Beaupré préconise donc la seconde méthode, toujours en usage au service hydrographique à la sortie de la deuxième guerre mondiale.

Une enquête du Bureau hydrographique international (BHI) sur les méthodes de sondage des états membres, publiée en 1934, montre que la plupart des pays avait suivi l'exemple de la France. Toutefois, le service hydrographique espagnol utilisait la première méthode décrite par Beautemps-Beaupré, et un des observateurs sur le rivage guidait l'embarcation sur le profil (voir encadré n°1) avec des pavillons ou un héliographe.

C'est le Bureau topographique suisse qui, vers 1883, a mis au point le guidage sur profil à partir du rivage. L'embarcation de sonde était localisée en gisement et distance, grâce à son mât gradué, par un observateur à terre. Au début, l'embarcation suivait un alignement constitué de l'emplacement de l'observateur et d'un jalon placé à bonne distance derrière lui dans la direction du profil à suivre. Mais souvent, le relief autour des lacs ne permettait pas d'installer des jalons suffisamment loin. Aussi les ingénieurs avaient-ils mis au point une méthode de guidage de l'embarcation par l'observateur à terre, grâce à des pavillons.

Les observations faites en embarcation ou sur les navires présentent l'inconvénient d'avoir une portée limitée : en mer la portée optique dépend de la hauteur du point observé et de celle de l'observateur, qui n'est pas très élevée sur un bateau. De plus, les signaux situés sur la côte deviennent difficiles à voir à partir d'une certaine distance. Pour sonder loin de la côte, ce qui devenait nécessaire avec l'augmentation des tirants d'eau, les hydrographes devaient déployer des balises flottantes ou utiliser d'autres systèmes de localisation, comme le repérage par le son. Aussi, à partir de 1951, les missions hydrographiques commencèrent-elles à utiliser la localisation des navires par des observateurs situés à terre.

La première expérimentation fut réalisée sur l'*Amiral-Mouchez* en mai 1951 (mission hydrographique des côtes de France et d'Afrique du Nord), au large du Maroc : « Le bâtiment naviguait de nuit en suivant une route constante, il était muni d'une couronne lumineuse placée en tête de mât. Deux postes d'observation au théodolite étaient installés à terre, près de la côte, à 25 kilomètres environ l'un de l'autre. Chacun de ces postes disposait d'un poste radiophonique fonctionnant sur accumulateurs et d'un bon compteur. A l'instant de chaque station, le bâtiment était visé simultanément par les deux théodolites [...] Dans l'ensemble, les lignes de sondes ainsi exécutées atteignirent la limite de visibilité géographique de la couronne lumineuse vue des postes d'observation. L'extrémité des lignes se trouvait ainsi à 15 ou 16 milles de la côte, par fonds de 125 à 130 mètres. »

Encadré n°1 : lignes de sonde et profils

Jusqu'au traité d'hydrographie de l'ingénieur Germain, en 1882, on ne trouve aucune information sur la manière de parcourir les zones à sonder. Les minutes du pilote français montrent que les trajectoires des canots ne correspondaient pas à un schéma précis.



1 - détail d'une des dernières minutes du pilote français, levée en 1838 dans le secteur de l'Aber-Wrac'h. Les routes suivies correspondent à des alignements et la couverture de la zone n'est pas systématique - minute hydrographique ancienne 009_1_05_18_Cr_1938, téléchargeable sur le site data.shom.fr

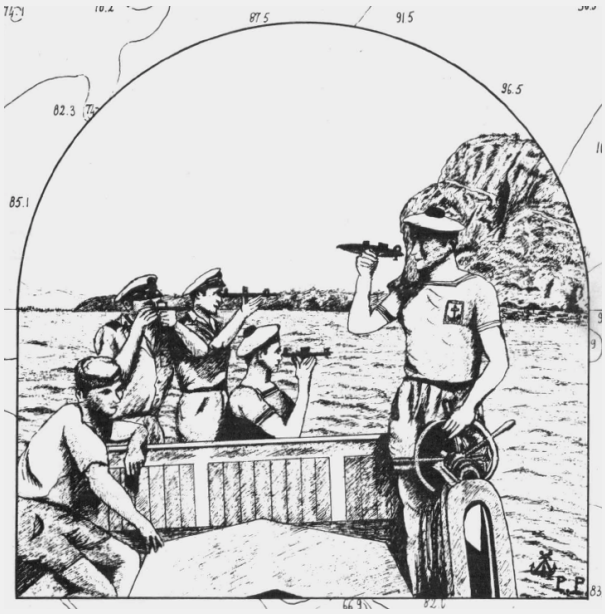
Dans son ouvrage, Germain indique qu'il y a en général avantage à disposer les sondes suivant des lignes perpendiculaires à la côte afin de mieux déterminer les courbes d'égale profondeur et de mieux mettre en évidence les variations du fond. Aussi, les ingénieurs hydrographes sondent-ils en suivant des lignes de sonde[1] parallèles, perpendiculaires à la côte et régulièrement espacées.

Pour se guider le long de ces lignes, les hydrographes utilisent des alignements constitués d'un point proche de la côte et d'un point qui en est éloigné. Ces points ne sont pas forcément de position connue. Parfois, les hydrographes ont recours à des jalons plantés sur la côte, voire à un homme muni d'un pavillon qui se déplace le long de la côte à un signal convenu.

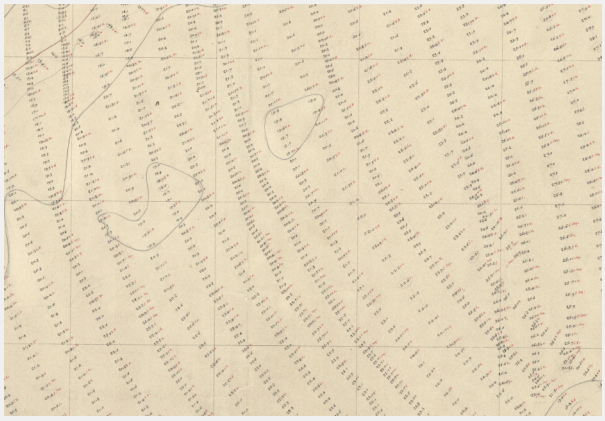
On peut également sonder en suivant un arc de cercle (appelé « segment ») avec un cercle hydrographique, selon le procédé recommandé par l'ingénieur Bouquet de la Grye. Le patron de l'embarcation suit l'alignement de deux points, l'un en vue directe, l'autre réfléchi sur le miroir de son cercle réglé à la valeur choisie.

Dans la technique du radioguidage, un observateur, le « guide », en station sur la côte avec un théodolite orienté dans la direction du profil à suivre, guide la vedette ou le bâtiment pour qu'il entre dans le champ de vision de son théodolite, puis qu'il reste, en approche ou en éloignement selon le cas, dans la direction indiquée par l'instrument.

Le guidage se fait au moyen de la radio selon un vocabulaire particulier. A bord, le secrétaire de séance donne par radio la cadence des « tops » de localisation. A chaque top, deux autres observateurs, les « traversiers », placés sur la côte et munis chacun d'un théodolite, indiquent sous quel angle ils relèvent la vedette ou le bâtiment.



2 - sondage en suivant un segment (arc de cercle) - illutration de P. Perchoc pour la couverture du bulletin Amhydro n°3



3 - détail d'une minute levée dans le golfe de Saint-Tropez en 1897. Les lignes de sonde correspondent à des segments (arcs de cercle) et la couverture de la zone est systématique - minute hydrographique ancienne 017_2_19_Cr_1897, téléchargeable sur le site data.shom.fr

[1] La même expression est utilisée pour désigner le filin gradué auquel on attache le plomb de sonde. Au XXe siècle, les lignes de sonde suivies par l'embarcation ou le navire prennent le nom de profils de sonde, puis simplement de profils.

Lorsque le profil est terminé, le guide oriente son théodolite dans la direction du profil suivant et le processus recommence. Le film de reconstitution « profil au top », accessible à partir de la page *médiathèque / vidéos sur l'hydrographie* du site www.amhydro.org, montre le déroulement d'une séance de radioguidage dans les années 1970.

Il est également possible de suivre un profil correspondant à un lieu de radiolocalisation : hyperbole ou cercle. Le patron de la vedette ou l'homme de barre du bâtiment dispose alors d'un répétiteur lui indiquant la valeur instantanée du lieu de radiolocalisation. Il peut ainsi comparer cette valeur à la valeur de consigne et corriger sa route en conséquence.

Avec le déploiement de l'informatique embarquée, la position de la vedette ou du bâtiment est calculée en permanence. Les profils peuvent alors être définis sans référence à un lieu de localisation particulier et leur suivi s'effectue grâce à un indicateur droite-gauche qui fournit l'écart en mètres à gauche ou à droite du profil.

Cette nouvelle méthode de travail s'étendit aux autres missions et engloba le radioguidage du navire (septembre 1951, mission hydrographique de Madagascar) puis des vedettes.

Un des avantages procurés par cette méthode, et permis par l'équipement des missions en postes radios portables, était de ne plus nécessiter de signaux à terre, ce qui réduisait la durée des travaux de préparation des sondages.



4 - radioguidage à la mission hydrographique de l'océan Indien en 1963 - photothèque Amhydro

Dès lors, le cercle hydrographique fut de moins en moins utilisé pour la localisation en mer. Dans les années 1970, il servait principalement en topographie, pour déterminer le trait de côte.

Radiolocalisation

Ce changement de méthode de localisation, s'il permettait de repousser un peu les limites de portée, ne résolvait pas le problème des levés hors de vue de côte. Les hydrographes se tournèrent alors vers les systèmes de radiolocalisation, auxquels la guerre venait de donner un grand développement.

Les systèmes de radiolocalisation utilisent les ondes électromagnétiques, découvertes par Hertz en 1888, et leur propagation dans l'air (voir encadré n°2).

Utilisation des ondes électromagnétiques pour la navigation avant la guerre

Entre la fin du XIXe siècle et le milieu du XXe siècle, les ondes électromagnétiques sont utilisées en navigation maritime pour :

- la réception à bord de l'heure de référence, en particulier pour déterminer les longitudes ; ces signaux horaires sont également utilisés par les hydrographes pour le calcul des positions astronomiques (voir chapitre 8, encadré n°2),
- la transmission d'informations entre navires et avec la terre au moyen de la T.S.F. (télégraphie sans fil),
- la détermination de la position du navire en recoupant des directions données par radiogoniométrie (radiophares) ; la précision de ces positions est insuffisante pour une utilisation hydrographique.

Réalisations pendant la guerre

Le besoin d'une radiolocalisation précise pendant la guerre concerne surtout l'aviation, en particulier l'aviation de bombardement.

Alliés et allemands développent des systèmes permettant de guider les bombardiers sur leurs objectifs. Deux familles de systèmes sont développées : des systèmes de guidage et des systèmes de radiolocalisation, à usage plus général.

Dans la première famille, l'avion est guidé sur une trajectoire au moyen d'un ensemble d'émetteurs et de récepteurs radio situés à terre et à bord. L'avion est informé de sa position par rapport à la trajectoire prévue et de sa distance au point de largage des bombes.

Encadré n°2 : propagation des ondes électromagnétiques dans l'air

Les ondes électromagnétiques

Une onde correspond à un transport d'énergie. L'énergie mécanique utilise la matière pour se déplacer ; le son, par exemple, peut se déplacer dans l'air, dans l'eau, ou dans un corps solide. L'énergie électromagnétique, créée par la conversion, par une antenne, d'une énergie électrique, n'utilise pas la matière pour se déplacer. Elle peut se déplacer dans le vide, mais aussi dans l'atmosphère qui entoure la terre.

Une caractéristique importante des ondes est leur fréquence, qui correspond au nombre de vibrations par secondes et qui s'exprime en Hertz (Hz). La gamme des fréquences 10 Hz à 300 GHz correspond aux ondes radio. Au-delà, on trouve les ondes lumineuses : rayons infrarouges, lumière visible et rayons ultraviolets, puis les rayons X et enfin les rayons gamma.

Les ondes radio sont elles-mêmes découpées en catégories en fonction de leur fréquence :

- VLF - très basse fréquence : 3 à 30 kHz,
- LF - basse fréquence : 30 à 300 kHz,
- MF - moyenne fréquence : 300 kHz à 3 MHz,
- HF - haute fréquence : 3 à 30 MHz,
- VHF - très haute fréquence : 30 à 300 MHz,
- UHF - ultra haute fréquence : 300 MHz à 3 GHz,
- SHF - super haute fréquence : 3 à 30 GHz,
- EHF - extra haute fréquence : 30 à 300 GHz

La propagation des ondes électromagnétiques s'effectue à partir de l'antenne dans toutes les directions (comme un sphère qui grossit), en ligne droite, à la vitesse dite « de la lumière » (299 792 km/s). Cette propagation peut être perturbée par certains phénomènes, l'effet de ces perturbations variant avec la fréquence des ondes.

L'atmosphère

L'atmosphère terrestre, la couche d'air qui englobe la terre, n'a pas une structure homogène. On peut la décomposer verticalement en zones, en fonction de la manière dont varie la température. On a ainsi, en partant de la surface de la terre, la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère.

La troposphère affecte la propagation des ondes VHF et supérieures en fonction des conditions météorologiques (température et humidité de l'air). Mais l'effet le plus important sur la propagation des ondes est dû à l'ionosphère, située au niveau de la mésosphère et de la thermosphère.

L'ionosphère

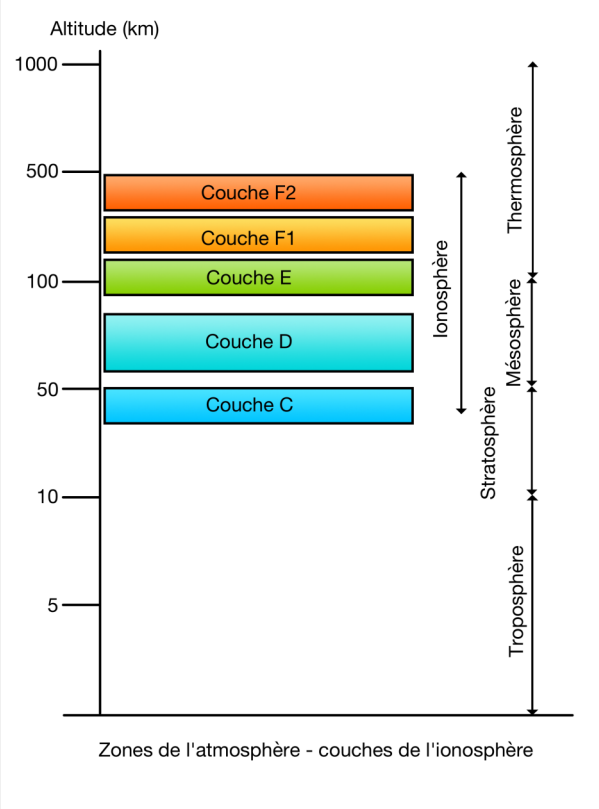


figure 1 - structure de l'atmosphère et couches de l'ionosphère (le jour), d'après un schéma de Ian Poole

Dans l'ionosphère, le rayonnement du soleil frappe les molécules de gaz et les transforme en ions positifs en libérant des électrons libres. La nuit, ces électrons libres ont tendance à se recombiner avec les ions positifs.

La concentration en électrons dans l'ionosphère n'est pas uniforme verticalement. On identifie plusieurs couches qui présentent un comportement différent :

- La couche C, la plus basse, est très peu ionisée et n'a pas d'effet notable sur les ondes électromagnétiques.

- La couche D se situe dans la zone 50 à 80 km d'altitude. Cette couche étant assez dense, les ions et les électrons se recombinent facilement lorsque le rayonnement solaire est masqué par la terre. Il en résulte que cette couche disparaît pendant la nuit.

- La couche E se situe entre 100 et 125 km. Encore assez dense, elle disparaît presque entièrement pendant la nuit.

- La couche F se trouve à une altitude qui dépend du moment de la journée, de la saison et de l'activité solaire, celle-ci variant selon un cycle d'environ onze ans. Le jour, elle se sépare en deux couches, F1 et F2, qui fusionnent la nuit venue. F1 se situe approximativement à 200 km, F2 entre 300 km et 400 km et, la nuit, la couche F est à 250 km. La faible densité des gaz dans cette couche ralentit la recombinaison nocturne des ions et des électrons. La couche F présente donc une ionisation suffisante pour perturber les ondes électromagnétiques la nuit.

Le trajet des ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques émises sur la terre peuvent suivre plusieurs trajets.

Ondes de sol

En principe, les ondes devraient se propager en ligne droite et se perdre dans l'espace une fois que l'horizon visuel est franchi. Mais les courants induits qui sont présents à la surface de la terre ralentissent les ondes et les obligent à suivre la courbure de la terre. Ainsi, une onde peut-elle être reçue sur la terre au-delà de l'horizon visuel de l'émetteur. Ce mode de propagation, dit « onde de sol », concerne les ondes électromagnétiques de basse fréquence (VLF, LF et MF).

Ondes de ciel

Comme les ondes se propagent dans toutes les directions, une partie d'entre-elles traverse l'atmosphère. Au passage dans l'ionosphère, leur présence excite la vibration des électrons libres, qui ont alors tendance à entrer en collision avec les ions positifs. L'énergie consommée dans ces collisions vient diminuer celle des ondes. Mais les électrons ont un autre effet : ils agissent comme de petites antennes et re-diffusent les ondes. En fonction de la fréquence des ondes et de la densité en électrons, l'effet peut aller d'une simple atténuation jusqu'à ce qui ressemble à une réflexion, où les ondes retournent vers la terre.

L'action des différentes couches de l'ionosphère sur les ondes est la suivante :

- Couche D (le jour) : atténuation des ondes VLF, LF et MF. Plus la fréquence de l'onde est basse, puis l'atténuation est forte.

- Couches E et F : la densité des électrons libres étant plus faible, le nombre de collisions diminue et la réfraction prend le dessus, l'effet diminuant avec l'augmentation des fréquences.

Il en résulte que l'effet de l'ionosphère, le jour, est le suivant (il est aussi fonction de l'angle sous lequel les ondes traversent la couche) :

- les fréquences basses, VLF, LF et MF sont absorbées par la couche D,

- les fréquences plus élevées traversent la couche D. Plus la fréquence est élevée, plus l'onde traverse de couche avant d'être réfléchie. On observe ainsi des ondes réfléchies par la couche E, des ondes réfléchies par la couche F1, des ondes réfléchies par la couche F2 et enfin des ondes qui traversent l'ionosphère et se perdent dans l'espace.

Le rebond des ondes sur l'ionosphère peut atteindre 2 000 km avec la couche E et 4 000 km avec la couche F2. La surface de la terre, en particulier en mer, peut à son tour réfléchir l'onde vers le ciel pour un autre rebond. Il est ainsi possible à une onde de faire le tour de la terre.

Effet de la propagation sur la précision de la radiolocalisation

Les systèmes de radiolocalisation étant basés sur la mesure du temps de propagation des ondes électromagnétiques, leur précision est affectée par les anomalies de cette propagation :

- les ondes de ciel qui, lorsqu'elles sont privilégiées par le récepteur au détriment des ondes de sol, entraînent une mauvaise détermination des distances parcourues,

- le trajet terrestre des ondes de sol (portion du trajet des ondes effectuée sur la terre ferme, où les conditions de propagation sont différentes du trajet maritime des ondes),

- les transitions jour-nuit et nuit-jour, pendant lesquelles le comportement de l'ionosphère change brutalement, entraînant des modifications brusques des conditions de propagation à l'origine, par exemple, de sauts dans le comptage des hyperboles.

Dans la seconde famille, on trouve presque exclusivement des systèmes hyperboliques (les allemands ont développé un système directionnel, le *Sonne*, repris par les anglais et renommé *Consol*).

La localisation hyperbolique est basée sur la mesure, en un point inconnu, de différences de distances entre des couples de points connus. Chaque différence de distances détermine une hyperbole dont les foyers sont les deux points du couple considéré. L'intersection d'au moins deux hyperboles, provenant de deux couples différents, fournit la position du point de mesure d'une manière similaire au repérage par le son (voir chapitre 7, encadré n°2).

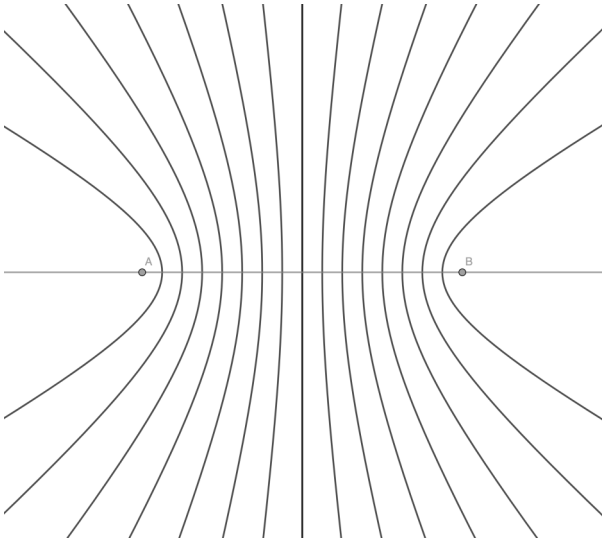


figure 2 - échantillon d'hyperboles pour un couple A B

Une première méthode pour mesurer la différence de distances consiste à mesurer l'écart de temps entre la réception de deux signaux émis au même moment par les deux points connus. Les signaux peuvent être, par exemple, des impulsions transmises par radio. Les systèmes britannique *Gee* et américain *Loran* utilisaient cette méthode.

Une seconde méthode consiste à mesurer le déphasage d'ondes de même fréquence émises de manière synchronisée par les deux points connus. C'est la méthode utilisée par le système britannique *Decca*. Cette méthode demande à résoudre deux problèmes :

- Il est difficile techniquement de différentier deux ondes de même fréquence émises de deux points différents. Il est plus simple de faire émettre une fréquence différente à chaque point, les deux fréquences étant ensuite manipulées pour permettre la comparaison des phases.

- Le déphasage obtenu donne uniquement la valeur à ajouter à une hyperbole « ronde », sans préciser laquelle, chaque hyperbole « ronde » correspondant à une absence de déphasage. Pour déterminer cette hyperbole, il faut démarrer la navigation en un point connu, en lisant sur la carte la valeur de l'hyperbole « ronde » correspondante. Cette valeur est placée dans un compteur. Au cours du déplacement du mobile, chaque fois que le récepteur indique le passage par une absence de déphasage, le compteur doit être augmenté ou diminué de 1 selon que l'on a atteint l'absence de déphasage de manière croissante ou décroissante.

L'encadré n°3 fournit des informations supplémentaires sur ces premiers systèmes de radiolocalisation.

Développements ultérieurs

Systèmes hyperboliques

Après la guerre, les systèmes de radiolocalisation font l'objet de développements pour la navigation maritime mais aussi pour d'autres secteurs d'activité ayant besoin d'une grande précision, comme la prospection pétrolière en mer.

Les hydrographes s'intéressent également à ces nouveautés. La mission hydrographique de dragage de mines qui opère en Manche utilise en 1946/1947 la première chaîne Decca anglaise lors de la mise en place d'une triangulation flottante. L'*Amiral-Mouchez* évalue l'utilisation du Decca pour la navigation et pour l'hydrographie fin 1947.

La première utilisation opérationnelle d'un système de radiolocalisation par le service hydrographique a lieu en 1951, lorsqu'un système Decca est déployé pour le sondage de l'embouchure de la Gironde. L'utilisation d'un tel système demande la présence d'une équipe à terre pour l'installation du système, puis pour sa calibration (les positions du navire fournies par le système de radiolocalisation sont comparées aux positions fournies par des observations au théodolite faites à partir de la terre, ce qui permet de déterminer les corrections constantes à appliquer aux mesures fournies par le récepteur). Il faut ensuite assurer la maintenance du système pendant la durée du levé, puis procéder à son démontage à l'issue des travaux.

Le progrès technique continuant, d'autres systèmes hyperboliques vont être utilisés par la suite (la date indiquée est celle de la première utilisation par le service hydrographique) :

- Rana (1954),

- Toran (1958),

Encadré n°3 : premiers systèmes de radiolocalisation hyperbolique

Gee et Loran

Les systèmes Gee (britannique) et Loran (américain) fonctionnent sur le même principe : trois émetteurs synchronisés, un maître et deux esclaves (ou quatre émetteurs formant deux couples maître / esclave dans le cas du Loran), émettent au même instant une impulsion radio. Le mobile reçoit les trois (ou quatre) impulsions, mesure la différence de temps de réception entre chaque impulsion esclave et l'impulsion maître et en déduit les différences de distances qui correspondent à deux hyperboles. La position du mobile se trouve à l'intersection de ces deux hyperboles.

Le Gee a été utilisé d'abord sur les aéronefs puis sur les navires. Il était le système de localisation principal des navires lors du débarquement en Normandie en juin 1944.

Decca

Le système de navigation Decca est constitué de chaînes de radiobalises émettrices, chaque chaîne se composant d'un émetteur maître et de deux esclaves, ou plus, contrôlés par les transmissions du maître. Ces stations sont placées à des intervalles de 80 à 100 km.

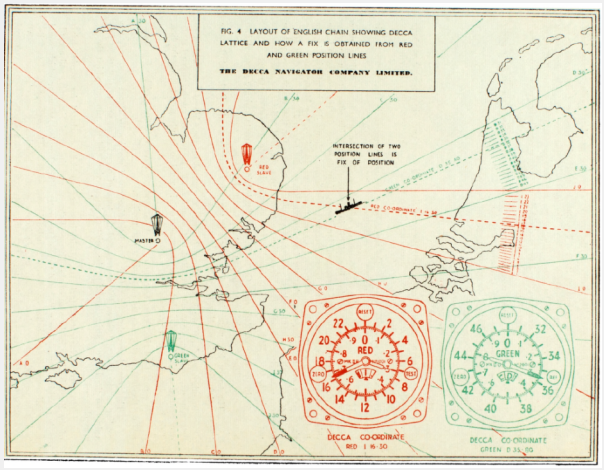
Le système fonctionne dans la bande basse fréquence (80-150 kHz). Les émissions sont constituées d'un signal continu non modulé avec une puissance d'émission de l'ordre de 2 kilowatts.

Chaque balise a sa propre fréquence, la fréquence des esclaves étant liée à celle du maître dans un rapport simple tel que 4/3 ou 3/2[1] et les signaux sont synchronisés par un verrouillage de phase. L'utilisateur mesure, au moyen d'un récepteur multi-canal, la différence de phases entre les paires d'émetteurs maître-esclave, à la fréquence multiple commune la plus basse ou à la fréquence de comparaison de chaque paire. Il est possible de relier cette différence de phases à une différence de distances entre les stations et le récepteur, permettant ainsi de localiser le récepteur sur l'une des lignes hyperboliques de position, ou voies, pour chaque paire de stations. Les voies peuvent être calculées et dessinées sous forme de réseaux en surimpression sur une carte de navigation ordinaire.

Une chaîne de trois balises est nécessaire pour obtenir une position. Dans certaines circonstances, une quatrième balise de la même chaîne est nécessaire pour offrir une couverture à 360 °.

La portée du système est de l'ordre de 300 km et la précision globale d'environ 400 m. Le système peut être mis en défaut par les ondes de ciel.

Le Decca est d'une utilisation très facile grâce à ses indicateurs de réception, les « décomètres », qui assurent le comptage des hyperboles et fournissent directement les informations à reporter sur la carte.



5 - configuration de la chaîne Decca et exemple de détermination de la position. Le décomètre rouge indique I 16 30 ; le décomètre vert indique D 35 80. On cherche sur la carte les hyperboles rouge I 16 / I 17 et verte D 35 / D 36 (le dessin ne comporte que les hyperboles 0 : A 0, B 0, C 0, etc.) et on interpole les centièmes, respectivement 30 et 80 pour trouver la position du navire - Revue hydrographique internationale - Volume XXIV - 1947

Des comparaisons effectuées entre le Gee et le Decca ont montré que ce dernier était plus précis et avait une plus grande portée en mer. Le Decca a été utilisé pour la première fois lors du débarquement en Normandie. Démarré le 5 juin 1944, pour le dragage des mines précédant le débarquement, il a été stoppé le surlendemain. Il équipait dix-neuf bâtiments : dix dragueurs de mines, cinq engins de débarquement affectés au commandement, deux vedettes de tête de convoi et cinq autres navires.

Il a ensuite été déployé sur l'Escaut à l'automne 1944 pour permettre la navigation par temps de brume.

[1] La fréquence de base f étant de 14 kHz, le maître émet à 6 x f, l'esclave n°1 à 8 x f et l'esclave n°2 à 9 x f. La comparaison de phases maître - esclave 1 s'effectue à 24 x f, la comparaison maître - esclave 2 à 18 x f.

- Toran 3G (1968),
- Ragep (1971),
- Decca Hi-Fix (1972),
- Rana P17 (1980),
- Syledis (1982)

Ces systèmes hyperboliques sont précis mais leur portée est limitée. Le Rana et le Toran, par exemple, portent à 200 km. En 1968, une version longue distance du Toran, la version 3G, offre une précision de 10 m à 500 km des côtes mais de jour uniquement. Lorsque la nuit vient, les modifications de propagation des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère créent des perturbations qui affolent les compteurs d'hyperboles et peuvent provoquer des sauts inopinés. Le matin, avant de reprendre le travail, le bâtiment hydrographique doit recaler ses compteurs en passant près d'une bouée placée à cet effet ou au-dessus d'une épave facilement détectable au sondeur.



6 - station Toran d'Assinie, 1964 -
photothèque Amhydro - M. Marchand

A côté de ces systèmes précis, mais de portée limitée, des systèmes moins précis, ayant une portée « mondiale » sont utilisés :

- Loran C (1964),
- Omega (1971)

La position qu'ils fournissent peut être améliorée par un recalage au moyen du satellite Transit (voir plus loin). Elle atteint alors une précision de l'ordre d'une centaine de mètres.

Systèmes circulaires

En 1959, le service hydrographique procède aux essais du Derveaux, un système de radiolocalisation circulaire. Un interrogateur à bord du navire transmet des impulsions à trois balises à terre qui renvoient aussitôt une réponse. L'interrogateur mesure le temps mis entre l'envoi des impulsions et la réception des réponses et en déduit sa distance à chacune des balises. A partir de chaque balise, on peut tracer un cercle dont le rayon correspond à la distance mesurée. L'intersection de ces cercles fournit la position du navire, avec une précision de 10 à 20 m.

Ce type de système ayant une portée optique, on place les balises à des endroits élevés pour obtenir une bonne couverture géographique. La contrepartie est que la balise peut être masquée à proximité de la côte si celle-ci est abrupte, obligeant à utiliser près des côtes un autre moyen de localisation.

Le successeur du Derveaux, le Trident, commence à être utilisé à partir de 1966.

Balises acoustiques

Lorsqu'une localisation précise est nécessaire pour la réalisation de travaux hydrographiques à grande distance de la côte, le service hydrographique utilise un système de localisation au moyen de balises acoustiques.

Des balises sont mouillées à 30 mètres au-dessus du fond, qui peut être à plusieurs milliers de mètres sous la surface. Un interrogateur est placé sous la coque du navire. Le principe est le même que dans les systèmes circulaires, mais en utilisant une onde acoustique.

Le système est ensuite calibré, ce qui permet de déterminer, dans un repère local, la position en trois dimensions des balises et la position en surface du navire. Le repère local est ensuite orienté au moyen du compas du navire, puis calé géographiquement grâce au satellite Transit (voir ci-dessous). La précision de la localisation est de l'ordre d'une dizaine de mètres.

Après utilisation du système, les balises sont libérées par un signal acoustique particulier, puis récupérées après être remontées à la surface.

Systèmes à base de satellites

Les systèmes de radiolocalisation à base d'émetteurs situés à terre offrent soit une grande précision, soit une grande couverture géographique. Il est possible d'obtenir les deux à la fois en plaçant les émetteurs dans le ciel, en orbite autour de la

terre. De plus, les problèmes de propagation des ondes électromagnétiques sont simplifiés et la dégradation nocturne peut être évitée.

Le premier système développé est le Transit, mis en service à usage militaire en 1964 et ouvert aux usages civils à partir de 1967. Ce système ne permet pas une localisation en continu. Le service hydrographique l'utilise à partir de 1968 pour recaler les positions dans les travaux à très grande distance de la côte, pour localiser les champs de balises acoustiques et pour déterminer à terre la position des points géodésiques à quelques mètres près.

Le second système est le GPS, utilisé par le service hydrographique à partir de 1986. En 1992, le SHOM réalise un premier levé côtier, en Guyane, exclusivement au moyen du GPS en mode différentiel. Le GPS, capable de fournir partout sur terre, en permanence, une position très précise, rend caducs tous les autres moyens de localisation, aussi bien pour les levés en mer que pour la détermination des points à terre et du trait de côte. Cela modifie profondément la manière de travailler des hydrographes. A la fin du film « profil au top » qui reconstitue une séance de radioguidage, l'hydrographe qui joue le rôle du guide témoigne : « On avait vraiment un rapport avec le milieu marin à l'époque. C'est à dire, qu'en fait, on était sur le terrain. Maintenant, avec un GPS, on n'a plus besoin de stations à terre : la vedette peut arriver sur zone et commencer à travailler. A mon sens on a perdu une partie de ce qui était extrêmement agréable dans la spécialité d'hydrographe. Enfin, pour moi, c'est des très bons souvenirs. »



7 - récepteur GPS dans le PC scientifique du *D'Entrecasteaux* en 1987 - photothèque Amhydro

Un autre aspect important pour l'hydrographie est que la précision des cartes marines disponibles est inférieure à la précision de la navigation assistée par le GPS. De plus, ces cartes sont basées le plus souvent sur un autre ellipsoïde que celui qu'utilise le GPS[1]. Reporter naïvement la position du GPS sur une carte marine peut entraîner une erreur supérieure à 100 m (supérieure à 1 000 m sur une carte de la Guadeloupe). Les services hydrographiques ont donc été obligés de modifier leurs cartes et de refaire les levés avec plus de précision.

Il existe également le système DORIS, utilisable uniquement en point fixe sur une durée de plusieurs jours, qui permet de déterminer avec une grande précision la position des points géodésiques.

L'encadré n°4 fournit des informations supplémentaires sur ces systèmes de radiolocalisation.

Mesures sur le terrain

Triangulation

Dans les années 1950, les opérations de triangulation à terre sont modifiées par l'apparition d'appareils électroniques permettant de mesurer facilement les distances.

Jusque là, la mesure de distances était une opération longue et délicate qui n'était effectuée qu'une ou deux fois dans une triangulation. L'essentiel des opérations de triangulation consistait à mesurer des angles avec un théodolite. A partir de 1958, le service hydrographique équipe ses missions avec de nouveaux appareils de mesure de distances dont les noms varient selon le constructeur : Géodimètre, Telluromètre, Distomat.

Leur principe commun est de déterminer, par me-



8 - Telluromètre, Côte d'Ivoire, 1964 - photothèque Amhydro

[1] Le GPS utilise le système géodésique WGS 84, bien adapté globalement à la forme de la terre. Les cartes marines adoptent un système géodésique dont l'ellipsoïde est bien adapté localement.

Encadré n°4 : systèmes de localisation à base de satellites

Transit

Le 4 octobre 1957, l'URSS lance le premier satellite artificiel, nommé Spoutnik, une petite sphère métallique faisant le tour de la terre en un peu moins de 100 minutes tout en émettant par radio un « bip-bip ».

En 1958, deux scientifiques américains réussissent à déterminer avec précision la position du satellite grâce à l'effet Doppler qui affecte ses émissions radio.

L'effet Doppler, découvert en 1842, affecte une onde lorsque sa source d'émission est en mouvement par rapport à un observateur considéré comme fixe. Si l'émetteur se rapproche de l'observateur, l'onde est contractée et la fréquence observée est supérieure à la fréquence d'émission. Au contraire, si l'émetteur s'éloigne de l'observateur, l'onde est dilatée et la fréquence observée est inférieure à la fréquence d'émission. On peut constater ce phénomène, par exemple, au passage d'un véhicule de secours actionnant sa sirène. La variation de la fréquence observée étant liée à la vitesse de l'émetteur relativement à l'observateur, l'effet Doppler permet de déterminer cette vitesse.

L'expérience des scientifiques américains montre, par réciprocité, qu'il doit être possible de réaliser un système de localisation précis et de portée mondiale à partir d'un satellite dont l'orbite serait parfaitement connue. Un tel système serait utile pour, par exemple, recaler la position des sous-marins stratégiques américains.

Le système, baptisé Transit, devient opérationnel en 1964 et son utilisation est ouverte au secteur civil, du moins pour les Etats-Unis et leurs alliés, à partir de 1967.

Le système Transit comporte trois composants :

- les satellites (sept en 1973) qui tournent autour de la terre un peu plus de 13 fois par jour, à 900 km d'altitude, en passant par les pôles. Leurs orbites sont décalées afin qu'il y a ait plusieurs passages par jour en tout point de la terre,
- les stations au sol qui déterminent précisément l'orbite des satellites par des mesures Doppler et envoient les informations de prévisions d'orbites aux satellites,
- les récepteurs placés à bord des mobiles.

Les satellites émettent toutes les deux minutes rondes un message décrivant leur orbite. Ce message est émis sur deux fréquences différentes.

Lorsqu'un satellite passe au-dessus de l'horizon d'un mobile, celui-ci reçoit son message émis sur les deux fréquences et en extrait les informations d'orbite qui lui permettent de déterminer la position du satellite au début de l'émission du message. Le récepteur effectue ensuite les mesures Doppler et corrige autant que possible les résultats des erreurs liées à la propagation des ondes dans l'atmosphère[1]. A partir de quatre messages émis par le satellite aux positions P1, P2, P3 et P4, le récepteur détermine trois différences de distances P2-P1, P3-P2 et P4-P3. Chaque différence de distances correspond à une surface engendrée par une hyperbole (un hyperboloïde). En faisant l'intersection de cette surface avec l'ellipsoïde terrestre, on obtient un lieu, l'intersection des trois lieux déterminant la position du mobile. Toutes ces opérations nécessitent un calculateur couplé au récepteur. Le mobile se déplaçant pendant les mesures, il doit le faire de la manière la plus constante possible, et son déplacement est pris en compte dans les calculs.

Le système Transit offre une couverture mondiale à un nombre d'utilisateurs illimité et un bonne précision de localisation (50 m en point fixe, 100 à 200 m en mer), aussi bien de jour que de nuit. Son principal inconvénient est de ne fournir cette localisation que de manière intermittente.

GPS / Navstar

Le système GPS (Global Positioning System), également appelé Navstar (Navigation Satellite Timing And Ranging), développé par les Etats-Unis à partir de 1973, est destiné à fournir une réponse globale à tous les problèmes de localisation militaire :

- couverture mondiale, à la surface de la terre et dans l'atmosphère,
- nombre d'utilisateurs illimité,
- précision d'une dizaine de mètres pour la navigation, quelque soit la vitesse du mobile, et inférieure au mètre pour des observations en point fixe,

[1] La réfraction ionosphérique dévie les ondes en fonction de leur fréquence. En observant l'effet Doppler affectant deux ondes de fréquences différente, on arrive à éliminer une grande partie de cette réfraction. La réfraction troposphérique, due aux conditions atmosphériques, peut être corrigée grâce à des tables de corrections.

- possibilité de déterminer la position en permanence.

Pour obtenir ces caractéristiques, la position est calculée à partir de distances mesurées entre le mobile et plusieurs satellites qui doivent être visibles au même instant. Vingt-quatre satellites sont prévus, répartis en six plans orbitaux afin que quatre satellites soient visibles en tout point de la terre. Leur orbite est située à 20 000 km de la terre, dont ils font le tour en douze heures.

La détermination de la distance est faite par le récepteur. Le satellite indique l'heure à laquelle il émet ses messages. Le récepteur, qui dispose d'une horloge interne, note l'instant auquel il reçoit le message. Le décalage constaté correspond au temps de transmission du message, et par conséquent à la distance entre le récepteur et le satellite. Cette distance est toutefois affectée de l'erreur d'horloge du récepteur, bien moins précise que celle du satellite. En mesurant simultanément les distances à quatre satellites au moins, le récepteur peut déterminer les quatre valeurs inconnues : sa position sur l'ellipsoïde, son altitude par rapport à l'ellipsoïde et la dérive de son horloge.

Le système est déployé à des fins de tests à partir de 1978. Il est ouvert au secteur civil, avec des performances moindres (une centaine de mètres), en 1983. Le nombre de satellites prévu est atteint en 1993. A partir de l'an 2000, la précision pour un usage civil passe à une vingtaine de mètres (une seule fréquence du satellite étant utilisable en mode civil, l'erreur due à l'ionosphère n'est pas éliminée).

Par la suite, d'autres nations mettent au point leurs propres systèmes de localisation par satellite : l'URSS à partir de 1982 (Glonass), la Chine à partir de 2000 (Beidou), l'Europe à partir de 2005 (Galileo). Les récepteurs modernes savent combiner les observations de tous ces satellites.

La précision du GPS dans 95% des cas est de l'ordre de 10 mètres sur la position et 15 mètres sur l'altitude[2]. Cette précision peut être améliorée par l'utilisation d'un mode de fonctionnement dit « différentiel ».

GPS différentiel

Le mode différentiel repose sur l'idée que l'imprécision instantanée du GPS affecte d'une même manière tous les récepteurs situés dans une même zone. Un récepteur situé sur un point fixe de référence dont la position est connue avec précision détermine en permanence les distances aux satellites visibles, comme le fait un récepteur ordinaire. En comparant ces distances observées aux distances réelles calculées à partir de sa position, il en déduit des corrections à appliquer et les diffuse par radio. Tous les récepteurs utilisant le mode différentiel reçoivent ces corrections et les utilisent pour améliorer la position que leur fournit le GPS. La précision finale obtenue est de l'ordre du mètre dans un rayon de 100 km autour du point de référence. Les corrections à appliquer peuvent également être diffusées par satellite (système SBAS - Satellite-Based Augmentation System).

Mesure par différence de phase

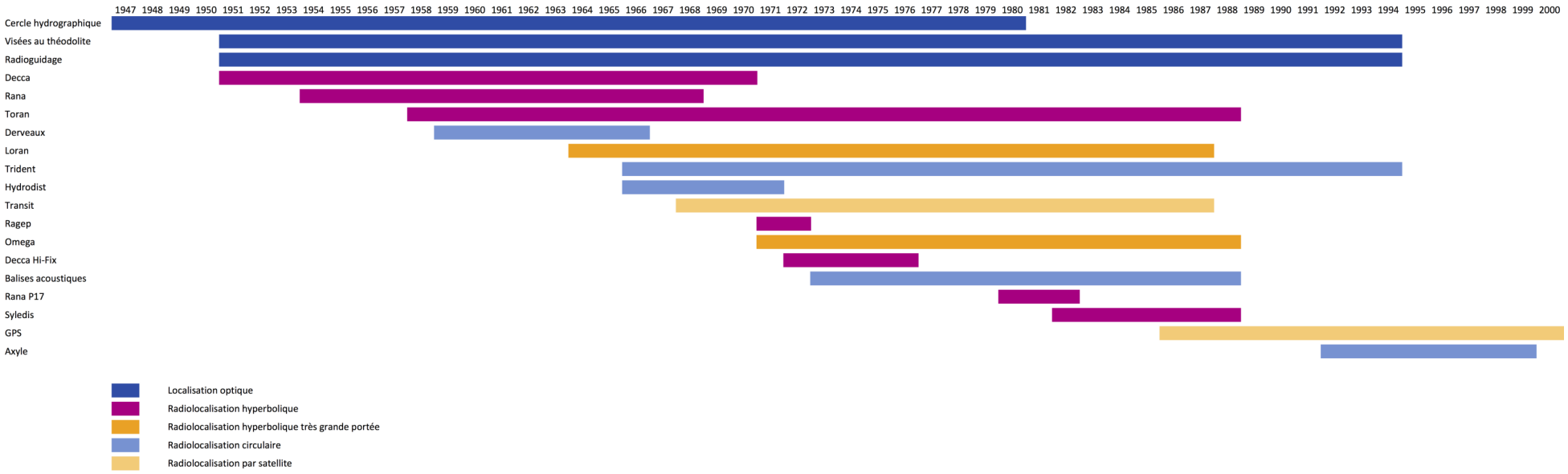
Une précision encore plus grande est obtenue avec le fonctionnement dit RTK (Real Time Kinematic - cinématique temps réel). Le principe est le même que le GPS différentiel mais les récepteurs affinent les distances en mesurant les déphasages de l'onde porteuse du satellite. La précision relative est de l'ordre du centimètre dans un rayon de 30 km. Ce mode de fonctionnement est utilisé pour le guidage des drones et pour les travaux de précision.

DORIS

Le système DORIS, de conception française (CNES, IGN et GRGS[3]), permet depuis le début des années 1990 de déterminer de manière précise (aujourd'hui, quelques centimètres) l'orbite d'un satellite. Il fonctionne à l'inverse du Transit : des balises terrestres, au nombre d'une cinquantaine, émettent deux ondes de fréquences différentes. Lorsque un satellite doté d'un récepteur DORIS passe au-dessus d'une balise terrestre, il effectue des mesures Doppler qui lui permettent de calculer précisément sa position. Il communique ensuite cette information au centre de contrôle du système.

Comme l'orbite des satellites équipés de récepteurs DORIS est connue avec précision, il est possible de mettre en place à terre une balise provisoire et de déterminer sa position avec une précision de quelques centimètres. Le calcul de la position est similaire à celui qui est effectué avec le système Transit, la seule différence étant que l'émetteur est à terre et le récepteur dans le satellite. A partir de 1992, le SHOM utilise ce système de positionnement pour déterminer la position d'une douzaine de stations installées sur des atolls en Polynésie française.

2 La précision est fortement dégradée dans les 5% restants.
3 Centre National d'Etudes Spatiales, Institut Géographique National, Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale



9 - plages d'utilisation des moyens de localisation au service hydrographique, relevées dans les Annales hydrographiques entre 1947 et 2000. A partir de l'an 2000, seul le GPS est utilisé, hors cas particuliers

sure de phase, la distance aller-retour d'une onde lumineuse émise par l'instrument situé au point A et réfléchie par un réflecteur situé au point B. Une des techniques mises en œuvre consiste à moduler l'onde lumineuse par un signal de basse fréquence (et donc de grande longueur d'onde, supérieure au double de la distance AB). En mesurant le déphasage de ce signal à son retour, on obtient une valeur approchée de la distance parcourue par l'onde, valeur que l'on affine ensuite en multipliant successivement la fréquence de modulation par 10.

La précision obtenue par ces appareils est de l'ordre de quelques centimètres pour des distances allant jusqu'à 100 km.

Mesures en mer

Les hydrographes utilisent de nombreux appareils en mer, dont la mise en œuvre peut prendre plusieurs formes :

- l'appareil est fixé à la coque du navire et s'utilise lorsque le navire est en route ; c'est le cas des sondeurs,
- l'appareil est remorqué par le navire et s'utilise lorsque celui-ci est en route ; c'est le cas lorsque la mesure peut être gênée par le bruit du navire, sa masse métallique, etc. ou lorsqu'elle doit être effectuée près du fond,
- l'appareil est fixé à un câble et immergé, navire stoppé ; ce cas concerne les mesures effectuées à point fixe dans l'eau ou au fond de la mer : prélèvement d'échantillons d'eau, prélèvement de sédiments,
- l'appareil est mis en place à un endroit déterminé puis récupéré plus tard ; cela concerne les mesures de longue durée au point fixe : observation du courant et de la marée.

On peut ajouter un cas de figure qui commence à apparaître en hydrographie, celui des véhicules autonomes : l'appareil est mis en place à un endroit, effectue des mesures en se déplaçant dans une zone prédéfinie, puis est récupéré. Ce type d'appareil peut évoluer en surface, sous la surface ou dans les airs.

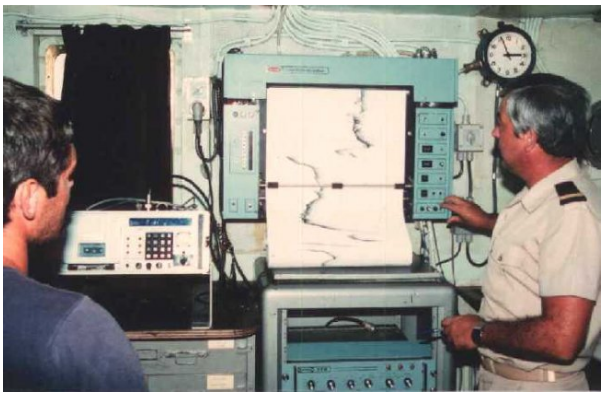
Détermination du relief sous-marin

Sondeur à ultrasons

Le service hydrographique reprend ses travaux après la guerre avec les sondeurs disponibles, notamment ceux qui équipent les navires récupérés, ce qui constitue un ensemble très varié. Les embarcations ne disposent souvent que du plomb poisson, et on note l'utilisation d'un sondeur au son (fusil) en 1950, à la mission hydrographique de la côte ouest d'Afrique.

Les constructeurs proposent principalement des sondeurs à magnétostriction, dont les projecteurs à disques de nickel sont plus simples à fabriquer que ceux des sondeurs piézoélectriques à mosaïque de quartz. Le service hydrographique s'équipe en sondeurs de marque Hughes and Son, modèle MS 21, de type F (petits fonds, pour embarcation), G (fonds moyens) et H (grands fonds). Ces sondeurs sont à enregistreur électrolytique, dont le défaut principal, en plus d'une odeur très désagréable, est la déformation du papier d'enregistrement. A la fin des années 1950, le Service s'équipe du modèle MS 26 à enregistreur sur papier métallisé. Ce papier se conserve mieux et l'odeur de brûlé, produite lors de l'enregistrement, est plus supportable.

A partir des années 1970, le service hydrographique adopte des sondeurs allemands de marque ELAC (Arcturus, Castor, Deneb) et Atlas Krupp (Deso 10, Deso 20) ainsi que des sondeurs américains Raytheon et EDO. Aujourd'hui, les bâtiments hydrographiques sont équipés de sondeurs norvégiens Kongsberg Simrad EA.



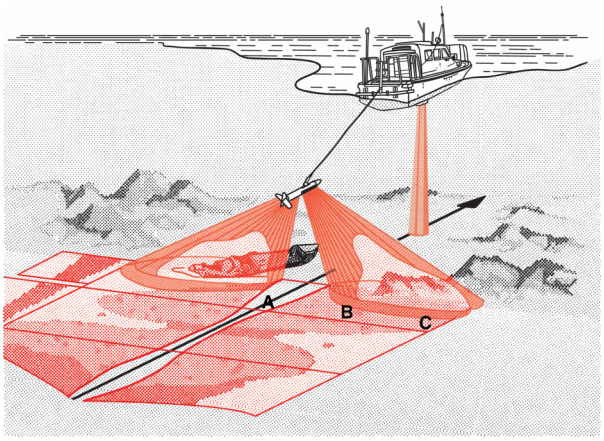
10 - enregistreur du sondeur Raytheon dans le PC scientifique de l'*Estafette* en 1982 - photothèque Amhydro

Avec l'arrivée d'autres types de sondeurs, ces sondeurs sont maintenant désignés sous les noms de sondeurs verticaux ou sondeurs monofaisceau.

Sondeur latéral

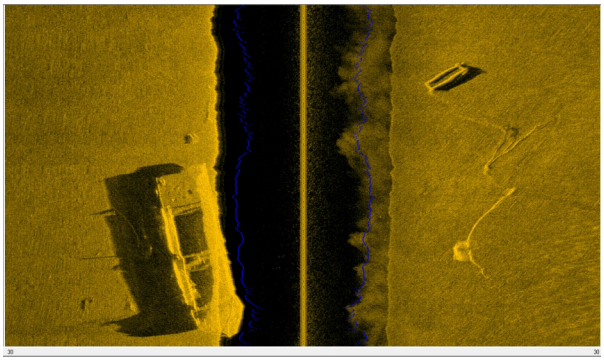
Le sondeur latéral, parfois appelé sonar latéral ou sonal, est utilisé par le SHOM à partir de 1974. Cet appareil permet de révéler les irrégularités du fond comme le fait la lumière rasante du soleil sur un mur.

L'appareil se présente comme un « poisson » qui doit opérer à faible distance au-dessus du fond. Il



11 - principe de fonctionnement du sondeur latéral, d'après un schéma publié dans les Annales hydrographiques en 1998 - illustration Z. Svilar

est donc le plus souvent remorqué par le navire. L'appareil émet à gauche et à droite une impulsion ultrasonore perpendiculaire à son déplacement. Cette impulsion est assez large verticalement mais de faible épaisseur horizontalement (voir illustration ci-dessus). Sur un fond plat, l'impulsion arrive d'abord au point A, ensuite au point B et enfin au point C. Le signal réfléchi qui revient au sondeur est donc d'une durée assez longue et son intensité varie avec la réflexivité du fond. Si le fond présente un pic, le signal renvoyé par le pic sera plus fort, puis il y aura une absence momentanée de signal dans la zone d'ombre du pic, permettant de mesurer approximativement sa hauteur.



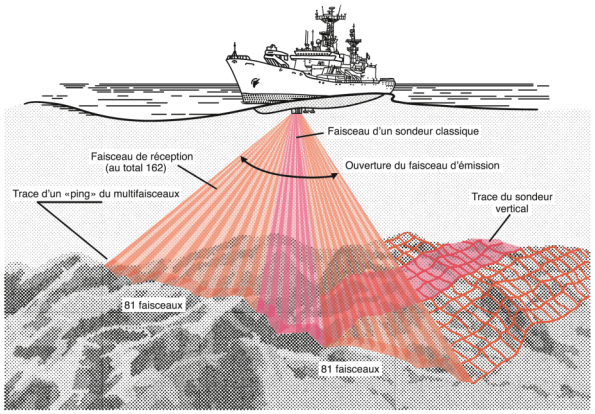
12 - image fournie par le sondeur latéral - à gauche, épave d'un transport de minerai, située en rade de Nouméa, dans la baie de Numbo ; au centre, la zone aveugle ; à droite des chaînes, un cadre métallique et un corps mort - avec l'aimable autorisation d'Action Hydro Topo - Nouméa

L'appareil restitue sur un enregistreur papier le résultat de chaque émission d'impulsion sous la forme d'une fine bande en niveau de gris. La juxtaposition de ces bandes fournit ce qui ressemble à une photographie du fond, faisant bien ressortir ses irrégularités.

Sondeur multifaisceaux

Le sondeur multifaisceaux apparaît à la fin des années 1970. Le CNEXO s'équipe d'un sondeur grands fonds en 1977, le SHOM d'un sondeur petits fonds en 1988 et d'un sondeur grands fonds en 1993.

Un sondeur vertical émet une impulsion qui atteint le fond sous la forme d'une surface à peu près circulaire. Un écho de faible durée est renvoyé et on adopte en général la profondeur correspondant à l'instant de réception du début de l'écho et la position du navire correspondant à l'instant de la mesure. Une imprécision supplémentaire est apportée par les mouvements de la mer qui provoquent la rotation du navire sur ses 3 axes (phénomènes appelés tangage, roulis et lacet) ainsi que son déplacement vertical (appelé pilonnement). Afin de réduire cette imprécision, le *D'Entrecasteaux*, entré en service en 1971, dispose, en plus de deux sondeurs grands fonds, d'un sondeur grands fonds dont la base est stabilisée pour compenser le tangage et le roulis.



13 - principe de fonctionnement du sondeur multifaisceaux, d'après un schéma publié dans les Annales hydrographiques en 1998 - illustration Z. Svilar

Le sondeur multifaisceaux permet d'obtenir plusieurs valeurs de profondeur à chaque émission d'impulsion. Pour cela l'impulsion est émise sous la forme d'un faisceau large mais de faible épaisseur, comme dans le cas du sondeur latéral. Contrairement à ce dernier, le faisceau est dirigé vers le fond. L'écho, large, est reçu par le sondeur au moyen d'un réseau de récepteurs alignés perpendiculairement au déplacement. Chaque récepteur capte ainsi une petite partie de l'écho. Après prise en compte des rotations du navire, on obtient un ensemble de profondeurs réparties à gauche et à droite du navire (16 pour le sondeur du CNEXO, 20 pour le sondeur petits fonds du SHOM, 162 pour le sondeur grands fonds. La surface ainsi sondée a une largeur qui dépend de la profondeur (0,75 fois le fond pour le sondeur du CNEXO, 2,4 fois le fond pour le sondeur petits fonds du SHOM). Le sondeur fournit directement une représentation en courbes de niveau ou en

relief de la zone sondée. Ce type de sondeur permet de couvrir la zone à sonder entièrement et bien plus plus rapidement qu'avec un sondeur monofaisceau.

Marée

Depuis le XIXe siècle, l'observation de la marée reposait sur quelques marégraphes enregistreurs à flotteur placés dans les principaux ports et sur les échelles de marée installées par les missions hydrographiques dans les zones à sonder.

En 1887, l'ingénieur hydrographe Favé avait mis au point un marégraphe plongeur posé sur le fond qui déterminait la hauteur de l'eau grâce à un manomètre et l'enregistrait sur papier noirci à la fumée.



14 - marégraphe avec échelle de marée en Terre-Adélie, 1947 - photothèque Amhydro

Après la guerre, ces deux familles de marégraphes, à flotteur et à pression, sont modernisées. L'enregistrement des mesures est numérique et les marégraphes à terre peuvent télétransmettre leurs observations.

Les marégraphes à puits de tranquillisation, installés à terre, sont en général couplés à une échelle de marée qui sert à contrôler leur fonctionnement. Ces marégraphes utilisent plusieurs techniques pour mesurer la hauteur d'eau dans le puits :

- flotteurs,
- sondes à ultrasons,
- sondes électromagnétiques

Les marégraphes posés sur le fond ou immergés à une certaine profondeur utilisent d'autres techniques pour déterminer en permanence la hauteur de la colonne d'eau :

- capteurs de pression
- cordes vibrantes
- jauges de contrainte
- quartz piézoélectriques

On trouve également des marégraphes pneumatiques installés à terre, sans puits de tranquillisation.

Courants

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, la direction et la vitesse des courants de marée étaient observées de différents manières :

- détermination régulière de la position d'un flotteur libre,
- mesure directe en laissant dériver un flotteur captif pendant 30 secondes,
- mesure au courantomètre immergé à moulinet, à transmission instantanée ou à enregistrement mécanique ou photographique.

Ces observations de courant ne se faisaient que par petits fonds. A partir de 1950, le courantomètre remorqué G.E.K. permit de déterminer en tout lieu le courant marin de surface en mesurant son champ électrique induit.

Alors que les courantomètres immergés bénéficiaient des progrès techniques, une nouvelle méthode de détermination des courants apparut dans les années 1970 : la mesure par effet Doppler. En 1974, le Service évaluait un courantomètre profileur de coque à effet Doppler construit par la société Thomson. Cet appareil à deux paires de faisceaux à ultrasons fournissait toutes les 2 secondes des informations sur le courant dans la tranche 0 à 100 m par pas de 3 mètres. La vitesse du courant était calculée à partir de l'effet Doppler subi par une impulsion ultrasonore réfléchie par les particules et organismes en suspension se déplaçant avec les masses d'eau. Le manque de précision de la localisation ne permit pas d'exploiter ces mesures et il fallut attendre vingt ans pour voir réapparaître les courantomètres Doppler sous le nom générique d'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Ces appareils sont utilisés en deux versions : fixés à la coque du navire ou immergés sur le fond.

Les flotteurs libres ont également évolué. Ils embarquent aujourd'hui des équipements électroniques et communiquent régulièrement leurs mesures aux satellites du système ARGOS, un sys-

tème mondial de localisation et de collecte de données par satellite lancé en 1986 et dédié à l'étude et à la protection de l'environnement.

Nature du fond

Avant l'arrivée des sondeurs à ultrasons, la nature du fond était déterminée au moment du sondage avec le plomb de sonde. La base du plomb de sonde comportait une cavité que le sondeur remplissait de suif. A la remontée du plomb, le sondeur examinait le suif. Celui-ci ramenait soit un échantillon du fond (sable, vase, etc.), soit son empreinte (cailloux, galets, roches). L'information étant utile aux navigateurs à la recherche d'un bon mouillage, elle était portée sur les cartes marines.

Des moyens plus lourds étaient parfois mis en œuvre pour déterminer la nature du fond, soit par raclage du fond, soit par prélèvement d'un échantillon par carottage.

Aujourd'hui, la connaissance de la nature du fond, ou sédimentologie marine, est utile dans d'autres domaines. La nature du fond peut influer, par exemple, sur la propagation du son dans l'eau.

En plus de la technique du prélèvement, on détermine actuellement la nature du fond par l'examen de l'écho fourni par un sondeur vertical ou par le micro relief révélé par le sondeur multifaisceaux ou le sondeur latéral. Le service hydrographique utilise également des sondeurs verticaux spéciaux permettant d'étudier les premières couches du sous-sol marin : les sondeurs de sédiments.

Caractéristiques de l'eau de mer

Les premières mesures des caractéristiques de l'eau de mer ont été effectuées au XIXe siècle lors des campagnes océanographiques. L'intérêt de déterminer ces caractéristiques pour l'hydrographie apparut après la première guerre mondiale, en même temps que le sondage et le repérage par le son. Les caractéristiques qui influent sur la vitesse de propagation du son dans l'eau sont la température, la salinité et la pression.

Jusque dans les années 1960, la mesure de la température s'effectuait au moyen de thermomètres à renversement. Le renversement permettait de rompre la colonne de mercure et de mémoriser la température atteinte au moment du renversement. Celle-ci étant affectée par la pression, on combinait en général ces thermomètres avec des thermomètres protégés, qui indiquaient la température non affectée par la pression.

On mesurait les températures à différentes profondeurs en fixant les thermomètres le long d'un câble lesté que l'on descendait, navire stoppé, dans les profondeurs. Une fois que le premier thermomètre avait atteint la profondeur souhaitée, on faisait glisser le long du câble une masse métallique, le « messager », qui provoquait le retournement du dernier thermomètre installé, libérant ainsi le messager dont on l'avait muni, qui allait à son tour provoquer le retournement du thermomètre suivant. En serrant le câble entre ses doigts, on percevait les renversements successifs des thermomètres. Une fois le dernier renversement effectué, on remontait le câble, on retirait les thermomètres et on notait les températures qu'ils indiquaient.

Pour obtenir les valeurs de salinité, on prélevait des échantillons d'eau de mer à différentes profondeurs. Pour cela, on installait sur le câble des bouteilles à renversement se présentant sous la forme de tubes équipés d'un couvercle à chaque extrémité et on fixait les thermomètres sur ces bouteilles. Le renversement commandé par le messager provoquait la fermeture des couvercles, emprisonnant l'échantillon d'eau de mer dans la bouteille.



15 - mise en place d'une bouteille à renversement - photothèque Amhydro - H. Bré

On analysait ensuite les échantillons obtenus, certaines analyses devant être réalisées immédiatement. La mesure de la conductivité de l'eau de mer, qui permet de connaître sa salinité, pouvait être faite longtemps après le prélèvement.

La pression était déterminée en fonction de la profondeur atteinte par l'ensemble bouteille et thermomètre.

La seconde guerre mondiale apporta un nouvel instrument, le bathythermographe, qui, lorsqu'il était remorqué par un navire, mesurait la température de l'eau de mer en fonction de la profondeur. L'enregistrement s'effectuait sur un verre fumé.

A partir des années 1960, le progrès technique fit apparaître de nouveaux instruments : sondes perdues et bathysondes.

Les sondes perdues, de la société Sippican, sont placées dans un porte-sonde tenu à la main. Un fil conducteur sort de la sonde et est raccordé à un enregistreur à bord. Le lanceur se porte à l'arrière du navire et libère la sonde au-dessus de l'eau. Celle-ci s'enfonce dans la mer par son propre poids, ce qui déroule le fil conducteur. La sonde mesure en permanence la température de l'eau et on obtient sur l'enregistreur un graphique de la température en fonction du temps, donc de la profondeur théorique. Lorsque tout le fil a été dévidé, il se casse et la sonde tombe au fond de la mer. Différents modèles de sondes permettent différentes mesures (température, célérité, conductivité) à des profondeurs allant jusqu'à 2 000 m.

Les bathysondes sont des appareils que l'on immerge au bout d'un câble, à l'arrêt, à la profondeur voulue. Ils mesurent et transmettent différents paramètres : pression, température, conductivité, et certains modèles peuvent recevoir des bouteilles à prélèvement déclenchées une par une à partir du navire.



16 - mise à l'eau d'une bathysonde sur le *D'Entrecasteaux* en 1997 - photothèque Amhydro

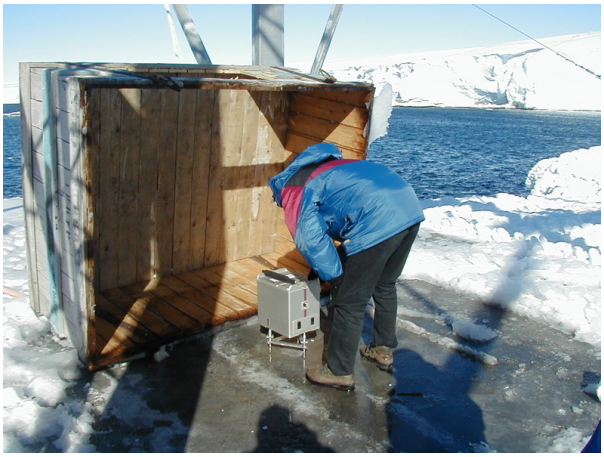
Le service hydrographique a utilisé successivement des bathysondes Howaldt, Guildline et SBE, ainsi que des sondes autonomes de mesures océanographiques (SAMO), conçues par ses ingénieurs, qui descendaient et remontaient de manière autonome sans nécessiter de câble.

Aujourd'hui, les hydrographes utilisent des célérimètres qui, fixés sous la coque ou immergés, mesurent directement la vitesse du son dans l'eau.

Pesanteur

Les premières mesures de la pesanteur absolue ont été faites en déterminant la période d'un pendule ou la durée de la chute d'un objet dans le vide. Ce type de mesure n'était, en principe, réalisable qu'à terre, mais le scientifique néerlandais Felix Vening Meinesz créa, dans les années 1920, un appareil à plusieurs pendules utilisable dans un sous-marin. Avec cet appareil, le service hydrographique effectua des mesures absolues en Méditerranée à bord d'un sous-marin entre 1934 et 1936.

En 1958, la firme Askania mit au point un gravimètre marin installé sur une plate-forme stabilisée par gyroscope. Cet appareil mesurait la pesanteur relative en déterminant l'allongement d'un ressort fixé à une masse dont le poids variait en fonction de la pesanteur. Le passage à la pesanteur absolue était effectué en comparant la mesure du gravimètre à quai en un point où la pesanteur absolue était connue. L'appareil étant affecté d'une dérive, on effectuait une mesure de calage avant de partir en mer et une mesure au retour de mer, la dérive observée étant répartie proportionnellement au temps.



17 - mesure de gravité en Terre Adélie en 2000 - photothèque Amhydro

En 1963, le service hydrographique acquit un premier gravimètre Askania et l'installa successivement sur l'*Amiral-Mouchez*, le *Paul-Goffeny*, l'*Espérance* et le *D'Entrecasteaux*. Les mesures restaient délicates : tout changement de route perturbait l'appareil et il fallait rester sur la nouvelle route pendant une demi-heure avant de relancer les mesures. En plus des corrections instrumentales, on apportait une correction liée au déplacement du navire et à la rotation de la terre, appelée correction Eötvös.

Une nouvelle technique de mesure absolue de la gravité a été mise au point au début du XXIe siècle : l'interférométrie atomique.

De manière générale, l'interférométrie consiste à partager une onde afin de lui faire suivre deux chemins différents, puis à la recombiner. La recombinaison met en évidence des interférences qui permettent de mesurer, par exemple, la différence de temps de parcours entre les deux chemins.

L'interférométrie atomique fonctionne sur le même principe mais elle nécessite de refroidir les atomes afin d'augmenter leur longueur d'onde[2]. Le gravimètre est un tube à vide. Il comporte un piège magnéto-optique constitué de lasers et de champs magnétiques qui manipulent des atomes afin de diminuer leur vitesse, ce qui les refroidit, et de les concentrer. Le nuage d'atomes chute alors dans le vide. Une première impulsion laser sépare le nuage en deux, les atomes ayant absorbé des photons chutant plus vite que les autres. Une seconde impulsion inverse l'effet de la première, ce qui conduit les nuages à se regrouper. Une troisième impulsion laser les mélange, ce qui fait apparaître les franges d'interférences. L'analyse de ces interférences permet de déterminer avec une grande précision l'accélération de la pesanteur.

Les premiers essais d'un gravimètre marin fonctionnant sur ce principe ont été réalisés par le SHOM en 2015, et ont conduit à un développement industriel à partir de 2017.

Magnétisme

Les mesures de magnétisme effectuées par les premières missions hydrographiques concernaient principalement la déclinaison magnétique (angle entre la direction du pôle Nord et le nord indiqué par la boussole) et parfois l'inclinaison magnétique (angle entre le plan horizontal et la direction indiquée par une boussole d'inclinaison). Par la suite, il fut possible d'effectuer des mesures d'intensité du champ magnétique.

En 1951, un essai de recherche d'épaves au moyen d'un magnétomètre est effectué par la mission hydrographique de dragage. L'essai n'est pas concluant.

Il faut attendre la fin des années 1970 pour que les missions hydrographiques reçoivent des magnétomètres remorqués. Ces équipements, qui mesurent l'intensité du champ magnétique total de la terre, sont principalement utilisés pour la recherche d'épaves, dont la masse métallique provoque une perturbation locale du champ magnétique terrestre.

Mesures à distance

Photographie aérienne et photogrammétrie[3]

Les missions hydrographiques utilisent les photographies aériennes depuis la fin de la première guerre mondiale pour déterminer le trait de côte et mettre en évidence certains hauts fonds. Les cartographes du Service ont également recours à des photographies aériennes lors de la préparation des cartes.



18 - restitution photogrammétrique à la Mission Océanographique du Pacifique, 1980 - photothèque Amhydro

En 1983, l'EPSHOM crée un bureau « photogrammétrie » et l'équipe d'un stéréorestituteur analytique. Il devient possible de déterminer la position précise de points identifiés sur les photographies.

En 1987, ce bureau étudie la possibilité de déterminer la profondeur à partir des photographies (c'est la photobathymétrie). Des levés photogrammétriques sont réalisés à partir de 1988. La localisation de l'avion s'effectue d'abord avec le système Trident, puis au moyen du GPS.

En 1996, les études sur la photobathymétrie sont abandonnées, les résultats n'étant pas suffisamment précis. L'activité du bureau se concentre alors sur la fourniture de produits pour les cartographes du SHOM.

Télédétection

La télédétection consiste à effectuer des mesures de la terre à partir de satellites en orbite. Elle fournit notamment des informations sur le trait de côte et sur l'océan.

Le premier satellite d'observation de la terre à des fins civiles est lancé en 1972 dans le cadre du pro-

2 Un atome peut être vu comme une particule ou comme une onde. C'est la dualité onde-corpuscule, un des concepts de la mécanique quantique.

3 La photogrammétrie est l'exploitation stéréoscopique de couples de photographies, permettant de restituer les volumes ou le relief.

gramme Landsat. Au début des années 1980, le SHOM commence à exploiter les données produites par ce satellite pour la réalisation des cartes marines. Le satellite fournit des images en couleur et des images multispectrales (où une valeur correspond à une couleur ou à l'infrarouge), dont la résolution est de l'ordre de 80 m.

Les satellites SPOT, lancés à partir de 1986, sont plus précis (résolution de 10 m en couleur et 20 m en multispectral). Dès 1989, le SHOM produit à titre de démonstration une « spatiocarte » de l'île d'Ouvéa, en Nouvelle-Calédonie, qui mélange informations fournies par le satellite et données issues des levés hydrographiques. L'intérêt des images du satellite est qu'elles donnent une vision du fond de la mer, jusqu'à une profondeur d'une trentaine de mètres dans les meilleures conditions. Le SHOM décide par la suite de produire des spatiocartes pour l'archipel des Tuamotu, pour une fraction du coût correspondant à des levés hydrographiques classiques. Ces spatiocartes nécessitent cependant d'effectuer quelques travaux, dits de spatiopréparation, sur place : localisation au GPS de points de calage, sondages témoins, prélèvement d'échantillons du fond.

Par la suite, les satellites fournissent de nombreuses observations sur la terre et sur les océans :

- températures de surface révélées par des images infrarouges,
- couleur de l'eau, liée à la présence de chlorophylle,
- hauteur de la mer mesurée par des radars altimètres, pour la connaissance des courants et de la marée,
- variations de l'accélération de la pesanteur, déterminées par les perturbations des orbites des satellites.

Sondage aéroporté

Les hydrographes décrivent la partie immergée de la terre, tandis que les géographes en décrivent la partie émergée. Chacun ayant ses méthodes de travail et s'arrêtant au trait de côte, il en résulte des difficultés dans la représentation de la bande littorale située de part et d'autre du trait de côte. En particulier, les origines des altitudes et des profondeurs ne coïncident pas.

En 2003, à la suite d'une recommandation européenne sur la gestion des zones littorales, le Comité interministériel de la mer demande au SHOM et à l'IGN de produire un référentiel géographique commun du littoral. Ainsi naît le projet Litto3D®. Un premier levé expérimental est effectué en 2005 dans le golfe du Morbihan.

Les données de la partie maritime proviennent de levés effectués en avion avec un LiDAR (light detection and ranging) bathymétrique, complétés par des levés classiques effectués en mer avec un sondeur multifaisceaux. Le LiDAR bathymétrique est constitué de deux faisceaux laser, l'un émettant dans le vert, l'autre dans l'infrarouge. Le signal infrarouge est réfléchi par la surface de l'eau alors que le signal vert pénètre dans l'eau (jusqu'à 70 m si l'eau est très claire), ce qui permet de déterminer la profondeur. Les lasers fournissent des distances qui, après prise en compte de l'altitude de l'avion fournie par un GPS et de son attitude (roulis, tangage, lacet), permettent de connaître la profondeur du fond et l'altitude des zones émergées.

Tomographie acoustique océanique

La tomographie acoustique océanique, mise au point dans les années 1970, consiste à installer des émetteurs et récepteurs sonores à basse fréquence[4] autour de la zone à étudier et à mesurer de manière régulière leurs temps de propaga-



19 - image Litto3D® du port des Quilles à Sète - source www.shom.fr

4 Les sons à basse fréquence se propagent très loin dans les masses d'eau.

tion. Toute perturbation dans la zone d'étude se traduit par une modification des temps de propagation. On peut ainsi mettre en évidence des fronts thermiques, des courants marins et d'autres caractéristiques de la masse d'eau.

Enregistrement et exploitation des mesures

Dans les années 1960, la section marée-géophysique du service hydrographique s'équipe d'un ordinateur CAB 500, remplacé par la suite par un ordinateur IBM. L'ordinateur est d'abord utilisé pour le calcul de la marée, pour le tracé des cartes de radiolocalisation (tracé des réseaux d'hyperboles et de cercles utilisés par les missions hydrographiques) et pour des calculs au profit du Bureau d'études océanographiques.

En 1972, le SHOM lance plusieurs projets informatiques :

- la constitution de bases de données hydrographiques et océanographiques,
- un projet de cartographie assistée par ordinateur : CARTAS (voir plus loin),
- un projet d'acquisition et de traitement des données dans les missions hydrographiques : SATAD (système d'acquisition et de traitement automatique des données)

Le prototype SATAD, développé à l'EPSHOM, est embarqué sur le *D'Entrecasteaux* en 1975. Il débouche en 1983 sur une première génération de systèmes informatiques utilisés dans les missions hydrographiques : HYDRAC-HYTRAI. HYDRAC permet l'acquisition des données en vedette et à bord des navires, HYTRAI leur traitement à bord ou dans les locaux à terre des missions.

Ce système maison est remplacé dix ans plus tard par une deuxième génération dont la réalisation est confiée à une société de service en informatique : le système AQIDOC-TRADOC.

La troisième génération est composée d'équipements et de logiciels disponibles dans le commerce.

Ces systèmes modifient en profondeur le travail dans les missions hydrographiques. A bord des vedettes, il ne reste plus aujourd'hui que le patron qui dirige l'embarcation, le mécanicien qui veille sur le fonctionnement du moteur et un hydrographe qui décide des routes à suivre et surveille le bon fonctionnement des appareils et des ordinateurs. Dans les salles de dessin des missions, tous les calculs et tracés sont réalisés par ordinateur et le travail des hydrographes consiste principalement à ordonnancer les traitements informatiques et à vérifier leur bonne exécution afin d'obtenir des résultats de qualité.



20 - PC hydrographique du *Lapérouse* en 1988 - photothèque Amhydro

Cartographie

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, le service hydrographique produisait ses cartes par gravure sur cuivre, à l'envers. L'impression se faisait soit directement à partir du cuivre, soit après report sur un zinc d'impression afin d'éviter l'usure du cuivre.

Dans ce domaine, le progrès apparaît d'abord, après la guerre, grâce aux matières plastiques. Les nouvelles cartes sont gravées sur des feuilles de matière plastique, les « couches à tracer », recouvertes d'une couche opaque qui se retire par grattage. Un autre procédé permet de transférer sur un film plastique les cartes gravées sur cuivre pour un report facile sur les zincs d'impression. Ceux-ci peuvent être à l'endroit, ce qui facilite leur mise à jour.

Dans les années 1960, l'arrivée des tables traçantes pilotées par ordinateur permet d'accélérer la gravure des couches à tracer et de produire en petites quantités des cartes et des documents graphiques.

En 1972, le SHOM lance le projet de cartographie assistée par ordinateur CARTAS. Son but est de créer un outil permettant de numériser de manière vectorielle des documents graphiques[5], de manipuler l'information numérisée puis de la restituer sous forme graphique.

Les postes de travail informatisés apparaissent au cours de la décennie suivante. Les cartographes

5 Une cellule photo électrique commandée par ordinateur suit le contour des traits et les transforme en segments.

élaborent les cartes au moyen d'un poste cartographique interactif de première génération (PCI1). En parallèle, le SHOM lance une étude sur les cartes électroniques, aboutissant à une seconde génération de poste de travail : le PCI2.

Bien que les premiers systèmes d'exploitation des cartes électroniques soient apparus au milieu des années 1980, l'adoption des normes internationales dans ce domaine et les difficultés techniques retardent la fourniture de cartes au format numérique par les services hydrographiques. Le SHOM produit ses premières cartes dans ce format au début des années 2000.

De leur côté, les moyens d'impression sur papier subissent également des évolutions techniques. Le Service passe du concept de lot (impression d'un stock de cartes, conservation et mise à jour avant délivrance à l'unité) à celui de l'impression à la demande. En 2012, l'OCI de Toulon reçoit un traceur grand format déporté dont l'impression est pilotée à partir de Brest.

L'avenir

Nul ne connaît l'avenir, mais il faut quand même s'y préparer. En 2011, le SHOM lance une réflexion sur le renouvellement de ses moyens d'acquisition des données : navires et instruments. Le programme CHOF (capacité hydro-océanographique future) prend en compte les avancées techniques en cours, dont les engins autonomes, ou drones, et les techniques d'intelligence artificielle appliquées au traitement de gros volumes de données, l'évolution des besoins militaires et la réduction probable des moyens budgétaires. Il s'agira donc de faire plus avec moins. Le remplacement des trois bâtiments hydrographiques de 2ème classe *Borda*, *Lapérouse* et *Laplace* est prévu en 2025-2026.

Bibliographie

La Revue Hydrographique Internationale est publiée depuis 1923 en deux langues : anglais et français. Seule la version anglaise est consultable en ligne ; les titres des articles utilisés pour ce chapitre et mentionnés dans la bibliographie sont les titres de la version anglaise.

N°	Auteur	Titre - édition
1	(anonyme) - 1934	Methods of sounding - Revue hydrographique internationale - volume XI n°1 - 1934
2	(collectif) - 1946	International meeting on radio aids to maritime navigation - Revue hydrographique internationale - volume XXIII - 1946
3	(collectif) - 1947	Radio aids to marine navigation - Revue hydrographique internationale - volume XXIV - 1947
4	(chefs puis directeurs de missions) - 1947-2013	Rapports de missions publiés dans les Annales hydrographiques de 1947 à 2013
5	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1808	Exposé des méthodes employées pour lever et construire les cartes et plans qui composent l'atlas du voyage du contre-amiral Bruny-Dentrecasteaux - Voyage de d'Entrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tome I - Appendice
6	Bénéteau, Didier - 2002	Evolution de la photogrammétrie au SHOM - Bulletin Amhydro n°22 - 2002
7	Bérenguier, Pierre et Soulier, Jacques - 1973	Système Sylosat de localisation précise par satellites Transit - quatrième colloque sur le traitement du signal et ses applications - 1973
8	Blanchard, Walter - 2014	The genesis of the Decca navigator system - The journal of navigation - 2015
9	Blondel, André - 1930	Les Radiophares - Annales des Ponts et Chaussées - tome II, fascicule V - 1930
10	Brunel, André - 1957	Radio position-fixing systems in french hydrography - Revue hydrographique internationale - volume XXXIV n°2 - 1957
11	Caillemer, André - 1971	Astronomie de position, géodésie - 1ère édition 1971 et 2ème édition 1983
12	Chimot, Jean-Marc ; Mouscardès, Pierre ; Bisquay, Hervé ; Grenard, Patrick et Guillam, Yves - 1998	Levés hydrographiques et campagnes océanographiques : évolution, état de l'art et perspectives - Annales hydrographiques - n°769 5ème série volume 22 - 1998
13	Comolet-Tirman, André - 2007	Proposition de nouvelle rédaction du paragraphe GRAVIMÉTRIE de l'Histoire du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine - texte non publié
14	Correia, Paul - 2012	Guide pratique du GPS
15	Covillault, Pierre - 1979	Histoire du service hydrographique de la marine (de 1914 à 1970)
16	Fourgassié, Alain - 1990	La spatiocarte marine, une solution pour la cartographie des atolls polynésiens - Journées internationales Pix'iles 90 tenues à Nouméa et à Tahiti - 1990
17	Geiger, Rémi - 2019	Des atomes pour sonder la gravité - La Recherche - n°547 - mai 2019
18	Germain, Adrien - 1882	Traité d'hydrographie, levé et construction des cartes marines - ouvrage n°641A
19	Le Gouic, Michel - 1998	Evolution scientifique et technique du service hydrographique - Annales hydrographiques - n°769 5ème série volume 22 - 1998

20	Lunel, Jean - 1956	General comments regarding use of radiolocalisation systems and ultrasonic sounding in hydrography - Revue hydrographique internationale - volume XXXIV n°1 - 1957
21	Lurton, Xavier - 1998	Acoustique sous-marine - Présentation et applications
22	Marguet, Frédéric - 1931	Histoire générale de la navigation du XVe au XXe siècle
23	Poole, Ian - 1998	Basic Radio: Principles and Technology
24	Renard, Vincent et Allenou, Jean-Paul - 1978	Le SEA-BEAM, sondeur à multi-faisceaux du N/O Jean Charcot - description, évaluation et premiers résultats - Revue hydrographique internationale - volume LVI n°1 - 1979
25	Roubertou, André - 1971	Bathymetric surveying on the continental shelf - Revue hydrographique internationale - volume XLIX n°1 - 1972
26	Service central hydrographique - 1937	Manuel du breveté hydrographe - Tome 1 - hydrographie - 1937
27	Service central hydrographique - 1941	Manuel de l'aide-hydrographe - 2ème édition - 1941
28	Service central hydrographique - 1967	Manuel d'hydrographie - 2ème édition - 1967
29	Simon, Bernard - 2007	La marée - la marée océanique côtière
30	SHOM - 2003	GPS et navigation maritime - Guide du Shom 940 - 2003
31	SHOM - 2007-2019	Rapport annuels des années 2006 à 2018
32	SHOM - IGN - 2012	Litto3D® - v1.0 spécifications techniques - v1.5 - 2012
33	Shom - 2019	Guide du Shom pour la réalisation des levés hydrographiques
34	Tavernier, G - 1998	DORIS : orbite et localisation précises
35	Trevisan, Bernard - 2008	Les systèmes embarqués du SHOM - Épisode 1 - Bulletin Amhydro n°28 - 2008
36	Trevisan, Bernard - 2020	Le (radio)guidage est-il né dans les Alpes ? - Bulletin Amhydro n°40 - 2020

Autorisation No 03/2020

Le matériel provenant de la publication P-1 de l'OHI Revue Hydrographique Internationale (RHI) est reproduit avec la permission du Secrétariat de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) (Autorisation N° 03/2020), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI.

10 – l'hydrographie d'aménagement et de travaux

Les chapitres précédents ont traité principalement d'une hydrographie qui a pour but de produire des documents pour la sécurité de la navigation. Mais l'hydrographie peut aussi servir de support à d'autres activités. Elle fait alors intervenir de nouveaux acteurs, publics ou privés.

Les domaines d'application de l'hydrographie

La définition donnée à la fin du chapitre 1 indique que l'hydrographie « est la branche des sciences appliquées traitant du mesurage et de la description des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves, ainsi que de la prédiction de leur changement dans le temps, essentiellement dans l'intérêt de la sécurité de la navigation et a l'appui de toutes les autres activités maritimes, incluant le développement économique, la sécurité et la défense, la recherche scientifique et la protection environnementale. »

Dans le Répertoire national de la certification professionnelle, la fiche RNCP13591 décrit l'hydrographe comme « un spécialiste des techniques de mesure des différentes données environnementales marines et topographiques (positionnement, profondeurs, marée, courants, paramètres hydrologiques, température, nature du fond, gravimétrie, magnétisme…). Sa compétence dans le domaine de la bathymétrie[1] est orientée vers la satisfaction des besoins de sécurité de la navigation associés à la cartographie marine. Cette expertise particulière, essentielle dans l'exercice du métier d'hydrographe, le distingue des autres métiers de mesure océanographique ou géophysique. »

Ces définitions mettent en avant la sécurité de la navigation, qui est l'objectif historique de la pratique hydrographique. Depuis le siècle dernier, cette pratique est également mise en œuvre dans d'autres domaines, dont la gestion de l'eau, l'aménagement du territoire, l'exploitation des océans et la recherche scientifique.

La sécurité de la navigation

La sécurité de la navigation concerne les mers et les océans, les voies navigables (canaux et rivières) et les lacs. Elle recouvre plusieurs aspects : la documentation nautique, les aides à la navigation et l'entretien des profondeurs.

La documentation nautique

En France, le service hydrographique et océanographique de la marine (Shom) a la responsabilité de la documentation nautique : cartes, instructions nautiques et autres ouvrages, dans l'espace maritime français. Sa zone de responsabilité s'étend jusqu'à l'embouchure de certains fleuves. Les cartes du Shom couvrent, par exemple, la Seine jusqu'à Rouen, la Loire jusqu'à Nantes et la Garonne jusqu'à Bordeaux.

Le Shom fabrique également des documents nautiques pour les besoins spécifiques militaires, comme la navigation sous-marine.

L'élaboration de ces documents repose sur la détermination des profondeurs, la détermination du trait de côte et l'étude des courants, des marées, de la nature du fond de la mer et du magnétisme.

Les aides à la navigation

Les aides à la navigation permettent aux navigateurs de déterminer leur position, d'être informés et d'être guidés. Une partie de ces aides constitue la signalisation maritime, qui donne aux navigateurs des repères fixes leur permettant d'identifier les dangers et de choisir leur route dans les secteurs où la navigation présente des dangers spécifiques. Cette signalisation est constituée d'équipements installés soit en mer, soit sur la côte : le balisage, l'éclairage et les dispositifs radioélectriques.

Le balisage

Le balisage permet de signaler les dangers et les limites des chenaux de navigation. Il est constitué

[1] La bathymétrie est la mesure de la profondeur de la mer. Elle permet de révéler le relief du fond de la mer, des lacs et des cours d'eau. L'équivalent pour les terres émergées est la topographie.

de repères qui peuvent être des ouvrages fixes, construits sur des rochers, ou des ouvrages flottants, solidement ancrés sur le fond.

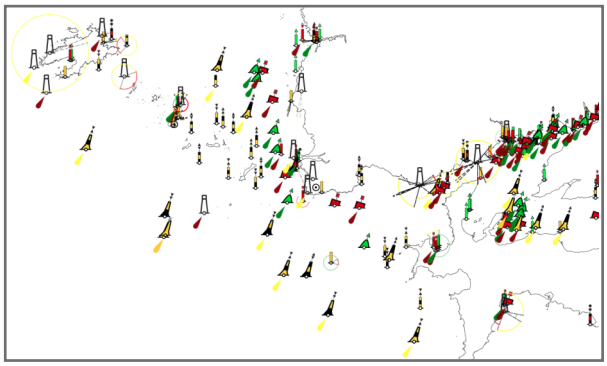
Les repères peuvent être équipés de feux pour être visibles la nuit, de dispositifs sonores actionnés par temps de brume et de réflecteurs radar qui augmentent l'écho radar de l'ouvrage afin d'en faciliter la détection.

Le balisage est constitué de cinq types de marques, fixes ou flottantes :

- marques latérales pour matérialiser un chenal navigable,
- marques cardinales pour matérialiser une zone de dangers - on trouve en général quatre marques autour de la zone de dangers : au nord, à l'est, au sud et à l'ouest,
- marques de danger isolé - pour les dangers ponctuels,
- marques d'eaux saines - pour situer les atterrages d'un port et le début de son chenal,
- marques spéciales.

A côté de ces repères, on trouve des aides visuelles permettant de matérialiser l'axe d'un chenal :

- par un alignement, constitué de deux marques distantes placées dans l'axe du chenal,
- par un feu de guidage - si le feu est blanc, on se trouve dans l'axe, s'il est vert ou rouge, on se trouve d'un côté ou de l'autre de l'axe.



1 - couche balisage de data.shom.fr - extrait correspondant à la zone Ouessant-Brest

L'éclairage

L'éclairage désigne les phares, des ouvrages fixes dotés d'un feu qui leur permet d'être visibles la nuit. Afin de pouvoir être identifiés de nuit par les navigateurs, ils éclairent dans une direction donnée de manière discontinue et parfois de manière et de couleur différente selon la direction d'où on les observe (feux à secteurs). Les phares sont placés sur la côte, sur des îles ou des rochers en mer et parfois sur des bateaux solidement ancrés (bateaux-phares).



2 - phare de l'île vierge (Finistère) - 1 éclat blanc toutes les 5 secondes - Richard Gertis, CC BY-SA 2.5 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5>, via Wikimedia Commons

La portée des phares varie selon leur rôle, des phares d'atterrissage permettant aux navigateurs venant du large d'identifier la côte sur laquelle ils arrivent, jusqu'aux petits phares marquant l'entrée d'un port.

Les phares sont parfois équipés de signaux sonores. Ils peuvent également héberger des dispositifs radioélectriques.

Les dispositifs radioélectriques

Les premiers systèmes radioélectriques mis en place étaient des radiophares, qui permettaient de déterminer la position d'un navire quelle que soit la visibilité.

En vue de côte, le navigateur déterminait régulièrement sa position (il « faisait le point ») en utilisant le principe de la triangulation. Il devait d'abord identifier deux, ou mieux, trois amers, qui sont des points remarquables portés sur la carte (clochers, tours, balises, phares, etc.), Il déterminait au compas[2] la direction, par rapport au nord de l'instrument, dans laquelle il voyait ces deux ou trois amers. Cette direction est le relèvement. Après avoir corrigé les relèvements de la déclinaison magnétique et de la déviation du compas, afin d'avoir leur valeur par rapport au nord géographique, le navigateur traçait sur la carte, à partir de chaque amer, les relèvements inversés de 180°. Leur intersection indiquait la position du navire au moment de l'observation (voir figure 1).

2 Se reporter au début du chapitre 2 pour la différence entre la boussole et le compas.

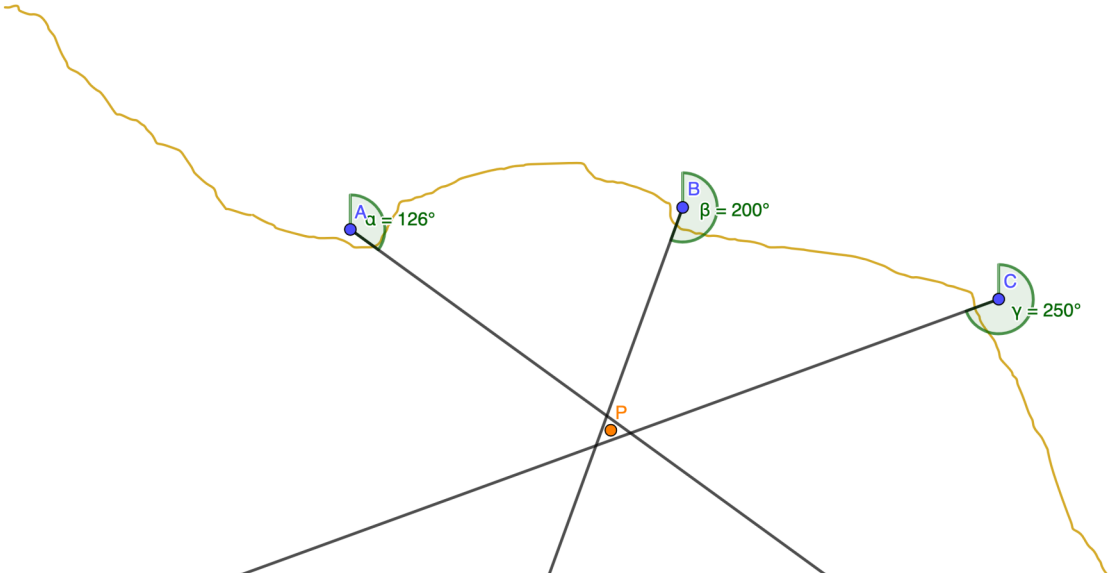


figure 1 - le navire a relevé A au 306°, B au 20° et C au 70°. Le tracé de ces angles à +/- 180° à partir des points A, B et C donne un petit triangle. La position P du navire est supposée être au centre de ce triangle.

Dans le cas d'un radiophare, la direction de l'émetteur du signal est fournie, à 180° près, par un radiogoniomètre installé à bord du navire. Une fois les relèvements radiogoniométriques déterminés, le navigateur les portait sur la carte de la même manière que les relèvements observés à la boussole.

Les premiers radiophares ont été installés en 1912 aux îles d'Ouessant et de Sein et sur le bateau-feu du Havre.

Après la seconde guerre mondiale, des systèmes de radiolocalisation (voir le chapitre 9) sont mis en place pour la navigation maritime et la pêche :

- Consol (1949),
- Decca,
- Toran,
- Syledis,
- Rana P17,
- Omega (1971-1997) : une des huit stations de ce système à couverture mondiale était placée à la Réunion et six stations Omega différentiel étaient installées en métropole et outremer,
- Loran C : deux stations étaient implantées sur le territoire français, à Lessay en Manche et à Soustons dans les Landes. Ces stations ont été fermées fin 2015.

De nos jours, les système de géolocalisation et de navigation par satellite (GNSS) sont les seuls systèmes de radiolocalisation en service. Ils ont l'avantage de combiner une portée mondiale et une grande précision, surtout lorsqu'on les utilise en mode différentiel. Un réseau de radionavigation DGPS a été installé dans ce but en métropole à partir de 1998. En 2003, ce réseau était composé de sept stations côtières (une en Manche, quatre sur la façade Atlantique et deux en Méditerranée). D'autres stations ont été installées outremer.

Dans un autre domaine, certains repères de balisage sont équipés d'un transpondeur radar, le RACON (Radar Beacon). Ce transpondeur modifie l'écho radar en y ajoutant une indication permettant de l'identifier, sous la forme d'une lettre en code Morse située derrière l'écho radar.



3 - écho radar d'une bouée RACON. L'écho dessine 3 traits qui correspondent à la lettre O en Morse - Clipper, CC BY-SA 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>, via Wikimedia Commons

Lien avec l'hydrographie

Tout projet de mise en place d'aides à la navigation nécessite au préalable la connaissance précise du relief sous-marin (profondeurs et natures du fond), des mouvements de la mer (marée, courants, houle) et des particularités météorologiques (brumes). A partir de cette description de l'environnement et des routes maritimes pratiquées, les concepteurs du projet déterminent les risques auxquels sont exposés les navigateurs. Ils peuvent alors décider des aides à mettre en place pour réduire ces risques.

A titre d'exemple, la France, ayant envahi la Tunisie en 1881 et y ayant instauré un protectorat, y créa l'année suivante une direction des Travaux publics. Les cartes disponibles, issues de levés réalisés par les britanniques entre 1865 et 1869 et complétées par des levés français de l'amiral Mouchez, n'étaient pas assez détaillées pour élaborer un plan d'éclairage. Aussi, à partir de mai 1882, une mission hydrographique de deux ingénieurs hydrographes et de plusieurs lieutenants de vaisseau effectua une reconnaissance complète et détaillée des côtes de Tunisie, incluant l'étude du régime des vents, des courants et des marées. Ces travaux durèrent jusqu'en 1886. La Commission des phares définit alors un projet général d'éclairage et de balisage des côtes du protectorat et les travaux de construction démarrèrent en 1887.

La mise en place des repères peut également nécessiter des études détaillées de l'environnement local. Par exemple, la longueur de la ligne de mouillage qui retient une bouée au fond doit être suffisante pour que la bouée flotte quelle que soit la hauteur de la marée mais pas plus que nécessaire afin de minimiser sa zone d'évitage, c'est à dire le périmètre dans lequel elle va évoluer en fonction des courants qu'elle subit et des variations de hauteur d'eau.

L'entretien des profondeurs

La structure du fond des mers et des cours d'eau peut évoluer avec le temps. Dans l'ouvrage publié à la suite de son levé sur les côtes françaises de la Mer du Nord en 1801-1802, Beautemps-Beaupré écrivait : « Nous préviendrons de plus les navigateurs que notre travail [...] ne devra être considéré comme bon dans toutes ses parties que pendant quelques années, à cause des changemens qui s'opèrent à la longue dans le système des bancs de ces parages. »

Les apports sédimentaires des fleuves et les courants qui déplacent les masses d'eau modifient le fond de la mer et des estuaires en amassant des sédiments ou en creusant des chenaux. Ces modifications peuvent être très rapides et, dans les zones de faible profondeur, affecter la navigation. Les ports, qui sont en concurrence entre eux, cherchent à accueillir les navires les plus grands. Pour cela, ils doivent leur garantir une profondeur minimale. Aussi, les organismes qui les gèrent font-ils exécuter régulièrement, parfois de manière hebdomadaire, des sondages précis dans les bassins portuaires et dans les chenaux qui y conduisent.

Ces sondages permettent de déclencher des opérations de conservation de la profondeur, qui peuvent consister à enlever les sédiments en excès, par une opération appelée dragage[3], ou à déplacer le balisage afin de matérialiser le nouveau chenal de navigation. Parfois, les ports entreprennent des opérations de modification du fond pour supprimer des rochers gênants pour la navigation : c'est le déroctage.

Le même besoin se retrouve dans les voies navigables intérieures, canaux et rivières, ainsi que dans les lacs. Cependant les apports de sédiments sont dans ce cas souvent saisonniers et les relevés bathymétriques sont moins fréquents.

Etant donné les coûts de ces travaux d'entretien, les relevés bathymétriques avant travaux doivent être réalisés avec une précision plus importante que lorsqu'ils sont réalisés pour la constitution des cartes marines (voir encadré n°1).

A la fin des travaux de dragage ou de déroctage, il est nécessaire d'exécuter un nouveau levé bathymétrique pour contrôler la bonne exécution du travail et vérifier la profondeur retrouvée.

Les matériaux prélevés lors des dragages peuvent être stockés en tant que déchets à terre ou immergés en mer, à condition qu'ils ne contiennent pas de polluants. Il peuvent également être réutilisés, par exemple pour le rechargement des plages. Leur dépôt en mer ou à la côte s'appuie sur la connaissance du relief sous-marin, de la nature du fond et des courants.

Lors des relevés bathymétriques, il est important de déterminer la consistance des dépôts sédimentaires. Elle peut aller d'une vase légère, qui ne gêne pas la navigation et est coûteuse à enlever, à une vase compacte, gênante pour la navigation mais plus facile à enlever.

3 A ne pas confondre avec le dragage hydrographique qui consiste à détecter les relèvements de fond au moyen d'un câble déplacé horizontalement dans l'eau à une profondeur donnée.

Encadré n°1 : le relief sous-marin sur les cartes marines

L'objectif d'une carte marine est la sécurité de la navigation. Dans ce but, les hydrographes privilégient la facilité d'utilisation de la carte, qui se traduit en particulier par une simplification du relief sous-marin.

Couverture de l'exploration du fond

Au début du XIXe siècle, lorsque les navires à voile avaient un tirant d'eau limité et ne pouvaient naviguer que dans des zones où ils avaient un espace suffisant pour manœuvrer, les hydrographes se concentraient sur la recherche et la localisation précise des dangers dans les zones navigables. Les cartes ne fournissaient que peu d'indications sur la profondeur et sur la nature du fond en dehors de ces zones. L'utilisation du plomb de sonde ne permettait pas de toute façon d'envisager d'explorer le fond de manière complète.

Dans la carte particulière de la chaussée de Sein levée en 1817, Beautemps-Beaupré indique : « Le Grand Plateau de roche connu sous le nom de Chaussée de Sein est tellement dangereux dans toute son étendue que nous pouvons affirmer que tout Navigateur qui le traversera sans le secours d'un bon Pilote de l'Ile de Sein, ne devra son salut qu'à un heureux hasard. Nous ne pouvons pas espérer d'avoir trouvé tous les Roches à craindre qui existent à l'extrémité occidentale de cet affreux récif. »

Plus tard dans le siècle, les hydrographes sondent en suivant un réseau de lignes parallèles, les profils de sonde[1], qui permet de quadriller la zone à sonder, de tracer les courbes de niveau et de mettre en évidence les relèvements de fond qui sont ensuite explorés de manière serrée afin d'en déterminer les points hauts. L'écart entre deux profils est tel que deux profils adjacents soient écartés d'environ 1 cm sur la minute de rédaction. Cet écart dépend donc de l'échelle de la rédaction. Cependant il est recommandé de resserrer les profils par faible profondeur, dans les régions rocheuses et dans les zones de navigation intense, l'objectif étant d'être capable de détecter les prémisses d'un relèvement de fond.

Le dragage hydrographique, utilisé dans les chenaux et points de passage obligés, permet de s'assurer d'une profondeur minimale dans la zone draguée, ou de découvrir de nouveaux dangers. Il ne fournit pas, par contre, de détails sur le relief de la zone.

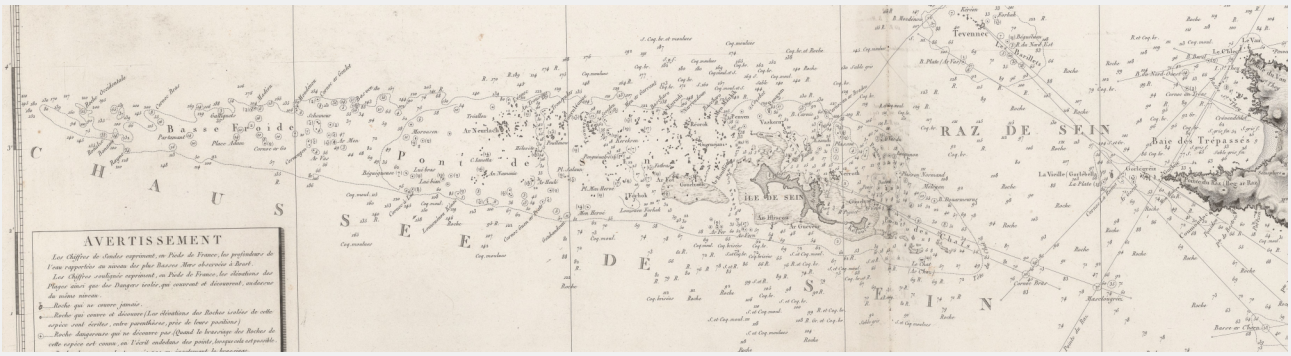
L'arrivée du sondage au son et à l'ultrason a permis d'avoir le fond « en continu » le long des profils de sonde. Cependant, là où le plomb de sonde indiquait la profondeur à la verticale[2], les nouveaux sondeurs fournissent le signal complexe de la réponse d'une portion du fond située dans le cône de projection du sondeur, qui peut être assez éloigné de la verticale en cas de houle, s'il n'est pas stabilisé. Comme, par souci de sécurité, l'hydrographe retient la profondeur la plus faible et s'intéresse donc au début du signal de retour de l'écho, cette profondeur peut être différente de la hauteur d'eau réelle entre la base du sondeur et le point du fond situé à sa verticale.

Le sondeur multi-faisceaux fonctionne selon les mêmes principes. La bande sondée perpendiculairement au déplacement du navire contient un nombre de points de sonde qui correspond au nombre de voies du sondeur, chaque point de sonde indiquant la profondeur la plus faible dans la surface correspondant à la voie.

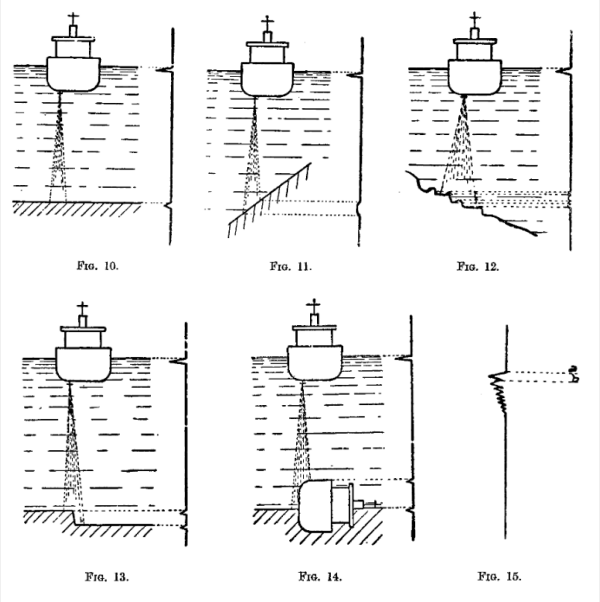
Le sonar latéral, par contre, fournit une image du fond très détaillée, où le relief est mis en évidence

1 Voir l'encadré n°1 du chapitre 9.

2 En négligeant l'effet du courant et hors cas particulier du glissement accidentel du plomb le long d'une aiguille rocheuse.



4 - extrait de la carte particulière de la chaussée de Sein et du passage du Raz de Sein, levée en 1817 et publiée dans la première partie du Pilote français en 1822 ; le plateau est entouré de points, invitant le navigateur à ne pas s'y aventurer - cote GE CC-1194/Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



5 - forme de l'écho reçu par le sondeur à ultrason en fonction de la configuration du fond - Echo sounding II - Some recent Ultra-Sonic Instruments - Revue hydrographique internationale - volume XV-2 - novembre 1938

par les zones d'ombre, mais où les profondeurs ne sont pas connues.

Précision de la profondeur mesurée

Les sondeurs au son et aux ultrasons mesurent un temps qui est transformé en distance par utilisation de la vitesse du son dans l'eau. La détermination de la vitesse à utiliser, qui varie selon la profondeur, la température et la salinité de l'eau, n'a pas toujours été précise dans le passé, conduisant à obtenir des profondeurs approximatives.

Origine des profondeurs

Les hydrographes français ont trouvé pratique d'utiliser la même origine pour la marée et pour les profondeurs. En observant la marée pendant plusieurs mois en un point de la côte avec une échelle de marée, ou mieux, un marégraphe, on peut déterminer le niveau moyen de la mer et l'écart entre ce niveau et la plus grande basse mer observée[3]. On attribue à cette basse mer la valeur zéro. Les variations de hauteur d'eau provoquées par la marée sont fournies aux navigateurs par rapport à ce zéro. De même, les profondeurs sur la carte sont indiquées par rapport à ce zéro, appelé zéro hydrographique. Ainsi la hauteur d'eau à tout instant est, au minimum, celle qui est indiquée sur la carte et pour obtenir la hauteur d'eau à un instant donné en un point particulier, il suffit de déterminer la hauteur d'eau due à la marée à l'instant choisi et de l'ajouter à la profondeur lue sur la carte à cet endroit. Ce système a cependant l'inconvénient de ne pas être homogène : en effet, il n'y a pas un zéro hydrographique mais plusieurs zéros, pour différentes raisons :

- la marée au large a une faible amplitude. En arrivant dans les petits fonds son amplitude augmente et l'amplitude à la côte varie selon la configuration du relief sous-marin et de la côte : pour la France métropolitaine, l'amplitude va de 0,4 m à Marseille à 13,6 m à Saint-Malo, en passant par 4,9 m à Hendaye et 7,7 m à Brest. L'altitude de la plus grande basse mer par rapport au niveau moyen de la mer varie donc de -0,2 à -6,8 m.

- les niveaux moyens des différents ports ne sont pas à la même altitude par rapport à un repère terrestre fixe. A Dunkerque, le niveau moyen se trouve 60 cm au-dessus de celui de Marseille. De plus, ce niveau moyen varie dans le temps, comme on le constate à notre époque avec la montée du niveau de la mer.

- par sécurité, les ingénieurs hydrographes ont adopté un zéro hydrographique un peu plus bas que la plus basse mer constatée. La hauteur de la mer est en effet modifiée légèrement par les phénomènes météorologiques, dont le vent et la pression atmosphérique. En Méditerranée, l'effet du vent sur la hauteur de la mer est à peu près du même ordre que celui de la marée.

Enfin, à partir d'une certaine profondeur[4], il est d'usage de ne plus appliquer de correction de marée, ce qui entraîne une discontinuité dans la représentation des profondeurs sur la carte.

Depuis l'apparition du GPS différentiel, on peut sonder sans tenir compte de la marée, en mesurant la profondeur au-dessus d'un ellipsoïde de référence, le GPS fournissant l'altitude de l'antenne par rapport à cet ellipsoïde, d'où l'on déduit l'altitude du sondeur. L'altitude du zéro hydrographique doit également être déterminée par rapport au même ellipsoïde, ce qui permet de rapporter ensuite les sondes au zéro hydrographique.

Précision de la localisation des sondes

La précision de la position d'une sonde sur la carte dépend de la technique de localisation employée

3 On considère qu'il faut observer la marée pendant 19 ans pour obtenir une bonne valeur de la plus basse mer astronomique, mais une observation pendant 1 an fournit déjà des résultats exploitables.

4 200 m actuellement

par les hydrographes pendant le levé. Aujourd'hui, les systèmes de localisation par satellites permettent d'obtenir une précision meilleure que le mètre, mais de nombreuses cartes en service contiennent encore des informations provenant de levés anciens, bien moins précis. Cette indication figure dans la légende des cartes marines récentes.

Litto3D®

Sur la terre, en France métropolitaine, les altitudes sont comptées à partir d'un zéro unique depuis le 13 janvier 1860 : le zéro N.G.F. (pour nivellement général de la France) Bourdalouë. Il s'agit du niveau moyen à Marseille, à la cote 0,40 m de l'échelle de marée en marbre du Fort Saint-Jean. Ce zéro a été remplacé en 1890 par le zéro N.G.F. Lallemand (cote 0,329 m de l'échelle de marée). En 1969, ce nouveau zéro a été remplacé par le zéro N.G.F. - I.G.N. 1969. En fait, ce zéro est le même à Marseille mais, le mode de calcul étant différent, il aboutit à un écart de 60 cm à Dunkerque.

La mise en concordance des altitudes des géographes de l'IGN et des profondeurs des hydrographes du Shom n'étant pas aisée, les deux organismes collaborent, depuis 2003, pour effectuer des levés aéroportés de la bande côtière (voir chapitre 9). Aujourd'hui, les données unifiées Litto3D® sont des données de référence utilisées pour la prévention des risques de submersion marine, la gestion du trait de côte, l'aménagement du littoral, le développement des énergies marines renouvelables, la protection de l'environnement ou encore l'éducation à la mer et la valorisation du patrimoine naturel et culturel du littoral.

La gestion de l'eau

Sur notre planète, 97,2% de l'eau est salée et se trouve dans la mer et les océans. Le reste, soit 2,8%, est de l'eau douce qui peut être sous forme de glace (2,1% de l'eau totale) ou sous forme liquide (0,7% de l'eau totale). Une partie de cette dernière, stockée dans les nappes souterraines profondes, est inaccessible.

L'eau circule sur la terre selon un cycle sans fin : elle s'évapore et forme des nuages qui se déplacent avec le vent. Sous certaines conditions, ces nuages restituent leur eau qui retombe à l'état liquide ou solide. Lorsqu'elle tombe sur la terre ferme, une partie de l'eau (un quart) ruisselle et rejoint le réseau hydrographique : ruisseaux, rivières et fleuves, avant de gagner la mer. Une autre partie (un dixième) s'infiltre dans le sol où elle peut être absorbée par les végétaux, stockée dans une nappe ou rejoindre un cours d'eau souterrain. Le reste de l'eau (les deux tiers) s'évapore.

L'eau douce est indispensable au maintien en vie des êtres vivants : humains, animaux et végétaux, mais elle a de nombreux autres usages :

- cuisson des aliments,
- lavage et nettoyage,
- transport d'objets dans des canalisations (des déchets par exemple),
- chauffage et refroidissement,
- réactions chimiques pour l'industrie,
- production d'énergie (centrales hydroélectriques),
- navigation fluviale.

En France, les prélèvements d'eau sont effectués selon la répartition suivante :

- production d'énergie (59%)
- industrie (10%)
- agriculture (12%)
- collectivité (19%)

La répartition de la consommation d'eau est différente, car certaines activités rejettent l'eau après l'avoir prélevée :

- production d'énergie (22%)
- industrie (6%)
- agriculture (48%)
- collectivité (24%)

La surveillance des hauteurs et des débits

La surveillance des cours d'eau s'effectue par bassin versant, zone géographique où toute goutte d'eau qui tombe est susceptible de rejoindre par ruissellement le même cours d'eau principal. Les organismes chargés de cette surveillance installent sur l'ensemble du bassin un réseau de stations de surveillance. Ces stations utilisent plusieurs capteurs :

- des pluviomètres, pour mesurer la quantité d'eau précipitée,
- des thermomètres, pour déterminer la température de l'air,

- des limnimètres, pour mesurer la hauteur des cours d'eau.

Les stations de surveillance transmettent régulièrement leurs mesures à un système informatique qui permet de présenter la situation instantanée dans le bassin et d'effectuer des prévisions.

Les prévisions concernent deux informations importantes pour la gestion de l'eau et liées entre elles : les débits et les hauteurs d'eau.

La prévision des débits permet de connaître par avance les volumes d'eau disponibles pour la production d'énergie hydroélectrique, les besoins agricoles, ceux de l'industrie, le refroidissement des centrales nucléaires, etc.

La prévision des hauteurs d'eau permet de déterminer les risques de crues et les risques d'étiage (niveau très bas) qui peuvent interdire l'alimentation en eau et la pratique de la navigation.

Grâce à ces prévisions, les organismes chargés de la surveillance des cours d'eau peuvent alerter les autorités publiques en cas de danger et, dans une certaine mesure, limiter les excès en vidant les barrages et les retenues d'eau :

- avant une crue, avec un débit maîtrisé, pour absorber ensuite une partie de l'eau en excédent,

- pendant les étiages, avec un débit réduit, pour assurer un niveau d'eau minimum en aval.

La relation entre hauteur d'eau et débit à un point précis d'un cours d'eau est fournie par une courbe de tarage (voir encadré n°2). L'établissement de cette courbe, qui indique pour une hauteur donnée le débit correspondant, se fait le plus souvent par jaugeage. Pour cela, il faut effectuer plusieurs opérations à caractère hydrographique au même endroit :

- mesure de la hauteur d'eau, avec des instruments similaires à ceux qui sont utilisés pour la marée : échelle graduée, limnimètre à flotteur ou radar.

- détermination de la section transversale du cours d'eau ; dans le passé, on déterminait les profondeurs d'une berge à l'autre en installant une corde graduée tendue entre les deux berges puis en mesurant, en plusieurs points le long de la corde, les différentes profondeurs avec une mire graduée. La mesure se fait aujourd'hui au moyen d'une embarcation équipée d'un sondeur.

- mesure du courant en plusieurs points de la section transversale et à différentes profondeurs, la vitesse d'écoulement de l'eau étant variable dans la section. La mesure du courant se faisait en général au moulinet. Aujourd'hui on utilise des courantomètres à effet doppler qui fournissent les différentes vitesses d'écoulement au même point, à différentes profondeurs.

La surveillance de la qualité de l'eau

A côté de la surveillance quantitative de l'eau, certains organismes procèdent également à une surveillance qualitative, aussi bien de l'eau que des sédiments. Cette surveillance repose sur des stations de mesure automatiques et sur des analyses en laboratoire d'échantillons prélevés sur le terrain.

L'aménagement du territoire

Les travaux maritimes et fluviaux

L'aménagement ou l'agrandissement d'un port entraîne des travaux, comme la construction de digues et de quais ou le creusement de chenaux, qui s'appuient sur une bonne connaissance du relief sous-marin, de la nature du fond, des courants et de la marée, à la fois pour calculer le volume des matériaux à enlever ou à apporter et pour s'assurer de la tenue dans le temps de l'ouvrage réalisé.

Dans le domaine maritime, ces travaux concernent :

- les ouvrages d'aide à la navigation : phares et balises,

- les ouvrages de navigation : chenaux, estuaires, digues, rivières maritimes,

- les ouvrages permettant de mettre à l'abri, de décharger et de construire ou d'entretenir les navires : ports de pêche, de plaisance et de commerce et les ouvrages associés : quais, écluses, formes de radoub,

- les ouvrages de protection contre les inondations côtières : digues, épis,

- les ouvrages de production d'énergie : hydroliennes et éoliennes.

Dans le domaine fluvial, on peut citer :

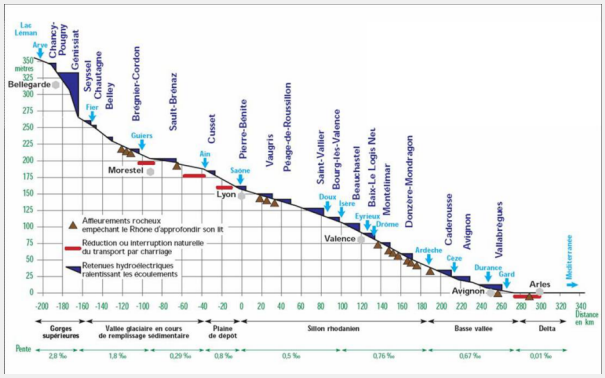
- les ouvrages de navigation, constitués de zones naturelles aménagées ou d'ouvrages artificiels : fleuves, rivières, canaux, lacs, écluses, ponts, barrages,

Encadré n°2 : l'hydrographie fluviale

Particularités

L'hydrographie dans les plans d'eau et les cours d'eau : canaux ou rivières navigables, diffère de l'hydrographie maritime par plusieurs aspects.

Les cours d'eau présentent une pente qui interdit l'usage d'un référentiel lié au niveau de l'eau. Le référentiel utilisé est le zéro N.G.F. et des échelles de mesure, dont le zéro est déterminé par rapport au zéro N.G.F., doivent être placées régulièrement le long des berges. Le niveau d'eau à l'échelle doit être observé au moment du sondage afin de ramener les sondes au zéro N.G.F. Le sondage au-dessus d'un ellipsoïde de référence est également possible.



6 - profil d'altitude du Rhône le long de son cours ; l'échelle des altitudes est exagérée environ 700 fois - Couvert, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons

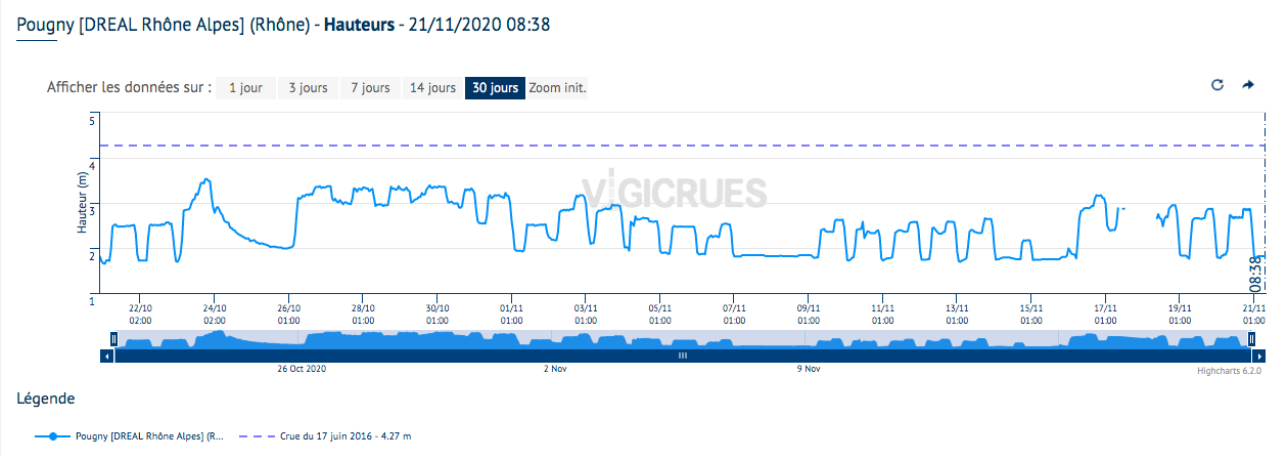
Contrairement à la mer, les variations de niveau sont irrégulières et peuvent être rapides. L'illustration 7 montre l'évolution du niveau d'eau à la station de mesure de Pougny.

Les cours d'eau étant longs et étroits, la localisation y était compliquée avant l'apparition de la localisation par satellite. Elle se faisait en général par un opérateur situé sur la berge, travaillant en gisement et distance. L'opérateur devait se déplacer sur des stations établies au préalable, peut-être localisées aux PK (points kilométriques), une pratique de repérage linéaire utilisée, par exemple, dans les réseaux ferroviaires. Aujourd'hui, l'encaissement de certains cours d'eau ou la présence de végétation sur les berges peuvent perturber la localisation par satellite en masquant une grande partie du ciel et en générant des réflexions parasites.

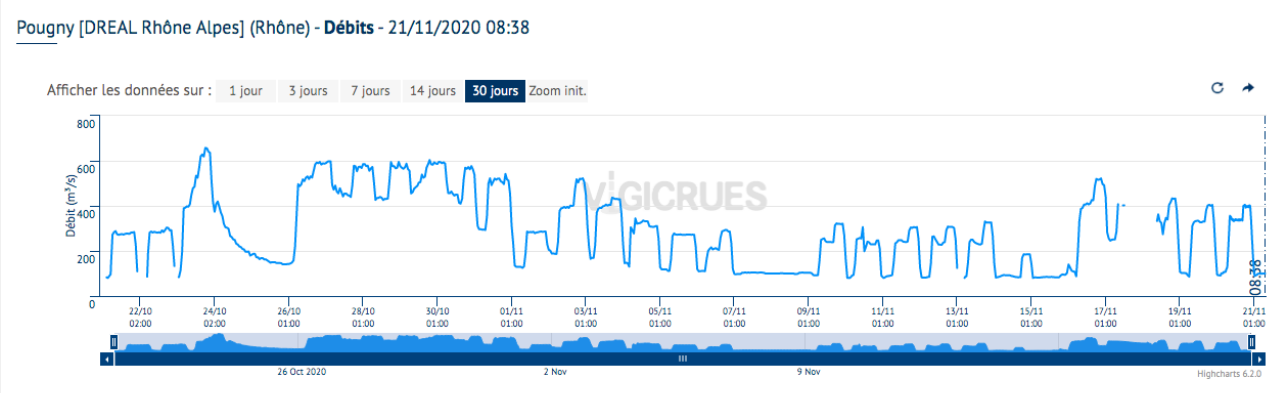
L'évolution du fond des cours d'eau est liée à leur débit. Un débit moyen transporte les sédiments vers l'aval, sans dépôt. Un débit trop faible permet le dépôt des sédiments. Par contre un débit trop important (crue violente) entraîne une reconfiguration complète du fond. Certains cours d'eau sont fermés à la navigation pendant la mauvaise saison et nécessitent un sondage complet à l'issue des crues hivernales avant de pouvoir reprendre la navigation.

Les parties immergées des berges et des ouvrages situés le long d'un cours d'eau peuvent faire l'objet d'inspections réalisées visuellement ou au moyen de sonars ou de sondeurs multi-faisceaux.

Enfin, le courant, continu, porte dans un seul sens, sauf à proximité de la mer ou la marée peut remonter dans le cours d'eau. La détermination de la vitesse du son dans l'eau est importante pour la qualité des sondages : si la profondeur joue peu, sauf dans certains lacs, la température et la salinité de l'eau varient dans le temps et dans l'espace.



7 - hauteurs d'eau du Rhône mesurées sur une période de 30 jours en octobre-novembre 2020 à la station de Pougny, dans l'Ain, point d'entrée du fleuve en France - site www.vigicrues.gouv.fr



8 - débits d'eau du Rhône sur la même période que l'illustration précédente et à la même station - site www.vigicrues.gouv.fr

Sondage des cours d'eau

Dans le passé, les sondages des cours d'eau se limitaient aux profils en travers. Ces profils étaient utilisés pour effectuer des mesures de courant à différents niveaux d'eau et à différentes profondeurs, une opération appelée jaugeage, afin d'obtenir une courbe de tarage mettant en relation débit et niveau d'eau.

Le sondage des profils en travers se faisait en tendant un câble gradué, par exemple tous les cinq mètres, entre les deux berges, puis en mesurant les profondeurs le long du câble au moyen d'une sonde, d'une mire graduée de topographe ou d'un ruban gradué et lesté[1].

Dans les estuaires, les sondages se pratiquaient à la façon des hydrographes.

En 1936, un ingénieur hydrographe de la marine est envoyé en mai et juin à Strasbourg pour juger si les méthodes hydrographiques peuvent être appliquées sur le Rhin et dans l'entrée du port de Strasbourg. L'examen ayant été favorable, l'ingénieur donne alors les directives au personnel des ponts et chaussées appelé à pratiquer les sondages et commence leur entraînement.

En 1937, la vedette *Echo* du service maritime de la Loire-Inférieure est équipée d'un sondeur Husun B.B.T. à magnétostriction[2]. A peu près à la même époque, la Compagnie nationale du Rhône (CNR) équipe une de ses vedettes d'un sondeur à ultrason pour le sondage entre Lyon et la mer. La vedette se localise grâce aux nombreux repères qui jalonnent le Rhône, une marque étant inscrite sur la bande de sonde au passage de chaque borne kilométrique.

En 1976, le service de navigation de la Seine fait construire une vedette, l'*Ecoranda*, pour sonder par bande. A cet effet, la vedette, d'une longueur de 28,5 m, est équipée de deux propulseurs, un à chaque extrémité, afin de sonder « en travers ». Sous la coque se trouvent 41 transducteurs disposés sur l'axe de la vedette et espacés de 0,5 m. Ils constituent un sondeur surfacique multitransducteurs BOMA 10 qui permet de balayer 20 m d'un coup, avec une sonde par seconde, soit un kilomètre de fleuve par jour. La vedette est utilisée pour le contrôle du chenal, le suivi des dragages et autres travaux sur le fond, la recherche de voitures immergées…



9 - la vedette *Ecoranda* en sonde « en travers » - photo V. Artus

Une autre manière de sonder par bande est de placer les sondeurs sur des bras déployés de chaque côté du navire. C'est le cas de l'*Agrion*, de Voies navigables de France (VNF) et du *Frédéric Mistral* de la CNR. Equipé d'un sondeur multi-faisceaux depuis quelques années, le navire de la CNR possédait auparavant deux bras sondeurs de 15 m chacun pouvant être repliés le long de la coque ou dépliés de part et d'autre du navire. Le navire présentait alors, d'un bras à l'autre, 48 sondeurs, distants de 0,8 m, qui permettaient de lever une bande du fleuve en remontant le courant à 3 km/h.

1 Pratique encore en cours dans les année 1980.
2 Sondeur fabriqué par Henry Hugues and Son à Londres et importé par la Société des Anciens Établissements Barbier, Bénard et Turenne.

- les ouvrages permettant de mettre à l'abri et de décharger les bateaux : ports fluviaux ou de plaisance, quais, et autres ouvrages similaires,

- les ouvrages de lutte contre les inondations : berges, digues, bassins d'expansion,

- les ouvrages destinés à la production d'énergie, comme les barrages hydroélectriques.

Les câbles et conduites sous-marins

Le premier câble sous-marin a été posé en 1851. Il établissait une liaison télégraphique entre Calais et Douvres. La pose de câbles transatlantiques débuta peu après, mais sans succès. Il devint évident qu'il fallait connaître au préalable la profondeur et la nature du fond sur le trajet prévu pour le câble. Des sondages grand fonds furent alors réalisés (voir encadré n°3) et le premier câble transatlantique télégraphique fut posé avec succès en 1866.

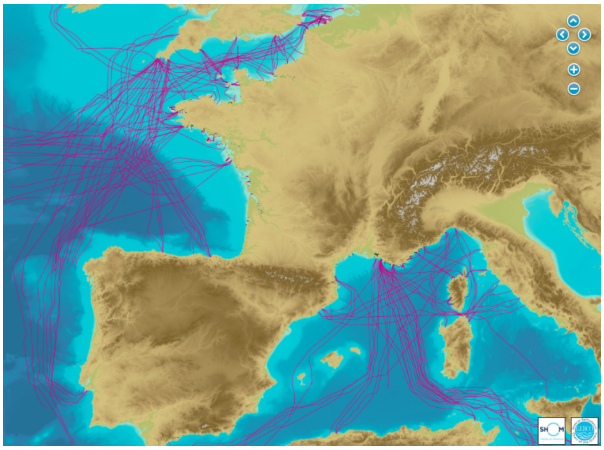
Les liaisons téléphoniques posaient un autre problème : le signal téléphonique s'affaiblit rapidement et il est nécessaire de le régénérer sur l'étendue de son parcours, au moyen de répéteurs utilisant des lampes électroniques plutôt fragiles. Ce n'est donc qu'en 1950, lorsque le progrès technique permet de construire des répétiteurs immergés, qu'est posé le premier câble téléphonique sous-marin.

De nombreux câbles sous-marins sont alors mis en place. A partir de la fin des années 1980, les câbles sont constitués de fibres optiques. Ils supportent aujourd'hui une grande partie des télécommunications internationales (voix, télévision et données numériques, incluant Internet).

A côté de ces câbles de télécommunication, on trouve des câbles qui acheminent l'électricité dans les îles et vers les plates-formes pétrolières en mer (plates-formes off-shore), ainsi que d'autres câbles qui récupèrent l'électricité produite dans les parcs éoliens en mer.

Le sous-sol marin sert également de support à un autre réseau, celui des conduites sous-marines. Ces conduites, souvent désignées sous leur nom anglais pipe-line, permettent de faire circuler du gaz, du pétrole ou de l'eau. Elles sont notamment utilisées pour récupérer la production des plates-formes off-shore d'extraction de pétrole ou de gaz. On trouve également sur le fond de la mer des conduites courtes qui servent aux rejets en mer : eaux traitées par les stations d'épuration, boues industrielles, matériaux issus de dragages, eau de refroidissement des centrales nucléaires.

La connaissance de la bathymétrie, de la nature et de la structure du fond permet de choisir le tracé sous-marin de ces câbles et conduites. Les études peuvent être complétées par celle du sous-sol et par la recherche d'éventuels engins métalliques au fond au moyen d'un magnétomètre. Pour les conduites de rejet en mer, il faut en plus prendre en compte les courants marins.



10 - couche câbles et conduites de data.shom.fr

La protection du littoral

Le littoral est soumis à deux menaces : l'érosion des côtes et le risque de submersion.

L'érosion des côtes

Les mouvements de la mer, parfois combinés à d'autres causes (vent, pluie, gel, etc.), agissent sur le littoral en érodant certaines parties de la côte et en comblant d'autres parties avec les matériaux transportés.

L'érosion des falaises est très lente lorsque les roches sont dures. Pour les roches friables des côtes normandes, le recul était estimé dans les années 1920 à un tiers de mètre par an en moyenne, avec de grandes variations (le cap de la Hève aurait reculé de 1 500 m en 800 ans).

Les matériaux provenant de cette érosion et des apports des fleuves sont transportés par la houle, les courants et le vent, tout en étant transformés par l'action de la mer. On les trouve sous forme de galets, de graviers, de sables et de vases. Ces matériaux viennent former des plages, qui se prolongent sous le niveau des plus basses mers. Ils viennent également combler les baies et sont à l'origine de la formation d'étangs salés.

Le risque de submersion

La variation du niveau de la mer à la côte fait courir un risque de submersion des zones côtières. Aussi, la connaissance du niveau de la mer et des causes de sa variation est-elle importante pour la

Encadré n°3 : le sondage par grands fonds

Le sondage par grands fonds, qui a été l'objet de quelques tentatives depuis Magellan, ne commence vraiment à progresser qu'avec le besoin de poser des câbles télégraphiques entre les continents, et donc, au préalable, de connaître la profondeur et la nature du fond sur le chemin du câble.

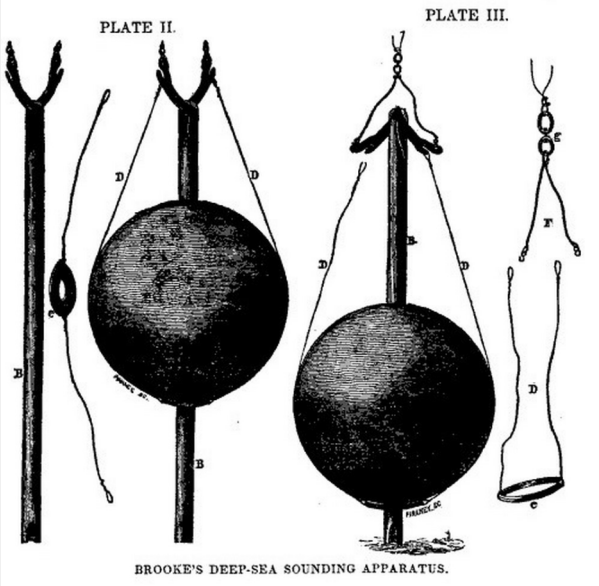
Les sondages se font alors toujours avec un plomb de sonde suspendu à un filin. Celui-ci doit être assez solide pour supporter le poids du plomb à la remontée. A partir d'une certaine profondeur, plusieurs problèmes apparaissent :

- il est difficile de déterminer le moment où le plomb touche le fond, car le filin continue à se dérouler sous l'effet de son propre poids et sous celui du courant,
- la précision de la mesure dépend de la graduation du filin, qui peut atteindre plusieurs kilomètres de long, et sa déformation lors de l'opération est inconnue,
- il n'est pas possible de ramener un échantillon du fond,
- la remontée à la main est lente et le sondage, qui dure des heures, doit se faire à l'arrêt. Au-delà de 200 m de profondeur, il faut utiliser un treuil à vapeur. En 1840, Sir John Ross effectue des sondages à plus de 4 000 m dans l'Atlantique sud. La remontée de la ligne prend la journée.

L'idée de laisser le plomb au fond s'impose. Une solution consiste à utiliser un filin supportant le poids du plomb à la descente mais pas à la remontée, où il va se rompre. Des sondages sont réalisés avec une ligne en soie enroulée sur une bobine. La ligne s'arrête d'elle même lorsque le plomb touche le fond et elle se remonte facilement avec deux hommes. Un sondage à 3 000 m avec cet équipement prend moins d'une heure et demi.

Le français Aimé met au point, en 1845, un dispositif qui décroche le plomb. Le dispositif est actionné par un messager que l'on fait glisser le long de la ligne à partir de la surface, une fois le fond atteint.

De son côté, l'aspirant de la marine des Etats-Unis Brooke invente, en 1854, un mécanisme qui permet de laisser le plomb au fond une fois qu'il l'a atteint et de remonter un tuyau suiffé avec un échantillon du fond.



11 - le mécanisme de décrochage du plomb de Brooke - William Maury Morris aka [II], Public domain, via Wikimedia Commons

La vitesse de déroulement de la ligne, croissante tant que le plomb descend, devient par la suite uniforme. Aussi, en mesurant le temps de descente de la ligne et en observant l'instant où sa vitesse se stabilise, on peut, grâce à des tables dressées par l'expérimentation, déterminer la profondeur atteinte. A titre d'exemple, un plomb de 14,5 kg atteint, avec une ligne standard, la profondeur de 2 740 m en 4 minutes.

Le progrès suivant est liée à l'arrivée des fils métalliques à partir de 1872. La corde à piano est d'abord utilisée. Son diamètre de 0,8 mm la rend insensible à l'action du courant. Elle a par contre le désavantage de faire des coques et de casser facilement. Aussi la remplace-t-on assez vite par un câble galvanisé de 2 à 3 mm de diamètre, qui est également plus souple.

Ces fils métalliques sont mis en œuvre par des machines à sonder. La chute du poids utilisé pour sonder, en plomb ou en fonte, entraîne le fil métallique enroulé sur un tambour et passant par une poulie compteuse accrochée par un ressort. Dès que le poids touche le fond, le ressort rappelle la poulie et la fait remonter. Par ce déplacement, la poulie, solidaire d'un frein à ruban, bloque immédiatement le tambour. En fonction du câble, à partir d'une certaine profondeur, il faut abandonner le plomb au fond car, à la remontée, on dépasserait la charge de rupture du câble.

Les machines à sonder sont remplacées au XXe siècle par les sondeurs au son, qui permettent d'atteindre de grandes profondeurs.

protection des biens et des personnes. La variation du niveau de la mer peut-être provoquée par les facteurs suivants :

- la modification du relief sous-marin, conséquence du déplacement des plaques tectoniques et de l'apport de sédiments,
- la modification de la température et de la salinité de l'eau de mer, qui change sa densité et la dilate ou la contracte[4],
- la modification de la répartition de l'eau entre les océans, les eaux continentales, incluant les glaces, l'atmosphère et le vivant,
- la modification de la pression atmosphérique (surcote ou décote météorologique),
- la marée,
- la remontée des fonds à l'approche de la côte,
- le vent et les vagues.

La gestion du trait de côte

L'étude de la dynamique des mouvements du littoral a d'abord été connue sous le nom de régime des eaux, puis de régime des côtes. Aujourd'hui, on parle de gestion du trait de côte.

Les premières mesures prises, au XIXe siècle, consistaient à protéger le littoral par la réalisation d'ouvrages destinés à lutter contre les conséquences des phénomènes. De nos jours, l'approche est plus indirecte et on cherche à s'attaquer aux causes des phénomènes, par exemple en protégeant les dunes de sable. Dans certains cas, il n'y a d'autre issue que l'abandon des zones menacées.

L'exploitation des océans

L'exploitation des océans recouvre des activités aussi variées que la pêche professionnelle ou de loisir, l'aquaculture, le prélèvement de sables et de graviers, les déversements en mer, la production d'énergie en mer et l'extraction de pétrole, de gaz et de minerais.

Ces activités nécessitent la connaissance préalable des profondeurs, des fonds, des marées et des courants.

La recherche scientifique

La recherche scientifique fait également appel à l'hydrographie. Ainsi, pour les besoins de ses recherches sur le plateau continental, l'Ifremer utilise des produits externes :

- images satellites,
- photographies aériennes,
- relevés Lidar aériens de la zone littorale et des petits fonds avoisinants,

ainsi que des données acquises par ses équipes :

- sondages au sondeur multi-faisceau, au sondeur latéral et au sondeur de sédiment,
- structure du sous-sol par analyse des différents échos d'une onde sonore (sismique réflexion),
- prélèvements de fonds, carottes,
- photographies et video sous-marines.

D'autres activités de recherche utilisent des équipements hydrographiques. L'archéologie sous-marine, par exemple, utilise le sondeur mono ou multi-faisceaux, le sondeur latéral, ainsi que la photogrammétrie sous-marine (voir encadré n°4).

Autres domaines d'application de l'hydrographie

L'hydrographie sert également dans d'autres domaines, comme par exemple la modélisation de la dérive de surface, utilisée dans la lutte contre les pollutions et le sauvetage en mer.

Un domaine d'application particulier est l'inspection des ouvrages immergés : quais, ponts, barrages, usines hydro-électriques, berges des cours d'eau, etc.

Dans le passé, ces inspections - parfois appelées auscultations - se faisaient grâce à des plongeurs. Certaines zones, trop dangereuses pour eux, restaient inaccessibles. L'utilisation de drones équipés de caméras ou d'appareils photographiques permet d'obtenir des images des zones à inspecter, à condition que l'eau ne soit pas trop turbide, c'est à dire troublée par des matières en suspension. Les techniques de photogrammétrie peuvent ensuite être utilisées pour reconstituer le relief de la partie submergée.

Si l'eau est trop trouble pour que les photographies soient possibles, on peut utiliser un sondeur multi-faisceaux avec une ouverture élargie du côté où se trouve l'ouvrage à inspecter.

4 Sa dilatation croît avec la température et la baisse de salinité due à l'apport d'eau douce.

Encadré n°4 : la photogrammétrie

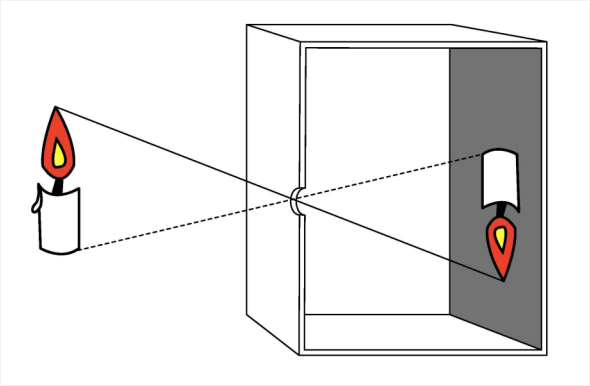
La métrophotographie, l'art de prendre des mesures au moyen de la photographie, apparaît en France vers 1850, sous l'impulsion d'Aimé Laussedat. Elle se développe en parallèle dans d'autres pays et devient connue sous son nom allemand de photogrammétrie.

L'idée sur laquelle elle repose est que les mesures d'angles effectuées en topographie :

- angles horizontaux pour déterminer les positions des points, par la méthode de la triangulation, appelée également méthode des intersections
- angles verticaux pour déterminer les altitudes des points

peuvent être remplacées avantageusement par le dessin du paysage, rendu fidèle par l'utilisation de la chambre claire, ou par sa photographie au moyen d'une chambre noire. Laussedat réserve le nom de métrophotographie au second procédé et nomme le premier iconométrie.

La chambre noire, connue depuis l'antiquité, est une boîte obscure dans laquelle on perce sur une des parois une petite ouverture. La lumière, entrant par cette ouverture, forme une image inversée sur la paroi opposée. En lui ajoutant un procédé de fixation de l'image, on obtient la photographie.



12 - inversion de l'image dans la chambre noire - Federico Guillin, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons

On peut faire le parallèle entre les angles pris sur le terrain à une station topographique et les angles pris au point O correspondant à la petite ouverture de la chambre : ces angles sont transformés, sur la paroi où l'image se forme, en distances par rapport au point P, point de projection de l'ouverture O sur la paroi. Une première photographie enregistre ces angles. En prenant une seconde photographie de la même scène à partir d'un emplacement différent, on obtient une deuxième série d'angles, équivalant à une deuxième station topographique.

Le travail de restitution consiste à replacer les photographies dans leurs positions et orientations respectives[1]. On peut alors reconstituer les angles observés et déterminer, par intersection, la position dans l'espace des points remarquables qui apparaissent sur les deux photographies.

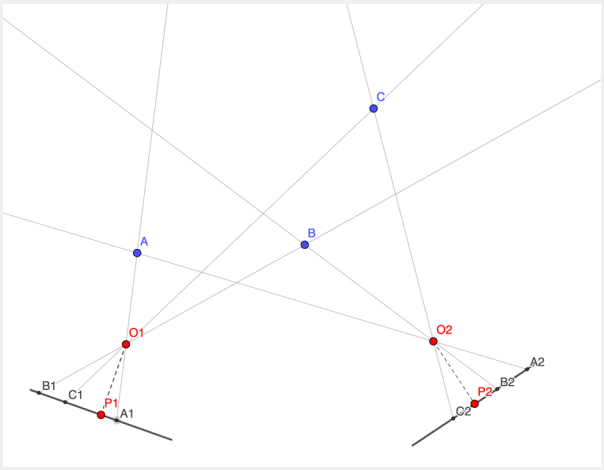


figure 2 (vue de dessus) - la première photographie est prise en O1 (position du point de convergence des rayons lumineux), le point central de la pellicule étant P1. Les points A, B et C sont respectivement projetés sur la pellicule en A1, B1 et C1. Grâce à la deuxième photographie, prise en O2, il est possible de déterminer dans l'espace la position des points A, B et C.

Aimé Laussedat, grand admirateur de Beautemps-Beaupré, considérait ce dernier comme le précurseur de la photogrammétrie. Pendant le voyage à la recherche de La Pérouse, Beautemps-Beaupré dessinait en effet des vues panoramiques sur lesquelles il reportait les angles observés à partir du navire, l'estime des distances à la côte et la désignation des objets remarquables. Dans son appendice au compte rendu du voyage de Bruny-Dentrecasteaux, Beautemps-Beaupré n'indique cependant pas avoir effectué des mesures sur ces vues, dessinées à main levée, qui lui « procuraient l'avantage d'avoir toujours sous les yeux, en construisant [ses] cartes, les objets tels qu'ils s'étaient présentés lors des relèvements » et permettaient de mettre en évidence les erreurs qui s'étaient glissées dans les observations.

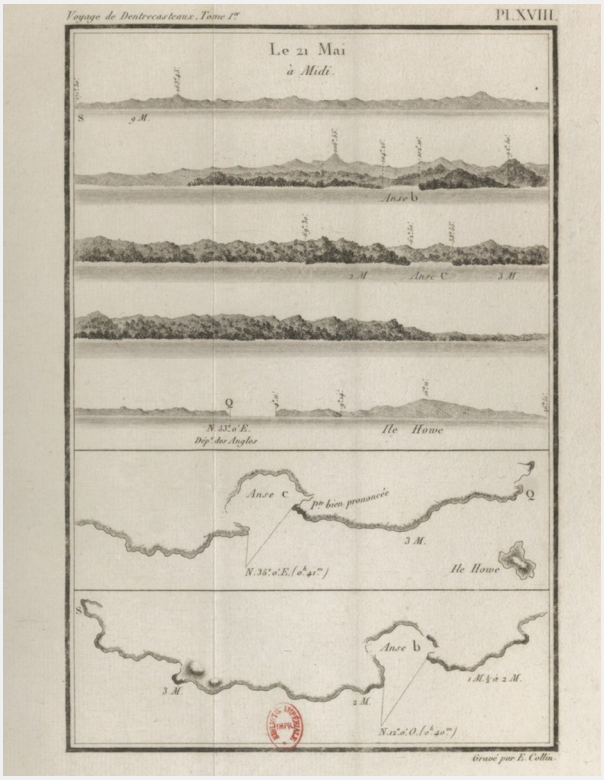
La photogrammétrie est appliquée à l'origine à la topographie, pour dessiner des cartes, et à l'architecture, pour restituer les dimensions de bâti-

1 C'est là que se situe la difficulté. Il faut utiliser des machines particulières, les restituteurs.

ments à partir de plusieurs photographies. Par la suite, les militaires l'utilisent pour les reconnaissances côtière et aérienne. Fixés d'abord sur un ballon (1858), puis sur un cerf-volant et, plus tard, sur un aéronef, les appareils photographiques sont utilisés en vue oblique puis en vue horizontale, permettant de compléter les cartes avec les détails intéressants.

A partir des années 1960, la photogrammétrie est utilisée sous l'eau dans les domaines de l'archéologie et de l'inspection sous-marine pour dresser des plans de sites ou effectuer des mesures d'objets immergés. Les difficultés principales rencontrées lors de son utilisation sous l'eau sont liées à la difficulté de déterminer la position et l'orientation des prises de vues, à l'absence de lumière naturelle et à la présence dans l'eau de matières en suspension qui perturbent la diffusion de la lumière (turbidité).

Aujourd'hui, l'informatique permet de constituer des modèles en trois dimensions de la scène observée, et de « naviguer » dans ces modèles. Le remplacement des appareils photographiques par des lasers à balayage a conduit à l'émergence d'une nouvelle technique, la lasergrammétrie, qui peut également être utilisée sous l'eau.



13 - exemple de vue dessinée par Beautemps-Beaupré au moment des observations - planche XVIII de l'appendice du voyage de Dentrecasteaux envoyé à la recherche de La Pérouse - Tome 1 - Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Les acteurs de l'hydrographie

Vue d'ensemble

Au XVIIIe siècle, les ports militaires étaient gérés par le département de la Marine et les autres ports par les villes. Les travaux des ports de commerce dépendaient de la direction générale des fortifications du département de la Guerre. Les rares phares étaient gérés par différentes autorités, dont les chambres de commerce.

En 1743, les travaux des ports de commerce passent au département de la Marine. Celui-ci, manquant de moyens, néglige leur entretien et, vers 1760, veut les confier au département des Finances. Un nouvel acteur entre alors en scène : le service des ponts et chaussées, qui dépend des Finances.

Le transfert n'est pas immédiat, car le département de la Guerre estime que les ports doivent lui revenir. Finalement, une grande partie des ports de commerce passe sous le contrôle des ponts et chaussées à partir de 1762. En 1790, plusieurs ports dépendent encore du département de la Guerre.

La révolution, par un décret de septembre 1791, supprime les chambres de commerce. En conséquence, l'entretien et l'approvisionnement de tous les feux reviennent à l'Etat. La loi du 15 septembre 1792 transfère la surveillance des phares, amers, tonnes et balises à la marine, les travaux devant être exécutés par les ponts et chaussées, placés maintenant sous la tutelle du ministère de l'intérieur.

Les difficultés créées par cette organisation conduisent l'empereur à transférer, par décret du 7 mars 1806, la surveillance de la signalisation maritime au ministère de l'intérieur. A partir du 1er janvier 1807, les ingénieurs des ponts et chaussées surveillent le service des phares, confié à des entrepreneurs.

On trouve alors deux acteurs : d'une part la marine, qui gère ses ports de guerre, d'autre part, les ponts et chaussées, qui dépendent du ministère de l'intérieur et qui s'occupent des autres ports, de la navigation intérieure et de la signalisation maritime.

En 1830, les ponts et chaussées passent sous le contrôle d'un nouveau ministère, celui des travaux publics. Jusqu'en 1966, l'appellation « travaux publics » figure dans les noms successifs du ministère, et devient synonyme de « ponts et chaussées ».

Le 8 janvier 1966, le ministère des travaux publics et celui du logement sont rassemblés sous le nom de ministère de l'équipement. Ce mot « équipement » figure dans les noms successifs du ministère jusqu'en 2007 et remplace l'appellation traditionnelle « ponts et chaussées ».

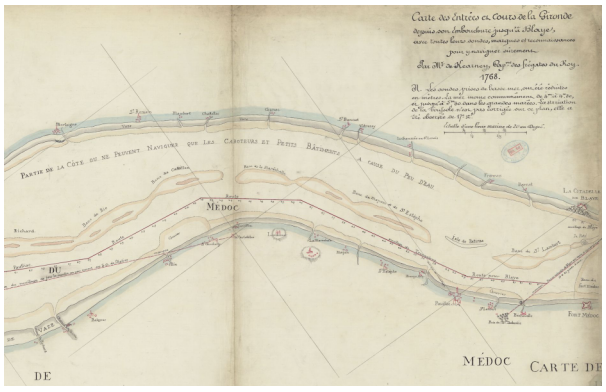
Le nouveau ministère correspond au début de la décentralisation de la gestion des ports : la création des ports autonomes en 1965. Cette décentralisation entraîne l'apparition de fournisseurs de services privés pour le dragage, la bathymétrie, les travaux maritimes…

La décentralisation se poursuit en 1983, lorsque les ports maritimes de commerce, de pêche et de plaisance sont confiés aux départements et aux communes. Seuls 17 ports d'intérêt national restent sous le contrôle de l'Etat, jusqu'en 2003, fin de la décentralisation portuaire.

Du fait qu'elle forme un tout, la signalisation maritime reste sous le contrôle de l'Etat. Pour la même raison, la navigation intérieure n'est pas décentralisée, hormis quelques canaux utilisés uniquement pour la navigation de plaisance.

La marine

L'ordonnance de 1689 pour les armées navales prescrivait aux intendants de conserver la profondeur dans les rades, entrées de rivières, ports et bassins (livre onzième, titre IV, article I). Ils devaient pour cela faire sonder de temps en temps les ports et rades par les officiers du port et les pilotes entretenus, faire enlever les bancs et relever les ancres perdues (article VII). Ils devaient également mettre en place un balisage (article VI).



14 - extrait de la carte des entrées et cours de la Gironde levée par le capitaine de frégate de Kearney en 1768 - cote GE SH 18 PF 57 DIV 1 P 24/2/1 / Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Au XVIIIe siècle, des levés préalables au balisage des fleuves sont effectués par des ingénieurs ou des officiers de marine : Michel Alexandre Magin (Gironde en 1752 et 1753-1755 et Loire en 1754, entrées de la Loire et de la Gironde en 1757), de Kearney (Gironde en 1768).

En 1810 et 1815, Raoul lève la Gironde. Des levés similaires sont effectués par la suite par les ingénieurs hydrographes sur les côtes de France, à la demande des travaux publics et avec leur concours. L'objectif de ces levés est soit la mise en place d'un balisage, soit des travaux d'améliorations dans les ports et les cours d'eau, soit l'étude des modifications de la côte et des profondeurs sous l'action des éléments. Parfois il s'agit de s'intéresser à des portions de rivières ne figurant pas sur les cartes marines.

Entre 1855 et 1884, les ingénieurs hydrographes réalisent des travaux en mer en vue de la pose de câbles télégraphiques sous-marins.

Les ingénieurs hydrographes participent également aux commissions nautiques qui examinent les projets de travaux maritimes susceptibles de modifier les conditions de navigation dans les ports et les parties maritimes des fleuves.

Les ponts et chaussées

Histoire générale

A l'origine, les voies publiques, routes et ponts, étaient entretenues grâce à l'argent des péages.

Un édit du 15 octobre 1508 met en place des trésoriers de France chargés de surveiller l'état des voies publiques et de les faire réparer si besoin. Ces trésoriers officient à Paris mais inspectent une fois par an le territoire qui leur est attribué. A partir de 1551, ils résident au chef-lieu de leur généralité.

L'organisation de cette administration change plusieurs fois jusqu'en 1736, où un intendant des finances est chargé du « détail des ponts et chaussées, pavé de Paris, turcies[5] et levées, balisage de la rivière de Loire et rivières y affluentes, tant pour la finance que pour leur pleine et entière administration » .

En 1740, le service de la construction des canaux est rattaché aux ponts et chaussées, sauf pour la partie confiée au génie militaire.

En 1743, le service des ponts et chaussées est séparé du département des recettes générales et devient une organisation à part.

En 1762, il est chargé des travaux des ports maritimes de commerce. Cependant, en 1790, plusieurs

5 Digues de protection de la Loire et de ses affluents contre les crues.

ports, dont Calais, Boulogne et Bayonne, dépendent toujours du département de la Guerre.

Un loi du 19 janvier 1791 crée une administration centrale des ponts et chaussées, qui passe alors au ministère de l'intérieur. Les dépenses des routes sont à la charge des départements, les autres dépenses : construction et entretien des ponts principaux, des canaux de navigation, des digues de la Loire et des ports maritimes de commerce sont à la charge du trésor public.

Le 19 mai 1830, un ministère des travaux publics est créé. Il regroupe l'administration des ponts et chaussées et celle des mines. Après une période un peu confuse, les deux administrations sont séparées en 1839.

Les ponts et chaussées dépendent du ministère des travaux publics jusqu'au 8 janvier 1966, lorsque le ministère fusionne avec celui du logement pour devenir ministère de l'équipement.

Le 18 mai 2007, le ministère prend le nom de ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. Dans ses noms successifs, figurent les termes « écologie », « développement durable » ou « environnement ». En 2021, il se nomme ministère de la transition écologique.

Le corps des ponts et chaussées

C'est Colbert qui met en place les premiers ingénieurs, dont le rôle est de dresser les plans des travaux, d'en surveiller l'exécution et de recevoir les ouvrages finis.

Le corps des ponts et chaussées est créé en 1716 avec vingt-deux ingénieurs et quatre inspecteurs. Les ingénieurs des ponts et chaussées travaillent dans les différents services départementaux, mais aussi, par la suite, en service détaché : travaux maritimes dans les ports militaires, eaux et pavé de Paris, canaux concédés, Algérie et travaux publics dans les colonies.

Les services départementaux

L'organisation des ponts et chaussées s'appuie sur le découpage de la France en départements. Dans chacun d'eux, un ingénieur dirige le service ordinaire (SOPC) chargé des routes et assez souvent des services spéciaux : service hydraulique, service maritime, service des rivières navigables et service des canaux de navigation. Les deux derniers services fusionneront par la suite pour former des services de navigation.

Cependant, lorsque leur importance le justifie, ces services spéciaux forment des entités indépendantes, dirigées par un autre ingénieur. Dans quelques cas, ces services ne sont plus calqués sur la structure départementale. A titre d'exemple, on trouvait à la fin des années 1960 :

- les services maritimes des Bouches-du-Rhône - de la Gironde - du Nord - des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais - de la Seine-Maritime,
- les services maritimes et de navigation du Languedoc-Roussillon - de Nantes,
- les services de navigation de Nancy - du Nord et du Pas-de-Calais - Rhône-Saône et canal du Rhône au Rhin - de la Seine (4 sections) - de Strasbourg,
- le service spécial de la navigation Belgique-Paris-Est,
- le service des canaux du midi et canal latéral à la Garonne.

Dans le département peuvent également coexister des services extraordinaires, dont l'existence est limitée à la réalisation de grands travaux, par exemple la construction d'un barrage.

Les services sont divisés en arrondissements, qui peuvent être géographiques ou fonctionnels et qui sont eux-mêmes divisés en subdivisions, géographiques ou fonctionnelles. On y trouve également des « cellules ». L'activité hydrographique s'exerce souvent au sein d'une cellule, rattachée à une subdivision de dragage ou à une subdivision des phares et balises.

Le décret n°67-278 du 30 mars 1967 crée les directions départementales de l'équipement (DDE) qui reprennent les attributions des services territoriaux des ponts et chaussées et des directions de la construction. Les services départementaux des ponts et chaussés leurs sont alors attachés et des directions régionales de l'équipement (DRE) sont mises en place.

Le 1er janvier 2008, les compétences maritimes départementales sont regroupées dans des services maritimes interdépartementaux au sein de certaines DDE littorales.

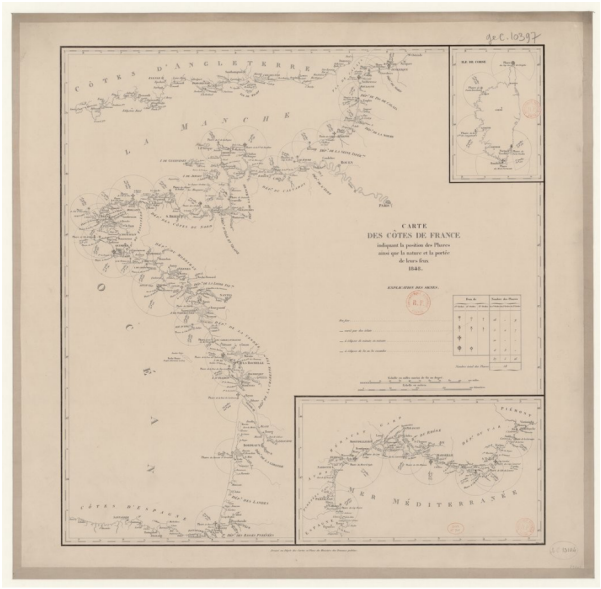
Enfin, le 1er janvier 2010, les DDE sont remplacées par des structures interministérielles : les directions départementales des territoires (DDT) ou, dans les départements littoraux, les directions départementales des territoires et de la mer (DDTM). Les DRE fusionnent avec les directions régionales d'autres ministères pour former des di-

rections interministérielles, les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL).

Les phares et balises

Le service des phares et balises est créé par un décret impérial du 7 mars 1806 (non consulté), le jour même où un autre décret confie la surveillance de la signalisation maritime au ministère de l'intérieur. Le nouveau service dépend de l'école des ponts et chaussées.

Le 29 avril 1811, une commission des phares est mise en place pour étudier les projets de construction des phares. Cette commission est composée de membres de l'Institut, de la marine et des ponts et chaussées. L'état de l'hydrographie française ne permettant pas de mettre immédiatement au point un plan d'éclairage et de balisage national, ce plan n'est arrêté qu'en 1825, après les premiers résultats du levé des côtes de France effectué par les ingénieurs hydrographes (le Pilote français). Le plan est présenté à la commission des phares par le contre-amiral de Rossel, membre de la commission et directeur adjoint du Dépôt des cartes et plans de la marine.



15 - carte des côtes de France indiquant la position des phares ainsi que la nature et la portée de leurs feux, éditée par le dépôt des cartes et plans du ministère des Travaux publics en 1848 - cote GE C-10397 / Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Au XIXe siècle, les gardiens de phares et les marins des bateaux qui entretenaient le balisage étaient intégrés aux services ordinaires des ponts et chaussées. Ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle que des unités des ponts et chaussées deviennent spécialisées dans les travaux de balisage. Ces subdivisions des phares et balises sont intégrées dans les services maritimes des départements ou, lorsqu'il n'y en a pas, dans les services ordinaires.

Le 1er octobre 1980, le service des phares et balises devient service des phares et balises et de la navigation. S'ajoutent à ses attributions la navigation et le sauvetage maritime. De nouveaux établissement voient le jour : les centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS).

En 1990, le service des phares et balises et de la navigation est remplacé par une sous-direction de la navigation maritime comportant deux bureaux : celui des phares et balises et celui du trafic maritime et du sauvetage.

Le 30 mai 1997, le bureau des phares et balises, qui dépendait jusque là de la direction des ports et de la navigation maritime (DPNM), passe à la direction des affaires maritimes et des gens de mer (DAMGM), devenue en 2008 direction des affaires maritimes (DAM).

En plus de gérer le balisage et l'éclairage des côtes, le service des phares et balises, qui disposait d'un service technique (STPB) s'est occupé :

- de la radiogoniométrie,
- des radars d'estuaires servant à localiser les navires,
- des chaînes de radiolocalisation installées en France : Consol, Decca, Loran C, Omega, Omega différentiel, Toran, Rana P17, Syledis, GPS différentiel,
- des systèmes d'aide à l'accostage, permettant aux gros navires d'accoster en douceur, sans risque pour les quais,
- de l'annonce en temps réel de la marée dans les estuaires,
- de l'analyse des trajectoires des navires dans les chenaux de navigation,
- des fréquences radio maritimes,
- d'autres sujets comme la lutte contre la pollution, la mesure de houle et de courant, l'érosion marine, les statistiques de trafic maritime…

Dans les années 1970, les phares et balises ont été à l'origine du programme DALI (Dessin Automatique de Lignes Isobathes). Il fallait alors des ordinateurs puissants et un certain délai pour tracer les isobathes, ou courbes de niveau, après un levé bathymétrique. L'idée du programme était d'obtenir un tracé rapide et précis, permettant aux ports

de comparer d'une semaine à l'autre deux levés de la même zone. Cette comparaison permettait de mettre en évidence les apports sédimentaires, de prescrire les travaux de dragage à l'emplacement requis et de contrôler le travail des sociétés de dragage. Grâce aux résultats fournis par ce logiciel, mis d'abord en service au port de Bordeaux, le coût des dragages a rapidement diminué.

Services techniques centraux des ponts et chaussées

Le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) est créé le 9 février 1949. Des laboratoires régionaux, comme le LRPC de Blois, qui héberge une unité bathymétrie-hydraulique, voient le jour à partir de 1952.

Le service technique des phares et balises (STPB) devient le 20 août 1990, le service technique de la navigation maritime et des transmissions de l'équipement (STNMTE). Ses domaines de compétence concernent :

- le balisage maritime et fluvial,
- la signalisation maritime et fluviale,
- les aides radioélectriques à la navigation,
- l'équipement et le matériel des établissements chargés de la surveillance et de la sécurité de la navigation,
- les réseaux radio de servitude,
- la lutte contre la pollution marine,
- l'océanographie et la modélisation du mouvement des navires,
- la formation.

Le 1er janvier 1999, le STNMTE fusionne avec le service central technique des ports maritimes et voies navigables (SCTPMVN) pour former le centre d'étude techniques maritimes et fluviales (CETMEF). Le 1er janvier 2014, celui-ci est intégré au centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA).

Situation actuelle

En 2021, la direction générale des infrastructures des transports et de la mer (DGITM) dépend du ministère de la transition écologique.

Elle dispose de plusieurs directions liées au maritime et au fluvial :

- la direction des infrastructures de transport (DIT), qui dispose d'un bureau des voies navigables dépendant de la sous-direction du développement et de la gestion des réseaux ferroviaires et des voies navigables,
- la direction des services de transport (DST), qui comporte une sous-direction des ports et du transport fluvial : elle exerce la tutelle des grands ports maritimes et celle des deux ports autonomes fluviaux de Paris et Strasbourg,
- la direction des affaires maritimes (DAM).

Pour remplir ses missions, la DGITM s'appuie sur des services déconcentrés du ministère :

- 12 directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) et 5 directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) outre-mer,
- 4 directions interrégionales de la mer (DIRM), qui ont notamment dans leurs attributions la signalisation maritime,
- 4 directions de la mer (DIM) outre-mer, plus la direction des territoires, de l'alimentation et de la mer (DTAM) à Saint-Pierre et Miquelon,
- 7 centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage en mer (CROSS),
- les directions départementales des territoires et de la mer (DDTM), qui ont repris les missions des anciens services maritimes, à l'exception de la signalisation maritime.

Les exploitants

Les ports

Le livre quatrième de l'ordonnance de la marine de 1681, consacré à la police des ports, côtes, rades et rivages de la mer, commence par ces mots : « les ports et havres seront entretenus dans leur profondeur et netteté » (titre I - des ports et havres - article 1er). Le maître de quai est chargé de « visiter une fois le mois, et toutes les fois qu'il y aura eu tempête, les passages ordinaires des vaisseaux pour reconnaître si les fonds n'ont point changé, et d'en faire son rapport à l'Amirauté ». (titre II - du maistre de quay - article VI). Le maître de quai est également chargé de la pose et de l'entretien des feux, balises, tonnes ou bouées (article V).

Comme indiqué précédemment, les port non militaires sont pris en charge par les ponts et chaussées à partir de 1762.

En 1912, une loi d'autonomie est votée pour les ports maritimes, avec des compléments en 1920 et en 1924. Trois ports obtiennent l'autonomie en 1925 : Strasbourg, Le Havre et Bordeaux.

La loi du 26 juin 1965 et les décrets du 8 novembre 1965 créent un nouveau régime pour les ports autonomes : Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes, Saint-Nazaire, Bordeaux et Marseille.

Les ingénieurs des ponts et chaussées qui dirigent un port autonome dirigent également le service maritime correspondant, ce qui entraîne parfois une situation confuse jusqu'au rattachement de ces services aux DDE en 2005 :

- Dunkerque et le service maritime du Nord,
- Le Havre et le service maritime de la Seine maritime (1ème section),
- Rouen, le service maritime de la Seine maritime (3ème section) et le service de navigation de la Seine (4ème section),
- Nantes Saint-Nazaire et le service maritime et de navigation de Nantes,
- Bordeaux et le service maritime et de navigation de la Gironde,
- Marseille et le service maritime et de navigation des Bouches-du-Rhône.

Les ports se dotent toutefois d'une cellule d'hydrographie portuaire, dont les missions peuvent être : la vérification régulière des profondeurs dans le périmètre du port, le support aux travaux de dragage (état avant et après travaux), l'identification d'objets immergés au sondeur latéral, l'inspection d'ouvrages immergés, la topographie portuaire, le prélèvement de sédiments, l'observation de la marée et des courants.

Jusqu'en 1983, tous les ports étaient placés sous la tutelle de l'Etat, la construction, l'entretien et l'exploitation technique et commerciale étant assurés par les services maritimes des ponts et chaussées, puis des DDE en 1967.

La loi n° 83-663 du 22 juillet 1983 a confié 304 ports maritimes de commerce et de pêche aux départements et 228 ports de plaisance aux communes. Dix-sept ports d'intérêt national restaient sous l'autorité de l'Etat (Calais, Boulogne-sur-Mer, Dieppe, Caen-Ouistreham, Cherbourg, Saint-Malo, Brest, Le Fret, Roscanvel, Concarneau, Lorient, La Rochelle[6] [port de pêche], Bayonne, Port-la-Nouvelle, Sète, Toulon et Nice, plus, en Guyane, Larivot).

La décentralisation de 2004 confie les dix-sept ports d'intérêt national métropolitains à des collectivités locales, principalement des régions.

En 2008 est créé le statut de Grand Port Maritime (GPM) pour les 11 ports maritimes relevant de l'État (Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes Saint-Nazaire, La Rochelle, Bordeaux, Marseille, Guyane, Martinique, Guadeloupe, Port-Réunion), celui de Saint-Pierre-et-Miquelon conservant son statut de port d'intérêt national.

Depuis 2015, les ports gérés par les départements peuvent être transférés à des collectivités locales.

En ce qui concerne la navigation intérieure, les GPM de Marseille, du Havre et de Dunkerque gèrent le réseau fluvial situé dans leur domaine portuaire. Les ports d'estuaires, comme le GPM Rouen ont également une activité fluviale. On trouve enfin des ports uniquement fluviaux : les ports autonomes de Paris et de Strasbourg et les ports intérieurs situés dans les périmètres des Voies navigables de France et de la Compagnie nationale du Rhône.



16 - couverture de la brochure présentant le projet d'amélioration des accès maritimes 2012-2020 du port de Rouen

Voies navigables de France

Depuis le XVIIIe siècle, la gestion du réseau des voies navigables, fleuves et canaux, est passée par quatre phases.

Tout d'abord, un régime de concessions où l'Etat cherchait des partenaires privés pour réaliser les projets et les exploiter.

6 Le port de La Rochelle-La Pallice devient port autonome par décret du 20 décembre 2004.

Puis, à partir de 1860, l'état rachète les concessions[7] et gère lui-même le réseau navigable. Les services des travaux publics prennent en charge l'entretien et l'exploitation du réseau.

La loi des 27 et 28 février 1912 crée l'office national de navigation (ONN) chargé de centraliser et de diffuser l'information relative à la navigation intérieure, de rechercher tous les moyens propres à favoriser la navigation et d'améliorer l'exploitation des voies navigables. L'ONN a à sa disposition les services de navigation des ponts et chaussées.

Enfin, la loi des finances pour 1991 (n°90-1168 du 29 décembre 1990) crée un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) nommé voies navigables de France (VNF). Cet établissement reprend les missions de l'ONN et les missions de gestionnaire de l'infrastructure de l'Etat. L'entretien du réseau est effectué par les services de navigation mis à la disposition de VNF :

- services de navigation Nord-Est, Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Saône, Seine, Strasbourg, Toulouse,
- services maritimes et de navigation Gironde, Nantes, Languedoc-Roussillon, Rouen,
- services des DDE Côte d'Or, Dordogne, Lot-et-Garonne, Haute-Marne, Loire, Nièvre, Saône-et-Loire.

En 2013, VNF devient un établissement public à caractère administratif (EPA). Les services de navigation des DDE et les services de VNF sont alors unifiés dans des directions territoriales.

VNF gère 6 200 km de canaux et rivières aménagés. Sont exclus de son périmètre :

- 700 km de voies navigables gérées par l'état,
- 500 km de voies navigables gérés par la compagnie nationale du Rhône,
- les ports autonomes de Paris et Strasbourg,
- les secteurs fluviaux des Grands Ports Maritimes,
- les portions gérées par des collectivités locales dans le cadre des lois de décentralisation.

La compagnie nationale du Rhône

Le Rhône est une voie de communication fluviale importante entre la Méditerranée et le Nord et l'Est de la France. Il présente également un potentiel hydro-électrique important. Son aménagement fait l'objet d'études, au XIXe siècle et au début du XXe siècle, qui aboutissent à une loi du 27 mai 1921 approuvant un plan d'aménagement du fleuve portant sur trois axes : l'utilisation de la puissance hydraulique, la navigation et l'utilisation de l'eau (irrigation, assainissement et autres emplois agricoles) dans une région soumise à une sècheresse saisonnière. La loi prévoit de concéder à une société unique la réalisation de ce plan d'aménagement. La durée de la concession est fixée à 75 ans[8]. Le programme des opérations à entreprendre comporte notamment la mise en place d'ouvrages de production hydro-électrique et l'aménagement d'une voie navigable continue.

La société qui doit réaliser ce plan n'est créée que le 27 mai 1933, sous le nom de compagnie nationale du Rhône (CNR).

En 1936, la CNR crée le centre d'analyse comportementale des ouvrages hydrauliques (CACOH) pour étudier et valider la conception hydraulique des ouvrages de production hydro-électrique et de navigation du fleuve grâce à des modèles réduits. Par la suite, le CACOH reçoit des missions de surveillance et de contrôle du fleuve et de ses installations.

Les hydrographes du CACOH surveillent et analysent l'évolution des fonds du Rhône pour la sécurité de la navigation. Ils procèdent également à la surveillance des parties immergées des nombreux ouvrages.

Electricité de France

La loi du 8 avril 1946 sur la nationalisation de l'électricité et du gaz crée un établissement public national de caractère industriel et commercial appelé Electricité de France (EDF). Cet établissement est chargé de la production, du transport, de la distribution et de l'importation-exportation de l'électricité. Il remplace des centaines d'entreprises privées du secteur de l'électricité. A l'époque de la création d'EDF, l'électricité est produite par des centrales thermiques, fonctionnant au charbon et par des centrales hydro-électriques fonctionnant grâce aux chutes d'eau. De nouvelles sources d'énergie sont utilisées par la suite : la marée (la Rance, 1966), la fission nucléaire (Chinon, 1963), le fioul (1968), le gaz, les énergies renouvelables (soleil, vent).

En 2019, les deux sources d'énergie les plus utilisées par EDF sont le nucléaire (87,7%) et l'hydro-électrique (5,6%). Ces deux modes de production

[7] L'arrivée des liaisons ferroviaires concurrence fortement la navigation fluviale qui souffre alors d'un désintérêt général.
[8] Cette durée n'a pris effet qu'en 1948, date de construction du premier barrage. La fin de la concession est donc prévue en 2023.

utilisent de l'eau, soit pour refroidir les centrales nucléaires, soit pour actionner les pales des turbines hydroélectriques.

Les activités hydrographiques, effectuées dans le passé par le laboratoire national d'hydraulique (LNH) et les équipes topographiques d'EDF ont été regroupées en 2005 au sein du service environnement de la division technique générale (DTG), dans le pôle bathymétrie. Depuis quelques années, la DTG sous-traite l'intégralité des opérations de bathymétrie à des entreprises partenaires. Ces activités hydrographiques portent sur plusieurs sujets :

- les relations hauteur d'eau / volume ou hauteur d'eau / débit, dans les retenues et les chenaux de prises d'eau des centrales,
- le suivi des dépôt de sédiments dans les retenues et les chenaux de prises d'eau des centrales,
- la surveillance de l'état des ouvrages immergés : prises d'eau, parois de barrages, etc.,
- les études environnementales,
- la sécurité de la navigation : EDF gère un tronçon du Rhin entre Bâle et Strasbourg sur lequel se trouvent 8 écluses associées à des centrales hydro-électriques.

La recherche

Plusieurs organismes de recherche ont des activités hydrographiques, comme Ifremer et sa filiale Genavir, le département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM), le bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)...

Le privé

L'hydrographie privée, active au XVIIe siècle, disparaît au siècle suivant, sans doute à la suite de l'exclusivité accordée au Dépôt en 1773 pour la production des documents nautiques (voir chapitre 5).

L'activité privée en hydrographie redémarre vers le milieu du XXe siècle. Une des raisons de son apparition provient de l'inadéquation des produits proposés par le service hydrographique à de nouveaux usages, comme la recherche d'hydrocarbures sous la mer, dans les années 1950, qui nécessite un maillage plus fin de la description du fond, une précision géographique plus importante et des informations sur le sous-sol plus détaillées que ce que peut fournir alors le Service. D'autres raisons viennent s'y ajouter :

- le besoin croissant en études hydrographiques, que ne peut absorber l'hydrographie d'Etat,
- la décentralisation des ports, qui conduit de nombreux gestionnaires de ports à sous-traiter cette activité ; le rapport annuel du Shom pour 2019 indique que le Service, dans le cadre d'un marché passé avec la région Bretagne, a procédé à la validation de 14 levés hydrographiques que la région a fait réaliser dans les ports dont elle assure la gestion,
- le progrès technique, qui facilite l'exécution des levés hydrographiques.

Les entreprises privées qui proposent une activité hydrographique peuvent être :

- des sociétés spécialisées dans un domaine qui nécessite ce genre d'activité, par exemple le dragage des sédiments, les travaux maritimes, la pose de câbles sous-marins ou de conduites sous-marines, la prospection pétrolière...
- des sociétés spécialisées dans un domaine proche de l'hydrographie, qui souhaitent diversifier leur activité : cabinets de géomètres-topographes, de géomètres-experts[9],...
- des sociétés de services en hydrographie.

Les organisations professionnelles

L'apparition de l'hydrographie privée a contribué à la création d'organisations professionnelles nationales et internationales.

Les organisations professionnelles nationales

Association francophone de Topographie (AFT)

L'association française de topographie (AFT) est créée fin 1978 pour :

- diffuser les évolutions techniques intéressant la profession,
- encourager la recherche scientifique dans les domaines utilisant la topographie,

9 Cette appellation indique que l'intéressé est autorisé à procéder aux délimitations des biens fonciers, une activité règlementée par la loi du 7 mai 1946. A côté de cette activité qu'il est le seul à pouvoir exercer, il « réalise les études, les documents topographiques, techniques et d'information géographique dans le cadre des missions publiques ou privées d'aménagement du territoire, procède à toutes opérations techniques ou études sur l'évaluation, la gestion ou l'aménagement des biens fonciers. ».

- promouvoir une formation scientifique et technique de qualité,
- faciliter l'actualisation de la connaissance de ses membres,
- faire connaître la profession et défendre son renom en France et à l'étranger.

L'association dispose de huit commissions techniques. La commission n°8, topographie appliquée à des travaux spéciaux, comporte une sous-commission n°5 portant sur l'hydrographie, la bathymétrie et les travaux sous-marins.

En juin 2019, l'association prend le nom d'association francophone de topographie.

Association francophone d'hydrographie (AFHy)

En 1982, des utilisateurs du programme DALI (voir plus haut) : les ports autonomes, les services techniques des ponts et chaussées, la CNR et le laboratoire national d'hydraulique et environnement (LNHE) de la division recherche et développement d'EDF, se regroupent pour former un club utilisateurs. Ce club s'ouvre à d'autres acteurs (dont VNF) et se transforme peu à peu en lieu d'échange sur les bonnes pratiques en hydrographie, organise des groupes de travail thématiques, par exemple sur la formation, et reçoit l'appui du SHOM.

En 2008, le club utilisateurs se transforme en association sous le nom d'association de promotion de l'hydrographie (APHy).

En 2013, l'association s'ouvre à tous les intervenants en hydrographie, maritime et intérieure et devient association francophone d'hydrographie (AFHy), un lieu d'échanges et de diffusion d'informations hydrographiques. Ouverte à l'ensemble des acteurs francophones de la communauté hydrographique mondiale, son objectif est de promouvoir la qualité de l'hydrographie, en particulier par ses actions dans le domaine de la formation.

Les organisations professionnelles internationales

International Federation of Hydrographic Societies (IFHS)

Cette organisation fédère des sociétés hydrographiques nationales ou régionales pour promouvoir le développement de l'hydrographie et la formation des hydrographes.

Fédération internationale des géomètres (FIG)

Créée à Paris en 1878 à l'initiative de la France, la fédération internationale des géomètres (en anglais : international federation of surveyors) est une fédération d'associations nationales, seul organe international qui représente toutes les disciplines liées à la topométrie. C'est une organisation non gouvernementale reconnue par les Nations Unies dont le but est d'assurer que ces disciplines topométriques et tous ceux qui les pratiquent satisfont aux besoins des marchés et des communautés qu'ils servent. Elle poursuit son objectif en promouvant la pratique de la profession et en encourageant le développement du niveau professionnel.

L'association rassemble les associations professionnelles de nombreux domaines : géodésie, topographie, photogrammétrie, hydrographie, information géographique, aménagement du territoire, cadastre, évaluation foncière, délimitation, etc. Ses travaux techniques sont conduits par dix commissions dont la commission 4 - hydrographie.

Le rôle de la commission 4 est de faire progresser dans tous ses aspects la description de l'environnement marin par l'utilisation de pratiques conformes à l'état de la technique et aux standards internationaux reconnus : techniques, professionnels et éthiques. Ceci inclut le levé hydrographique, le traitement et la gestion des données, la réalisation de cartes marines et de cartes de profondeurs analogiques, digitales et électroniques ainsi que les travaux qui leur sont rattachés.

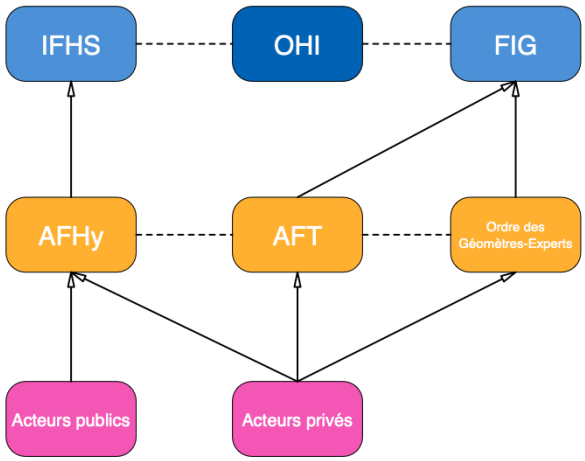


figure 3 - liens d'adhésion (flèches) et de collaboration (pointillés) entre les organisations nationales et internationales dans le domaine de l'hydrographie

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1681	Ordonnance de la marine, du mois d'aoust 1681 commentée et conférée sur les anciennes ordonnances, le droit romain et les nouveaux reglemens - 1714
2	(texte règlementaire) - 1689	Ordonnance de Louis XIV pour les armées navales et arsenaux de marine du 15 avril 1689 . . . Nouvelle édition, augmentée des deux règlemens par colonnes - 1764
3	(texte règlementaire) - 1912	Loi du 27 février 1912
4	(texte règlementaire) - 1946	Loi 46-628 du 8 avril 1946 sur la nationalisation de l'électricité et le gaz, publiée au journal officiel du 9 avril 1946
5	(texte règlementaire) - 1967	Décret n°67-278 du 30 mars 1967 relatif à l'organisation et aux attributions des services départementaux et régionaux du ministère de l'équipement, publié au journal officiel du 2 avril 1967
6	(texte règlementaire) - 1980	Décision du 1er octobre 1980 - direction générale de la marine marchande - ministère des transports
7	(texte règlementaire) - 1990	Arrêté du 20 août 1990 portant constitution et attributions du service technique de la navigation maritime et des transmissions de l'équipement
8	(anonyme) - 1931	Exposition coloniale internationale de Paris 1931 - Les armées françaises d'Outre-mer - La carte de l'empire colonial français
9	(anonyme) - 1937	L'appareil Husun B.B.T., pour le sondage en mer ou en rivière - Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères - tome CX n°13
10	(anonyme) - 2011	Projet de loi relatif à l'Agence nationale des voies navigables - Etude d'impact
11	(collectif) - 1886-1924	Répertoire général alphabétique du droit français : contenant sur toutes les matières de la science et de la pratique juridiques l'exposé de la législation, l'analyse critique de la doctrine et les solutions de la jurisprudence - tome 30
12	(collectif) - 1886-1924	Répertoire général alphabétique du droit français : contenant sur toutes les matières de la science et de la pratique juridiques l'exposé de la législation, l'analyse critique de la doctrine et les solutions de la jurisprudence - tome 36
13	Alzieu, Claude (coordinateur) - 1999	Dragages et environnement marin - État des connaissances
14	Association des Personnels de Signalisation Maritime - 2017	Le système de radionavigation Omega en France
15	Aucoc, Léon - 1869-1876	Conférences sur l'administration et le droit administratif, faites à l'École impériale des Ponts et Chaussées par Léon Aucoc - tome 1
16	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1804	Description nautique de la côte de France sur la mer du Nord, de Calais à Ostende
17	Beautemps-Beaupré, Charles-François - 1808	Exposé des méthodes employées pour lever et construire les cartes et plans qui composent l'atlas du voyage du contre-amiral Bruny-Dentrecasteaux - Voyage de d'Entrecasteaux, envoyé à la recherche de La Pérouse - Tome I - Appendice

18	Beyer, Antoine - 2016	Les grands jalons de l'histoire des voies navigables françaises - Pour mémoire n°17
19	Blondel, André - 1930	Les Radiophares n°13 - Annales des Ponts et Chaussées - 100ème année, tome II, fascicule V
20	Blosset, B. - Fouillet, M. - 1954	Mesure des débits de la Basse-Seine - la Houille blanche numéro spécial B/1954
21	Bondaz, Marianne - Morin, Yves - Suche, Jean-Michel - 2013	Rapport d'évaluation de la politique maritime - phase de diagnostic - rapport d'analyse annexe
22	Boudon, Rémy - Thibault, Guillaume - Trouillet, Michel - 2019	Évolution des techniques topographiques à EDF depuis les 40 dernières années - revue XYZ n°160 - 3ème trimestre 2019
23	Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement - 2018	Retrospective des dragages fluviaux en France - Période 2006-2010 - Collection données
24	Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement - 2020	Enquête dragage 2017 - enquête nationale sur les dragages des ports maritimes - Collection données
25	Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales - 2003	Signalisation maritime - documentation technique - ingénierie des aides à la navigation - conception d'un projet de balisage - Collection les outils
26	Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales - 2010	Canalisations et câbles sous-marins - Etat des connaissances - Préconisations relatives à la pose, au suivi et à la dépose de ces ouvrages sur le Domaine Public Maritime français - Collection Etat de l'art
27	Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales - 2013	Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes - environnement marin et estuarien - Collection Etat de l'art
28	Chaumont de La Millière, Antoine-Louis - 1790	Mémoire sur le département des ponts et chaussées
29	Comité d'histoire du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement - 2011	Administrations centrales : historique de l'organisation des services - diverses notices couvrant la période 1706 à 2011 - Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement - Comité d'histoire - 2011
30	Compagnie Nationale du Rhône	CACOH - Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages Hydrauliques
31	Covillault, Pierre - 1979	Histoire du service hydrographique de la marine (de 1914 à 1970)
32	Delemarche, Alexandre - 1858	Eléments de télégraphie sous-marine
33	Direction générale des travaux publics - 1900	Les travaux publics du protectorat français en Tunisie - tome premier
34	Doutriaux, Eric - 2006	Aménagements hydrauliques dans le cours du Rhône français, bilan sédimentaire
35	Drap, Pierre - Seinturier, Julien - Hijazi, Bilal - Merad, Djamal - Boi, Jean-Marc - Chemisky, Bertrand - Seguin, Emmanuelle - Long, Luc - 2015	Le projet ROV mD : relevé sous-marin en grande profondeur par photogrammétrie - Applications à l'archéologie sous-marine - Revue XYZ n°142 - 1er trimestre 2015

36	Fichou, Jean-Christophe - Le Hénaff, Noël - Mével, Xavier - 1999	Phares - Histoire du balisage et de l'éclairage des côtes de France
37	Fichou, Jean-Christophe - 2010	La signalisation maritime en Tunisie (1881-1920) ou les phares de la présence coloniale - Revue du monde musulman et de la Méditerranée - n°128 - décembre 2010
38	Fraleu, Benoit - Vincenot, Yann - Denivet, Frédéric - 2006	Modélisation 3D au service de l'inspection d'ouvrages portuaires immergés - revue XYZ n°109 - 4ème trimestre 2006
39	Germain, Adrien - 1882	Traité d'hydrographie, levé et construction des cartes marines - ouvrage n°641 A
40	Gomez, Félix - Mariotti, Jean-François - 2014	L'usage du sondeur et du sonar à balayage latéral en archéologie subaquatique et sous-marine - Les nouvelles technologies appliquées à l'archéologie - Poitou-Charentes - Dossier thématique - Bilan scientifique 2014
41	Groupe d'Etudes et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement - 2018	Dragages et immersions en mer et en estuaire - Revue des bonnes pratiques environnementales - Guide
42	Henry, Marc - 1939	Sur l'hydrologie du Rhône - Les Études rhodaniennes, volume 15, n°1-3
43	J.L. - 1933	Hydraulique - L'aménagement du Rhône - Constitution de la Compagnie de navigation du Rhône - Le génie civil n°2652 - 53ème année, tome CII, n°23 - 10 juin 1933
44	(de) Joly, Georges - 1923	Encyclopédie du génie civil et des travaux publics - travaux maritimes - la mer et les côtes
45	Jupas, Jean-Serge - 2003	Portrait d'un adhérent : Vital Artus - Bulletin Amhydro n°23 - 2003
46	Kalantari, Mahzad - Kasser, Michel - 2008	Photogrammétrie et vision par ordinateur - Revue XYZ n°117 - 4ème trimestre 2008
47	Laussedat, Aimé - 1898	Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques - Tome 1
48	Laussedat, Aimé - 1901	Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques - Tome 2
49	Lavaud-Letilleul, Valérie - 2008	La décentralisation des ports français méditerranéens - nouvelle gouvernance et nouveaux défis - Méditerranée, revue géographique des pays méditerranéens - 111 2008 - Ville portuaires, Horizons 2020
50	Manen, Léopold - 1882	Notes sur le dépôt de la marine et le corps des ingénieurs hydrographes - MAR/10JJ/504, dossier 5 - Archives nationales
51	Marguerit, Christophe - 2004	Synthèse sur la concordance des références altimétriques en Baie du Mont-Saint-Michel - Revue XYZ n°98 - 1er trimestre 2004
52	Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie - 2013	Métier prévisionniste de crues
53	Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie - Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques - Agences de l'eau	Les usages de l'eau - Fiche n°16

54	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer - 2009	A l'interface entre terre et mer : la gestion du trait de côte
55	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire - Ministère de la Cohésion des Territoires - 2017	Fonds d'archives Service maritime et de la navigation Languedoc-Roussillon, 1966-2006 - Archives historiques du Ministère de la Transition écologique et solidaire et du Ministère de la Cohésion des territoires
56	Morel, Yann - 2016	Lasergrammétrie sous-marine : Quel apport pour les métrologies et l'Exploration Production ? - revue XYZ n°146 - 1er trimestre 2016
57	Nau, François - 2004	Mission de pilotage et de coordination pour l'exploitation des voies navigables - rapport n°2002-0197-01
58	Préfecture du Finistère - Préfecture maritime de l'Atlantique - 2008	Schéma de Référence des Dragages en Finistère
59	Rollet de l'Isle, Maurice - 1914	Etude historique sur les ingénieurs hydrographes et le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques - 4ème série, tome premier (bis) - 1950
60	Rollet, Claire - Breton, Cécile - Loubrieu, Benoît - Satra Le Bris, Catherine - 2010	Moyens mis en oeuvre pour la cartographie du plateau continental - Guide général - RST/IFREMER/DYNECO/AG/10-09/CR
61	Rouch, J - 1943	Traité d'océanographie physique - volume 1 sondages
62	Schleider, Wilfred - 1994	Hydrographie commission 4 - XXème congrès FIG - compte rendu - Revue XYZ n°61 - 4ème trimestre 1994
63	Service central hydrographique - 1967	Manuel d'hydrographie - 2ème édition
64	Shom - 2019	Rapport annuel
65	Shom - 2020	Références altimétriques maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée
66	Tanguy, Yves-Marie - Ezvan-André, Bénédicte - 2017	Le programme Litto3D - Revue XYZ n°151 - 2ème trimestre 2017
67	Wöppelmann, G. - Allain, S. - Bahurel, P. - Lanuzel, S. - Simon, B. - 1999	Zéro hydrographique vers une détermination globale - Revue XYZ n°79 - 2ème trimestre 1999

Autorisation No 03/2020

Le matériel provenant de la publication P-1 de l'OHI Revue Hydrographique Internationale (RHI) est reproduit avec la permission du Secrétariat de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) (Autorisation N° 03/2020), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI.

ANNEXES

Annexe A1 – les différents noms du service hydrographique

Nom	Date	Texte de référence
Bureau du Dépôt des plans, cartes et journaux de la marine	19/11/1720	Arrêt du conseil de marine
Dépôt des cartes, plans et journaux de la marine / Dépôt des cartes et plans [de la marine]	-	(appellations usuelles)
(Dépôt général de la marine - voir remarque)	11/05/1797	Arrêté du directoire exécutif (22 floréal an V)
Conservation du dépôt des cartes et plans de la marine	15/09/1848	Arrêté du ministre de la marine et des colonies
Dépôt des cartes et plans de la marine	07/12/1849	Décret du président de la république
Direction générale des services hydrographiques de la marine	27/10/1885	Décret du président de la république
Service hydrographique de la marine	13/01/1886	Décret du président de la république
Service central hydrographique	22/04/1927	Décret du président de la république
Service hydrographique et océanographique de la marine (S.H.O.M.)	25/05/1971	Décret du ministre de la défense nationale 71-396

Remarque : l'arrêté du directoire exécutif du 22 floréal de l'an V regroupe, sous le nom de dépôt général de la marine, le dépôt des cartes et plans de la marine et le dépôt des archives de la marine et des colonies. Ce dernier est rattaché directement au ministère en 1827 mais les cartes et ouvrages nautiques continuent d'être publiés au nom du dépôt général de la marine jusqu'en 1854. Pendant cette période, le dépôt des cartes et plans de la marine est désigné soit sous son nom d'origine, soit sous celui de dépôt général de la marine.

Annexe A2 – les responsables du service hydrographique

Tableau 1 : Directeurs du service hydrographique

Période	Nom, grade	Titre
20 novembre 1720 - 18 mai 1722	Chevalier Charles-Hercule d'Albert de Luynes, capitaine de vaisseau	Préposé à l'examen et à la garde des plans, cartes, journaux et mémoires de la Marine
18 mai 1722 - 10 mars 1734	Chevalier Louis Charles de La Blandinière, capitaine de vaisseau	-
10 mars (ou 1er novembre) 1734 - 1er janvier 1750	Marquis Antoine d'Albert du Chesne, capitaine de vaisseau puis chef d'escadre	-
1er janvier 1750 - 27 octobre 1756	Roland-Michel Barrin de la Galissonnière, capitaine de vaisseau puis chef d'escadre	-
28 octobre (ou 14 novembre) 1756 - 7 avril (ou 1er novembre 1757)	Antoine, Alexis Périer de Salvert, chef d'escadre	Garde et inspecteur du dépôt
1er novembre 1757 - 1761 (ou 15 février 1762)	Maximin de Bompar, chef d'escadre	-
15 février 1762 - 1772	Comte François Bernard de Narbonne Pelet, lieutenant de vaisseau	-
mars ? - fin août 1772	Jean Antoine Rizzi Zannoni	-
1er janvier 1773 - 10 mai 1776	Chevalier Gabriel Joseph d'Oisy d'Assignies, capitaine de vaisseau	Inspecteur du dépôt
10 mai 1776 - été 1792	Marquis Joseph-Bernard de Chabert, capitaine de vaisseau puis chef d'escadre	Inspecteur en chef et garde du dépôt
1792 - 1795 (vacance du poste)	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	Inspecteur par intérim
23 août 1795 - 23 septembre 1805	François-Etienne de Rosily-Mesros, vice-amiral	Directeur et inspecteur général du dépôt
23 septembre 1805 - 14 juin 1808	Jean Nicolas Buache de la Neuville	(intérim)
14 juin 1808 - 6 juin 1814	François-Etienne de Rosily-Mesros, vice-amiral	Directeur et inspecteur général du dépôt
6 juin 1814 - 1er janvier 1827	François-Etienne de Rosily-Mesros, vice-amiral	Directeur général des dépôts des cartes, plans, chartes et archives...
1er janvier 1827 - 20 novembre 1829	Elisabeth-Paul-Edouard de Rossel, contre-amiral	Directeur général du Dépôt des cartes et plans

Tableau 1 (suite) : Directeurs du service hydrographique

21 novembre 1829 - 28 juin 1833	Adrien-Louis, Comte de Gourdon, vice-amiral	-
22 juillet 1833 - 23 avril 1839	Jacques-Félix-Emmanuel Hamelin, contre-amiral	-
24 avril 1839 - 19 décembre 1846	Emmanuel Halgan, vice-amiral	-
19 décembre 1846 - 31 août (ou 15 septembre) 1848	Anne-Chrétien-Louis de Hell, contre-amiral	-
15 septembre 1848 - 6 décembre 1849	Pierre-Euryale Cazeaux, ancien ingénieur hydrographe	Conservateur
7 décembre 1849 -1er juin 1864	Mathieu, contre-amiral	Directeur général du Dépôt des cartes et plans
1er juin 1864 - 4 juillet 1871	Pâris, vice-amiral	-
4 juillet 1871 - 26 décembre 1877	Jurien de la Gravière, vice-amiral	-
26 décembre 1877 - 1er novembre 1878	Cloué, vice-amiral	-
1er novembre 1878 - 10 décembre 1881	Gicquel des Touches, vice-amiral	-
10 décembre 1881 - 23 août 1883	Duburquois, vice-amiral	-
23 août 1883 - 3 juillet 1885	(de) Jonquière, vice-amiral	-
11 juillet 1885 - 27 octobre 1885	Martin, vice-amiral	-
27 octobre 1885 - 16 janvier 1886	Martin, vice-amiral	Chef du Service Hydrographique
16 janvier 1886 - 21 octobre 1890	(chef d'état-major général du ministre)	
10 novembre 1890 - 20 mars 1892	Lefèvre, vice-amiral	Chef du Service Hydrographique
21 mars 1892 - 12 octobre 1892	Besnard, vice-amiral	-
12 octobre 1892 - 11 octobre 1894	Fleuriais, contre-amiral	-
12 octobre 1894 - 1er avril 1898	Maréchal, contre-amiral	-
1er avril 1898 - 8 février 1899	(de) Courthille, contre-amiral	-
20 février 1899 - 23 décembre 1899	(de) Penfentenyo de Kervéréguen, contre-amiral	-
23 décembre 1899 - 20 septembre 1900	Aubry de la Noé, contre-amiral	-
20 septembre 1900 - 23 mai 1901	Nabona, contre-amiral	-

Tableau 1 (suite) : Directeurs du service hydrographique

26 septembre 1901 - 12 mai 1923	(chef d'état-major général de la marine)	
12 mai 1923 - 19 novembre 1924	Maurice Rollet de l'Isle	Chef du service hydrographique
19 novembre 1924 - janvier 1932	Eugène Fichot	-
janvier 1932 - 1936	Donatien Cot	-
1936 - 15 octobre 1938	Donatien Cot	Directeur du service hydrographique
1938 - 15 août 1942	André Courtier	-
15 août 1942 - 15 août 1944	Henri Cathenod	-
15 août 1944 - septembre 1944	Henri Dyèvre	-
septembre 1944 - octobre 1945	Léon Damiani	(intérim)
octobre 1945 - 1er janvier 1956	Henri Dyèvre	Directeur du service hydrographique
1er janvier 1956 - 1957	Léon Damiani	-
1957 - 1964	André Gougenheim	-
1964 - 1967	Guy Chatel	-
1967 - 24 mai 1971	Roger Grousson	-
25 mai 1971 -	Roger Grousson	Directeur du SHOM
1er février 1976 - mars 1981	Marc Eyriès	-
mars 1981 - 30 mars 1987	Jean Bourgoin	-
30 mars 1987 - 15 octobre 1990	André Comolet-Tirman	-
15 octobre 1990 - 12 juillet 1994	Jean-Nicolas Pasquay	-
12 juillet 1994 - 1er avril 2000	François Milard	-
1er avril 2000 - 30 septembre 2005	Yves Desnoës	-
1er octobre 2005 - 10 mai 2007	Gilles Bessero	-
11 mai 2007 - 22 juin 2010	Gilles Bessero	Directeur général du SHOM
22 juin 2010 - 24 juin 2019	Bruno Frachon	-
24 juin 2019 -	Laurent Kerléguer	-

Remarque : à partir du 12 mai 1923 les chefs du service hydrographique sont uniquement des ingénieurs hydrographes.

Tableau 2 : Adjoints

Au XVIIIe siècle, les responsables (garde puis inspecteur) étant souvent absents en mer, un poste d'adjoint est créé à partir de 1758.

Période	Nom, grade	Titre
20 octobre 1758 - mai 1762	Marquis Joseph-Bernard de Chabert de Cogolin, capitaine de vaisseau	Sous-inspecteur (attaché au Dépôt pour rédiger ses travaux)
20 mars 1773 - mai 1776	Marquis Joseph-Bernard de Chabert de Cogolin, capitaine de vaisseau	Inspecteur adjoint
15 mai 1776 - 25 octobre 1790	Chevalier Charles Pierre Claret de Fleurieu	-
15 novembre 1790 - ?	Jean-Jacques Isle-Beauchaine	-
1814 - 1826	Elisabeth-Paul-Edouard de Rossel, contre-amiral	Directeur adjoint
22 (ou 30) novembre 1830 - 15 septembre 1848	Charles-François Beautemps-Beaupré	-

Tableau 3 : Gardes

Alors que le Garde était à l'origine le responsable du Dépôt, la nouvelle fonction de Garde concerne l'encadrement des commis et la gestion courante des documents.

Période	Nom, grade	Titre
mars - août 1772	Giovanni Antonio Rizzi Zannoni	Garde du dépôt
1er janvier 1773 (ou août 1772) - juin 1775	Anne-François L'Huillier de la Serre	-
1775 - mars 1792	François Pierre Le Moyne	-
mars 1792 -	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	-

Tableau 4 : Premiers ingénieurs

Période	Nom, grade	Titre
1er août 1741 - 21 mars 1772	Jacques Nicolas Bellin	Ingénieur hydrographe de la marine
22 mars 1772 - août 1772	Giovanni Antonio Rizzi Zannoni	Ingénieur géographe et hydrographe de la marine
1er janvier 1773 - fin 1775	Giovanni Antonio Rizzi Zannoni	-
1er juillet 1776 - 1er avril 1789	Rigobert Bonne	Premier ingénieur hydrographe
1er avril 1789 - 22 septembre 1800	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	- (puis ingénieur hydrographe et conservateur ?)
23 septembre 1800 - 1804	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	Premier ingénieur hydrographe conservateur
1804 - 6 juin 1814	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	Hydrographe-chef
6 juin 1814 - 21 novembre 1825	Jean-Nicolas Buache de la Neuville	Ingénieur hydrographe en chef, conservateur
14 janvier 1826 - 15 septembre 1848	Charles-François Beautemps-Beaupré	-
15 septembre 1848 - 6 décembre 1849	(Pierre-Euryale Cazeaux, ancien ingénieur hydrographe)	(Conservateur)
1849 - 16 février 1853	Pierre Daussy	Ingénieur hydrographe en chef
16 février 1853 - 1er avril 1865	Pierre Bégat	-
14 juin 1865 - 1er mars 1869	Benoît Darondeau	-
6 mars 1869 - 1er juin 1875	Ferdinand de la Roche-Poncié	-
1er juin 1875 - 23 août 1879	François Alexandre Delamarche	-
23 août 1879 - 23 avril 1886	Pierre Louis Jean Baptiste Gaussin	-
23 avril 1886 - 1er janvier 1891	Anatole Bouquet de la Grye	-
1er janvier 1891 -30 juillet 1894	Eugène Manen	-
30 juillet 1894 - 3 juin 1895	Adrien Germain	-
8 juin 1895 - 26 mai 1899	Gabriel Héraud	-
26 mai 1899 - 7 janvier 1903	Gabriel Héraud	Directeur d’hydrographie
3 mars 1905 - 6 janvier 1913	Ferdinand Hanusse	-
6 janvier 1913 - 30 septembre 1919	Joseph Renaud	-
30 septembre 1919 - 12 mai 1923	Maurice Rollet de l'Isle	Directeur du service hydrographique

Tableau 5 : Seconds ingénieurs

Période	Nom, grade	Titre
6 juin 1814 - 14 janvier 1826	Charles-François Beautemps-Beaupré	Second ingénieur hydrographe en chef, conservateur adjoint
11 avril 1829 - ?	Pierre Daussy	-

Annexe A3 – le corps des ingénieurs hydrographes

Les premiers ingénieurs hydrographes

Bellin, entré au Dépôt des cartes et plans en 1721, reçoit le premier brevet d'ingénieur hydrographe en 1741. Il décède en 1772. L'année suivante, le Dépôt dispose d'un hydrographe, Zannoni, et de plusieurs ingénieurs. En 1785, le premier ingénieur hydrographe est Bonne. Le Dépôt dispose également d'un astronome hydrographe, Méchain, et de 6 ingénieurs hydrographes.

Ces ingénieurs hydrographes sont des dessinateurs. Ils travaillent principalement au Dépôt. On leur connait seulement deux missions sur le terrain avant les levés effectués par Beautemps-Beaupré à partir de 1799 :

- état des lieux du chenal et du port de Dunkerque (Bellin, 1730)
- triangulation sur le littoral de Dunkerque à Cancale (Lartigue et Grancourt, avec l'astronome Méchain et le lieutenant de vaisseau de la Bretonnière, 1776-1777), qui conduit à la publication de cartes en 1792

Le Dépôt avant la création du corps des ingénieurs hydrographes

En 1792, l'effectif du Dépôt est le suivant :

- 1 inspecteur
- 1 sous-inspecteur
- 1 premier hydrographe
- 1 astronome hydrographe
- 7 ingénieurs dessinateurs
- 2 commis

Le 3 vendémiaire de l'an VII (24 septembre 1798), le Dépôt reçoit une nouvelle organisation. Le sous-inspecteur est supprimé, un conservateur et un bibliothécaire sont ajoutés. L'effectif est alors de 30 ingénieurs et commis.

En mars 1797, Beautemps-Beaupré entre au Dépôt comme ingénieur de 1ère classe, sous-conservateur.

La création du corps des ingénieurs hydrographes

La création du corps des ingénieurs hydrographes est habituellement associée à l'ordonnance du 6 juin 1814 qui place le dépôt des cartes et plans et celui des chartes et archives sous les ordres d'un directeur général. Cependant le corps existait déjà à ce moment là, comme l'indique Beautemps-Beaupré dans l'introduction de son *exposé des travaux relatifs à la reconnaissance hydrographique des côtes occidentales de France* : « Une organisation nouvelle fut donnée au corps des ingénieurs hydrographes de la marine, le 6 juin 1814. »

Le texte de l'ordonnance du 6 juin ne mentionne pas explicitement la création du corps ; il en modifie la composition :

Art 1er : Le dépôt des cartes et plans de la marine et des colonies, et celui des chartes et archives, seront sous les ordres d'un chef supérieur …

Art 2 : Il y aura un directeur adjoint …

Art 3 : Le corps des ingénieurs hydrographes destinés à la levée et à la construction des cartes marines, est attaché à cet établissement. Il sera composé de :

- *deux ingénieurs en chef,*
- *trois ingénieurs de 1ère classe,*
- *trois ingénieurs de 2ème classe,*
- *quatre ingénieurs de 3ème classe,*
- *d'un nombre d'élèves … qui ne pourra dépasser celui de quatre.*

Art. 5 : Les ingénieurs hydrographes conserveront leur uniforme actuel.

Le sénateur Cabart-Danneville, dans la partie historique de sa proposition de loi[1], faisant référence au manuscrit du capitaine de vaisseau Leps, écrit : « le 1er vendémiaire de l'an IX (23 septembre 1800) le dépôt reçut une nouvelle organisation ; le corps des ingénieurs hydrographes se composa d'un premier ingénieur conservateur,

[1] Proposition de loi tendant à réorganiser le service hydrographique de la marine - n°337 - séance du Sénat du 10 juillet 1906

de 5 ingénieurs de 1ère classe, de 5 ingénieurs de 2ème classe et de dessinateurs et employés, tous placés sous les ordres d'un officier général inspecteur. Quelques mois plus tard, Beautemps-Beaupré venait aider l'éminent ingénieur Buache dans ses travaux. ».

Le 13 thermidor de l'an XI (1er août 1803) le directeur du Dépôt propose au ministre une organisation des ingénieurs hydrographes similaire à celle des ingénieurs géographes, avec des grades militaires. Sa proposition n'est pas retenue.

Pour Frédéric Chasseriau, auteur d'une série d'articles sur Beautemps-Beaupré après sa mort[2], le corps des ingénieurs hydrographes a été créé en 1804 : « Bien que le dépôt général des cartes et plans de la marine remontât à l'année 1720, cet établissement n'avait été soumis à aucun règlement. Le 2 février 1804, le dépôt reçut enfin une base organique par l'acte qui réunit et classa en corps les ingénieurs hydrographes, jusqu'alors considérés comme de simples individualités. » Cet acte, non retrouvé, est probablement le même que celui qui, le même jour, nommait Beautemps-Beaupré sous-chef des ingénieurs hydrographes et sous-chef du Dépôt selon Elie de Beaumont[3].

La composition du corps des ingénieurs hydrographes à cette date (2 février 1804 - 12 pluviôse de l'an XII) est la suivante :

- 1 ingénieur hydrographe chef
- 1 ingénieur hydrographe sous-chef
- 4 ingénieurs hydrographes de première classe
- 4 ingénieurs hydrographes de seconde classe
- 4 élèves

Quelques jours plus tard, le 26 pluviôse de l'an XII (16 février 1804), un arrêté ministériel détermine l'uniforme des ingénieurs hydrographes.

Extrait d'une lettre du ministre de la marine et des colonies au vice amiral Rosily-Mesros, en date du 5 pluviôse de l'an XII (26 janvier 1804)

Comme l'uniforme, s'il en est adopté par le premier consul, ne devra être porté que par le colonel Buache, hydrographe chef, par le colonel Beautemps-Beaupré, hydrographe sous chef, par les hydrographes de 1ère classe et de 2ème classe ainsi que par les élèves ; il conviendra que vous m'adressiez la liste des ingénieurs que vous jugerez convenable de placer dans la 1ère et 2ème classe, suivant leur mérite réel, la nature et l'ancienneté de leurs services. Il m'avait été proposé de donner un uniforme aux dessinateurs, mais je n'ai point approuvé cette proposition, et je vous observe à ce sujet que vous ne devez me présenter comme ingénieur de 1ère ou de 2ème classe que les sujets qui par leurs connaissances théoriques et pratiques, sont en état d'en remplir très utilement les fonctions.

Lettre du ministre de la marine au général Rosily, en date du 7 ventôse de l'an XII (27 février 1804)

Je vous avais prévenu le 5 pluviôse, citoyen général que je soumettrai au gouvernement la proposition de donner un uniforme aux ingénieurs hydrographes de la marine : cet uniforme a été déterminé par un arrêté du 26 du mois dernier (26 pluviôse), et la copie en est ci-jointe, ainsi que le dossier de la broderie que ces ingénieurs sont autorisés à porter.

Je vous prie de notifier cet arrêté à tous ceux qu'il concerne, et de tenir la main à son exécution.

En me référant à ma lettre du 12 pluviôse relative à la classification de ces ingénieurs, et à la destination de quelques un d'entre eux, je vous invite, citoyen général, à saisir cette circonstance pour exciter de nouveau leur zèle et leur émulation : ils doivent savoir que les dispositions qui viennent d'être successivement adoptées à leur égard consolident leur état et leur imposent de nouvelles obligations envers la marine dont ils forment actuellement un des corps.

Il semble donc que l'acte manquant du 2 février 1804 soit la lettre du 12 pluviôse citée par le ministre dans son courrier du 7 ventôse.

En 1811, un nouveau projet d'organisation voit le jour, sans qu'il lui soit donné de suite. Ce projet du ministre prévoyait l'effectif suivant :

- 2 chefs de brigade
- 2 chefs de bataillon
- 8 capitaines de 1ère classe
- 8 capitaines de 2ème classe

2 Le moniteur universel, 19 juillet et 2 août 1854

3 Éloge historique de Charles-François Beautemps-Beaupré, Elie de Beaumont, Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France - 1860

- 8 lieutenants
- 2 élèves

Rapport du 30 janvier 1812 sur l'organisation du Dépôt général de la marine

Le document porte les mentions ajoutées : *Ecrin le 3 février à monsieur le vice amiral Rosily* et *1er projet d'organisation non adopté.*

Monseigneur a demandé à M le vice amiral Rosily de lui soumettre un projet d'organisation du corps des ingénieurs hydrographe de la marine établi sur celle du corps des ingénieurs géographe du département de la guerre.

Cet officier général adresse le projet d'organisation demandée ainsi que celle du corps des ingénieurs géographes qui lui a servi de base.

L'organisation de ce dernier corps est du 30 janvier 1809, il est placé dans les attributions du ministre de la guerre, et a pour chef l'officier général directeur du dépôt de la guerre.

Il se compose de 90 officiers, savoir

- *4 colonels*
- *8 chefs d'escadron*
- *24 capitaines de 1ère classe*
- *24 capitaines de 2ème classe*
- *24 lieutenants*
- *6 élèves sous-lieutenants*

Total 90

Partant de cette organisation, M le vice amiral ROSILY propose de porter à 16 (non compris les élèves et un certain nombre d'anciens ingénieurs) le corps des ingénieurs hydrographes, et de le composer par assimilation de grade et d'appointements comme suit :

- *2 ingénieurs en chef, colonels*
- *2 ingénieurs sous-chef, chefs de bataillon*
- *4 ingénieurs de 1ère classe, capitaines de 1ère classe*
- *4 ingénieurs de 2ème classe, capitaines de 2ème classe*
- *4 ingénieurs de 3ème classe, lieutenants*
- *élèves ingénieurs, sous-lieutenants*

Total 16

Le nombre des élèves serait déterminé chaque année suivant les besoins du service, et ces élèves seraient pris à l'avenir à l'école polytechnique.

Le corps actuel des ingénieurs hydrographes est composé, d'après l'organisation faite le 12 pluviôse an 12 savoir :

- *1 ingénieur hydrographe chef*
- *1 ingénieur hydrographe sous chef*
- *4 ingénieurs hydrographes de 1ère classe*
- *4 ingénieurs hydrographes de 2ème classe*
- *4 élèves*

Total 14

Les ingénieurs de 1ère classe ont depuis 2500 livres d'appointement jusqu'à 4000

Ceux de 2ème classe 2100 livres

et les élèves 12 à 1900 livres

En résultat la solde de ces 14 hydrographes s'élève à 38000 livres ainsi que le constate l'état ci-joint n°1

En adoptant l'organisation proposée par le vice amiral Rosily, quant au nombre des hydrographes, leur grade militaire et appointement, en y joignant 4 élèves (ce qui porterait le corps à 20) la dépense de leurs appointements à Paris sera annuellement de 62,166.64 livres et en campagne de 87,700 livres ainsi que le constate l'état ci-joint n°2.

Il est de fait que le nombre actuel des hydrographes n'est pas en proportion avec les besoins du service ; que généralement leurs appointements sont très modiques ; et qu'il est nécessaire de donner à ce corps une organisation telle que les élèves de l'école polytechnique trouvent de l'avantage à y entrer.

Mais convient-il que les ingénieurs hydrographes soient militaires ?

Telle est la question qui se présente d'abord, et que l'on soumet à Monseigneur.

Les ingénieurs géographes de la guerre sont aux armées, font partie des Etats Majors Généraux, sont chargés de reconnaissances et de levées de plans sur le terrain et remplissent ainsi des fonctions réellement militaires.

Les opérations des ingénieurs hydrographes sont très bien connues de son Excellence pour qu'on ait besoin de les détailler, mais quoiqu'elles n'exigent pas moins de talent et de connaissances que celles des ingénieurs géographes, elles n'ont dans les faits rien de militaire.

Le seul motif qui pourrait engager Monseigneur à organiser militairement le corps des ingénieurs hydrographes serait donc l'identité du noviciat (l'école polytechnique d'où sont tirés les élèves) et les rapports entre la dénomination et les fonctions habituelles des géographes et des hydrographes.

On a essayé d'assimiler les ingénieurs hydrographes quant aux classes et appointements avec les officiers du génie maritime, qui prennent aussi leur source dans l'école polytechnique, et qui ne sont pas militaires.

Le tableau ci joint n°3 présente les détails de cette assimilation.

Enfin, si l'une et l'autre formation ne paraissait pas convenable, on proposerait une organisation particulière des ingénieurs hydrographes basée sur celle établie le 12 pluviôse an 12 et conforme au tableau ci-joint n°4.

En résumé, le premier projet, celui d'assimilation aux ingénieurs géographes élèverait la dépense pour 20 ingénieurs à 62,166 livres

Le second projet, par assimilation aux officiers du génie maritime et pour 22 ingénieurs à 66,800.

La 3eme enfin, basée sur l'ancienne organisation et pour le même nombre de 22 ingénieurs à 52,900

Il est à remarquer que M le vice amiral Rosily ne porte dans ses propositions que 16 ingénieurs, mais il y ajoute d'une part, un nombre indéterminé d'élèves, et d'un autre côté il conserve au dépôt, en outre 16 ingénieurs en activité, un nombre qu'il ne fixe pas d'hydrographes âgés ou infirmes, sous le titre d'anciens ingénieurs, auxquels il assigne des fonctions de direction et de surveillance.

Monseigneur est prié de faire connaître ses intentions sur les trois modes différents d'organisation proposée. Il sera rédigé d'après ses ordres un projet de décret ou de règlement qui fixera désormais cette partie du service.

Cette première partie de l'organisation terminée, Monseigneur n'aura plus qu'à statuer sur le nombre des dessinateurs du dépôt.

Ils sont aujourd'hui au nombre de cinq, leurs appointements s'élèvent en tout à 11,00 livres (tableau n°1)

L'amiral

Décret du 30 janvier 1812

Ce document porte la même date que le document précédent. Il n'est pas possible de savoir si ce texte n'est qu'un projet ou s'il a été signé par l'empereur.

Décret Impérial du 30 janvier 1812

Napoléon empereur des Français

Roi d'Italie et Protecteur de la Confédération du Rhin,

Sur le rapport de Notre Ministre de la marine et des Colonies, notre Conseil d'Etat entendu, Nous avons décidé et décrété ce qui suit:

ART 1er Les Ingénieurs hydrographes sont organisés en corps qui portera le nom de Corps Impérial des Ingénieurs Hydrographes.

ART 2 Il sera dans les attributions du Ministère de la Marine et des Colonies, et aura pour chef l'Officier Général Directeur et Inspecteur du dépôt des cartes, plans et journaux de la Marine et des Colonies.

ART 3 Le nombre des ingénieurs hydrographes sera de seize, non compris les élèves, à savoir

- *deux ingénieurs en chef colonels*
- *deux ingénieurs sous-chef chefs de bataillon*
- *quatre ingénieurs de 1ère classe capitaines de 1ère classe*
- *quatre ingénieurs de 2ème classe capitaines de 2ème classe*
- *quatre ingénieurs de 3ème classe lieutenants*
- *élèves ingénieurs sous-lieutenants*

ART 4 Le nombres des élèves hydrographes sera déterminé chaque année, par notre Ministre de la Marine.

ART 5 Les places vacantes dans ce corps seront données à des élèves de l'école Polytechnique, conformément à la loi du 25 frimaire an 10.

ART 6 Les ingénieurs hydrographes jouiront dans leur grades respectifs, de la solde accordée par les lois aux ingénieurs du génie maritime.

ART 7 Ils auront aussi droit dans leurs grades respectifs aux indemnités et retraites de tout genre qui sont accordées aux ingénieurs du corps impérial des ingénieurs du génie maritime, d'après les formes et dans les cas déterminés par les lois et les règlements militaires.

ART 8 Les ingénieurs hydrographes en campagne jouiront d'un traitement supplémentaire qui sera fixé par le Ministre de la Marine et des Colonies.

ART 9 Les élèves hydrographes qui auront trois années de service et fait deux campagnes seront de droit sous ingénieurs de 2ème classe et ils jouiront de tous les avantages attachés à ce grade.

ART 10 Un ingénieur hydrographe d'une classe quelconque, pourra être promu à un grade supérieur au sien dans le cas même où la classe supérieure serait complete, s'il a mérité cette faveur par des services distingués.

ART 11 L'uniforme des ingénieurs hydrographes sera comme ci-dessous, habit français, bleu impérial, doublure bleue, collet et parements de velours noir, veste blanche, culotte blanche ou bleue, chapeau uni avec la cocarde retenue par une ganse en or et un bouton, mais il est dérogé à l'arrêté du 26 pluviose an 12 à l'égard du timbre et de la légende des boutons, de la broderie, et de la distinction des classes.

Les boutons seront en cuivre doré, ils seront timbrés d'une ancre et d'un aigle et de la légende Corps Impérial des Ingénieurs Hydrographes.

La broderie sera conforme au modèle annexé au présent décret, et les classes seront distinguées de la manière suivante.

- *Les ingénieurs en chef auront toutes les boutonnières de l'habit brodées en or et une broderie double au collet, aux parements et aux poches.*
- *Les ingénieurs de 1ère classe auront une broderie simple au collet, aux parements et aux poches.*
- *Les ingénieurs de 2ème classe auront une broderie simple au collet et aux parements.*
- *Les ingénieurs de 3ème classe auront une broderie simple au collet et les boutonnières des parements brodées*

Les sous ingénieurs de 1ère et de 2ème classe auront les boutonnières du collet et des parements brodées.

Les élèves admis et non admis auront les boutonnières du collet brodées et leur parement de velours noir uni.

L'arme des ingénieurs hydrographes est l'épée ornée d'une dragonne.

ART 12 Il sera attaché au corps des ingénieurs hydrographes tant pour le service intérieur du Dépôt Général des Cartes, des Plans et Journaux de la Marine, que pour le service extérieur, six dessinateurs. Ils porteront l'habit, parements et collet bleu impérial avec le bouton du corps.

ART 13 Notre Ministre de la marine et des colonies est chargé de l'exécution du présent décret

L'évolution du corps des ingénieurs hydrographes au XIXe siècle

Plusieurs textes règlementaires régissent l'effectif du corps des ingénieurs hydrographes au XIXe siècle :

A l'ordonnance royale du 6 juin 1814

B l'ordonnance du 6 octobre 1824

C l'ordonnance du 2 juin 1830

D l'ordonnance du 28 janvier 1844

E l'arrêté du 15 septembre 1848

F le décret du 5 mars 1856

G le décret du 19 juin 1900 (et celui du 1er décembre 1900)

Dans le tableau de la page suivante, le nombre d'élèves indiqué est le maximum autorisé.

Lorsque plusieurs quantités sont indiquées, chacune d'elles correspond à une classe. Exemple : ingénieur 4+4+6 correspond à : 4 ingénieurs de 1ère classe, 4 ingénieurs de 2ème classe et 6 ingénieurs de 3ème classe.

Dans l'ordonnance royale du 6 juin 1814, le premier ingénieur en chef a le titre de conservateur, le second celui de conservateur adjoint.

L'ordonnance du 2 juin 1830 modifie le nom du corps qui devient Corps Royal. Elle ajoute la classe

Désignation	A	B	C	D	E	F	G
Directeur d'hydrographie							1
Ingénieur en chef	2	2	2	1+1	1	1	3+3
Ingénieur principal							3
Ingénieur	3+3+4	4+4+6	4+4+6	4+4+5	5+5	4+4	5+2+X
Sous-ingénieur			X	3	3+3	3+3+2	
Elève	4	4	Y	2	2	X	
Total	16	20	20	20	19	17+X	17+X

des sous-ingénieurs pour les élèves ayant au moins deux ans d'ancienneté et les conditions de navigation requises. L'ordonnance stipule également qu'à l'avenir le recrutement se fera exclusivement à l'Ecole Polytechnique. Le nombre total de sous-ingénieurs X et d'élèves Y ne peut dépasser quatre.

Une réduction générale des effectifs est programmée en 1872. Pour le corps des ingénieurs hydrographes, elle prévoit :

- 1 ingénieur hydrographe en chef
- 3 ingénieurs de 1ère classe
- 3 ingénieurs de 2ème classe
- 2 sous-ingénieurs de 1ème classe
- 2 sous-ingénieurs de 2ème classe
- 2 sous-ingénieurs de 3ème classe
- des élèves-ingénieurs

Cette réduction des effectifs doit s'opérer par voie d'extinction. Elle n'a pas le temps d'opérer, l'effectif remontant avec la loi des finances de 1881.

En 1880, un projet de loi prévoit que le corps des ingénieurs hydrographes deviendra le corps du génie hydrographique. Bien que ce projet ne semble pas être allé plus loin, on trouve le terme de génie hydrographique dans des textes sur les rangs et préséances publiés au journal officiel (en 1883 et 1900) ainsi que dans la presse des années 1882 pour la nécrologie de l'ingénieur en chef Pierre Bégat.

Un décret du 26 mai 1899 modifie l'appellation de l'ingénieur en chef qui devient directeur d'hydrographie. Après les décrets des 19 juin et 1er décembre 1900, l'équivalence des grades est la suivante :

- directeur d'hydrographie : contre-amiral
- ingénieur en chef de 1ère classe : capitaine de vaisseau
- ingénieur en chef de 2ème classe : capitaine de frégate
- ingénieur principal : capitaine de corvette
- ingénieur de 1ère classe : lieutenant de vaisseau
- ingénieur de 2ème classe : enseigne de vaisseau de 1ère classe
- ingénieur de 3ème classe : enseigne de vaisseau de 2ème classe

Le statut des ingénieurs hydrographes

Les premiers ingénieurs hydrographes, Bellin et ses successeurs, n'étaient pas des militaires. Une première tentative de donner aux ingénieurs hydrographes un statut militaire est due au directeur du Dépôt, le 13 thermidor de l'an XI (1er août 1803, voir plus haut). Dans sa lettre du 5 pluviôse de l'an XII (26 janvier 1804), le ministre cite le colonel Buache et le colonel Beautemps-Beaupré. Le projet de 1811 donne également des grades militaires aux ingénieurs hydrographes. Cet état de fait provient d'une assimilation assez naturelle des ingénieurs hydrographes de la marine avec les ingénieurs géographes de l'armée, qui ont un statut militaire. Dans le rapport du 3 février (sans année), le ministre s'interroge sur l'intérêt de donner un tel statut aux ingénieurs hydrographes dont les travaux « n'ont dans les faits rien de militaire ». Il envisage d'assimiler les ingénieurs hydrographes au génie maritime, dont les ingénieurs ont un statut civil. Le [projet de] décret du 30 janvier 1812 est de ce point de vue curieux : les ingénieurs y reçoivent des grades militaires mais ils sont par ailleurs assimilés aux ingénieurs du génie maritime. L'ordonnance du 6 juin 1814 ne retient que l'assimilation au génie maritime. Les ingénieurs hydrographes forment alors un corps d'officiers civils de la marine.

Ce statut change avec l'ordonnance du 28 mars 1830, qui donne au corps royal du génie maritime

une équivalence de grades du corps royal de la marine. Pour Rollet de l'Isle[4], cela entraîne automatiquement l'assimilation des grades des ingénieurs hydrographes aux grades des officiers de marine. Toutefois, les hiérarchies des deux corps spécialisés n'ont que quelques appellations communes, ce qui rend difficile toute mise en correspondance. L'ordonnance du 6 juin 1830 fait du corps des ingénieurs-hydrographes un corps royal. Elle établit le recrutement exclusif à l'Ecole royale polytechnique, ce qui était déjà dans les faits. D'autre part, elle ajoute le rang de sous-ingénieur et précise qu'il est assimilé aux enseignes de vaisseau, ce qui plaide pour l'existence d'un statut militaire du corps.

La confirmation vient d'un arrêté du 15 septembre 1848 qui modifie le régime intérieur du dépôt de la marine et la composition du corps des ingénieurs hydrographes. Son article 9 précise : « l'assimilation des grades demeure fixée, comme pour les ingénieurs des constructions navales, par l'article 17 de l'ordonnance du 2 mars 1838 », cet article 17 étant une nouvelle version de celui de l'ordonnance du 28 mars 1830.

Il semble que les ingénieurs hydrographes n'aient pas pris conscience immédiatement qu'ils devenaient des militaires : Beautemps-Beaupré écrit dans une note de 1840 : « Ces ingénieurs [les ingénieurs hydrographes] ne faisant pas partie du Corps des Officiers militaires et, pour cette raison, ne pouvant jamais être chargés de la direction des travaux hydrographiques qui exige l'emploi des grands bâtiments de l'Etat… ». De son côté, l'ingénieur hydrographe Darondeau, répondant en 1842 au rédacteur du journal la Flotte, écrit : « … en un mot, qu'il faut des hommes spéciaux pour lever les cartes. Toute votre argumentation se réduit donc à avoir des hydrographes vêtus d'un habit plutôt qu'un autre. Cette question d'habit, si minime qu'elle paraisse, n'est cependant pas sans importance. Je crois d'abord qu'il serait ridicule de donner des épaulettes à des hommes qui ne sont chargés d'aucune fonction militaire ; en second lieu, les relations entre l'hydrographe et le capitaine du bâtiment… ne seront-elles pas moins gênées si le premier n'est pas officier ? Celui-ci n'admettra-t-il pas plus volontiers des conseils utiles au travail de la part d'un homme qui n'aura aucun caractère militaire à bord, que de celle d'un officier qui, par ses épaulettes, sera son subordonné direct ? Et l'hydrographe ne sera-t-il pas plus à l'aise dans son habit civil pour réclamer les secours qu'exigeront ses opérations ? … il faut que les attributions des ingénieurs soient toujours basées sur le principe qui les régit aujourd'hui ; en un mot, il faut qu'ils forment un corps spécial non militaire. »

Même Rollet de l'Isle, après son commentaire sur l'ordonnance du 28 mars 1830, indique dans son chapitre sur les ingénieurs hydrographes, pour la période 1844 à 1848 : « aucune disposition ne fixait en effet l'âge de la retraite des officiers civils … » et plus loin : « Les ingénieurs demandent que l'on mette à leur tête, ainsi que cela a lieu dans tous les corps civils qui se recrutent à l'École Polytechnique, un Inspecteur général des travaux hydrographiques… ». Il semble donc que l'imprécision des textes règlementaires ait entretenu un flou sur le statut militaire des ingénieurs hydrographes jusqu'à l'arrêté très clair de 1848.

4 Etude historique sur les ingénieurs hydrographes et le service hydrographique de la marine - Annales hydrographiques - 4ème série - tome premier (bis) - 1950 - Maurice Rollet de l'Isle, 1914

Annexe A4 – la formation des officiers mariniers hydrographes

Formation des adjoints hydrographes

A partir de 1923, le certificat d'adjoint hydrographe est attribué aux officiers mariniers de la manœuvre et de la timonerie ayant fait preuve de l'aptitude nécessaire pour pouvoir coopérer à des travaux hydrographiques, après un stage d'au moins trois mois à bord d'un bâtiment chargé de travaux hydrographiques et le passage d'un examen. Le stage est précédé d'un cours d'instruction théorique préparatoire d'un mois dispensé en mars à Paris.

Le programme des connaissances exigées des candidats est le suivant :

- partie théorique :

- éléments de trigonométrie plane
- détermination de la position d'un point par l'intersection de plusieurs lieux géométriques
- précision graphique de cette détermination
- calcul par logarithmes
- notions sur le nivellement

- partie pratique :

- sondes : faire une ligne de sondes en suivant un alignement ou un segment, rechercher une roche, faire un dragage
- topographie : levé topographique d'une partie de côte, topographie de roches, déterminer l'altitude d'un point
- calcul : calcul d'une perpendiculaire, gisement et distance de deux points
- rédaction : rédiger un levé topographique

L'arrêté du 15 juin 1928*[1] indique, dans son annexe IIbis, que la formation commence le 15 janvier pour une durée d'un mois.

Formation des hydrographes

1934

Dans le décret du 10 avril 1934 qui crée la spécialité d'hydrographe dans le corps des équipages de la flotte, les hydrographes « sont affectés aux travaux hydrographiques ».

Leur recrutement s'effectue d'abord parmi les officiers mariniers titulaires du certificat d'adjoint hydrographe, puis parmi les seconds-maîtres titulaires du certificat d'aide-hydrographe.

Leur formation est identique à celle des adjoints hydrographes.

Le décret du 26 novembre 1937 indique que les candidats suivent un stage préalable au service central hydrographique puis à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique sur les côtes de France.

1946

Dans une note du 26 avril 1946, le service central hydrographique indique que la durée d'un mois du cours d'instruction théorique est manifestement insuffisante, compte tenu du programme enseigné et du niveau moyen des stagiaires. Cette année là, la durée du cours a été portée à trois mois, mais l'expérience montre que cette durée ne permet pas aux élèves d'assimiler correctement les cours qui leur sont professés.

Le rédacteur de la note demande donc que le cours commence le 1er septembre pour un durée de cinq mois. Le cours de 1946 est porté à cinq mois, mais commence le 1er novembre. Le stage pratique avant l'examen final est porté à cinq mois.

1966-1968

Depuis 1946, les officiers mariniers hydrographes recevaient quelques notions d'astronomie pendant leur formation et étaient considérés comme aptes au quart à la passerelle. L'arrêté n°2 du 10 janvier 1966* ajoute la possibilité d'effectuer un stage de trois mois à l'école de manœuvre, suivi d'un examen permettant d'obtenir le certificat d'aptitude à faire le quart en chef sur les navires. L'arrêté n°12 du 29 avril 1968* rend ce stage obligatoire, sa du-

[1] Non consulté - dans la suite du texte, un astérisque placé après la date d'un texte règlementaire indique que ce texte n'a pu être consulté.

rée étant portée à quatre mois. Le brevet de la spécialité d'hydrographe donne alors l'aptitude à faire le quart en chef (aptitude à la navigation).

1971

La formation est portée à seize mois :

- cours théorique de six mois
- stage pratique embarqué de six mois
- stage de chef de quart de quatre mois

1973

La durée de la formation passe à vingt-trois mois (arrêtés n°14 et 15 du 16 août 1973*) :

- cours d'hydrographie à l'école des hydrographes (neuf mois)
- stage embarqué à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (trois mois)
- cours de chef de quart à l'école de manœuvre et des chefs de quarts (cinq mois)
- stage de navigation à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (six mois)

1978

La formation dure désormais vingt-cinq mois :

- cours d'hydrographie à l'école des hydrographes (neuf mois)
- stage embarqué à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (quatre mois)
- cours de chef de quart à l'école de manœuvre et des chefs de quarts (six mois)
- stage de navigation à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (six mois)

1982

La circulaire N°3860DEF/DPMM/2/A du 19 novembre 1982* réorganise la spécialité et la formation, d'une durée de vingt-six mois, qui comporte deux phases :

- phase d'hydrographie (quatorze mois) :

- cours d'hydrographie à l'école des hydrographes (dix mois)
- stage embarqué à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (quatre mois)

- phase de navigation (douze mois) :

- cours de navigation à l'école de manœuvre et de navigation (six mois)
- stage de navigation à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (six mois)

1992

L'aptitude à faire le quart en chef est supprimée. Les officiers mariniers hydrographes ayant obtenu leur brevet jusqu'en 1994 peuvent être chefs de quart passerelle. Les nouveaux brevetés sont adjoints chef de quart passerelle.

En 1993, la formation, toujours de vingt-six mois, est la suivante :

- cours d'hydrographie à l'école des hydrographes (neuf mois)
- stage embarqué à bord d'un bâtiment affecté à une mission hydrographique ou océanographique des côtes de France (cinq mois)
- formation à l'école de manœuvre et des chefs de quarts (neuf mois)
- stage de navigation à bord d'un bâtiment hydrographique ou océanographique (trois mois)

1996

La formation est ramenée à vingt-quatre mois :

- première année : formation théorique et pratique à la manœuvre et à la navigation - formation générale militaire et scientifique :

- stage probatoire de trois semaines
- formation générale maritime et militaire de sept mois : formation à la manœuvre, à la navigation, à la conduite du personnel, et stage embarqué de trois mois
- cours préparatoire d'hydrographie de quatre mois

- deuxième année : formation théorique et pratique à l'école des hydrographes puis en mission hydrographique et océanographique :

- cours d'hydrographie de huit mois
- stage pratique de quatre mois dans une unité hydrographique ou océanographique basée en métropole

A l'issue de la formation, les brevetés hydrographes sont aptes aux fonctions d'adjoint à l'officier chef de quart.

2001

En avril 2001, le stage probatoire et le stage embarqué de navigation préalable sont supprimés. La formation est réduite à dix-neuf mois :

- formation générale et maritime à l'école de manœuvre et de navigation (trois mois)
- formation à l'école des hydrographes (douze mois)
- stage en mission hydro-océanographique (quatre mois)

2015

La formation est ramenée à quatorze mois.

2017

La session 2017 accueille pour la première fois les étudiants de l'Université de Bretagne occidentale (UBO) de la licence sciences de la terre, parcours hydrographie. La formation dure onze mois et demi :

- stage de quatre semaines à l'Ecole navale pour acquisition des permis côtier et hauturier
- troisième année de licence L3 en hydrographie, en partenariat avec l'UBO (neuf mois)
- formation de complément au Shom (6 semaines)

Formations complémentaires

Formation de programmeur

La formation de programmeur débute en 1972 avec le lancement du projet de mise en place progressive des composants informatisés d'un système allant de l'observation en mer jusqu'à la production de documents nautiques. Ce système est constitué d'une base de données alimentée par le système SATAD et exploitée par le système CARTAS.

Anticipant le besoin de personnel qualifié dans les missions, le SHOM organise une rotation d'officiers mariniers hydrographes volontaires, qui passent deux ou trois ans au centre de calcul de l'EPSHOM. Leur formation à la programmation est assurée par le commissariat de la marine à Paris. La formation dispensée n'est pas très adaptée aux besoins : informatique de gestion et COBOL[2]. Elle est sanctionnée par l'attribution d'un certificat de programmeur supérieur. Dans les années 1980, le cours dure deux ans : une année de formation et une année de stage.

En septembre 1990, l'école des hydrographes crée une formation d'officiers mariniers hydrographes programmeurs donnée sur place. La formation dure huit mois. Pendant la période où le SHOM est autorité de tutelle de la spécialité de météorologiste océanographe, les officiers mariniers de cette spécialité peuvent eux-aussi suivre cette formation de programmeur.

Ce cours est remplacé en 2007 par celui d'administrateur et réseau, orienté vers la gestion et l'administration des réseaux et bases de données. En 2010, le cours est renommé cours d'administrateur des systèmes et réseaux d'hydrographie, océanographie et météorologie. Sa durée passe à neuf mois en 2012.

Quatrième niveau

Une formation dite de quatrième niveau[3] est mise en place en 1983. Son but est de fournir un complément d'instruction pour remplir des fonctions de technicien hautement qualifié. Elle est sanctionnée par l'obtention d'un certificat d'hydrographe supérieur (HydroSup).

La formation est dispensée en quatre phases de quatre à cinq semaines, de manière indépendante et discontinue :

- phase préparatoire, ou stage de perfectionnement : cartographie, hydrographie, océanographie, droit de la mer,

2 La formation 1977-1979 est exceptionnellement dispensée par l'école supérieure d'électronique de l'armée de terre (ESEAT) à Rennes, la marine ayant cette année là des besoins en programmeurs dans le domaine balistique. La formation enseigne le langage FORTRAN et l'assembleur MITRA 15 et délivre le certificat supérieur de programmeur - branche calcul scientifique.

3 Le premier niveau correspond au brevet élémentaire (BE), le deuxième au brevet d'aptitude technique (BAT), le troisième au brevet supérieur (BS). Le premier niveau forme des opérateurs, le deuxième des techniciens, le troisième des techniciens confirmés et le quatrième des techniciens hautement qualifiés. Les hydrographes se recrutant parmi les personnes ayant obtenu leur BAT dans une autre spécialité, leur nouvelle spécialité ne comporte ni premier, ni deuxième niveau.

- phase commune : mathématiques, radiolocalisation,
- phase de spécialisation, soit en hydrographie (hydrographie, information nautique, géodésie marine), soit en océanographie (chimie, hydrologie),
- phase complémentaire : deux enseignements au choix parmi photogrammétrie, électricité, mécanique et informatique.

La formation est redéfinie en décembre 2000 : le cycle de formation d'hydrographe supérieur est destiné à donner à des officiers mariniers hydrographes les compléments d'instruction théorique et pratique, propres à les rendre aptes, en général sous la direction d'ingénieurs affectés au SHOM, à remplir des fonctions de techniciens hautement qualifiés, chargés :

- d'assurer ou de contrôler la mise en œuvre des matériels, techniques ou logiciels spécifiques à l'acquisition ou au traitement des données hydrographiques, géoscientifiques ou océanographiques,
- de participer à l'évaluation de ces matériels, techniques ou logiciels, et d'assurer le respect des méthodologies,
- d'assurer la direction technique soit de sous-ensembles de levés hydrographiques, océanographiques ou géoscientifiques importants, soit de travaux de même nature, mais isolés et de plus faible ampleur.

Le cycle de formation est constitué de quatre modules de trois semaines étalés sur deux ans.

En 2005 la formation est à nouveau modifiée. Elle délivre le certificat supérieur d'hydrographie (CSUP HYDRO). Les fonctions que les certifiés peuvent remplir sont les suivantes :

- contrôle ou participation à la mise en œuvre des matériels, techniques ou logiciels, destinés à l'acquisition ou au traitement des données hydrographiques ou océanographiques,
- participation à l'évaluation de ces matériels, techniques ou logiciels, et au suivi du respect des méthodologies,
- conduite de la bonne exécution technique de sous-ensembles de levés hydrographiques et océanographiques importants, ou de travaux de même nature mais isolés et de plus faible ampleur,
- ouverture sur les domaines connexes et meilleure connaissance des produits du soutien hydrographie, océanographie, météorologie (HOM) et de leur emploi dans les forces.

La formation dure trois mois.

L'obtention du certificat supérieur d'hydrographe ouvre la voie à l'attribution du brevet de maîtrise hydrographe. Le brevet de maîtrise, institué dans la marine en 1995, sanctionne la haute qualification acquise par des majors et des officiers mariniers supérieurs ayant exercé ou appelés à exercer des fonctions d'encadrement et de responsabilités élevées.

Manuels de formation

Manuel du breveté hydrographe de 1937-1943

Le premier manuel du breveté hydrographe comporte quatre tomes :

- tome 1 - hydrographie (1937) : opérations préliminaires, sondages, recherche des hauts fonds, dragages, signaux flottants, topographie, courants de marée - mesures océanographiques
- tome 2 - géodésie : coordonnées géographiques, coordonnées rectangulaires, projection de Mercator, établissement d'un canevas géodésique, triangulation dans les missions hydrographiques, calcul de la triangulation, nivellement
- tome 3 - cartographie (1939) : transformation des minutes en cartes, tracé des méridiens et des parallèles, choix des sondes, établissement du canevas Mercator, réductions photographiques, calque définitif, signes conventionnels, amers - balisage - signaux de brume, titres et sous titres - déclinaison, correction des cartes - avis aux navigateurs - annexes graphiques, publications - éditions - remplacements
- tome 4 - sondage et repérage acoustique (1943) : sondage acoustique - généralités, appareils à son audible, appareils à ultra-sons, exécution et rédaction des sondages acoustiques dans les missions hydrographiques, repérage acoustique - généralités, repérage sans retransmission, repérage avec retransmission

Manuel du breveté hydrographe de 1967

La deuxième édition du manuel d'hydrographie

des brevetés hydrographe, rédigée en 1962, décrit en trente chapitres les divers aspects de l'activité des officiers-mariniers hydrographes : marée, courants, nivellement, localisation en mer, sondage, recherche de hauts-fonds, recherche d'épaves, dragage, topographie, mesure gravimétriques, mesures océanographiques.

La nouvelle édition comporte un second manuel dédié à la géodésie.

Manuel du breveté hydrographe de 1984

La troisième édition du manuel de l'hydrographe comporte également deux volumes :

- volume 1 - géodésie
- volume 2 - hydrographie

Reconnaissance de la formation

Homologation

Un arrêté du ministre du travail et de la participation du 17 juin 1980 homologue le brevet d'hydrographe au niveau III : personnel occupant des emplois exigeant normalement une formation du niveau du brevet de technicien supérieur (BTS) ou du diplôme des instituts universitaires de technologie (DUT) et de fin de 1er cycle de l'enseignement supérieur (DEUG).

L'homologation du brevet supérieur d'hydrographe est confirmée, pour trois ans, par un arrêté du 2 octobre 1995. Le code de nomenclature de spécialité de formation (NSF) 117b (Méthodes, mesures, modèles en sciences de la terre) lui est attribué.

Par la suite, l'homologation est renouvelée :

- pour 3 ans (arrêté du 19 mars 1999)
- jusqu'au 18 janvier 2005 (arrêté du 26 novembre 2002)

Le décret 2002-616 entraîne l'inscription du titre d'hydrographe au répertoire national de la certification professionnelle (RNCP) le 28 avril 2002. La fiche correspondante porte le numéro RNCP1276, avec le niveau de qualification 5, le titre « brevet supérieur hydrographe (BS) » et le code ROME F1105 (études géologiques). L'inscription est effectuée jusqu'au 31 décembre 2006 (décret 2004-171).

L'arrêté du 2 octobre 2006 renouvelle l'inscription pour cinq ans. La nouvelle fiche porte le numéro RNCP4685, avec le titre « hydrographe » et les codes ROME N3101 (encadrement de la navigation maritime), F1105 (études géologiques) et N3102 (équipage de la navigation maritime).

L'arrêté du 17 novembre 2011 renouvelle l'inscription pour cinq ans. La nouvelle fiche porte le numéro RNCP13591, avec le titre « hydrographe » et les codes ROME M1808 (information géographique), F1105 (études géologiques), F1107 (mesures topographiques) et M1809 (information météorologique).

L'inscription n'est pas renouvelée et prend fin le 25 novembre 2016.

L'arrêté du 26 septembre de la même année entraîne l'inscription du titre de superviseur hydrographe, de niveau V, au répertoire national de la certification professionnelle pour quatre ans (échéance au 4 octobre 2020), avec effet au 2 janvier 2011. La fiche correspondante porte le numéro RNCP27022, avec le niveau de qualification 6, le titre « superviseur hydrographe » et les codes ROME M1808 (information géographique), F1105 (études géologiques), F1107 (mesures topographiques), M1809 (information météorologique) et H1502 (management et ingénierie qualité industrielle).

Brevet de capitaine côtier

Le décret 58-757 permet l'attribution aux officiers mariniers hydrographes du brevet de capitaine côtier à la condition qu'ils soient titulaires du certificat de chef de quart de la marine, qu'ils justifient de soixante mois de navigation effective et qu'ils aient été rayés des cadres de l'activité depuis moins de cinq ans. Mais « de fortes pressions se sont toujours exercées pour limiter ces délivrances et les dossiers aboutissent difficilement », écrivait une personne concernée en 1984.

Le certificat de chef de quart n'est plus attribué aux officiers mariniers hydrographes à partir de 1994.

Reconnaissance internationale : certification FIG-OHI

La brochure du SHOM de 1978 indique que les officiers mariniers hydrographes devraient prétendre au label FIG/OHI de catégorie B[4].

Dans les faits, le certificat FIG/OHI de catégorie B est attribué aux hydrographes ayant suivi le cours

4 Voir encadré 1 dans le chapitre 8.

de brevet supérieur avant 1982. Pour les nouveaux hydrographes, le certificat est acquis après avoir suivi avec succès le stage de perfectionnement préparatoire au quatrième niveau mis en place en 1983.

En 1996, le certificat de catégorie B est attribué, sur proposition du directeur de l'école des hydrographes, par le directeur du SHOM aux élèves ayant obtenu le brevet supérieur d'hydrographe et justifiant de deux années d'expérience dans une unité hydrographique ou océanographique.

La 9ème édition de la norme de compétence FIG-OHI-ACI paraît en 2001. Elle entraîne la délivrance de deux certificats de niveau B : un certificat de compétences théoriques, attestant la réussite à l'ensemble de la formation, puis un certificat de compétences pratiques délivré au bout de quatre-vingt-seize semaines d'expérience pratique dont la moitié concernant des levés en mer ou à terre.

Bibliographie

N°	Auteur	Titre - édition
1	(texte règlementaire) - 1923	Décret du 17 février 1923, publié dans le journal officiel de la république française du 22 février 1923
2	(texte règlementaire) - 1923	Arrêté ministériel du 24 février 1923 modifiant l'arrêté du 30 juillet 1910 sur le service courant des équipages de la flotte, publié dans le bulletin officiel des armées
3	(texte règlementaire) - 1934	Décret du 10 avril 1934, publié dans le journal officiel de la République française du 14 avril 1934
4	(texte règlementaire) - 1934	Circulaire du 10 avril 1934 relative à l'organisation de la spécialité d'hydrographe, publiée dans le journal officiel de la République française du 19 avril 1934
5	(texte règlementaire) - 1937	Décret du 26 novembre 1937 relatif à l'organisation du corps des équipages de la flotte et du personnel des musiques de la flotte, publié dans le journal officiel de la République française du 17 janvier 1938
6	(texte règlementaire) - 1946	Note n°176 SH2 du 26 avril 1946 sur le recrutement et la formation des hydrographes
7	(texte règlementaire) - 1958	Décret n°58-757 du 20 août 1958 portant règlement d'administration publique pour la délivrance des titres exigés des capitaines, patrons, seconds ou lieutenants sur les navires de commerce, de pêche ou de plaisance, publié dans le journal officiel de la République française du 24 août 1958
8	(texte règlementaire) - 1980	Arrêté du 17 juin 1980 relatif à l'homologation des titres et des diplômes de l'enseignement technologique publié dans le journal officiel de la République française du 21 août 1980
9	(texte règlementaire) - 1990	Instruction N° 722/DEF/SHOM/PERS du 20 septembre 1990 relative à la formation des officiers mariniers hydrographes programmeurs, publiée dans le bulletin officiel des armées
10	(texte règlementaire) - 1995	Instruction N° 10/DEF/DPMM/2/A du 16 février 1995 relative à l'attribution du brevet de maîtrise aux majors et aux officiers mariniers supérieurs publiée dans le bulletin officiel des armées
11	(texte règlementaire) - 1995	Arrêté du 2 octobre 1995 portant homologation de titres et diplômes de l'enseignement technologique sous l'intitulé 'Brevet Supérieur hydrographe', publié dans le journal officiel de la République française du 18 octobre 1995
12	(texte règlementaire) - 1996	Instruction N° 327/DEF/SHOM/PERS du 8 mars 1996 relative au cycle de formation des hydrographes, publiée dans le bulletin officiel des armées
13	(texte règlementaire) - 1999	Arrêté du 19 mars 1999 portant homologation de titres et diplômes de l'enseignement technologique, publié dans le journal officiel de la République française du 27 mars 1999
14	(texte règlementaire) - 2000	Instruction N° 754/DEF/SHOM/PERS du 20 décembre 2000 relative au cycle de formation d'hydrographe supérieur
15	(texte règlementaire) - 2002	Décret n° 2002-616 du 26 avril 2002 relatif au répertoire national des certifications professionnelles, publié dans le journal officiel de la République française du 28 avril 2002
16	(texte règlementaire) - 2002	Arrêté du 26 novembre 2002 portant homologation de titres et diplômes de l'enseignement technologique, publié dans le journal officiel de la République française du 15 décembre 2002

17	(texte règlementaire) - 2004	Décret n° 2004-171 du 19 février 2004 modifiant le décret n° 2002-616 du 26 avril 2002 relatif au répertoire national des certifications professionnelles, publié dans le journal officiel de la République française du 22 février 2004
18	(texte règlementaire) - 2005	Instruction N° 136/DEF/SHOM/PERS du 28 janvier 2005 relative à l'organisation et objectifs de formation du cours du certificat supérieur d'hydrographe
19	(texte règlementaire) - 2006	Arrêté du 02 octobre 2006 portant enregistrement au répertoire national des certifications professionnelles, publié dans le journal officiel de la République française du 24 octobre 2006
20	(texte règlementaire) - 2011	Arrêté du 17 novembre 2011 portant enregistrement au répertoire national des certifications professionnelles, publié dans le journal officiel de la République française du 25 novembre 2011
21	(texte règlementaire) - 2016	Arrêté du 26 septembre 2016 portant enregistrement au répertoire national des certifications professionnelles, publié dans le journal officiel de la République française du 4 octobre 2016
22	(anonyme) - 1924	Extrait de la délibération du Comité hydrographique, séance du 3 avril 1924
23	Bongiovanni, Eric - 2007	L'école des hydrographes devient école du SHOM - bulletin Amhydro n°27 - 2007
24	Bongiovanni, Eric - 2012	Historique (1973 à 2012) des stagiaires étrangers admis au BS HYDRO - bulletin Amhydro n°32 - 2012
25	Delage, Francis - 1984	Du nouveau à l'école des hydrographes - bulletin Amhydro n°3 - 1984
26	Jean-Serge Jupas - 2000	Histoire des officiers mariniers hydrographes de la marine nationale 1934 - 2000 - chapitre 3 de 1946 à 1970 - Bulletin Amhydro n°20 - 2000
27	SHOM - 1978	Fascicule « les officiers mariniers hydrographes » - 1978
28	Trevisan, Bernard - 2008	Les systèmes embarqués du SHOM - Épisode 1 - bulletin Amhydro n°28 - 2008
29	Uhr, Roland - 1984	A propos du brevet d'hydrographe - bulletin Amhydro n°3 - 1984

TABLES

Table des encadrés

Encadré n°2-1 : la rose des vents....15
Encadré n°2-2 : le marteloire....17
Encadré n°2-3 : représentation de la côte sur les cartes marines....18
Encadré n°2-4 : utilisation de la carte marine....19
Encadré n°2-5 : latitude et longitude....21
Détermination de la latitude....21
Détermination de la longitude....22
Encadré n°5-1 : longitude par la méthode des distances lunaires....70
Encadré n°5-2 : arrêté créant le Dépôt des plans, cartes et journaux....74
Encadré n°5-3 : critiques des cartes de Bellin....76
Eveux de Fleurieu - 1773....76
Note interne du Dépôt - mai 1775....76
Verdun, Borda et Pingré - 1778....76
Levêque - le guide du navigateur - 1779....76
Encadré n°5-4 : arrêt du Conseil du roi du 5 octobre 1773....77
Encadré n°5-5 : courbes de niveau....81
Encadré n°5-6 : origine des techniques utilisées par Beautemps-Beaupré....84
Relèvements astronomiques....85
Utilisation du cercle de réflexion pour déterminer la position des sondes et des dangers....85
Vues de côtes....86
Encadré n°6-1 : introduction du traité de géodésie de Louis Puissant, 1819....102
Encadré n°6-2 : rapport du directeur général du Dépôt au ministre, vers 1821....107
Encadré n°6-3 : le Plateau de Rochebonne, un levé difficile....113
Encadré n°7-1 : une vie d'ingénieur hydrographe - Donatien Cot....120
Encadré n°7-2 : canevas de tir et repérage par le son....128
Canevas d'ensemble et canevas de tir....128
Groupes de canevas de tir des armées....128
Repérage par le son....129
Encadré n°7-3 : la vitesse du son dans l'eau....132
Encadré n°7-4 : l'échoscope, sondeur d'embarcation....137
Encadré n°7-5 : le dragage hydrographique....142
Encadré n°8-1 : la norme de compétence des hydrographes....159
Encadré n°8-2 : détermination précise de la position d'un point....175
Le cercle de hauteur....175
La méthode des hauteurs égales....175
L'astrolabe à prisme....175
Equation personnelle de l'observateur....176
Déviation de la verticale....176
Encadré n°8-3 : hydrographie et dissuasion nucléaire....178
Centre d'essai du Pacifique....178
Levé de Mururoa....178
Travaux spéciaux....178
Autres travaux....179
Mesures de la déviation de la verticale....179
Encadré n°9-1 : lignes de sonde et profils....194
Encadré n°9-2 : propagation des ondes électromagnétiques dans l'air....196

Les ondes électromagnétiques....196
L'atmosphère....196
L'ionosphère....196
Le trajet des ondes électromagnétiques....197
Ondes de sol....197
Ondes de ciel....197
Effet de la propagation sur la précision de la radiolocalisation....197
Encadré n°9-3 : premiers systèmes de radiolocalisation hyperbolique....199
Gee et Loran....199
Decca....199
Encadré n°9-4 : systèmes de localisation à base de satellites....202
Transit....202
GPS / Navstar....202
GPS différentiel....203
Mesure par différence de phase....203
DORIS....203
Encadré n°10-1 : le relief sous-marin sur les cartes marines....221
Couverture de l'exploration du fond....221
Précision de la profondeur mesurée....222
Origine des profondeurs....222
Précision de la localisation des sondes....222
Litto3D®....223
Encadré n°10-2 : l'hydrographie fluviale....225
Particularités....225
Sondage des cours d'eau....226
Encadré n°10-3 : le sondage par grands fonds....228
Encadré n°10-4 : la photogrammétrie....230

Table des illustrations

1-1 - planisphère de Caverio (1504-1505).....4
1-2 - Orbis Typus Universalis iuxta Hydrographorum Traditionem (1513).....5
1-3 - Orbis Typus Universalis Iuxta Hydrographorum Traditionem (1506-1507).....6
1-4 - sens du mot hydrographie.....7
2-1 - carte pisane fin XIIIe siècle.....16
2-2 - marteloire à 16 vents d'Oronce Fine.....17
2-3 - extrait de l'Atlas de la Méditerranée et des côtes atlantiques de l'Europe (1320).....18
2-4 - comparaison du trait de côte de la Corse.....18
2-5 - extrait d'une carte du Pacifique de Hessel Gerritsz (1622).....19
2-6 - illustration de la correction à apporter à la hauteur de l'étoile polaire (1542).....22
3-1 - page du routier de Pierre Garcie (1542-1545).....29
3-2 - mappemonde de Pierre Desceliers (1550).....30
3-3 - page du manuel de pilotage de Guillaume Brouscon (1548).....31
3-4 - échelle des longueurs de Guillaume Levasseur (1601).....31
3-5 - détail de la description hidrografique de la France de Jean Guérard (1627).....32
3-6 - page des premières œuvres de Jacques de Vaulx (1583).....33
4-1 - illustration d'un loch - Samuel Champlain (1632).....43
4-2 - instruments de navigation d'après Edmund Gunter (1624).....44
4-3 - illustration d'un quadrant - George Fisher (1767).....44
4-4 - demi-cercle gradué ou graphomètre - Ozanam (édition de 1781).....45
4-5 - planchette dans Méthode de lever les plans... par feu M. Ozanam (1781).....45
4-6 - triangulation - Leon Battista Alberti (1445 ?).....46
4-7 - construction du point par segment capable - Jean Bouguer (1698).....47
4-8 - levé par gisement et distance - Samuel Champlain (1632).....47
4-9 - levé de mer - Guillaume Le Vasseur (1608).....48
4-10 - levé de terre - Philippe Danfrie (1597).....49
4-11 - la Coste maritime de Provence - Jacques Maretz (1633).....50
4-12 - carte topographique des entrées de Brest - Louis-Nicolas de Clerville (16??).....53
4-13 - extrait de la carte [...] des environs du port de Brest - Lachainaye (1669).....54
4-14 - carte des côtes, des Sables à la Gironde - la Favolière (1677).....54
4-15 - détail de la carte précédente.....55
4-16 - carte de la rade de Marseille (1700).....56
4-17 - 5ème carte particuliere des costes de Bretagne - Neptune françois (1693).....58
4-18 - carte reduitte des fonds... - Samson Le Cordier (1670).....59
5-1 - octant de Hadley.....68
5-2 - cercle de réflexion de Tobias Mayer.....69
5-3 - cercle de réflexion dit de Borda.....70
5-4 - carte réduite de l'océan oriental septentrional - D'Après de Mannevillette (1745) 73
5-5 - carte de l'Atlantique Nord... - Bellin (1737).....75
5-6 - détail de la carte générale des costes de Bretagne (1773).....75
5-7 - côtes de France, département du Calvados (1776).....80
5-8 - détail de la Carte des côtes de l'Etendue de la Généralité de Bourdeaux... (1755).....81
5-9 - carte trigonométrique de l'archipel de Santa-Cruz (1807).....82
5-10 - comparaison de cartes des iles Canaries : carte de 1776 et carte moderne.....84
6-1 - Charles-François Beautemps-Beaupré.....93
6-2 - ingénieur hydrographe en chef, uniforme de 1804.....94

6-3 - détail de la Reconnoissance du cours du Hont ou Wester Schelde (1798-1799).....96
6-4 - pilote français, première partie (1822).....98
6-5 - signal installé par les hydrographes - Gambiers 1967.....101
6-6 - opération de topographie (1809).....104
6-7 - la Chimère, navire construit spécialement pour l'hydrographie.....104
6-8 - reconstitution d'une séance de sonde vers 1804.....105
6-9 - carte (générale) levée en 1831 et 1832 : de cap Fréhel à Carteret.....105
6-10 - détail de la carte particulière levée en 1830 et 1831 : île Bréhat.....106
6-11 - carte générale de l'île de Corse levée de 1820 à 1824.....109
6-12 - la salle de dessin de la Chimère (1887).....111
6-13 - mise en place d'une balise flottante - Madagascar 1960.....112
6-14 - drague américaine.....113
6-15 - extrait de la carte du plateau de Rochebonne par La Favolière (vers 1670).....114
6-16 - plan du plateau de Rochebonne levé en 1859.....114
6-17 - le plateau de Rochebonne avec ses quatre têtes.....115
7-1 - station sur l'île Matsou (1886).....122
7-2 - sondage en canot à vapeur White en 1920.....125
7-3 - l'Utile.....126
7-4 - fragment de plan directeur, avec localisation des tranchées et des trous d'obus.....128
7-5 - enregistrement des signaux des oscillographes.....129
7-6 - onde de choc.....129
7-7 - hydravion Levy-Le Pen HB2.....131
7-8 - propagation du son dans la mer selon l'immersion et l'incidence de la source de bruit.....132
7-9 - enregistreur Marti 134
7-10 - plomb poisson.....134
7-11 - enregistrement de plomb poisson.....135
7-12 - sondage au plomb poisson en canot à moteur, vers 1930.....135
7-13 - sondeur ultrasonore Langevin-Florisson avec échoscope.....137
7-14 - embarcation munie d'un dispositif de sondage au plomb poisson et d'un échoscope.....138
7-15 - le Beautemps-Beaupré à Oran en 1926.....138
7-16 - la Sentinelle en 1936.....139
7-17 - couverture du petit journal illustré du 10 septembre 1922.....141
7-18 - drague américaine.....142
7-19 - formation des futurs officiers mariniers hydrographes à Paris, en 1969.....145
8-1 - le Suroît, navire océanographique d'Ifremer lancé en 1975.....154
8-2 - l'EPSHOM à Brest dans les années 1970.....156
8-3 - formation des futurs officiers mariniers hydrographes en 1950.....161
8-4 - l'Amiral-Mouchez.....166
8-5 - navires hydrographiques des années 1950.....168
8-6 - navires hydrographiques des années 1970.....169
8-7 - navires hydrographiques du début du XXIe siècle.....170
8-8 - vedettes hydrographiques.....171
8-9 - le vaste plateau continental au large des côtes atlantiques.....172
8-10 - archipels qui composent la Polynésie française.....174
8-11 - astrolabe à prisme.....175
8-12 - résultats de l'observation de Paris en 1960.....176
8-13 - les atolls de Mururoa et de Fangataufa.....177
8-14 - schéma des sondages de l'atoll de Mururoa en 1962.....178

8-15 - affectation des navires aux missions entre 1947 et 1969....181
8-16 - affectation des navires aux missions entre 1970 et 1989....182
8-17 - affectation des navires aux missions entre 1990 et 2019....183
8-18 - carte des 21 NAVAREAS (ou METAREAS) qui divisent l'océan mondial....185
9-1 - détail d'une des dernières minutes du pilote français (1838)....194
9-2 - sondage en suivant un segment (arc de cercle)....194
9-3 - minute levée dans le golfe de Saint-Tropez en 1897....194
9-4 - radioguidage à la mission hydrographique de l'océan Indien en 1963....195
9-5 - configuration de la chaîne Decca et exemple de détermination de la position....199
9-6 - station Toran d'Assinie, 1964....200
9-7 - récepteur GPS dans le PC scientifique du D'Entrecasteaux en 1987....201
9-8 - Telluromètre, Côte d'Ivoire, 1964....201
9-9 - plages d'utilisation des moyens de localisation au service hydrographique....204
9-10 - enregistreur du sondeur Raytheon dans le PC scientifique de l'Estafette en 1982....205
9-11 - principe de fonctionnement du sondeur latéral....206
9-12 - image fournie par le sondeur latéral....206
9-13 - principe de fonctionnement du sondeur multifaisceaux....206
9-14 - marégraphe avec échelle de marée en Terre-Adélie, 1947....207
9-15 - mise en place d'une bouteille à renversement....208
9-16 - mise à l'eau d'une bathysonde sur le D'Entrecasteaux en 1997....209
9-17 - mesure de gravité en Terre Adélie en 2000....209
9-18 - restitution photogrammétrique à la Mission Océanographique du Pacifique, 1980....210
9-19 - image Litto3D® du port des Quilles à Sète....211
9-20 - PC hydrographique du Lapérouse en 1988....212
10-1 - couche balisage de data.shom.fr....218
10-2 - phare de l'île vierge (Finistère)....218
10-3 - écho radar d'une bouée RACON....219
10-4 - extrait de la carte particulière de la chaussée de Sein (1817)....221
10-5 - écho reçu par le sondeur à ultrason selon la configuration du fond....222
10-6 - profil d'altitude du Rhône le long de son cours....225
10-7 - hauteurs d'eau du Rhône mesurées en octobre-novembre 2020....225
10-8 - débits d'eau du Rhône sur la même période que l'illustration précédente....226
10-9 - la vedette Ecoranda en sonde « en travers »....226
10-10 - couche câbles et conduites de data.shom.fr....227
10-11 - le mécanisme de décrochage du plomb de Brooke....228
10-12 - inversion de l'image dans la chambre noire....230
10-13 - exemple de vue dessinée par Beautemps-Beaupré au moment des observations....231
10-14 - extrait de la carte de la Gironde levée du capitaine de frégate de Kearney (1768)....232
10-15 - carte des côtes de France indiquant la position des phares....234
10-16 - brochure présentant le projet d'amélioration des accès du port de Rouen....236

Table des figures

figure 2-1 - la latitude....21
figure 2-2 - détermination de la latitude par le pôle....21
figure 2-3 - détermination de la latitude par l'équateur....22
figure 7-1 - détermination de la position de la source du bruit par intersection d'hyperboles....129
figure 7-2 - détermination de la position de la source du bruit par cercles tangeants....130
figure 7-3 - détermination de la position du navire par le son....133
figure 9-1 - structure de l'atmosphère et couches de l'ionosphère....196
figure 9-2 - échantillon d'hyperboles pour un couple A B....198
figure 10-1 - principe du point par relèvements....219
figure 10-2 - principe de la photogrammétrie....230
figure 10-3 - liens d'adhésion et de collaboration entre les organisations hydrographiques....239

Table des matières

Préface de Laurent Kerléguer....I
Préface d'André Comolet-Tirman....III
Introduction....V
Chapitre 1 - qu'est-ce que l'hydrographie ?....1
Les origines du mot....1
La légende dieppoise....1
Premières apparitions du mot hydrographie dans la littérature française....2
Le Gymnase Vosgien....3
Sens et évolution du mot hydrographie....6
Extraits d'œuvres illustrant les différents sens du mot hydrographie....7
Bibliographie....11
Chapitre 2 - la naissance de l'hydrographie....15
L'art de la navigation....15
Navigation en vue de côte....15
Navigation au large....15
La boussole....15
Les documents de navigation....16
Les instructions nautiques....16
Les cartes marines....17
Les premiers hydrographes....20
Les écoles du XIIIe au XVe siècle....20
Les voyages d'exploration....20
Navigation par latitude....20
Premiers services hydrographiques....20
Origines....20
Personnel....23
Formation à la navigation....23
Fourniture d'instruments nautiques....23
Carte de référence....23
Production et validation des cartes marines....23
Opérations hydrographiques....23
Politique du secret et désinformation....23
Les défauts des cartes marines....24
Imprécision des cartes....24
Les cartes par directions et distances....24
Les cartes plates carrées....24
Les cartes réduites....24
Bibliographie....25
Chapitre 3 - les débuts de l'hydrographie française....29
Les précurseurs....29
Pierre Garcie....29
Jean Roze....29
Jean Fonteneau....30
Les écoles hydrographiques....30
L'école normande....30
L'école du Conquet....30

L'école basque....30
L'école de Marseille....30
Les cartes marines....31
Innovations cartographiques....31
Zones cartographiées....31
Les routiers....32
L'enseignement de la navigation....32
L'école de Dieppe....32
Traités de navigation....33
Détermination de la longitude par l'aiguille aimantée....33
La fin des écoles d'hydrographie....34
Tableau des productions des écoles hydrographiques....35
Bibliographie....39
Chapitre 4 – vers l'hydrographie moderne....43
1 - lever les cartes....43
Mesures et instruments....43
Mesures de distances....43
Mesures d'angles....44
Détermination de la position d'un point....45
Position absolue....45
Position relative....45
Gisement et distance....45
Trilatération....46
Triangulation....46
Relèvements....46
Arcs ou segments capables....47
Levé du trait de côte....47
Levé par gisement et distance....47
Levé par triangulation....48
Levé de mer....48
Levé de terre....48
Détermination des objets immergés et des profondeurs....48
Lever et dresser une carte marine selon Ozanam....49
2 - la naissance de l'hydrographie d'état....50
Création de la marine royale....50
Suppression des amirautés....50
Enquêtes maritimes....50
Actions de Richelieu....50
Hydrographie d'Etat....51
Enseignement de la navigation....51
Examen des pilotes....51
Ecoles d'hydrographie....51
Personnel....52
Hydrographes....52
Pilotes....52
Ingénieurs....52
Travaux hydrographiques....53
Levés des côtes sous Richelieu....53

Levés des côtes sous Colbert....53
Etablissement de tables de marée....56
Hydrographie portuaire....56
Atlas de cartes....56
Recueil des cartes des costes maritimes du Royaume....56
Le Neptune françois....57
Regroupement des documents....59
Journaux de bord....59
Cartes et plans....60
Bibliographie....62
Chapitre 5 – la conquête de la précision....67
Guillaume Delisle, ou le renouveau de la géographie....67
L'imprécision des cartes marines....67
Positions géographiques....68
Positions relatives....68
Les nouveaux instruments....68
La mesure d'angle par réflexion....68
Le cercle de réflexion....69
Les horloges marines....71
L'évolution des écoles d'hydrographie....71
D'Après de Mannevillette et la Compagnie des Indes....72
Le dépôt des plans, cartes et journaux de la marine....73
Création du dépôt....73
Cartographie de cabinet....74
Monopole de la production des cartes....75
Réorganisations....76
Les levés et les expéditions scientifiques....79
Levés....79
Expéditions scientifiques....79
Beautemps-Beaupré....81
La naissance de l'hydrographie scientifique....82
Bibliographie....87
Chapitre 6 – gloire et désillusions....91
Le Dépôt au XIXe siècle....91
Statut....91
Organisation interne....91
Découpage en sections....92
Comité hydrographique....92
Le personnel du Dépôt....92
La direction....93
Le corps des ingénieurs hydrographes....93
Les officiers de marine....94
Le personnel secondaire....94
L'activité du Dépôt à Paris....95
Cartes marines....95
Cartes originales....95
Cartes étrangères....95
Découpage géographique....95

Composition des cartes....95
Publication....95
Diffusion....95
Tenue à jour....97
Ouvrages nautiques....97
Archives....98
Instruments....99
Instruments nautiques....99
Instruments hydrographiques....99
Service des marées....99
Service météorologique....100
Musée....100
Bibliothèque....100
L'activité du dépôt sur le terrain : les travaux hydrographiques....100
Principes d'exécution....101
Travaux de préparation....101
Topographie....101
Sondage en mer....101
Observation de la marée....101
Contrôle des travaux....101
Rapport final....101
Personnel....103
Navires hydrographiques....104
Les levés sous le consulat et l'empire....104
Le pilote français....105
La révision des côtes de France....108
Première révision....108
Seconde révision....108
Les autres levés sur les côtes de France....109
Les levés de la Corse....109
Les levés aux colonies....109
Les levés à l'étranger et les voyages d'exploration....110
Les travaux spéciaux....110
Difficultés rencontrées par le Dépôt....111
Effectif insuffisant....111
Problème de direction des travaux....112
Difficultés techniques....112
Bibliographie....116
Chapitre 7 – le rebond....119
1 - le service hydrographique jusqu'à la première guerre mondiale....119
Situation au début du XXe siècle....119
Organisation....119
Personnel....119
Personnel principal....119
Personnel secondaire....121
Production....121
Techniques mises en œuvre....122
La recherche des roches sous l'eau....122

Le projet de réorganisation Cabart-Danneville....122
La proposition de loi....123
Dispositions principales....123
Caractéristiques des bâtiments hydrographiques....123
Structuration du Service....123
Personnel principal....123
Personnel technique secondaire navigant....124
Suites données à la proposition de loi....124
Modifications apportées au service hydrographique....124
Rattachement au chef d'état-major de la marine....124
Comité hydrographique....124
Réorganisation du personnel des agents techniques....125
Création du certificat d'aide-hydrographe....125
Détachement de la section des instruments nautiques....125
Travaux hydrographiques....126
Missions hydrographiques....126
Mission hydrographique des côtes de France....126
Mission hydrographique de Madagascar....126
Mission hydrographique de l'Indochine....126
Autres levés....126
Travaux divers....126
Missions pour les Travaux publics....126
Bases d'étalonnage....126
Concours....127
Commissions nautiques....127
Changement du méridien origine....127
Renouvellement des navires hydrographiques....127
La première guerre mondiale....127
2 - le service hydrographique jusqu'à la seconde guerre mondiale....131
Les progrès techniques....131
Exploitation des photographies aériennes....131
Repérage par le son....131
Localisation des navires....133
Détermination des profondeurs....133
Plomb poisson....134
Sondage ultrasonore....135
La détection sous-marine....135
Le sondeur à ultrason....136
Utilisation des sondeurs par le service hydrographique....138
La reprise des travaux hydrographiques....138
Reconstitution de la flotte hydrographique....138
Remise en route des missions hydrographiques....139
Mission hydrographique de dragage des côtes de France....139
Mission hydrographique des côtes de France....139
Mission hydrographique de l'Indochine....140
Mission hydrographique d'Algérie....140
Mission de dragage des côtes de France, ou « Loire-Gironde »....140
Missions des dragueurs de mines....140

Missions diverses....140
La perte du cuirassé France et ses conséquences....141
Enquêtes....141
Mesures prises....141
Modifications apportées au service hydrographique....143
Organisation générale....143
Corps des ingénieurs hydrographes....144
Agents techniques....144
Auxiliaires et personnel administratif....144
Création d'un personnel secondaire hydrographe....145
La coopération internationale hydrographique....146
Le Bureau hydrographique international....146
La GEBCO....146
La seconde guerre mondiale....146
Les hostilités....146
La drôle de guerre....146
La campagne de mai-juin 1940....147
L'armistice....147
Bibliographie....148
Chapitre 8 – évolution des moyens depuis 1945....153
Statuts et organisation du service hydrographique....153
L'organisation de 1945....153
L'orientation océanographique....153
L'océanographie en France....153
L'océanographie militaire....154
Le SHOM....156
Le Centre militaire d'océanographie....157
Les comités d'océanographie militaire....157
Evolutions ultérieures....157
Missions....157
Statut....158
Organisation....158
Personnel....160
Ingénieurs militaires....160
Ingénieurs hydrographes....160
Ingénieurs hydrographes de réserve....160
Ingénieurs des directions de travaux du service hydrographique....160
Rôle et répartition des ingénieurs....161
Autre personnel....161
Officiers des équipages hydrographes....161
Officiers mariniers hydrographes....161
Agents techniques du service hydrographique....162
Ingénieurs techniciens d'études et de fabrications....163
Personnel auxiliaire et statuts particuliers....163
Météorologistes-océanographes....163
Effectif....163
Situation initiale....163
Augmentation des effectifs....163

Réduction des effectifs....163
L'école d'application du service hydrographique....164
L'organisation de 1946....164
La disparition du corps des ingénieurs hydrographes....164
L'école des hydrographes....165
L'école du SHOM....165
Le catalogue de formation en 2020....165
La flotte hydrographique....166
Reconstitution de 1947....166
Renouvellement des années 1960....166
Renouvellement des années 1990....167
La flotte hydrographique au début du XXIe siècle....167
Les vedettes hydrographiques....171
Missions hydrographiques....171
Redémarrage de l'activité après la guerre....171
Les missions hydrographiques de dragage de mines....172
Missions hydrographiques principales....173
Mission hydrographique des côtes de France....173
Mission hydrographique de Madagascar....173
Mission hydrographique de la côte ouest d'Afrique....173
Mission hydrographique de recherche d'épaves....174
Mission géodésique des Tuamotu....174
Mission hydrographique de l'Indochine....174
Mission amphibie....177
Mission hydrographique des établissements français d'Océanie....177
Bureau d'études océanographiques....179
Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie....179
Mission hydrographique de dragage....180
Mission océanographique d'Atlantique Nord....180
Mission hydrographique de recherche....180
Les missions particulières....180
Coopération hydrographique internationale....184
Les relations de service à service....184
L'organisation hydrographique internationale (OHI)....184
Les commissions régionales....185
Le service mondial d'avertissements de navigation....185
L'obligation d'hydrographie....185
L'assistance hydrographique....186
Bibliographie....187
Chapitre 9 – un nouveau métier....193
Localisation....193
Retour des observateurs sur le rivage....193
Radiolocalisation....195
Utilisation des ondes électromagnétiques pour la navigation avant la guerre....195
Réalisations pendant la guerre....195
Développements ultérieurs....198
Mesures sur le terrain....201
Triangulation....201

Mesures en mer....205
Détermination du relief sous-marin....205
Marée....207
Courants....207
Nature du fond....208
Caractéristiques de l'eau de mer....208
Pesanteur....209
Magnétisme....210
Mesures à distance....210
Photographie aérienne et photogrammétrie....210
Télédétection....210
Sondage aéroporté....211
Tomographie acoustique océanique....211
Enregistrement et exploitation des mesures....212
Cartographie....212
L'avenir....213
Bibliographie....214
Chapitre 10 – l'hydrographie d'aménagement et de travaux....217
Les domaines d'application de l'hydrographie....217
La sécurité de la navigation....217
La documentation nautique....217
Les aides à la navigation....217
L'entretien des profondeurs....220
La gestion de l'eau....223
La surveillance des hauteurs et des débits....223
La surveillance de la qualité de l'eau....224
L'aménagement du territoire....224
Les travaux maritimes et fluviaux....224
Les câbles et conduites sous-marins....227
La protection du littoral....227
L'exploitation des océans....229
La recherche scientifique....229
Autres domaines d'application de l'hydrographie....229
Les acteurs de l'hydrographie....231
Vue d'ensemble....231
La marine....232
Les ponts et chaussées....232
Histoire générale....232
Le corps des ponts et chaussées....233
Les services départementaux....233
Les phares et balises....234
Services techniques centraux des ponts et chaussées....235
Situation actuelle....235
Les exploitants....235
Les ports....235
Voies navigables de France....236
La compagnie nationale du Rhône....237
Electricité de France....237

La recherche....238
Le privé....238
Les organisations professionnelles....238
Les organisations professionnelles nationales....238
Les organisations professionnelles internationales....239
Bibliographie....240
Annexe A1 – les différents noms du service hydrographique....247
Annexe A2 – les responsables du service hydrographique....248
Directeurs du service hydrographique....248
Adjoints....251
Gardes....252
Premiers ingénieurs....253
Seconds ingénieurs....254
Annexe A3 – le corps des ingénieurs hydrographes....255
Les premiers ingénieurs hydrographes....255
Le Dépôt avant la création du corps des ingénieurs hydrographes....255
La création du corps des ingénieurs hydrographes....255
Extrait d'une lettre du ministre de la marine et des colonies....256
Lettre du ministre de la marine au général Rosily....256
Rapport du 30 janvier 1812 sur l'organisation du Dépôt général de la marine....257
Décret du 30 janvier 1812....258
L'évolution du corps des ingénieurs hydrographes au XIXe siècle....259
Le statut des ingénieurs hydrographes....260
Annexe A4 – la formation des officiers mariniers hydrographes....262
Formation des adjoints hydrographes....262
Formation des hydrographes....262
1934....262
1946....262
1966-1968....262
1971....263
1973....263
1978....263
1982....263
1992....263
1996....263
2001....264
2015....264
2017....264
Formations complémentaires....264
Formation de programmeur....264
Quatrième niveau....264
Manuels de formation....265
Manuel du breveté hydrographe de 1937-1943....265
Manuel du breveté hydrographe de 1967....266
Manuel du breveté hydrographe de 1984....266
Reconnaissance de la formation....266
Homologation....266
Brevet de capitaine côtier....266

Reconnaissance internationale : certification FIG-OHI....266
Bibliographie....268
Table des encadrés....273
Table des illustrations....275
Table des figures....278

Selon l'étymologie, l'hydrographie est la description des eaux, en particulier pour l'usage de la navigation. Cette description se fait principalement sous la forme de cartes marines et d'ouvrages nautiques. En réalité, l'hydrographe ne décrit pas l'eau mais la partie immergée de la Terre, le géographe en décrivant la partie émergée.

L'hydrographie française naît au XVIe siècle sous la forme d'initiatives privées. Elle devient hydrographie d'Etat au XVIIe siècle, pratiquée de manière intermittente. En 1720 le conseil du Roi crée un établissement permanent, le Dépôt des cartes, plans et journaux de la marine, aujourd'hui devenu le Shom, le Service hydrographique et océanographique de la marine.

L'association AMHYDRO retrace ici l'histoire, parfois mouvementée, de l'hydrographie pratiquée par la France, de ses acteurs et de ses techniques.

AMHYDRO, l'amicale des hydrographes, regroupe des hommes et des femmes qui ont été formés à l'hydrographie par le Shom.