# 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 bathymétrie¹ 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

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.

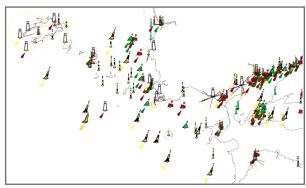
Les repères peuvent être équipés de feux pour être visibles la nuit, de dispositifs sonores actionnés par temps de brume et de réflecteurs radar qui augmentent l'écho radar de l'ouvrage afin d'en faciliter la détection.

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<sup>2</sup> 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).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Se reporter au début du chapitre 2 pour la différence entre la boussole et le compas.

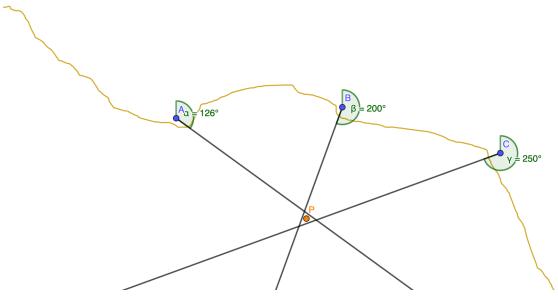


figure 1 - le navire a relevé A au 306°, B au 20° et C au 70°. Le tracé de ces angles à +/- 180° à partir des points A, B et C donne un petit triangle. La position P du navire est supposée être au centre de ce triangle.

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 RA-CON (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 <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/</a>, 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 cou-

rants 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<sup>3</sup>, 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.

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'Île 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<sup>1</sup>, 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 verticale², 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.

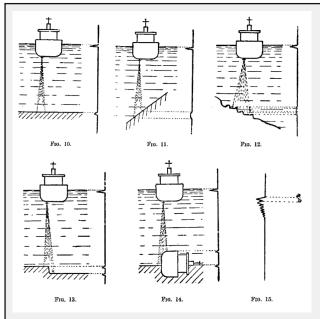
Le sonar latéral, par contre, fournit une image du fond très détaillée, où le relief est mis en évidence

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 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

Voir l'encadré n°1 du chapitre 9.



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<sup>3</sup>. 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 ins-

tant 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<sup>4</sup>, 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

<sup>3</sup> 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.

<sup>4 200</sup> 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).

## 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),

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.

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 :

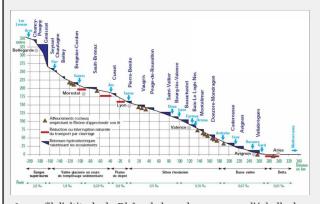
 les ouvrages de navigation, constitués de zones naturelles aménagées ou d'ouvrages artificiels : fleuves, rivières, canaux, lacs, écluses, ponts, barrages,

# 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 <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0">https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0</a>, 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 localisa-

tion 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<sup>1</sup>.

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<sup>2</sup>. 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.

Pratique encore en cours dans les année 1980.

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.

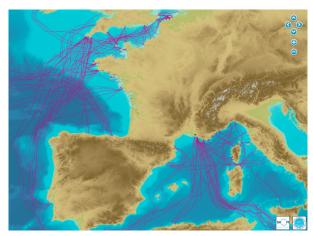
De nombreux câbles sous-marins sont alors mis en place. A partir de la fin des années 1980, les câbles sont constitués de fibres optiques. Ils supportent aujourd'hui une grande partie des télécommunications internationales (voix, télévision et données numériques, incluant Internet).

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 platesformes 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.

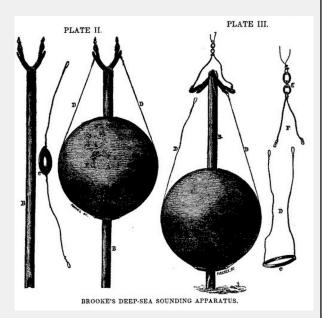
Les sondages se font alors toujours avec un plomb de sonde suspendu à un filin. Celui-ci doit être assez solide pour supporter le poids du plomb à la remontée. A partir d'une certaine profondeur, plusieurs problèmes apparaissent :

- 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. Audelà 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<sup>4</sup>,
- 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 re-

cherches 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.

<sup>4</sup> Sa dilatation croît avec la température et la baisse de salinité due à l'apport d'eau douce.

# Encadré n°4: la photogrammétrie

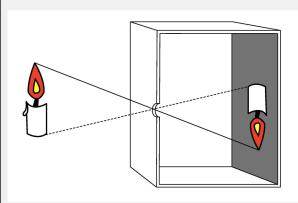
La métrophotographie, l'art de prendre des mesures au moyen de la photographie, apparaît en France vers 1850, sous l'impulsion d'Aimé Laussedat. Elle se développe en parallèle dans d'autres pays et devient connue sous son nom allemand de photogrammétrie.

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 <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0">https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0</a>, 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<sup>1</sup>. 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.

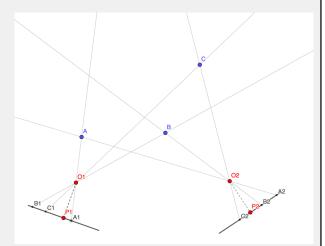


figure 2 (vue de dessus) - la première photographie est prise en O1 (position du point de convergence des rayons lumineux), le point central de la pellicule étant P1. Les points A, B et C sont respectivement projetés sur la pellicule en A1, B1 et C1. Grâce à la deuxième photographie, prise en O2, il 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 compte rendu du vovage 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-

<sup>1</sup> 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.

# PLAVIII Le 21 Mai is Midi. Mare C M. Mar

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 ».

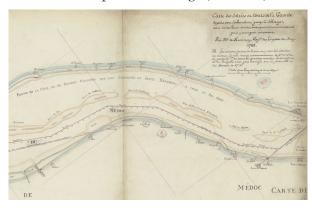
Le nouveau ministère correspond au début de la décentralisation de la gestion des ports : la création des ports autonomes en 1965. Cette décentralisation entraîne l'apparition de fournisseurs de services privés pour le dragage, la bathymétrie, les travaux maritimes...

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

5 Digues de protection de la Loire et de ses affluents contre les crues.

(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<sup>5</sup> 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

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 directions 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, lors-

qu'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. Dixsept 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<sup>6</sup> [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.

<sup>6</sup> 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<sup>7</sup> 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, Saôneet-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<sup>8</sup>. 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

L'arrivée des liaisons ferroviaires concurrence fortement la navigation fluviale qui souffre alors d'un désintérêt général.

<sup>8</sup> 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<sup>9</sup>,...
- · 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,
- <sup>9</sup> 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.

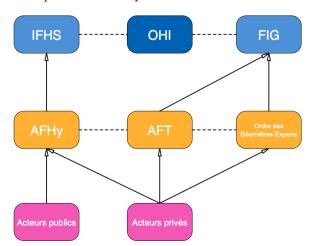


figure 3 - liens d'adhésion (flèches) et de collaboration (pointillés) entre les organisations nationales et internationales dans le domaine de l'hydrographie

# **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.