

# L'hydrographie moderne

Alain Fourgassié - Ingénieur en chef de l'armement (Epsom)

L'hydrographie peut être considérée comme la part de l'océanographie consacrée au recueil de l'information nautique, c'est à dire à l'ensemble des éléments d'environnement permettant d'utiliser l'océan comme moyen de communication. Le thème principal du lever hydrographique est la détermination de la géométrie du fond, également appelée la bathymétrie, mais il concerne également la description de la marée et des courants, de la nature des fonds, des amers, de la topographie terrestre, etc.

## POURQUOI DES LEVERS HYDROGRAPHIQUES ?

La finalité essentielle du lever hydrographique étant de fournir les éléments nécessaires à la sécurité de la navigation, on pourrait penser qu'après deux siècles de travaux - les premiers levés systématiques des côtes de France datent du début du XIX<sup>ème</sup> siècle - et en dehors de quelques zones évolutives, la tâche des hydrographes devrait être achevée, ce qui n'est évidemment pas le cas compte tenu de l'évolution des besoins, tant civils que militaires. L'augmentation des tirants d'eau qui peuvent maintenant dépasser trente mètres, les contraintes spécifiques de la navigation sous-marine ou à celle d'engins remorqués, l'émergence de moyens de radionavigation satellitaires précis et de dispositifs de visualisation électronique de l'information cartographique en sont autant d'illustrations. On peut ainsi considérer que la plupart des levés français antérieurs à 1970 sont aujourd'hui probablement caducs. Le développement simultané des besoins et des moyens s'est accéléré pendant les dernières décennies et lance un défi à l'hydrographie. Quelles sont donc les nouvelles technologies qui permettront de le relever ?

## PRINCIPES ET MÉTHODES DU LEVER HYDROGRAPHIQUE

Une détermination idéale de la topographie sous-marine devrait associer à chaque parcelle du fond une position dans les trois dimensions, c'est à dire une position horizontale et une profondeur, l'une et l'autre rapportées à un système de référence bien spécifié.

### La localisation

Le problème du positionnement d'un mobile est généralement résolu en deux étapes : on détermine d'abord les positions précises d'un certain nombre de points à terre, et c'est par rapport à ces points que sont ensuite déterminées les positions du mobile. Ce principe reste en grande partie d'actualité mais les méthodes ont été bouleversées en quelques décennies. On est passé successivement de la localisation optique à la localisation radioélectrique terrestre puis maintenant à la localisation par satellites. Les systèmes radioélec-

triques terrestres peuvent être classés suivant la fréquence des ondes. La précision et la portée en dépendent et sont deux paramètres contradictoires comme le montrent trois exemples actuels :

- précision submétrique pour le système Axyle de portée inférieure à 10 km ;
- précision hectométrique pour le Loran-C de portée supérieure à 1 000 km ;
- précision kilométrique pour l'Omega de portée mondiale.

Dans ces conditions, il était difficile d'effectuer des levés précis à grande distance des côtes. Ce n'est plus le cas avec les systèmes spatiaux. Le GPS en mode précis fournit aux utilisateurs autorisés une précision décimétrique en tout point du globe alors que le mode différentiel permet une précision encore meilleure jusqu'à près de 2 000 km des stations de référence. Le domaine de la localisation très précise (décimétrique, voire centimétrique) qui était resté encore quelques années l'apanage des méthodes purement terrestres est maintenant devenu accessible au GPS en mode cinématique.



Mesures GPS aux Kerguelen sur le site baptisé «Table du Telluromètre». On peut considérer que la précision obtenue avec le GPS rend caduc la plupart des levés français antérieurs à 1970. (photo Epsom)

Le GPS constitue donc dès à présent et hors période de crise, le système de positionnement universel pour répondre à pratiquement tous les besoins. Il présente néanmoins l'inconvénient majeur d'être sous le contrôle unique des militaires américains qui peuvent décider seuls de son avenir. C'est pourquoi les utilisateurs potentiels et les administrations concernées, notamment au niveau européen, étudient un «GNSS» (Global Navigation Satellite System) qui serait un système civil international permettant de résoudre cet inconvénient ainsi que différentes insuffisances techniques du GPS.

D'autre part, le caractère tridimensionnel de la localisation par satellites est un progrès décisif pour l'hydrographie puisqu'il permet de rattacher la mesure de la profondeur à une référence verticale. Le GPS en mode cinématique donne en effet accès à l'altitude, par rap-

port à une référence géométrique stable (l'ellipsoïde WGS 84), de la plate-forme de mesure avec une précision compatible avec la précision de la mesure. Dans le cas d'un lever fait à partir d'un navire les corrections liées à la houle et à la marée pourront donc être calculées simultanément et de façon plus satisfaisante que par les méthodes classiques, le marégraphe constitué par le récepteur GPS étant lié à la plate-forme de mesure. Dans le cas d'un lever aéroporté, le GPS remplacera avantageusement l'altimètre.

### La mesure de la profondeur

Le problème important de la réduction des sondes étant résolu, il reste à effectuer les mesures proprement dites.

L'océan étant pratiquement opaque aux rayonnements électromagnétiques, la mesure bathymétrique est obtenue dans la plupart des cas par des méthodes acoustiques. Le sondage acoustique qui a été expérimenté dans la première moitié du siècle n'a cessé de se perfectionner depuis. Ces dernières années ont vu le développement des sondeurs multifaisceaux, qui, par leurs performances, révolutionnent la bathymétrie, ainsi que les techniques de traitement des données.

Le sondeur classique à faisceau unique permet une mesure continue le long d'un profil. Selon l'ouverture angulaire du faisceau, l'exploration complète du fond ne peut se faire qu'au prix d'un resserrement des profils le plus souvent incompatible avec le temps que l'on peut raisonnablement consacrer au lever. Les levers avec ce type de sondeur sont qualifiés de linéaires et ne sont donc pas en général exhaustifs. La sécurité de la navigation est assurée dans les zones délicates en faisant appel au sondeur latéral, qui permet de détecter les relèvements de fond sur une grande largeur de part et d'autre du profil suivi, mais nécessite des recherches ultérieures avec le sondeur classique pour coter précisément ces relèvements.

Les sondeurs multifaisceaux sont capables de mesures simultanées de la profondeur suivant une direction perpendiculaire à l'axe du navire grâce à la formation d'une série de faisceaux étroits. La largeur de la bande couverte dépend de l'inclinaison des faisceaux extrêmes et de la profondeur. Les instruments les plus récents permettent d'acquérir simultanément plus de cent sondes couvrant en un seul profil jusqu'à sept fois la profondeur. Il est alors possible de parler de sondage surfacique et d'envisager des levers exhaustifs.

Tous les problèmes ne sont pas pour autant résolus. Il convient notamment d'analyser finement les différentes erreurs pouvant affecter les mesures et de mettre au point des méthodologies d'emploi adaptées. La physique de la mesure est en effet plus complexe que dans le cas d'un sondeur classique, en particulier pour les faisceaux les plus inclinés pour lesquels une bonne connaissance des mouvements de roulis, tangage et lacet du navire ainsi que du profil de célérité du son dans l'eau est capitale. Les normes hydrographiques actuellement en vigueur ont été conçues pour les sondeurs classiques et sont basées sur l'espacement entre les profils, notion devenue obsolète avec les levers surfaciques.

Une révision de ces normes a donc été entreprise sous l'égide de l'Organisation hydrographique internationale.

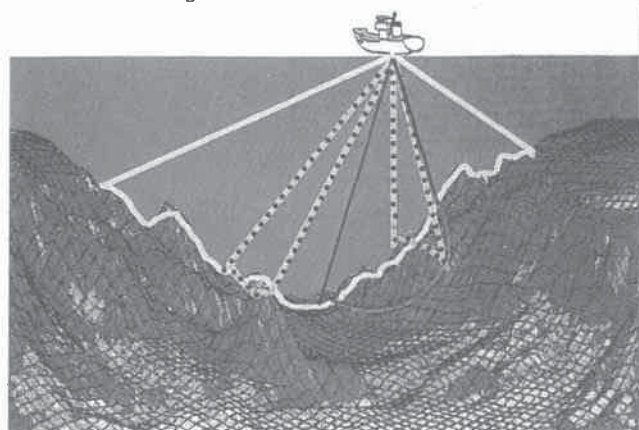
Malgré les progrès considérables accomplis, les méthodes acoustiques restent tributaires des contraintes liées au porteur qui ne peut être qu'un navire dont la vitesse conditionne la rapidité d'exécution des levers. Les dangers propres à la navigation en eaux peu profondes apportent une limitation supplémentaire.

### APPORTS DES CAPTEURS AÉROPORTÉS ET SATELLITAIUX

La télédétection à partir d'aéronefs ou de satellites permet de s'affranchir de ces contraintes mais, du fait de l'utilisation des ondes électromagnétiques, concerne surtout le domaine des petits fonds.

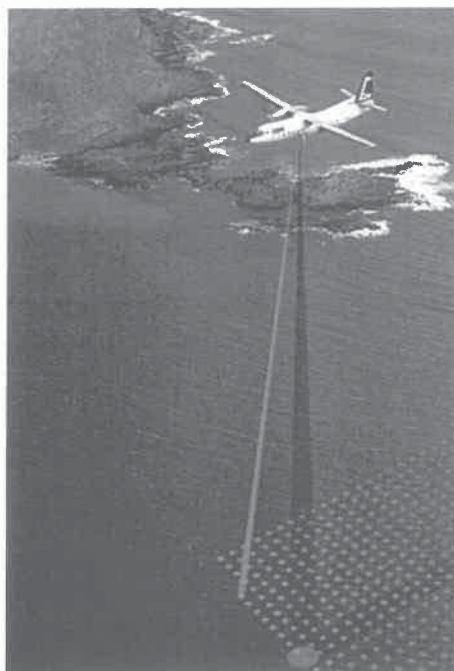
La plupart des cartes terrestres sont établies à partir de photographies aériennes. Pour les zones maritimes, la photogrammétrie se heurte à des difficultés spécifiques (réfraction des rayons lumineux à l'interface air-mer, manque de points de calage pour le calcul des couples stéréoscopiques, etc.) qui peuvent être en partie résolues avec les technologies actuelles (restituteurs analytiques, localisation précise de l'aéronef, etc.). Il devient alors possible de détecter et de positionner les hauts-fonds, voire de mesurer les profondeurs jusqu'à plus de 15 m dans les eaux claires.

Pour voir plus profond, on peut utiliser des sources laser émettant à une longueur d'onde d'environ 530 nanomètres (transparence maximum de l'eau de mer). Un système de balayage assure la couverture transversalement au déplacement de l'aéronef. Des systèmes opérationnels installés sur hélicoptères ou avions existent aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et en Suède. Les limitations principales de ces systèmes sont de deux ordres : physiques (la méthode est inutilisable dans les eaux turbides qui constituent une part importante des zones à lever fréquemment et avec précision) et, pour l'instant, financières (la réalisation en toute petite série n'ayant pas permis d'obtenir des coûts de fabrication avantageux).



▲▲▲▲ Faisceaux de réception  
 — Faisceau d'émission  
 ■■■■ Faisceau d'un sondeur classique

Résolution et portée d'un sondeur multifaisceaux comparé à un sondeur classique. Le fond 3D de la carte a été élaboré à partir des données d'un levé « multifaisceaux ».



Le système australien de bathymétrie laser permet de mesurer des profondeurs jusqu'à 50 m dans les eaux claires. Le volume des données recueillies est très important, ce qui nécessite des traitements soignés compte tenu des objectifs de sécurité de la navigation. (Document DR)

Les satellites, grâce à leur altitude élevée, assurent une couverture géographique encore plus large et un gain de temps substantiel au détriment d'une perte de résolution. Les images du satellite Spot en sont une illustration. Elles sont acquises par un scanner multispectral embarqué qui segmente électroniquement une bande au sol de 60 km de large en parcelles élémentaires (pixel) de 20 m de côté sur lesquelles l'énergie radiométrique réémise par le sol est mesurée. L'observation se fait dans trois canaux (vert, rouge et proche infrarouge). Le rayonnement est absorbé sélectivement par la tranche d'eau (pénétration nulle en infrarouge et maximum pour le vert), proportionnellement à la longueur du trajet et donc à la profondeur. Lorsque le fond est visible, il est possible de relier les variations de profondeur à celles des signaux enregistrés. La précision de la mesure est de 5 à 10 % pour des profondeurs allant jusqu'à 30 m dans les eaux claires. Cette précision est insuffisante pour assurer la sécurité de navigation, mais l'exploitation de l'imagerie Spot permet néanmoins de produire rapidement des cartes dans des zones non hydrographiées, de définir les zones d'intérêt à lever avec des méthodes plus précises et de délimiter les zones dangereuses et impropres à la navigation. Un programme de cette nature a été entrepris sur l'archipel des Tuamotu en Polynésie française.

Les images Spot sont malheureusement inexploitable en cas de couverture nuageuse. Les radars imageries, tels que celui embarqué sur le satellite ERS1, permettent de s'affranchir des conditions météorologiques et présentent donc un grand intérêt pour la cartographie. Les images radar sont cependant plus difficiles à interpréter que les images Spot. De plus, les ondes radar ne pénètrent pas sous l'eau. La topographie du fond ne sera donc accessible que si elle produit une trace en surface, ce qui a lieu sous certaines conditions par petits fonds, en présence d'un courant ou d'un train de houle.

Ce phénomène de signature de surface se manifeste également dans certains cas pour les fonds océaniques. Les monts sous-marins créent en effet des irrégularités

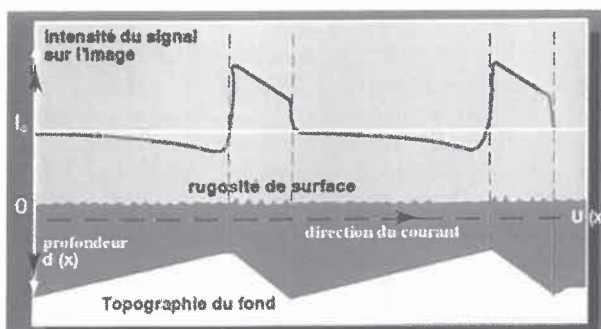
du géoïde (assimilable à la surface moyenne océanique) détectables par les satellites altimétriques.

L'hydrographie spatiale a véritablement démarré à la fin des années 1980 avec le satellite Spot et connaît un essor important dans les années 1990 grâce à la poursuite du programme Spot et au lancement de nouveaux satellites dotés de capteurs altimétriques et radar (ERS1 et 2, Radarsat, etc.).

Il faut malgré tout ne pas oublier que, parmi toutes ces techniques aéroportées ou satellitaires, seule la bathymétrie laser semble pouvoir fournir une précision compatible avec les exigences de la sécurité de la navigation. Les autres méthodes sont essentiellement qualitatives, c'est à dire que si elles permettent de détecter des irrégularités de la topographie du fond, celles-ci devront, si nécessaires, être cotées avec précision par d'autres moyens. Ces techniques sont néanmoins d'un apport considérable car elles permettent d'optimiser les levés effectués à partir des navires.

### DES VOLUMES DE DONNÉES DE PLUS EN PLUS IMPORTANTS

Les technologies nouvelles, qu'elles fassent appel aux ondes acoustiques ou aux ondes électromagnétiques, engendrent des volumes de données de plus en plus importants. Un sondeur multifaisceaux ou un système de bathymétrie laser produit en effet plus de cent fois plus de sondes dans un espace de temps donné qu'un sondeur classique. Cette grande densité d'informations fait la force des nouvelles technologies, mais complique les traitements. L'accroissement spectaculaire de la puissance des calculateurs rend en effet possible la gestion de tels volumes de données, mais aucun logiciel n'est pour l'instant capable de distinguer à coup sûr un bruit de mesure d'un relèvement réel du fond. S'il est donc nécessaire d'automatiser certaines phases des traitements pour que ceux-ci ne soient pas trop longs, il faut leur conserver une certaine interactivité pour que l'hydrographie puisse assurer un contrôle efficace.



Bathymétrie à partir de l'imagerie radar. L'intensité du signal retour est liée à la rugosité de surface qui est influencée par la topographie du fond. (Document Shom)

### VERS UNE GÉOGRAPHIE DE LA MER

Les levés hydrographiques étaient jusqu'à présent essentiellement conçus pour les besoins de la sécurité de la navigation. Bien que cela soit encore un objectif majeur, ce n'est plus le seul, puisque des usages aussi variés que l'aménagement du littoral, la gestion de l'environnement, l'exploitation des ressources natu-

relles, biologiques et non biologiques, la modélisation océanique, les applications militaires, etc., sont de plus en plus pris en compte. Les clients sont donc plus nombreux et les besoins plus larges. La bathymétrie n'est pas le seul paramètre intéressant.

La mesure de la marée et des courants ainsi que leur prédiction sont depuis longtemps des tâches traditionnelles des hydrographes. Par contre, les mesures et études relatives à l'évolution du niveau des mers et du trait de côte ou à la détermination de la structure verticale du courant sont des préoccupations récentes qui entrent dans le giron de l'hydrographie et font aussi appel à des mesures à la mer et satellitaires.

Il en est de même pour les études sédimentologiques et géologiques du fond des mers. Elles présentent un intérêt aussi bien pour les militaires que pour les applications purement nautiques ou civiles. Les conditions de propagation acoustique dans l'océan, d'une importance capitale pour la lutte sous-marine, sont en effet fortement dépendantes de la nature superficielle du fond, voire du sous-sol, données qui intéressent aussi les navigateurs et les pêcheurs pour de toutes autres raisons. On comprend également, facilement, l'intérêt de l'étude de la dynamique sédimentaire pour prévoir les déplacements des bancs de sable. Compte tenu de la diversité des thèmes étudiés, l'hydrographie moderne tend à se rapprocher d'une véritable «géographie de la mer». L'hydrographe doit donc être polyvalent pour dominer toutes ces techniques. Les objectifs, les moyens de mesure et les méthodes de traitement ont connu et connaissent une mutation si rapide qu'on peut se demander s'il faut parler d'évolution ou de révolution. Quoi qu'il en soit, le défi est de taille et doit être relevé par les hydrographes.

*Article publié avec l'aimable autorisation du SHOM et de la revue "Cols Bleus".*

**Le XXIème siècle**

**WEND**

Worldwide Electronic Navigational Chart Database (Base mondiale de données électroniques de navigation).

Le comité sur le Wend est une création de l'organisation hydrographique internationale (OHI) qui date de 1992 et dont le mandat officiel est le suivant : "Promouvoir l'établissement d'une base de données mondiale pour les cartes électroniques (Wend) adaptée aux besoins de la navigation internationale".

A sa dernière réunion, en mars 1995, le comité a rassemblé le bureau hydrographique international (BHI) et les représentants de 19 pays. Il permet aux services hydrographiques concernés de se concerter sur le développement des cartes électroniques officielles et sur les questions relatives à leur diffusion.

C'est grâce aux travaux du comité Wend que les navigateurs pourront utiliser leur console de carte électronique dans le monde entier. Chaque grande région océanique sera couverte par un centre régional (Rencl).

**Le XXIème siècle**

**RENC**

Regional Electronic Navigational Chart Coordinating Centre (Centre régional de coordination des cartes électroniques de navigation).

Dans le futur, les Services hydrographiques enverront leurs données de cartes électroniques au Centre régional, qui les regroupera avec les données des autres Services hydrographiques de la région, et vérifiera leur cohérence.

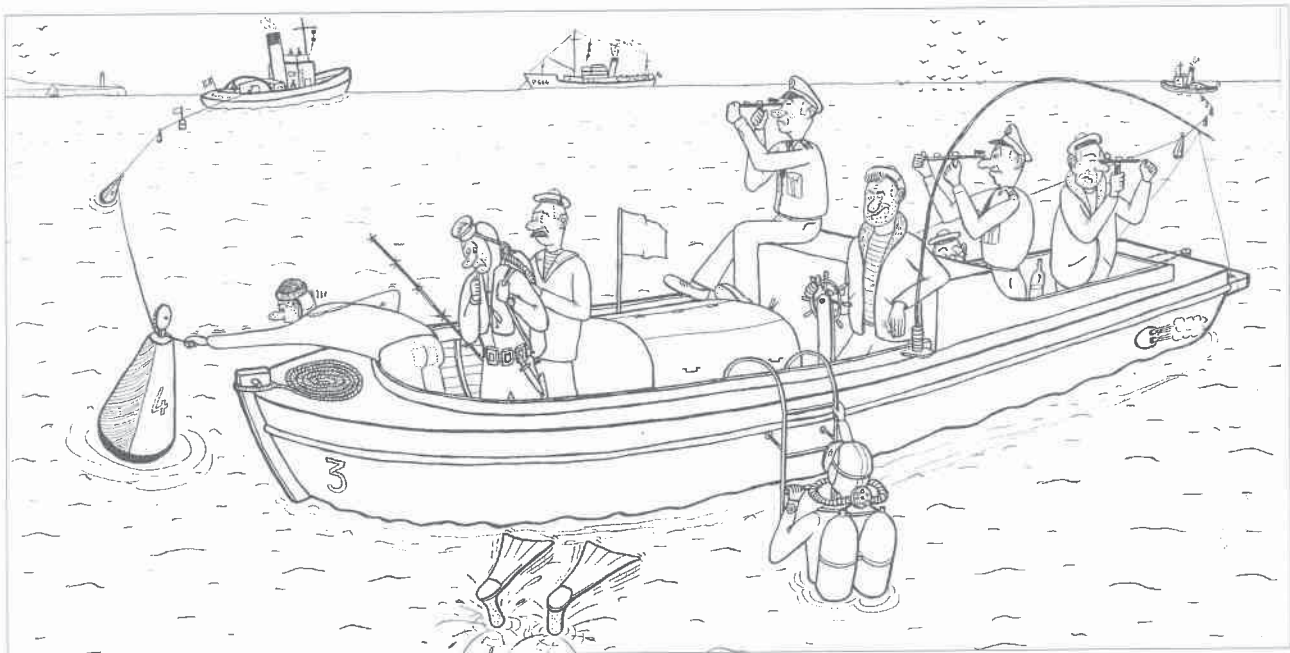
De cette façon, les navigateurs pourront recevoir leurs cartes électroniques d'un seul Centre pour toute une région océanique.

Ces cartes prendront la forme de CD Rom et les "Avis aux navigateurs" que les marins recevront chaque semaine, seront transmis par satellite. La carte électronique sera mise à jour automatiquement.

Aujourd'hui, un Renc a déjà été créé à Stavanger en Norvège. Il couvre la Manche, la mer du Nord, la Baltique et la mer de Norvège. Il commencera à diffuser des cartes électroniques en 1997.

Deux autres Renc sont envisagés :

- un au Japon pour l'Asie orientale,
- un en Amérique du Nord pour le Canada et les Etats-Unis.



HYDROGRAPHIE, ANNÉE 50»

Dessin de R. Chevalier