

Propos sur la bathymétrie

par Etienne CAILLIAU,
Ingénieur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

Résumé

L'auteur présente le vaste domaine que constitue la bathymétrie, avec ses aspects scientifiques et techniques, mais aussi économiques, juridiques et même politiques. La définition du fond marin, le calcul des profondeurs acoustiques, l'analyse de la marée, le transfert des résultats présentent parfois des problèmes délicats. L'échelle de levé doit tenir compte du coût des opérations en même temps que des objectifs poursuivis, mais les hydrographes n'ont pas le droit à l'erreur. On doit distinguer à ce sujet les notions d'hydrographie totale, d'hydrographie probabiliste et d'hydrographie partielle. Les pays en voie de développement sont appelés à intervenir de plus en plus dans l'activité bathymétrique.

Propos sur la bathymétrie

Les quelques propos qui suivent se veulent une introduction au 11^e Colloque Technique de l'Association Française de Topographie (Brest, 31 mai-1^{er} juin 1985) dont le sujet est "La Bathymétrie".

Tout au long de ces quatre demi-journées, plusieurs exposés auront abordé de manière plus précise, plus scientifique, plus technique, les divers aspects de la bathymétrie. Il est d'autre part nécessaire de relever plusieurs contributions récentes et excellentes qui relatent les méthodes modernes de la bathymétrie et ses potentialités scientifiques et technologiques. Citons notamment le remarquable exposé sur "L'hydrographie et la bathymétrie" que fit Michel Le Gouic au cours du 1^{er} Congrès International de l'Association Française de Topographie en décembre 1984 à Paris.

Il n'est évidemment pas question de reprendre ici ces éléments mais, les fixant comme base de départ, de proposer pour le moment une approche diversifiée de la question dont la problématique n'est pas seulement technique et scientifique mais aussi économique, juridique et même politique. Voici donc très librement quelques

réflexions — certes pas exhaustives — sur la bathymétrie. Bathymétrie que nous pourrions définir comme la topographie des fonds, ceux des mers et des océans, mais aussi ceux des estuaires, des fleuves et des lacs.

Au domaine des aveugles

Pour tous ceux qui se préoccupent de connaissance bathymétrique, de manière essentielle comme les topographes marins ou les hydrographes, ou d'une façon plus occasionnelle comme les océanographes, les géophysiciens ou les géologues par exemple, le problème technique de la bathymétrie est toujours celui de **connaître l'enveloppe d'un milieu**.

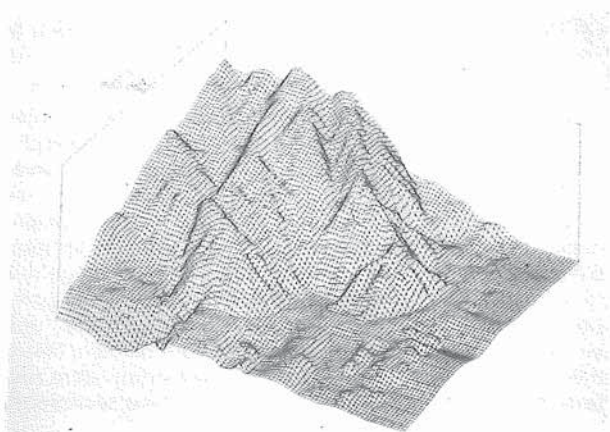
Le **milieu** est ce qui, à la surface du globe, est couvert d'eau. La difficulté essentielle est que la couche liquide, qui n'est parfois qu'une très fine pellicule si l'on considère les dimensions relatives, est quasi opaque à la plupart des rayonnements.

L'**enveloppe** sera l'interface, la frontière entre solide et liquide. Cette définition élémentaire cache en fait de délicats problèmes. On peut donner du fond une définition géophysique à partir de l'analyse du champ des vitesses de propagation des ondes sismiques mais aussi une définition "physique" : que "verrions-nous" si la mer se retirait ? Quant aux marins, et donc aux hydrographes, ils ont une toute autre conception, qui compare la solidité de la coque et la dureté du fond. Simplifions en disant qu'il nous faut connaître le champ de la valeur aléatoire Z , fonction de la position X, Y .

Mais le mot **connaître** masque une multitude de questions. Que connaître, comment connaître, pourquoi connaître ? Pour Z , il s'agira d'évaluer, de mesurer, de minimiser ou encore d'intégrer. Pour $iso Z$, on pourra mesurer ou calculer ou modéliser. Quant aux anomalies ΔZ , il faudra les identifier, les mesurer, les calculer.

L'acquisition de la connaissance passe donc toujours par des **mesures** avec toute leur problématique. Remarquons d'abord que les questions de détermination des positions et de plan horizontal de référence sont fondamentales. Au-delà, il s'agira du Z lui-même. Dans ce milieu liquide énergétiquement mou, on essayera le coup d'épingle, le coup de couteau, le coup de projecteur pour une connaissance en une, deux ou trois dimensions. Mais précisons bien qu'aujourd'hui, et demain sans doute encore, cette dernière ambition de la mesure globale, "surfactive", est restreinte à quelques zones de très petits fonds ou, pour les plus grandes profondeurs, à des étendues très limitées. Il faudra donc analyser les réponses partielles de l'interface, échantillonner, intégrer, interpoler. Il faudra aussi corriger les erreurs, les perturbations, les biais. Et ceci en gardant soigneusement à l'esprit la finalité de la mesure. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect essentiel de la bathymétrie.

La panoplie des **méthodes** et de la **technologie** pour effectuer ces mesures est très vaste. Il s'agira toujours de faire répondre l'interface à une stimulation énergétique préexistante, l'éclairage solaire par exemple pour les



Une restitution modélisée en 3 dimensions qui ne doit pas faire illusion.

très petits fonds, ou provoquée par une action mécanique, acoustique, optique ou autre. La description de ces méthodes et systèmes n'est pas dans l'objectif de ces propos. Mais disons néanmoins que les progrès sont sensibles et ouvrent de nouveaux horizons, des espoirs, mais aussi de contraintes, celle des coûts n'étant évidemment pas la moins importante.

Qui veut connaître un milieu doit s'en rapprocher. En bathymétrie, on constate actuellement tout à la fois une confirmation et une infirmation de ce postulat. Il est vrai que par grands fonds la connaissance fine de la bathymorphologie ne pourra être acquise que par l'envoi, presque au contact, des **vecteurs porte-détecteurs**. D'où la mise en action de plongeurs, d'engins sous-marins habités ou télécommandés. Mais on assiste en même temps à un rapide développement des systèmes de télé-détection. Prendre du recul pour mieux observer ce milieu, pourtant quasi opaque, mais que l'on essaiera de percer par une émission d'énergies toujours plus fortes, notamment à l'aide de lasers, voici une autre "approche" très prometteuse même si elle ne peut évidemment pas constituer une solution universelle.

L'analyse du problème technique serait très incomplète si on ne disait pas un mot de la nécessaire transmission de la connaissance. Il ne s'agit pas de savoir pour savoir mais de savoir pour faire savoir, de **connaître pour faire connaître**. Derrière ces quelques mots, c'est toute la question des transferts de données numériques entre fichiers, entre partenaires français, européens et internationaux qui est posée. Mais c'est aussi et surtout tous les problèmes de la représentation des données bathymétriques avec, en premier lieu, ceux de la carte.

En conclusion de cette première approche technique de la bathymétrie, je dirais que l'évidente accélération technologique permet d'espérer un rapide progrès pour une vision surfacique. Mais faut-il pour autant parler d'innovation-rupture où satellites, lasers, sondeurs multi-

faisceaux renverraient au musée les systèmes "classiques" ? Je pense qu'il n'en est rien et que, pour très longtemps, le milieu liquide restera encore bien obscur, nous condamnant à une bathymétrie faite de tâtonnements au royaume des aveugles.

Un zéro sur l'axe vertical

L'étude et la prise en compte des mouvements verticaux de l'interface eau-atmosphère constituent une partie spécifique de l'hydrographie et de la bathymétrie par rapport à la topographie. Ces variations de la référence verticale, du plan d'eau local, de l'ordre de plusieurs mètres lorsqu'il s'agit de marée, par définition d'origine purement astronomique, peuvent accidentellement atteindre plusieurs dizaines de mètres. Flux et reflux donnent leur charme aux plages de l'océan et font l'affaire des ramasseurs de coquillage. Mais ces mouvements, réguliers ou capricieux, compliquent fort la tâche des navigateurs, des constructeurs d'ouvrages littoraux, des topographes marins. Ils peuvent être aussi à l'origine de catastrophes naturelles de grande ampleur. Souvenons-nous de la Hollande en 1928 et 1953, du Bangladesh hier encore.

L'analyse et la prédiction d'un aussi formidable phénomène est, parmi d'autres, l'un des plus importants aspects scientifiques de la bathymétrie. Des savants éminents lui ont consacré hier et lui consacrent encore aujourd'hui une part importante de leurs travaux. Il s'agit en fait d'un domaine remarquable pour ce qui est de la complémentarité que l'on y trouve entre les efforts de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée, des techniques de l'ingénieur.

Théoriciens et techniciens ont encore de beaux jours devant eux pour affirmer la connaissance de ce phénomène qui intrigua tant les anciens Grecs lorsqu'ils s'aventurèrent au-delà des Colonnes d'Hercule. Et aussi pour aider à en maîtriser tous les effets heureux ou malheureux. Les topographes auront toujours, eux, à "réduire" leurs sondages de cet appoint variable et insaisissable au-dessus d'une surface irréaliste que l'on appelle zéro des cartes marines.

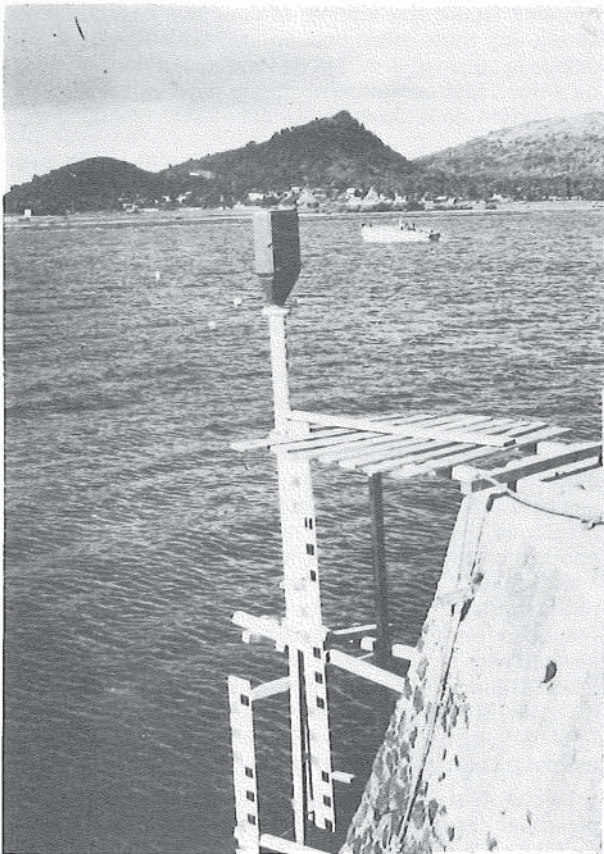
Une question d'échelle

Nous venons de voir — d'affirmer — que la bathymétrie relève et relèvera encore longtemps d'une approche aveugle d'une interface qui tente de se cacher sous les coups d'épingle ou de petits coups de projecteurs acoustiques dont le cône d'interrogation n'intéresse qu'une bien faible partie des profondeurs.

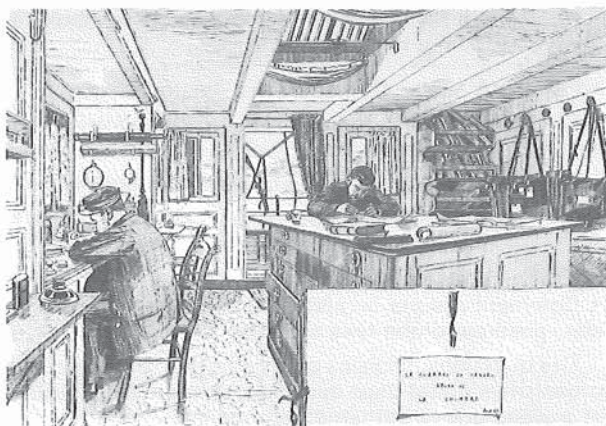
Cette procédure à laquelle nous sommes contraints implique à l'évidence de tenir compte avant tout d'un concept "**d'échelle** de levé". On ne pourra pas, au moins sur une zone appréciable, rechercher simultanément le pâtre de corail isolé ou l'épave d'un hélicoptère accidenté et identifier les macrostructures kilométriques.

Le spectre des dimensions horizontales et verticales des structures bathymétriques n'est pas seul à considérer. Il faut aussi faire intervenir les **objectifs de levé**, c'est-à-dire la nature des résultats recherchés, les moyens matériels et financiers ainsi que le temps disponible. L'omnivalence d'un levé — ce terme est préférable à celui de polyvalence — n'était guère envisageable tant que nous ne disposions pas de systèmes de positionnement eux-mêmes omnivalents. Un système "universel" de localisation existera sans doute demain. Néanmoins je crois que le levé bathymétrique omnivalent restera, sauf cas très particuliers, une chimère technique.

Quelques chiffres permettront d'illustrer l'importance du problème de management qui se pose au topographe marin d'aujourd'hui.



Observatoire de marée.



Des hydrographes hier comme aujourd'hui.

• Sur 1 km² de petits fonds :

- on fera 10 km de profils espacés de 100 m, soit 1 heure "efficace" de porte-sondeur, estimée à 12 500 F ;
- on donnera 20 000 "coups de sonde" dont 100 seront relevés sur la minute de sonde, soit un coefficient de contraction de 200 ;
- ce coup de sonde sera fait tous les 0,5 m alors qu'une sonde sera écrite tous les 100 m et donc tous les 1 cm² ;
- chaque coup de sonde coûte 0,6 F ; chaque sonde écrite 125 F.

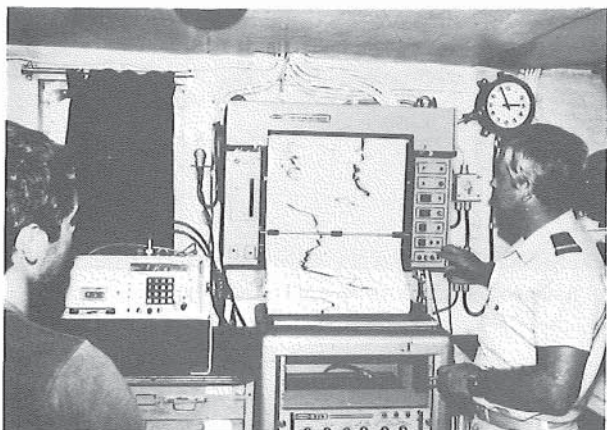
• Sur 1 an d'activité normale de porte-sondeur en bathymétrie côtière :

- on fera 4 000 km de profils, 400 km², 40 km de côte ;
- on dessinera 400 m de profils, 40 000 sondes seront écrites qui représentent 8 millions de sondes mesurées ;
- le coût sera de 5 millions de F, soit 125 000 F/km de côte.

• Il faudra 2 an-porte-sondeur pour mesurer la bathymétrie nécessaire à l'établissement d'une bonne carte marine côtière pour un coût d'un milliard de centimes.

On pourrait certes imaginer que des moyens plus puissants, plus surfaciques, soient utilisés d'autant qu'ils répondront mieux au critère de qualité considéré du point de vue de la probabilité de détection des anomalies. Mais, même quand ils seront parfaitement au point, ces moyens seront-ils disponibles le jour voulu, sur un "chantier" donné, pour un organisme ou une entreprise déterminés ?

Et surtout qu'en sera-t-il du coût de revient au km² ? De toute manière, le problème du levé multi-objectifs se



Scruter sans défaillance.

posera encore. Plus on disposera de systèmes sophistiqués et donc forcément chers, plus il faudra cerner les finalités du travail. Remettre "n" fois le métier sur l'ouvrage, revenir à tous propos sonder la même zone est évidemment anormal, lassant, terriblement dispendieux. Scruter le fond de la mer avec un microscope alors qu'une longue-vue suffirait, enregistrer d'insignifiants microdétails, vouloir tout et tout de suite est tout autant anormal, inutile, cher.

C'est dans la solution de ce paradoxe que réside l'art du topographe marin, aussi bien public que privé, qui doit exercer son jugement d'après son expérience et sa connaissance de l'état de l'art, avec ses qualités d'ingénieur mais aussi de manager.

Le droit à l'erreur

Comme dans toute activité humaine à caractère de service, il se pose en bathymétrie, et plus précisément en hydrographie, un délicat problème déontologique. Un hydrographe n'a normalement pas le "**droit à l'erreur**". Le droit, examiné sur un plan national aussi bien qu'international, la jurisprudence, permettent d'identifier un précepte général qui pourrait se résumer ainsi : un levé bathymétrique hydrographique doit, pour ne pas être "fautif" être mené selon les **règles de l'art** du moment. L'exploitation numérique ou graphique des données recueillies doit par ailleurs respecter la "règle de sécurité" en minimisant systématiquement Z et en n'omettant aucun Δ Z pertinent.

Enfin, l'erreur de calcul ou de dessin n'est pas permise.

Les règles en matière de bathymétrie de type "génie civil" ou "recherche scientifique" sont naturellement moins contraignantes et relèvent a priori plus du droit commercial (qualité industrielle d'un produit) que du droit civil et pénal (sécurité des personnes et des biens). A la lumière de ce qui vient d'être dit à propos des difficultés d'acquiescer une connaissance bathymétrique complète et précise, on peut imaginer combien le problème est délicat même en jouant sur l'expression "règles de l'art".

On peut distinguer trois concepts :

— celui d'**hydrographie totale** correspondant à un critère absolu de connaissance, sans aucune interpolation. Ce concept ne peut, nous l'avons dit, ne s'appliquer qu'à des zones géographiquement limitées dans l'état actuel de la technologie. Une réflexion plus approfondie montrerait rapidement que ce concept est encore en fait très relativiste ;

— celui d'**hydrographie probabiliste** où l'on procède classiquement par échantillonnage sur profils. Ici l'interpolation et l'interprétation sont nécessaires avec le risque d'erreur que cela suppose, surtout si des anomalies bathymétriques sont le résultat de la présence de structures artificielles et donc "anormales" ;

— celui d'**hydrographie partielle** lorsque les normes d'échantillonnage choisies ont été, pour des raisons variées, insuffisantes. Il est alors indispensable d'en avvertir clairement l'utilisateur du document-résultat.

Le choix du concept n'est pas libre. Il est manifeste qu'il faudra faire intervenir la notion de rentabilité qui n'est pas seulement économique. A potentiel constant, faut-il mieux lever complètement des zones restreintes ou au contraire lever de manière probabiliste des étendues plus grandes ?

Ici encore la compétence du décideur sera essentielle avec en filigrane la nécessité qu'il fasse preuve de la plus grande rigueur de raisonnement et de la plus absolue conscience professionnelle. Le droit à l'erreur est à ce prix.

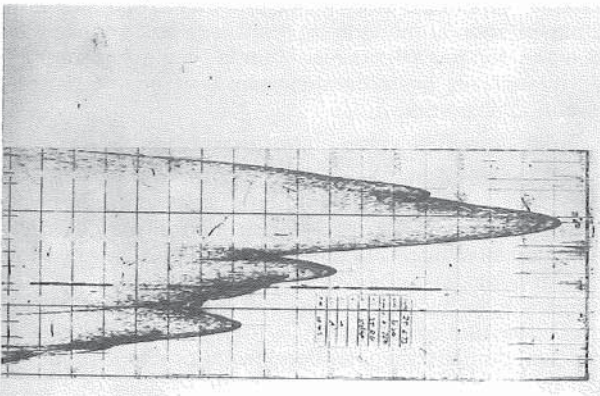
361 millions de km²

À l'inverse du schéma classique, nous avons préféré commencer par l'analyse des techniques et des moyens plutôt que de parler des besoins en bathymétrie. Cette demande se voulait plus concrète et historique, partant d'un état de fait et d'un état de l'art.

Il faut maintenant tenter d'identifier le besoin planétaire en bathymétrie.

Il y a 361 millions de km² de notre planète qui ont une couleur bleue et qui de ce fait donnent une réponse quasi vide à l'interrogation de la caméra ou du faisceau laser. C'est un champ énorme à "bathymétrer", bien sûr plus ou moins complètement, plus ou moins précisément, plus ou moins rapidement mais à "bathymétrer" quand même.

La non-omnivalence du levé, affirmée il y a un instant, la multiplicité des objectifs, ne permettent pas de quantifier l'état de la connaissance bathymétrique de ces 361 millions de km² de mer, de ces 27 millions de km² de plateaux continentaux, de ces 18 millions de km² de fonds potentiellement coralliens, de ces 200 000 km de côtes. Mais nous savons que cette connaissance est très faible, sans doute de l'ordre de 3 % des besoins raisonnables d'aujourd'hui.



La bathymétrie des grands fonds, un objectif désormais économique et politique.

Un autre élément doit être introduit ici. Il s'agit de la nature des juridictions nationales sur une partie de ces 361 millions de km². Qu'on le veuille ou non, la nouvelle Convention sur le Droit de la Mer (1982) institue le principe international de partage des droits d'exploitation sur un tiers de cette surface entre les différents états et par là même une sorte d'appropriation par ces mêmes états de leur zone économique exclusive (ZEE).

À la clef de cette appropriation déguisée, des droits et des devoirs mais aussi une sensibilisation nationale accrue pour connaître le contenu et les potentialités du nouveau domaine, notamment la bathymétrie.

Or 37 % des ZEE relèvent des Pays en Voie de Développement.

En même temps que s'ouvre ainsi un puissant marché international, de multiples questions d'ordre politico-économique se posent désormais. C'est tout le problème des relations Nord-Sud que nous retrouvons ici, avec leurs difficultés, leurs paradoxes mais aussi leurs éléments d'espoir.

Nous ne pouvons ici que citer les principales implications sous forme d'interrogations :

- Comment assurer la nécessaire relève ?
- Comment résoudre le transfert d'une technologie toujours plus coûteuse et plus difficile à mettre en œuvre ?
- Comment réaliser les investissements nécessaires ?
- Comment trouver des moyens disponibles alors que la tâche est déjà écrasante dans les eaux des pays industrialisés ?
- Comment assurer un juste retour économique, financier, politique d'une telle stratégie ?

Ces questions, choisies parmi d'autres, se posent aux organismes d'état mais aussi aux entreprises publiques et privées que la bathymétrie concerne.

Conclusions

Ces quelques propos se veulent une contribution de caractère général à une réflexion d'aujourd'hui sur la bathymétrie.

Nous pouvons les résumer ainsi :

- En matière de bathymétrie et d'hydrographie, nous sommes à une **époque** qui n'est peut-être pas charnière mais qui est **techniquement prometteuse**.
- L'**omnivalence des levés** est antinomique de la focalisation économique des objectifs.
- Le **droit à l'erreur** bathymétrique, disons la possibilité d'erreur, est une réalité qu'il serait naïf de vouloir ignorer et qui doit être examinée sous tous ses aspects technique, financier, juridique et pourquoi pas moral.
- Il existe un **marché de la bathymétrie et de l'hydrographie** qu'il faut partager de manière réaliste entre les administrations publiques et le secteur privé, tant sur le plan national que sur le plan international.

Enfin le dialogue Nord-Sud existe ici comme dans d'autres domaines : il faut résoudre les contradictions de ce dialogue pour que chacun y trouve sa part.

Ces idées sont forcément très personnelles. Elles sont certainement critiquables, elles doivent être critiquées. La porte est grande ouverte aux réactions et aux commentaires.



Le bâtiment océanographique d'Entrecasteaux.