

Campagne de levé hydrographique en Alaska,  
Dessin de Clarence E. Petersen C&G(1938).  
Source : National Oceanic and Atmospheric  
Administration/Department of Commerce.

# Chapitre I

## Généralités sur la bathymétrie

### 1 Bathymétrie et hydrographie

---

La *bathymétrie* est un mot d'origine grecque, constitué de deux éléments :

- βαθύς (*bathus*) pour profond, et ;
- μέτρον (*métron*) pour mesure.

Étymologiquement, la bathymétrie est dédiée à la mesure des profondeurs des zones de la surface terrestre recouvertes d'eau (océans, lacs, fleuves). La bathymétrie est donc l'équivalent de la topographie pour les fonds marins.

Deux définitions couramment admises identifient la bathymétrie comme :

- le domaine scientifique consacré à la mesure des profondeurs sous-marines ;
- l'ensemble des opérations permettant de déterminer la configuration générale du fond des terres immergées.

Les cartes bathymétriques sont des représentations graphiques des fonds marins. Comme le montre la **Figure I.1**, il existe différentes représentations de la bathymétrie. Lorsque la description des fonds marins est réalisée dans l'objectif de garantir la sécurité de la navigation, on ne parle plus de bathymétrie mais d'*hydrographie*.

L'organisation hydrographique internationale (OHI) définit l'hydrographie comme une science appliquée dédiée à la mesure et à la description des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves ainsi qu'à la prédiction de leur évolution dans le temps (OHI, 1994). Si l'objectif est essentiellement d'assurer la sécurité de la navigation, les données hydrographiques sont utilisées dans un grand nombre d'applications.

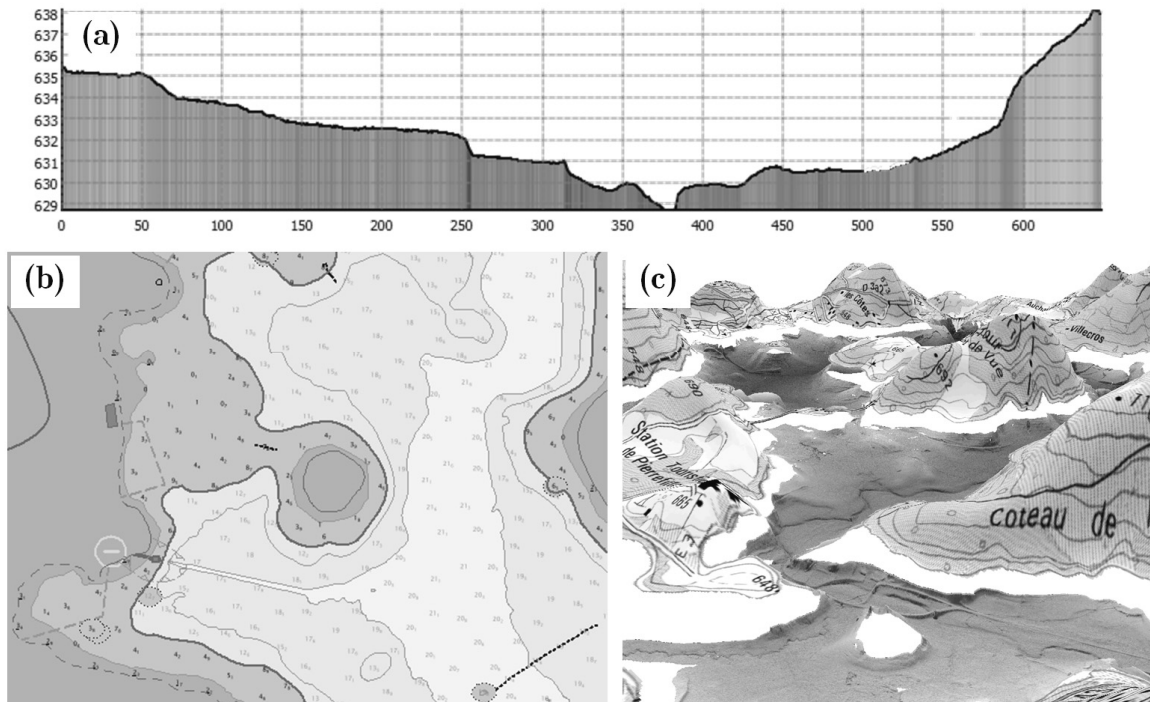
### 2 La planète bleue

---

Environ 71% de la surface terrestre est recouverte d'eau. 96.5% de cette eau provient des océans ou des mers.

Notre intérêt pour décrire la topographie de la planète Terre et en particulier sa partie couverte d'eau est très ancien comme l'atteste la découverte de cartes da-

tant vraisemblablement de 600 ans avant J.-C. Néanmoins, nos connaissances actuelles sont encore très partielles. L'existence de la dorsale médio-atlantique, qui constitue avec ses quelque 50 000 km de long l'une des plus imposantes structures sous-marines, est découverte en 1947. Si la fin du 20<sup>e</sup> siècle donne lieu à pléthores de projets visant la cartographie de notre système solaire - on dispose en février 2000 d'une carte détaillée de la planète Mars - on ne peut donner qu'une description sommaire des fonds océaniques. À la fin de 2004, un collège d'experts américains fait le constat que 95% des fonds marins n'ont jamais été explorés.



**Figure I.1** : Différentes représentations bathymétriques (a) le long d'un segment de droite tracé dans le plan géographique : la profondeur est tracée en fonction de la distance au point origine de la coupe, (b) carte marine électronique, (c) extrait d'une représentation 3D des fonds du lac de Vassivière et de ses berges.

L'obstacle majeur à cette connaissance est l'impossibilité d'effectuer des mesures directes :

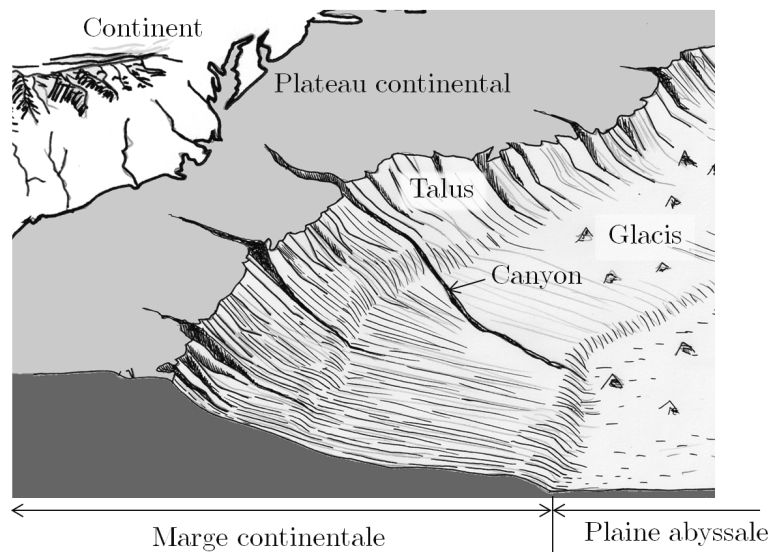
- la profondeur moyenne de l'océan est d'environ 3.7 km ;
- les plaines abyssales sont en moyenne à 4 km de profondeur ;
- les profondeurs extrêmes sont supérieures aux sommets des plus hautes montagnes. La fosse des Mariannes découverte lors de la campagne Kaïko atteint 10 911 m de profondeur. Par comparaison, le plus haut sommet de l'Everest mesure 8840 m.

L'hypothèse d'une morphologie des fonds marins à l'image de celle que l'on connaît sur les parties terrestres émergées - hypothèse longtemps considérée comme acquise - est aujourd'hui abandonnée. À l'exception des zones littorales dont la morphologie s'inscrit dans la continuité des reliefs émergés, celle des grands fonds est héritée de la tectonique des plaques plus récemment découverte.

Les fonds océaniques sont divisés en trois principales zones morphologiques :

- la marge continentale ;
- le bassin océanique ;
- la dorsale médio-océanique ;

La marge continentale est composée du plateau continental, de la pente (ou talus) continentale et du glacis. Le **plateau continental** est la zone la mieux connue de l'océan qui correspond à la portion submergée d'un continent. Cette zone représente environ 7.6% de la surface des océans. Les profondeurs varient de quelques mètres à 200 m sur une largeur qui en moyenne est de l'ordre de 50 km. Cette zone de très faible pente, environ 0.4%, est principalement recouverte de sédiments provenant de l'érosion du continent. Comme le montre la **Figure I.2**, le plateau continental est limité par le **talus continental**. Ce dernier correspond à la zone de transition entre le plateau, situé à quelque 200 m de profondeur et la plaine abyssale située à 4000 m de fonds. La largeur de cette zone est faible - entre 10 km et 100 km. Elle est caractérisée par une pente importante comprise entre 4% et 11%. De nombreux ravins et canyons sous-marins composent le talus. Le **glacis continental** est une zone située au pied du talus où s'accumulent les sédiments qui descendent plus ou moins vite le long du talus. La morphologie des marges continentales est fonction de leur type.



**Figure I.2** : Fonds océaniques en bordure de continents.

Les **marges passives** - que l'on rencontre sur les côtes européennes, d'Afrique occidentale ou d'Amérique orientale - sont caractéristiques d'une transition progressive entre le continent et l'océan. À l'inverse les **marges actives** - comme celles situées sur la côte ouest du continent américain ou la côte est de l'Eurasie - présentent un relief beaucoup plus chahuté avec notamment la présence de fosses océaniques correspondant à la zone où la plaque océanique disparaît sous la plaque continentale (zone de subduction).

Comme le présente la **Figure I.3**, les **plaines abyssales** constituent plus de 50% des fonds océaniques. Située entre 3000 m et 4000 m de profondeur,

l'épaisseur de la couche de sédiments qui les recouvre est très variable. Ces zones de fonds plats délimitées par les dorsales et/ou fosses océaniques peuvent présenter des reliefs accidentés, comme c'est le cas au large des Iles Hawaï, avec la présence de volcans.

Les *dorsales océaniques* sont des chaînes de montagnes sous-marines pouvant atteindre plus de 65 000 km de long sur 1500 km de large. Elles peuvent s'élever jusqu'à 3000 m par rapport à la plaine abyssale et constituer des îles comme c'est le cas de l'Islande. Les dorsales sont des zones sismiquement très actives localisées à la limite de deux plaques divergentes. Ce lieu de naissance de la croûte océanique, constitué d'une succession de failles transformantes présente le long de son axe un sillon très étroit appelé *rift*.

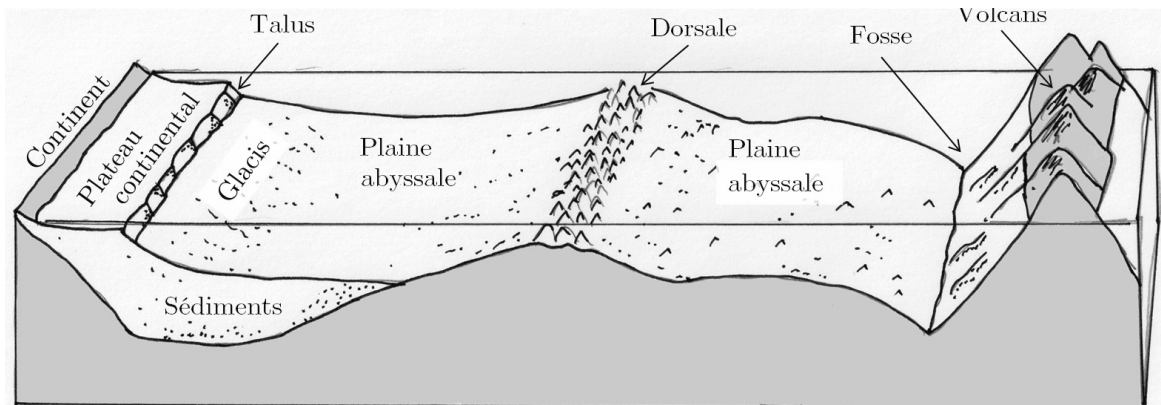


Figure I.3 : Coupe schématique des fonds océaniques.

### 3 Besoin de connaissances

Ainsi que le présente ce paragraphe, la description bathymétrique d'une zone est l'un des éléments décisionnels permettant de répondre aux besoins d'activités humaines ayant trait au domaine marin. Même si cet aspect n'est pas abordé ici, ce besoin de connaissances dépasse largement ces limites. À travers le monde, de nombreuses équipes scientifiques s'attachent à décrire et comprendre cet environnement. Qu'elles soient réalisées à l'échelle locale, régionale ou globale, les cartes bathymétriques généralement couplées à d'autres mesures géophysiques sont utilisées notamment pour comprendre et modéliser :

- l'évolution du climat ;
- la tectonique des plaques ;
- le déplacement des dunes de sable ;
- les phénomènes exceptionnels (ondes de tempête ou tsunamis) ;
- le niveau moyen des océans ;
- l'érosion du littoral.

#### 3.1 La navigation

On recense à peu près 400 accidents maritimes par an (Bessero, 2009). Si les échouements, qui représentent la troisième cause d'accidents des navires de commerce, sont bien souvent dus à des erreurs humaines, la méconnaissance des fonds

marins représente encore un réel danger pour qui prend la mer. En multipliant les échanges entre pays, la mondialisation accroît le trafic maritime. Si les routes existantes de plus en plus fréquentées sont régulièrement cartographiées, de nouveaux besoins apparaissent. Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, le tonnage des navires dédiés au transport de marchandises augmente par paliers en suivant les contraintes de navigation qu'imposent les principaux canaux. Aujourd'hui, ces limites n'existent plus : il est économiquement plus rentable de construire des navires plus grands pour transporter plus de marchandises quitte à parcourir une route plus longue.

Le secteur de la plaisance et plus particulièrement celui de la croisière pousse à la découverte de nouvelles routes. Aux paquebots du début du 20<sup>e</sup> siècle qui transportent des vagues d'émigrés succèdent aujourd'hui des géants des mers dont la taille et le nombre augmentent chaque année. Pour attirer toujours plus de nouveaux clients, les croisiéristes proposent de nouvelles destinations, en dehors des routes traditionnelles.

### 3.2 L'exploitation des ressources marines

Les principales ressources océaniques sont celles liées à la pêche. La surexploitation de certaines espèces de poissons constatée au siècle dernier impose une gestion raisonnée des stocks. La transition d'une pêche de capture vers une pêche d'élevage s'accélère. L'implantation de fermes aquacoles repose sur une connaissance très détaillée de la bathymétrie en zones côtières. À l'exception de la pêche d'espèces migratoires - comme celle du thon, la majeure partie de la pêche industrielle se fait sur le plateau continental. Cette industrie a besoin de mieux connaître l'océan pour optimiser la gestion des stocks. Connaître la bathymétrie d'une zone permet de prédire et de préserver les zones de nutriments ainsi que les zones d'habitats marins tout en diminuant les coûts d'exploitation.

Il en est de même pour l'industrie pétrolière et gazière dont 98% de l'activité s'effectue sur le plateau continental. Si la recherche de nouveaux puits nécessite de connaître précisément la morphologie des fonds et la nature du sous-sol, les cartes bathymétriques sont surtout utilisées pour planifier et contrôler l'installation d'infrastructures hauturières. Il s'agit de repérer les zones de pentes instables, ou les structures bathymétriques dangereuses telles que celles caractéristiques d'expulsions gazières pour garantir la stabilité des structures.

De nombreux câbles reposent sur les fonds marins permettant aux différents continents de communiquer entre eux. Ces câbles sont déroulés depuis la côte sur des zones de grands fonds. Leur déploiement nécessite de connaître précisément les fonds marins dans un corridor centré sur la route de navigation du câblage. La pose est réalisée en tenant compte de la morphologie des fonds pour éviter d'éventuelles tensions du câble qui entraînent à plus ou moins long terme des ruptures avec pour conséquence une augmentation rapide de leurs coûts d'exploitation. La description des fonds est réalisée en temps réel ou pseudo réel au fur et à mesure du déroulement du câble et de la pose ponctuelle de répéteurs. La vitesse de déroulement du câble est pilotée par logiciel et suivie en temps réel pour éviter tout incident. À proximité des côtes, une contrainte supplémen-

taire s'ajoute, celle liée à la présence d'activités humaines - en particulier la pêche. Pour éviter que les chaluts ne détériorent les câbles, ceux-ci sont enfouis. L'analyse morphologique des fonds est réalisée conjointement à l'analyse sédimentologique pour aider au repérage des zones d'enfouissement.

### 3.3 La gestion et la protection du littoral

50% de la population mondiale se concentre sur une bande littorale de 60 km de large. Les prévisions des Nations Unies indiquent que d'ici à 2020, cette zone accueillera 2/3 de la population mondiale.

Cet environnement attire de nombreuses activités aussi diverses que : la pêche, l'industrie, les loisirs. Leur cohabitation combinée à la fragilité du milieu impose une gestion intégrée de ces zones à travers un référentiel géographique dont l'information bathymétrique constitue l'une des couches.

Les installations portuaires disposent d'une connaissance précise de la bathymétrie pour garantir l'accès des navires à leurs installations. Cette connaissance est régulièrement actualisée lors de la construction de nouvelles infrastructures. Le plus souvent, les besoins en bathymétrie sont axés sur la maintenance des voies d'accès en effectuant des opérations de dragage.

### 3.4 La délimitation du plateau continental

Les tentatives d'établir des frontières maritimes remontent au 15<sup>e</sup> siècle. Les premières revendications voient une appropriation des mers et océans par quelques puissances maritimes. Le traité de Saragosse signé en 1529 conduit l'Espagne et le Portugal à se partager le monde. Il faut attendre le 17<sup>e</sup> siècle pour voir apparaître la notion d'eaux internationales - et la liberté d'y naviguer en toute liberté - et celle d'eaux territoriales. Le principe de ce découpage est toujours d'actualité à ceci près que les revendications des états côtiers qui se réglaient par la force sont aujourd'hui définies par l'article n°76 de la convention des Nations Unies signée en 1982.

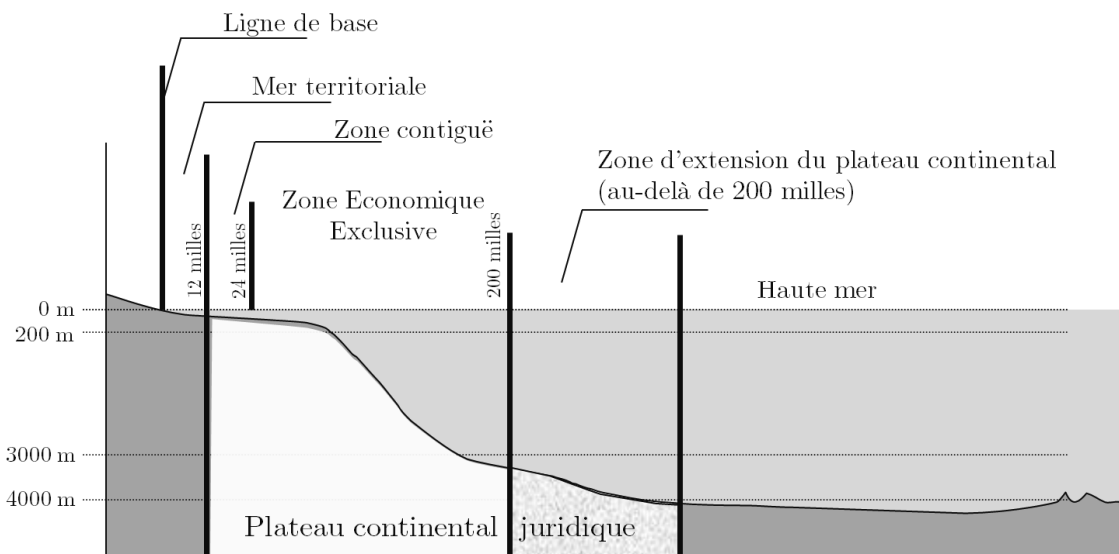


Figure I.4 : Délimitations maritimes d'un état côtier.

L'article 76 permet d'établir les limites extérieures de la zone submergée assujettie aux droits souverains des États côtiers. Au-delà des 200 milles marins (cf. **Figure I.4**), le calcul de la frontière juridique repose sur une formule complexe fonction des caractéristiques géologiques - épaisseur de la couche de sédiments - et géomorphologiques du fond océanique - isobathe des 2500m et localisation du pied du talus.

L'extension du plateau continental représente un enjeu important pour les états côtiers. Il leur accorde des droits souverains pour explorer et exploiter les ressources du sol et du sous-sol, ainsi que les ressources biologiques sédentaires sur l'étendue de cette zone.

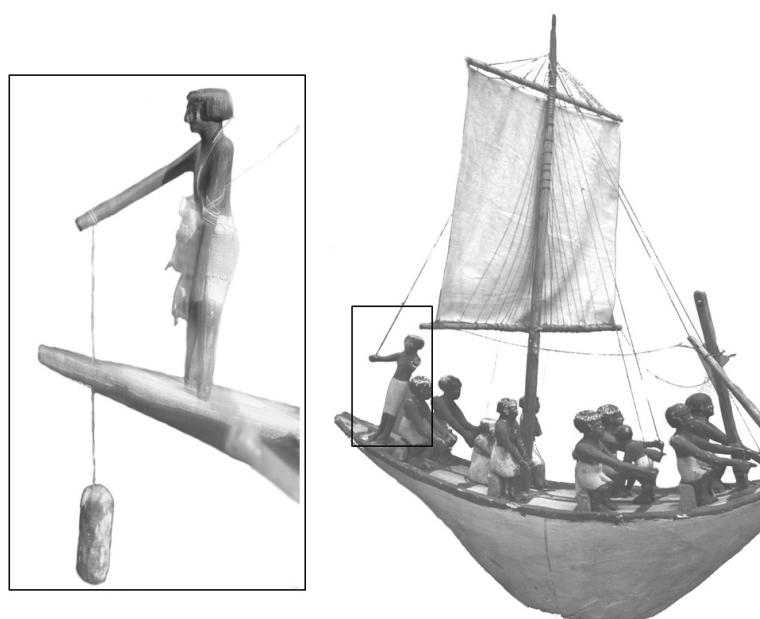
## 4 Systèmes d'acquisition de la bathymétrie

### 4.1 Des origines à l'apparition des sondeurs multifaisceaux

L'évolution de la représentation des fonds marins est intimement liée à celle des capteurs réalisant l'acquisition de données bathymétriques.

#### 4.1.1 Les premiers systèmes de sondage mécaniques

Dès que l'homme a eu la capacité de se mouvoir sur l'océan, il a cherché à savoir ce que contenait la masse d'eau située juste en dessous de son esquif. La **Figure I.5** présente une sculpture de navire exposée au musée de la science de Londres.



**Figure I.5** : Bateau de rivière dans l'Égypte ancienne. (Musée de la science de Londres).

Elle a été retrouvée dans une tombe égyptienne et est datée d'environ 2000 ans avant Jésus-Christ. Elle représente, à la proue du navire, un hydrographe égyptien tenant vraisemblablement dans ses mains un plomb de sonde pour prévenir l'échouage de son embarcation.

Les sondages effectués à cette époque ont pour but d'assurer la sécurité de la

navigation à proximité du rivage. L'hydrographie était née. Les sondages réguliers datent du premier siècle après Jésus-Christ. Les premières mesures sont positionnées très approximativement en s'appuyant sur les structures morphologiques des reliefs à la côte. Au 4<sup>e</sup> siècle, *Suparaga*, un Indien, s'appuie sur la configuration des étoiles par rapport à celle d'éléments singuliers du relief pour se positionner. Il est le premier à décrire les routes maritimes qu'il suit à partir d'éléments aussi variés que la couleur de l'eau, les espèces de poissons ou d'oiseaux rencontrées. Jusqu'à la découverte du compas magnétique au 12<sup>e</sup> siècle, les techniques de levé restent inchangées. Il faut attendre le 15<sup>e</sup> siècle et l'arrivée des marins portugais pour voir se développer une technique scientifique de cartographie des fonds et des routes maritimes. Le premier atlas de routes maritimes est rédigé par *Lucas Jans Waghenaer* de Hollande en 1584. Les hauteurs d'eau sont mesurées au moyen de lourdes cordes en chanvre avant d'être remplacées par des fils plus rigides en métal au cours de la première expédition scientifique effectuée par *Charles Wilkes*. Cette technique rudimentaire de mesure des fonds marins reste la seule technique utilisée durant près de 4000 ans. Bien sûr, au fil des siècles, on assiste à son évolution comme l'attestent les descriptions et figures présentées ci-dessous.

### Sondage à bras

Un plomb est fixé à l'extrémité d'une corde graduée qui mollit en touchant le fond. Précise par très petits fonds, cette technique trouve rapidement ses limites en eaux profondes, lorsqu'on ne perçoit plus le moment où le plomb touche le fond. Les toutes premières cordes sont en chanvre. Ce matériau présente la particularité de se raccourcir dans l'eau et de s'allonger sous le poids du plomb, ce qui rend la mesure peu fiable. *Magellan* compte parmi les pionniers ayant utilisé cette technique pour effectuer des sondages par grands fonds, sans succès toutefois. Pendant l'expédition de l'*Erebus* et de la *Terror* en 1521, il laisse filer 8600 brasses sans toucher le fond (Muselec, 2003).

Par très petits fonds, on utilise également la perche de sonde. Cette perche en bois a une longueur de 3 à 8 m. Les mesures sont matérialisées à l'aide de bandes alternativement noires et blanches de 10 cm. Les mètres sont repérés par une bague de couleur rouge associée à un chiffre. Elle se termine par une douille en fer. Elle est toujours utilisée pour le sondage d'étangs ou de zones marécageuses dans le cadre d'études d'envasement.

### Sondage à plomb perdu

Cette technique est inventée par le scientifique *Robert Hooke* en 1667. Un boulet traversé d'un tube est relié à un système qui le libère lorsqu'il touche le fond. On récupère la ligne et le tube qui contient un échantillon de sédiment.

La machine de Hooke est utilisée par le lieutenant *Mauzy* lors de sondages effectués entre 1848 et 1856. Les sondes acquises tous les 50 miles nécessitent d'immobiliser le navire environ 6 heures par fonds de 4500 m. La carte produite à l'issue de ces levés donne une première description des fonds marins en Atlantique. Elle est directement utilisée en 1856 lors de la tentative de pose du premier câble transatlantique.