

LE SONDEUR MULTIFAISCEAUX (Source [SHOM](#))

Principe :

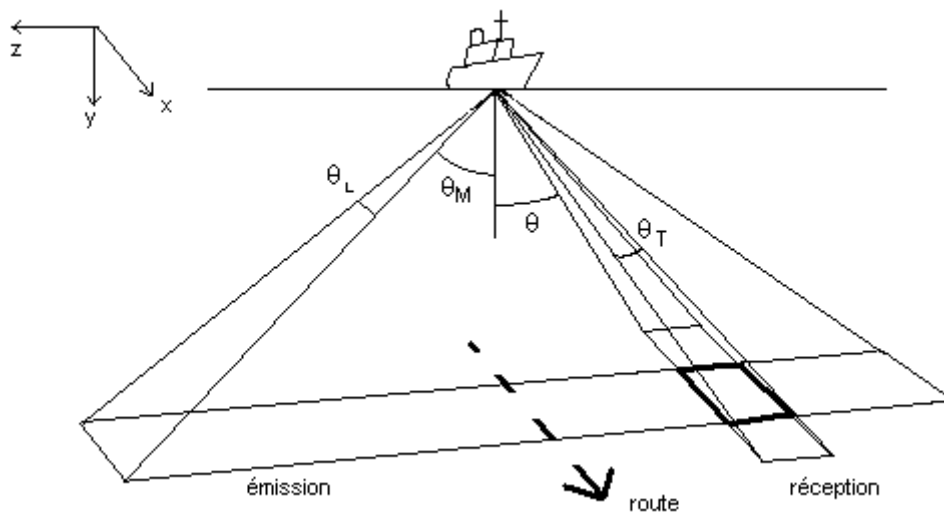
Un sondeur multifaisceaux mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions, déterminées par les faisceaux de réception du système. Ces faisceaux forment une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. On explore ainsi le fond sur une large bande : on parle de bathymétrie surfacique et d'exploration (insonification) totale.

Le sondeur multifaisceaux possède deux avantages par rapport au sondeur monofaisceau :

- il permet d'explorer ("insonifier") un large couloir, le long de la route du navire,
- sa résolution est grande (d'autant plus grande que ses faisceaux sont étroits).

La plupart des sondeurs multifaisceaux fonctionnent selon la technique dite des "faisceaux croisés" : Une impulsion sonore est émise au travers d'un lobe d'émission étroit dans la direction longitudinale (typiquement de l'ordre de 1 à 5 degrés) et large transversalement (typiquement 150 degrés).

La réception se fait à l'aide de faisceaux assez larges longitudinalement (de l'ordre de 20 degrés) et étroits dans le plan transversal.



faisceaux d'émission et de réception.

Pour chaque faisceau de réception, la zone du fond explorée ("pastille insonifiée") est l'intersection entre le lobe d'émission et le faisceau de réception.

Caractéristiques des sondeurs multifaisceaux

Un sondeur multifaisceaux est caractérisé par :

- sa fréquence acoustique (f) :

La fréquence détermine :

- la portée du sondeur : L'amortissement du son dans l'eau augmente très vite avec la fréquence. On distingue généralement 4 classes d'équipements :

| Sondeurs | Plage de profondeur | Fréquence | Types de levé |
|-------------------|---------------------|---------------|-------------------------------------|
| Grands fonds | 100 à 12 000 m | 10 - 15 kHz | Talus, dorsale et plaines abyssales |
| Moyens fonds | 30 à 3000 m | 30 - 50 kHz | plateau, talus |
| Petits fonds | 5 à 500 m | 80 - 120 kHz | plateau continental |
| Très petits fonds | 0 à 100 m | 200 - 400 kHz | zones littorales |

- la taille des antennes : la génération de signaux basse fréquence nécessitent des antennes de grandes dimension.
- la résolution spatiale (liée à la finesse des faisceaux), d'autant meilleure que la fréquence est élevée et les antennes grandes.

- Le nombre de faisceaux :

Il varie, selon les équipements, d'une dizaine à plusieurs centaines.

- L'ouverture angulaire :

qui représente la largeur angulaire de la fauchée. C'est l'angle entre les faisceaux extrêmes. Elle varie en général de 90° à 150°.

- La largeur angulaire des faisceaux :

On distingue :

- la largeur longitudinale (dans l'axe du bâtiment) : c'est la largeur angulaire longitudinale du faisceau d'émission
- la largeur transversale (perpendiculaire à l'axe du navire) : c'est la largeur angulaire du faisceau de réception.

Ces largeurs varient typiquement de 1 à 5 degrés.

- La répartition des faisceaux :

Elle peut être :

- équiangulaire : l'angle entre l'axe de deux faisceaux consécutifs est constant
- équidistante : l'angle entre l'axe de deux faisceaux consécutifs est tel que la distance entre les centres des pieds de faisceaux est constante.

- La durée de l'impulsion sonore émise T :

Les signaux les plus couramment utilisés sont des « pings » : portions de signaux sinusoïdaux limités à une durée T. Plus la durée d'émission est longue, plus la portée est grande, plus la résolution est faible. Elle varie couramment de 1 ms à 10 ms.

- La cadence d'émission :

C'est la durée entre deux émissions consécutives du sondeur. Elle est au moins plus longue que la durée du trajet aller/retour des faisceaux extrêmes (moins d'un dixième de seconde par petits fonds, plusieurs dizaines de secondes par grands fonds). Elle est soit constante (par exemple fixée par l'opérateur), soit réglée automatiquement, en fonction du trajet des faisceaux extrêmes.

- La cadence d'échantillonnage du signal (Et) :

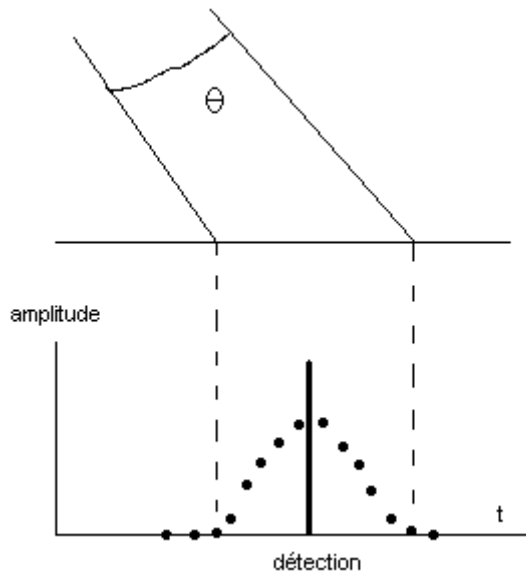
C'est la cadence d'échantillonnage des signaux reçus par chaque transducteur élémentaire. La distance inter-échantillon maxi (en incidence rasante) vaut $d = c Et/2$. Elle augmente lorsque l'incidence diminue.

Mesure de la bathymétrie

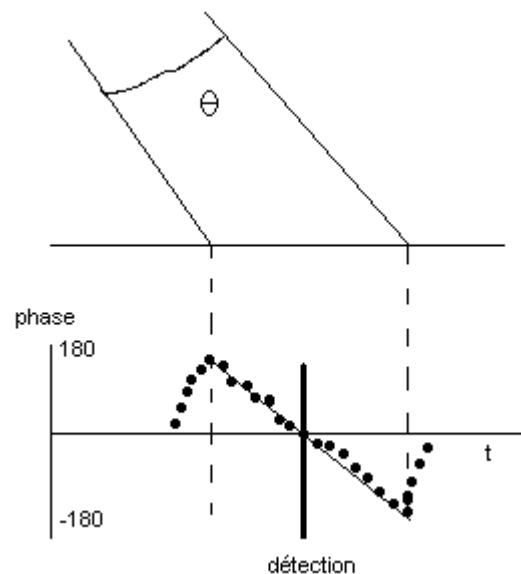
La mesure de la bathymétrie consiste à exploiter les signaux de chaque faisceau pour déterminer l'instant de retour de l'impulsion sonore (détection bathymétrique). On obtient ainsi une mesure de profondeur (sonde) par faisceau. Il existe différentes techniques de détection :

- la détection par amplitude

l'instant de retour de l'impulsion est fixée au centre de gravité du signal sur une fenêtre de pré-détection. La qualité de la détection est déduite de l'énergie reçue. Ce type de détection est mal adaptée au cas des faisceaux latéraux



détection bathymétrique par l'amplitude

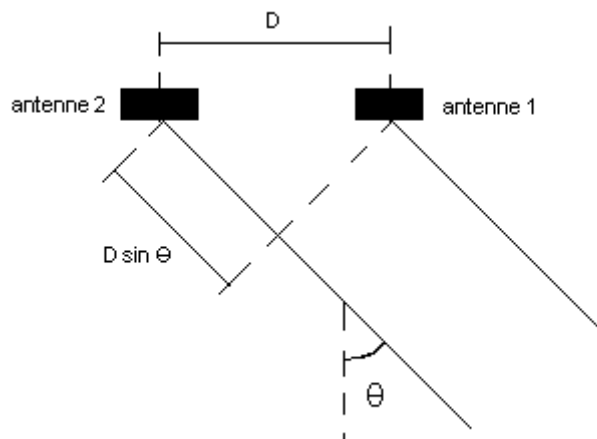


détection bathymétrique par la phase

- la détection par phase (interférométrie)

Ce principe de détection consiste à déterminer le retard d'arrivée (dt) du signal sur deux antennes de réception proches l'une de l'autre. Les deux antennes sont en fait formées par une partie des transducteurs de réception. Ce retard correspond à un déphasage : $d\varphi = 2\pi D \sin \theta$.

Pour une incidence θ donnée, l'instant de détection est déterminé par le passage à zéro de $\Phi = d\varphi(\text{mesurée}) - d\varphi(\theta)$. Cette grandeur est modélisée par une approximation polynomiale. La qualité de détection est déduite des résidus de cette approximation. La détection par la phase offre en principe une résolution plus fine que la largeur du faisceau. Elle est toutefois inadaptée au cas des faisceaux verticaux.



principe de l'interférométrie

Architecture d'un sondeur multifaisceaux

Le sondeur proprement dit comprend :

- des antennes d'émission et de réception
- une unité d'émission/réception générant le faisceau d'émission, assure la réception des signaux et leur traitement,
- une interface homme-machine : une station de travail qui permet à l'opérateur de piloter le sondeur et de contrôler son bon fonctionnement.

Afin de déterminer des sondes dans un repère absolu (profondeur associée à une position géographique), un sondeur multifaisceaux doit être associé à différents capteurs auxiliaires :

- système de positionnement

Le sondeur est relié à un système de localisation qui lui fournit la position. Actuellement, on utilise presque exclusivement le système GPS. Plusieurs modes de fonctionnement existent, suivant la précision requise : GPS naturel (précision décamétrique), différentiel (métrique) ou cinématique (décimétrique).

- centrale d'attitude, de cap et de pilonnement

Les mesures de profondeur sont réparties de part et d'autre de la route du navire. Pour déterminer leurs positions géographiques, il est nécessaire de connaître le cap du navire. Pour connaître l'orientation des faisceaux par rapport à la verticale du lieu, il est nécessaire de mesurer le roulis et le tangage (l'attitude) du navire. Enfin, pour déterminer la profondeur par rapport à la surface moyenne, il est nécessaire de mesurer le pilonnement (mouvements verticaux) du navire.

Actuellement, l'attitude, le cap et le pilonnement sont déterminées à l'aide de systèmes utilisant des techniques inertielles combinées à des mesures GPS. Des précisions de l'ordre de $0,05^\circ$ pour le cap, le roulis et le tangage et de 10 cm pour le pilonnement sont atteintes.

- mesure du profil de célérité

Les variations de célérité provoquent une courbure des rayons sonores. Il est nécessaire, pour établir le trajet de l'onde sonore pour une incidence et une durée de trajet donnée, de connaître la célérité du son dans l'eau (profil de célérité).

Plusieurs techniques permettent d'établir le profil de célérité :

- mesures en station à l'aide d'un bathycélérimètre (mesure de la pression et de la célérité), ou d'une bathysonde (pression, température, salinité),
- mesures en route à l'aide de sondes perdables : XBT (mesure de la température) ou XCTD (température et conductivité).

- mesure de la célérité de surface

On a vu que pour former des faisceaux dépointés, il était nécessaire de connaître la célérité au voisinage des antennes. Il est donc souvent recommandé (dans le cas des antennes planes, notamment) de disposer d'un célérimètre de coque qui mesure en permanence la célérité de surface, utilisée pour la formation des faisceaux.

- mesure de la marée

Un levé bathymétrique (par petits fonds) nécessite en principe l'observation de la marée au voisinage de la zone de levé. L'emploi du GPS en mode cinématique, qui fournit une altitude très précise, permet éventuellement de s'affranchir de l'installation d'un marégraphe.