

PROJET GMA :

LE SONAR LATERAL

Introduction

Historiquement, les marins s'étaient rendu compte d'une meilleure propagation du son au sein d'une masse d'eau dense que dans l'air libre. Surtout, c'est au XIX^{ème} siècle que les chercheurs entreprirent d'utiliser le son à des fins scientifiques. Quelques siècles plus tard la méthode du SONAR (Sound Navigation And Ranging) fut établit.

De cette manière, le principe du sonar latéral a été développé pendant la deuxième guerre mondiale par les ingénieurs anglais de l'ASDIC (Anti Submarine Detection Investigation Comitee). Initialement conçu pour détecter des objets sur le fond (mines, épaves, structures), leur utilisation s'est généralisée depuis la fin des années 60 à des applications de géophysiques marine et de dynamique sédimentaire.

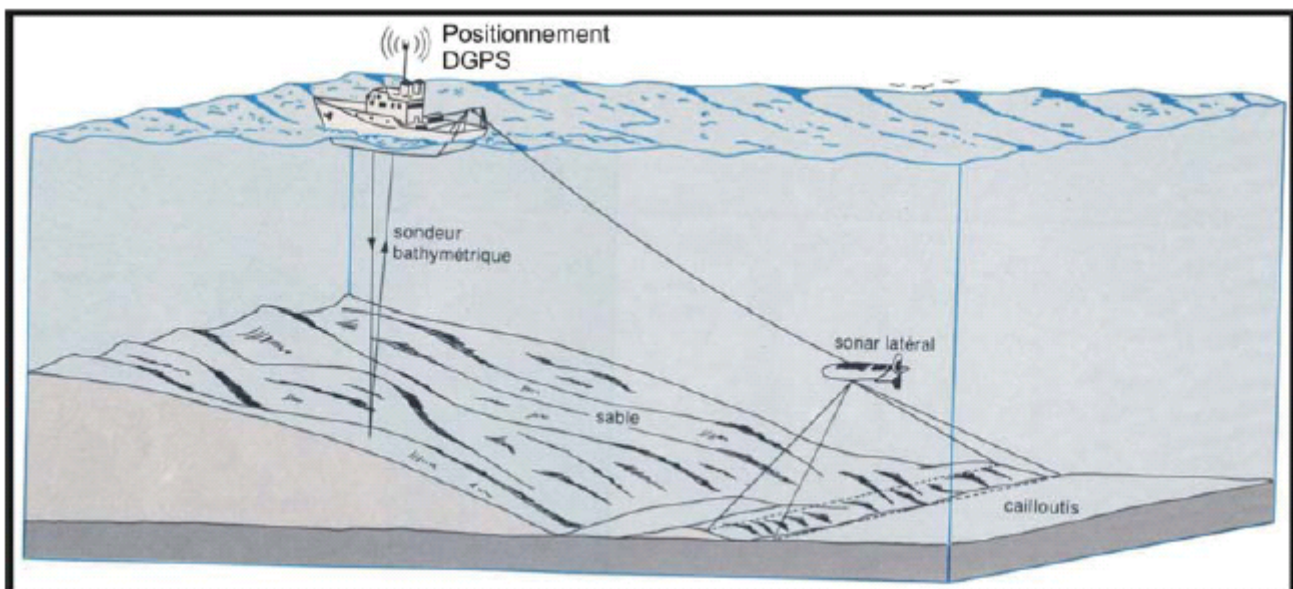
Ce rapport définira d'abord la théorie du sonar latéral, puis sa mise en oeuvre dans le milieu marin sera traiter avant d'entreprendre une analyse sur les differents types de sonar.

1. Théorie

1.1 Principe

Un sonar latéral a pour but de constituer des images acoustique en continue et en niveau de gris détaillées du relief des fonds marins. Il insonifie à différentes fréquences et perpendiculairement à la route du navire, une bande constante de 50 à 1000 mètres de largeur en fonction de la profondeur.

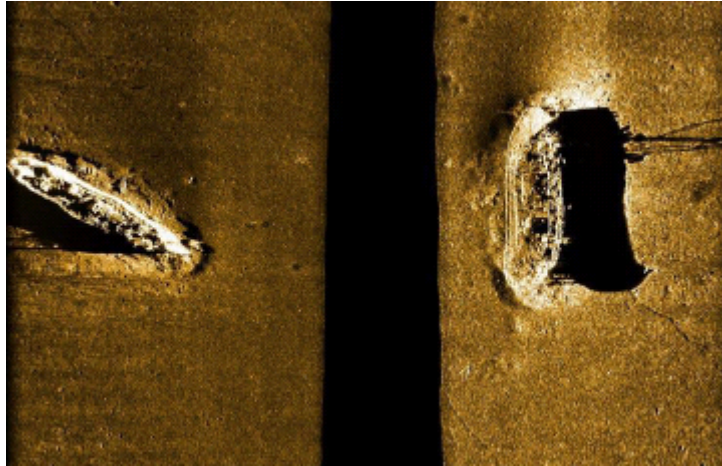
Pour cela, un faisceau sonore étroit est émis avec une incidence rasante. Ce faisceau intercepte le fond selon une fine bande s'évasant avec la distance. Les rayons acoustiques parallèles et obliques émis proviennent de deux transducteurs placés de part et d'autre d'un corps fuselé remorqué appelé poisson.



Poisson sonar latéral tracté en position de balayage au dessus du fond

C'est en effet, l'envoi d'impulsions électriques vers les transducteurs qui va engendrer l'émission d'ondes acoustiques de courtes durées (0,1 ms) et de hautes fréquences. Ainsi, une zone insonifiée de très faible dimension est délimitée par le signal émis. Cependant, à sa verticale, le sonar ne reçoit pas d'information du fond. De 10 à 20° à l'aplomb du sonar, un

angle aveugle est donc considéré. Pour cette raison, une zone non insonifiée s'étend au milieu de la surface insonifiée.



Représentation, au centre, de la zone non insonifiée

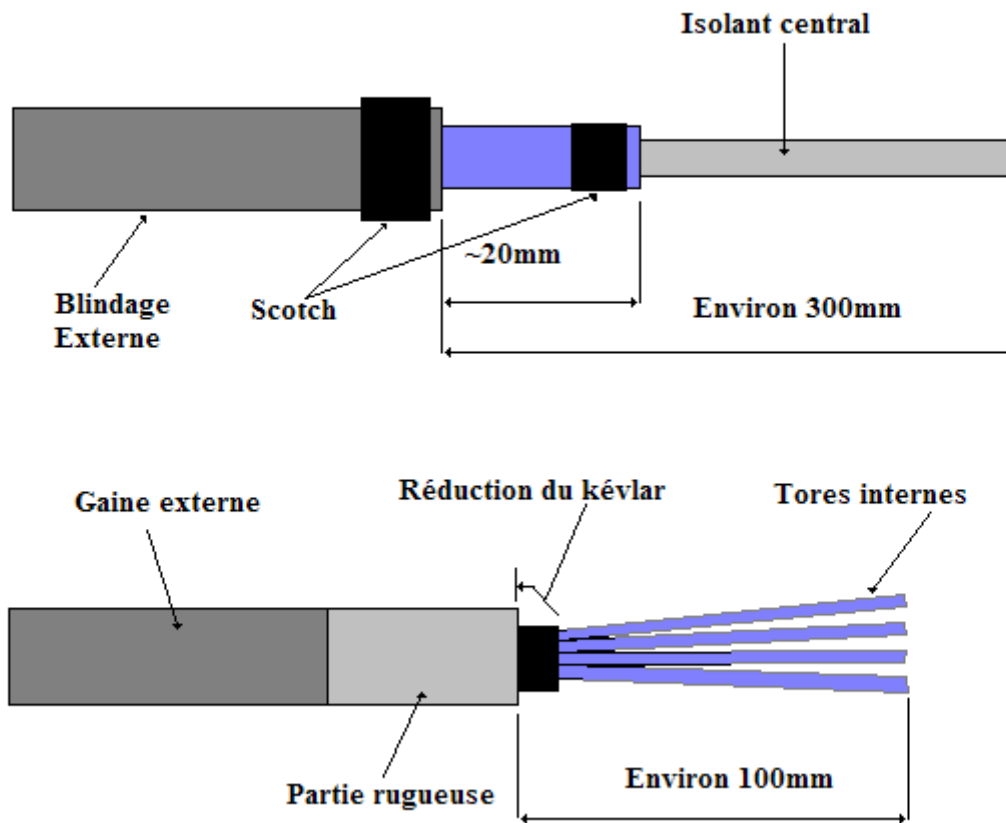
Egalement, selon la nature du fond, le signal émis sera réfléchi vers la surface. Les échos sont alors réceptionnés par les transducteurs et transmis au navire grâce à un câble électroporteur. De cette façon, le signal acoustique réfléchi est restitué à bord du navire sur des bandes papiers, sonogrammes ou sur écran (par le biais du système de numérisation DELPH2) . Ils représentent la réflectivité du fond le long de la fauchée, et mettent en évidence la présence d'irrégularité ou de petits obstacles traduit par le signal très résolvant. Ce signal, enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar (*side-scan sonar*) est juxtaposé aux signaux successifs déjà obtenus par le sonar pendant son avancée, constituant ainsi, ligne après ligne, une véritable image acoustique du fond.

Cependant, le sonar à balayage latéral n'a pas de pouvoir de pénétration, une bonne reconnaissance des structures rocheuses et sédimentaire est effectuée mais il ne permet pas une identification précise de la nature des sédiments.

1.2 Matériel

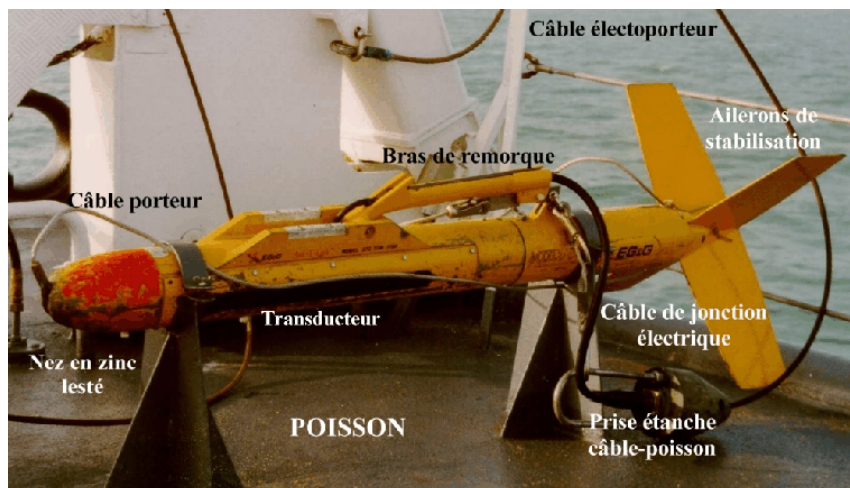
Un équipement de sonar latéral est constitué par :

- Un poisson qui supporte les dispositifs d'émission et de réception (transducteurs): Il s'agit d'un cylindre mécanique profilé possédant des ailerons de stabilisation destiné à assurer son équilibre hydrodynamique.
- Un câble électroporteur, porté par un treuil assure la liaison mécanique et transporte les informations



Exemple d'un câble électroporteur

- Un lest en zinc dans le nez pour l'équilibre hydrodynamique
- Alimentateur électrique
- Dépresseur qui permet d'augmenter la profondeur d'immersion du poisson
- Equipement de visualisation, d'enregistrement et de traitement du signal à bord



Le sonar latéral

Le système se compose donc d'un poisson remorqué pres du fond, de forme fuselée relié par un câble electroporteur à un système de visualisation graphique en temps réel et à un système d'archivage numérique situé à bord du navire.

1.3 Capacité

Le sonar latéral a une capacité de représentation de large étendue :

- Il couvre une zone d'environ 1 Km² / H avec une vitesse de navigation de 5 nœuds
- Il s'adapte à la cartographie géologique des fonds marins, à l'identification des limites de faciès et des micro-reliefs.

- **Fréquence et portée :**

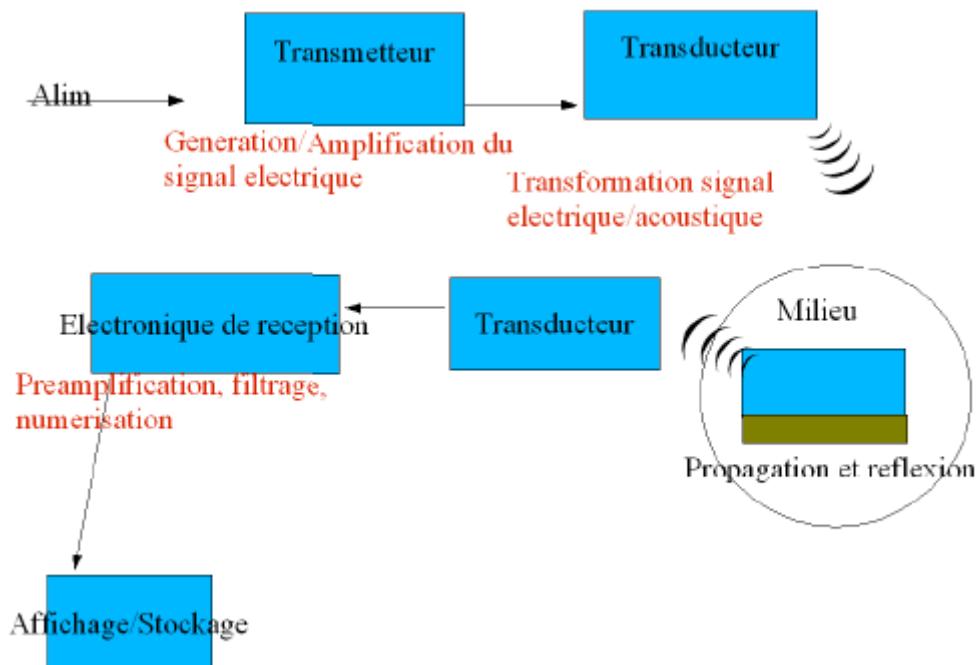
La portée dépend de : - la fréquence

- la puissance d'émission

- la longueur d'impulsion

Les fréquences employées sont élevées, de l'ordre de la centaine de **KHz** (100 hertz ou 500 hertz selon la résolution cherchée).

1.4 Mécanisme



La chaîne d'acquisition.

La chaîne d'acquisition est identique à tous les systèmes acoustiques d'imagerie. D'abord, un transmetteur relié à une alimentation génère ou amplifie des signaux électriques. Ensuite, un transducteur transforme l'énergie électrique en énergie sonore et inversement lors de la réception. Enfin, un câble électroporteur conduit le signal électrique résultant à bord du navire ou il sera traité par un système de réception électronique. Dans le but d'être convenablement visualisable analysable et stocké ce signal sera alors sujet à une pré-amplification, un filtrage et à une numérisation.

1.4.1. Emission et réception

Les sonars à balayages latéraux sont des systèmes acoustiques de types émetteur-récepteur composés de deux voies composés de deux voies disposées symétriquement de part et d'autre du poisson.

Utilisation d'un transducteur en réception et émission :

Double fonction du transducteur :

- A l'émission : transforme l'énergie électrique en énergie sonore
- A la réception : transforme l'énergie sonore en énergie électrique

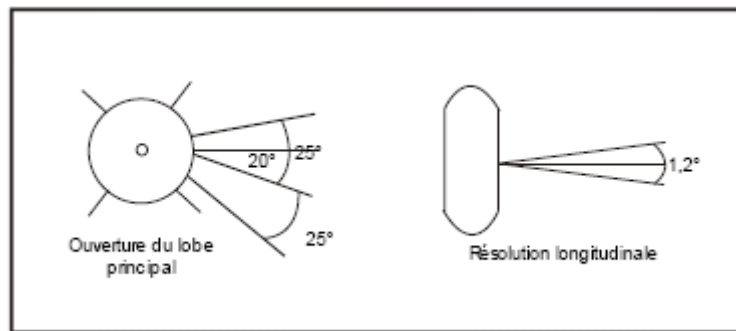
Dans ce but, il existe à l'intérieur du transducteur, deux plaques piézo-électriques en céramique qui s'étirent ou se contractent sous l'influence d'un champ électrique. Ce mécanisme est à l'origine d'une impulsion sonore lors de l'émission.

Au bout d'un nombre déterminé de cycles, les transducteurs entament une phase d'écoute. C'est le principe de la réception. Les impulsions ultras sonores successives se propagent dans l'eau vont être réfléchies sur le fond. Seul l'onde spéculaire c'est-à-dire celle qui empreinte la même trajectoire après réflexion est reçue par le transducteur. A réception, une déformation des plaques piézo-électrique va engendrer des charges électriques à leur surface. Une reconversion de l'onde acoustique en énergie électrique est alors effectuée. Le signal électrique résultant correspond à l'écho.

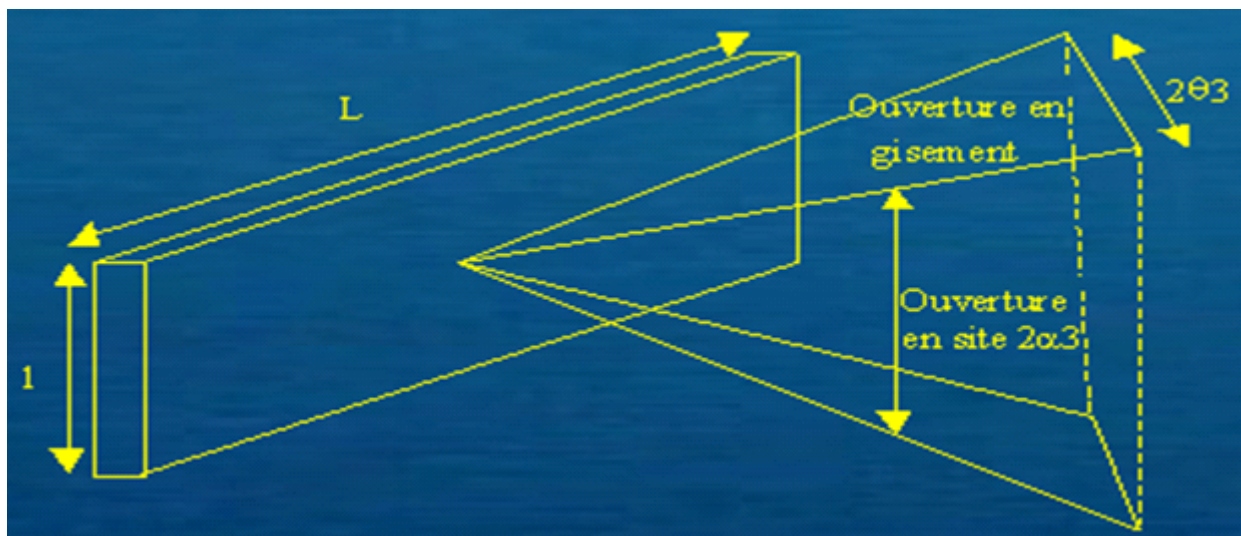
Or, un transducteur ne fournit l'image que du côté où il est placé. Afin d'étendre la zone d'étude, les sonars sont équipés de deux transducteurs, un à bâbord et l'autre à tribord. Egalement, pour éviter les diaphonies (phénomènes d'interférence entre deux ondes), on emploie des fréquences très faiblement différentes pour chaque transducteurs.

Des antennes allongée de géométrie rectangulaire sont installés de part et d'autre du poisson . Elles gèrent la directivité des faisceaux et de ce fait leurs angles d'ouverture. Des deux transducteurs latéraux sont donc émis des faisceaux très fins. Ceux-ci sont caractérisés par :

- un degré d'ouverture en gisement (dans le plan horizontal)
- 20 à 50 ° d'ouverture en site (plan verticale)



Exemple d'ouverture des faisceaux dans le plan longitudinal et transversal.



Angles du faisceau émis.

En gisement: **$2\Theta_3$** Très étroit, directif

En site: **$2\alpha_3$** Le plus ouvert possible

Le faisceau est caractérisé par :

- 1 lobe principal définit par
 - les angles **$2\Theta_3$** et **$2\alpha_3$** en radian
 - la longueur d'onde du signal sonore en m (λ)
 - les dimensions du transducteur (L et l)
- lobes secondaires

Le lobe principal est entouré d'une couronne qui correspond aux lobes secondaires. Dans le faisceau acoustique émis, l'intensité sonore du lobe secondaire est très inférieure (- 40 dB) à celle du lobe principal.

Quand le transducteur est orienté verticalement par rapport au fond, le lobe secondaire heurte la surface du sol marin avec une incidence rasante. L'écho rétrodiffusé est donc fortement atténué et tend à être négligeable.

Perte par transmission :

La mer est un milieu de propagation dissipatif, c'est-à-dire que l'onde émise est dissipée par transmission ou absorption ou plus précisément par frottement ou par réaction chimique.

Ainsi, l'amplitude du signal s'affaiblit au cours de la propagation. La perte par transmission traduit cette diminution de l'intensité acoustique.

Deux phénomènes expliquent cette perte par transmission :

- La divergence géométrique c'est-à-dire le fait que l'énergie émise est de plus en plus diluée dans l'espace en s'éloignant de la source. Dans un milieu homogène, pour une source à rayonnement sphérique, l'énergie émise est conservée mais se répartie sur des sphères de rayon de plus en plus grand. Cet étalement traduit donc une diminution d'intensité proportionnellement à la surface.
- L'amortissement qui dépend des caractéristiques du milieu de propagation c'est-à-dire de la température, de la salinité, de la pression hydrostatique et de la fréquence de l'onde émise. Il provoque une diminution de pression acoustique (en dB) proportionnelle à la distance parcourue

Cette perte de propagation va limiter la portée du système sonar. Elle est traduite par un coefficient d'absorption. Ainsi, plus la fréquence est basse, plus le coefficient d'absorption est faible.

1.4.2. Les différents échos

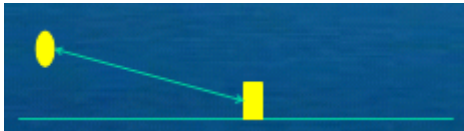
Le niveau de l'écho dépend :

- de l'incidence du faisceau
- du pouvoir réflecteur du fond
- de la morphologie

Ainsi, l'intensité du signal est autant modifiée lors d'un changement de pente que par un changement de la nature du fond.

Plusieurs échos existent donc et diffèrent suivant la nature de la réflexion qui leur donne naissance.

Echos liés à la réflexion spéculaire :



La réflexion spéculaire.

A l'émission, les rayons sonores ont une incidence presque normale avec le fond (à $+5^\circ$ ou -5°). Sur un obstacle la quasi-totalité de l'énergie émise est alors réfléchi dans une seule direction. Les échos résultants sont donc caractérisés par de fortes amplitudes de courtes durées comparables à celle du signal émis.

Echos liés au phénomène de réverbération :



La Réverbération.

La réverbération correspond aux problèmes d'interaction entre la diversité des fonds marins et une onde acoustique.

Ainsi lorsqu'une onde acoustique se propage dans le milieu marin, une partie de son énergie est réfléchi de façon incohérente en phase et en direction. C'est le phénomène de réverbération ou rétrodiffusion.

Les échos de réverbération sont causés par la réflexion des ondes sonores sur le fond marin lorsque l'incidence du faisceau est supérieure à l'incidence normale.

Ces échos ont donc une amplitude et un niveau acoustique plus faible que celui de la réflexion spéculaire.

La quantité d'énergie réverbérée dépend

- du coefficient de réverbération
- de la lithologie du fond
- de l'angle d'incidence

Exemple :

Le passage de la vase au substrat rocheux est marqué par un changement de la valeur du coefficient de réverbération (variation de 20 à 25 décibel)

Expression de l'indice de réverbération :

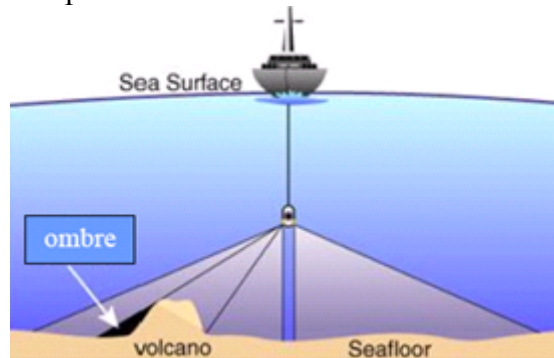
$$R = 10 \log (I_r / I_i)$$

I_r : intensité sonore réverbérée à 1m d'un élément de surface

I_i : intensité sonore incidente mesurée au centre de l'élément réverbérant

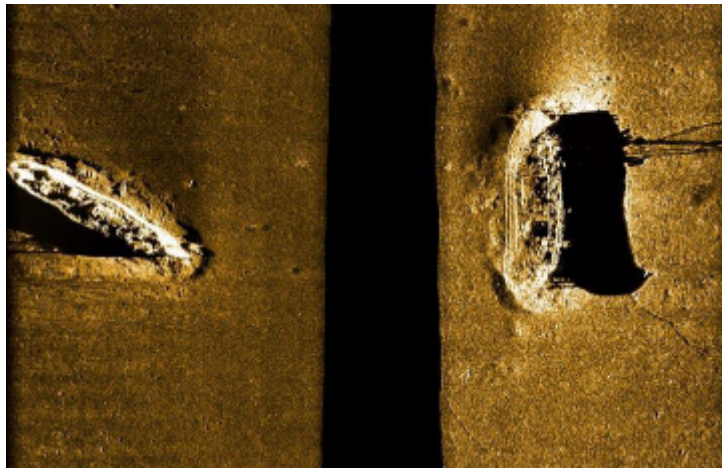
1.4.3. Notion d'ombre

Le relief sous marin est à l'origine du phénomène de la formation d'ombres. Sur le fond, un obstacle de dimension suffisante va en effet intercepter une partie du secteur angulaire verticale émis. La réflexion par le fond est alors interdite, une zone en dépression ne peut renvoyer l'énergie émise par le transducteur.



Mise en évidence d'une ombre.

En résultat, l'écho reçu sera de très faible niveau pendant une durée dépendante de l'angle de rasance et de la hauteur de l'objet masquant. Une ombre dont la forme correspondra à celle de l'objet en relief sera ainsi mis en évidence. Celle-ci apparaîtra en blanc sur le sonagramme. Aussi, l'analyse de la longueur de l'ombre projetée permettra une estimation de la taille et de la forme de l'obstacle.



Ombre dans une zone insonifiée .

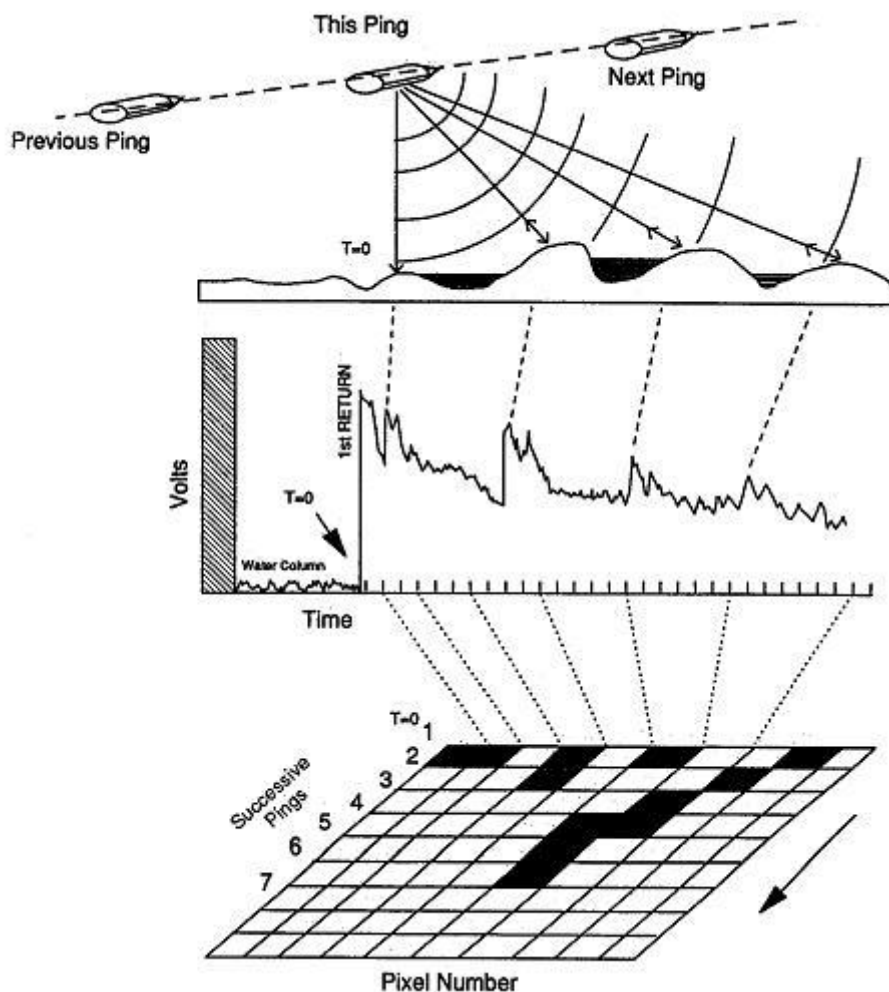
1.5 L'image sonar

Formation de l'image :

Le sonar latéral fournit une image en continu et en niveau de gris du fond marin.

En effet, une image est constituée par un ensemble de lignes. Chaque ligne est acquise séparément par un même processus acoustique se répétant périodiquement :

Un signal électrique de courte durée est transformé en onde acoustique via une antenne. La géométrie de l'antenne oblige l'onde à se déplacer dans un plan verticale perpendiculaire à l'antenne. A l'encontre d'un obstacle, l'onde acoustique issue de la réflexion spéculaire revient au transducteur. Ce sont les signaux liés à la réverbération qui ensuite, surviennent à des temps différents. Au niveau du signal analogique, ils sont représentés par une succession de pics. Sur l'image, ces pics et dépressions, de la morphologie du signal, seront conçus dans des valeurs de pixels comprises dans l'échelle des gris.



Procédé de création du pixel image à partir d'une émission sonar. D'après Paul Johnson H et Helferty M., 1990.

Principe de restitution : Les sonogrammes papiers et numériques

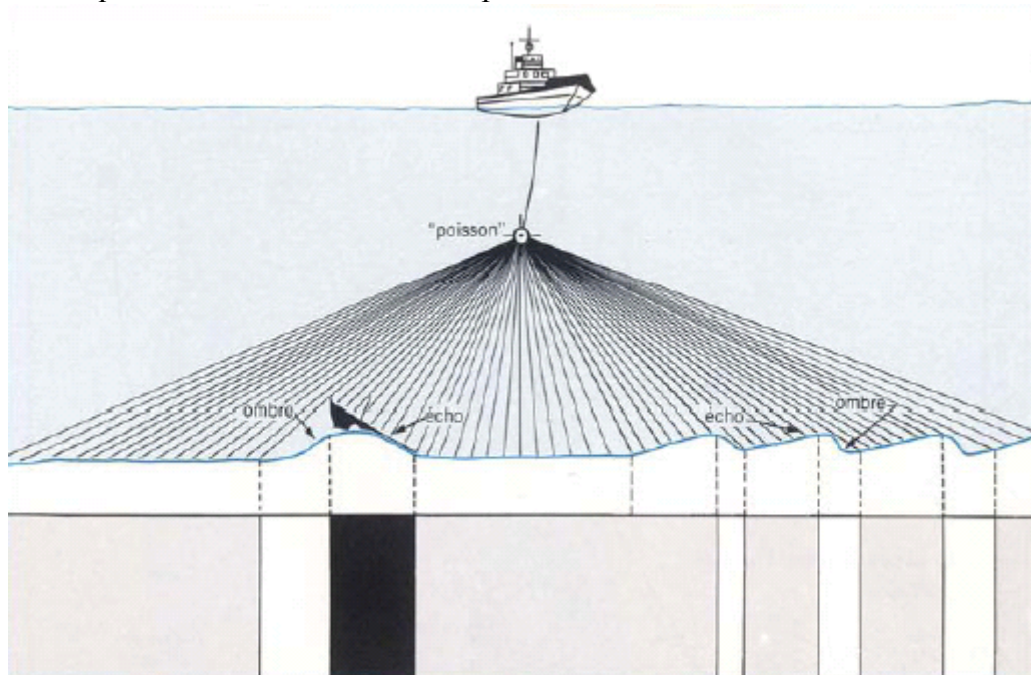
Le signal acoustique transformé en signal électrique est ensuite traité pour reconstituer une image acoustique du fond marin, le sonogramme. A mesure que les transducteurs se déplacent vers l'avant les transmissions ultras soniques (cadence d'impulsion égale à 0,15 ms) génèrent des bandes parallèles de données assurant ainsi une couverture continue du fond marin. Ainsi, l'énergie des ondes rétro diffusées reçue par le poisson est codée en 256 niveaux de gris. Selon l'intensité de rétrodiffusion des ondes, les nuances de gris varient en fonction des différents types de fond.

Deux facteurs interviennent sur la variation d'intensité de gris :

- les propriétés du sédiment
- l'allure du fond

Aussi, il est possible d'inverser la palette de niveaux de gris. Remorqué à une hauteur constante au dessus du fond, le poisson éclaire de façon « rasante » la surface du sol marin. Les objets déposés sur le fond sont alors différenciés par effet d'ombrage.

La qualité des images retranscrites reflète la rugosité du fond et l'impédance acoustique de ses constituants plutôt que sa granulométrie. L'incidence du relief influe sur la réflexion des ondes et donc sur la quantité d'énergie rétrodiffusée. Les surfaces les mieux insonifiées apparaissent en sombre alors que les zones d'ombres sont représentées en clair.



Assimilation des niveaux de gris.

[1.6 Détection d'objets](#)

1.6.1. La détection et la réverbération

L'amalgame ne doit pas être fait entre le concept de résolution et la capacité d'un faisceau à détecter des objets.

-Résolution: C'est la faculté, pour un système, à distinguer deux cibles séparées sur le fond.

-Détection: C'est la capacité d'un objet, sur le sol marin, de faire une trace visible sur l'image sonar.

Cette confusion est due au fait que le sonar latéral est capable de détecter des objets sur le fond dont la taille est inférieure à la grandeur définie par la résolution, et en particulier pour les surfaces où la réflexion est faible.

Le critère fondamental, de la détection, diffère véritablement de celui de la résolution.

Un petit objet de dimensions inférieures à celles du pouvoir de résolution est un objet sonar si il est capable de renvoyer au transducteur un taux d'énergie suffisant dans des conditions environnementales uniformes et faibles. En effet, dans ces conditions le contraste établis par la cible hypothétique est suffisant pour être perçu.

Exemple:

Pour la haute résolution d'un système sonar (de grande dimension), remorqué près du fond et utilisant 100 kHz de fréquence avec un faisceau étroit, un objet aussi petit qu'une partie de câble sous-marin reposant sur un sédiment lisse, peut être détecté. Inversement pour une zone où l'impédance acoustique d'un objet est la même que celle de l'eau.

La détection optimale s'obtient à partir de la qualité du contraste de l'écho par rapport à l'ombre reçue par le sonar.

1.6.2. Les différentes détections

- **Détection par contraste:**

Le contraste correspond à des rapport d'énergie c'est-à-dire, l'énergie reçue par réverbération en absence d'objet par rapport à celle reçue lorsqu'un objet, ou son ombre est présent au milieu du lobe.

$$Z = \frac{I_y}{I_y - I_x}$$

Si l'intensité réfléchi par l'objet est égale à la moitié de l'intensité réfléchi en son absence, alors le contraste est suffisant pour détecter une ombre.

avec :

- I_y : intensité en absence de corps,

- $I_y - I_x$: intensité en présence de corps,

en posant :

- x : largeur de l'objet,

- I_x : intensité correspondante à la réflexion sur l'objet.

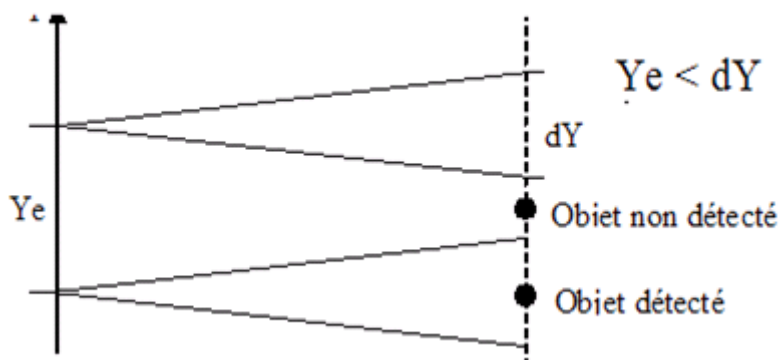
- **Détection par écho:**

On peut détecter la présence ou l'absence d'un objet, si petit soit-il en dimension, sans toutefois connaître sa forme si :

- la période d'échantillonnage spatial selon Y (le déplacement du poisson) est inférieure à la largeur du lobe pour ne pas manquer l'obstacle.

- le contraste écho/réverbération est bon. Il faut donc connaître les caractéristiques lithologiques de l'obstacle.

La figure suivante définit la distance maximale entre deux lobes successifs pour être sûr de détecter l'objet. De plus, deux objets distants de moins de dY apparaîtront confondus.



- **Détection par ombre:**

Il est possible, comme on a pu le voir précédemment de détecter la présence d'un objet si le contraste réverbération/ombre est suffisant.

1.7 La résolution d'un sonar latéral

La résolution est un des caractères les plus importants du sonar. Elle est définie par la taille de chacun des pixels composant une image et correspond à la taille minimal des objets détectés: on parle de grain de l'image.

C'est aussi l'écart minimum entre deux objets ponctuelles de façon à ce qu'ils soient discernables l'un de l'autre.

La résolution d'un sonar latéral dépend de

- la profondeur
- l'ouverture du lobe
- la fréquence d'émission

Ces paramètres sont connus et permettent la détermination de la résolution par le calcul.

Il existent quatre principaux types de résolution :

- la résolution angulaire
- la résolution longitudinale
- la résolution transversale
- la résolution de restitution

Enfin la résolution optimale définira le rendu final de l'image.

La compréhension du concept de la résolution dans les directions longitudinales et transversales est indispensable pour l'interprétation des caractéristiques géologiques.

1.7.1. La résolution angulaire

C'est la largeur du lobe de la directivité de l'antenne. La valeur maximal de l'énergie est à -3 db du niveau maximal du lobe.

L'écartement minimum entre deux impulsions doit être tel que le recouvrement d'un objet se fasse à l'intersection des deux lobes consécutifs. Le point d'interaction correspond au point optimal.

L'écartement trop important entre deux lobes traduit une vitesse trop importante du poisson par rapport à la cadence de tir. Dans ce cas les pixels de l'image doivent être artificiellement allongés dans le sens longitudinal.

A l'inverse une trop faible vitesse du poisson entraîne un chevauchement trop important des deux lobes. Le transducteur est alors saturé en énergie.

- **Variation de la résolution angulaire**

Soit α_1 et α_2 , les maxima énergétiques de deux lobes successifs.

Et $\Delta \alpha$, la largeur d'un lobe pris à -3 dB

A faible vitesse : le minimum commun entre les deux lobes n'existent pas

A forte vitesse : Perception accentué des deux minima, le contraste est plus grand

1.7.2. La résolution longitudinale

La résolution longitudinal est l'écart minimum entre deux objets ponctuels pour qu'ils soient discernables dans le sens d'avancement du poisson.

Dans des conditions normales d'utilisation, le lobe principal s'ouvre de quelques degrés dans le plan horizontal. Les cycles d'émission du faisceau étant rapprochés, un objet ponctuel peut être enregistré pendant plusieurs tirs successifs.

Dans ce cas normal, la distance minimale entre deux points est inférieure à la largeur du faisceau. Ainsi, deux objets séparés d'une courte distance devront être définis par deux tirs adjacents pour apparaître distinctement sur l'image.

La résolution longitudinale dépend donc

- de l'angle d'ouverture en gisement du faisceau
- de la distance entre l'objet et le poisson
- de la cadence de tir par rapport à la vitesse du sonar

- Variation de la résolution longitudinale du poisson :

On note Δy la résolution longitudinale.

a. en fonction de la portée :

Pour un angle donné la distance objet- poisson augmente du centre de l'image vers les bordures. La résolution s'affine donc vers le centre de l'image.

Un écartement plus grand du lobe est donc nécessaire pour des objets plus éloignés.

b. en fonction de l'angle de gisement :

Lorsque la distance objet-poisson est constante, plus l'écartement du lobe est faible plus la résolution longitudinale diminue. Dans ce cas l'écart utile pour définir deux objets séparés est plus réduit, la résolution est donc meilleure.

Récapitulatif :

- Plus l'objet est proche du poisson, meilleure sera la résolution longitudinale
- Plus la distance qui sépare l'objet du poisson est petite, plus l'ouverture du lobe en gisement correspond à un petit angle (haute fréquence et faible puissance).
- La résolution longitudinale se dégrade du centre de l'image vers ses limites latérales.

Une cadence de tirs rapide en parallèle d'une vitesse de remorquage du poisson plus lente définit la résolution longitudinale idéale.

1.7.3. La résolution transversale

La résolution transversale est la distance minimale nécessaire pour définir deux objets séparés dans le sens perpendiculaire à la trajectoire du poisson c'est-à-dire dans le sens de l'éclairement.

Elle dépend de :

- de la longueur d'impulsion émise
- de l'angle d'incidence du rayon sonore sur le fond
- de la longueur de ce rayon

Le mode de restitution de l'image et la topographie du sol marin influent sur la qualité de la représentation. La résolution transversale se détermine du fait des variations de la taille de l'empreinte lors de son insonification.

- **Variation de la résolution transversale :** _

1. En fonction de la longueur de l'impulsion :

Deux cas essentiels sont considérés :

A forte portée, la longueur de l'impulsion est grande, l'onde envisage l'obstacle comme si il était constitué d'un seul relief. L'enregistrement correspondant ne montrera donc qu'une seule trace.

A faible portée, la longueur de l'impulsion est courte ce qui autorise l'onde à éclairer successivement d'abord le premier relief plus à gauche puis l'autre relief, le plus proche. L'enregistrement comportera donc deux traces bien distinctes.

2. En fonction du temps d'enregistrement :

Lors de la propagation du faisceau acoustique dans la masse d'eau, la résolution globale diminue mais la résolution transversale augmente avec la portée.

Il faut savoir que dans l'eau, les faisceaux émis ont la forme d'un arc. De cette manière, quand le rayon émis du poisson proche du fond touche l'objet son empreinte est plus large que s'il s'était propagé longtemps.

Le pouvoir de résolution transversale pour une fréquence d'émission change à chaque moment de la propagation de l'onde. En effet, à partir du moment où le signal acoustique quitte le fond le transducteur, l'empreinte de la zone insonifiée sur le fond change. Ainsi, pour les plus faibles portées, l'arc de l'onde engendre une large empreinte tandis que pour des portées plus élevées, loin du poisson, l'onde forme un plus grand arc, l'empreinte est donc plus petite.

La taille de la trace dépend de la distance poisson/objet.

- Plus la masse d'eau sous le poisson est conséquente, moins la résolution globale est bonne.
- La résolution transversale (suivant le sens d'éclairement du poisson) est d'autant meilleure que le temps de propagation de l'onde est plus long c'est-à-dire, que l'incidence est rasante.

Récapitulatif :

La résolution transversale est optimale lorsque :

- la distance poisson / objet est grande
- la hauteur au dessus du poisson traduit une petite longueur d'onde

Choix de la fréquence : - forte pour de petites longueur d'onde à faibles portées
- faible pour de grandes longueur d'onde à fortes portées

2 Préparation à la mission

Avant d'effectuer une mission, il faudra d'abord déterminer quel type de sonar on utilisera. Cela dépendra des moyens dont on dispose mais également du sujet de l'étude à effectuer (recherches d'épaves, de gisements etc...). Aussi sera-t-il préférable de dresser un cahier des charges avant la mission: il fera l'objet d'informations pour l'utilisation du sonar telles que la profondeur d'immersion, le type de fond, les courants, les conditions météorologiques etc... Dans cette partie nous verrons dans un premier temps les critères sur lesquels nous choisirons un sonar plutôt qu'un autre (après avoir dressé le cahier des charges). Ensuite, les différents sonars latéraux du marché seront présentés.

2 Préparation à la mission

2.1 Critères de choix d'un sonar

Le terme "SO.N.A.R" vient des anglosaxons et signifie SOund NAvigation And Ranging. En français, on a abrégé le terme "sonar latéral" en "sonar".

Il est très important avant une étude de connaître l'utilisation qu'en fera l'acquéreur. En effet, il existe différents types de sonars qui ne vont fonctionner de façons optimales que dans certaines conditions d'utilisations très précises. Il est donc nécessaire de bien différencier les sonars qui travailleront sur les grands fonds des sonars qui travailleront sur de petits fonds. Un sonar qui aura une plus grande portée d'observation aura une résolution plus basse et réciproquement.

Voici quelques points sur lesquels l'acquéreur doit réfléchir pour choisir le sonar le mieux adapté à son étude

2.1.1 La profondeur d'investigation

En fonction de l'étude, on choisira des sonars de petits fonds pour des profondeurs de 0 à 1000 mètres. Au delà de 1000 m, on utilisera des sonars de grands fonds pouvant aller jusqu'à des profondeurs de 6000 m.

2.1.2 La portée

Elle est variable d'un poisson à un autre. Elle dépend de plusieurs facteurs (cf. Caractéristiques acoustiques) dont sa fréquence, sa puissance d'émission, les propriétés physico-chimiques du milieu ainsi que l'orientation qui lui est donnée par rapport à la surface étudiée. La portée dépend également du type de transducteur utilisé. La portée maximale varie en moyenne de 300m à 60km.

2.1.3 La vitesse d'acquisition

C'est un paramètre très important: il dépend de la surface que le SONAR sera capable de couvrir. Des sonar différents seront utilisées pour réaliser la cartographie du pied d'un pont dans un fleuve et la recherche d'une épave. La vitesse varie de 5 à 20nœuds.

2.1.3 Le système d'émission

Les sonars émettent sur deux gammes de fréquences :

- les Basses fréquences de 4 à 12kHz
- les Hautes fréquences de 100 à 500kHz

On choisira cette gamme en fonction de l'étude que l'on fait : Les basses fréquences seront utilisées pour les systèmes grand fonds à bande large et à remorquage en surface. Ces

fréquences pénètrent plus ou moins dans le sédiment en fonction de la dureté du fond, de l'angle d'incidence et des rayons acoustiques.

Les hautes fréquences seront utilisées pour les petits fonds du plateau continental mais aussi pour les systèmes remorqués près du fond par de grandes profondeurs. Celles-ci ne pénètrent pas dans le sédiment.

Selon les modèles, les transducteurs peuvent être à hautes ou basses fréquences, ou les deux à la fois.

2.1.4 Le système d'enregistrement

il peut être analogique ou numérique. L'analogique nécessite moins de matériel et d'argent que l'acquisition numérique. Il est possible sur les sonars numériques (que nous verrons dans une partie suivante) d'adapter une sortie analogique et sur un sonar analogique d'adapter une sortie numérique.

2.1.5 Les capteurs associés au poisson

Il existe plusieurs capteurs qui peuvent être vendus avec le matériel ou en option. Ces capteurs sont reliés à une station d'enregistrement numérique et leur nombre dépend de l'agencement du poisson et du nombre de connections que peut recevoir la station d'enregistrement. Ces différents capteurs peuvent être:

- Les capteurs de roulis (roll)
- Les capteurs de tangage (pitch)
- Les capteurs de lacet (yaw)
- Les capteurs de température
- Les capteurs de pression
- Les Magnétomètres

2.1.6 Les options

Les options proposées par les fabricants montrent l'évolution du matériel, ainsi que leur capacité à s'adapter à tous les environnements.

Exemple: adaptation d'un dépresseur sur le poisson dans le but d'améliorer sa nage.

2 Préparation à la mission

2.2 Les SONARs latéraux conventionnels

Ce sont les sonars les plus basiques, on en distingue deux catégories:

- [les sonars de faible profondeur ou petit fond](#)
- [les sonars de grande profondeur ou sonars de grand fond](#)

2.2.1 Les sonars de petit fond

Introduction

Les sonars de faible profondeur ou sonars de petit fond sont les SONARs latéraux que l'on rencontre le plus. Ce sont des SONARs latéraux remorqués en surface et permettant de cartographier des fonds allant de 5 à 1000 mètres. Ils le plus fréquemment utilisés pour les survey sur le plateau continental.



*Sonar latéral KLEIN3000
(Photo USGS)*

Composition et caractéristiques

Ils sont composés du matériel composant les sonars classiques (cf. [1.2 Matériel](#)).

Leur résolution est de l'ordre du dixième de mètre (10 cm).

Le sonar latéral typique possède un gain d'émission et réception ajustable, une longueur et une cadence d'impulsion qui peuvent être réglées, ainsi que la bande de réception, pour un grand nombre d'opérations et un maximum d'applications.

Domaines d'application

Ces sonars sont principalement utilisés dans 4 grands domaines :

- le génie civil : mise en place de ponts, observation de rivières et fleuves, entretien de monuments ou de bâtiments.
- La géologie : reconnaissance des fonds, observation des structures des fonds marins.
- l'archéologie et de la recherche d'épaves en petit fond.
- la plaisance: reconnaissance de zones favorables à la plongée sous marine

Ces différents domaines d'exploration nécessitent des appareils spécifiques, d'où la diversité des sonars que l'on peut trouver auprès des fabricants. Ils peuvent être caractérisés par différents critères(cf. [Critères de choix d'un sonar](#)).

Avantages

Ces sonars ont un coût plus faible par rapport aux autres du marché. Ils peuvent fonctionner jusqu'à des profondeurs importantes.

Les principaux fabricants

- [EDGETECH](#): cette entreprise s'est couplée avec l'entreprise « EG&G Marine Instruments» et présente actuellement les modèles de la firme EG&G.Cette entreprise fondée en 1968 est une des pionnières du Sonar.
- [KLEIN](#)
- [GEO ACOUSTICS](#)
- [WESMAR](#)
- [MARINE SONIC TECHNOLOGY](#)
- [BENTHOS](#): cette entreprise a été rachetée par Teledyne Technologies Incorporated en 2006, elle est maintenant connue sous le nom TELEDYNE BENTHOS.
- [C-MAX](#)

- VERLAY

2 Préparation à la mission

2.2 Les différents types de sonar latéraux (Sonars)

2.2.2 Les Sonars de grand fond

Introduction

On entend par « Sonars profonds » les systèmes composés d'un ou plusieurs sonars latéraux associés à des sondeurs (mono ou [multifaisceaux](#)) et autres capteurs. Ils sont remorqués à une profondeur supérieure à 1000 mètres: à différencier des sonars pouvant travailler sur des grands fonds mais remorqués en surface.

Le Scripps Institution of Oceanography Deep Tow Sonar est le prédécesseur de tous les sonars profonds. Modifié à plusieurs reprises, ce sonar est toujours utilisé pour diverses occasions, attestant de la souplesse d'utilisation de ses composants et de la fiabilité de son design et de ses transducteurs. Les récentes utilisations ont été pour la recherche géologique dans l'océan Atlantique (nodules polymétalliques), la recherche d'épaves, la surveillance de câbles et de pipelines en Méditerranée, Golfe du Mexique, Mer du Japon, Golfe d'Oman. Le AMS 60 kHz COMRA a terminé ses essais en mer et va être employé pour la recherche de nodules polymétallique dans le bassin du Pacifique Est. Ifremer a également développé son propre sonar de grand fond: le SAR (Sonar Acoustique Remorqué). Il évolue dans des profondeurs allant de 200 à 6000 mètres: il est utilisé essentiellement pour la recherche de nodules polymétalliques.



*SAR Ifremer
(Photo Ifremer: site de l'Ifremer)*

Composition et caractéristiques

Les composants principaux d'un sonar latéral profond sont:

- le poisson avec ses différents sonars et capteurs sous-marins
- le câble et le dépresseur
- l'accastillage pour la mise à l'eau

A la différence d'un SONARs pour de faible profondeur, le poisson mesure en général 3 à 7 mètres de long et pèse de 350 à 1500 kilogrammes. Une ou plusieurs antennes sont installées sur chaque flanc, de 3 kHz à 12 kHz, et, sur les nouveaux systèmes, un sonar pour éviter les obstacles.

Leur résolution est de l'ordre du quart de mètre (0,250m).

Les derniers modèles possèdent des capacités telles que des aides au pilotage et rayons de mise au point automatique (type autofocus).

Le câble de liaison peut être coaxial ou en fibre optique. Les avancées technologiques sur la souplesse, la résistance et la facilité à réparer les câbles électro-optiques, couplées à la baisse du prix, les rendront plus accessibles dans l'avenir.

Principe

a. Positionnement du poisson

Le positionnement des sonars remorqués à grande profondeur se fait via une combinaison entre la navigation en surface au DGPS et les données de positionnement du poisson. Il est réalisé par le calcul du retard du poisson sur le navire ou par acoustique. Les erreurs commises par le calcul du retard du poisson sont croissantes avec la longueur de câble (on l'appelle le "layback").

b. Acquisition des données

Ces dernières années, plusieurs systèmes de sondeurs intégrés dans les coques ou tractés ont été développés, réunissant des données bathymétriques latérales. La mesure de la bathymétrie se fait :

- soit en mesurant la phase, l'angle et la direction du rayon acoustique après réflexion
- soit en calculant la profondeur à un angle et une distance particuliers de l'émetteur à des lignes d'isophasse. Ces lignes apparaissent comme des motifs ou des franges d'interférence sur l'image

En général, les systèmes par mesure de phase sont plus rapides : ils sont traînés à faible profondeur et couvrent une surface plus large, mais avec une moins bonne résolution. Les systèmes par interférence et isophasse sont traînés à grande profondeur, balayant une bande plus étroite avec une meilleure résolution et plus de précision.

La précision des informations de chaque système est affectée par :

- la taille de l'empreinte du rayon sur le fond,
- variation de la vitesse du son entre le sonar et le fond,
- le degré d'interférence des multifaisceaux causée par la rugosité du sol, et
- la précision de la navigation du poisson et de son positionnement.

Pour une exploration classique les systèmes de surface suffisent, mais pour l'inspection précise d'un site les systèmes profonds sont recommandés. Leur précision est meilleure grâce aux faibles erreurs commises par les multifaisceaux et le profil de la célérité du son.

Domaines d'application

La courte portée et la faible vitesse de remorquage n'en font pas un outil très rentable les opérations à but commerciales mais il est toujours très utile pour les investigations scientifiques :

- Le suivi de câbles ou installation de Pipelines.
- La recherche de gisements sédimentaires(pétrole, nodules polymétalliques...) ou de petits objets.

Avantages et inconvénients

Ces sonars combinent l'imagerie, la détection du fond et le positionnement, mais peuvent également réaliser des mesures bathymétriques (déphasage ou technique interférométrique). Cependant ils disposent d'une courte portée et nécessitent une faible vitesse de remorquage pour une utilisation optimale.

2 Préparation à la mission

2.3 Les évolutions

2.3.1 Les Sonars numériques

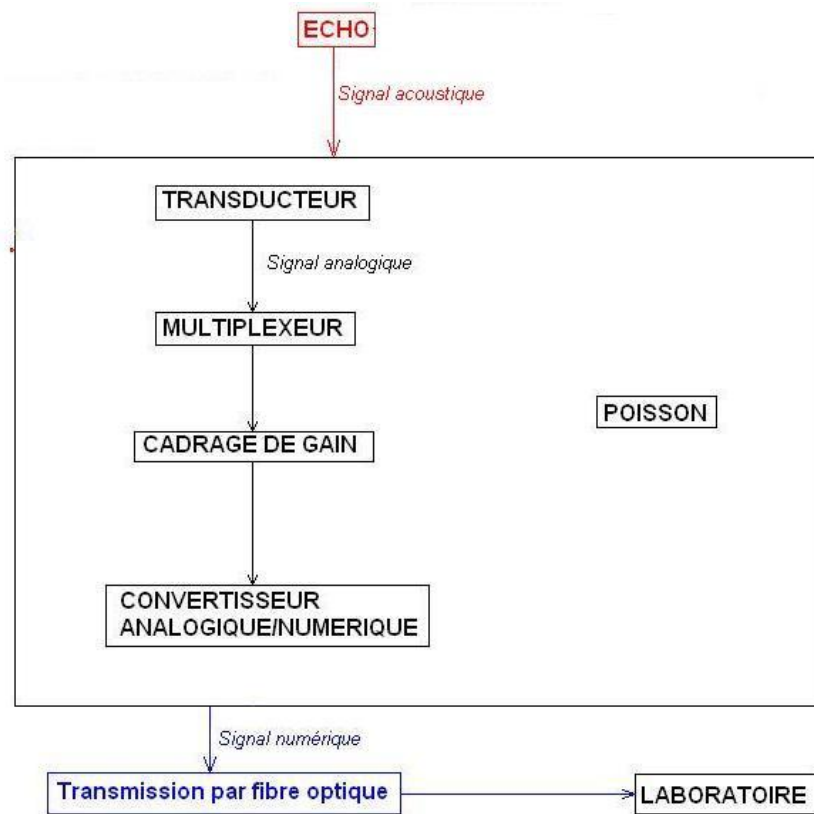
Sonar analogique/numérique

Chez les sonars latéraux conventionnels, l'écho reçu est transmis par le câble électroporteur sous forme d'un signal analogique (variation d'une tension électrique). Il existe actuellement quelques sonars numériques. Le signal est alors directement numérisé dans le poisson puis transmis via le câble (fibre optique).



*Un exemple de sonar numérique: le DF-1000 (Edgetech)
(Photo: brochure EDGETECH, www.uncwil.edu)*

Principe



Dessin 1: Le Principe du sonar numérique

Le signal arrivant au transducteur sous forme acoustique est pré amplifié et traité grâce à des filtres analogiques (Signal analogique). Il est ensuite multiplexé à l'intérieur du poisson. Le multiplexeur reçoit plusieurs signaux d'entrée: il les combine en un seul signal de sortie de telle sorte que chacun de ces signaux d'entrée puissent être reconstitués ultérieurement.

Le signal passe alors dans un amplificateur de cadrage de gain et lui donne le niveau approprié pour le convertisseur analogique/numérique. Le convertisseur transforme ensuite le signal en un signal numérique (binaire) souvent codé sur 16 bits.

Enfin le signal qui sort du poisson est transmis au laboratoire par l'intermédiaire d'un câble en Kevlar, en fibre de verre ou d'une fibre optique.

Avantages et inconvénients

Les avantages du sonar numérique permettent d'obtenir une image de meilleure résolution qu'un sonar analogique:

- pas d'atténuation du signal due à la longueur ou à la détérioration électrique du câble (l'information sous forme analogique se détériore et limite l'efficacité du traitement)
- traitement plus poussé possible et informations brutes disponibles en surface
- amélioration du rapport signal/bruit
- Interférences due aux autres signaux :limite les bruits et parasites lors de la transmission des informations (pas de problème de diaphonie)
- Problèmes dus à la houle, aux courants et à la navigation: pas de distorsion du signal

Néanmoins, le sonar numérique possède quelques inconvénients par rapport au sonar analogique :

- décalage dû au temps de conversion analogique/numérique
- complication de l'appareillage
- coût plus élevé
- besoin d'interpolation des valeurs discontinues pour reproduire la courbe continue

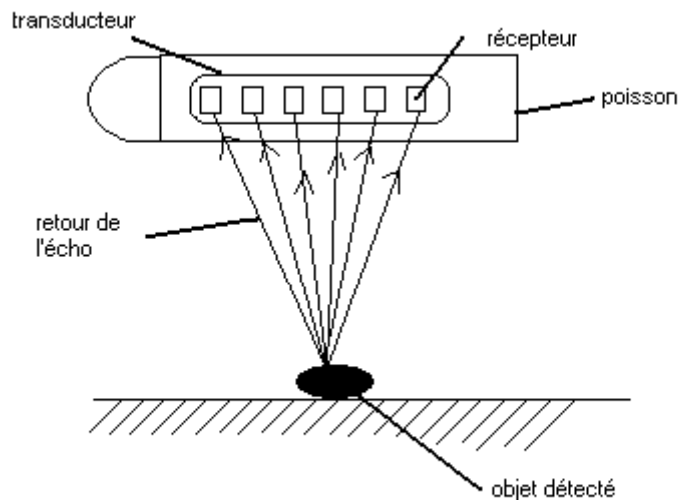
2 Préparation à la mission

2.3 Les évolutions

2.3.2 Les Sonars par interférométrie

Principe de l'interférométrie

Un sonar latéral classique (qui ne possède qu'un seul et unique récepteur) est capable d'enregistrer un signal sur une période entière. Dans un sonar interférométrique, le poisson est composé d'un alignement de récepteurs situés dans le transducteur. L'intervalle séparant ces récepteurs est relatif à la longueur d'onde du faisceau acoustique (il doit être connu pour l'analyse des mesures). L'onde émise est réfléchie par le fond dans toutes les directions : elle arrive avec un angle différent à chaque récepteur. Le sonar détermine alors la phase de l'onde réfléchie. La période du signal sera donc décomposée en fonction du nombre de récepteurs.



Dessin 2: Principe de l'interférométrie

Cet angle ainsi que la différence entre les temps de propagation de l'onde reçue par chaque récepteur est traitée par un algorithme qui permet de déterminer la distance entre le récepteur et le point de réflexion. En associant plusieurs récepteurs et leur position relative par rapport à ce point, on peut déterminer très précisément sa position. Par exemple, si la cible est située à une distance égale de chaque récepteur, les signaux délivrés sont identiques et leur différence s'annule.

Configuration du sonar

Dans l'acoustique sous marine, il existe des problèmes associés à la célérité des ondes acoustiques et à la stabilité du poisson due à l'action de la houle... Il a donc été indispensable de créer des algorithmes particuliers pour l'application sous marine de ce système intégrant certains paramètres dont ceux précédemment cités.

Il est nécessaire d'effectuer une correction due à la variation de la vitesse du poisson qui peut être connue grâce au système GPS du bateau. La correction de giration est obtenue à partir de l'intégration des données ou estimée des retours du sonar. La correction d'inclinaison est déterminée par différents algorithmes qui utilisent le recouvrement des multiples éléments de la réception.

Ces corrections sont intégrées dans un algorithme qui agit directement sur les données collectées.

Avantages

Cette technique permet une résolution constante indépendante de la fréquence et de la portée. Il est donc possible d'utiliser de faibles fréquences (faible absorption) pour pénétrer les fonds sans affecter la résolution.

On peut ainsi atteindre une résolution de l'ordre de 10 cm pour une portée de 1000m.

2 Préparation à la mission

2.3 Les évolutions

2.3.3 Le CHIRP sonar

Introduction

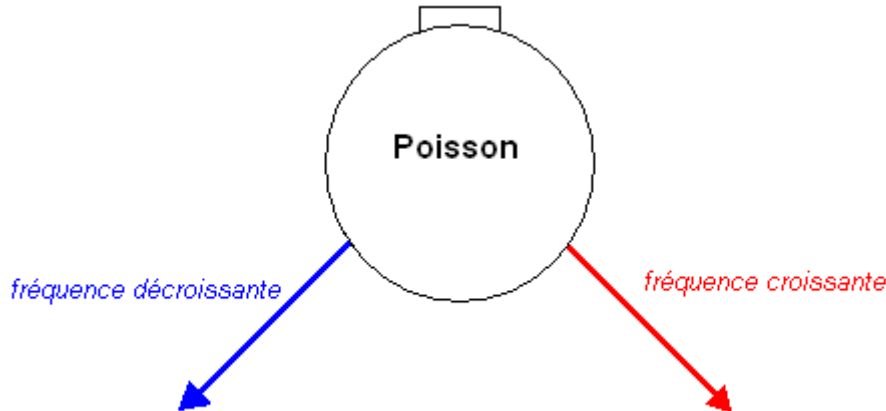
Les sonars latéraux conventionnels émettent à une fréquence donnée constante. La base de leur problème réside dans le conflit qui existe entre la portée et la résolution : une haute fréquence accroîtra la résolution au détriment de la portée qui sera réduite. Une basse fréquence ou une augmentation extrême de la puissance d'émission diminuera la résolution au profit de la portée.

C'est de ce dilemme que sont partis les créateurs de la technologie Chirp appliquée au sonar ; cette méthode a pour but d'augmenter la résolution sans diminuer la portée. Cela est possible en améliorant le rapport Signal/Bruit à l'aide d'un sonar numérique (cf. [le Sonar numérique](#)).

La technologie Chirp ou encore « technologie du rythme de compression » fut d'abord utilisée par les systèmes radar au cours de la seconde guerre mondiale. La source Chirp peut être comparée aux stridulations émises par les insectes, par analogie au signal modulé qu'ils émettent.

Le système sonar à stridulation

La stridulation peut se traduire par une modulation linéaire de fréquence. C'est une onde émise à amplitude variable dans le temps. Contrairement à l'onde habituelle émise par un sonar latéral conventionnel qui ne se traduit que par un pic de très grande amplitude, l'onde Chirp est une onde modulée composée de nombreux pics en amplitude croissante, puis décroissante. Ainsi, l'onde opère à une fréquence croissante ou décroissante selon le côté où se situe le transducteur sur le poisson.



*Dessin 3: Répartition des fréquences de part et d'autre du poisson
(site:)*

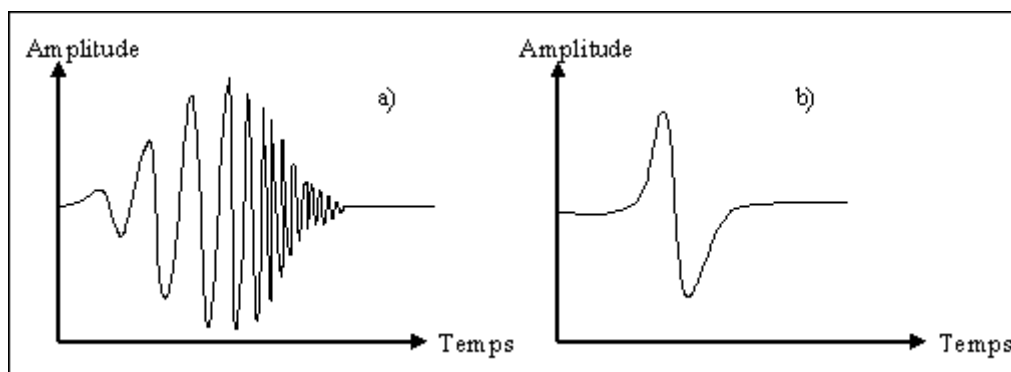


Figure 4: Signal d'un émetteur Chirp (a) et signal d'un émetteur de sonar conventionnel (b).

La fréquence de modulation varie de quelques kHz. Par exemple, le SIS-1 000 de Datasonics permet des portées totales de 7550m pour une résolution « constructeur » de 10cm. La modulation de fréquence varie de 90 à 110kHz d'un côté du poisson et de 110 à 90kHz de l'autre côté.

Contrairement aux systèmes d'explosion à onde continue, la résolution du système de sonar Chirp n'est pas fonction de la durée de l'explosion, mais fonction de la longueur d'onde de la pulsation. Le fait que la durée de l'impulsion ne soit alors plus un problème permet alors de jouer avec l'onde de manière à travailler avec une puissance plus basse (inférieure à la limite de saturation du matériel), une plus longue durée d'émission et de réception, et une plus basse fréquence possédant une large bande de variation de fréquence (de 110 à 90kHz pour le SIS-1 000). Ainsi, le sonar Chirp pourra avoir une grande portée tout en conservant une bonne résolution et réciproquement.

Utilisation du CHIRP

Pour une acquisition en Chirp, le système est numérique, il faut alors faire attention de digitaliser d'au moins deux fois la Haute Fréquence (appelée fréquence de Shannon)

Pour effectuer les différentes mesures avec un Chirp sonar, il est nécessaire d'enregistrer :

- CTD
- Magnétomère
- Mesure de flux
- Altimètre
- Profondeur
- Boussole
- les données de navigation

Les principaux fabricants

Ces SONARs latéraux sont exclusivement représentés par la la firme [DATASONICS](#) inventeur de la technologie chirp appliquée au sonar. La gamme des chirp SONAR est représentée pour tous les fonds et des portées allant de 100m à 5 000m.

Pour effectuer les différentes mesures avec un Chirp sonar, il est nécessaire d'enregistrer :

- Le SIS 1000 et SIS 1 500 sont des sonars de petit fond ayant des portées de 100 à 1 500m
- Le SIS 3 000 et SIS 7 000 sont pour les grands fonds et ont des portées de 2 000 et 5 000m.

2 Préparation à la mission

2.3 Les évolutions

2.3.4 Le sonar multifaisceaux

Introduction

La bathymétrie multifaisceaux est le récent successeur du sondeur acoustique mono faisceau. Il y a à peu près 30 ans, la marine développa un système qui utilisait plusieurs faisceaux de sons en même temps pour couvrir une large région du fond océanique.

Principe de fonctionnement

Les systèmes Multifaisceaux sont fixés sous la coque du bateau. Ils peuvent posséder plus de 100 transducteurs, disposés en modèle géométrique précis. Ces transducteurs envoient alors une bande de sons couvrant une distance égale à environ 2 fois la profondeur des 2 côtés de la coque : tous les signaux émis se réfléchissent sur le fond et retournent au sonar à des temps différents.

Ces signaux sont alors reçus et convertis en profondeurs par les ordinateurs, puis directement tracés en cartes bathymétriques. Les données obtenues par sonar multifaisceaux sont beaucoup plus complexes que celles d'un monofaisceau. Cela signifie que le sonar multifaisceaux donne

une plus haute résolution, mais également qu'un traitement du signal plus évolué est nécessaire pour interpréter les données.

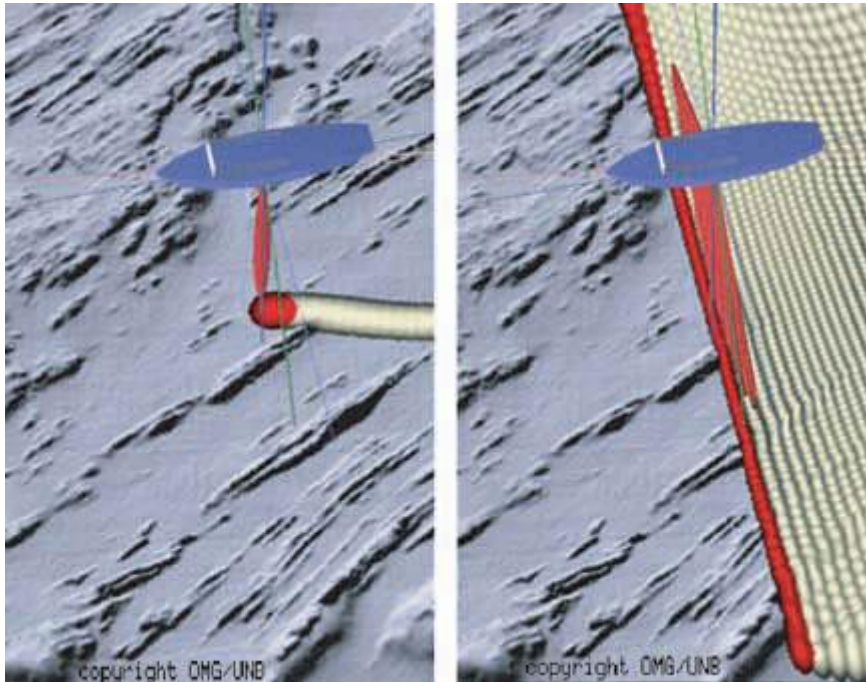


Figure 6: Pour chaque image, le bateau (en bleu) utilise un sonar pour donner une image du fond marin. A gauche, un sondeur monofaisceau, qui observe seulement une petite surface du fond (le cercle rouge). A droite, un sonar multifaisceaux qui observe une portion beaucoup plus importante du fond (ligne rouge).

Photo Courtesy de NOAA Ocean Explorer.

Les systèmes multifaisceaux produisent des données bathymétriques de haute résolution de la région observée. De plus, ils peuvent couvrir 100% du fond marin puisqu'ils acquièrent des données denses le long du sillage mais aussi entre les lignes de sillage.

Domaines d'application

Les sonars de bathymétrie multifaisceaux, sont utilisés pour :

- localiser des structures topographiques sur le fond tels que : rides, lits de roches, épaves et les câbles sous marins
- localiser les zones de dangers pour les passages de bateaux
- rechercher des bancs de poissons
- cartographier avec précision le fond marin
-

On peut localiser des petits objets jusqu'à 1 mètre de long!!!

Les principaux fabricants

Ce sonar latéral a été conçu par la firme Klein sous le nom de « system 5000 » ; son but d'augmenter la vitesse d'acquisition tout en améliorant la résolution de l'image reçue. Pour cela, le système est composé de 4, 5, ou 8 transducteurs alignés de part et d'autre du poisson ; la fréquence utilisée est de 455kHz.

[2 Préparation à la mission](#)

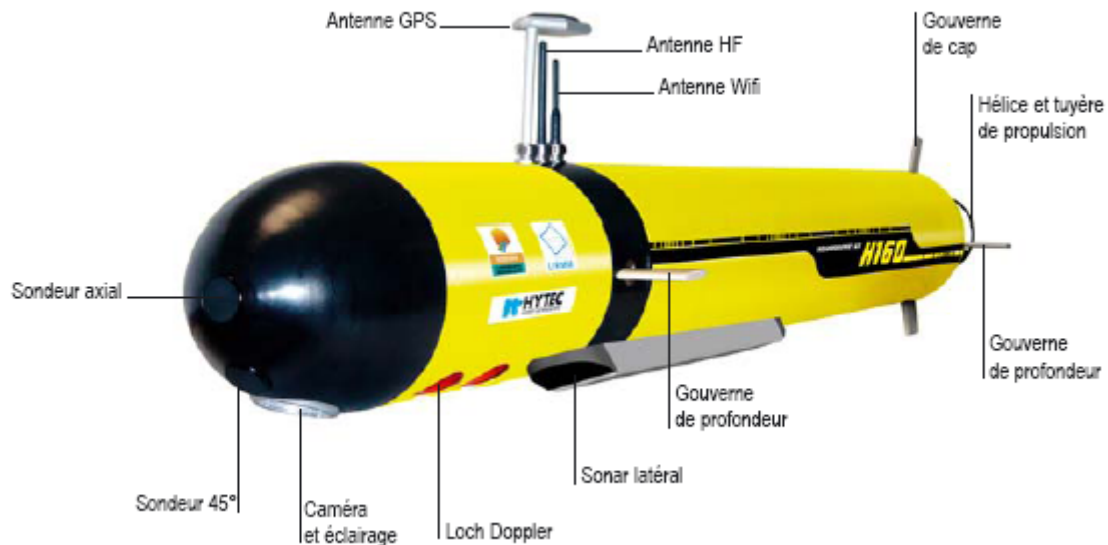
[2.3 Les évolutions](#)

2.3.5 Les AUV

Les AUV (Autonomous Underwater Vehicle) ou UUV Unmanned Underwater Vehicles) sont des robots sous-marins autonomes destinés à effectuer des missions de courte ou longue portée

(surveillance d'un lac, d'une baie) ou de grande portée (traversée de l'Océan Arctique ou Atlantique). Ils sont destinés à « recueillir des données de tous types : militaires, océanographiques, environnementales, physico-chimiques ...

Ces engins connaissent actuellement une phase de grand développement rendu possible grâce à l'évolution des techniques grand public : batteries à faible encombrement, GPS, navigation, microélectronique, disques durs miniaturisés, ordinateurs embarqués, télécoms...



un exemple d'AUV: le H160 de la marque [Hytec](#)

Un AUV comporte quatre modules principaux : énergie et propulsion, navigation, communication et capteurs. Seul le dernier constitue la « charge utile ». La communication entre un AUV et son « commanditaire » s'effectue soit sous forme de lien acoustique (quand il est immergé) soit sous forme hertzienne (radio, satellite, wifi) lorsqu'il remonte en surface. La consommation énergétique reste la principale limitation de l'utilisation de ces engins.

Avantages

Du fait de leur autonomie, ces sonars possèdent un gros avantages par rapport aux autres sonars:

- On peut envoyer une machine là où l'on ne peut envoyer un homme: zone dangereuse (mines, pollutions ...), zones inaccessibles à l'homme :grands fonds (offshore profond)
- Le coût d'exploitation ou d'exploration sera moindre en associant à un navire de surface, plusieurs AUV couvrant, en parallèle, des zones adjacentes

2 Préparation à la mission

2.3 Les évolutions

2.3.6 Les Sonars à ouverture synthétique (SAS)

Introduction

Le terme SAS vient de l'anglosaxon: "Synthetic Aperture Sonar".

Au milieu des années 1970, la Coastal System Station (CSS) commence à considérer le concept du SAS comme un système de sonar pratique pour l'imagerie sous-marine et la recherche minière. A la fin des années 1980 et début 1990, des DSP (Digital Signal Processors : processeurs de signaux digitaux) font du SAS une technologie pratique et bon marché. La technologie des DSP les plus récents effectue la modélisation, la simulation et la réalisation des algorithmes complexes du SAS.



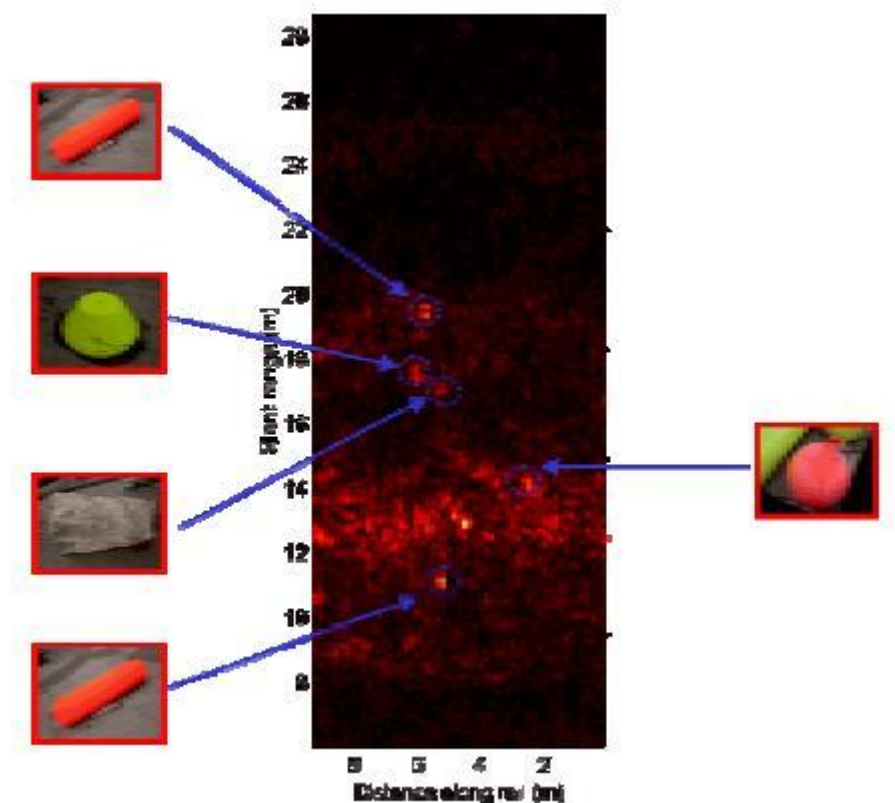
Un exemple de SAS monté sur rail

Principe de fonctionnement

Le SAS utilise des technologies de traitement des signaux modernes pour produire des images acoustiques du fond marin. Cette imagerie acoustique sonar fonctionne sur le même principe que celui d'une caméra prenant des photographies. Mais cette caméra utilise l'énergie acoustique sous-marine ainsi qu'un ordinateur qui va stocker l'écho acoustique après réflexion sur le fond, puis traiter le signal à l'aide d'algorithmes.

Après traitement du signal, l'ordinateur produit des images acoustiques du fond.

Le concept du SAS utilise un transducteur de petite taille en ligne droite et collecte l'écho de chaque impulsion.



Exemple d'image obtenue avec un SAS

Domaines d'application

Le sonar à ouverture synthétique ne fonctionne que dans les eaux peu profondes le long des côtes.

Il est utilisé pour :

- la détection de mines sous-marines enterrées à proximité des ports
- l'imagerie du fond marin

Avantages

Ce type de sonar peut fonctionner en eau très peu profonde. Par rapport aux caméras utilisant la lumière, les ondes acoustiques ne sont pas perturbées par la turbidité de l'eau et elles produisent des images bien plus larges (une onde acoustique peut parcourir plusieurs km sous l'eau).

Les principaux fabricants

La caméra la plus récente a été construite par la US navy

2 Préparation à la mission

Catalogue

MODELE	PHOTO	FREQUENCE	PROFONDEUR MAXIMUM	COUVERTURE	RESOLUTION	UTILISATION
Benthos C3D		200 KHz	2000m	25 à 600m/côté	4,5cm	Halieutique, détection d'objets, cartographie
Benthos SIS 1500		190-210 KHz		25 à 500m	< 4cm	
Benthos SIS 1000		100 KHz		50 à 750m	10cm	
Benthos SIS 3000		90 à 110 KHz		50 à 750m	4,5cm	
Cmax-CM2		100(BF)-325(MF)-780(EF) KHz	2000m	100,200,300,400,500(BF); 25,50,75,100,150(HF); 12.5, 25 (EF)	Automatic altitude, from integral echosounder 78mm altitude resolution	Recherche et détection
Edgetech 4100		100 ou 500 KHz	1000m	500m (100KHz) 200m (500KHz)		Détection, recherche de pipelines
Klein System 5000 multibeam		455 KHz	1500m	150m	20cm	Détection, recherche de mines, géologie
Klein System 3000 dual frequency		100 ou 500KHz	1500m	150m (500KHz) 500m (100KHz)		
Edgetech 4300-mpx		270 ou 410 KHz	1000m	500m (270KHz) 300m (410KHz)	1m (270KHz) 0,7m (410KHz)	Sonar haute vitesse, détection, recherche de pipelines
Edgetech 4200-FS		120 ou 410 KHz	1000m	500m (120KHz) 150m (410KHz)		Géophysique et géologie, archéologie, recherche
Edgetech 4400-SAS		120KHz		500m	10cm	Géophysique et géologie, recherche de pipelines, archéologie
Edgetech 2400		75 & 120 KHz, 75 & 410 KHz, 120 & 410 KHz	6000m	50/1200, 50/800, 25/300m	10cm, 6.25cm, 1.9cm	Archéologie, construction marine, localisation
GeoAcoustics dual frequency side scan 159D		114 ou 410 KHz	1000m	24 bits	10cm	
GeoAcoustics Digital sidescan		114 ou 410 KHz	1000m	24 bits	10cm	

3 Pratique

Avant la mission, il est nécessaire de prendre connaissance de la météo (état de la mer, courants de la zone d'étude, etc.), ainsi que de choisir un bateau adéquat. Dans un premier

temps, il faut effectuer un passage au sondeur de la zone à couvrir: profil bathymétrique, pour limiter les crashes du sonar.

La qualité des résultats d'une acquisition sonar dépend de la réussite de sa mise en œuvre. Il est nécessaire de tenir compte des conditions extérieures, et d'avoir du matériel en bon état.

Les données brutes envoyées par le sonar ne sont pas utilisables directement, mais nécessitent de nombreuses corrections.

Une fois que le signal est net, il est possible de calculer la hauteur et la position d'un obstacle

3.1 Technique de mise en œuvre

3.1.1. Mise à l'eau

A. Manuellement

Pour les sonars de faible portée, la mise en œuvre est en général aisée en raison de l'encombrement minimal et du faible poids du poisson (1m de long pour un poids de 20 kg par exemple). La mise à l'eau peut alors s'effectuer manuellement à deux personnes, sans grue ni treuil.

B. A l'aide d'un treuil

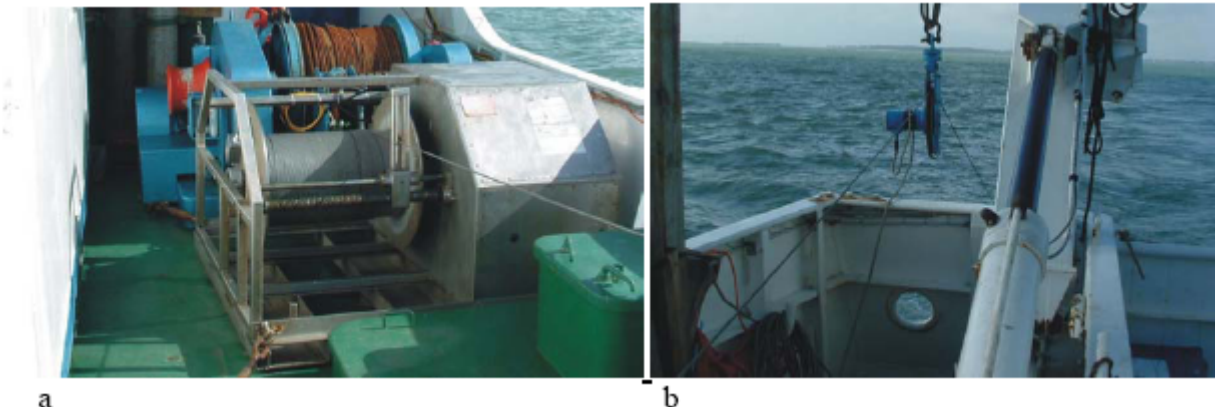
Pour améliorer la stabilité et donc la navigation du poisson, on utilise un treuil. Il permet d'avoir une certaine souplesse opérationnelle, notamment pour le réglage de la profondeur d'immersion et le relevage rapide en cas de problème technique ou d'obstacle imprévu

Pour les sonars les plus lourds, on utilise un treuil et une grue.



Un sonar mis à l'eau à l'aide d'une grue

Le point d'ancrage du câble de remorquage devra être aussi stable que possible, donc situé près du centre du navire. Une fois le sonar immergé, le zéro se fait sur le compteur de la poulie du treuil.



a. Un treuil, b. Une poulie compteuse

Pour améliorer la navigation du poisson, on peut utiliser un treuil à tension constante ou tout autre système d'amortissement des à-coups de remorquage.

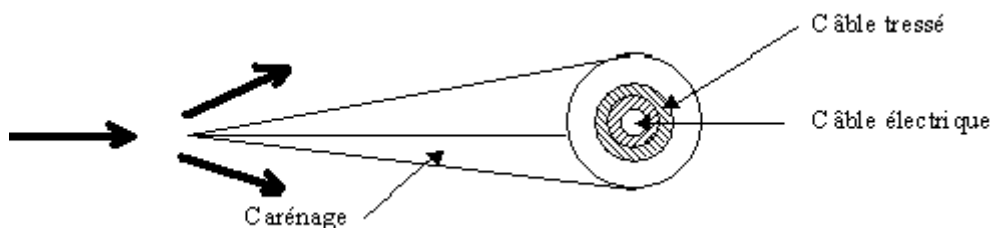
3.1.2. Le remorquage

A. Le câble de remorquage

Le câble de remorquage est électro-porteur. Il assure la transmission des données du poisson à la centrale d'acquisition; il comporte une partie porteuse et une partie électrique. La partie électrique qui permet la circulation des données est entourée par la partie porteuse constituée par deux gaines de fils d'aciers disposées en spirales de sens contraire développant ainsi un effet anti-giratoire pour l'ensemble (câble de type diagraphique).

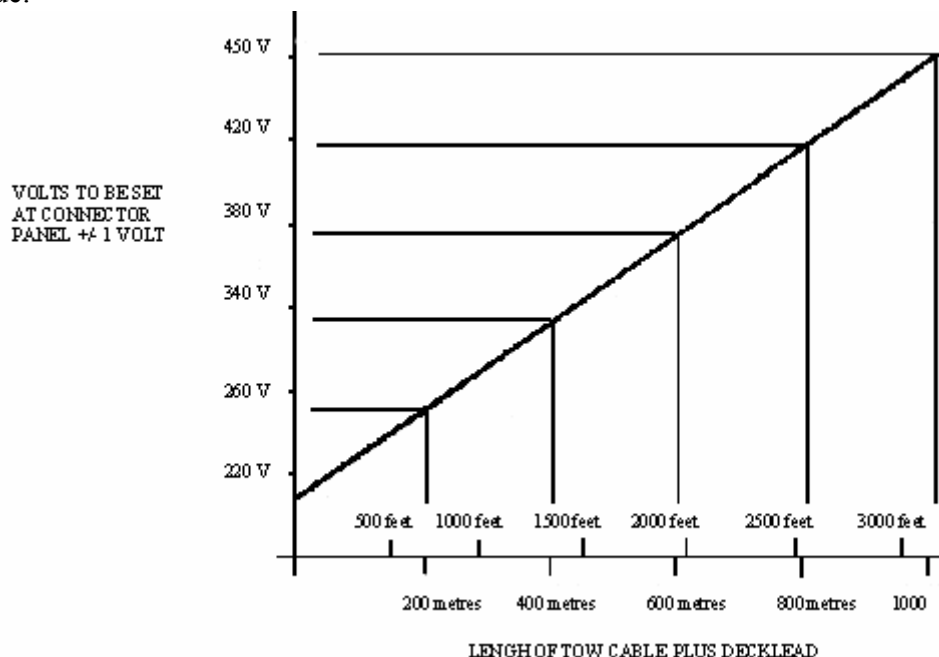
- [En savoir plus: Exemple de câble électroporteur.](#)

Le câble électro-porteur peut être [caréné](#) pour diminuer sa traînée et aussi limiter les bruits. Il peut résister à plusieurs tonnes de tension.



Un câble caréné

La longueur du câble est parfois limitée du fait de l'atténuation du signal par diffusion. De même, la résistance électrique du câble étant fonction de sa longueur, il convient d'adapter la tension électrique.



Le tableau présente l'atténuation pour un système Waverley 3050E

La qualité des données acquises, dépend en partie de l'état du câble, c'est pourquoi il faut lui apporter une attention particulière, et le garder dans un bon état aussi bien du point de vue mécanique qu'électrique. Cela implique qu'avant toute opération, il faut toujours vérifier l'intégrité physique du câble sur toute sa longueur, et porter une attention toute particulière au raccord câble-poisson pour que ses capacités électriques et mécaniques soient gardées.

B. La méthode de remorquage:

Le remorquage se fait avec un navire de surface qui traîne le poisson par le câble décrit ci-dessus. La méthode à adopter dépend des possibilités du navire, des objectifs et des conditions de mise en œuvre (profondeur d'eau, morphologie du fond...):

Le remorquage par l'arrière donne une plus grande liberté de manœuvre du navire. Le point d'ancrage du câble de remorquage devra être aussi stable que possible, donc situé près du centre du navire. Le remorquage par l'arrière s'utilise surtout pour les sonars grand fond (le bruit provoqué par le bateau n'a dans ce cas aucun effet).

Le remorquage sur le côté est utilisé dans certains cas de "survey" (localisation des structures immergées par exemple) opérant à faibles profondeurs. Pour obtenir un signal de qualité, il faut limiter au maximum le bruit du navire (bulle et remous créés par les hélices), on traîne donc le poisson sur le côté du navire.

Le remorquage par l'avant permet une réduction optimum des bruits dues au navire. Cependant cette opération n'est pas sans difficultés et nécessite une surveillance continue.

C. La vitesse de remorquage .

La qualité de l'enregistrement dépend de la navigation du poisson.

Un des facteurs principaux de la bonne navigation du poisson est la vitesse de remorquage.

Celle-ci doit être adaptée aux objectifs et aux conditions extérieures. Elle est calculée à partir de la longueur de câble filé et la profondeur d'immersion souhaiter.

Une vitesse non adaptée peut provoquer des distorsions de l'enregistrement. L'image se trouve déformée du fait que le signal n'ait pas été échantillonné correctement. Si la vitesse est trop faible ou trop rapide, l'objet enregistré ne représentera pas sa forme réelle.

3.1.3 Le poisson au fond

A). La profondeur d'immersion du poisson :

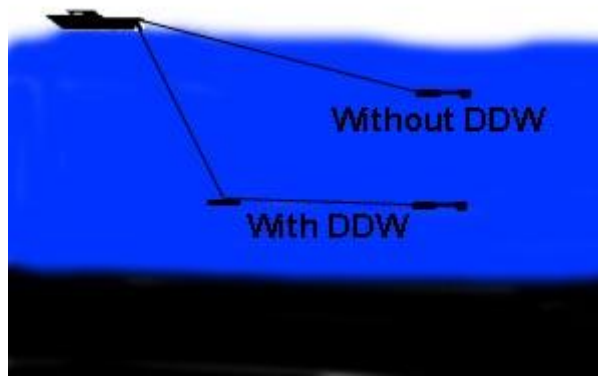
La profondeur d'immersion est une composante de la vitesse du navire et de la longueur de câble filé. Rappelons qu'en théorie, l'optimisation de la qualité des données implique une altitude du poisson égale à 10 à 20% de l'échelle choisie.

Il est toutefois possible pour une vitesse et une longueur de câble imposées, d'augmenter l'immersion du poisson en utilisant un outil spécial appelé dépresseur ou divergent plongeur.



Un dépresseur

Les poids dépresseurs vont tirer près du fond un poisson à flottabilité neutre. Le mouvement du poisson est ainsi découplé de celui du bateau.



L'effet d'un dépresseur :

Les paramètres essentiels dont il faut tenir compte en ce qui concerne la profondeur d'immersion du poisson sont :

- La réflexion des ondes sur la surface de l'eau:

Pour éviter les réflexions des ondes sur la surface de l'eau, il faut immerger le poisson à une certaine profondeur. Cette profondeur peut être déterminée suivant la connaissance de l'énergie sonore émise par les lobes secondaires (étude du [diagramme d'antenne](#) fourni par le constructeur). Plus on immerge le poisson, moins il y a de réflexion sur l'interface océan/atmosphère.

Plus on immerge le poisson, moins il y a de réflexion sur l'interface océan/atmosphère.

- Le milieu de propagation:

Dans les zones où la température et la salinité n'est pas homogène (thermocline, interface eau douce/eau salée, néphéloïde...), la distorsion est importante au niveau des enregistrements. On immerge alors le poisson le plus près possible du fond de façon à ce qu'il soit sous la thermocline ou sous l'interface située dans le milieu liquide.

- la morphologie du fond :

Lorsqu'un fond est accidenté et présente des reliefs, le poisson est susceptible de les heurter. Il est nécessaire d'être vigilant et pour remonter le poisson rapidement d'avoir un treuil à grande vitesse d'enroulement.

Attention, lorsque la vitesse du navire décroît (fin de profil, obstacle...) le câble se rapproche de la verticale et le poisson descend.

B. l'espacement des profils :

L'espacement des profils doit être choisi de façon à obtenir une couverture strictement sans lacune. C'est pourquoi, on prévoit toujours un recouvrement entre les profils. Dans le cas le plus général, ce recouvrement est de l'ordre du cinquième de la portée. Toutefois, dans de mauvaises conditions de mer, on peut être amené à préférer un recouvrement plus important pour éviter les zones de blanc éventuelles dues au phénomène de lacet.

C. navigation du poisson:

Elle doit être la plus constante possible (dans l'espace et dans le temps). Elle est dépendante :

- des courants,
- de la houle,
- du vent,
- de la navigation du navire,
- de la souplesse du câble.

Ces différents paramètres peuvent provoquer des déformations du signal lors de l'acquisition.

Pour palier à ces phénomènes on peut utiliser quelques méthodes développés dans le chapitre suivant: (traitement des données).

3.2.Traitement et corrections des données

Deux grands types de problèmes se posent lors de l'acquisition: les problèmes de géométrie (aspect géométrique : obliquité des rayons, pente du fond et ses irrégularités) et les problèmes de mise en évidence des informations (aspect radiométrique) contenues dans les signaux reçus, souvent détériorés par des défauts émanant des capteurs eux-mêmes (halos, différence de gain entre les deux voies...) ou liés aux conditions de mise en œuvre.

3.2.1 Les aspects géométrique

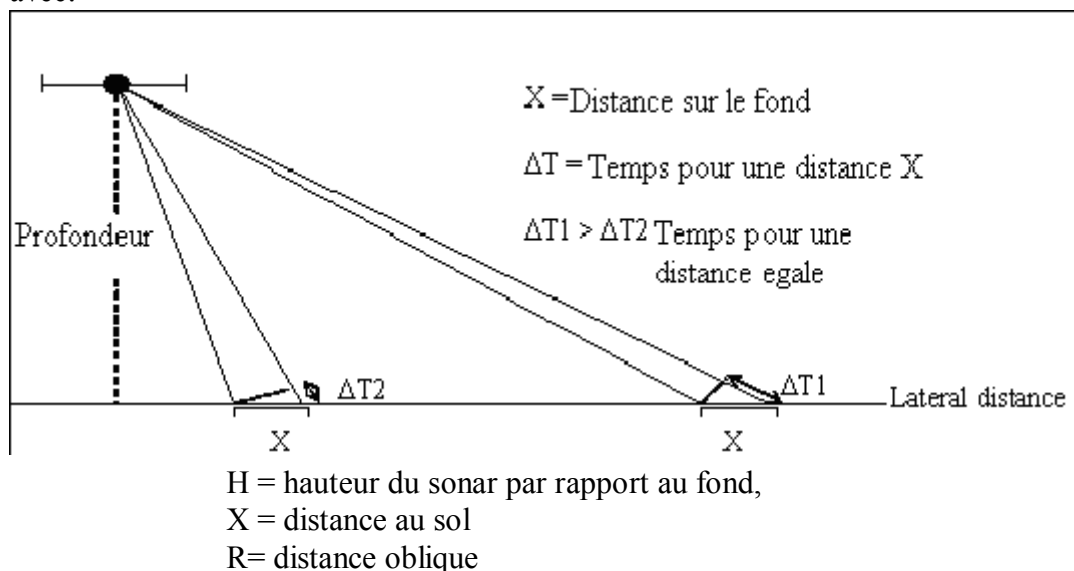
A. Distortions géométriques inhérentes au principe du sonar latéral

Sur un fond plat :

Les rayons sonores issus du transducteur sont enregistrés selon une fonction du temps et représentent une distance oblique. On peut relier cette distance à l'horizontale par une relation simple :

$$X^2 + H^2 = R^2$$

avec:

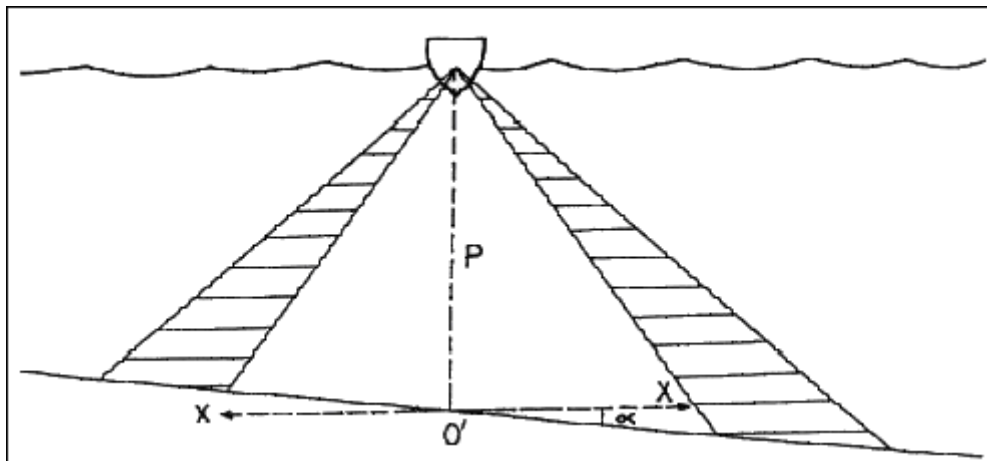


Si le fond de la mer est plat, cette correction, dite d'obliquité ou d'anamorphose, est facilement réalisable. Elle consiste à positionner chaque point image à sa distance X correspondante. La plupart des systèmes "temps réel" visualisent des images redressées à l'aide de ce procédé. Cette correction nécessite une bonne connaissance, à tout moment, de l'altitude du poisson.

Sur un fond en pente :

Lorsque le fond est en pente, la correction d'anamorphose est plus délicate. L'estimation de la pente se fait à partir des premiers échos reçus sur la voie droite et sur la voie gauche. Lorsque l'on a déterminé la pente, on applique la loi suivante :

$$X = (d^2 - h^2)^{1/2} \cos(a) + h \sin(a)$$

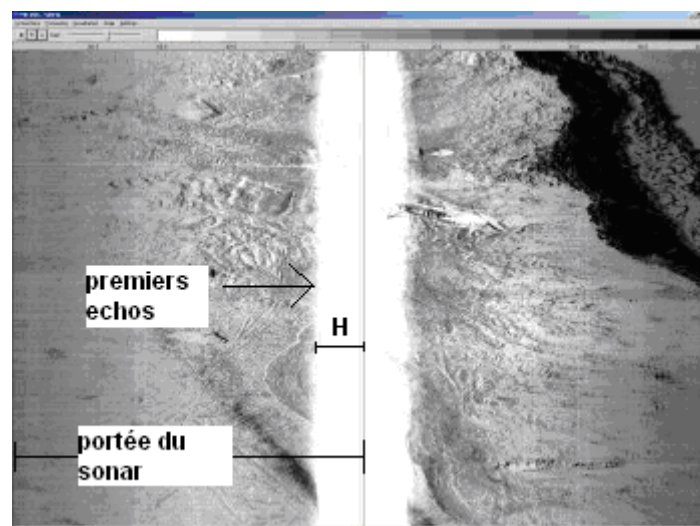


h = hauteur d'eau sous le poisson,
 d = distance oblique,
 α = angle de la pente

Lorsque le fond est accidenté, le réarrangement des pixels suivant la distance horizontale croissante devient très difficile. Seule une étude bathymétrique précise permet de replacer chaque échantillon à sa vraie place. Des problèmes de diaphonie (recopie des informations d'une voie sur l'autre) sont cependant susceptibles de se poser.

Quelque soit le type de fond, ces corrections nécessitent de connaître, le mieux possible, la hauteur du sonar par rapport au fond.

Cette information doit être tirée du signal sonar lui-même, et en particulier du premier écho significatif du signal. La détection de hauteur consiste à estimer ce premier écho. On déduit la hauteur pour le point dont l'intensité de l'écho dépasse un seuil.



Détermination de la hauteur du poisson.
 H = hauteur

B. Correction de vitesse

Le temps de formation d'une ligne est toujours la même. Par contre, la vitesse du sonar varie. Si on représentait l'image uniquement par juxtaposition des lignes acquises, on observerait des déformations d'image liées à la variation de vitesse du sonar.

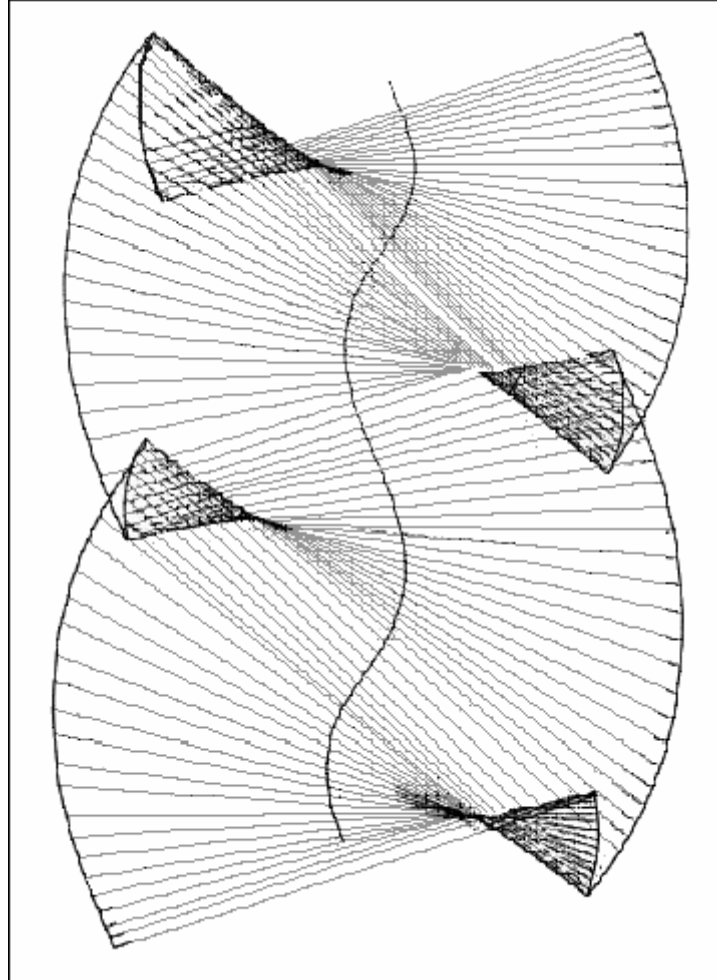
La correction de vitesse consiste à re-échantillonner le signal d'un pas constant en distance mais dans le sens d'avancement du sonar.

Dans certains cas, il est nécessaire de recalcr les images (mosaïques) par identification de points similaires sur les profils qui se recouvrent.

C. Correction de lacet

La distorsion due au(pivotement autour de l'axe vertical) est la cause l'erreur la plus importante des erreurs dues à la navigation du poisson. Elle peut être attribuée aux imperfections hydrodynamiques du poisson et du câble, à des phénomènes de houle entraînant des résonances dans le câble tracteur...

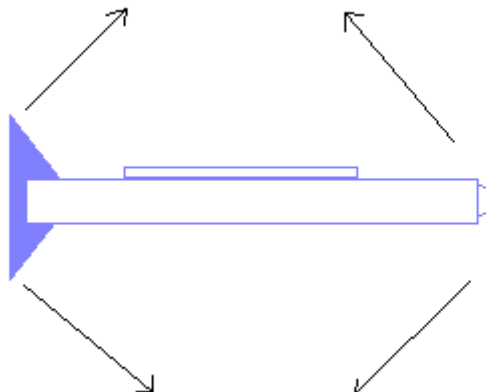
Cette correction s'effectue sous le programme Isis par le biais d'une « smooth navigation »



Les mouvements de lacet du poisson

D. Correction de tangage

En cas de tangage, le poisson pivote autour de l'axe horizontal du plan éclairé.

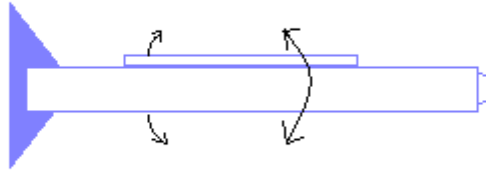


Mouvement de tangage d'un poisson

Son altitude est faussée et le fond apparaît comme une surface ondulée. La profondeur vraie est alors le sommet de la sinusoïde.

E. Correction de roulis

Le roulis est à l'origine d'une modification de l'angle d'inclinaison du faisceau, ce qui revient à considérer la pente du fond comme une fonction sinusoïdale avec une période égale à celle du roulis. Quand le roulis est important, les rayons sonores sont dirigés, alternativement, vers la surface ou vers le fond provoquant, sur l'enregistrement, des bandes blanches à gauche puis à droite.



Mouvement de tangage d'un poisson

F. La marche en crabe

Lorsqu'un bateau tracte un sonar, des événements extérieurs tels que le vent, les vagues, la houle et les courants l'écartent de la route fixée. Il en résulte que sa trajectoire et celle du sonar ne sont pas rectilignes. Si le vent domine, la dérive n'est pas transmise au sonar, mais, lorsque c'est le courant qui a une action prépondérante, c'est l'attelage navire-poisson qui présente une dérive par rapport à la route suivie. Le faisceau ultrasonore n'étant plus perpendiculaire au profil, il en résulte une erreur sur la localisation d'autant plus importante que la portée est grande.

Il convient donc de porter une extrême attention à l'orientation des profils à réaliser, en fonction des conditions de l'environnement local.

3.2.Traitement et corrections des données

Deux grands types de problèmes se posent lors de l'acquisition: les problèmes de géométrie (aspect géométrique : obliquité des rayons, pente du fond et ses irrégularités) et les problèmes de mise en évidence des informations (aspect radiométrique) contenues dans les signaux reçus, souvent détériorés par des défauts émanant des capteurs eux-mêmes (halos, différence de gain entre les deux voies...) ou liés aux conditions de mise en œuvre.

3.2.2 Les aspects radiométrique

Quatres types de défauts peuvent être corriger pour extraire le maximum d'informations des images sonars :

A. Suppression de halos qui altèrent l'homogénéité du signal :

Une antenne sonar dirige l'onde acoustique d'émission dans un plan vertical perpendiculaire à elle. Par contre, la puissance de cette onde varie dans le plan. Une antenne est caractérisée par son diagramme qui donne une courbe d'iso-gain (courbe de même gain) en fonction de la direction de propagation.

Pour reconstituer le signal de réflectance, on calcule statistiquement le modèle des diagrammes d'antenne par moyennage de l'image en fonction de l'angle d'incidence sur la donnée brute. Cette opération se fait une fois pour toute sur des images dénuées d'information (sans topographie et morphologie remarquables). On traite le signal reçu en le divisant par la valeur moyenne qui a été calculée pour l'angle d'incidence correspondant. Les bandes alternativement claires et foncées, symétriques par rapport au déplacement du sonar, visibles sur les sonogrammes sont atténuées par cette correction.

B. Filtrage des bruits aléatoires des données

Le bruit est un signal parasite reçu par le sonar. D'origine varié, il convient d'utiliser une méthode en fonction de sa nature.

C. Rehaussement de contraste pour faire ressortir les faibles variations du signal.

Les gains des antennes bâbord et tribord ne sont pas toujours identiques. D'autre part, en fixant un gain constant, on constate que l'on perd des informations dans les parties très claires et les parties très sombres d'une image présentant différents types de morphologies ou de sédiments. On utilise un rehaussement de contraste s'adaptant à la nature de l'image.

D. Contrôle du gain automatique

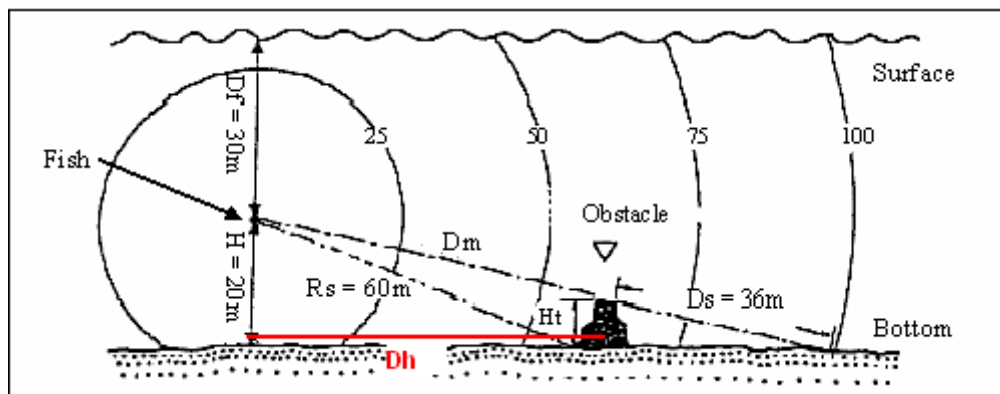
La principale variation de l'intensité des signaux est due aux atténuations liées au chemin parcouru, l'angle d'incidence ou de rasance et d'autres variations qui ont pour origine la taille du matériau et l'aspect de la surface réfléchissante. Il faut alors ajuster le niveau de l'écho (amplitude du signal) pour chaque propagation.

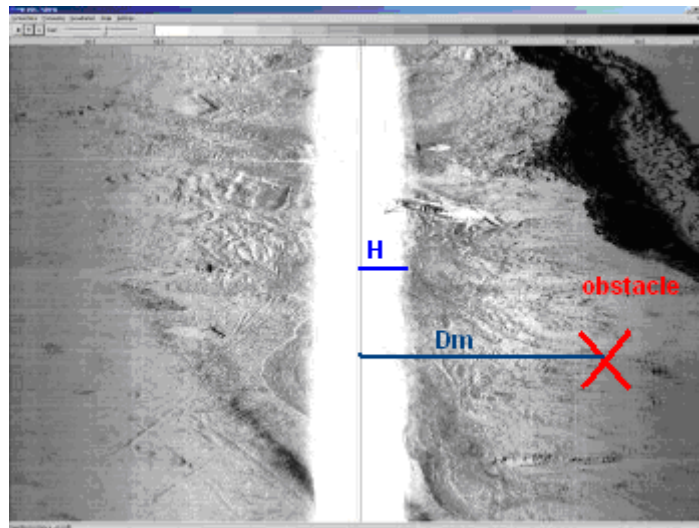
Détermination de la position et de la hauteur d'un obstacle.

Le calcul de la hauteur d'un obstacle n'est réalisable qu'avec un sonogramme de qualité.

Position transversale :

Calcul de la distance horizontale D_h :





Calcul de la distance Dm sur un sonogramme.

Dh (distance entre le point du fond situé à la verticale du poisson et l'objet) est déterminé à partir de Dm (distance mesurée sur le sonogramme) et H, la hauteur du poisson au-dessus du fond à l'aide de la formule:

$$Dh = \sqrt{Dm^2 - H^2}$$

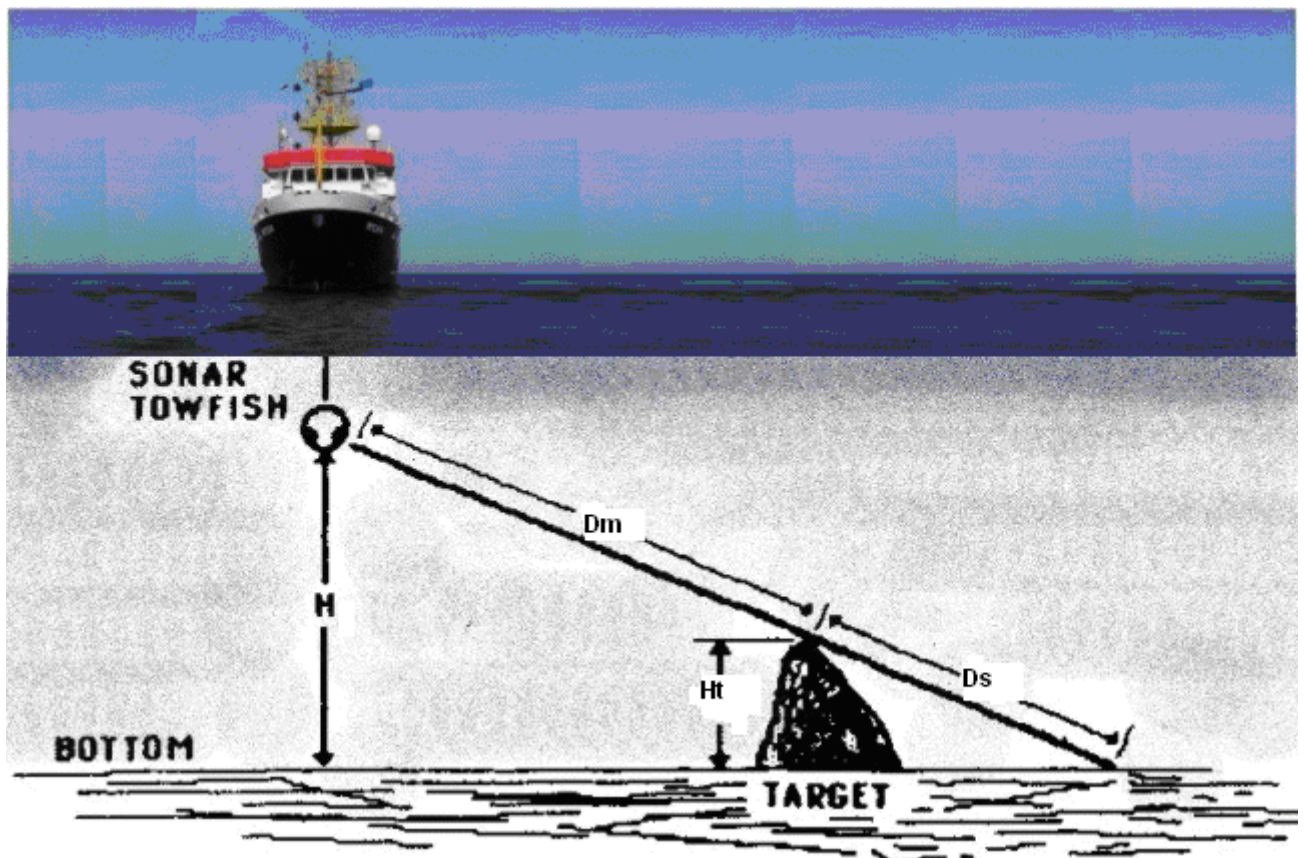
Position longitudinale :

Sur l'enregistrement **n** et **(n+1)** sont 2 tops successifs et **a** est un obstacle situé entre ces 2 tops. Sur le fond, **N** et **(N+1)** sont les deux points cartographiés correspondant à **n** et **(n+1)**, **A'** est la projection orthogonale de l'obstacle sur la route **N-(N+1)**. La distance longitudinale recherchée est donnée par la relation :

$$NA' = na \frac{N - (N + 1)}{n - (n + 1)}$$

Hauteur de l'obstacle:

Calculé à l'aide du théorème de Thalès



D_m : distance mesurée sur le sonogramme

D_s : mesure de la portée créée par l'ombre

H_t : hauteur de l'objet au dessus du fond.

La hauteur de l'obstacle peut être estimée avec la formule:

$$H_t = \frac{D_s \cdot H}{D_s + D_m}$$

Attention, ce ne sont que des estimations qui ne prennent pas en compte

- la courbure du faisceau acoustique,
- les mouvements du poisson (roulis, tangages, ...)
- la dérive

Conclusion

La méthode du sonar latéral se développe intensément pour la prospection en géophysique marine depuis les années 60. Les sonars latéraux subissent d'importants progrès. Le passage de la simple monofréquence au chirp est un exemple de cette grande évolution. Aussi, la dernière évolution correspond aux AUV qui sont des sonars entièrement autonomes.

Cette technique comporte de nombreux avantages mais aussi des inconvénients que les scientifiques tentent d'amoindrir. En effet c'est une méthode acoustique peu onéreuse: il faut donc bien déterminer les critères de choix d'un SONAR afin que celui-ci soit le mieux adapté dans le cadre de la mission.

En ce qui concerne le principe théorique du sonar latéral, il utilise de simples caractéristiques acoustiques. En revanche, sa mise en oeuvre est plus complexes. En effet, la difficulté pour obtenir une image interprétable réside dans la maîtrise de l'interaction des différents paramètres existants.