

# TABLE DES MATIERES

## TABLE DES MATIERES

## LISTE DES FIGURES

I.	INTRODUCTION	1
II.	THEORIE ET CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES	2
II.1.	Généralités	2
II.2.	Formation des échos ombres acoustiques	4
II.3.	Nature des échos	4
II.3.1.	Les échos liés à la réflexion spéculaire	8
II.3.2.	Les échos liés au phénomène de réverbération	8
II.4.	Constitution du système	8
II.4.1.	Le poisson	10
II.4.2.	Les transducteurs	10
II.5.	Formation de l'image	12
II.6.	Portée	14
III.	DETECTION D'OBJETS	18
III.1.	La détection et la résolution	18
III.2.	Les différentes détections	18
III.2.1.	Détection par contraste	18
III.2.2.	Détection par écho	19
III.2.3.	Détection par ombre	19
IV.	RESOLUTION D'UN SONAR LATERAL	20
IV.1.	Résolution angulaire	20
IV.2.	Résolution longitudinale	21
IV.2.1.	Variation de la résolution longitudinale	22
IV.2.2.	Exemple	23
IV.2.3.	Conclusion	24
IV.3.	Résolution transversale	24
IV.3.1.	Variation de la résolution transversale	25
IV.3.2.	Conclusion	27
IV.3.3.	Modélisation	28

V. RESOLUTION DE RESTITUTION _____	29
V.1. Résolution instrumentale	29
V.2. Recouvrement des pixels et redondance des données	30
VI. LA RESOLUTION OPTIMALE _____	32
VI.1. Interdépendance des paramètres	32
VI.1.1. Variation de la portée	32
VI.1.2. Variation de la fréquence	32
VI.2. Application au sea marc 2	33
VI.3. Les réglages moyens pour une résolution optimale	34
VI.4. Conclusion	34
VII. MISE EN OEUVRE DU SONAR A LA MER _____	35
VII.1. Technique de mise en œuvre	35
VII.1.1. Le matériel	35
VII.1.2. La méthode de remorquage	38
VII.1.3. La vitesse de remorquage	39
VII.1.4. La profondeur d'immersion du poisson	41
VII.1.5. L'espacement des profils	43
VII.1.6. Navigation du poisson	43
VII.2. Limites du système	45
VII.2.1. Aspects géométriques	45
VII.2.2. Aspects radiométriques	50
VIII. LES SONARS LATÉRAUX PROFONDS _____	52
VIII.1. Introduction aux sonars profonds	52
VIII.2. Configuration des sonars	53
VIII.3. Le positionnement du poisson	54
VIII.4. Mode d'acquisition des données	56
VIII.5. La restitution des données	56
VIII.6. Les applications des sonars profonds	57
VIII.7. Conclusion sur les sonars profonds	57
IX. DETERMINATION DE LA POSITION ET DE LA HAUTEUR D'UN OBSTACLE _	58
X. LE CHIRP SONAL _____	59
X.1. Introduction	59
X.2. Le système sonal à stridulation	59
X.3. Cheminement de l'onde	60
X.4. Amélioration du système	61
X.5. Utilisation du chirp	61

XI. LES DIFFERENTS SONALS DU MARCHÉ	63
XI.1. Critères de choix d'un sonal	63
XI.2. Les SONALS de petits fonds	65
XI.2.1. Les applications	66
XI.2.2. Les principaux fabricants	65
XI.3. Les SONALS de grands fonds	71
XI.4. Les SONALS non conventionnels	74
XII. CONCLUSION	76
GLOSSAIRE	77
BIBLIOGRAPHIE	80

# LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Géométrie des ondes acoustiques émises à partir d'un sonar latéral découplé installé sur une coque de bateau.</i>	2
<i>Figure 2 : Propagation de l'onde acoustique à partir d'un sonar latéral.</i>	3
<i>Figure 3 : Chaîne de traitement des informations.</i>	5
<i>Figure 4 : Exemple de sonogramme.</i>	6
<i>Figure 5 : Représentation des différents échos.</i>	7
<i>Figure 6 : Constitution d'une chaîne d'acquisition.</i>	9
<i>Figure 7 : Détail de la constitution d'un poisson et de son câble de raccordement.</i>	9
<i>Figure 8 : Ouverture en site et en gisement du lobe principal.</i>	10
<i>Figure 9 : Ouverture du faisceau acoustique dans le plan horizontal et vertical.</i>	11
<i>Figure 10 : Le procédé de création du pixel image à partir d'une émission sonar.</i>	12
<i>Figure 11 : Illustration des ondes incidentes réfléchies dans l'espaces et des signaux émis et reçus par une antenne en fonction du temps.</i>	13
<i>Figure 12 : Relation entre longueur d'onde et portée.</i>	14
<i>Figure 13 : Relation en rapport signal sur bruit et portée.</i>	16
<i>Figure 14 : Un exemple de rayon pour un son émis dans une région 2, montre la propagation de l'onde et la zone d'ombre.</i>	17
<i>Figure 15 : La limite de détection entre deux lobes successifs.</i>	19
<i>Figure 16 : Succession de deux lobes d'émission acoustique.</i>	20
<i>Figure 17 : Variation de la résolution angulaire.</i>	21
<i>Figure 18 : Variation de résolution longitudinale en fonction de la portée.</i>	22
<i>Figure 19 : Variation de la résolution longitudinale en fonction.</i>	23
<i>Figure 20 : L'étendue du faisceau acoustique affecte le pouvoir de résolution du sonar latéral.</i>	24
<i>Figure 21 : L'influence de la largeur du rayon acoustique sur la résolution transversale du sonar.</i>	25
<i>Figure 22 : Bien que la résolution globale diminue avec la propagation du faisceau acoustique, la résolution transversale augmente avec la portée.</i>	26
<i>Figure 23 : Variation de la résolution transversale en fonction du temps d'enregistrement.</i>	26
<i>Figure 24 : Variation de la résolution transversale en fonction de la hauteur d'eau sous le poisson et du temps de propagation.</i>	27
<i>Figure 25 : La résolution transversale.</i>	27
<i>Figure 26 : Image acoustique d'un sol marin artificiel triangulaire.</i>	28
<i>Figure 27 : Ce diagramme montre la taille et la forme des zones du fond marin qui sont représentées par un simple pixel.</i>	29
<i>Figure 28 : Le recouvrement des pixels dans la direction longitudinale et transversale.</i>	31
<i>Figure 29 : Emission du Sea Marc 2.</i>	33
<i>Figure 30 : Exemple de configuration d'un système de remorquage avec cordon de rappel élastique.</i>	35
<i>Figure 31 : Exemple de câble électroporteur.</i>	36
<i>Figure 32 : Schéma d'un câble caréné.</i>	37
<i>Figure 33 : Lien de remorquage caréné avec découplage des câbles, porteur et conducteur.</i>	37
<i>Figure 34 : Relation entre longueur de câble mise en œuvre et tension électrique appliquée.</i>	38
<i>Figure 36 : Le poisson est remorqué sur le côté.</i>	39
<i>Figure 37 : Utilisation d'un dépresseur.</i>	39
<i>Figure 37 bis: Photo du dépresseur utilisé par le SAR</i>	40
<i>Figure 38 : Profondeur du poisson par rapport à la longueur de câble.</i>	40

<i>Figure 39 : Déformation du pixel due à la vitesse du navire.</i>	41
<i>Figure 40 : Le rayon sonar qui est vu de face est très large.</i>	42
<i>Figure 41 : Le rayon acoustique du SONAL est formé pour fournir une grande résolution image du fond et des petites cibles. Vu de dessus, ce rayon concentre l'énergie en une étroite section.</i>	42
<i>Figure 42 : La trace que fait un navire durant un survey, doit couvrir une cible plusieurs fois.</i>	44
<i>Figure 43 : Distorsions dues à l'obliquité des rayons.</i>	45
<i>Figure 44 : Correction d'obliquité pour des profondeurs d'eau comprises entre 10 et 200 m et des distances obliques comprises entre 20 et 500 m.</i>	46
<i>Figure 45 : Distorsions dues à la pente du fond.</i>	46
<i>Figure 46 : Influence du phénomène de lacet sur l'enregistrement.</i>	48
<i>Figure 47 : Les différentes formes d'instabilité du poisson.</i>	49
<i>Figure 48 : Distorsions dues à la dérives.</i>	50
<i>Figure 49 : Influence des diagramme d'antenne sur une ligne d'image.</i>	51
<i>Figure 50 : Positionnement du poisson en LBL.</i>	54
<i>Figure 51 : Positionnement du poisson par SBL.</i>	55
<i>Figure 52 : Positionnement du poisson par SSBL.</i>	55
<i>Figure 53 : Calcul de la hauteur d'une obstruction.</i>	58
<i>Figure 54 : Répartition des fréquences de part et d'autre du poisson.</i>	59
<i>Figure 55 : Signal d'un émetteur Chirp (a) et signal d'un émetteur de SONAL conventionnel.</i>	60
<i>Figure 56 : évolution linéaire de la fréquence en fonction du temps lors d'une émission chirp.</i>	60
<i>Figure 57 : Cheminement du signal de l'émission, à la sortie du filtre comparateur de signal.</i>	61
<i>Figure 58 : Interprétation de deux types de signaux chirp reçus lors du traitement.</i>	62
<i>Figure 59 : Le K-WING Depressor développé par Klein.</i>	64
<i>Figure 60 : Adresses des principaux fabricants de sonars latéraux.</i>	69
<i>Figure 61 : Liste des différents distributeurs de sonars latéraux pour petits fonds.</i>	70
<i>Figure 62 : Tableau de présentation des différents sonars profonds existants.</i>	72
<i>Figure 63 : caractéristiques techniques principales des sonars latéraux profonds actuels.</i>	73
<i>Figure 64 : Caractéristiques des différents sonal non conventionnels.</i>	75



## I. INTRODUCTION

En dehors de la zone littorale, les fonds marins sont plongés dans l'obscurité. Ce ne fut qu'en 1929 que Wood utilisa le son pour la première fois, afin d'examiner le fond de la mer encore inconnu : le premier échosondeur était né.

L'énergie acoustique se propage dans l'eau en fonction de lois bien établies. L'échosondeur émet une courte impulsion ultrasonore dans l'axe vertical. Se réfléchissant sur le fond, l'écho est enregistré de façon continue, donnant la profondeur **Z** (après amplification):

$$Z = \frac{1}{2} c \cdot \Delta t$$

avec :

- **c** : la célérité du son dans l'eau
- **$\Delta t$**  : intervalle de temps entre l'émission et la réception.

La nature des échos permet quant à elle, une certaine caractérisation des sols renvoyant l'énergie acoustique.

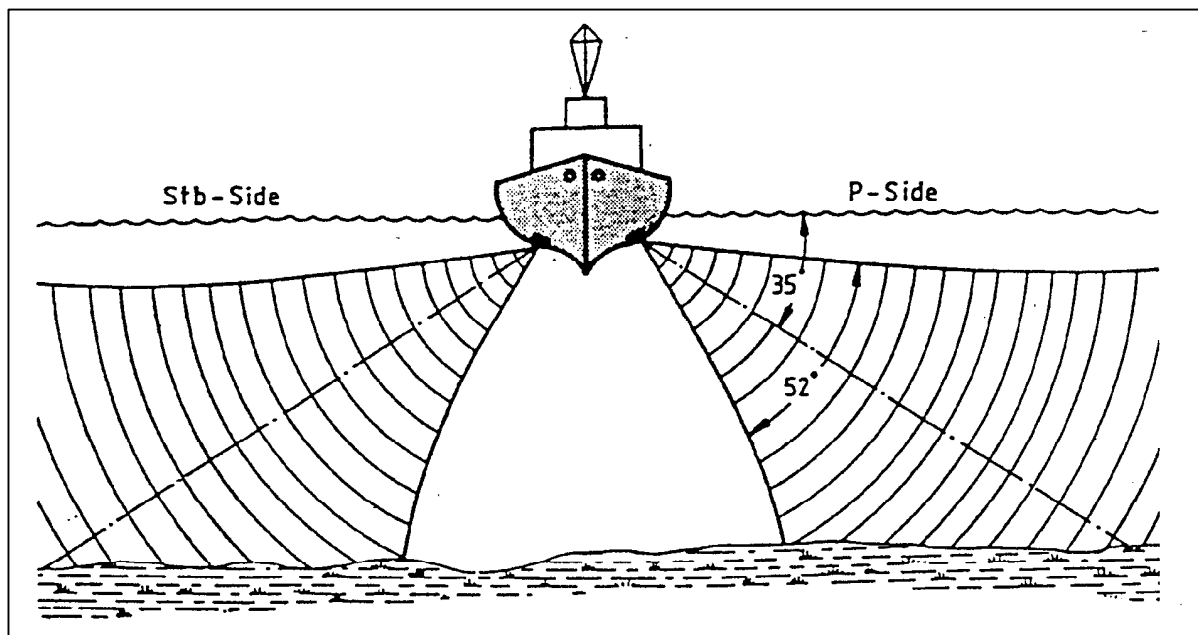
Le premier sonar a été mis au point en Grande-Bretagne entre 1939 et 1945. Il n'était alors utilisé que pour la localisation des sous-marins ennemis. Ce ne fut qu'en 1958 que l'on commença à utiliser le son pour cartographier des traits morphologiques des sols sous-marins. Le S.O.N.A.R. (SOund NAvigation and Ranging) débutait sa carrière civile.

L'énergie acoustique a, en 1961, été utilisée en mode de balayage fournissant des images (échogrammes, sonogrammes) acoustiques (sonar latéral à vision bilatérale). Les premiers enregistrements systématiques commencèrent en 1964. Ceux-ci ont achevé la période des enregistrements épars qui ne fournissaient qu'un fond d'informations, ne pouvant certainement pas suffire à des interprétations détaillées.

## II. THEORIE ET CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES

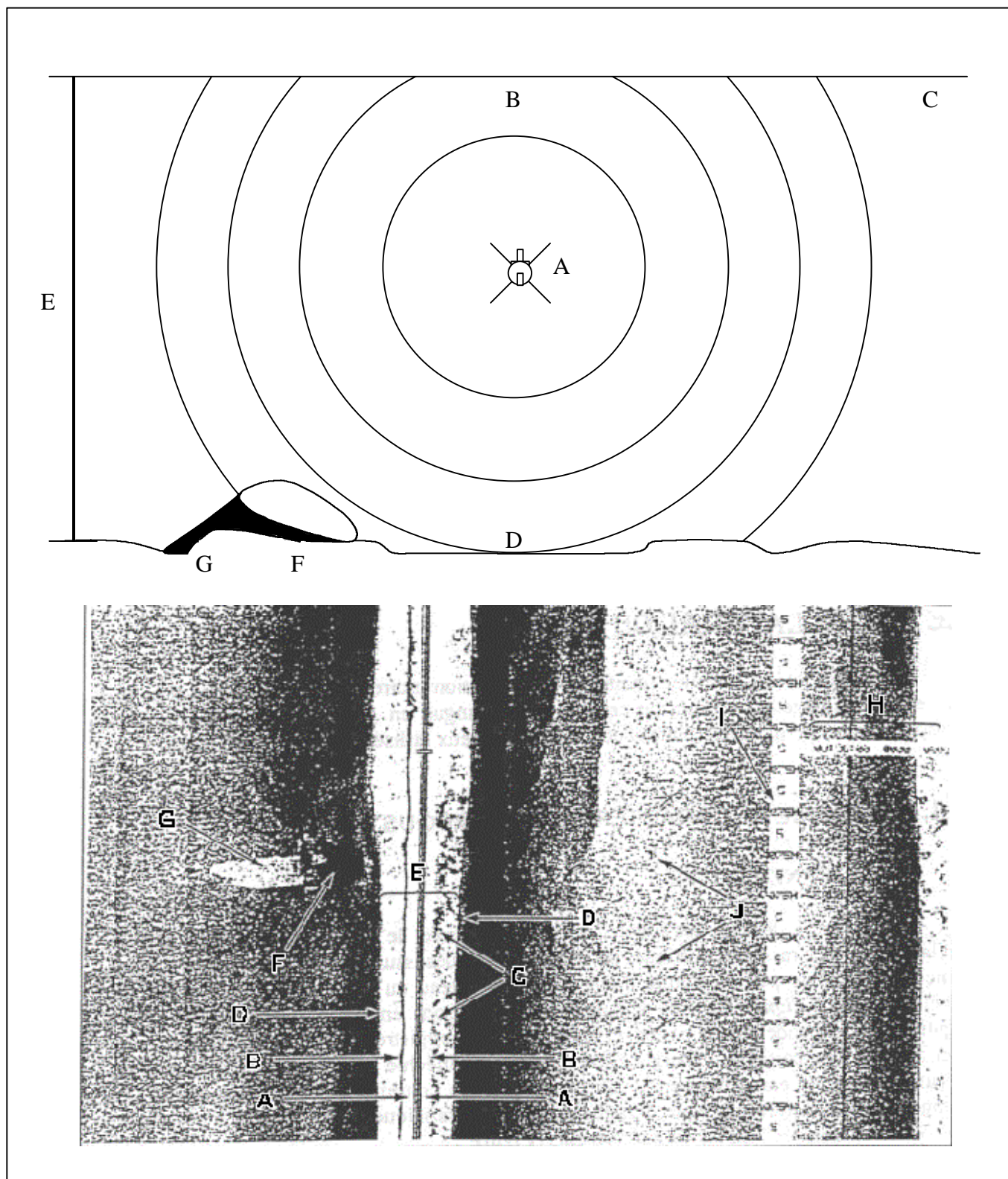
### II.1.GENERALITES

Le sonar latéral constitue un moyen d'observation indirect des fonds marins et permet de réaliser l'image acoustique de ceux-ci. On distingue en général ceux utilisés pour la prospection des petits fonds (plateau continental) de ceux utilisés pour les grands fonds. Le principe de base est simple. Il s'agit d'observer le relief du fond sous-marins en l'éclairant par des rayons acoustiques parallèles et obliques issus de deux transducteurs placés symétriquement de part et d'autre d'une coque de bateau ou d'un corps fuselé remorqué appelé poisson (*Fig 2*). Le projecteur émet de courtes impulsions sonores dans l'eau perpendiculairement à la marche du poisson (*Fig 1*). On distingue ici le projecteur utilisé pour émettre des ondes acoustiques, de l'hydrophone qui sert à l'écoute de ces mêmes ondes. Les échos sont ensuite reçus par l'hydrophone qui les transmet par le câble électroporteur à bord du navire (sur le sonal, ces deux actions sont effectuées par les transducteurs) (*Fig 3*). Les impulsions sonores sont émises à intervalles de temps réguliers (qui dépendent de la portée choisie) et les échos sont enregistrés en fonction du temps (trajet aller-retour). Une partie de l'énergie est réverbérée et réfléchiée par le fond et on obtient ainsi, en juxtaposant les enregistrements, une image presque continue du relief sous-marin (*Fig 4*).



**Figure 1 :** Géométrie des ondes acoustiques émises à partir d'un sonar découplé installé sur une coque de bateau.





**Figure 2 :** Propagation de l'onde acoustique à partir d'un sonar latéral. A = Emission, B = Premier retour acoustique, C = Surface de la mer, D = Premier retour du fond, E = Colonne d'eau, F = Navire de pêche submergé, G = Ombre. D'après Fish J.P. & Garr A.H. .

## II.2. FORMATION DES ECHOS OMBRES ACOUSTIQUES

Les images apportent des renseignements sur les caractéristiques physiques et lithologiques du sol marin (*Fig 4*) et sur la topographie (*Fig 5*). Les reliefs provoquent des phénomènes d'ombres. Une zone en dépression ou une zone cachée (*Fig 5*) par un relief ne peut renvoyer l'énergie émise par le transducteur, on n'obtient au niveau de l'enregistreur aucune réponse de cette zone. Celle-ci apparaît en blanc sur le papier (sur les bandes magnétiques apparaît un 0 pour le signal) ce qui donne une impression de relief.

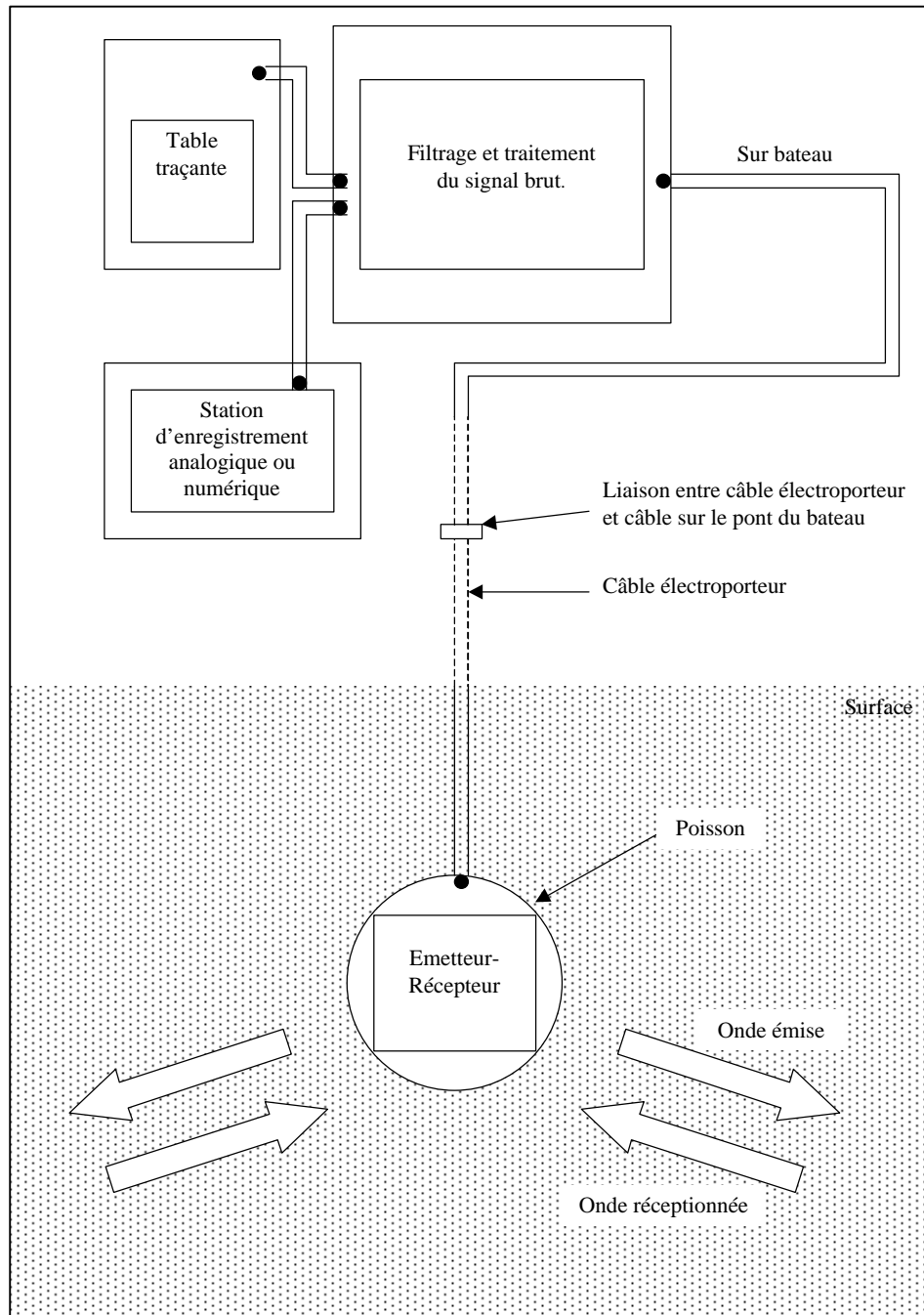
Les changements de nature lithologique correspondent à des tâches plus ou moins sombres sur les enregistrements, même sur fond plat (les vases sont claires et les graviers plus sombres).

## II.3. NATURE DES ECHOS

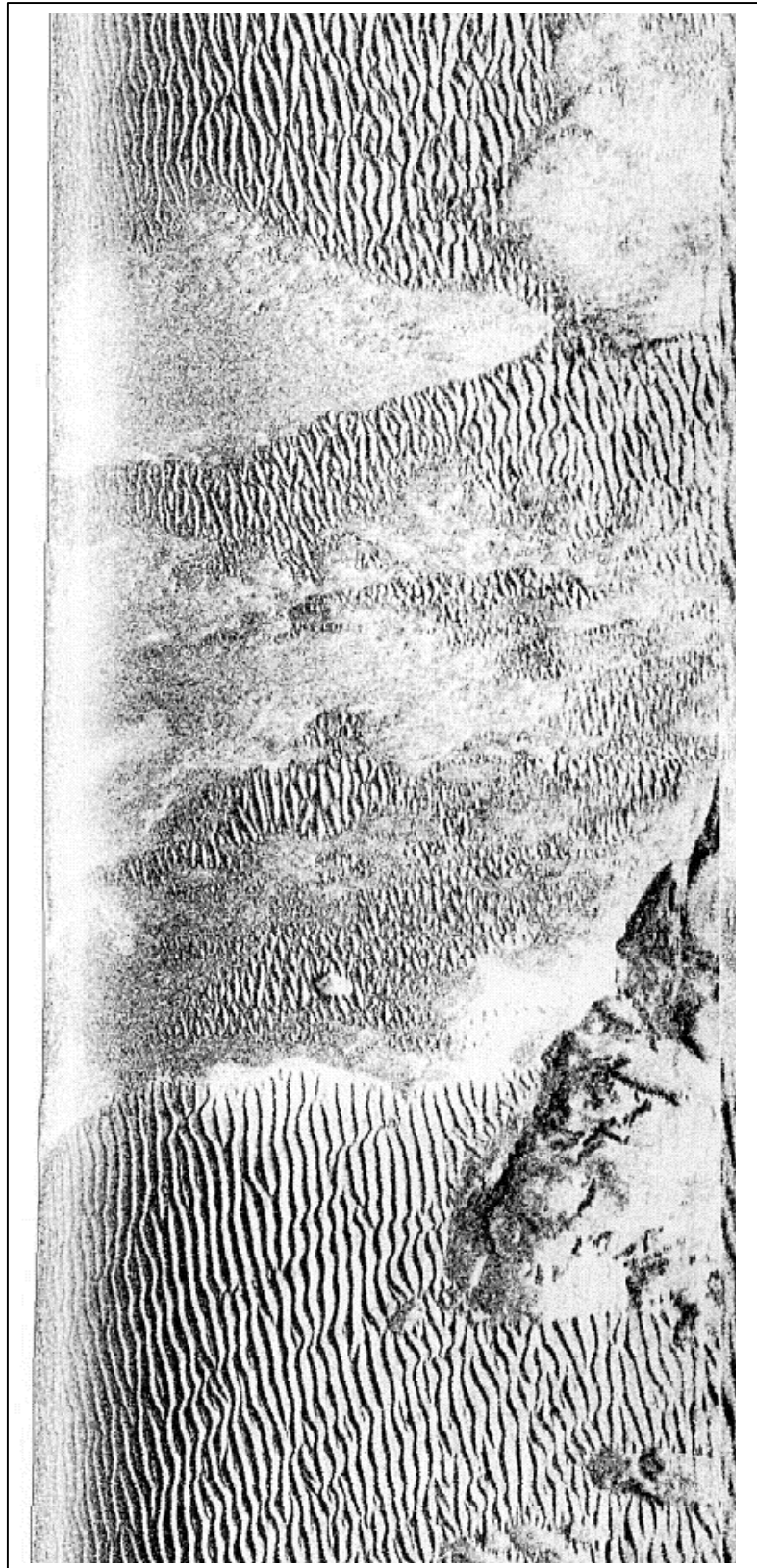
Le niveau de l'écho dépend :

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

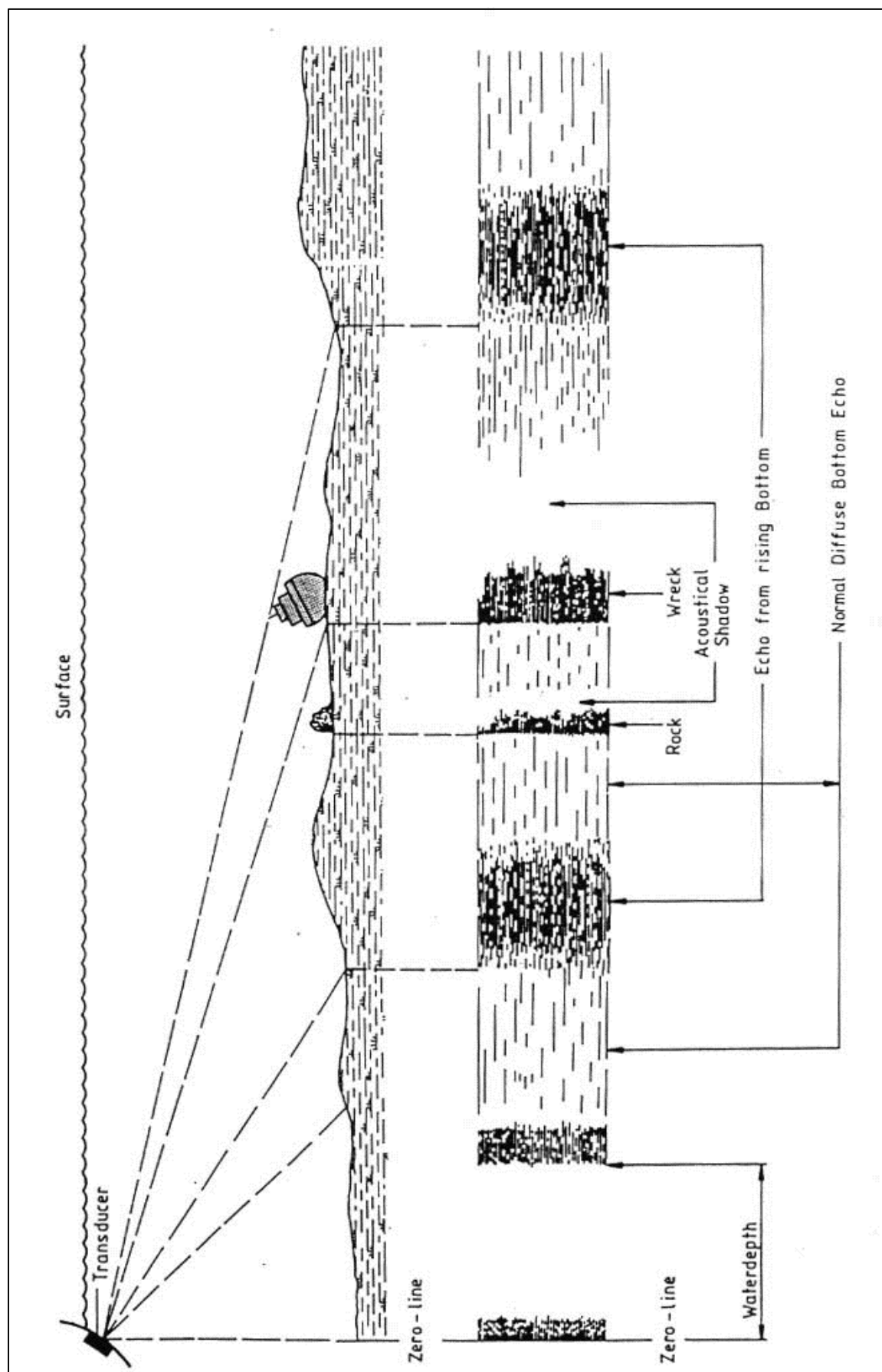
Ainsi, un changement de pente peut modifier l'intensité du signal autant ou d'avantage qu'un changement de nature du fond. Les différents échos diffèrent par la nature de la réflexion qui leur donne naissance.



**Figure 3 :** Chaîne de traitement des informations. Fish J.P. & Garr A.H., 1990



**Figure 4:** Exemple de sonogramme. La zone supérieure est caractérisée par des rides de sable couvertes partiellement par du sable fin ; la zone centrale est composée de sable mélangé à des graviers. La zone inférieure possède un rocher émergeant au milieu de rides de sable. Le sonar utilisé était de 500 kHz et d'une portée de 75m de part et d'autre. D'après <http://www.kleinsonar.com/image/geology1.html>.



**Figure 5 :** Représentation des différents échos.

### II.3.1. LES ECHOS LIES A LA REFLEXION SPECULAIRE

On appelle réflexion spéculaire, la réflexion des ondes sonores sur un obstacle quand la quasi-totalité de l'énergie émise est renvoyée dans une seule direction (spéculaire, du latin *speculum* : miroir). Dans les réflexions spéculaires, les rayons sonores émis sont près de l'incidence normale avec le fond ( $\pm 5^\circ$ ). Les échos présentent alors de fortes amplitudes de courte durée comparables à celle du signal émis (quelques millisecondes).

### II.3.2. LES ECHOS LIES AU PHENOMENE DE REVERBERATION

Lors de la propagation d'une onde acoustique dans le milieu marin, une partie de l'énergie est réfléchi de façon incohérente en phase et en direction par ce milieu. Ce phénomène est appelé réverbération ou rétrodiffusion. Pour un fond donné, la quantité d'énergie réverbérée est essentiellement fonction du coefficient de réverbération et donc en première approximation de la lithologie du fond. Le coefficient de réverbération caractérise le pouvoir de rétrodiffusion ou le pouvoir réflecteur du milieu. On distingue, par exemple, le passage de la vase au cailloux, le coefficient de réverbération de ces deux milieux étant fortement différents (20 à 25 dB).

Pour le fond marin, cet indice s'exprime par :

$$R = 10 \log\left(\frac{I_r}{I_i}\right)$$

avec :

- $I_r$  : intensité sonore réverbérée à 1m d'un élément de surface unité,
- $I_i$  : intensité sonore incidente mesurée au centre de l'élément réverbérant.

Les échos de réverbération sont dus à la réflexion des fonds lorsque l'incidence du faisceau est supérieure à l'incidence normale. Le niveau acoustique de l'onde réfléchi est alors beaucoup plus faible que celui de la réflexion spéculaire. Il dépend de la nature du fond, de son relief ainsi que de l'angle d'incidence. La durée de ce type d'écho peut atteindre plusieurs dixièmes de secondes et dépend de l'aire effectivement insonifiée sur le fond. La détection du fond à partir de ces échos est donc assez délicate.

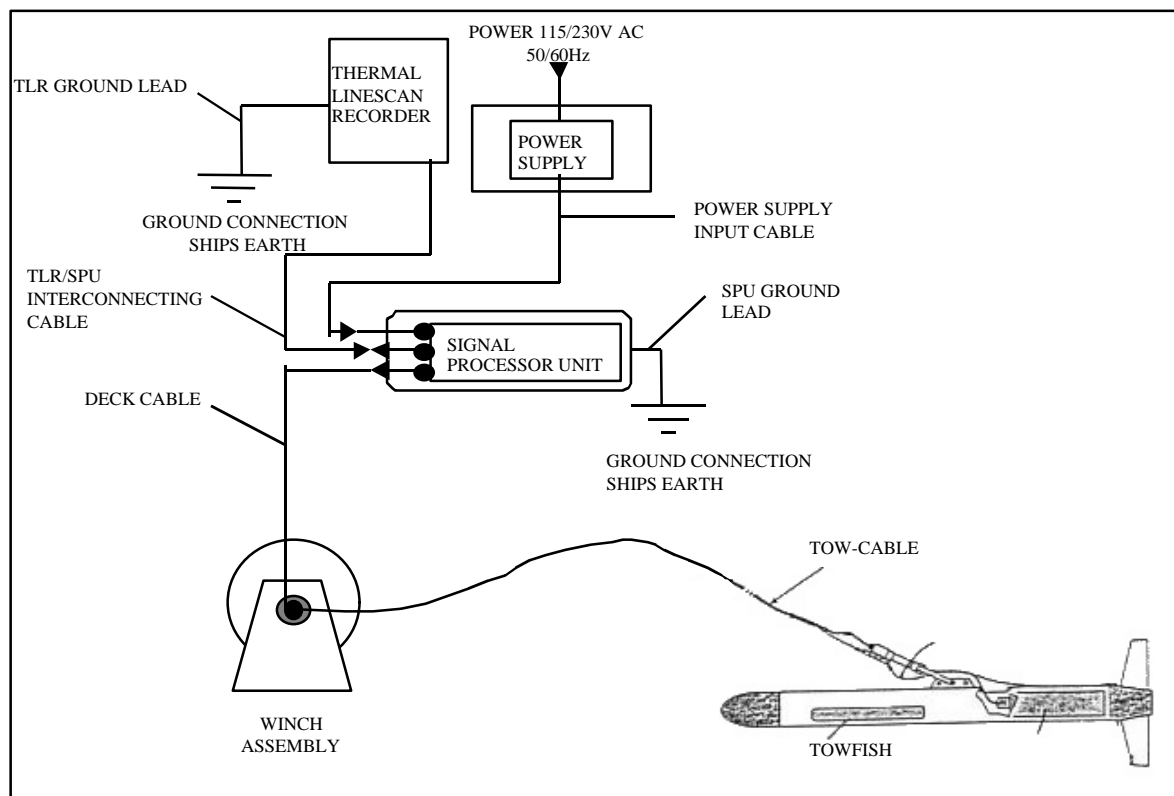
## II.4. CONSTITUTION DU SYSTEME

Un sonar latéral est un équipement permettant de constituer des images du fond sous-marin par le biais de l'acoustique.

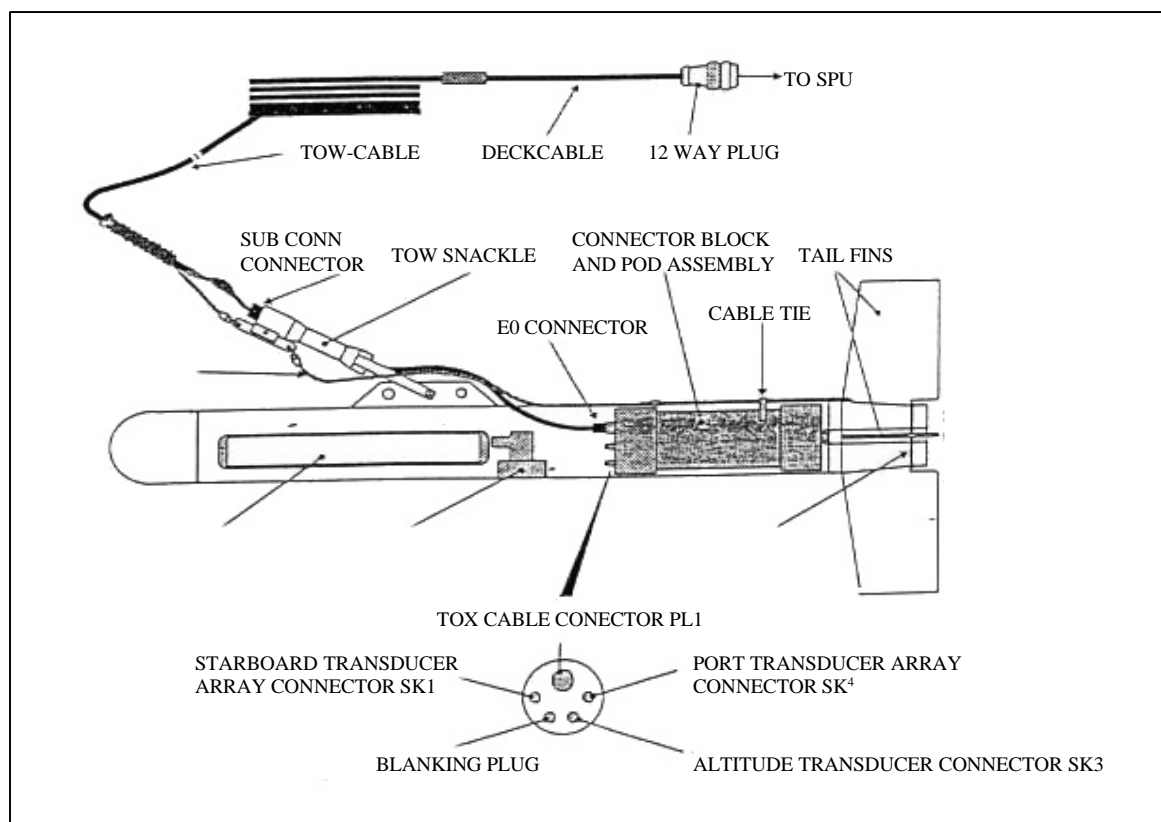
Un équipement de sonar latéral est donc constitué par :

- un poisson qui supporte les antennes,
- un équipement à bord du bateau qui traite le signal, le visualise en temps réel sur des reconstituteurs et le stocke sur bande magnétique ou disque optique,
- un câble, porté par un treuil, assure la liaison mécanique et transporte les informations.

Les **Figures 6 et 7** illustrent la mise en œuvre d'un tel équipement.



**Figure 6 :** Constitution d'une chaîne d'acquisition. Ultra Electronics, 1994.



**Figure 7 :** Détail de la constitution d'un poisson et de son câble de raccordement. D'après Ultra Electronics, 1994.

### II.4.1. Le poisson

Il s'agit d'un cylindre mécanique profilé, possédant des ailerons de stabilisation destinés à assurer son équilibre hydrodynamique et contenant les deux transducteurs. Pour un sonar en génie civil, il peut être facilement manipulé à la main, par exemple pour sa mise à l'eau et sa récupération. Par contre un système comme le S.A.R. nécessite l'utilisation d'une grue. Outre les transducteurs, le poisson contient dans certains équipements, une partie des circuits d'amplification des signaux d'émission et de réception.

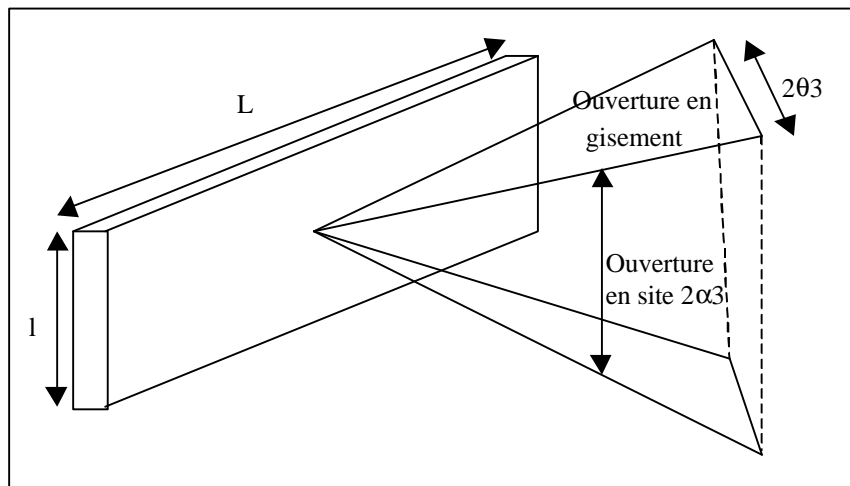
L'immersion et le remorquage du poisson s'opèrent généralement à une distance au dessus du fond égale à 10-20% de la portée maximum choisie.

### II.4.2. Les transducteurs

Le transducteur est un système qui transforme l'énergie électrique en énergie sonore et inversement lors de la réception.

La forme du transducteur est choisie de manière à émettre un faisceau :

- de quelques degrés en **gisement** (faisceau étroit), représenté par l'angle  $2\theta_3$  qui est très directif (**Fig 8**).
- beaucoup plus ouvert, en **site** (représenté par  $2\alpha_3$ ) de façon à balayer le fond depuis la verticale du poisson jusqu'à la portée maximale (**Fig 8**).

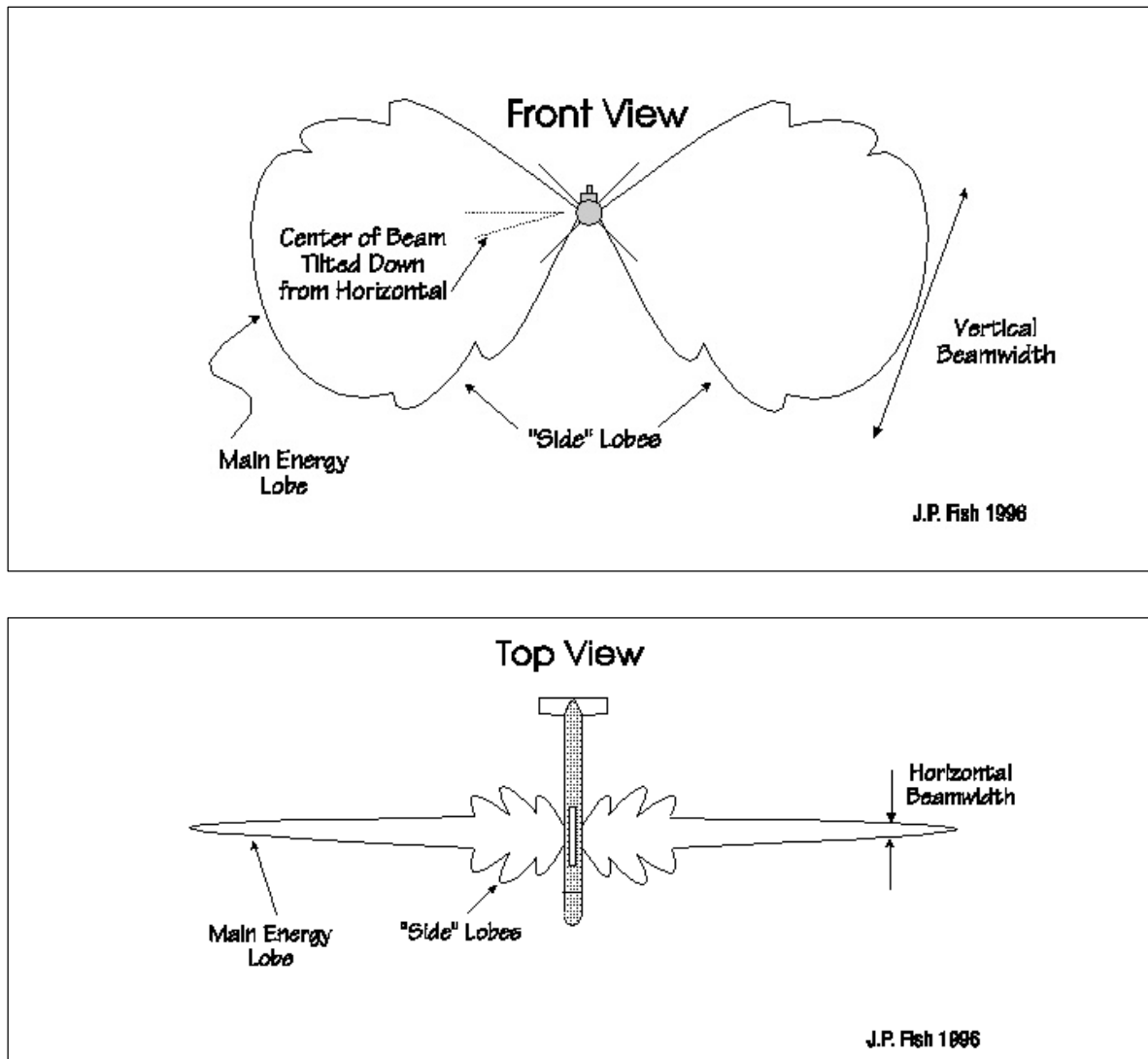


**Figure 8 :** Ouverture en site et en gisement du lobe principal.

Dans le faisceau, on distingue :

- le lobe principal défini par :
  - les angles  $2\theta_3$  et  $2\alpha_3$  en radians,
  - la longueur d'onde du signal sonore en m ( $\lambda$ ),
  - les dimensions du transducteur ( $L$  et  $l$ ),
- les lobes secondaires (**Fig 9**).





**Figure 9 :** Ouverture du faisceau acoustique dans le plan horizontal et vertical.  
<http://www.Marinegroup/acoustic.htm>

- La magnétostriction

La magnétostriction utilise les propriétés du nickel ou de certains de ses alliages, pour les fortes puissances. Si le champ est alternatif, une pièce de nickel subit des variations à la fréquence du champ. Réciproquement (effet Villari), une pièce de nickel, préalablement placée dans un champ magnétique et soumise à des oscillations mécaniques, provoque des variations concomitantes du champ magnétique qui induiront un courant électrique alternatif dans les enroulements électriques qui l'entourent.

- La piézo-électricité

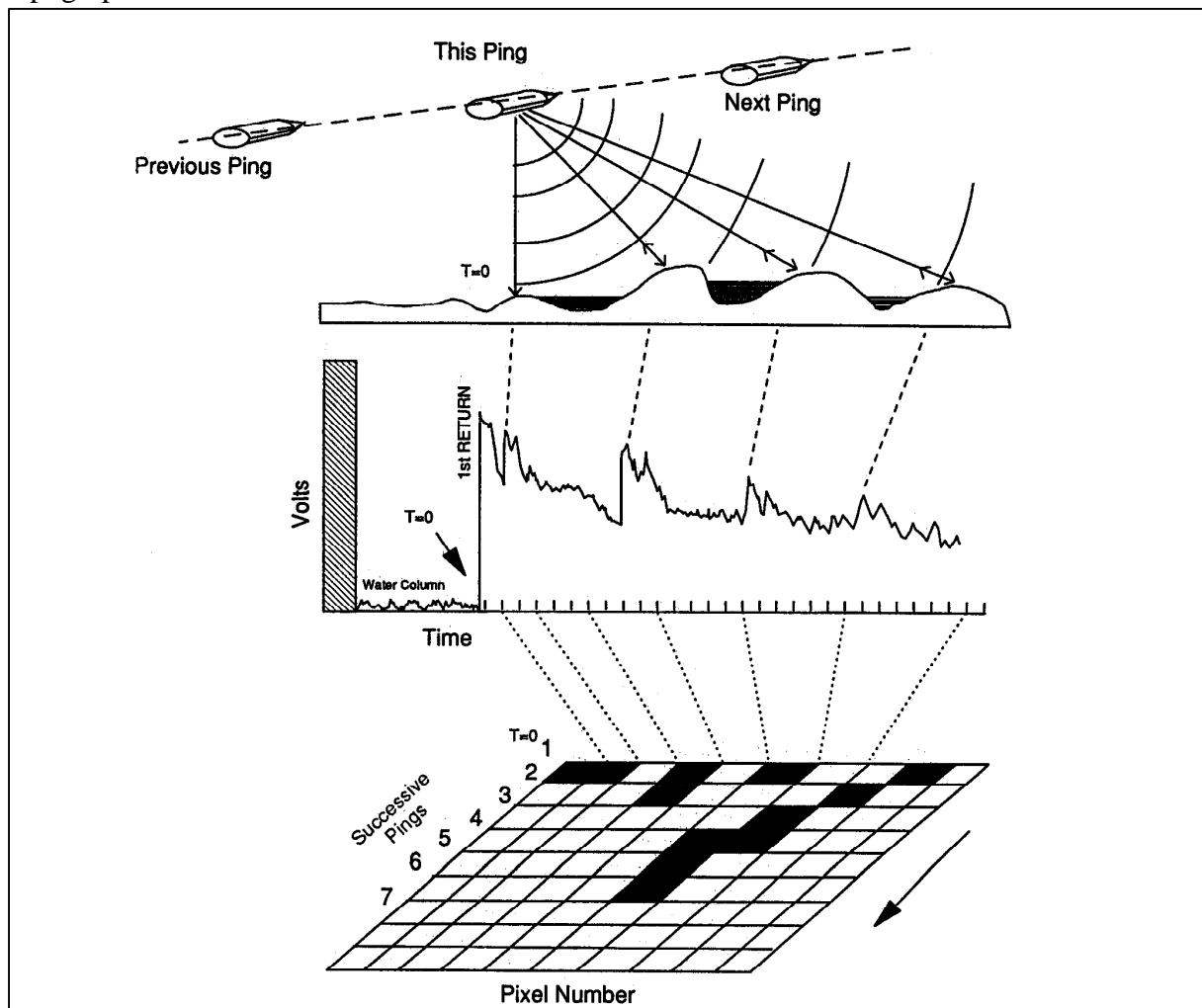
Le terme piezo vient du grec **piezen** (presser, contraindre). Quand on applique une tension électrique sur certains matériaux (céramiques, quartz...), on obtient de ceux-ci une variation de dimensions. Ceci entraîne l'apparition de vibrations sonores (émission). Inversement, lorsque ces matériaux sont soumis à une contrainte (les ondes de pression sonore par exemple), des charges électriques apparaissent à leur surface en créant un signal électrique. Ce signal permet la visualisation de l'onde réfléchie.

## II.5. FORMATION DE L'IMAGE

Une image est constituée par un ensemble de lignes. Chaque ligne est acquise séparément par un même processus acoustique se répétant périodiquement. Chaque récurrence produit une ligne image.

Le principe de la formation d'une ligne image (**Fig 10**) consiste à transformer un signal électrique de courte durée en une onde acoustique via une antenne. La géométrie de cette antenne contraint l'onde à se déplacer uniquement dans un plan vertical perpendiculaire à cette antenne. Cette onde se propage dans l'eau jusqu'à ce qu'elle rencontre un matériau de nature différente. Elle se réfléchit alors dans de multiples directions. Seule l'onde réfléchie empruntant le même chemin que l'onde incidente sera reçue par le sonar qui joue alors le rôle de récepteur.

Chaque point du fond qui est insonifié renvoie un écho. L'amplitude de cet écho est proportionnelle au coefficient de réflexion du matériau et au cosinus de l'angle d'incidence avec la surface insonifiée. La représentation en niveaux de gris du signal reçu forme une image faisant apparaître les objets de nature différente (roche, sédiments...) et la topographie du fond.



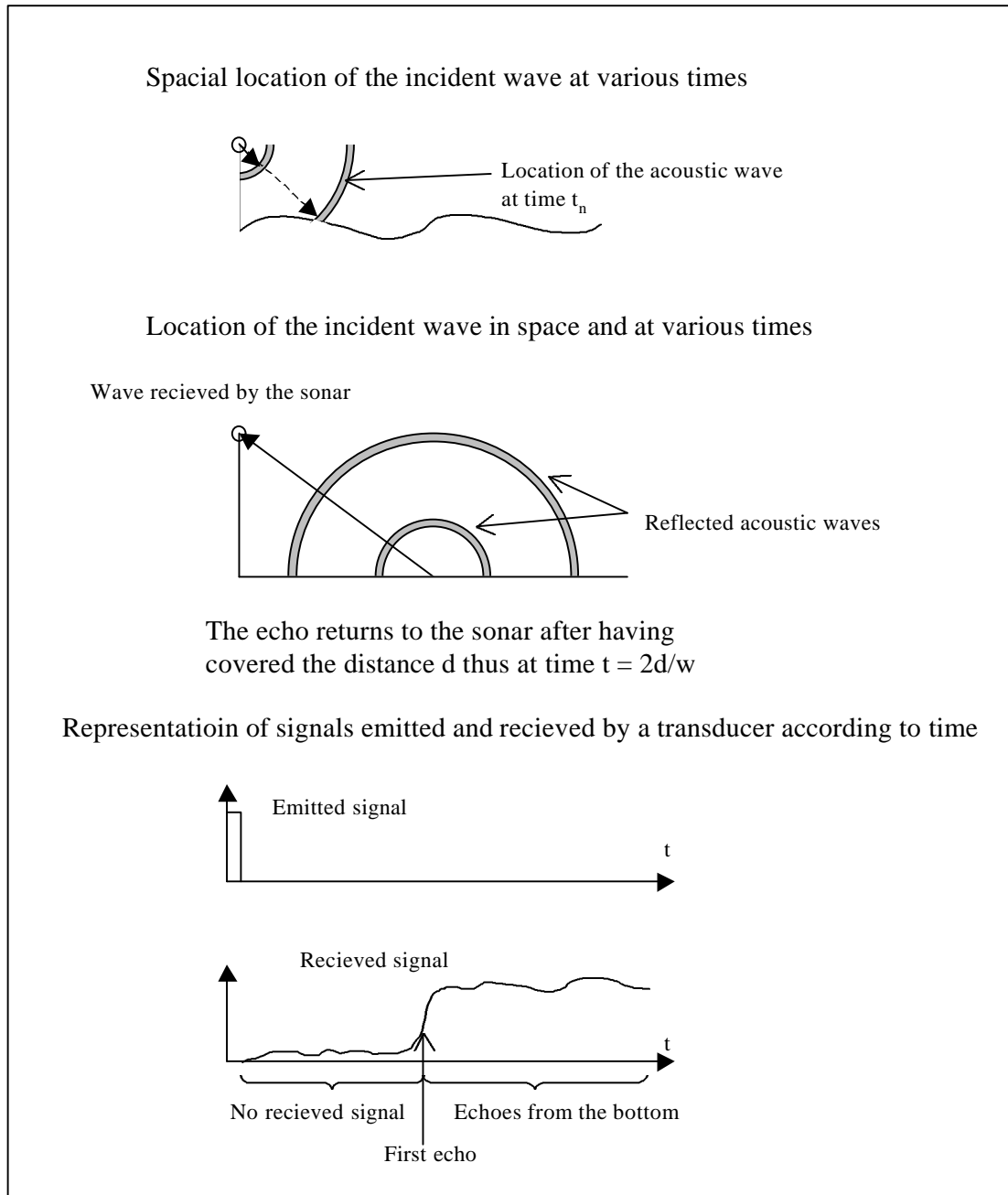
**Figure 10 :** Le procédé de création du pixel image à partir d'une émission sonar.

Tout d'abord, l'onde acoustique, issue de la réflexion spéculaire revient au transducteur. Après le retour de cette première onde, les signaux, liés à la réverbération, apparaissent à des temps différents par des piques dans la morphologie du signal analogique. Ces piques

et ces vallées sont intégrés dans des valeurs de pixels qui seront représentées dans l'échelle des gris sur l'image. D'après Paul Johnson H. & Helferty M., 1990

Une antenne ne fournit l'image que d'un côté du poisson. Les sonars sont donc constitués par deux systèmes acoustiques, l'un fonctionnant à bâbord, l'autre à tribord. Les fréquences utilisées pour ces deux systèmes sont légèrement différentes afin d'éviter les phénomènes de diaphonie (phénomène d'interférence entre deux ondes).

La **figure 11** représente la propagation de l'onde acoustique incidente (émission), la propagation de l'onde réfléchi par une cible ainsi que les signaux acoustiques émis et reçus en fonction du temps.



**Figure 11 :** Illustration des ondes incidentes réfléchies dans l'espace et des signaux émis et reçus par une antenne en fonction du temps. D'après Augustin J.M. & Voisset M., 1989.

## II.6. PORTEE

La portée maximale du sonar latéral dépend de plusieurs facteurs :

- la longueur de l'impulsion,
- la puissance d'émission,
- la fréquence,
- le rapport signal/bruit,
- les propriétés physico-chimiques dans du milieu dans lequel se propage les ondes sonores,
- les conditions de mise en oeuvre (hauteur du poisson au dessus du fond, inclinaison de l'axe du faisceau par rapport à l'horizontale).

### • Longueur de l'impulsion

Une impulsion est une variation brusque d'une grandeur physique que l'on crée volontairement, suivie d'un retour rapide à la valeur initiale.

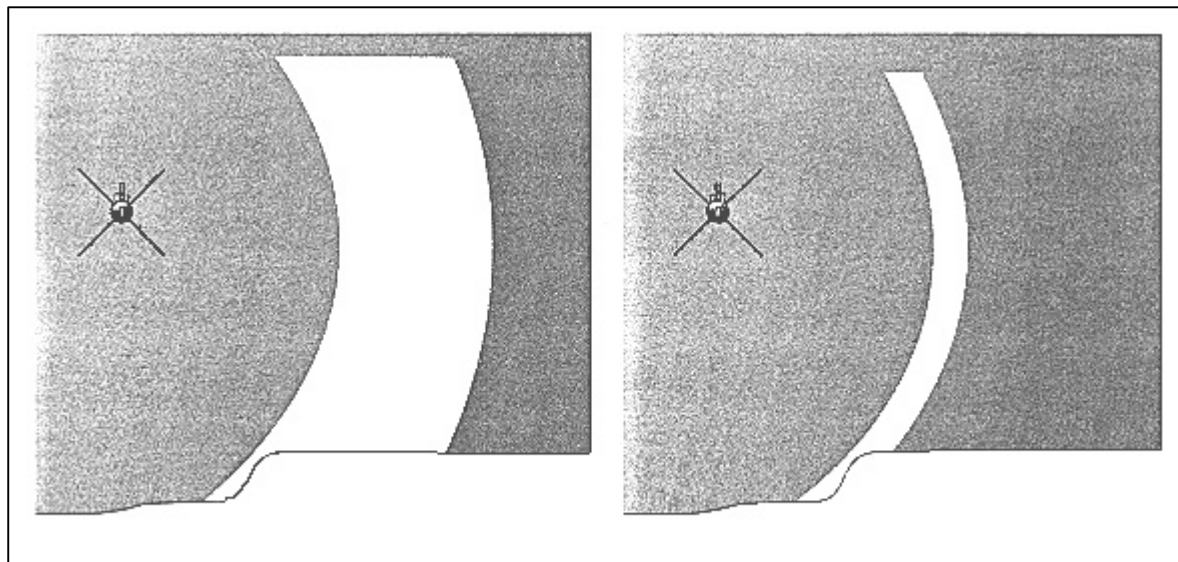
La longueur d'impulsion, que l'on peut généralement modifier en fonction des besoins, est donnée par la relation :

$$R = \frac{ct}{2}$$

avec :

- **R** : longueur d'impulsion,
- **c** : célérité du son dans l'eau,
- **t** : temps d'enregistrement.

Une longue impulsion engendre donc une grande portée latérale et inversement, une impulsion plus courte correspond à une portée latérale plus réduite (**Fig. 12**).



**Figure 12 :** Relation entre longueur d'onde et portée. D'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990.

### • Puissance d'émission

Le constructeur fixe généralement cette puissance d'émission en mettant en place des caractéristiques physiques et électroniques calculées de manière à obtenir le meilleur rendement possible. Elle est limitée par la contrainte de non-cavitation. Une émission de forte puissance est à l'origine de la création de micro-bulles dans l'eau. Ces bulles favorisent la réverbération, par le volume d'eau, de l'onde acoustique masquant ainsi le signal.

Le choix du matériel à utiliser sera donc fonction de la portée désirée.

### • Fréquence

La fréquence reste la caractéristique principale des systèmes acoustiques en général et du sonar latéral en particulier. Le tableau suivant présente les relations existantes entre fréquence, longueur d'onde et portée.

Frequency	Wavelength (m)	Distance
100 Hz	15	1000 Km ou plus
1 kHz	1,5	100 Km ou plus
10 kHz	0,15	10 Km
25 kHz	0,06	3 Km
50 kHz	0,03	1 Km
100 kHz	0,015	600 m
500 kHz	0,03	150 m
1 MHz	0,0015	50 m

La portée du sonar latéral peut être de quelques mètres à plusieurs milliers de mètres pour des fréquences variant 500 kHz à de 4 kHz et des puissances variables.

La fréquence conditionne essentiellement la portée car l'absorption du son dans l'eau augmente proportionnellement avec le carré de la fréquence.

On utilise généralement la formule empirique suivante :

$$rf^2 = 1300$$

avec :

- **f** : fréquence optimale (kHz),
- **r** : portée.

Si **f** augmente, **r** diminue, donc la portée diminue et la résolution augmente.

La fréquence d'un sonar est choisie en fonction de son application :

- **Une gamme basse fréquence** : de 4 à 12 kHz pour les systèmes grand fonds à bandes larges et à remorquage en surface (ex: Gloria).

- **Une gamme haute fréquence** : de 100 à 500 kHz pour les petits fonds du plateau continental mais aussi pour les systèmes remorqués près du fond par grande profondeur (ex : SAR).

L'utilisation préférentielle de ces fréquences vise à obtenir :

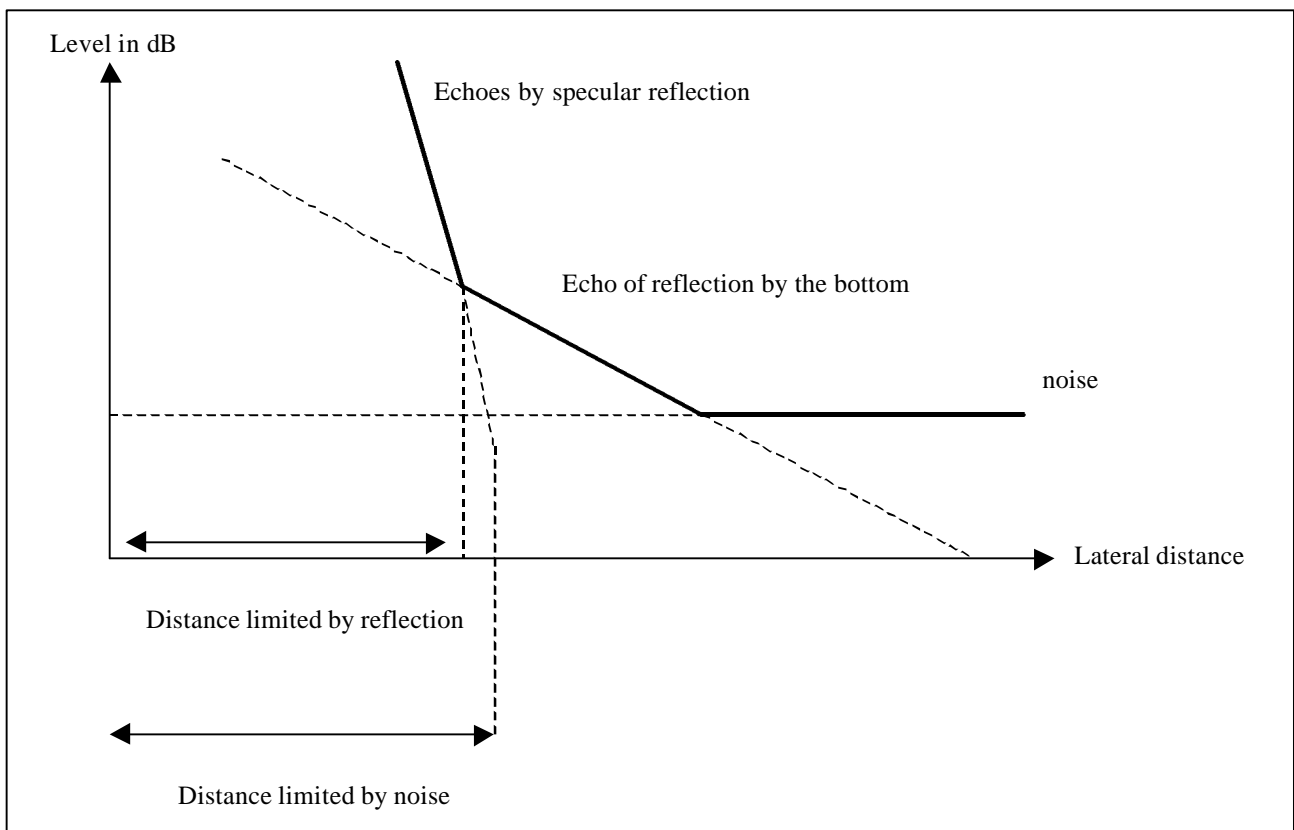
- une couverture la plus large possible (la dizaine de kilomètres et au delà) au détriment de la définition de l'image (résolution),
- une résolution très élevée (inférieure au mètre), au détriment de la portée (inférieure au km).

Exemples :

- Gamme basse fréquence : le Gloria II avec 6.2 à 6.8 kHz, portée maximale : 22.5 km (résolution : 100 m), profondeur de travail: 500 m,
- Gamme haute fréquence : le SAR avec 170 à 190 kHz, portée maximale : 0.75 km (résolution : 0.75 m ), profondeur de travail : inférieure à 6000 m,
- le Sea Marc 1 utilise la fréquence intermédiaire de 30 kHz, cherchant ainsi un difficile compromis entre portée et résolution (portée maximale de 2.5 km et résolution de 5 m).

#### • Rapport signal sur bruit

On enregistre au niveau du transducteur un signal sonore qui correspond à la réponse du fond, ainsi que différents bruits. Le bruit correspond à tout phénomène indésirable dont l'amplitude instantanée n'est pas connue à priori et qui peut être, soit lié, soit extérieur à l'émission acoustique.



**Figure 13 :** Relation en rapport signal sur bruit et portée.

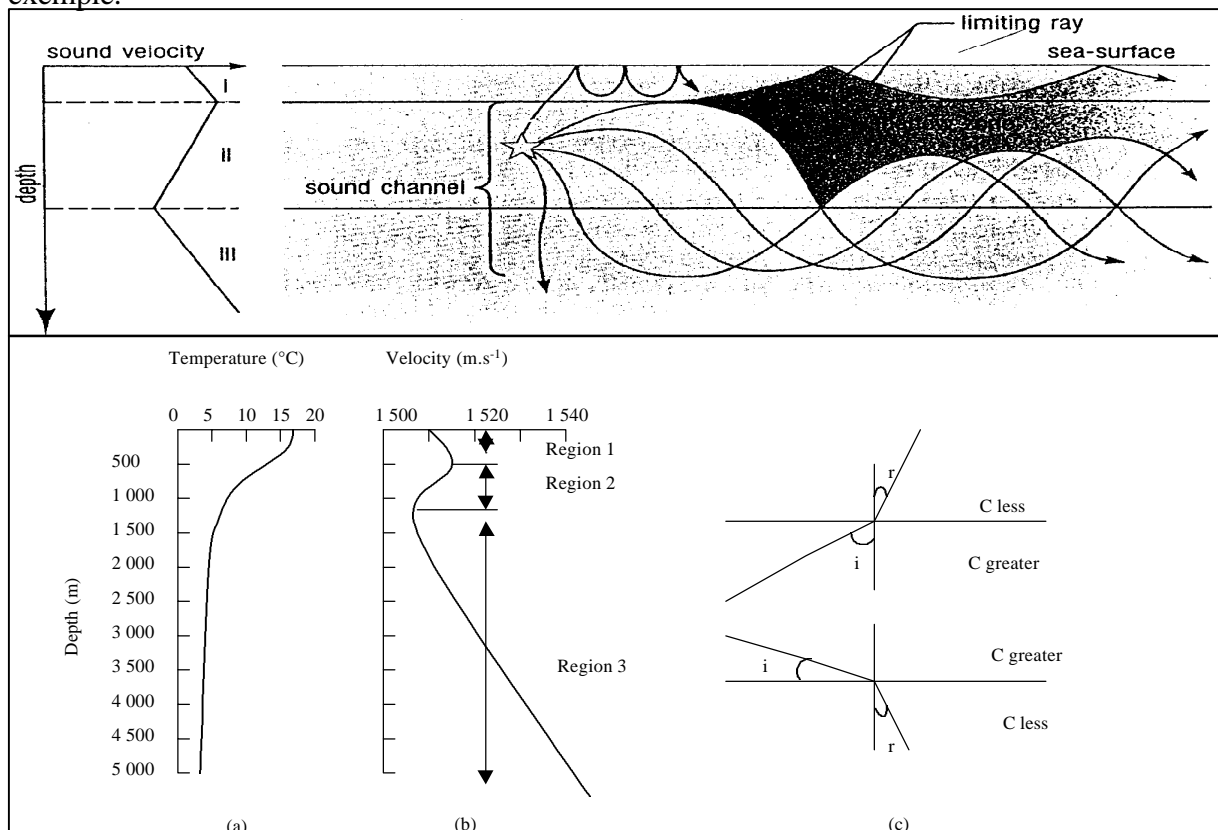
Les bruits rencontrés en acoustique sous-marine sont :

- le bruit propre qui représente tous les bruits recueillis dans l'antenne,
- les bruits électroniques,
- les bruits du milieu (les bulles et embruns, le vent pour les très basses fréquences, les précipitations, le trafic...),
- les bruits du reporter (câbles...),
- les bruits de réverbération.

Le bruit limite les performances de l'appareil et, en particulier, la portée. Il existe une distance limite pour laquelle le bruit devient supérieur au signal (**Fig 13**). En effet, l'écho et la réverbération décroissent avec la distance parcourue par l'onde acoustique tandis que le bruit demeure constant.

#### • Propriété du milieu de propagation

La portée des systèmes sonar est liée aux conditions de propagation des ondes dans le milieu (la vitesse de propagation et géométrie du système). La célérité des ondes sonores varie avec la pression, la température et la salinité dans le milieu, avec la teneur en matières en suspension et en matières dissoutes. Ces paramètres stratifient le milieu, et font varier la célérité du son conduisant ainsi au phénomène de déviations (**Fig 14**) des rayons sonores dans l'eau. La portée s'en trouve modifiée et présente un défaut de portée maximale. Il est ainsi préférable de faire naviguer le poisson sous la thermocline par exemple.



**Figure 14 :** Un exemple de rayon pour un son émis dans une région 2, montre la propagation de l'onde et la zone d'ombre. La zone d'ombre est définie par les limites du rayon, réfléchi à la surface de la mer et/ou à la frontière entre la région 1 et 2. LEFAUDEUX F., sd.

- A) Un profil température profondeur dans l'océan.
- B) Un profil de vitesse du son dans l'eau.
- C) Schémas illustrant la réflexion à l'interface où la vitesse du son change.

- Conditions de mise en oeuvre

Les conditions de mise en oeuvre dépendent de l'objectif que l'on veut atteindre en conditionnant la hauteur du poisson au dessus du fond.

Dans le cas d'une masse d'eau homogène, la hauteur du poisson au dessus du fond doit être de 10 à 20% de la portée maximale. Il est en effet souhaitable que les angles de rasance soient compris entre  $10^\circ$  et  $45^\circ$  pour que le sonar puisse effectivement jouer son rôle, qui est de fournir une autre visualisation du fond, bien différente de celle qu'apporte un sondeur à incidence normale par définition. La valeur maximale de  $45^\circ$  est choisie pour limiter les distorsions de l'image acoustique.

### III. DETECTION D'OBJETS

#### III.1. LA DETECTION ET LA RESOLUTION

Il est important de ne pas confondre le concept de résolution avec la capacité d'un faisceau à détecter des objets. La résolution est la faculté, pour un système, à distinguer deux cibles séparées sur le fond, alors que la détection est la capacité d'un objet, sur le sol marin, de faire une trace visible sur l'image sonar. Cette confusion se présente car le sonar latéral a la possibilité de détecter des objets sur le fond qui ont une taille inférieure à la grandeur définie par le pouvoir de résolution, particulièrement pour les surfaces où la réflexion est faible.

Le critère fondamental, de la détection, est différent de celui de la résolution. Si un objet peut fournir suffisamment d'énergie réfléchi au transducteur, et si l'environnement, derrière la réflexion, est à la fois uniforme et faible (pour fournir un contraste adéquat avec une cible hypothétique), alors l'objet peut-être considéré comme un objet sonar, même s'il est considérablement plus petit en dimension que le pouvoir de résolution du système. Pour la haute résolution d'un système sonar, 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 est obtenue par la qualité du contraste, de l'écho et de l'ombre reçue par le sonar.

#### III.2. LES DIFFERENTES DETECTIONS

##### III.2.1. *Détection par contraste*

Le contraste (**Z**) est égal au rapport de l'énergie reçue par l'antenne par simple réverbération et l'énergie reçue lorsqu'un objet, ou son ombre, est présent au milieu du lobe.



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

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.

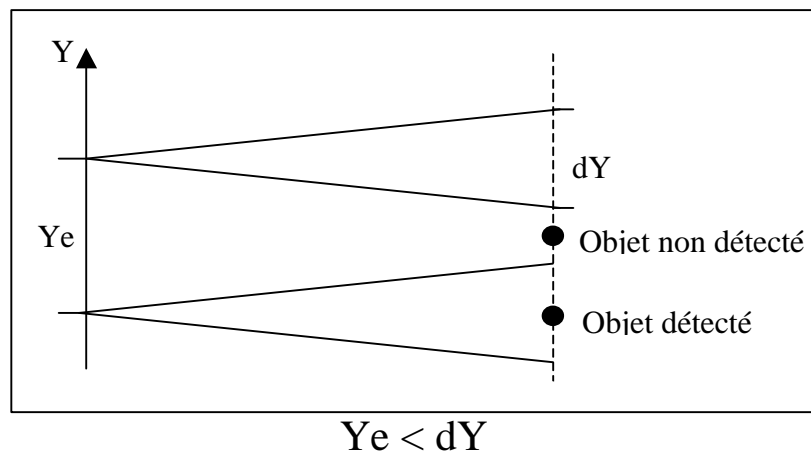
Si l'intensité réfléchie par l'objet ( $I_x$ ) est égale à la moitié de l'intensité réfléchie en son absence ( $I_y/2$ ), alors le contraste est suffisant pour détecter une ombre.

### III.2.2. 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 :

- le contraste écho/réverbération est bon. Il faut donc connaître les caractéristiques lithologiques de l'obstacle.
- la période d'échantillonnage spatial selon Y (le déplacement du poisson) est inférieure à la largeur du lobe pour ne pas manquer l'obstacle.

La **Figure 15** définit la distance maximale entre deux lobes successifs pour être sûr de détecter l'objet. De plus, deux objets distants de moins de  $\Delta Y$  apparaîtront confondus.



**Figure 15 :** La limite de détection entre deux lobes successifs.

### III.2.3. 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.

## IV. RESOLUTION D'UN SONAR LATERAL

La résolution caractérise le grain de l'image (on parle aussi de pixel), c'est à dire la taille minimale des objets que l'on pourra détecter. C'est un des caractères les plus important du sonar.

Elle peut se définir aussi comme l'écart minimum qui doit exister entre deux objets ponctuels pour qu'ils soient discernables l'un de l'autre (notion que l'on peut confondre avec le pouvoir séparateur de l'instrument).

On peut définir quatre types de résolution :

- résolution angulaire,
- résolution longitudinale,
- résolution transversale,
- résolution de restitution.

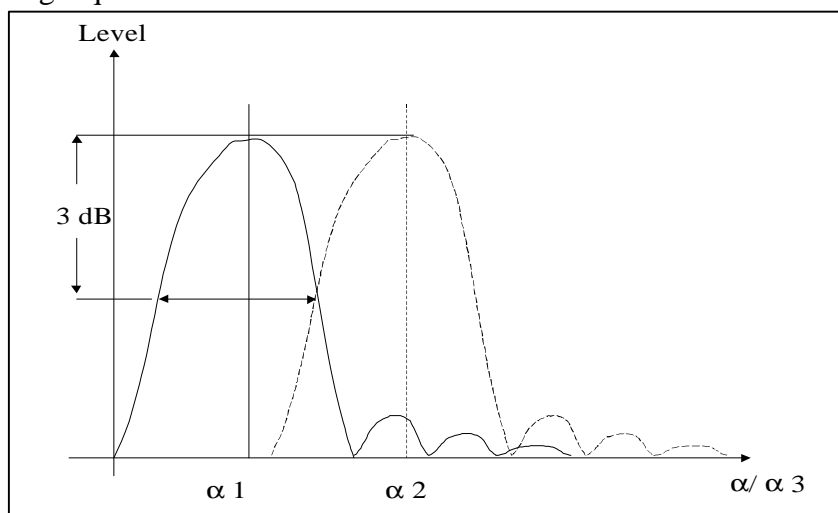
La propagation du rayon acoustique n'étant pas la même dans tous les sens, les images sonars sont intrinsèquement anisotropiques. Il est donc nécessaire de comprendre le concept de résolution dans les directions longitudinales et transversales avant d'essayer d'interpréter des traits géologiques sur une image. De plus, la résolution instrumentale, sensible à la direction, est modifiée dans la représentation finale par la taille limite du pixel image. La combinaison du nombre de pixels et de la largeur du rayon acoustique, utilisé par le sonar, définit la résolution de restitution. L'appréciation des interférences de ces résolutions instrumentale et de restitution permettra aux opérateurs d'élaborer des stratégies de survey appropriées et de mieux évaluer l'identité d'une trace acoustique dans l'image finale.

La connaissance des capacités et des limites d'un système permet à son utilisateur d'en faire bon usage. De nombreux facteurs doivent être considérés pour pouvoir définir le pouvoir de résolution d'un système sonal.

### IV.1. RESOLUTION ANGULAIRE

Par définition, la résolution angulaire est la largeur du lobe de directivité de l'antenne. La valeur maximale de l'énergie est à -3 dB du niveau maximal du lobe.

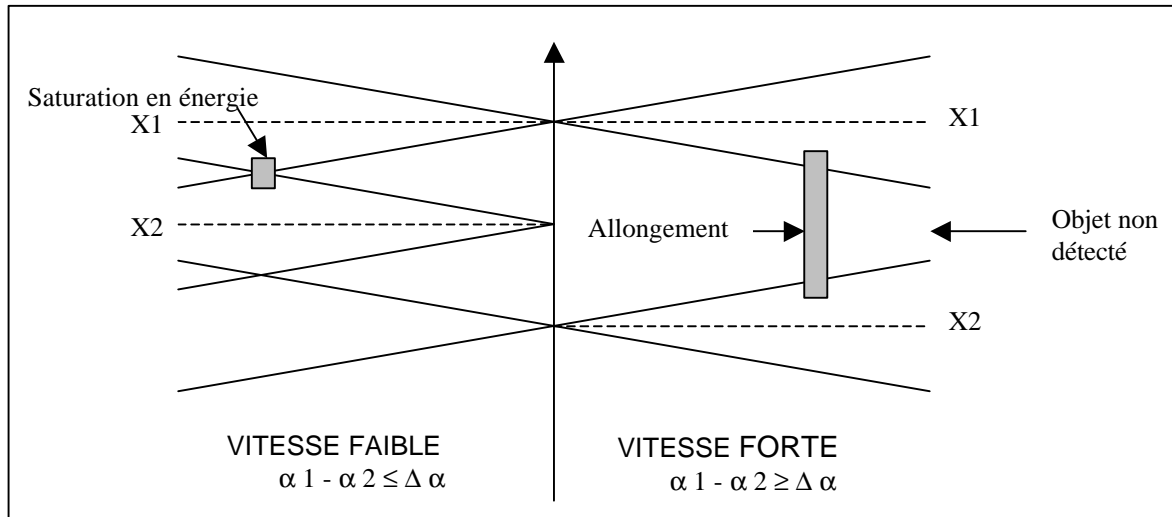
Si l'on considère (**Fig 16**) deux lobes de directivité pris à deux temps différents,  $\Delta\alpha$  représente la largeur d'un lobe principal pris à - 3 dB (lobe de directivité),  $\alpha_2$  et  $\alpha_1$  sont les maxima énergétiques de deux lobes successifs.



**Figure 16 :** Succession de deux lobes d'émission acoustique permettant d'optimiser la résolution angulaire.

Si  $\alpha_2 - \alpha_1 < \Delta\alpha$  : le minimum commun entre les deux lobes n'existe pas.

Si  $\alpha_2 - \alpha_1 > \Delta\alpha$  : les deux minima sont plus perceptibles et le contraste plus grand.



**Figure 17 :** Variation de la résolution angulaire.

Si les deux lobes sont trop écartés, ce qui traduit une vitesse trop grande du poisson par rapport à la cadence de tir, on allonge artificiellement le pixel image dans le sens longitudinal. A l'inverse, une vitesse trop faible ou une cadence de tir trop rapide est à l'origine d'un chevauchement trop important des lobes et éventuellement d'une saturation énergétique du transducteur.

En fait, le constructeur du sonar doit s'arranger pour que l'écartement minimum entre deux tops ( $\alpha_2 - \alpha_1$ ), donc deux impulsions, soit tel que le recouvrement d'un objet A se fasse à l'intersection des deux lobes consécutifs (point optimal).

## IV.2. RESOLUTION LONGITUDINALE

La résolution longitudinale notée ( $\Delta Y$ ) 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, en raison de l'ouverture du faisceau ultrasonore dans le plan horizontal (quelques degrés), un objet ponctuel est enregistré durant plusieurs cycles d'émission. La distance minimale entre deux points doit donc être inférieure à la largeur du faisceau. La résolution dépend donc de l'angle d'ouverture en gisement du faisceau et de la distance entre le poisson et l'objet éclairé.

Par rapport au gisement :

$$\Delta Y = ct \times \tan \frac{\theta}{2}$$

Par rapport à D (distance poisson/objet) :

$$\Delta Y = 2D \times \tan \frac{\theta}{2}$$

avec :  $\theta$  : ouverture en gisement (degré),

$c$  : célérité,

$t$  : temps d'enregistrement,

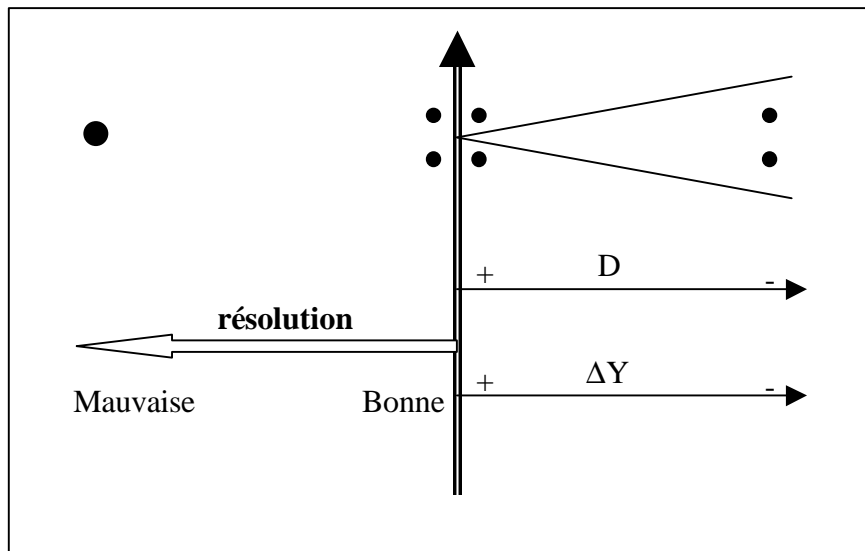
et  $D = \frac{ct}{2}$

Elle dépend aussi de la combinaison entre la cadence de tir et la vitesse du sonar. Une bonne maîtrise de ces paramètres est fondamentale pour avoir une bonne résolution longitudinale. Deux points séparés au fond doivent en effet être définis par deux tirs adjacents pour apparaître distincts à l'image (Résolution angulaire).

#### IV.2.1. Variation de la résolution longitudinale

- En fonction de la portée

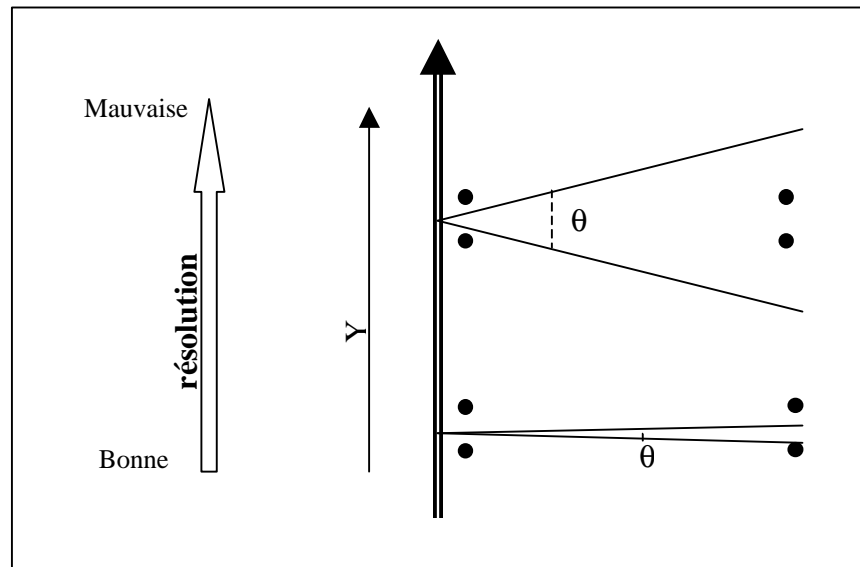
Pour un angle  $\theta$  donné, la distance objet/poisson (D) augmente du centre de l'image vers ses bordures et donc  $\Delta Y$  augmente. Ainsi, il faut un écart plus grand pour des objets plus éloignés. La résolution s'affine donc vers le centre de l'image.



**Figure 18 :** Variation de résolution longitudinale en fonction de la portée.

- En fonction de l'angle de gisement

Pour D constant, plus  $\theta$  est petit et plus  $\Delta Y$  diminue, d'où une meilleure résolution car l'écart nécessaire pour définir deux objets séparés est plus petit.

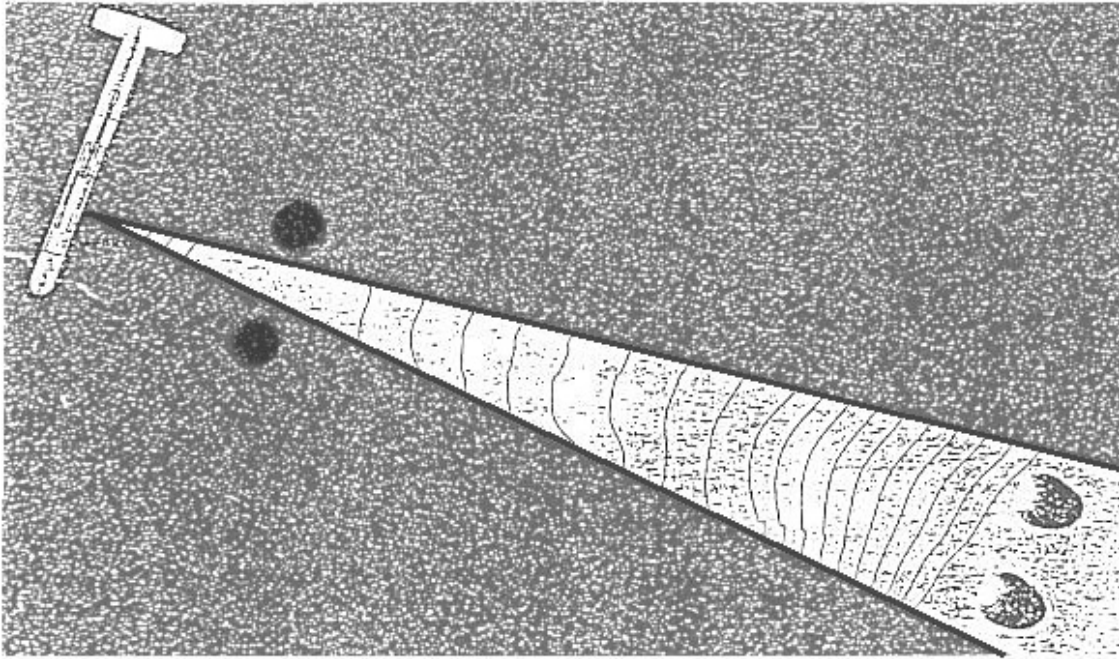


**Figure 19:** Variation de la résolution longitudinale en fonction de l'angle de gisement du rayon acoustique.

#### IV.2.2. Exemple

La **Figure 20** permet de voir que deux objets plus proches de la trajectoire du poisson, placés l'un près de l'autre, bénéficieront d'une largeur de faisceau plus étroite. Ils seront bien cernés l'un après l'autre par les ondes sonores. Ils donneront sur l'image sonar deux échos bien discernables et bien distincts.

Si les objets sont éloignés du poisson, la largeur du faisceau acoustique est plus grand. Les deux cibles, séparées sur le fond marin, seront éclairées par le même faisceau. Elles vont apparaître sur l'enregistrement en une unique trace et ne seront pas distinguées. Cette figure utilise un angle exagéré de gisement pour une plus grande netteté.



**Figure 20 :** L'étendue du faisceau acoustique affecte le pouvoir de résolution du sonar latéral. Dans les régions proches, où le faisceau est étroit, deux objets rapprochés seront insonifiés et définis comme des objets séparés et distincts. Comme le faisceau s'élargit en s'éloignant du poisson sonar, ce même rayon éclairera deux objets très rapprochés qui apparaîtront en un unique point sur l'enregistrement.  
D'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990

#### IV.2.3. Conclusion

En résumé, il faut retenir que la résolution longitudinale est d'autant meilleure que l'objet est proche (intérêt de naviguer le plus près possible du fond) et que l'ouverture en gisement est petite (haute fréquence et faible puissance). Elle se dégrade du centre de l'image vers ses limites latérales. Une cadence de tir plus rapide et une vitesse de remorquage du poisson plus lente donneraient aussi une meilleure résolution (chap. Sur la résolution angulaire). Mais cette résolution longitudinale a un caractère théorique car, dans la pratique, l'effet de lacet, souvent supérieur à l'angle d'ouverture du faisceau en gisement, est prépondérant.

### IV.3. RESOLUTION TRANSVERSALE

La résolution transversale ( $\Delta X$ ) est la distance minimale nécessaire pour définir deux objets distincts sur la perpendiculaire à la trajectoire du poisson (suivant le sens de l'éclairement).

Elle dépend essentiellement de la longueur de l'impulsion émise, de l'angle d'incidence du rayon sonore sur le fond et 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 est déterminée par les variations de la taille de l'empreinte lors de son insonification.

En supposant un fond éclairé continu, plat et horizontal, on note.

$$\Delta X = \frac{l \times ct}{2\sqrt{c^2t^2 - 4h^2}}$$

avec :

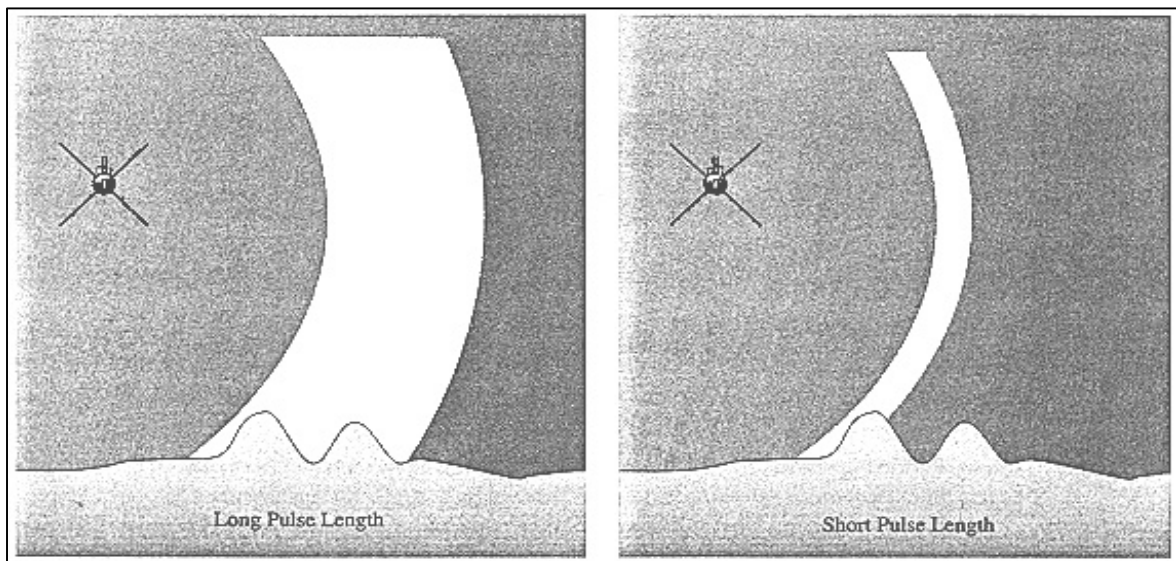
- **l** : longueur d'impulsion,
- **h** : hauteur d'eau sous le poisson,
- **c** : célérité,
- **t** : temps d'enregistrement,
- **ct/2** : distance poisson/objet.

#### IV.3.1. Variation de la résolution transversale

- En fonction de la longueur de l'impulsion

Dans le cas (**Figure 21a**) d'une longue impulsion (forte portée), l'onde va considérer l'obstacle comme s'il n'était constitué que d'un seul relief, l'enregistrement ne montrera qu'une seule trace.

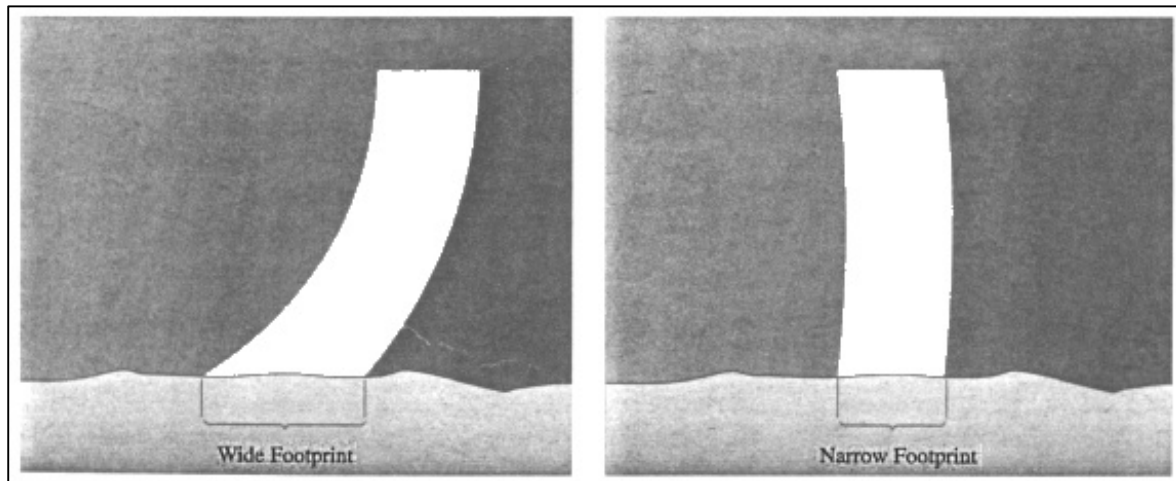
Dans le cas (**Figure 21b**) d'une courte impulsion (faible portée), l'onde plus courte éclairera d'abord le premier relief plus à gauche, puis viendra éclairer l'autre relief très proche. L'enregistrement montrera deux traces bien distinctes.



**Figure 21 :** L'influence de la largeur du rayon acoustique sur la résolution transversale du sonar. Une impulsion longue va considérer les deux reliefs comme un seul et ils apparaîtront en une seule trace sur l'enregistrement. Une impulsion plus courte éclairera d'abord la première cible, puis viendra éclairer la seconde. Depuis que la longueur d'onde peut être traduite en distance dans l'eau, le technicien peut déterminer si deux objets séparés sur le sol marin peuvent être définis sur l'image.

D'après Fish J.P. & Garr H., 1990

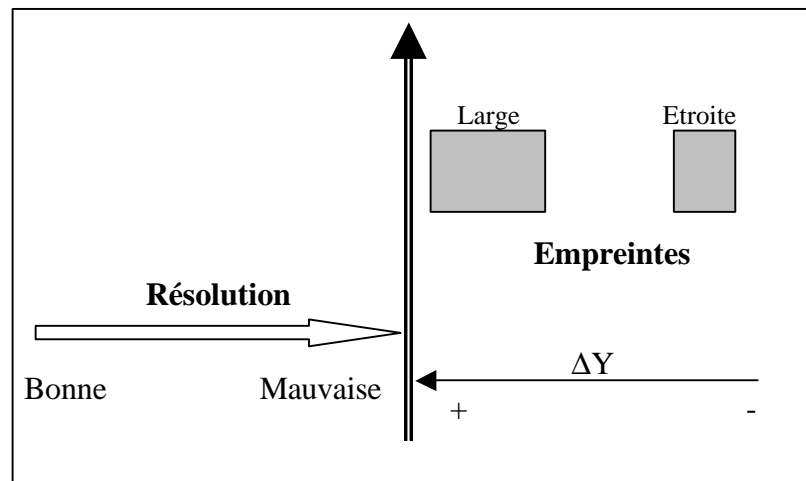
- En fonction du temps d'enregistrement



**Figure 22 :** Bien que la résolution globale diminue avec la propagation du faisceau acoustique, la résolution transversale augmente avec la portée.

L'émission sonar a la forme d'un arc dans l'eau. Quand le rayon touche le fond, près du poisson, son empreinte est plus large que s'il s'était propagé plus longtemps.

Le pouvoir de résolution transversale pour une fréquence d'émission change à chaque moment. À partir du moment où le signal acoustique quitte le transducteur, l'empreinte de la région insonifiée sur le fond marin change. Pour les portées les plus faibles (**Figure 22a**), et plus particulièrement sous le poisson, l'arc de l'onde crée une large empreinte. Loin du poisson (**Figure 22b**), l'onde forme un plus grand arc et donc une plus petite empreinte. La taille de la trace est dépendante de la distance poisson/objet. Cette conclusion sera importante pour avoir une résolution transversale optimale.

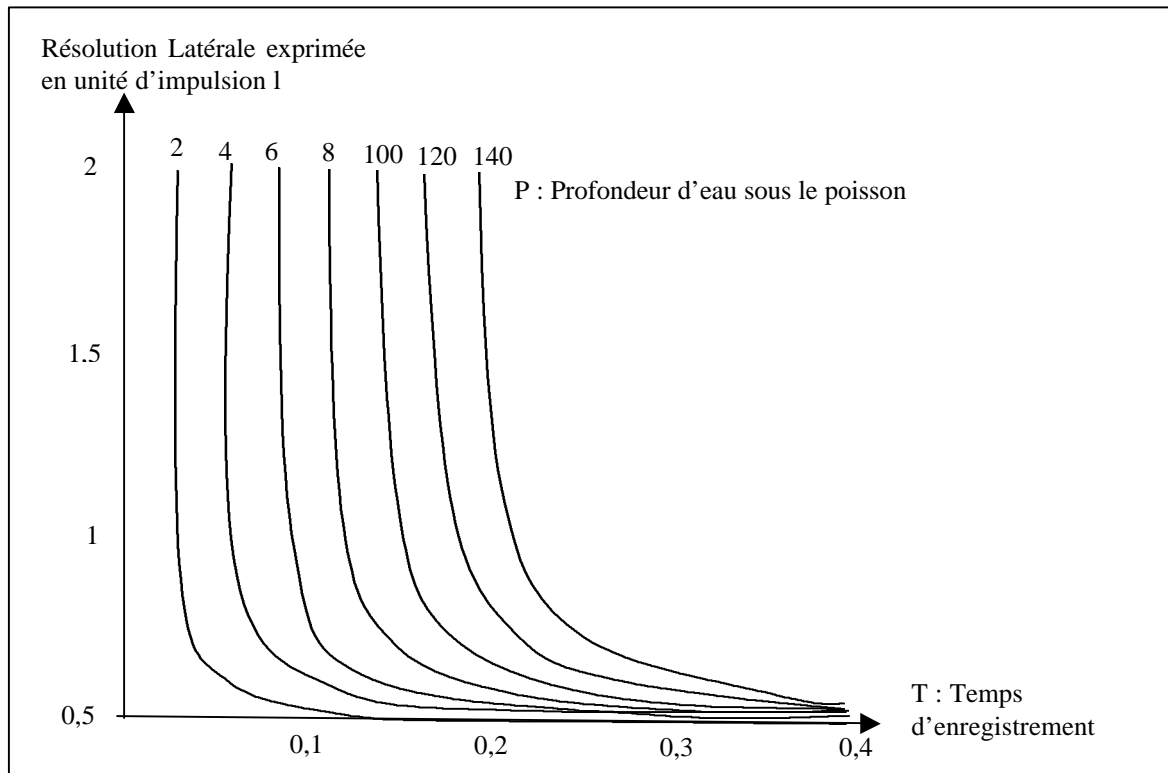


**Figure 23 :** Variation de la résolution transversale en fonction du temps d'enregistrement.

- Variation selon la profondeur d'eau sous le poisson

Pour un même temps d'enregistrement, plus il y a d'eau sous le poisson et moins la résolution est bonne. À l'inverse la résolution suivant le sens de l'éclairage est d'autant meilleure que le temps de propagation est plus grand, c'est à dire que l'incidence est plus rasante.

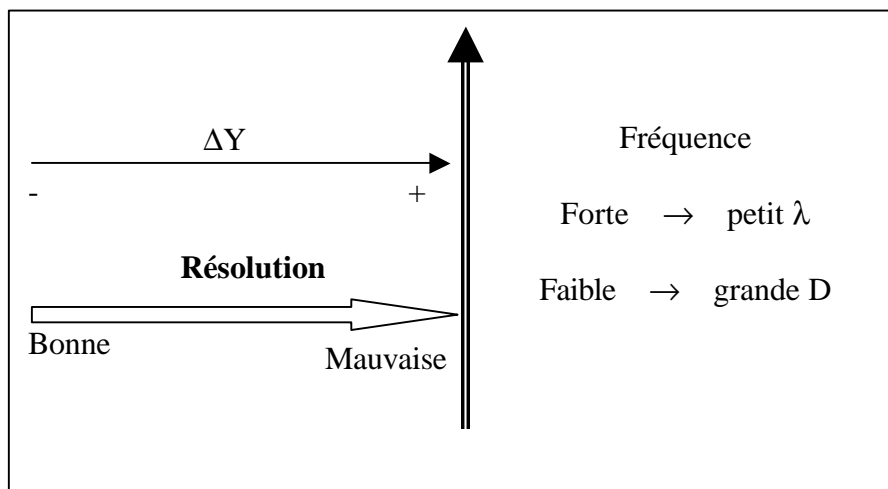




**Figure 24:** Variation de la résolution transversale en fonction de la hauteur d'eau sous le poisson et du temps de propagation. (MEAR Y.,1995).

#### IV.3.2. Conclusion

La résolution est optimale quand les paramètres de l'acquisition des données ont des caractéristiques bien définies : une distance  $D$  poisson/objet importante, une hauteur de poisson au-dessus du sol marin et une longueur d'onde petite. Mais ceci implique un compromis dans le choix de la fréquence. Si on souhaite une longueur d'onde assez courte, la fréquence doit être forte et inversement pour augmenter la portée.

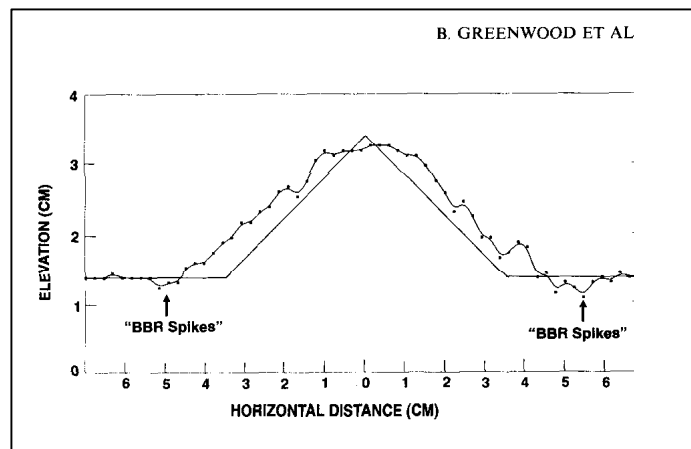


**Figure 25:** La résolution transversale.

### IV.3.3. MODELISATION

La résolution transversale et l'exactitude accomplie dans la mesure de différentes petites topographies sont évaluées dans un laboratoire utilisant une cuve de calibrage acoustique et un fond artificiel. Ce fond artificiel est construit en triangle ( $0.04 \times 0.04 \times 0.07$  m) avec de l'aluminium, de 3 cm de long, et recouvert de sable pour simuler les propriétés de la réflexion du fond marin. Cet élément est attaché à la surface d'un disque à la distance de 4.75 cm de son centre de gravité. Le disque a une rotation d'environ  $0.053 \text{ m.s}^{-1}$ . Le sonar latéral était positionné à une distance de 50 cm par rapport à la base de l'élément donnant une empreinte de 6 mm.

La **Figure 26** illustre le profil 2D du fond artificiel déterminé acoustiquement par rotation par le rayon acoustique dans de l'eau claire à  $20^\circ\text{C}$  ainsi que l'image réelle de la forme artificielle.



**Figure 26 :** Image acoustique d'un sol marin artificiel triangulaire (GREENWOOD B. et al., 93)

La résolution transversale obtenue en laboratoire est de  $\pm 2 \text{ mm}$ . De sorte que, il est évident qu'un sonar ne peut définir la forme du fond artificiel parfaitement. Les distorsions se présentent comme le résultat de la variation dans l'énergie réfléchie, de la «Sloping surface error» et de la réponse acoustique des changements importants dans le gradient de surface.

L'erreur de l'étendue en pente résulte de la méthode de détection de la réflexion acoustique, venant de la pente de surface, avec une largeur de rayon finie (le système de détection acoustique sélectionnera toujours le premier large retour acoustique obtenu de la pente montante des bords de l'empreinte acoustique). Par exemple, le lissage de la crête de la forme du fond est à attendre car il y aura toujours une tendance inhérente dans le système de détection acoustique vers les signaux venant des flancs autour de la crête (et pour une plus basse élévation). La petite aire de surface disponible est la source de la réflexion acoustique de la crête et de la largeur finie du rayon acoustique.

Certaines formes de distorsion sur la **Figure 27** sont sans doute dues au léger passage oblique du rayon acoustique à travers la forme triangulaire, comme elle tourne. Cette distorsion est extrêmement petite et son maximum de déformation résulte de la limite acoustique. La surestimation de l'étendue de la cible est une anomalie particulière. Cette estimation erronée se présente même sur la surface plate et elle est apparente aussi sur la mesure des champs. Alors que la forme de distorsion est évidente, l'image acoustique de cette forme extrêmement ondulée est clairement acceptable. La hauteur de l'ondulation peut-être définie à environ 1 mm et la pente des flancs de l'ondulation à peu près de  $\pm 1^\circ$ .

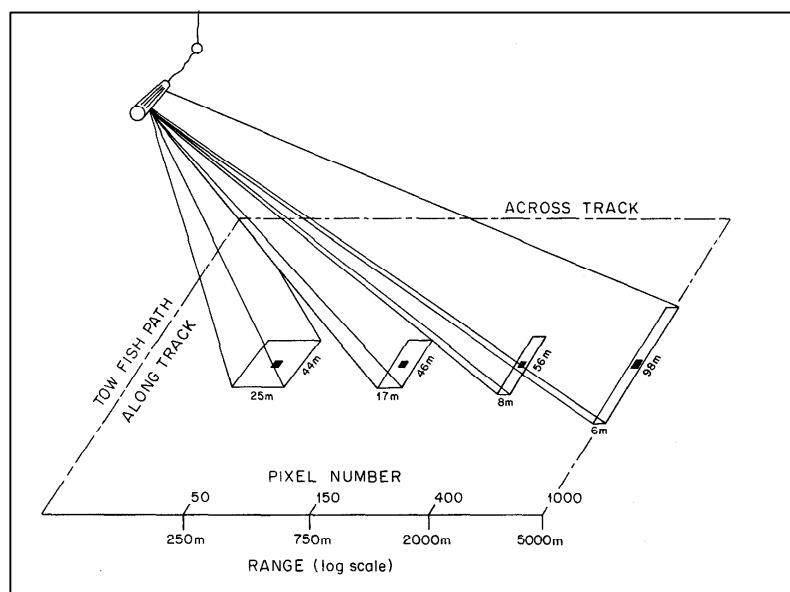
## V. RESOLUTION DE RESTITUTION

Les résolutions, longitudinale et transversale, décrites ci-dessus, fournissent les limites fondamentales du pouvoir de résolution du système sonar. Mais aucune de ces limites ne sont prises en compte, par les interprètes, jusqu'à ce que les données soient présentées en images. La technique utilisée pour représenter une image agit comme un «filtre final». Un filtre qui peut intégrer, modifier et artificiellement rehausser ou embuer l'image finale. La représentation du fond qui est exposée à la fin ne pourra jamais être plus fine que les limites de la résolution déjà décrites. Elle ne peut être que plus mauvaise.

Pour le sonar latéral, la meilleure forme commune de résolution utilisée est la taille du pixel, obtenue en divisant simplement la largeur des deux portées latérales par le nombre total de pixel. Par exemple pour le Sea Marc 2 : c'est 4.9 km (10 km/2048 pixels). Cette figure a été nommée «image processing resolution» et c'est une valeur de mérite facile à calculer pour la comparaison des différents systèmes à balayage acoustique. Cette figure (indépendante de la portée du faisceau) est fréquemment mal interprétée comme le pouvoir de résolution de l'instrument. Elle n'est pas une mesure vraie du pouvoir de résolution, même si elle a des dimensions correctes (longueur) et qu'elle est certainement une longueur caractéristique de l'image. Au contraire la résolution instrumentale actuelle doit chercher à estimer l'aire du fond marin, source du retour acoustique à intégrer dans un pixel donné. Par manque de meilleurs termes, ce concept est appelé : «the pixel ensonification area». La résolution longitudinale et transversale variant avec la distance objet/poisson, il est nécessaire de considérer que cette aire insonifiée est dépendante de la portée.

### V.1. RESOLUTION INSTRUMENTALE

La **Figure 27** montre une représentation d'aires du fond marin fournissant l'énergie acoustique qui est moyennée dans un unique pixel pour plusieurs distances différentes longitudinalement à la trajectoire du poisson.



**Figure 27:** Ce diagramme montre la taille et la forme des zones du fond marin qui sont représentées par un simple pixel. Elles varient dans la direction transversale à l'avancement du poisson et elles déterminent le pouvoir de résolution du système. (PAUL JOHNSON H. et HELFERTY M., 1990).

Comme le montre cette figure, toute l'énergie rétrodiffusée qui est reçue de la zone considérée, est moyennée en une unique valeur numérique représentée par un pixel. Si nous considérons que la taille d'un pixel est de 5 m sur 5 m, alors l'aire la plus proche du chemin parcouru par le poisson (au 50<sup>e</sup> pixel) contient l'énergie rétrodiffusée d'une zone du fond de 5 pixels sur 9 pixels (25 x 44 m). Pour cet exemple, l'énergie, reçue par le transducteur, vient de l'insonification d'une surface de 1100 m<sup>2</sup>, et non de 25 m<sup>2</sup> représenté par la taille du pixel sur l'image.

Pour voir comment cette région active varie avec la distance du poisson, la **Figure 27** représente aussi à la portée de 5 km (au 1024<sup>e</sup> pixel). L'aire de surface insonifiée qui fournit le retour de l'énergie rétrodiffusée est maintenant de 1 pixel de large et de 20 pixels de longs. Dans cet exemple de région éloignée, la surface a une aire de 588 m<sup>2</sup> du pixel image. A la portée maximum, la surface du sol marin, à intégrer dans un pixel image, n'est pas équidimensionnée mais elle est allongée de 20 pour 1 dans la direction longitudinale. Deux régions intermédiaires, représentant les nombres de pixels 150 et 400, sont aussi décrites dans la **Figure 27** pour démontrer comment varie la résolution avec l'augmentation de la distance objet/poisson. Alors que cet exemple est appliqué pour le Sea Marc 2, la même conclusion peut être faite pour tous les systèmes à balayage acoustique latéral.

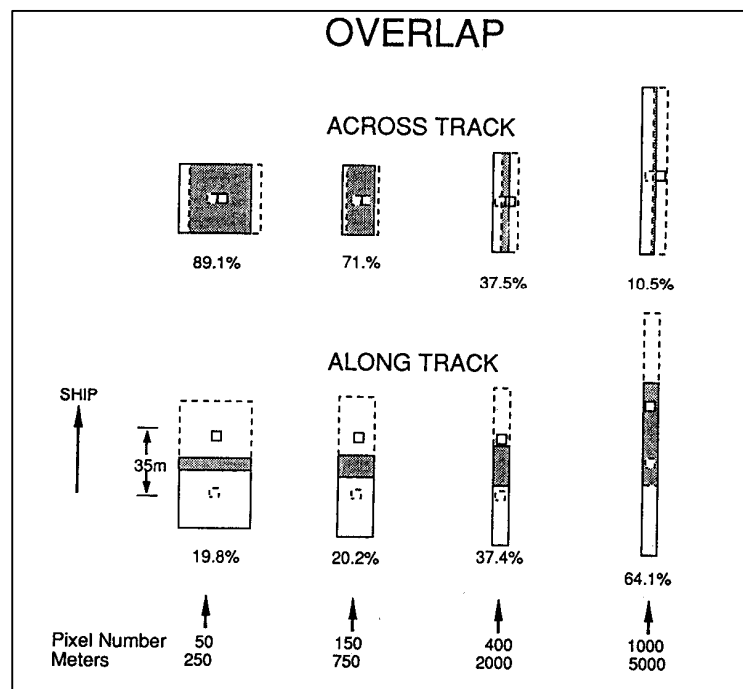
Clairement, les implications des différentes aires latérales représentées dans la **Figure 27** sont importantes dans l'interprétation des images sonar. En effet, la résolution effective des traits qui sont distribués parallèlement à la trajectoire du poisson est plus grande sur les bords éloignés du faisceau que près du centre. Cette figure montre aussi pourquoi certain type de traits géologiques semblent avoir une anisotropie fondamentale quand ils sont vus de la ligne de trace du poisson dans différentes directions. Quand la surface allongée insonifiée est parallèle aux textures du trait, ces formes peuvent être résolues. Quand ces textures sont obliques, elles sont moins précises. De plus, la **Figure 28** montre les différences fondamentales entre «image processing resolution» (taille du pixel) et la résolution réelle. Finalement, la nature de l'aire insonifiée doit avoir un impact dans l'organisation des lignes de survey : une petite échelle de traits parallèles à la ligne de trace sera visible sur l'image, alors que des traits perpendiculaires ne le seront peut-être pas. Beaucoup de lignes de survey, maintenant, sont disposées à 45° de la direction des marques géologiques, de manière à compenser cette résolution anisotrope.

## V.2. RECOUVREMENT DES PIXELS ET REDONDANCE DES DONNEES

Pour la résolution, l'étude de la taille et de la forme d'une surface insonifiée rend compte de la redondance des données et du recouvrement des pixels. Les régions insonifiées actives sont souvent plus larges que les pixels sur l'image qui les représentent. Et les pixels sont, par définition, immédiatement adjacents les uns des autres sur l'image. Cela implique que certaines surfaces intégrées pour un pixel, seront incluses aussi dans des pixels adjacents. Avec cette résolution, les surfaces redondantes sont différentes pour les pixels adjacents longitudinalement et transversalement. La **Figure 28** montre les deux chevauchements longitudinaux et transversaux pour des pixels utilisant, encore, le Sea Marc 2 comme exemple. Dans la direction latérale, le recouvrement est contenu dans deux pixels adjacents dans une ligne de données, pour une impulsion donnée. Dans la direction longitudinale, le chevauchement s'effectue entre des pixels à même distance de la ligne de trace, mais pour des impulsions successives.

Le mode transversal est sujet à beaucoup de redondances dans le sol insonifié pour des pixels très proches du poisson et à très peu de chevauchement pour des pixels à la portée maximum du faisceau. Pour les pixels images situés à l'intérieur du faisceau, la large région de chevauchement entre deux pixels adjacents sur le terrain réduit la résolution effective. Seul des cibles acoustiques qui sont représentées dans un unique pixel image, et non dans des pixels adjacents, peuvent être définies. Clairement, les recouvrements continuent à dégrader le pouvoir de résolution des pixels à l'intérieur du faisceau. Les variations dans le chevauchement latéral, pour des positions intermédiaires dans le rayon acoustique, à des nombres de pixels de 150 et 400, sont aussi décrites dans la **Figure 28**.

La représentation graphique montre aussi le recouvrement similaire de pixels adjacents (dus aux impulsions successives) dans la direction longitudinale. Dans cet exemple, la variation de la dégradation de la résolution est l'opposée du chevauchement transversal. Les pixels les plus intérieurs ont un recouvrement de seulement 20% pendant que les pixels adjacents aux bords extérieurs du faisceau se recouvrent par 64%. En étant différent des autres actions sur la résolution, cet effet a le plus d'impact sur les pixels extérieurs du faisceau et moins sur ceux intérieurs. Le phénomène a un impact direct sur l'apparence de l'image, avec des traits apparaissant allongés dans la direction longitudinale, particulièrement dans le champ éloigné de l'image, distant de la trace du bateau. En utilisant la technique de migration des points, similaire pour cette utilisation au procédé de traitement des données sismiques, Rend a développé une technique de correction digitale pour les effets de cette élongation des objets sur les images sonars.



**Figure 28:** Le recouvrement des pixels dans la direction longitudinale et transversale. Les petits carrés au milieu des figures indiquent les tailles relatives des pixels, comparées aux surfaces à intégrer à l'intérieur. (PAUL JOHNSON H. et HELFERTY M., 1990)

La réflexion sur le pouvoir actuel de la résolution de restitution d'un système sonar peut être un exercice décourageant. Au lieu de la capacité à résoudre des objets avec des dimensions de l'ordre de 5 m (une capacité, basée seulement sur la taille des pixels), nous pouvons, au mieux, définir des objets qui ont plusieurs dizaines de mètres en dimension

linéaire. De plus, ce pouvoir de résolution est à la fois dépendant de la portée et de l'orientation et varie avec la distance et avec l'angle entre la ligne de trace et l'orientation de la texture des traits géologiques. Dans le cas extrême, pour des objets avec une orientation transversale non favorable et un emplacement au bord extrême du faisceau, la capacité de résolution du système est de l'ordre de 100 mètres.

## **VI. LA RESOLUTION OPTIMALE**

Le pré-réglage du sonar latéral est souvent fait par le constructeur. Mais la plus part des paramètres sont modifiables. L'objectif de la mission, le temps, les moyens de mise en œuvre et la nature du fond étudié vont définir les différents critères pour obtenir une résolution optimale dans le but de faciliter l'interprétation de l'image.

### **VI.1. INTERDEPENDANCE DES PARAMETRES**

Nous pouvons remarquer que les différents facteurs sont liés entre eux. Ils peuvent être regroupés dans plusieurs classes ; les uns réagissent avec la fréquence, d'autre avec la portée et enfin les derniers avec la taille et le nombre de pixel image. Ainsi, ces variations se confortent ou s'opposent pour donner un système avec une résolution globale moyenne.

#### **VI.1.1. VARIATION DE LA PORTEE**

Lorsque la portée du signal est augmentée,

- la largeur du faisceau augmente et la résolution longitudinale diminue,
- la taille de l'empreinte de l'onde sur le sol diminue ; donc la résolution transversale augmente,
- la surface insonifiée sur le sol marin s'allonge et diminue ; la résolution instrumentale augmente mais l'image subie des déformations,
- le recouvrement transversal des pixels adjacents diminue et inversement pour le recouvrement longitudinal.

La portée sera dépendante des performances du sonar latéral (petit fond ou grand fond) et des caractéristiques de l'émission.

#### **VI.1.2. VARIATION DE LA FREQUENCE**

La fréquence est caractéristique de l'émission et donc de la résolution souhaitée. Pour une résolution meilleure, le signal aura une fréquence plus forte :

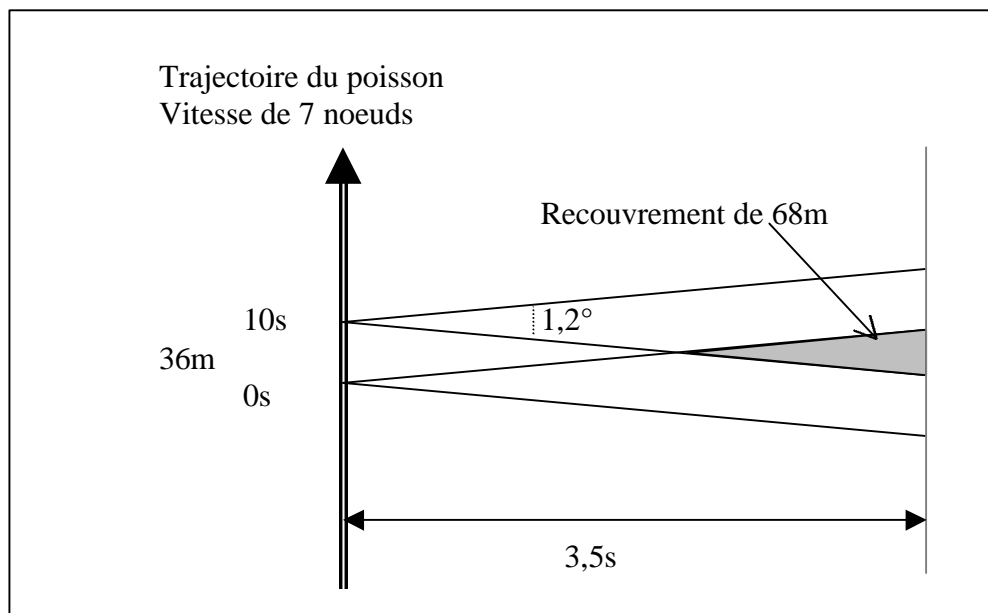
- l'angle de gisement du faisceau sera plus petit et ainsi la résolution longitudinale sera meilleure,
- la longueur d'onde sera plus courte et donc la résolution transversale augmentera,
- la portée diminuera et la résolution instrumentale sera plus faible mais avec moins de déformation sur l'image,

- la faible distance poisson/objet induira aussi un recouvrement longitudinal plus petit et inversement pour le recouvrement latéral.

La fréquence et la portée sont les deux données fondamentales pour régler le système, mais les caractéristiques de l'enregistrement sont tout aussi importantes pour la représentation de l'image acoustique.

## VI.2. APPLICATION AU SEA MARC 2

Le SEA MARC 2 a une portée de 5 km pour un transducteur. Le temps mis par l'onde pour effectuer le trajet aller/retour est de 7 secondes. C'est une limite supérieure de base pour le cadencement du système, dépendante de la portée. Supposons que le transducteur envoie une onde acoustique toutes les 10 secondes et que le bateau a une vitesse de 7 nœuds. La distance parcourue par le système entre chaque tir sera donc de 36 m.



**Figure 29:** Emission du Sea Marc 2

Il y a donc un recouvrement des rayons de 68 m (**Figure 29**) pour un angle de gisement de  $1,2^\circ$  à une portée de 5 km. Dans cet exemple, les moyens de diminuer le recouvrement et d'augmenter la résolution angulaire sont les suivants :

- augmenter la vitesse du bateau (jusqu'à 20.5 nœuds),
- diminuer la cadence de tir (toutes les 30 secondes),
- combiner les deux.

La troisième solution reste la plus réalisable. Il faut savoir qu'il y aura toujours un recouvrement assez important en bout de faisceau. L'interprétation devra en tenir compte.

### VI.3. LES REGLAGES MOYENS POUR UNE RESOLUTION OPTIMALE

Lors d'un survey, des lois bien définies pour l'utilisation du sonar latéral sont appliquées. Ces lois sont souvent indiquées par le constructeur du sonar et elles sont primordiales pour la bonne utilisation du matériel et pour obtenir le meilleur rendement du système. Les conditions importantes pour avoir une résolution globale maximale sont de plusieurs sortes :

- l'objet doit être défini à l'intersection de deux lobes d'antenne au point optimal A (*Figure 16*),

- un angle de gisement le plus petit possible,
- une combinaison cadence de tir/vitesse du bateau adaptée,
- une longueur d'onde la plus petite possible,
- une hauteur du poisson dans l'eau assez faible (10 à 20% de la portée),
- et une orientation des lignes de survey à 45° de la texture géologique étudiée.

Toutes ces conclusions ont été déduites de l'étude de la résolution transversale, longitudinale et angulaire ainsi que des problèmes liés à la représentation de l'image sonar. Pris séparément, ces configurations de paramètres sont toutes plus ou moins réalisables par le réglage du matériel et de son environnement. La difficulté vient du fait qu'elles sont interdépendantes et si l'une est modifiée une autre le sera aussi. Aussi la complexité va en augmentant lorsqu'un technicien veut obtenir une bonne résolution. Par exemple, les conditions, exposées ci-dessus, donneront une résolution angulaire et longitudinale de qualité satisfaisante, alors que l'image finale aura tendance à souffrir d'une résolution transversale et instrumentale moyenne et d'un recouvrement transversal important.

Ainsi la résolution est une caractéristique acoustique qui ne peut pas être prédéterminée par le constructeur, elle peut être à la rigueur estimée. En effet, pour la définir correctement, il faut tenir compte des caractéristiques environnementales du milieu et du choix fait par le technicien, en fonction de l'objectif de la mission, pour privilégier une direction et une qualité de définition. La résolution d'un sonar latéral varie pour chaque utilisation dans des proportions qui peuvent être importantes.

### VI.4. CONCLUSION

Le sonar latéral commence à devenir de plus en plus important dans la compréhension des processus géologiques qui génèrent les fonds océaniques. En effet, il est nécessaire de développer la capacité de traiter les signaux acoustiques pour rehausser les images obtenues et les interpréter sans ambiguïté. Dans ce progrès, il faut être conscient qu'il reste certaines limites associées à la technique. Mais sans s'arrêter là, il faut être conscient qu'il reste certaines limites associées à la technique. Mais sans s'arrêter là, les images sonar peuvent paraître aussi belles que des photographies, et bien sûr, une photographie est une représentation d'un type de données auxquelles les interprètes sont habitués, pour exposer leur conclusion. Nous devons toujours garder en mémoire que les images sont la représentation d'une réflexion acoustique du fond et non d'une photographie sous-marine.

Il est important, pour les interprétations géologiques, d'éviter les différents pièges mis en place lors de la restitution de l'image. La technique de représentation est toujours dépendante de la portée. La surface qui est la source des informations réfléchies, et qui est compressée dans un unique pixel, n'est pas la même dans la direction longitudinale et transversale. Cette surface varie beaucoup en taille et en forme avec la distance poisson/objet. Pour des raisons de base aux fonctions du système sonar, les images acoustiques du sol marin sont fondamentalement anisotropiques. Cette conclusion a de



fortes implications dans les interprétations géologiques basées sur les variations spatiales apparentes des objets du fond.

Ainsi, le sonar latéral a évolué dans la dernière décennie, des images analogiques peu modifiées (qui demandaient de l'expérience, de l'intuition et donnaient beaucoup de frustration à l'interprétation) à la haute résolution des images digitales qui sont corrigées, présentées et admirées comme de brillantes photographies. Grâce à cet outil, les bassins océaniques donneront une image plus détaillée de leurs fonds accidentés.

## VII. MISE EN OEUVRE DU SONAR A LA MER

### VII.1. TECHNIQUE DE MISE EN OEUVRE

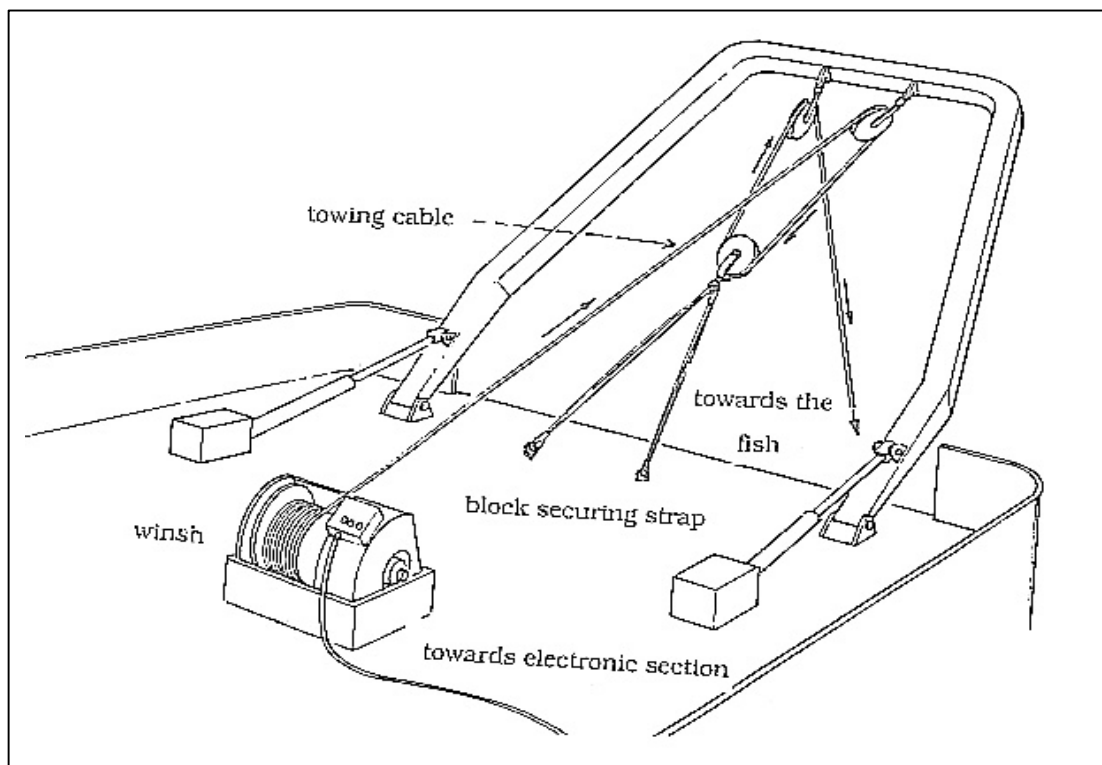
Sous la responsabilité du technicien, la mise en œuvre du sonar latéral conditionne la validité des résultats au même titre que les réglages opérés au niveau de l'enregistreur. Elle doit intégrer :

- le type de matériel,
- la méthode de remorquage,
- la vitesse de remorquage,
- la profondeur d'immersion du poisson,
- l'espacement entre profils,
- la navigation du poisson.

#### VII.1.1. LE MATERIEL

##### • Le treuil

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, à la limite, s'effectuer manuellement à deux personnes, sans grue ni treuil.



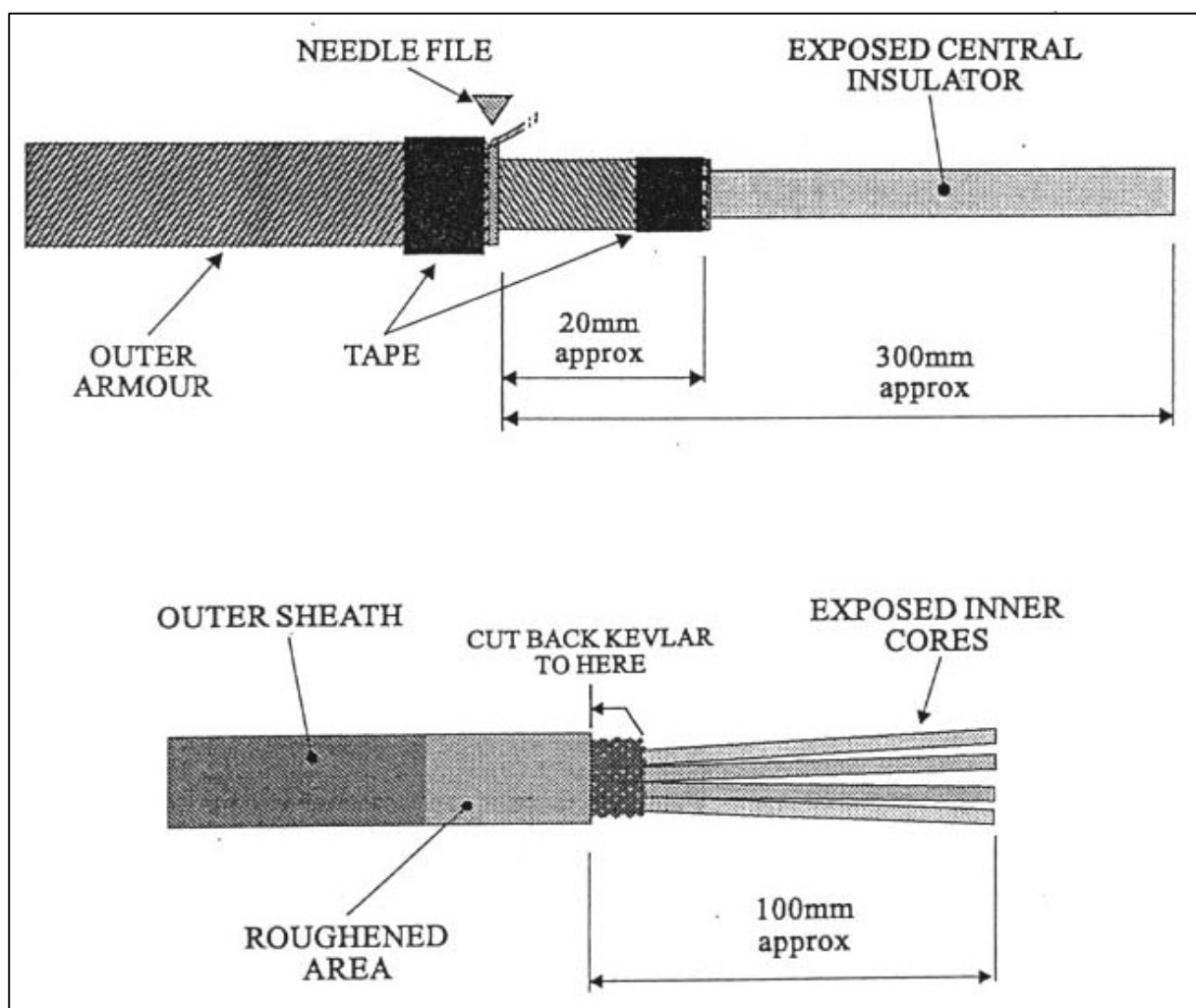
**Figure 30:** Exemple de configuration d'un système de remorquage avec cordon de rappel élastique.

L'utilisation d'un treuil procure cependant 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. Les sonars de grande portée (SAR ...) sont plus lourds et nécessitent l'emploi d'une grue et d'un treuil.

L'utilisation d'un treuil à tension constante ou de tout autre système d'amortissement des à-coups de remorquage améliore la navigation du poisson (**Fig 30**).

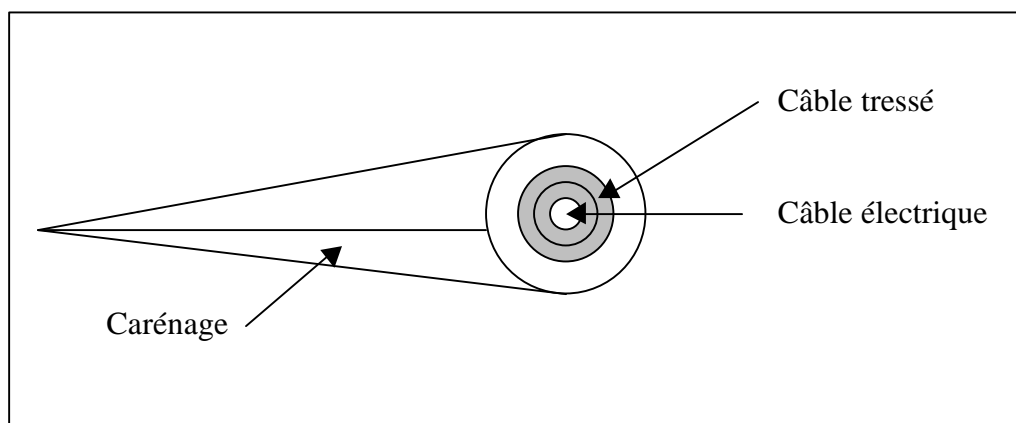
- Le câble de remorquage

Le câble de remorquage est électro-porteur ; il comporte une partie porteuse et une partie électrique. La partie porteuse entoure la partie électrique et est constituée par deux gaines de fils d'aciers disposées en spirales (**Fig 31**) de sens contraire développant ainsi un effet anti-giratoire pour l'ensemble (câble de type diagraphique).



**Figure 31:** Exemple de câble électroporteur. (Ultra Electronics, 1994)

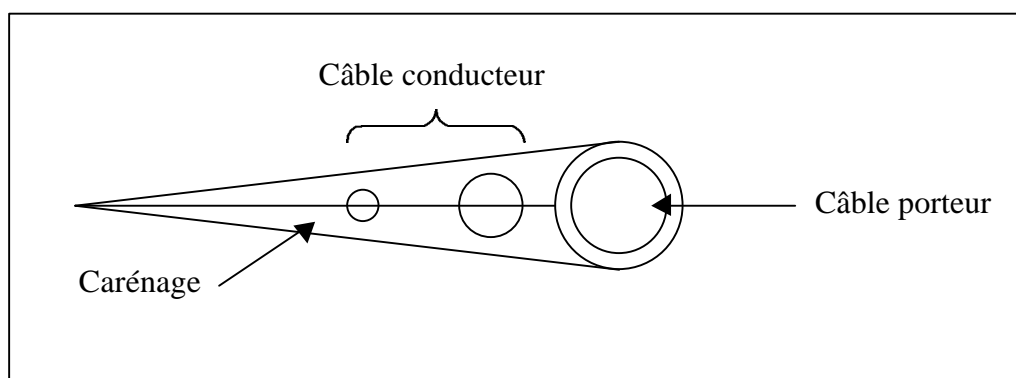
Le câble électroporteur peut être caréné pour diminuer sa traînée et aussi limiter les bruits (**Fig 32**). Le carénage assure une bonne protection des conducteurs électriques et un bon hydrodynamisme, sa conception est relativement simple. Cependant, le carénage ne peut être enroulé sur le tambour du treuil et doit être fixé ou démonté au fur et à mesure de la progression du câble.



**Figure 32 :** Schéma d'un câble caréné.

Le câble peut aussi être caréné avec les parties porteuse et conductrice séparées (**Fig 33**). L'intérêt essentiel de cette solution est un maître couple minimum. Par contre, sa mise au point est plus délicate.

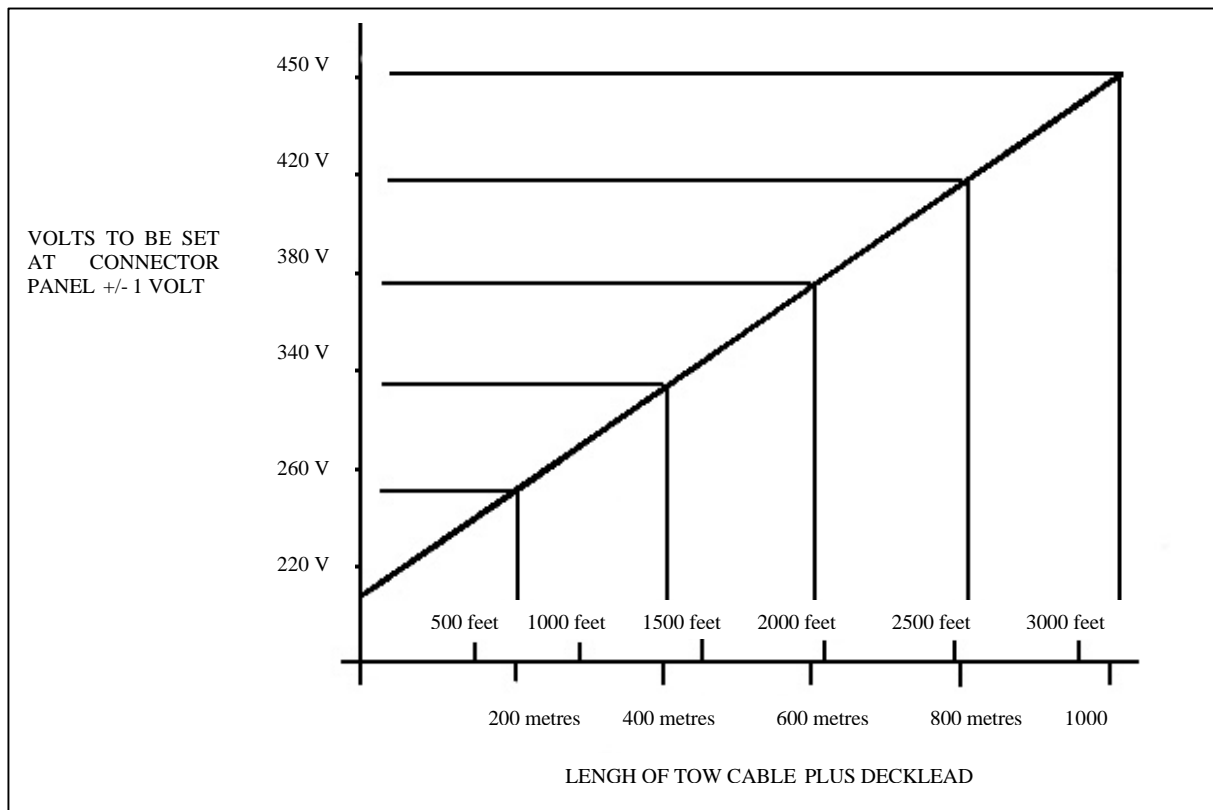
Le câble peut enfin être recouvert d'une gaine thermo-rétractable garnie de filaments qui réduit les frottements du câble dans l'eau susceptibles de provoquer des bruits à l'enregistrement.



**Figure 33:** Schéma d'un lien de remorquage caréné avec découplage des câbles, porteur et conducteur.

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 (c'est au niveau de ce raccord que se fait la dissociation de la partie électrique et de la partie mécanique du câble).

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. La **Figure 34** présente une telle adaptation pour un système WAVERLEY 3050E.



**Figure 34:** Relation entre longueur de câble mise en œuvre et tension électrique appliquée.

### VII.1.2. La METHODE DE REMORQUAGE

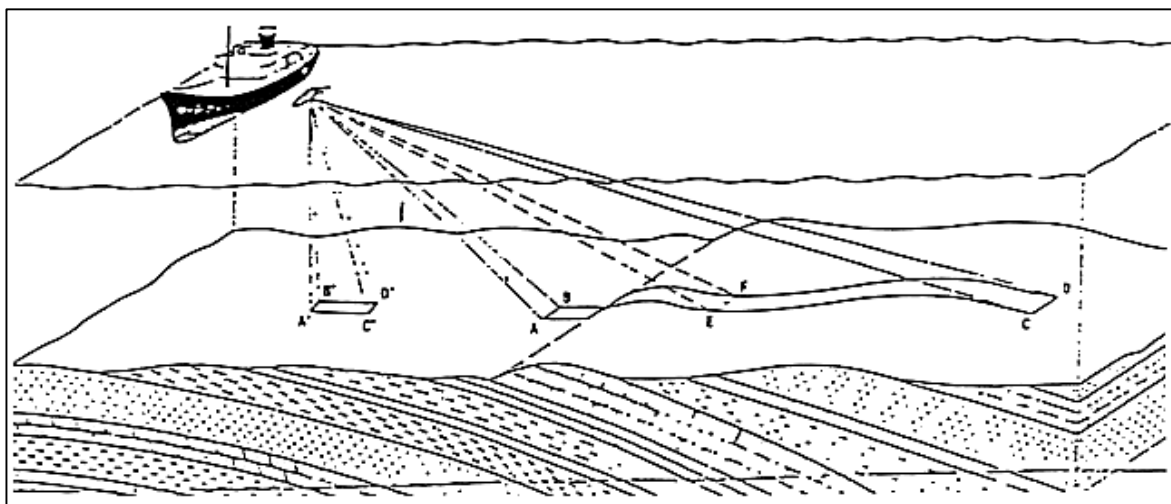
Le remorquage se fait avec un navire de surface qui traîne le poisson par le câble décrit ci-dessus. Le remorquage peut s'effectuer derrière le navire ou sur l'un de ses bords.

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 (diminution du risque de prendre le câble dans l'hélice). 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).

Par contre, certains impératifs de "survey" (localisation des structures immergées par exemple) nécessitent l'élimination au maximum des bruits. Le "survey" (méthode d'investigation sous-marine utilisée pour des reconnaissances de fond, des localisations de structures immergées, des vérifications de l'état d'usure et de corrosion de conduites sous-marine...) s'opérant dans la majorité des cas à des faibles profondeurs, il devient impératif d'éloigner au maximum le poisson du navire. On traîne donc le poisson sur le côté du navire.

Les systèmes sonars de petite taille peuvent être traînés à l'aide de petites embarcations (pneumatiques par exemple) pour des opérations en rivière ou sur les lacs par exemple.

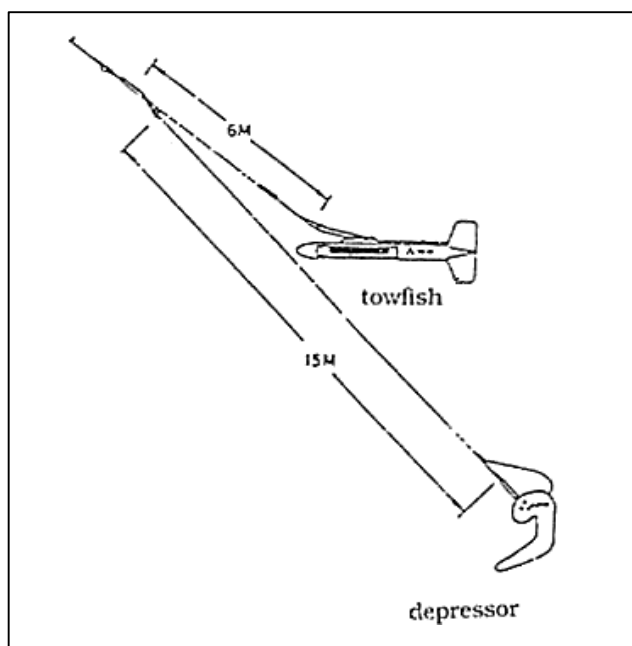


**Figure 35:** Le poisson est remorqué sur le côté MEAR Y., 1995

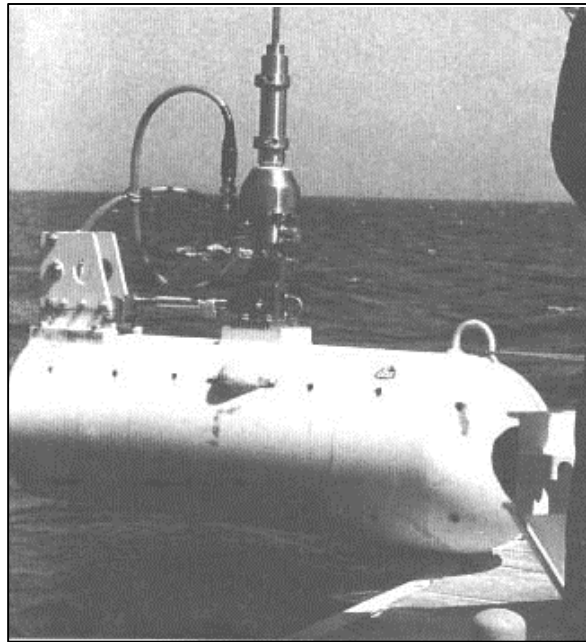
### VII.1.3. LA VITESSE DE REMORQUAGE

La vitesse de remorquage conditionne la bonne navigation du poisson, elle doit être adaptée aux objectifs et aux conditions extérieures. 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.

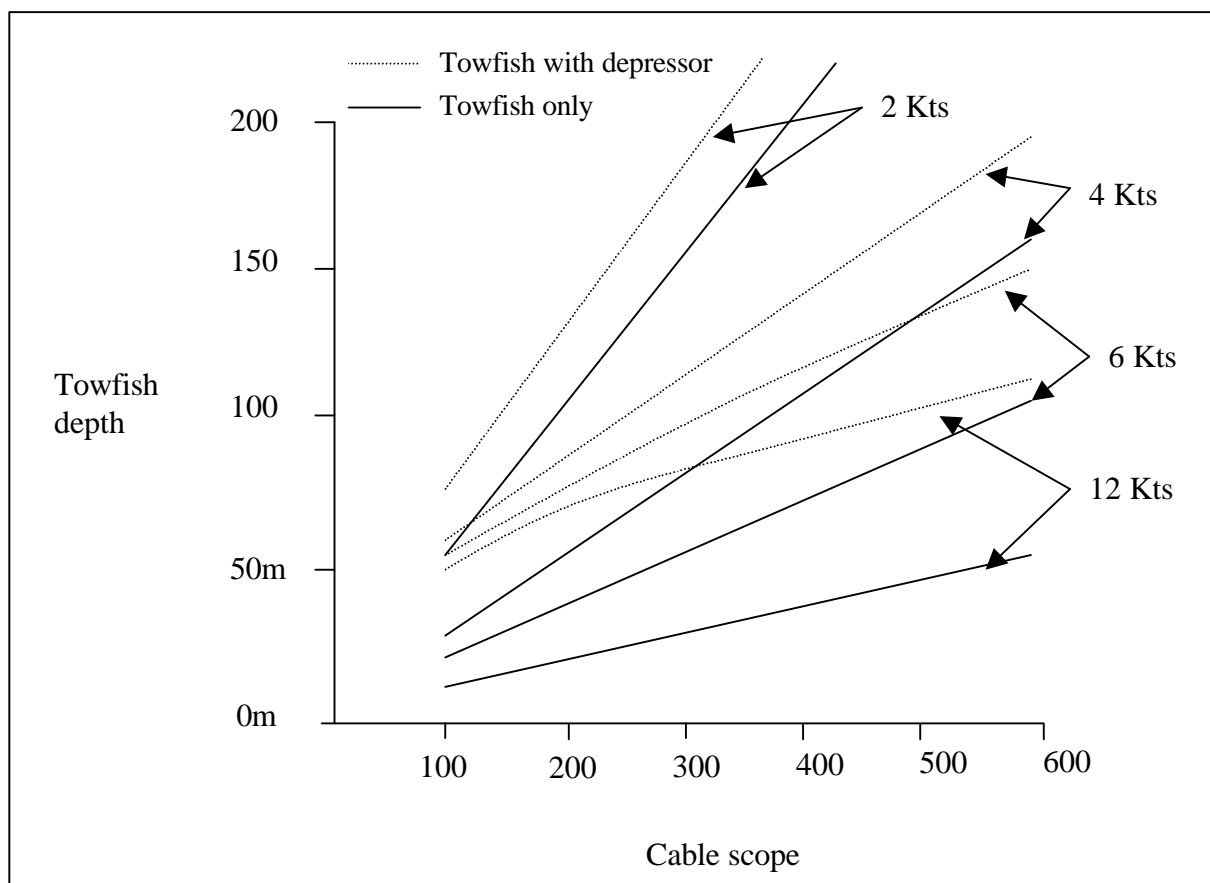
L'immersion du poisson dépend essentiellement de la vitesse du bateau et de la longueur du câble. En particulier l'immersion et la vitesse varient en sens inverse. Il est toutefois possible pour une vitesse et une longueur de câble imposées, d'augmenter l'immersion du poisson en utilisant un outil spécial appelé dépresseur ou divergent plongeur (**Fig 37**). A titre indicatif, la **Figure 38** relative à un sonar WAVERLEY 3050E permet de préciser la relation immersion/vitesse pour deux longueurs de câble, avec ou sans dépresseur.



**Figure 36:** Utilisation d'un dépresseur.



**Figure 37bis :** Photo du dépresseur utilisé pour le SAR. (IFREMER)

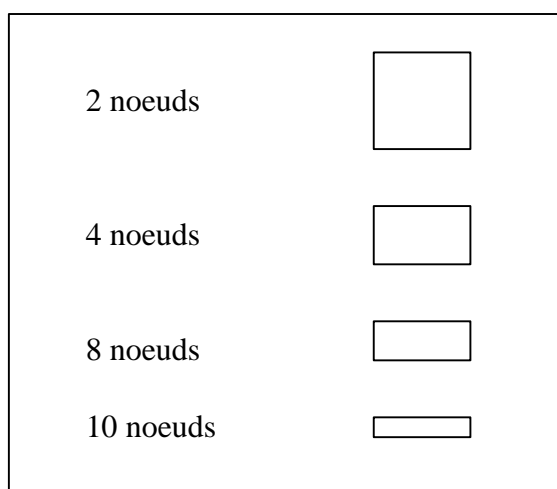


**Figure 37 :** Profondeur du poisson par rapport à la longueur de câble. Ultra Electronics, 1994.

En général, les constructeurs donnent la vitesse optimale de remorquage en fonction de la portée latérale désirée. Celle-ci s'échelonne entre 2 et 6 noeuds pour les appareils de faible portée et atteint 9 noeuds pour les appareils de grande portée.

Dans la pratique, le géophysicien adaptera ces valeurs en fonction des conditions locales (météorologie, nature et morphologie des fonds...), des contraintes financières et du temps qui lui est imparti. Rappelons qu'en théorie, l'optimisation des données implique une altitude du poisson égale à 10 à 20% de l'échelle choisie.

Une vitesse non adaptée peut provoquer des distorsions de l'enregistrement. L'image se trouve déformée du fait que le signal n'est pas échantillonné correctement (**Fig 39**). Si la vitesse est trop faible ou trop rapide, l'objet enregistré ne présente pas sa forme réelle.



**Figure 38 :** Déformation du pixel due à la vitesse du navire.

#### VII.1.4. LA PROFONDEUR D'IMMERSION DU POISSON

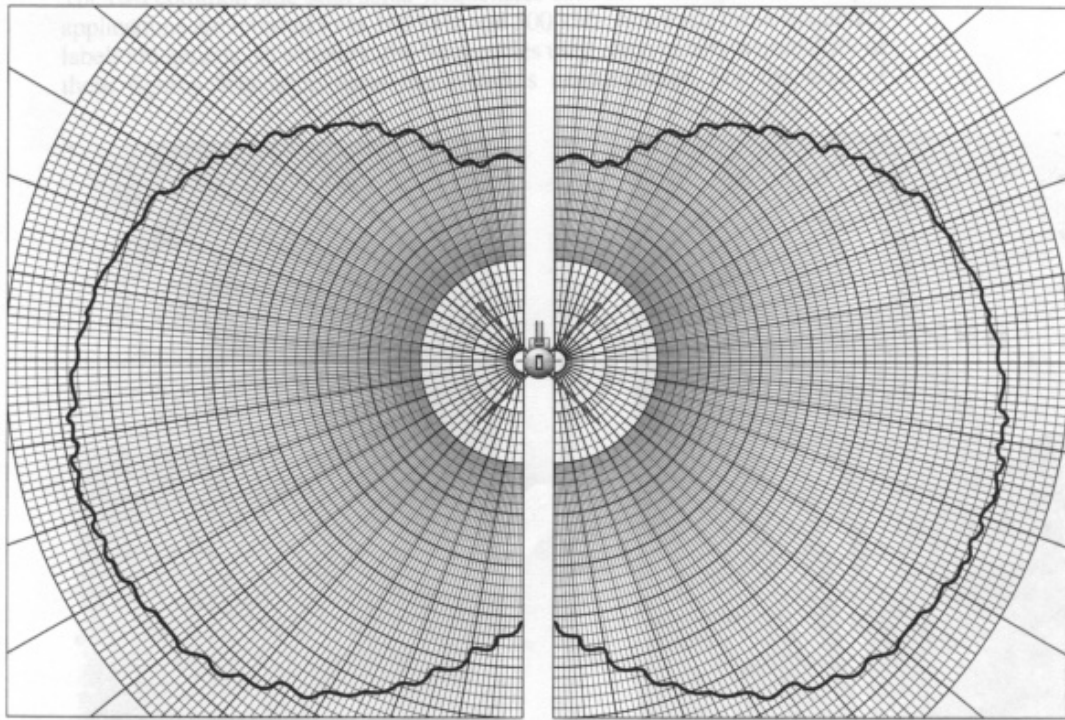
La profondeur d'immersion est une composante de la vitesse du navire et de la longueur de câble filé.

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

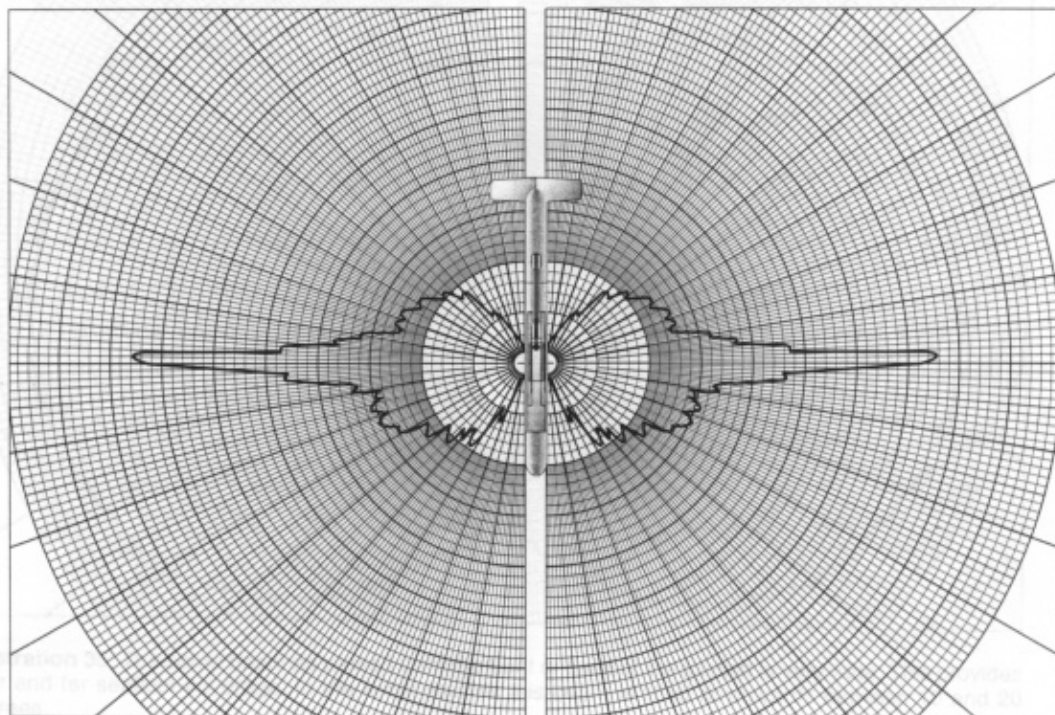
- les réflexions des ondes sur la surface de l'eau,
- le milieu de propagation,
- la morphologie du fond,
- la profondeur du fond et la portée maximale,
- la profondeur du fond et la résolution.

##### • Les réflexions 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 (**Fig 40 et 41**) 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.



**Figure 39 :** Le rayon sonar qui est vu de face est très large. Cela fournit une grande couverture du fond marin. Pour le poisson sonar, ce rayon est incliné de 10 à 20°.D'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990.



**Figure 40 :** Le rayon acoustique du sonar latéral est formé pour fournir une grande résolution image du fond et des petites cibles Vu de dessus, ce rayon concentre l'énergie en une très étroite section. C'est le lobe principal de l'émission sonar qui va se propager à travers le sol. D'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990.



- Le milieu de propagation

Dans les zones où la température et la salinité n'est pas homogène (thermocline, interface eau douce/eau salée, néphéloï de...), 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 profondeur et la morphologie du fond

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

Attention, lorsque la vitesse du navire décroît (fin de profil, obstacle...) le câble se met à la verticale et le poisson descend. Il faut donc faire un compromis entre la vitesse et la longueur du câble.

Certains poissons sont munis d'une alarme automatique qui se déclenche quand la profondeur d'eau sous le poisson devient inférieure à un seuil fixé par l'utilisateur. Dans ce cas, lorsque l'alarme résonne, il est important de vérifier que le sonar prend bien en compte l'écho du fond et non pas un écho de surface (accroché grâce à un lobe secondaire). Dans ce dernier cas, la remontée rapide du sonar se traduit par une arrivée problématique dans le système de remorquage (poulie, treuil, ...) occasionnant des dommages souvent irréparables en mission.

Ce problème se rencontre souvent lorsque l'on travaille par petit fond, avec une faible immersion.

### VII.1.5. L'ESPACEMENT DES PROFILS

Il devra 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.

Des impératifs de temps ou financier peuvent cependant amener l'opérateur à réduire ce recouvrement (beau temps, pas de courant transversal, bon système de positionnement et fond plat).

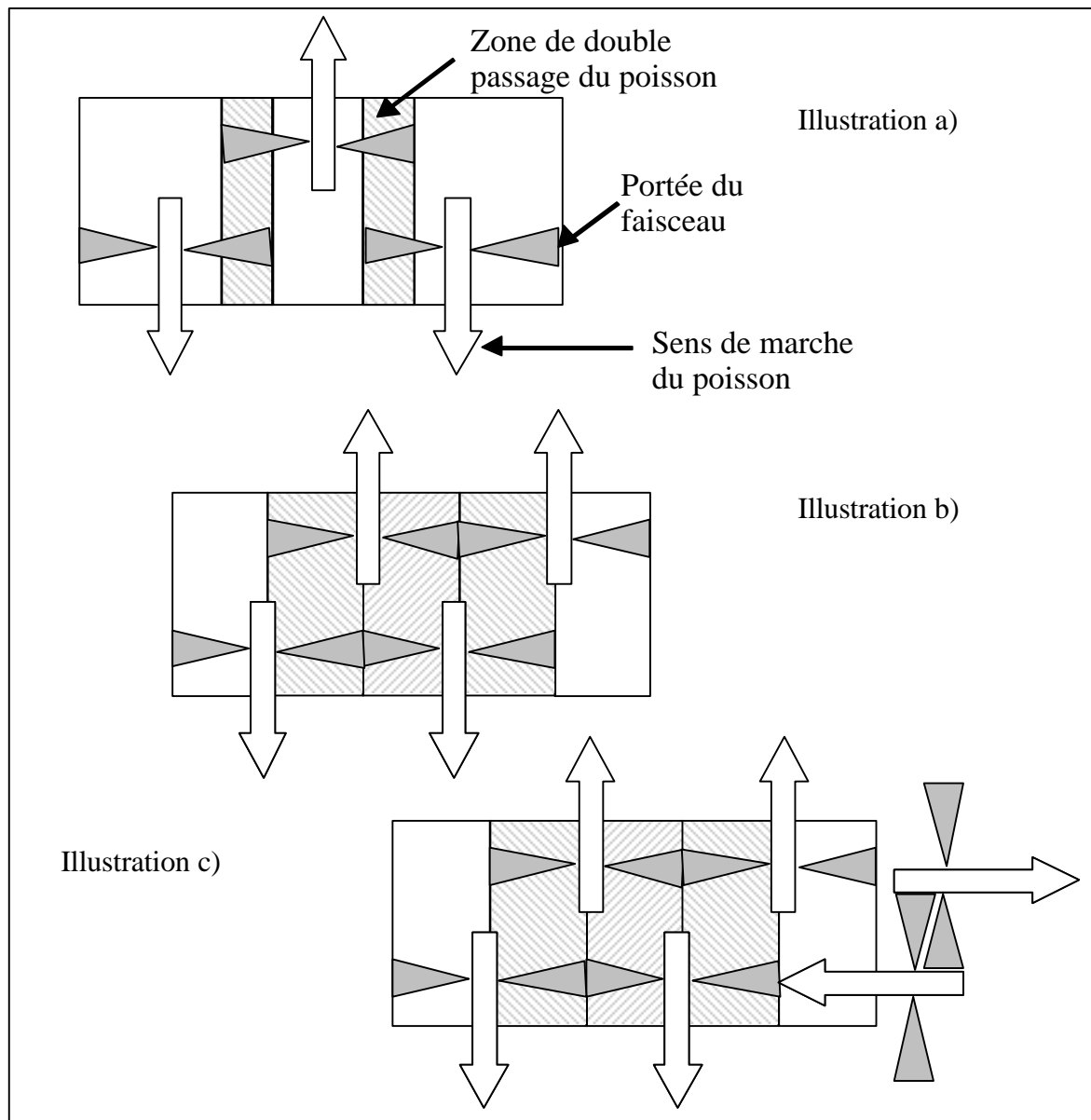
Dans tous les cas, il est recommandé de positionner des profils supplémentaires, perpendiculaires à la couverture réalisée, afin de procéder à un calage géographique (*Fig 42*).

### VII.1.6. NAVIGATION DU POISSON

La navigation du poisson 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,
- du manque de souplesse du câble.

Ces éléments extérieurs peuvent donc provoquer les phénomènes de roulis, de tangage, de lacet (**Fig 47**) entraînant des déformations. Le chapitre suivant indique quelques méthodes qui peuvent être utilisées afin de pallier du mieux possible à ces problèmes.



**Figure 41 :** La trace que fait un navire durant un survey, doit permettre de couvrir une cible plusieurs fois. Repris d'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990.

Cette méthode de couverture implique des variations dans la trajectoire du navire et des améliorations dans la reconnaissance de la cible pour un objet défini à l'extérieur du faisceau.

Cette illustration (a) montre des lignes de survey espacées de 75% de la largeur du faisceau. La première et la dernière ligne donne une couverture du sol marin de 150%

L'illustration (b) est une méthode plus conservatrice utilisant un espace entre les traces de 50% de la largeur du faisceau avec à l'intérieur une couverture de 200% et souvent un recouvrement de 100%.

L'illustration (c) montre une méthode de couverture très conservatrice en effectuant des lignes à 90° en plus des premières. Le premier passage couvre la surface entièrement avec des lignes espacées de 50%. Le second passage à 90° utilise la même couverture.

## VII.2. LIMITES DU SYSTEME

Deux grands types de problèmes se posent : les problèmes de géométrie (obliquité des rayons, pente du fond et ses irrégularités) et les problèmes de mise en évidence des informations contenues dans les signaux reçus, souvent oblitérées par des défauts émanant des capteurs eux-mêmes (halos, différence de gain entre les deux voies...) ou liés aux conditions de mise en œuvre (anisotropie du milieu de propagation, navigation difficile...).

### VII.2.1. ASPECTS GEOMETRIQUES

Pour reporter les données image sur un repère cartographique, il est nécessaire de réaliser des corrections géométriques plus ou moins sophistiquées en fonction de la morphologie des fonds et de la qualité de la navigation du poisson.

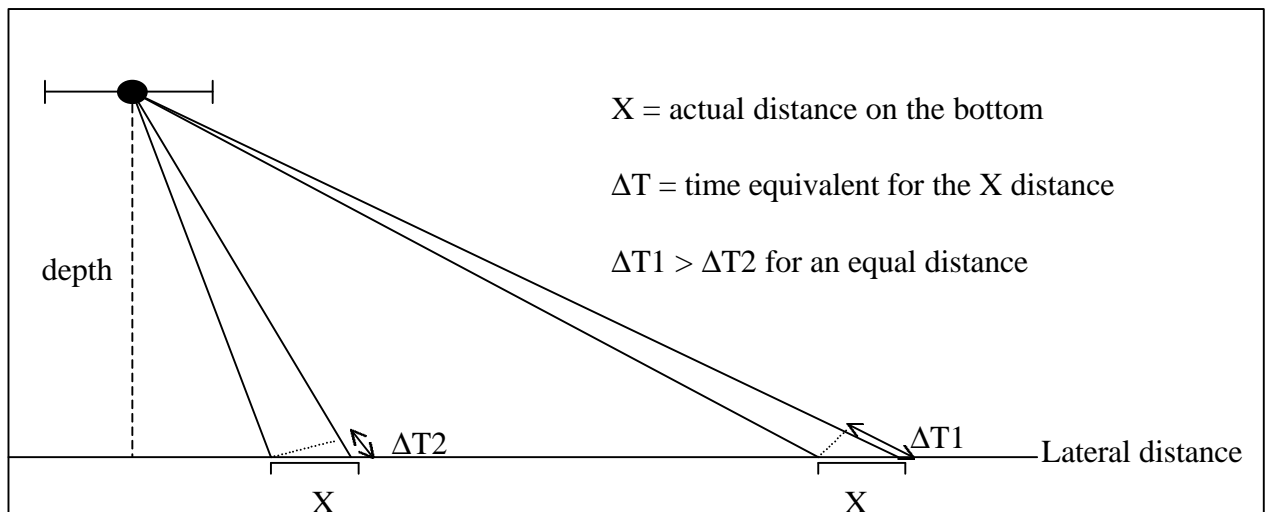
- Distorsions géométriques inhérentes au principe du sonar latéral

Les rayons sonores issus du transducteur sont enregistrés selon une fonction du temps et représentent une distance oblique (*Fig 43*). On peut relier cette distance à l'horizontale par une relation simple :

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

avec :

- **X** : distance au sol,
- **H** : hauteur du sonar par rapport au fond,
- **R** : distance oblique.



**Figure 42 :** Distorsions dues à l'obliquité des rayons.

Profondeur	Distance oblique						
	20	40	100	200	300	400	500
10	17	39	99	200	300	400	500
20	0	35	98	199	299	400	500
40		0	92	196	297	398	498
80			60	183	289	392	494
120				160	275	381	485
160				120	254	367	474
200				0	224	346	458

**Figure 43 :** Correction d'obliquité pour des profondeurs d'eau comprises entre 10 et 200 m et des distances obliques comprises entre 20 et 500 m.

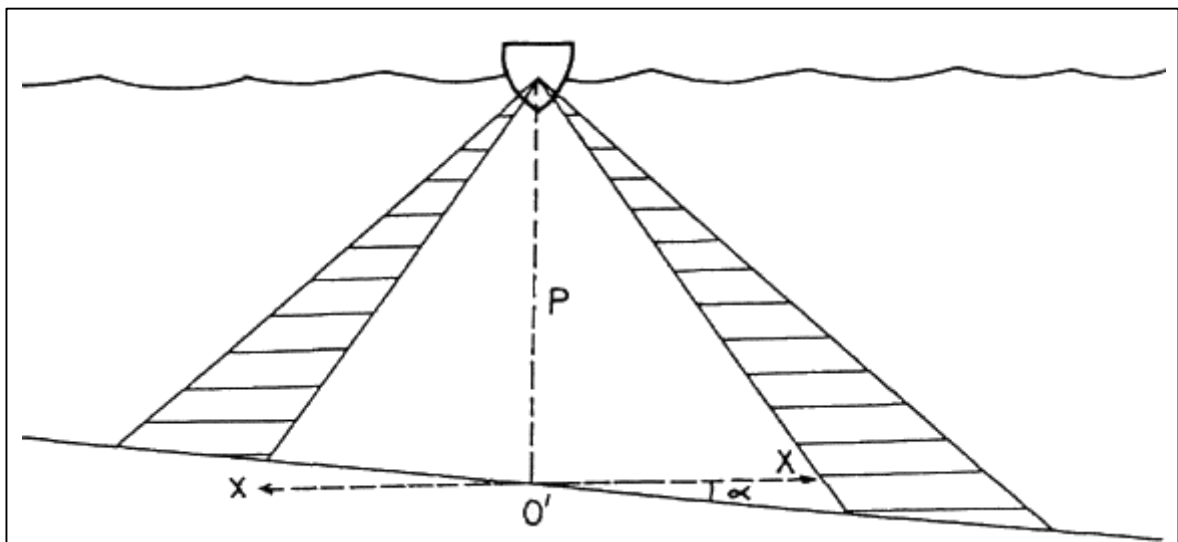
Si le fond de la mer est plat, cette correction, dite d'obliquité ou d'anamorphose, est facilement réalisable. Elle consiste à positionner chaque point image à sa distance X correspondante. La plupart des systèmes "temps réel" visualisent des images redressées à l'aide de ce procédé. Cette correction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

Lorsque le fond est en pente, la correction d'anamorphose est plus délicate (*Fig 45*). 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 :

$$x = \sqrt{d^2 - h^2} \cos(\alpha) + h \sin(\alpha)$$

avec :

- **h** = hauteur d'eau sous le poisson,
- **d** = distance oblique,
- **a** = angle de la pente.



**Figure 44:** Distorsions dues à la pente du fond.

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.

Pour résoudre le problème, on ne s'intéresse qu'à la portion de signal centré autour de ce premier écho. Cette portion de signal est filtrée. On déduit la hauteur pour le point dont l'intensité de l'écho dépasse un seuil. Ce seuil est remis à jour en fonction des moyennes du signal calculées avant et après ce premier écho. Un signal de type

Au fur et à mesure que l'on traite les lignes images, on obtient un signal de type :

$$h = f(t).$$

Ce signal est filtré par un filtre récursif (appliqué de façon périodique).

Des heuristiques permettent de valider ou non une détection et d'augmenter la largeur de la fenêtre d'observation si cette détection est considérée douteuse.

Des problèmes peuvent cependant se poser dans la détermination du paramètre altitude :

- faible gradient d'intensité à l'interface eau/sédiment,
- très faible rapport signal sur bruit,
- bathymétrie accidentée,
- présence de bancs de poissons,
- bruits d'hélice,
- écho de surface

rendant quelque fois impossible la correction d'obliquité des rayons.

#### • 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. Pour réaliser cette opération, on utilise, soit les informations fournies par un loch monté sur le poisson, soit un loch monté en parallèle ou encore le fichier de navigation. La première solution est bien évidemment la meilleure car le système de positionnement est relatif à l'antenne du bateau support et non pas au poisson immergé.

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

- Correction de lacet

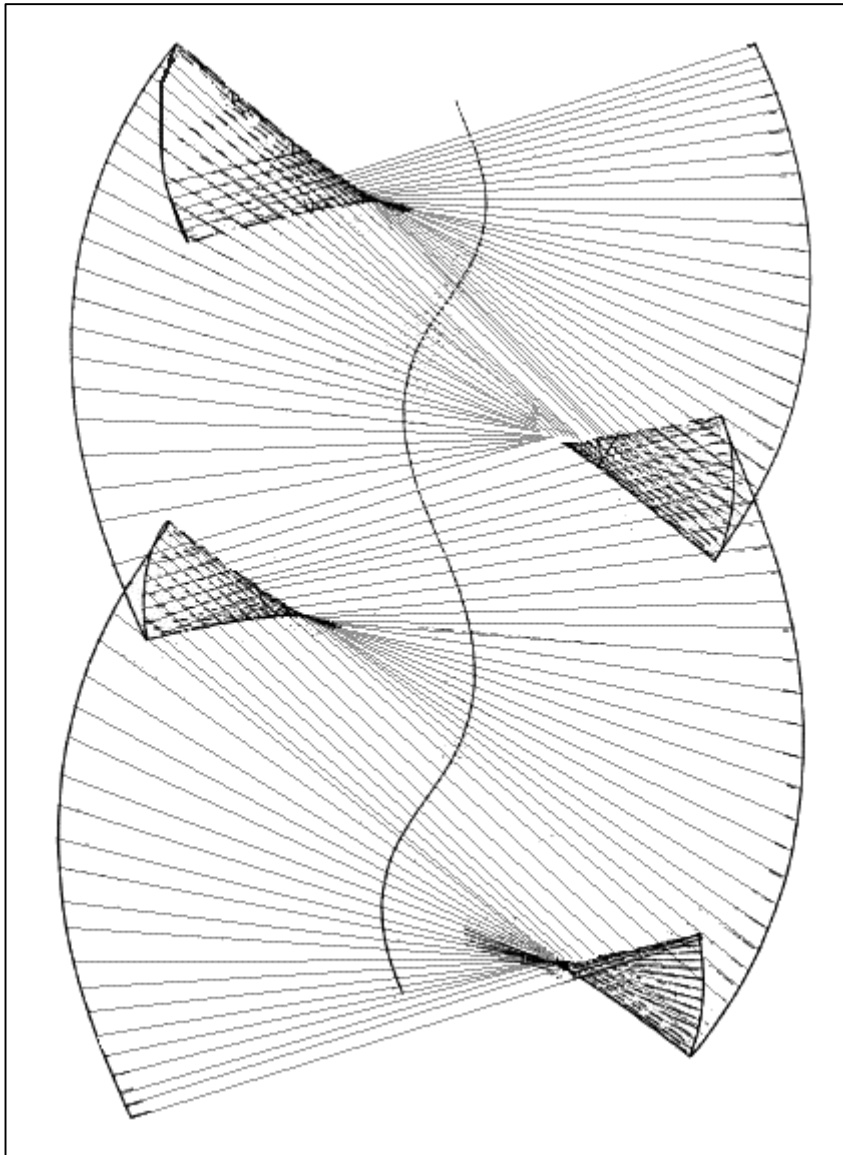
Le lacet provoque le pivotement (*Fig 46*) autour de l'axe vertical du plan d'éclairement, ce qui entraîne, à la distance **R** du poisson, un déplacement **Ly** égal à :

$$Ly = R\beta$$

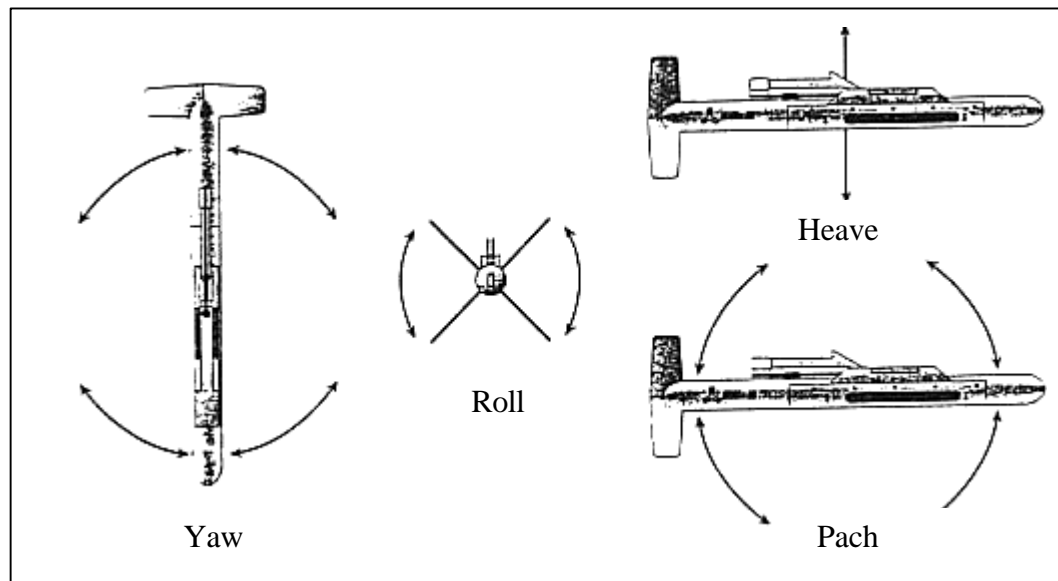
avec :

-  **$\beta$**  la déviation, en degré, du cap suivi par le poisson.

La distorsion due au lacet est la cause d'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...



**Figure 45:** Influence du phénomène de lacet sur l'enregistrement.



**Figure 46:** Les différentes formes d'instabilité du poisson. D'après Fish J.P. & Garr H.A., 1990

- Correction de tangage

En cas de tangage (*Fig.47*), le poisson pivote autour de l'axe horizontal du plan éclairé. Son altitude est faussée et le fond apparaît comme une surface ondulée. La profondeur vraie est alors le sommet de la sinusoïde.

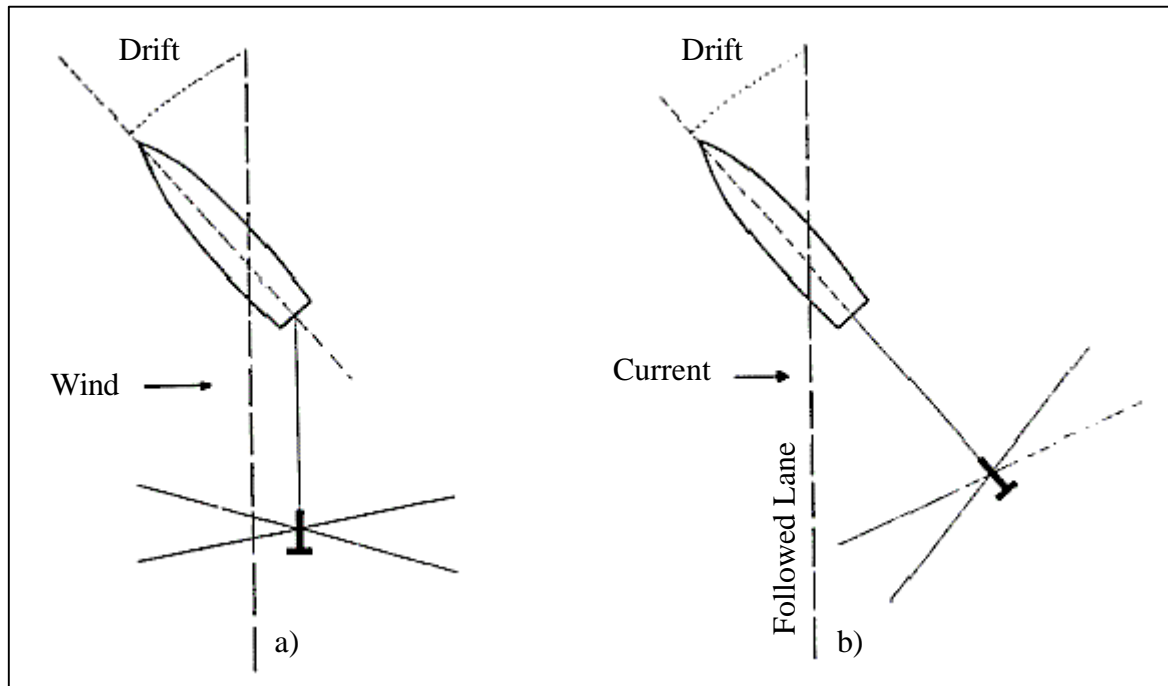
- Correction de roulis

Le roulis (*Fig.47*) 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.

- 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 (*Fig.47*).

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 fonctions des conditions de l'environnement local.



**Figure 47:** Distorsions dues à la dérives : (a) dérive liée au vent,  
(b) dérive liée au courant.

### VII.2.2. ASPECTS RADIOMETRIQUES

Afin d'extraire le maximum d'information des images sonar, on a isolé trois types de défauts à corriger :

- un halo sur les images, qui altère l'homogénéité du signal,
- un réglage constant du contraste sur des images sonars, ce qui masque les faibles variations du signal,
- dans certains cas un bruit important altère la donnée.

#### • Suppression de halos

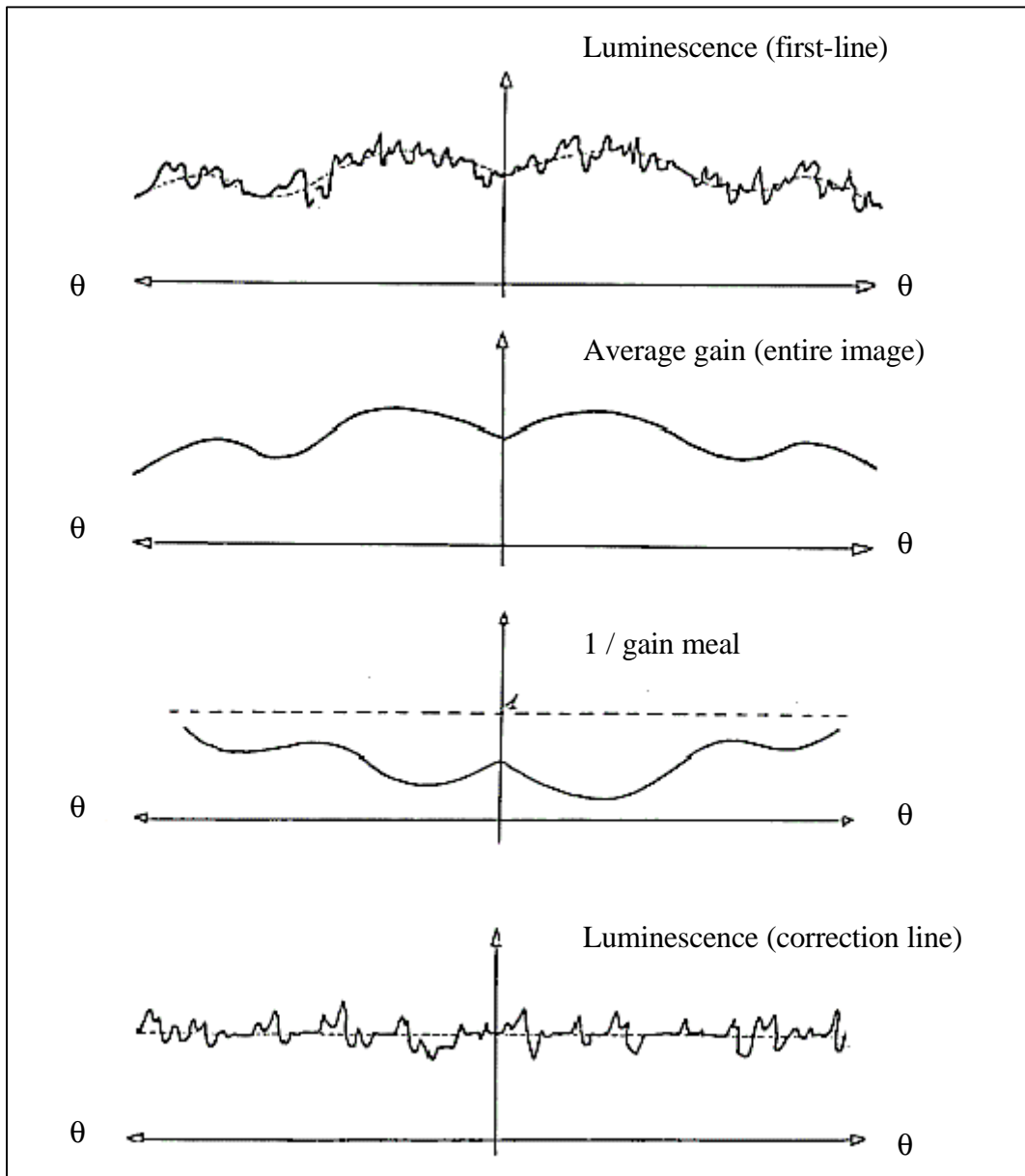
Une antenne sonar dirige l'onde acoustique d'émission dans un plan vertical perpendiculaire à elle. Par contre, la puissance de cette onde varie dans le plan. Une antenne est caractérisée par son diagramme qui donne une courbe d'iso-gain (courbe de même gain) en fonction de la direction de propagation.

La **Figure 49** illustre l'influence d'un tel diagramme sur une ligne image et le procédé retenu pour corriger ce défaut.

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.





**Figure 48 :** Influence des diagramme d'antenne sur une ligne d'image.

- la première courbe représente un signal brut reçu par le sonar (ligne image représentée en fonction de l'incidence).
- la deuxième courbe représente la moyenne de la luminance des points de l'image correspondant au même angle d'incidence.
- la troisième courbe représente l'inverse de la seconde.
- la quatrième courbe représente le produit de la première et de la troisième, ce qui correspond à la correction dite de halo. (Anonyme « reconnaissance des fonds marins » p 83)

#### • Rehaussement de contraste

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. Pour cela, on peut calculer un histogramme toutes les  $x$  lignes de l'image. On en déduit l'histogramme cumulé qui nous indique les 2 bornes d'intensité utilisées pour rehausser le signal. Ces 2 bornes sont calculées afin qu'après rehaussement, 5% des points aient la valeur 0 et 5% la valeur 255, c'est à dire  $2^8 - 1$ , (quand l'échantillon est codé sur 8 bits).

- Filtrage du bruit

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

- 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. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

- le TVG (Time Varying Gain) rehausse le gain pour chaque propagation à partir d'un gain minimum pour le début de la récurrence jusqu'à un gain maximum à la fin de la récurrence,
- l'ACT (Automatic Contrast Control) agit de manière à ramener la dynamique du signal dans la dynamique du papier,
- le CAG (Automatic Gain Control) agit sur un ensemble de récurrences comme l'ACT.

Il peut cependant advenir que ces lois d'amplification ne soient pas parfaites. Dans ce cas, c'est lors du rejeu des données que l'on peut intervenir en appliquant une loi spécifique.

## VIII. LES SONARS LATÉRAUX PROFONDS

### VI.1. INTRODUCTION AUX SONARS PROFONDS

On entend par "sonars profonds" les systèmes composés, entre autres, d'un ou plusieurs sonars latéraux associés à des sondeurs et autres capteurs, le tout remorqués à grande profondeur, c'est à dire plus de 3000 m sous la surface. Ils sont à différencier des sonars pouvant "voir" les grands fonds mais qui sont remorqués près de la surface.

Les sonars latéraux remorqués à grande profondeur procurent des données incontournables pour la topographie des fonds océaniques et le suivi d'installations sous-marines.

Les observations réalisées à partir des sonars latéraux profonds donnent des informations sur les fonds sous-marins pour un rapport qualité/prix compétitif. L'imagerie et la bathymétrie des fonds pour le suivi de câbles ou l'installation de pipelines, la recherche de gisements sédimentaires ou de petits objets, ne peuvent être obtenues de meilleure façon qu'avec ce type d'appareillage.

Par exemple, en n'inspectant pas assez la zone où l'on veut poser un câble en fibre optique, on prend le risque de le faire passer près d'une faille ou de slumps qui peuvent être la cause d'une rupture du câble. Le coût de la rupture d'un câble est très élevé. Si un repérage au sonar (même s'il coûte 2 millions de dollars) peut réduire la probabilité de rupture d'un câble nécessitant une semaine pour être réparé, les économies réalisées par l'industrie du câblage sous-marin sont immenses. Cela en va de même pour un pipeline.

La plupart des systèmes d'informations bathymétriques généralement disponibles, disposés sur les coques des navires ou remorqués en surface, ne sont pas appropriés aux travaux d'ingénierie. Ayant une large couverture du fond, ils ne sont pas assez précis. Un fond rugueux leur apparaît lisse. Ceci est suffisant pour faire de l'exploration mais pas pour déterminer le passage d'un câble ou d'un pipeline où un maximum de précision est requis pour faire les bons choix.

Les sonars profonds sont généralement plus coûteux à utiliser que ceux intégrés dans les coques de navire ou traînés en sub-surface car ils sont plus lents. Cependant, si on désire une image du fond à haute résolution ou une bathymétrie précise, il n'y a pas d'autre alternative que leur utilisation, plus particulièrement pour les profondeurs excédant 1500 m. Les récentes utilisations ont été pour le compte de centres de recherches géologiques, l'inspection de câbles et pipelines, le relèvement de pièges d'huile et de gaz, la recherche d'épaves et la surveillance de la dispersion de déchets. Avec des basses fréquences sur les sonars latéraux profonds, il y a plus ou moins de pénétration dans le sédiment suivant sa nature et l'angle avec lequel le rayon ultrasonore touche le fond. Cela peut être utile dans certaines recherches, mais n'existe pas sur les sonars utilisant les hautes fréquences.

## VI.2. CONFIGURATION DES SONARS

Les composants principaux d'un sonar latéral profond sont le poisson avec ses différents sonars et capteurs sous-marins, le câble et le dépresseur (*fig.38bis*), l'accastillage pour la mise à l'eau, les systèmes électroniques de contrôle à bord du bateau, les systèmes d'enregistrement des données, d'affichage et de calculs. Le poisson mesure en général 3 à 7 mètres de longueur 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. 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. 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 rendra plus accessibles dans l'avenir. Une règle générale veut que la longueur de câble nécessaire soit égale à 2 fois la profondeur d'eau. Un système pouvant être utilisé dans tous les océans, quelque soit la profondeur, doit posséder 10 000 mètres de câble sur un treuil de taille conséquente, le tout pesant environ 20 tonnes.

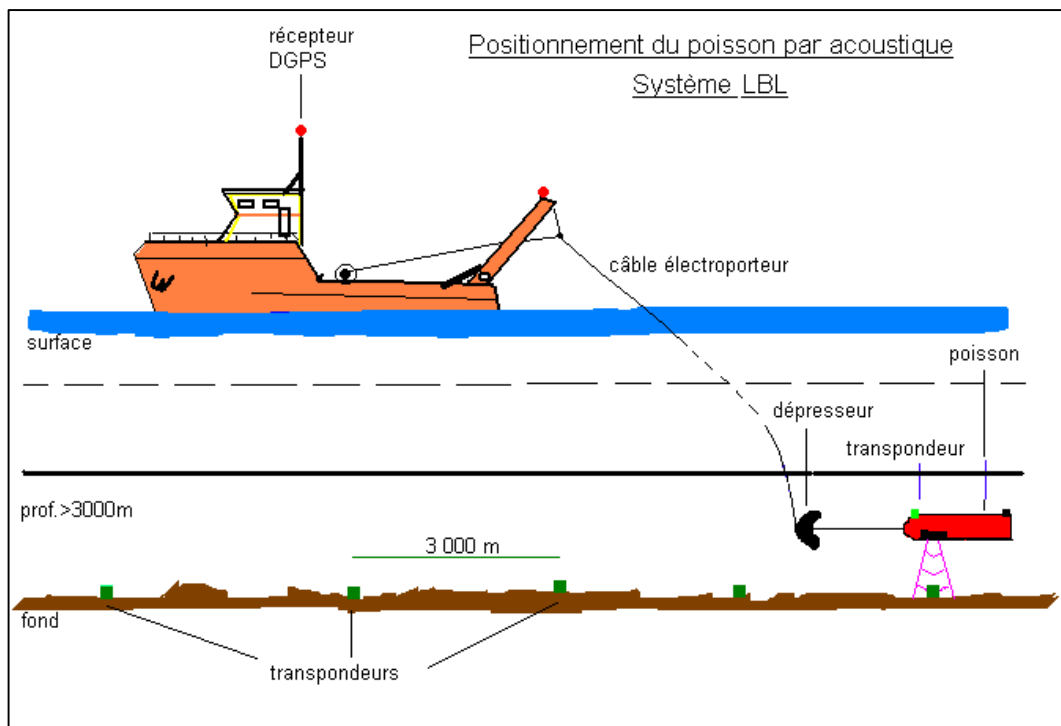
Tous les systèmes requièrent des unités d'enregistrement, d'affichage et de calcul des informations collectées. Cela va du simple enregistrement sur papier aux ordinateurs donnant des images digitales.

### VI.3. LE 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 vont croissantes avec la longueur de câble filé mais peuvent être limitées en effectuant des passages successifs sur des "cibles" dont la position est connue.

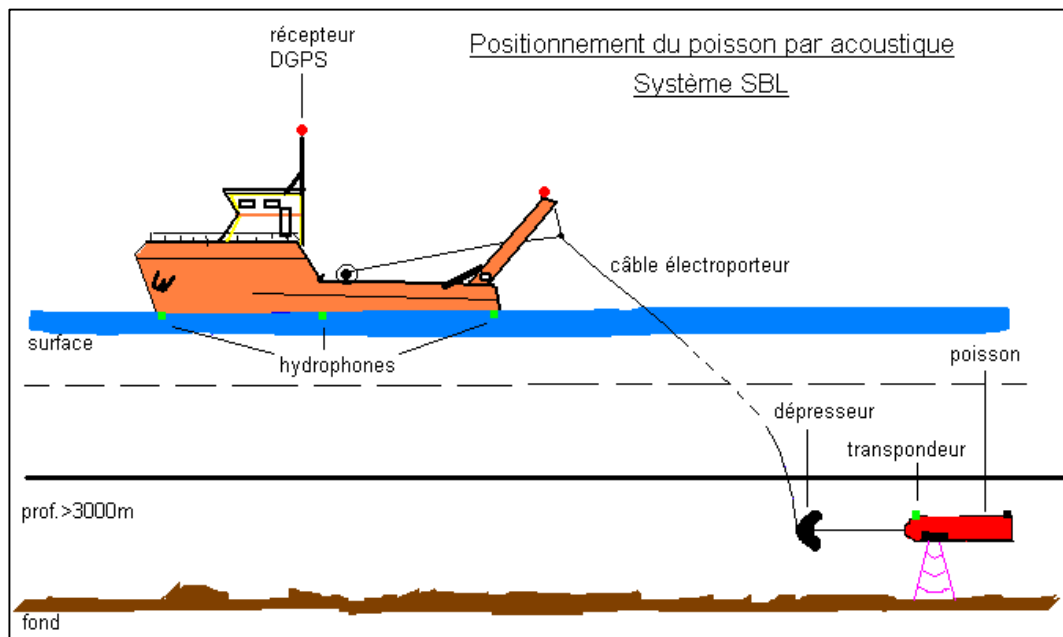
Les 3 principaux systèmes de positionnement par acoustique sont : le long baseline (LBL), le short baseline (SBL) et le supershort baseline ou ultrashort baseline (SSBL ou USBL).

- Dans le système LBL, des transpondeurs sont placés en réseau sur le fond et calibrés acoustiquement avec la surface et entre eux. Un transpondeur sur le poisson interroge ce réseau acoustique et, en connaissant la vitesse du son, la position du poisson est calculée par triangulation. La portée maximale entre les transpondeurs dans le réseau est fonction de la fréquence utilisée (3000 m pour 10-15 kHz) ; cette méthode est donc valable seulement dans des zones isolées, bien définies, et non pas sur un itinéraire particulier.



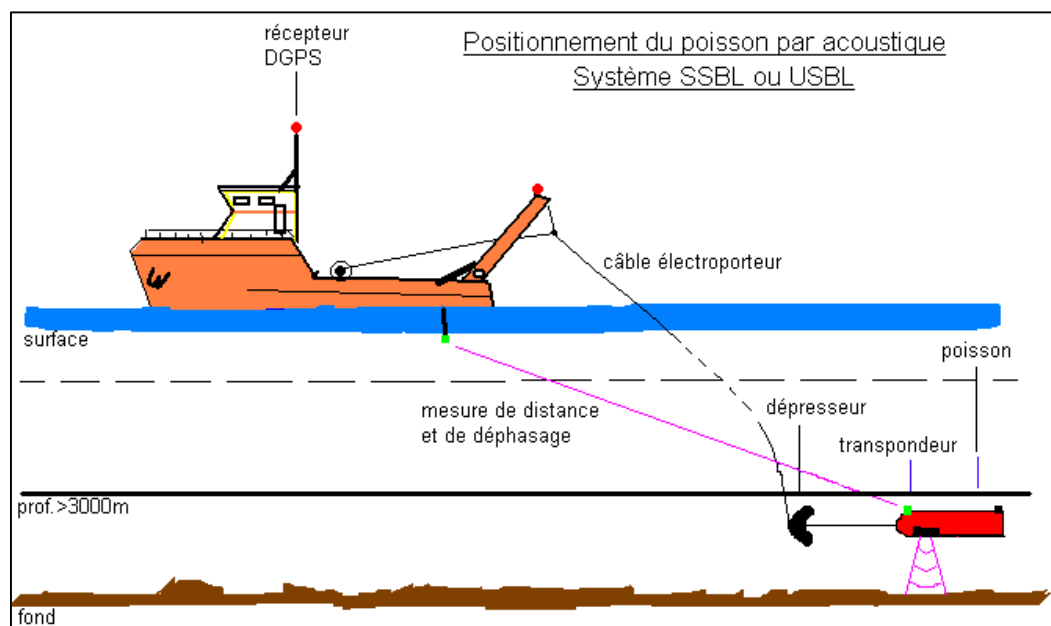
**Figure 49:** Positionnement du poisson en LBL

- La méthode SBL utilise des hydrophones disposés en réseau sur la coque du bateau, recevant un signal depuis un transpondeur sur le poisson. Le temps de parcours est converti en distance avec une précision sur la position du poisson de l'ordre de 1% de la distance, jusqu'à 2500 m de portée.



**Figure 50 :** Positionnement du poisson par SBL.

- La méthode SSBL utilise un ensemble d'éléments montés minutieusement au bout d'un mât sur le bateau remorqueur et calcule la position du poisson par mesure acoustique de la distance et du déphasage afin d'obtenir les angles horizontaux et verticaux. Aujourd'hui il y a encore beaucoup d'autres dérivés de ces méthodes basiques, qui incluent des combinaisons des différentes méthodes, plusieurs navires, et des mesures de déphasage procurant une meilleure précision à des distances plus grandes. En général, au-delà de 1500 mètres, le positionnement devient plus complexe et plus coûteux.



**Figure 51 :** Positionnement du poisson par SSBL

## VI.4. MODE D'ACQUISITION DES DONNEES

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'isophase qui apparaissent comme des motifs ou des franges d'interférence sur l'image. En général, les systèmes par mesure de phase sont plus rapides, entraînés à faible profondeur et couvrent une surface plus large, mais avec une moins bonne résolution. Les systèmes par interférence et isophase sont entraînés 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, la 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 car leur précision est meilleure grâce aux faibles erreurs commises par les multifaisceaux et le profil de la célérité du son.

## VI.5. LA RESTITUTION DES DONNEES

Un sonar latéral donne la morphologie du fond et l'intensité des réflecteurs. Des fonds rugueux avec une myriade d'arêtes réfléchives, des sables grossiers ou fins ou des pentes montantes vont ressortir avec une plus forte intensité que des fonds mous, des silts ou des pentes descendantes. Les plus hautes fréquences (en général au-dessus de kHz) ne pénètrent pas dans le sédiment alors que les basses fréquences pénètrent plus ou moins profondément suivant la dureté du fond et l'angle d'incidence des rayons acoustiques. En connaissant ces caractéristiques, l'ingénieur peut déterminer les spécificités du fond, les failles, les affleurements rocheux, les abrupts, les zones molles et les poches de gaz. Avec un papier d'enregistrement analogique, les niveaux du voltage de chaque "ping" d'émission sont inscrits en fonction du temps pour chaque voie, ressortant une image sur papier (les données analogiques peuvent être sauvegardées directement sur une bande magnétique ou peuvent être numérisées et enregistrées sur une disquette pour un rejeu ultérieur). Beaucoup d'appareils sont disponibles pour numériser, traiter et stocker le signal en temps réel sur des disques optiques ou des bandes pour des rejeux. Ces traitements d'image en temps réel permettent des sélections en couleur, des seuils d'intensité, des zooms sur des cibles sélectionnées ou des zones ainsi que des mesures de distance à l'aide d'un curseur. Ils peuvent afficher la profondeur du poisson, le tangage, le roulis, les à-coups dans la traction, et facilitent le contrôle du sonar.

Des sondeurs détecteurs de fond, placés sous le poisson pénètrent acoustiquement le sédiment et procurent une information sur les couches déposées, les affleurements rocheux, les poches de gaz, les artefacts etc... en utilisant des puissances élevées et des fréquences inférieures à quelques kHz. Les renseignements sont transmis avec les données image du sonar latéral afin de les compléter.

## VI.6. LES APPLICATIONS DES SONARS PROFONDS

Le coût d'une mission offshore est généralement divisé en frais de mobilisation et démobilisation, en jours d'utilisation du bateau, en équipement et personnel, en post-traitement et rapports. La mobilisation peut représenter le coût relatif le plus élevé, surtout pour les missions de courte durée. Un planning judicieux et la sélection d'un bateau approprié peuvent économiser les capitaux et éviter des problèmes administratifs entraînés par les modifications des caractéristiques du navire. Les cadences quotidiennes sont décidées en fonction du budget et de la complexité du système déployé (1.5% du coût de remplacement par jour pour l'équipement "hors-bord" et 1% pour l'équipement à bord). Dans le planning de la mission, il est prudent de prévoir plusieurs tâches au cas où il y aurait un problème avec l'une d'elles. Finalement, la qualité, le contenu et le programme du produit doivent être spécifiés.

## VI.7. CONCLUSION SUR LES SONARS PROFONDS

Les avancées réalisées dans les sonars latéraux profonds et leurs systèmes de navigation et d'imagerie éprouvés laissent imaginer une meilleure et plus rapide évaluation des caractéristiques géophysiques des fonds océaniques. Peu importe l'évolution des systèmes de surface ou de profondeur intermédiaire, il y aura toujours une demande pour les prises de vues réalisées près du fond.

L'avènement des véhicules sous-marins automatisés évoluant à n'importe quelle profondeur et équipés de sonars latéraux va accroître la capacité d'investigation des fonds marins, mais leur difficulté de mise en œuvre ajoutée au coût d'utilisation les empêchera d'être commercialement compétitifs pendant plusieurs années. De même, les nouveaux systèmes sous-marins à scanners au laser sont utilisés pour des recherches de faible envergure à des profondeurs moyennes, mais leur utilité dans la recherche sous-marine commerciale est limitée.

Les avantages majeurs des sonars latéraux profonds sont la minimisation de toutes les erreurs causées par la colonne d'eau et la dispersion des rayons sonores. Ainsi, les rayons émis vers le fond, situé alors à proximité du poisson, procurent une meilleure résolution. On évite l'imprécision dans la mesure de profondeur par l'inflexion des rayons et par l'utilisation de basses fréquences, propres aux engins tractés sous la surface, ainsi que la modification du signal retour par l'hétérogénéité de la colonne d'eau lorsqu'il revient vers la surface.

Les inconvénients des systèmes tractés à grande profondeur sont leur faible vitesse de remorquage et le surcoût engendré par d'onéreux systèmes de positionnement du poisson. De plus, la complexité du travail en eaux profondes requiert beaucoup de matériel de rechange et la mobilisation de personnel très qualifié. Le simple fait que ce sont des systèmes profonds implique souvent que les supports terrestres sont très éloignés.

Les systèmes de positionnement DGPS actuels permettent une position en surface au cm, et les sondeurs autorisent un calcul de profondeur du poisson à 0.1% de la profondeur totale en mesurant la pression, la température, et la conductivité. La distance du poisson au fond peut être mesurée très précisément grâce à l'acoustique dans les eaux profondes froides dont la température est uniforme. Contrairement aux premiers sondeurs qui mesuraient la profondeur sous la coque du navire, les sonars actuels opérant avec un mode de bathymétrie latérale peuvent mesurer la profondeur sur une bande en travers de la route du bateau. Cette information est combinée avec l'image donnée par le sonar, la position, et d'autres données géophysiques et géotechniques sur lesquelles on se base pour définir la zone d'installation des infrastructures sous-marines. (*Traduction de l'article Deep-Towed Sidescan Sonars de Arthur St.C. Wright paru dans SEA TECHNOLOGY-Juin 1997*)

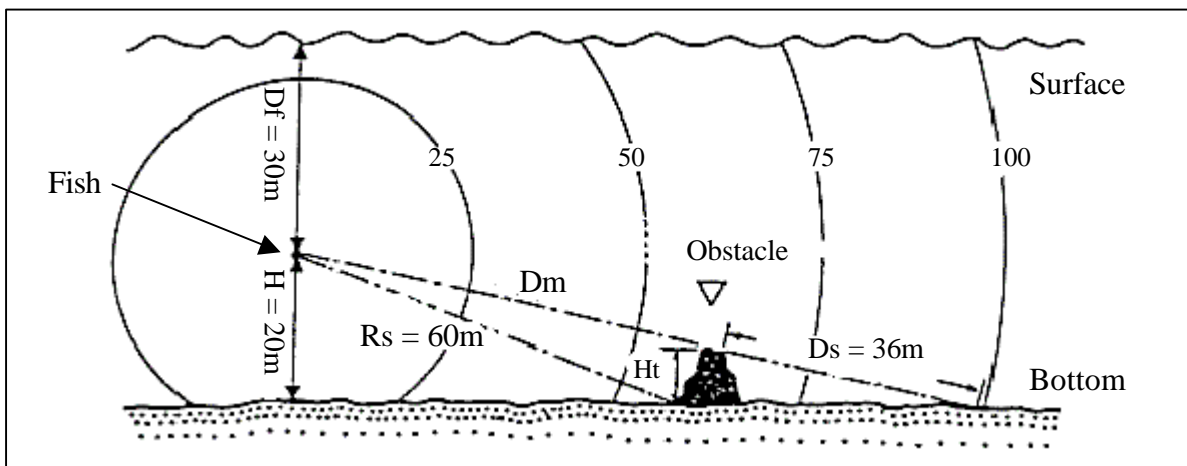
## IX. DETERMINATION DE LA POSITION ET DE LA HAUTEUR D'UN OBSTACLE

Le calcul de la hauteur d'une obstruction demande un écho nettement identifié. La distance horizontale **Dh** (distance entre le point du fond situé à la verticale du poisson et cet objet) est déterminée (*Fig 53*) à partir de sa distance mesurée **Dm** sur le papier et de la hauteur **H** du poisson au dessus du fond suivant la formule :

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

**Dh** représente la position transversale de l'obstacle.

La position longitudinale (suivant la route du poisson) de cet obstacle est déterminée par rapport à des tops correspondant à des points dont on connaît les coordonnées (X,Y ou latitude, longitude). D'où la nécessité de bien synchroniser les différents appareils de radiopositionnement et le sonar.



**Figure 52 :** Calcul de la hauteur d'une obstruction.

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 :

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

Si l'obstacle crée une ombre portée de longueur **ds**, la hauteur de l'obstacle au dessus du fond (**Ht**) peut être estimée :

$$Ht = \frac{Ds \cdot H}{Ds + Dm}$$

Il s'agit bien sur d'une estimation qui ne prend pas en compte :

- la courbure du faisceau acoustique,
- les mouvements propres au poisson (roulis, tangage...),
- les problèmes de dérive.



## X. LE CHIRP SONAL

### X.1. INTRODUCTION

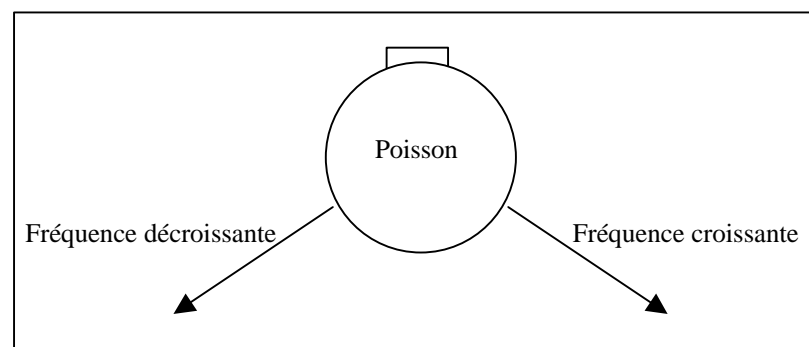
Les sonars latéraux conventionnels émettent à une fréquence donnée constante. La base de leur problème réside dans le conflit qui existe entre la portée et la résolution : une haute fréquence accroîtra la résolution au détriment de la portée qui sera réduite. Une basse fréquence ou une augmentation extrême 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, d'augmenter le rapport Signal/Bruit en utilisant la technologie numérique, entra autre grâce aux différents développements informatiques.

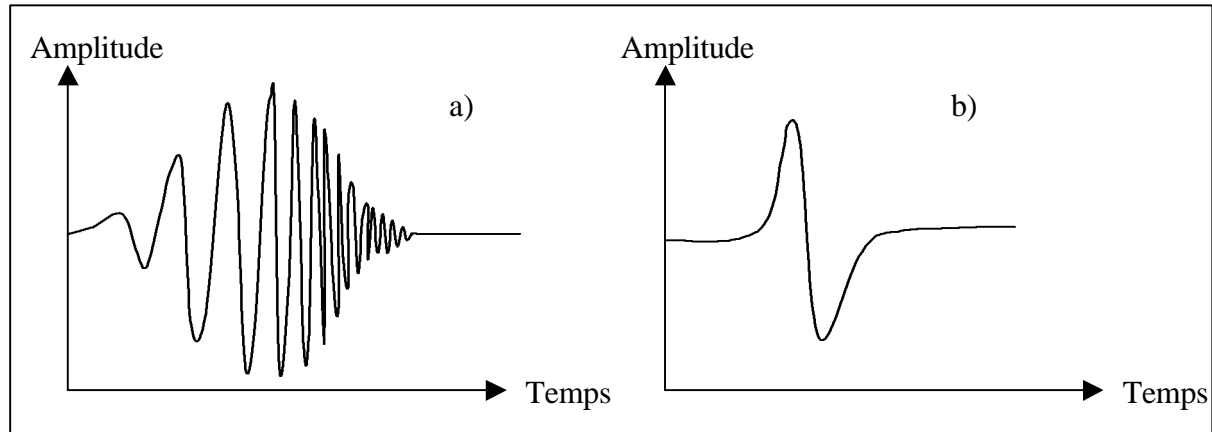
La technologie Chirp ou encore « technologie du rythme de compression » fut d'abord utilisée par les systèmes radar au cours de la seconde guerre mondiale. La source Chirp peut être comparée aux stridulations émises par les insectes, par analogie au signal modulé qu'ils émettent :

### X.2. LE SYSTEME SONAL A 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, et opérant à une fréquence croissante ou décroissante suivant que le côté où se situe le transducteur sur le poisson.



**Figure 53 :** Répartition des fréquences de part et d'autre du poisson.



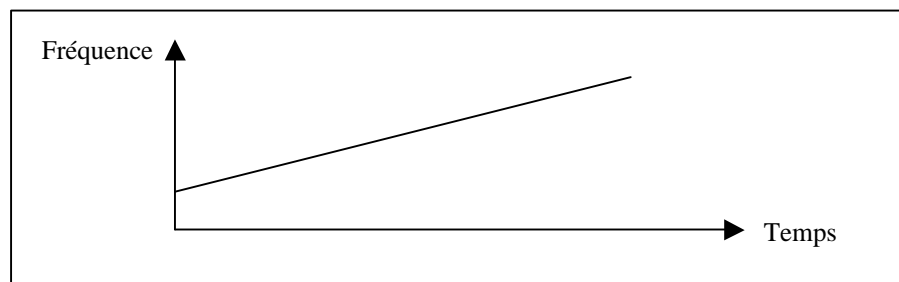
**Figure 54 :** Signal d'un émetteur Chirp (a) et signal d'un émetteur de SONAL conventionnel (b).

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 pour une modulation de fréquence variant 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))

### X.3. CHEMINEMENT DE L'ONDE

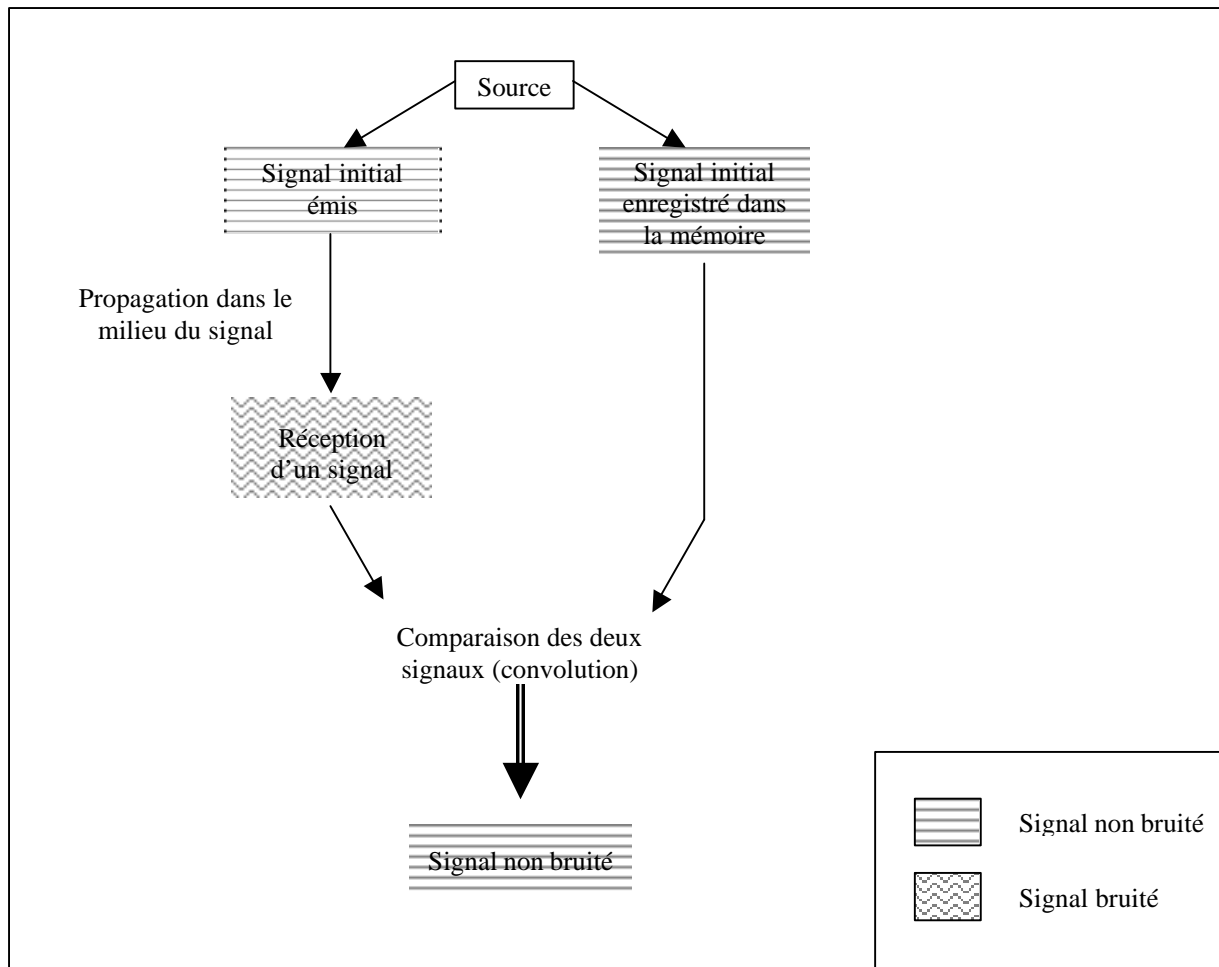
L'émission d'une telle onde est totalement contrôlée : le système émet une onde dont la fréquence augmente linéairement dans le temps. Une copie de cette fonction de transmission est emmagasinée dans la mémoire du système de traitement de l'information.



**Figure 55 :** évolution linéaire de la fréquence en fonction du temps lors d'une émission chirp.

Lors du retour de l'onde au transducteur, l'onde électrique passe alors dans un filtre qui va comparer le signal reçu à sa copie réalisée lors de l'émission. Lors de cette comparaison, les bruits auront une faible corrélation par avec le signal type, il sera alors aisé de les enlever. Quantitativement, ce système permet d'augmenter le gain de 20dB.

La sortie du filtre de corrélation est une pulsation étroite en pente : plus la largeur de bande sera grande, plus étroite sera la corrélation (elle sera d'autant plus comprimée que la largeur de bande sera grande).



**Figure 56 :** Cheminement du signal de l'émission, à la sortie du filtre comparateur de signal.

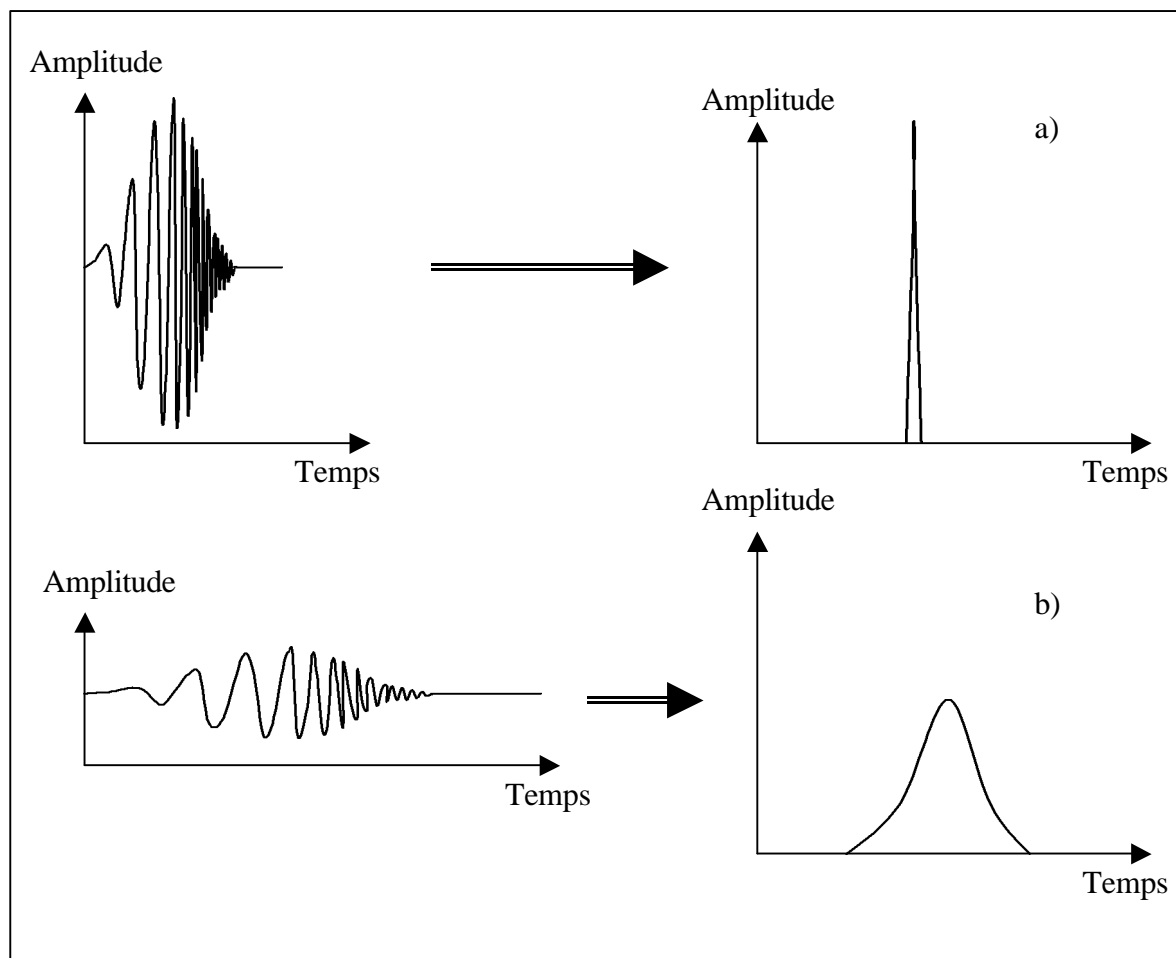
## X.4. AMELIORATION DU SYSTEME

Il est possible d'émettre une onde dont le spectre de fréquence est gaussien pour compenser les variations dues à des éléments métalliques, ou l'absorption de l'énergie acoustique de hautes fréquences à forte profondeur d'eau. C'est une émission d'ondes calibrées à une amplitude et une phase définies. Cependant l'amplitude gaussienne introduit des problèmes pour la résolution, la portée et le rapport Signal/Bruit.

## X.5. 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 (Fréquence de Shannon)

Pour effectuer les différentes mesures avec un Chirp sonal, il est nécessaire d'enregistrer : CTD, Magnétomètre, mesure de flux, altimètre, Détecteur de profondeur, Boussole et d'intégrer les données de navigation.



**Figure 57 :** Interprétation de deux types de signaux chirp reçus lors du traitement.

## XI. LES DIFFERENTS SONALS DU MARCHE

### XI.1. CRITERES DE CHOIX D'UN SONAL

Avant de choisir ou de comparer un SONAL, il convient de connaître très précisément l'utilisation qu'en fera un futur acquéreur ; un sonal est en effet un instrument de travail qui n'est conçu pour travailler de manière optimale que dans des conditions précises. Il est donc nécessaire de bien différencier un sonal qui travaillera par petits fonds d'un sonal qui travaillera par grand fond. Lors de sa création, le fabriquant aura tendance à favoriser la portée d'observation au détriment de la résolution, ou au contraire, améliorer la résolution au détriment d'une faible portée.

*Remarque* : les sonal cités ci-dessous sont repris dans les tableaux des pages suivantes

Les différents points suivants montrent les aspects sur lesquels un potentiel acquéreur doit réfléchir :

- **La profondeur d'investigation** : Pour cette étude, nous prendrons comme limite des SONALS petit fonds, des profondeurs allant de 0 à environ 1 000. Les SONALS grand fond peuvent observer le sol jusqu'à des profondeurs allant jusqu'à 6 000m.
- **La portée** : elle est aussi variable d'un poisson à un autre, elle dépend du type de transducteur utilisé, de sa fréquence et de l'orientation qui lui est donnée par rapport à la surface à éclairer. La portée maximale varie en moyenne de 300m à 60km.

*Par exemple* : *C-Max 800* portée de 300m      angle de 70° par rapport à la verticale  
                   *Gloria*                      portée de 60km                      angle de 30° par rapport à la verticale

- **La vitesse d'acquisition** : c'est un paramètre très important : il dépend de la couverture que l'on veut faire de la zone. Des SONALS différents seront utilisées pour réaliser la cartographie du pied d'un pont dans un fleuve et la recherche d'une épave en Manche. La vitesse varie de 5 à 20nuds.

*Par exemple* : 5 Nouds      *C-Scan 450*  
                   20 Nouds      *Klein595*

- **Le système d'émission** il est possible de discerner les SONALS de Basse fréquence de 100 à 300kHz et ceux émettant aux hautes fréquences : supérieurs à 300kHz. Les différents modèles peuvent disposer d'un transducteur Haute Fréquence, d'un Basse Fréquence, ou des deux à la fois.

*Par exemple* : Haute fréquence      *Klein 5 400*                      455kHz  
                   Basse fréquence              *Submetrix 5 101*                      234kHz  
                   Basse et haute fréquence      *Edgetech DF 1 000*                      100 à 400kHz

- **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 SONALS numériques d'adapter une sortie analogique et sur un SONALS analogique d'adapter une sortie numérique.

Par exemple :      Analogique                      C-Scan 450  
                          Numérique                      Klein 2 000

- **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
- **Les options** proposées par les fabricants montrent l'évolutivité des matériels, ainsi que leur capacité à s'adapter à tous les environnements.

Il est par exemple possible d'adapter sur tous les Klein un « K-WING depressor » : cet appareil se monte entre le poisson et le câble coaxial ; il permet de mieux placer le poisson dans l'eau et de le rendre plus stable. L'aplatissement causé par le dépresseur permet aussi de diminuer la longueur de câble utilisé.



**Figure 58 :** Le K-WING Depressor développé par Klein  
<http://www.kleinsonar.com/accessories/accessories.html>

## XI.2. SONALS DE PETITS FONDS

### XI.2.1. *Les applications*

Les sonars latéraux de petit fond permettent de cartographier des fonds allant de 0 à 1 000m. Ces SONAL sont principalement utilisés dans les domaines :

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

Ces différents domaines d'exploration nécessitent des SONALS spécifiques, d'où la diversité des SONALS que l'on peut trouver auprès des fabricants. Les sonars latéraux peuvent être caractérisés par leurs portées, leurs fréquences, leur vitesses d'acquisition ou leur profondeur. Dans la volonté d'obtenir une résolution optimale, il sera nécessaire de prendre en compte tous ces facteurs lors du choix du SONAL que l'on veut acquérir.

De plus, en fonction du budget du mode de stockage et du traitement à apporter au signal reçu, il sera nécessaire de différencier une utilisation analogique ou numérique du SONAL.

### XI.2.2. *Les principaux fabricants*

La distribution des Sonars Latéraux est actuellement dominée par quelques très grands fabricants :

- Edgetech : cette entreprise s'est couplée avec l'entreprise « EG&G Marine Instruments » et présente actuellement les modèles de la firme EG&G
- Klein
- Datasonics
- Ultra Electronics

D'autres fabricants moins présents de par la diversité de leurs matériels présentent aussi des sonars latéraux :

- J.W.Fishers
- Marine Sonics
- C-Max
- C-Scan
- Submetrix

Le tableau suivant présente les principaux sonars latéraux de faible profondeur du marché. Les figures 60 et 61 présentent respectivement les adresses des principaux fabricants et les principaux distributeurs de sonals.





Fabriquant	Référence	Fréquence (kHz)	Portée totale (m)	Angle des transducteurs		Profondeur maximale (m)	Vitesse (Nq)	Analogique ou Numérique	Poids (Kg)		Dimensions Lxd (cm)	Equipement standard	Options
				Vertical (°)	horizontal (°)				dans l'air	dans l'eau			
C-Max	800	325	300	70	0,3	500	2 à 6	Numérique	18		139	3 fréquences interchangeable: H.F.: Haute fréquence B.F.: Basse fréquence DF: les deux fréquences Prix de base: 180 000F	
		102	800	50	0,9								
C-Scan	450		300			1 000	5	Analogique		9			
Edgetech	DF 1 000	100		50	1,2	1 000	12,7	Numérique	30		158 x 11,4	Acquisition en 12 bit; 1,5 Mbits/sec.	
		400		51	0,5								
EG&G	LC 100	105		50	1,2	100	2 à 4	Analogique	18,1	9,5	114,8 x 11,3	256 niveaux de gris	
EG&G	260	100 à 390	50 à 200	50	0,5	600	0 à 12,7	Analogique	25		140 x 11,4		
EG&G	272	100		50	1,2	600	0 à 12,7	Analogique	25		140 x 11,4		
		500		51	0,5								
J.W. Fishers	SSS-100K	100	3 000		1	150		Numérique					Sortie analogique altimètre sortie 2 20Vac pour l'Europe:
Klein	595: 422S-101HF dual freq	100	400 à 1000	40	1	1 000	1 à 8		27	23	145 x 8,9	Prix approximatif : 400 000F pour un équipement de base	
		500	150 à 300	40	0,2	1 000							
	595: 422S-101EF single freq	500	150 à 300	40	0,2	1 000	1 à 8		21,7	16,3	122 x 8,9		
	595: 422S-101AF single fraq	100	400 à 1000	40	1	1 000	1 à 8		21,7	16,3	122 x 8,9		
	595: 422S-101F single freq	100	400 à 1000	40	0,75	1 000	1 à 8		26,7	20,8	143 x 8,9		
	595: 422S-101GFsingle freq	50	1 000 à 1500	40	1,5	1 000	1 à 8		28,1	21,16	147 x 8,9		
Klein	2000							Numérique	31,8		152 x 11,4	Capteurs de tangage, roulis, pression et température. Acquisition en 12 bit, 256 niveaux de gris	Capteur de roulis haute résolution, altimètre, sondeur bathymétrique
Klein	2000 NV							Numérique	34		162,5 x 11,4		Capteur de roulis haute résolution, altimètre, sondeur bathymétrique
Marine sonic	Seascan PC dual frequency	150	800					Numérique	16,8		110 x 10,2		
		600	150					Numérique	15		110 x 10,2		
Marine sonic	Seascan PC dual frequency	300	400					Numérique	15,9		110 x 10,2		
		1 200						Numérique	15		110 x 10,2		
ORE	1 500	100	Variable	55	1	1 000		Analogique	39	17	135 x 11,5		
Simrad	MS 992	120 à 330	400	50	0,5	1 000		Numérique	27,2		139		
Submetrix	5101	234	300		1	1 000		Numérique	40		117 x 16,5	résol: 0,075m	
Submetrix	5201	468	150		0,9	1 000		Numérique	40		117 x 16,5	résol: 0,037m	



Nom	Adresse	Téléphone	Fax	Mail	Site Web
C-Max Ltd	18 Kington Lane, Broadmayn Dorchester, Dorset DT2 8PP ENGLAND	44 1305 853005	44 1305 852136	Sales@c-max.co.uk	<a href="http://www.c-max.co.uk">http://www.c-max.co.uk</a>
Datasonics	P.O. Box 8, Cataumet, MA 02543 ENGLAND	508 563 5511	508 563 9312	Sales@datasonics.com	<a href="http://www.datasonics.com">http://www.datasonics.com</a>
Edgetech	455 Fortune Boulevard, Milford, MA 01803 USA	(508) 478-9500	(508) 478-1456	Sales@edgetech.com	<a href="http://www.edgetech.com">http://www.edgetech.com</a>
EG&G Marine Instruments	217 Middlesex Turnpike, Burlington, MA 01803 USA	(617) 270-9100	(617) 270-9724		
J.W. Fishers INC	1953 County ST. E. Taunton, MA 02718 USA	(800) 822-4744	(508) 880-89494	JWFishers@aol.com	
GEC- MARCONI	Elettre, Waterlooville Hampshire PO7 7XS ENGLAND	44 (0) 1705 350 112	44 (0) 1705 260 025		<a href="http://www.gec.com">http://www.gec.com</a>
Geoacoustics Ltd	Shuttelworth close, Gapton Hall Industrial Estate, Great Yarmouth Norfolk, NR31 0NQ ENGLAND	44 (0) 1493 600 666	44 (0) 1493 651 100	Sales@geoacoustics.co.uk	<a href="Http://www.geoacoustics.co.uk">Http://www.geoacoustics.co.uk</a>
Klein	11 Klein Drive Salem NH03079-1249 USA	(603) 893 6131	(603) 893 8807	SONAR@attmail.com SONAR@klein.mv.com	<a href="http://www.kleinsonar.com">http://www.kleinsonar.com</a>
Marine Sonic Technology Ltd	5508 George Washington Memorial PO Box 730 White Marsh Virginia, 23 183 -0730 USA	(804)447 4804	(804) 693 6785	Mstl@marinesonic.com	<a href="http://www.marinesonic.com">http://www.marinesonic.com</a>
Kongsberg SIMRAD	UK	44 (0) 1224 226 500	44 (0) 1224 226 501		<a href="http://www.kongsbers.simrad.com">http://www.kongsbers.simrad.com</a>
Ultra Electronics Ocean Systems	Waverley House, Hampshire Rd, Granby Ind, Estate, Weymouth DT4 9XD ENGLAND	44 (0) 1305 784 738	44 (0) 1305 777 904	100600.477@compuserve.com	

**Figure 59:** Adresses des principaux fabricants de sonars latéraux.

Nom	Adresse	Téléphone	Fax	Mail	Site Web
Horsodan Marine Department	ISLANDSVEJ 5 8700 HORENS Denmark	(45) 756 174 00	(45) 756 177 07	Marine@horsodan.com	<a href="http://www.horsodan.com">http://www.horsodan.com</a>
Achtyd	ZA du clos aux pois Rue de la closerie CZE5245 LISSSES 91052 EVRY Cedex France	01 69 91 43 43	01 69 91 43 44		
Marconi Underwater Systems Ltd	Eletra Avenue Waterlooville Hampshire PO7 7XS England	(0705) 264 466			
Mesuris S.A.	19, rue de la peupleraie 35750 St Grégoire France	02 99 23 42 00	02 99 68 73 36	Alain.paubert@mesuris.com	<a href="Http://www.mesuris.com">Http://www.mesuris.com</a>
Nereides	Centre d'affaires Grand Var Quartier des plantades BP. 125 83088 Toulon Cedex 9 France	04 94 75 42 05	04 94 08 20 90	NEREIDES_SUD@COMPUSERVE.com	
Sea Tronics	Unit 23 Denmore Industrial Estate Bridge of Don Aberdeen AB23 8JW UK	(44) 1224 704 844	(44) 1224 822 614	101233.3177@compuserve.com	<a href="http://www.seatronics.co.uk">http://www.seatronics.co.uk</a>

**Figure 60 :** Liste des différents distributeurs de sonars latéraux pour petits fonds.

### **XI.3. LES SONALS DE GRANDS FONDS**

La plupart des sonars latéraux profonds sont montrés dans le tableau par ordre d'apparition. Ne sont pas inclus ceux tractés par des ROV ou installés sur des ROV ou sur des sous-marins, certains systèmes étrangers, de moyenne profondeur ou de plus petite taille et pouvant atteindre le fond à 6000 m mais ayant des performances en retrait.

La fréquence utilisée par le système donne une indication sur sa portée (30 kHz atteint 3000 m ; 120 kHz, 500 m). Un sonar émet des 2 côtés latéralement, donc la bande couverte est le double de la portée. Cependant, traîner quelque chose près du fond au bout d'un long câble dans des fonds souvent accidentés est une opération hasardeuse et risquée (les poissons perdus ne sont pas rares).

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. Sa courte portée et sa faible vitesse de remorquage n'en font pas un outil très rentable pour les opérations commerciales mais est toujours très utile pour les investigations scientifiques. La meilleure flotte de sonars latéraux profonds dédiés à la recherche et aux opérations commerciales a été construite par un groupe d'ingénieurs qui ont travaillé successivement pour International Submarine Technology (Port Coquitlam, Colombie britannique, Canada), Acoustic Marine Systems Inc. (AMS) (Redmond, Washington) et maintenant Simrad (Lynnwood, Washington). Cette flotte inclut : 5 Sea Marc I (Sea Mapping and Remote Characterisation) construits par IST dans les années 1980 (2 sont toujours opérationnels), 5 AMS produits entre 1990 et 1992 (4 sont toujours en service), et un Simrad AMS fabriqué pour la COMRA (China Ocean Mineral Resources R&D Association).

Tous les systèmes AMS peuvent faire des mesures bathymétriques sur la couverture insonifiée en utilisant les mesures de déphasage ou la technique interférométrique. La combinaison de l'imagerie, de la bathymétrie et de la détection du fond, couplées au positionnement, dans un seul appareil procure un potentiel de recherche encore inimaginable il y a quelques années. Les récentes utilisations ont été pour la recherche géologique dans l'océan Atlantique, 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 polymétalliques dans le bassin du Pacifique Est.

De la même manière que pour les sonar de petit fond, les caractéristiques techniques de SONAL grand fond sont repris dans les figures 55 et 56.

<b>Deep-towed sonars</b>		
<b>System (frequency, kHz)</b>	<b>Manufacturer / year</b>	<b>Operator</b>
<u><i>Government and research systems</i></u>		
Deep tow (110)	Scripps / 1962	Scripps
SAR (170)	Thomson / 1985	IFREMER
MSSS (30)	IST – LDGO / 1986	Lamont Doherty
JAMSTEC Deep tow (70)	JAMSTEC / 1989	JAMSTEC
AMS-120 (120)	AMS / 1990	Woods Hole
TOBI (30)	IOS Deacon / 1990	Southampton
SIS-7000 (26-37 chirp)	Datasonics / 1992	USGS
AMS-60 (60)	Simrad / 1995	COMRA
MAK 1M (30/100)	NIPI / 1996	Romanian Center
SIS-3000 (55-65 chirp)	Datasonics / 1997	KORDI
<u><i>Commercial systems</i></u>		
SeaMARC 1A (30)	ST / 1984	Williamson
AMS – 120 (120)	AMS / 1990	Williamson
MAK – 1M (30/100)	AMS / 1990	CGGE, R/V Gelendzhik
Explorer 6000 (120)	AMS / 1991	Oceanering
AMS – 60 (60)	AMS / 1992	Williamson
MAK – 1M (30 / 100)	NIPI / 1992	CGGE,R/V Yuzhmorgeologiya
MAK – 1M (30 / 100)	NIPI / 1993	CGGE, R/V Dalmorgeologiya
MAK – 1M (30 / 100)	NIPI / 1996	NIPI
Deepscan	Ultra / 1997	Ultra Electronics

**Figure 61 :** Tableau de présentation des différents sonars profonds existants Sea Technology, juin 1997.

Système (année)	Sonar Latéral (impulsion)	Détecteur de fond	Bathymétrie latérale	Dimensions	Capteurs	Autre
<b>MAK-1M</b> 1990-1996	30-100kHz 1µs – 0,25µs	5 kHz	non	Longueur : 6 m Poids : 1900 kg	Pression, tangage, roulis, accéléromètre	
<b>Deep Towed Sea Floor Mapper SIS 7 000</b> 1992	Modulation de fréquence 26 à 33 kHz à babord 33 à 26 kHz à tribord 10ms portée : 1 500m 60 ms portée : 3 000m	2 à 7 kHz	oui		Conductivité, température Profondeur, tangage, roulis, magnétomètre	Dépresseur de 1 100 kg
<b>SIS 3 000</b> 1997	Modulation de fréquence 55 à 65 kHz		oui			Profondeur: 6 000m Portée totale : 2 000m
<b>TOBI</b>	30 kHz à tribord 32 kHz à babord	7,5 kHz	oui			Remorqué près du fond. Portée de 3 km
<b>DeepScan 60</b> 1997	60 kHz		oui			Pilotage acoustique Profondeur : 6 000 m
<b>UltraScan 5 0 00</b> 1997	120 kHz portée de 400m					
<b>SAR</b> 1985	170 kHz à tribord 190kHz à babord portée : 500m résolution : 0,3m	3,5 kHz (résol : 0,75 m)	non	L : 5 m Diamètre : 1 m Poids : 2 500 kg	Profondeur d'immersion, cap, vitesse	Dépresseur de 2 tonnes Système remorqué près du fond (70m pour une portée de 500m) Possède un sondeur de sédiments, et une flûte sismique pour acquisition monotrace.
<b>Nec NE-157</b>	70 kHz portée 1 000m	4,8 kHz		Diamètre : 1,2m Hauteur : 1,4m Poids : 1 000 kg		
<b>Gloria</b>	6,2 et 6,8, avec fréquence modulable de 100hz			Hauteur: 8,0 m Poids 2,4 tonnes		Portée de 14 à 60 km Profondeur du poisson : 50m. Vitesse : 6 à 10 Nœuds

**Figure 62** : caractéristiques techniques principales des sonars latéraux profonds actuels

## XI.4.LES SONALS NON CONVENTIONNELS

Deux types de sonar latéraux sont à inclure dans les SONAL non conventionnels :

- les Chirp SONAL
- Le sonal multifaisceaux

- Les chirp SONAL

Ces sonars Latéraux sont exclusivement représentés par la la firme DATASONICS inventeur de la technologie chirp appliquée au SONAL. (voir Le chapitre X 'le Chirp SONAL' pour la technique du chirp).

La gamme des chirp SONAL est représentée pour tous les fonds et des portées allant de 100m à 5 000m.

Le SIS 1000 et SIS 1 500 sont des sonars de petit fonds 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.

- Le SONAL Multifaisceaux

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.

Type de SONAL	Vitesse d'acquisition pour une couverture de 100% (nœuds)	Portée par côté (mètres)
5 400	8	150
5 500	10	150
5 800	20	200



Fabricant	Référence	Fréquence (kHz)	Portée totale	Angle des transducteurs		Profondeur maximale (m)	Vitesse (Nq)	Poids (Kg)		Dimensions Lxd (cm)	Equipement standard	Options
				Vertical (°)	Horizontal (°)			Dans l'air	Dans l'eau			
Datasonics	SIS-1 000 TTV-190	100 en FM		60	0,5	1 000		135	77	152,4 x 45,7	Sub'bottom profiler (2kHz à 7kHz en FM)	Capteur de roulis, tangage, vitesse et profondeur
Datasonics	SIS-1 500 TTV-192	200 en FM	50 à 1 000	55	0,5	1 000	1 à 14	36		178 x 11,4	Capteur de roulis, de tangage et température	Profondeur, magnétomètre
Datasonics	SIS-3 000 TTV-192					6 500						
Datasonics	SIS-7 000					6 500						
Klein	5 400	455	300	20		100 à 1 500	2 à 8	70		194 x 15,2	Capteurs de tangage, roulis, pression et température. 8 transducteurs par rangée de 4 de part et d'autre du poisson, permet une acquisition plus rapide qu'un poisson conventionnel Résolution: 20cm à 75m et 36cm à 150m.	Capteurs de roulis haute résolution altimètre, sondeur bathymétrique
Klein	5 500	455	300				2 à 10			194 x 15,2	Capteurs de tangage, roulis, pression et température. 10 transducteurs par rangée de 5 de part et d'autre du poisson, permet une acquisition plus rapide qu'un poisson conventionnel Résolution: 20cm à 75m et 36cm à 150m.	Capteurs de roulis haute résolution altimètre, sondeur bathymétrique
Klein	5 800	455	400				2 à 15				Capteurs de tangage, roulis, pression et température. 16 transducteurs par rangée de 8 de part et d'autre du poisson, permet une acquisition plus rapide qu'un poisson conventionnel Résolution: 25cm à 150m et 33cm à 200m.	Capteurs de roulis haute résolution altimètre, sondeur bathymétrique

**Figure 63 :** Caractéristiques des différents sonar non conventionnels

## **XII. CONCLUSION**

L'étude des reliefs sous-marins a fait d'énormes progrès depuis la mise au point d'une gamme étendue de systèmes de sonars latéraux. L'avantage de ces systèmes est de fournir une vision latérale des reliefs qui, lors du déplacement du navire se transforme en 3 dimensions. Cependant, de par ses caractéristiques, chaque outil s'adresse à une gamme particulière de profondeurs et de longueurs d'ondes en fonction du relief.

Les zones du plateau continental ont été privilégiées pour des raisons industrielles (génie civil et ressources minérales, cartographie des zones économiques exclusives...) et les résolutions obtenues sont à la hauteur du besoin et ceci grâce à une gamme de profondeurs assez limitées (10 à 200 m).

En ce qui concerne la géologie, il est possible d'avoir des indications sur la nature des fonds, indications qui pourront être éventuellement complétées par des prélèvements pour identifier les formations en présence. Les appareils étant de plus en plus variés, il s'agit donc de bien choisir l'appareil qui convient selon l'objectif que l'on veut atteindre.

# GLOSSAIRE

**Le sonar latéral** constitue un moyen d'observation indirecte des fonds marins et permet de réaliser l'image acoustique de ceux-ci.

**La réflexion spéculaire** correspond à la réflexion des rayons acoustiques proche de l'incidence normale sur le fond marin.

**La rétrodiffusion ou réverbération** est liée à la réflexion des rayons acoustiques sur le fond marin de manière incohérente.

**Le transducteur** transforme, grâce à la magnétostriction ou la piézo-électricité, l'énergie électrique en énergie sonore lors de l'émission, et inversement lors de la réception.

**Une image acoustique** est constituée par un ensemble de lignes qui sont acquises séparément par un même processus acoustique se répétant périodiquement.

**La détection** est la capacité d'un objet sur le sol marin, de faire une trace visible sur l'image sonar.

**La résolution** est la faculté, pour un système, à distinguer 2 cibles séparées sur le fond marin. Elle caractérise le grain de l'image.

**La résolution angulaire** est la largeur du lobe de directivité de l'antenne au niveau de l'énergie maximum.

**La résolution longitudinale** est l'écart minimum entre 2 objets ponctuels pour qu'ils soient discernables dans le sens d'avancement du poisson.

**La résolution transversale** est la distance minimale nécessaire pour définir 2 objets distincts sur la perpendiculaire à la trajectoire du poisson.

**La résolution instrumentale** cherche à estimer l'aire du fond marin source du retour acoustique qui est intégrée dans un pixel donné.

# **BIBLIOGRAPHIE**

ANONYME, s.d.. Le sondeur latéral et sonar. Fascicule, 4p..

ANONYME, s.d.. Reconnaissance des fonds marins : bathymétrie et topographie. Fascicule p 73 et 83.

ANONYME, s.d.. Sismique-sonar latéral. Fascicule, pp 19-25.

AUGUSTIN J.M. et VOISSET M., 1989. Image sonar et cartographie en géologie. L'onde électrique, vol. 69, n°3, 21-27.

BEAUDOUIN L. et PITEL M., 1994. Le Sonar Latéral. Rapport d'étude technique, INTECHMER, 1-21.

BERNE S., AUGUSTIN J.M., BRAUD F., CHENE G., et WALKER P. Cartographie et interprétation de la dynamique sédimentaire des plates-formes continentales : Amélioration de la technique d'observation par le sonar latéral. IFREMER, n°47, 7.

BOUVET M., 1992. Traitement des signaux pour les systèmes sonars. Collection technique et scientifique des télécommunications, MASSON, Paris, 483.

BURKE R. et ROBSON J., 1975. Evaluation du système sonar à faisceaux multiples BO'SUN. Revue hydrographique internationale, Monaco, 58-75.

CALVEZ J.P., 1989. Filtrage du speckle sur des images de sonar latéral. Travail de fin d'étude d'ingénieur. IFREMER, 1-30.

COUSTEAU J.Y., 1982. Science, Le monde de l'eau. Cousteau La Planète Océan. Robert Laffont, Barcelone, 128p.

EDO WESTERN CORP., s.d.. Model 606-604 Deep Tow Survey System. Prospectus, Utah, 4p..

FISH J.P., GARR A.H., 1990. Sound Underwater Images. A guide to the generation and interpretation of side scan sonar data. EG&G, Mass., 188p.

FISH J.P. et GARR A.H., 1990. Sound underwater images. American underwater search and survey, sl, 32-40.

FLEMMING B.W., 1976. Side scan sonar : A practical guide. The international hydrographic review, vol L3, n°1.

GARRIoud N., 1993. Le sonar latéral. Rapport d'étude technique. INTECHMER, 1-18.

GREENWOOD B., RICHARDS R.G. et BRANDER R.W., 1993. Acoustic imaging of sea bed geometry : A high resolution remote tracking sonar (HRRTS 2). Marine geology, Elsevier science publisher B.V., Amsterdam, vol. 112, 207-218.

IFREMER, 1991. Technologies sous-marines pour la recherche et le développement. *In* Colloque Intervention sous-marine 90. service de la documentation et des publications Ifremer, Brest, pp 294-300.

LEFAUDEUX F., s.d.. Système sonar. Théorie et applications de l'acoustique sous-marine, Tome 5, Centre d'édition et de documentation de l'ENSTA, Paris, 164p..

LEGAC A., GRATTEPANCHE D., s.d.. Le sonar latéral. Etude technique. INTECHMER, Cherbourg.

LE TIRANT P., 1976. reconnaissance des sols en mer pour l'implantation des ouvrages pétroliers. Technip, Paris, pp 71-103.

MEAR Y., 1995. Side scan sonar : Theory and practice. Cours pour stagiaires indonésiens, INTECHMER, 44p.

PAUL JOHNSON H. et HELFERTY M., 1990. The geological interpretation of side scan sonar. Reviews of geophysics, vol.28, n°4,s.l., 367-370.

REGNIER T., 1998. Exploitation des données SAR. Rapport de stage filière 3, INTECHMER, 17, 21, 46.

ROUSSEAU O., 1993. Acoustique sous-marine. Cours filière 3 – 1993 . INTECHMER.

Dr Changle Fang, Octobre 1998. Digital Chirp Sonar System Software. Sea Technology, Octobre 1998, Vol 39, N°10.

SEARLE R.C., 1990. Gloria image processing : The state of art. Marine geophysical researches, vol. 12, 21-39.

STEFANON A., 1984. Marine sedimentology through modern acoustical methods : Side scan sonar. Bollettino di oceanologica ed applicata, Istituto di biologia del mar, Venezia, vol. 3, n°1, 38.

TRAMBLAY M. 1992. Dépouillement des données du sonar latéral. Etude bibliographique. INTECHMER.

ULTRA ELECTRONICS OCEAN SYSTEMS, 1994. Handbook for model 3050E Widescan. Manuel d'utilisation, Chapitres 1, 3, 4.

WRIGHT A.St.C., 1997. Deep-Towed Sidescan Sonars. Sea Technology, June 1997, p31-38.

#### Sites Internet explorés relatifs aux Sonar Latéraux :

<http://www.c-max.co.uk>

<http://www.datasonics.com>

<http://www.edgetech.com>

<http://www.gec.com>

<http://www.geoacoustics.com>

<http://www.kleinsonar.com>

<http://www.marinesonics.com>

<http://www.odomhydrographic.com/htdocs/cm800text.shtml>

<http://www.kongsberg-simrad.com>

<http://www.horsodan.com>

<http://www.bml.ca/marine/esea800.html>

<http://www.oe.fau.edu/CHIRP>

<http://www.c-max.co.uk/index.html>

<http://www.seatronics.co.uk>

## RESUMÉ

La connaissance des ondes acoustique en milieu sous marin a connu un très grand essor au cours de la seconde partie du XX<sup>ième</sup> siècle, permettant l'investigation des fonds marins. C'est de cette méthode d'investigation qu'est né le Sonar Latéral ; cette technique permet la cartographie des fonds marins allant de 0 à plus de 6 000m de fond, et des portées de plusieurs mètres à quelques dizaines de Kilomètres. De telles variations nécessitent l'utilisation de différents SONALS : en effet la résolution, la portée et la profondeur d'investigation sont autant de problèmes à surmonter lors d'une campagne lors d'une campagne de cartographie en mer. De plus, la technique de mise en œuvre du SONAL à la mer sera fonction du type de matériel utilisé.

L'avènement de nouvelles techniques tels que le chirp ou le sonal multifaisceaux permet au sonar latéral de devenir un outil de plus en plus précis, plus rapide, plus fonctionnel.

*Sonar à balayage latéral, Résolution, Utilisation, Répertoire, Matériel.*

## ABSTRACT

Knowledge of acoustic wave behaviour in the marine environment has improved during the second part of the 20th Century. Sidescan Sonar techniques have created a variety of sea floors cartographic products for depths up to 6000m depth, ranging in area from meters to tenth of Kilometres. Those variations need different types of Sidescan sonar: resolution, range, depth of investigation are some of the different problems to answer during a marine cartographic mission. The using technique of the Sidescan will depend too of the type of instrument used.

The development of new techniques such as "chirp" and the multibeam Sidescan make of the Sidescan a more precise, faster, functional instrument.

*Sidescan Sonar, Resolution, Utilisation, Directories, instrumentation*