

Prétraitements et corrections pour un sondeur multifaisceaux.

Laurent Hellequin

Laboratoire d'Acoustique Sous Marine
IFREMER Brest
DITI/SM/ASM BP 70
29280 Plouzané
email : lhelleq@ifremer.fr

RÉSUMÉ

Les sondeurs multifaisceaux ont l'intéressante capacité d'établir simultanément une carte bathymétrique et une image sonar d'une zone insonifiée. Néanmoins, l'amélioration de leur résolution et l'augmentation du volume de données à traiter mettent en évidence certaines approximations classiquement utilisées par les constructeurs dans les algorithmes temps réel. Les artefacts résultants rendent difficiles l'interprétation géologique des images sonar. Dans cet article, des simulations d'échos reçus permettent de caractériser l'importance de ces artefacts en fonction de la configuration géométrique du sondeur (hauteur d'eau, durée d'impulsion ...). Dans un second temps nous proposons une méthode de correction en temps différé dont nous fixons les limites de validité.

ABSTRACT

Multibeam echosounders own the attractive ability to simultaneously provide a bathymetric map and a sonar image of an insonified area. Nevertheless, their increasing resolution and data rate underline classical approximations used by the manufacturers in the real time algorithms. This leads to artefacts in sonar images and to difficulties in geological interpretations. In this paper, on one hand, echo simulations characterize the artefact importance according to the sounder geometrical configuration (water depth, pulse time duration,...). On the other hand, we propose a postprocessing correction method together with its validity limits.

1 Introduction

De nombreux domaines d'activité (géosciences marines, pêche, exploitation des fonds marins, défense ...) sont demandeurs de méthodes et d'outils de reconnaissance des fonds sous-marins. Les systèmes acoustiques constituent un ensemble de moyens rapides et facilement mis en oeuvre pour répondre à de tels objectifs [1]. Parmi les systèmes existants (sondeurs monofaisceaux, sonars latéraux, sondeurs de sédiments, ...), les sondeurs multifaisceaux présentent un attrait certain. Plusieurs faisceaux, créés par formation de voies, pointent dans des directions différentes contenues dans un plan perpendiculaire à la route du navire. Ce filtrage spatial permet de recueillir l'écho réfléchi par des zones distinctes et adjacentes du fond. Comme les sonars latéraux, ils sont capables de dresser une image acoustique de la zone sous marine étudiée tout en y incluant une information supplémentaire et indispensable pour la connaissance du fond et l'élimination de distorsions dans l'image sonar: la bathymétrie.

Depuis plusieurs années, l'IFREMER utilise ces systèmes pour l'exploration des fonds océaniques: un sondeur, fonctionnant à 13 kHz, destiné à l'étude des grands fonds (typiquement 2000m/6000m de profondeur) et plus récemment, un sondeur multifaisceaux haute résolution (15cm) fonctionnant à 95 kHz sur des petits fonds (typiquement 10m/1000m) [2]. Malgré tout, l'amélioration de la résolution et l'augmentation du volume des données à

traiter mettent en évidence les limites de certaines approximations utilisées par les constructeurs dans la conception des algorithmes temps réel mis en oeuvre dans le sondeur pour le traitement des échos reçus. Ces imprécisions rendent les images haute résolution difficilement exploitables et interprétables, en particulier pour des zones de l'image sonar situées sous la verticale au navire (le spéculaire), où les artefacts dus au sondeur interfèrent avec les caractéristiques acoustiques du fond. Ces artefacts relèvent d'une mauvaise normalisation des signaux à l'approche de la verticale au navire et d'une non-compensation des effets de directivité engendrés par la formation de voies.

Dans cet article, nous proposons une méthode, appliquée en temps différé, pour la correction des images sonar de sondeurs multifaisceaux. Le résultat de simulations du comportement du sondeur insonifiant des zones sous-marines de caractéristiques acoustiques et de profondeurs différentes nous informe sur l'efficacité et les limites de cette méthode.

Après avoir décrit l'ensemble de ces artefacts, nous formalisons les approximations faites lors de la mesure de réflectivité implantée dans le sondeur. Une partie suivante, consacrée aux résultats de simulations numériques, souligne les répercussions de ces imperfections sur la qualité de l'estimation bathymétrique et de l'imagerie sonar obtenues. La dernière partie détaille une méthode de correction des artefacts de l'image sonar.

2 Description des artefacts

Une image sonar, enregistrée sur un fond plat homogène (figure 1) et l'histogramme correspondant, où la réflectivité moyenne est exprimée en fonction de l'angle d'incidence (figure 2), permet d'identifier plusieurs artefacts imputables au sondeur.

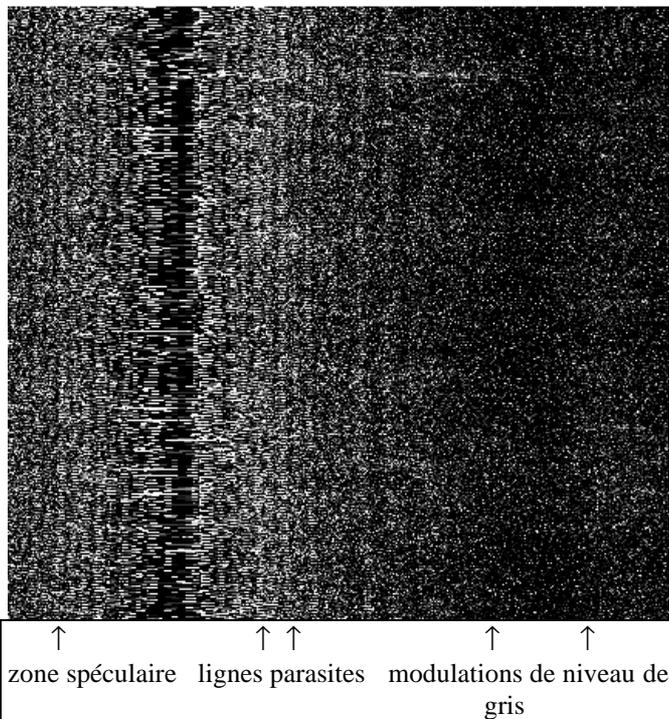


figure 1 : Extrait d'une image sonar

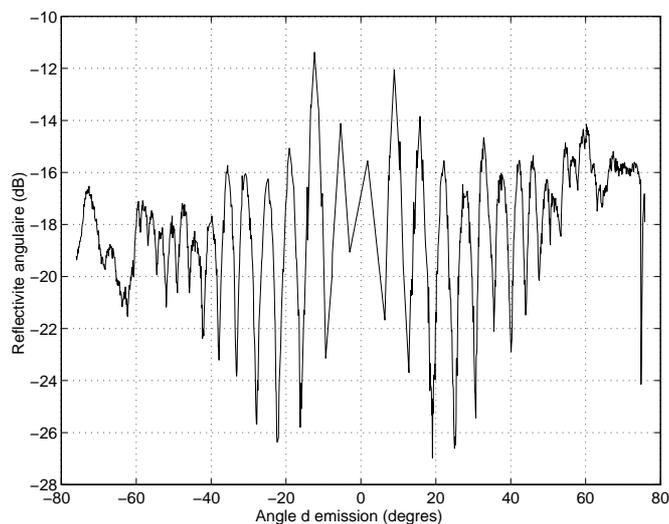


figure 2 : Réflectivité moyenne en fonction de l'angle d'émission.

Premièrement, pour des angles d'émission rasants, des modulations de niveau de gris apparaissent et correspondent à des gains électroniques mal contrôlés durant l'émission et la réception des signaux, sur chacune des voies de l'antenne. Deuxièmement, d'importantes fluctuations, dont l'amplitude croît quand l'angle d'émission tend vers zéro, provoque sur l'image sonar l'apparition de lignes parasites parallèles à la route du bateau. La forme constante de ces

oscillations provient d'une non-compensation des diagrammes de directivité associés aux 60 voies de réception. Enfin, le faible niveau rétrodiffusé à l'approche de la verticale est inattendu : l'intensité de l'écho s'écroule alors que la physique y prévoit un pic d'énergie. Pour comprendre ce phénomène nous avons détaillé la procédure de normalisation (Time Varying Gain ou TVG), utilisée par le constructeur.

3 Simulations d'échos reçus

3.1 Mesure de la réflectivité angulaire

L'énergie de l'écho arrivant au sondeur multifaisceaux dépend de manière complexe de la géométrie du sondeur et doit être normalisée pour garder uniquement l'information pertinente pour la caractérisation acoustique du fond insonifié, la réflectivité angulaire $BS(\theta)$. Le niveau de l'écho reçu $EL(\theta)$ (en dB) s'exprime comme:

$$EL(\theta) = SL(\theta) - 2.TL + I$$

où (3.1)

$$I = 10 \log \iint_{A(\theta)} BS_{nat}(\theta).W^2(\theta)dA$$

Avec θ l'angle d'émission; $SL(\theta)$ le niveau d'émission (en dB) de la source; $2TL$ les pertes de propagation; $W^2(\theta)$ représente le diagramme de directivité dans la direction visée; $A(\theta)$ représente l'aire insonifiée réelle correspondant à l'angle d'émission θ . I est l'indice de rétrodiffusion pondéré par le diagramme de directivité du sondeur. On a $BS_{nat}(\theta) = 10^{BS(\theta)/10}$. Le terme intégral I ne permet pas de remonter directement à la réflectivité angulaire, couplée avec les termes liés au sondeur $W^2(\theta)$ et $A(\theta)$. L'implantation d'algorithmes temps réel réalisables conduit le constructeur à accepter deux approximations : l'aire insonifiée $A(\theta)$ est considérée comme quasi ponctuelle et chaque angle θ peut être considéré comme un angle centre de faisceau. L'estimée de la réflectivité angulaire, $\overline{BS(\theta)}$, se mesure alors directement à partir du niveau reçu $EL(\theta)$:

$$\overline{BS(\theta)} = EL(\theta) - SL(\theta) + 2TL - 10 \log \overline{A(\theta)} \quad (3.2)$$

où $\overline{A(\theta)}$ est l'estimation de l'aire insonifiée faite par le constructeur.

Ces approximations engendrent un biais entre la mesure et la valeur physique de réflectivité angulaire et il vient:

$$\overline{BS(\theta)} = 10 \log \iint_{A(\theta)} BS_{nat}(\theta).W^2(\theta,\varphi)dA - 10 \log \overline{A(\theta)} \quad (3.3)$$

Les simulations numériques permettent d'évaluer l'importance de ce biais en fonction de l'angle d'incidence et des paramètres géométriques du sondeur (durée d'impulsion, ouverture et dispositions des faisceaux, fréquence d'échantillonnage et hauteur d'eau).

et des paramètres géométriques du sondeur (durée d'impulsion, ouverture et dispositions des faisceaux, fréquence d'échantillonnage et hauteur d'eau).

3.2 Résultats de simulations

Pour les simulations, nous considérons les 5 premiers faisceaux pointant respectivement en 1.8° , 5.4° , 8.9° , 12.3° et 15.7° . Les diagrammes de directivité $W^2(\theta)$ sont calculés en prenant une pondération de Dolph-Tchebychev où θ_T l'angle d'ouverture transversal à -3 dB vaut 3.3° et les lobes secondaires sont stabilisés à -25 dB. Les sols insonifiés sont des fonds plats caractérisés par une réflectivité angulaire $BS(\theta)$ théorique. En figure 3, une simulation, reprenant les caractéristiques d'un sondeur multifaisceaux haute fréquence [2], schématise la réflectivité angulaire $BS(\theta)$ mesurée faisceau par faisceau.

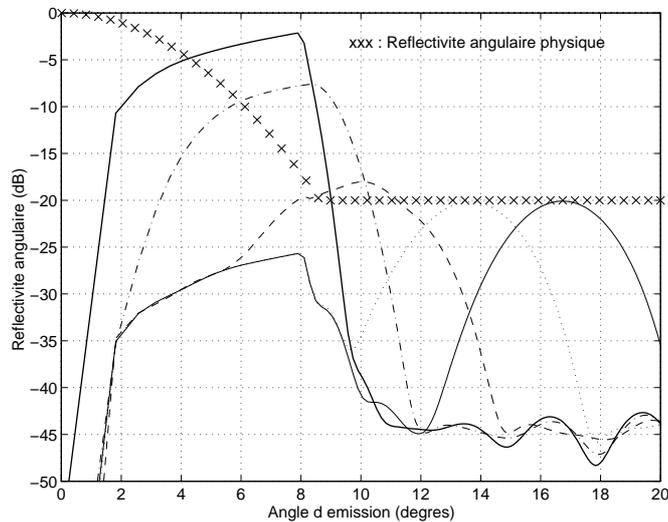


figure 3 : Simulations de réflectivité angulaire pour les premiers faisceaux. Hauteur d'eau: $H=15m$. Représentation pour les 5 premiers faisceaux visant respectivement en 1.8° , 5.4° , 8.9° , 12.3° et 15.7°

Plusieurs enseignements en découlent:

- Pour des angles d'émission élevés (12.3° ou 15.7°), nous retrouvons des variations de la réflectivité mesurée reprenant la forme des diagrammes de directivité pondérés avec les coefficients de Dolph-Tchebychev. En fait, $A(\theta)$, simplement limitée par la durée de l'impulsion, devient égale à l'aire estimée $\overline{A(\theta)}$ et (3.3) peut se simplifier:

$$\overline{BS(\theta)} - BS(\theta) = 10 \log W^2(\theta_0) \quad (3.4)$$

avec θ_0 défini par $\cos \theta_0 = \cos \theta \frac{1}{1 - \frac{c\tau \cos \theta}{4H}}$.

où H , c , τ sont respectivement la hauteur d'eau, la célérité et la durée d'impulsion. Mis à part le faible décalage angulaire entre θ et θ_0 , aucune déformation des diagrammes de directivité $W^2(\theta)$ n'est attendue, ce qui justifiera la méthode de correction d'images sonar présentée en section 4.

- La réflectivité angulaire mesurée chute pour les faibles angles d'émission. Dans ce secteur, l'aire insonifiée réelle $A(\theta)$ est déterminée par l'ouverture des faisceaux et devient inférieure à son aire estimée $\overline{A(\theta)}$. Un niveau correct de réflectivité angulaire peut être retrouvé pour les centres de faisceaux lorsqu'on ajoute, à la valeur mesurée, la quantité

$$C = 10 \log \left(\frac{\theta_T}{c\tau} H \tan(\theta) \right) \quad (3.5)$$

à chaque fois que C est positif. Ce terme traduit simplement la différence entre l'évaluation de $\overline{A(\theta)}$ proposée par le constructeur et une estimation plus correcte.

A l'approche du spéculaire, la simplification de l'intégrale qui conduit à (3.4) n'est plus justifiée. La réflectivité angulaire physique $BS(\theta)$ et le diagramme de directivité $W^2(\theta)$ sont couplés de façon non linéaire sur l'aire $A(\theta)$, qui ne peut plus être considérée comme ponctuelle. De ce fait, $BS(\theta)$ correspond à des déformations non analytiques de la directivité de Dolph-Tchebychev (figure 3). Ces déformations rendent illusoire toute procédure de corrections des artefacts de directivité pour ces faisceaux centraux (section 4).

- Le processus d'estimation bathymétrique consiste à déterminer l'échantillon temporel de l'écho correspondant au centre du faisceau considéré. Le temps de propagation associé à l'angle visé permet de calculer la position des points d'impact des centres de faisceaux sur le fond. Pour des échos de longue durée, une méthode interférométrique donne de bons résultats. A l'approche de la verticale, la brièveté des échos n'autorise qu'une estimation basée sur la détermination du maximum de l'intensité reçue. Pour les tous premiers faisceaux, les simulations (figure 3) font apparaître un retard entre l'instant correspondant au maximum de l'écho et celui correspondant au centre (à l'angle visé) du faisceau. En fait, jusqu'à $\theta = \theta_{lim}$, où

$$\theta_{lim} = a \cos \left(\frac{H}{H + \frac{c\tau}{2}} \right), \text{ l'aire insonifiée } A(\theta) \text{ ne cesse de}$$

croître, conduisant à une énergie rétrodiffusée toujours plus grande. Pour les faisceaux dont l'angle visé est inférieur à cette valeur limite θ_{lim} , le maximum de la réflectivité angulaire mesurée dépend beaucoup plus de la hauteur d'eau et de la durée d'impulsion que de l'angle visé par le faisceau. Ce phénomène de surestimation de l'instant d'arrivée de l'échantillon central des faisceaux pourrait expliquer certains problèmes rencontrés lors de l'acquisition des données bathymétriques à l'approche du spéculaire.

4 Méthode de corrections des artefacts en imagerie sonar multifaisceaux.

La correction d'aire exposée en (3.5) permet de retrouver un niveau de réflectivité angulaire plus élevé et plus conforme à la théorie de la réverbération lorsqu'on se rapproche du spéculaire.

La correction des effets de directivité passe par la connaissance des diagrammes des antennes utilisées. En absence de calibrations directes (et d'informations

constructeur), nous avons entrepris d'identifier la directivité de notre antenne grâce à des images sonar acquises sur une zone d'apprentissage constituée d'un fond plat et de nature homogène. La méthode de correction comporte plusieurs étapes:

- Après la correction d'aire (3.5), nous restaurons la décroissance de Lambert (loi en $\cos^2(\theta)$ utilisée classiquement pour décrire la variation angulaire de $BS(\theta)$ en incidence rasante), dont le constructeur s'était affranchi pour mieux maîtriser la dynamique des signaux à l'entrée des étages de traitements numériques. La réflectivité chute, comme il se doit, lorsque les angles deviennent fortement rasants.

- La réflectivité des centres de faisceaux, peu affectée par les effets de directivité (cf (3.4)), est utilisée pour identifier un modèle heuristique de réflectivité angulaire $BS_f(\theta)$ obéissant à :

$$BS_f(\theta) = 10 \log \left(A \exp(-\alpha \theta^2) + B \cos^\beta \theta \right) \quad (4.1)$$

- Dans les limites de validité de (3.4), $\overline{BS(\theta)} - BS_f(\theta)$ est indépendant de la nature du fond insonifié, et est identifiable au diagramme de directivité du faisceau considéré. L'utilisation adaptée d'un modèle paramétrique de diagramme de directivité, comme ceux dérivant de la pondération de Dolph-Tchebychev, permet l'identification des diagrammes de notre antenne, $W_i^2(\theta)$, faisceau par faisceau.

- Connaissant l'angle d'émission et le numéro de faisceau associé à chaque pixel, la transformation

$$\overline{BS(\theta)} \rightarrow \overline{BS(\theta)} - 10 \log W_i^2(\theta) \quad (4.2)$$

permet de corriger les artefacts de directivité et ceux engendrés par les gains électroniques mal contrôlés, au moins pour des angles d'émission éloignés du spéculaire. Sur la zone d'apprentissage (figure 4), la courbe de réflectivité redevient symétrique.

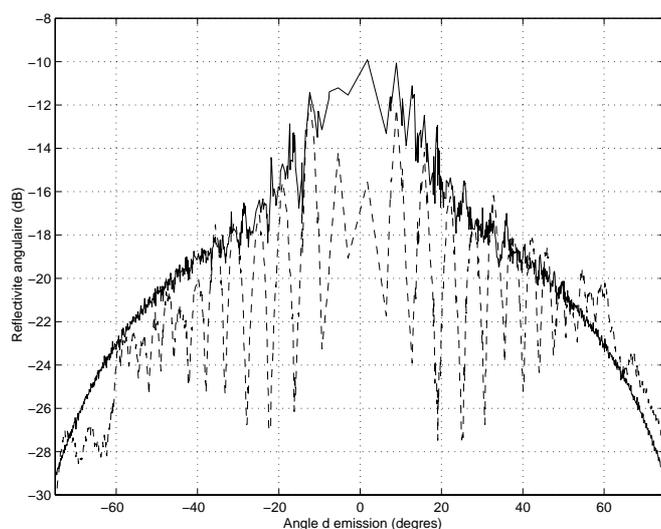


figure 4 : Réflectivité angulaire moyenne avant (trait pointillé) et après (trait continu) la méthode de correction.

Une façon pratique d'implémenter cette méthode consiste à négliger le décalage angulaires entre θ et θ_0 (cf

(3.4)). Des oscillations résiduelles de 2 à 3 dB crêtes à crêtes peuvent alors subsister sur des zones différentes de la zone d'apprentissage.

Toutefois, le niveau réflectivité à l'approche du spéculaire reste encore trop faible. Le sous échantillonnage des signaux pourrait en être la cause: la faible fréquence d'échantillonnage choisie par le constructeur [2] conduit à des faisceaux centraux ne contenant éventuellement qu'un ou deux échantillons lorsque la hauteur d'eau est faible.

5 Conclusions et Perspectives

Sans la correction des artefacts, les méthodes de segmentation semi-automatique d'images de sondeurs multifaisceaux [3] interprètent, à tort, les variations parasites de réflectivité dues au sondeur, comme des changements dans les caractéristiques acoustiques du fond insonifié. La méthode de prétraitement proposée ici permet l'extension de ces algorithmes de segmentation aux images de sondeurs haute résolution. De plus, une étude détaillée des caractéristiques statistiques et spectrales des images sonar permettra d'affiner la segmentation en profitant au maximum de la haute résolution du sondeur multifaisceaux haute fréquence. Il est clair que cette analyse statistique et spectrale n'a de sens que sur des données corrigées des artefacts du système.

6 Références

- [1] X.Lurton. «Caractérisation des fonds marins par acoustique: état de l'art et perspectives». Journal de Physique III. volume 4. mai 1994.
- [2] Simrad. «Simrad EM1000. Hydrographic echo sounder. Product description». Simrad subsea A/S. Horten. Norway. #P2415E (1992).
- [3] S.Dugelay et al. «A new method for seafloor characterization with multibeam echosounders: image segmentation using angular backscattering». Proc 3rd European conference on underwater acoustics, Vol I, pp 439-444. (1996).