

CARTOGRAPHIE DES FONDS MARINS

An underwater photograph showing a vibrant coral reef. Sunlight filters through the water from the top right, creating a bright, hazy area. The coral is dark and textured, with various shapes and sizes. Small fish are visible swimming in the water.

THEME: Milieux: interactions, interfaces ,homogénéités, ruptures

PROBLEMATIQUE RETENUE

ETUDIER LE PHENOMENE DE
RETRODIFFUSION AINSI QUE LE PRINCIPE DE
FONCTIONNEMENT DU SONAR ACTIF

PLAN

Introduction

I- Généralité sur les ondes acoustiques

a-Nature

b-Type d'onde dans les différents milieux

b-1 Onde longitudinale

b-2 Onde transverse

c-Propagation dans un milieu

II- Propagation d'onde acoustique sous-marine

a- Génération d'onde sonore dans l'eau à l'aide d'un sonar

b- Caractéristique de l'eau de mer

c- Equation d'ondes acoustiques et Célérité du son dans l'eau de mer

III- Perte par propagation

a- Perte par absorption

b- Perte par divergence géométrique

IV- Description du phénomène de rétrodiffusion

V- Modèles de description de la rétrodiffusion du fond marin

a-Modèle de Lambert

b-Modèle de Jackson

VI- Formation d'images acoustiques

Conclusion

Introduction

Les fonds marins représentent le plus vaste espace du globe terrestre, mais aussi le moins connu. Ce monde si vaste et peu connu représente d'énormes enjeux économiques et stratégiques. En effet l'identification des fonds marins est de première importance, pour , par exemple, la pose de câbles de communication; pour la pêche aussi la connaissance de la nature des fonds est un élément important pour la prospection , du fait du lien existant entre cette nature et les espèces de poissons rencontrés .Aussi l' identification est importante pour l'activité minière offshore .Pour parvenir à cette connaissance l'homme opte pour l'utilisation de sonars actifs. Un sonar actif est un dispositif d'imagerie acoustique généralement porté par un véhicule sous-marin qui fournit une image continue du fond marin par des émissions successives d'ondes acoustiques selon une trajectoire bien précise. Les principaux types de sonars actifs sont : les échosondeurs, les sonars mono faisceaux et les multifaisceaux. Dans cette étude je me suis intéressé aux principaux processus physiques du sonar actif tels que la rétrodiffusion des ondes acoustiques par le fond marin et la formation d'images.

I-Généralité sur les ondes acoustiques

a-Nature

Les ondes sonores couramment appelées ondes acoustiques correspondent à la propagation de perturbations mécaniques dans un milieu élastique. Elles sont également des ondes de pression, autrement dit elles s'appréhendent comme la propagation d'une variation de pression, appelée pression acoustique autour de la pression moyenne dans le milieu.

Les ondes acoustiques se caractérisent principalement par leur fréquence, exprimée en hertz (Hz). Les ondes acoustiques perceptibles par l'oreille humaine s'étagent en fréquence entre 20Hz et 20KHz.

Les ondes acoustiques de fréquences trop faibles pour être perceptibles par l'oreille humaine en dessous de 20 Hz, sont appelées infrasons. Les ondes acoustiques de fréquences trop élevées pour être perceptibles par l'oreille humaine, au dessus de 20 KHz, sont appelées ultrasons.

Il existe d'autres caractéristiques physiques du son comme :

- son intensité, exprimée en décibels (dB) .

- le timbre

Retenons que sons, ultrasons, infrasons sont de même nature : tous sont des ondes de pression, des ondes acoustiques. Seules les limites des sens humains ont conduit à les

b-Type d'onde dans les différents milieux

Dans un fluide (liquide ou gaz) les ondes sonores sont longitudinales tandis que dans un solide elles peuvent être longitudinales et /ou transverses.

b-1 Onde longitudinale

Une onde est dite longitudinale quand la direction du déplacement de la perturbation est parallèle à la direction d'oscillation de la grandeur perturbée.

b-2 Onde transverse

Une onde est transverse quand la direction du déplacement de la perturbation est perpendiculaire à la direction d'oscillation de la grandeur perturbée.

c-Propagation dans un milieu

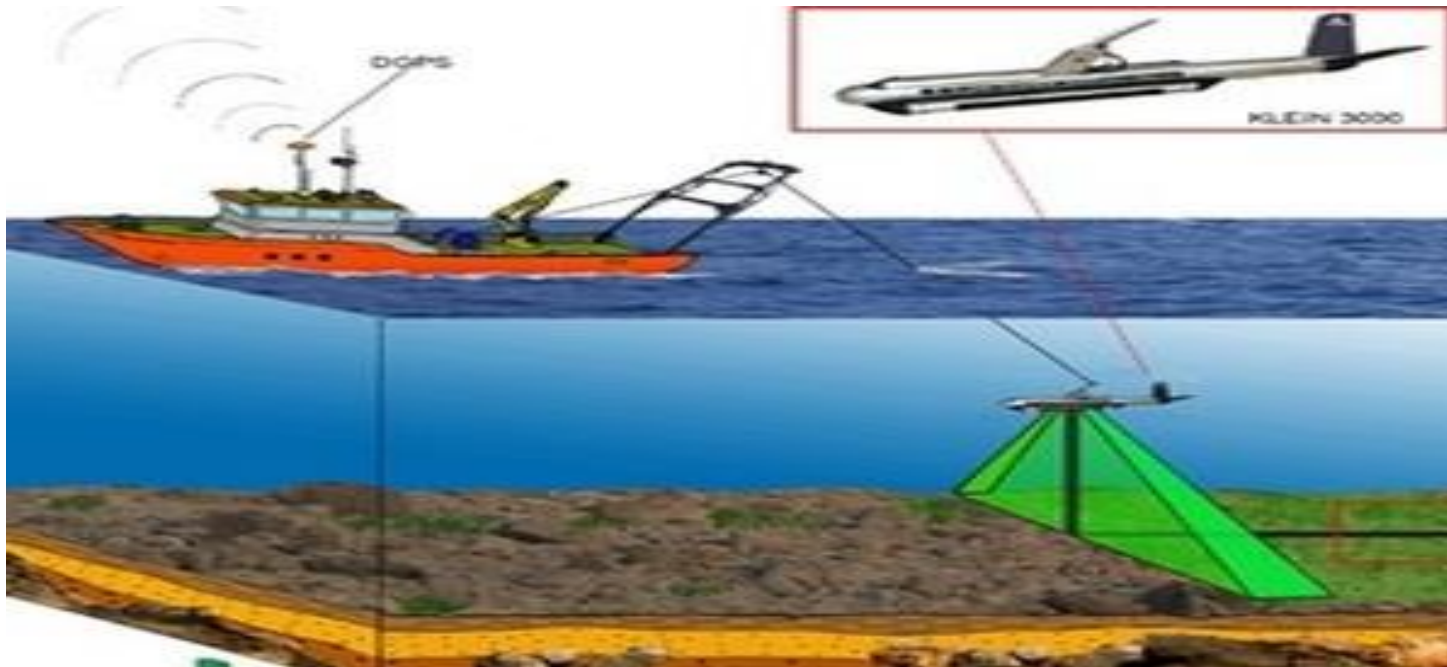
La propagation des ondes acoustiques dans un milieu donne lieu à certains phénomènes physiques tel que les réflexions, des réfractions des interférences et la dispersion .De façon plus générale, plus le milieu est rigide et plus la transmission des variations de pression est rapide .

II-Propagation d'onde acoustique sous-marine

a-Génération d'onde sonore dans l'eau à l'aide d'un sonar

Le sonar actif est un système de détection active en acoustique sous-marine consistant à émettre et à écouter , étudier les échos qui reviennent sur le sonar .Les échos contiennent des informations sur la nature des réflecteurs .

L'onde sonore est générée dans l'eau à l'aide de transducteurs (des composants du sonar) à l'intérieur duquel on a deux plaques piézo-électriques en céramique.



b- Caractéristiques de l'eau de mer

L' eau au de mer est un mélange d'eau pure et de sels dissous. Celle-ci peut être décrite par trois paramètres physiques :

- La salinité : définissant le taux de sels minéraux dissous dans l'eau pure, elle a une valeur moyenne de 35‰. Elle est fonction de la zone géographique et très peu dépendante de la profondeur.
- La température des océans : liée à la fois à la latitude et la profondeur. Elle décroît généralement avec la profondeur. Au delà d'une profondeur de 1000m la température décroît lentement en fonction de la profondeur.
- La pression : elle est fonction également de la latitude et de la profondeur.

c- Equation d'ondes acoustiques et Célérité du son dans l'eau de mer

La propagation des ondes acoustiques dans un milieu idéal et sous certaines hypothèses est régie par l'équation d'ondes :

$$\Delta p(\vec{r}, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p(\vec{r}, t)}{\partial t^2}$$

La célérité des ondes dans l'eau est le paramètre le plus important dans la propagation des ondes acoustiques sous-marine. Elle dépend de trois variables caractérisant la mer ; la température, la salinité et la pression. Or la température varie en fonction de la profondeur, et des éléments extérieurs peuvent influencer sur la salinité [3]. Une formulation simplifiée de cette dépendance est proposée par Clay et Medwin [8,7] :

$$C = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016Z$$

Où C la célérité exprimée en m/s

T la température en Celsius

S la salinité en partie par millier

Z la profondeur en mètre

Dans les conditions normales de température et de pression la vitesse du son dans l'air est d'environ 340m/s. Dans l'eau elle est cinq fois plus élevée soit une célérité de 1500m/s [3,6].

Mais le paramètre le plus important est la profondeur car c'est dans la dimension verticale que la célérité évolue le plus rapidement. On appelle profil bathycélérimétrique (profil de célérité), la loi décrivant la célérité des ondes acoustiques dans l'eau en fonction de la profondeur. Cette loi se décompose en plusieurs couches distinctes comme l'illustre la figure.

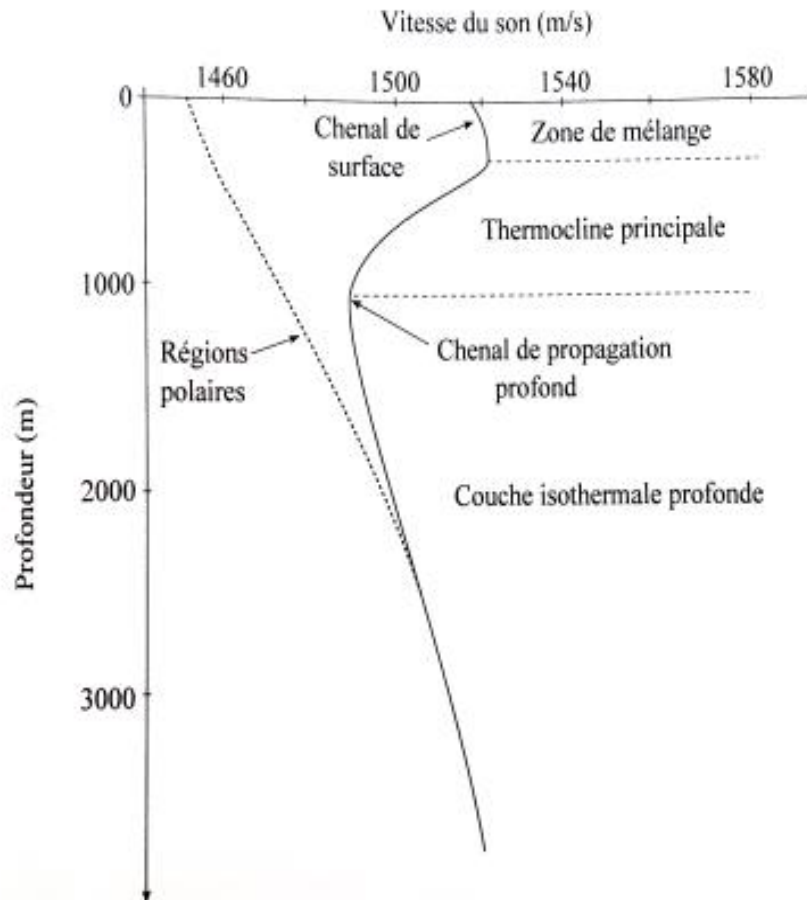


FIGURE 1 – Description des couches d'un profil de célérité typique.

III- Perte par propagation

La propagation de l'onde acoustique dans la mer dépend de sa fréquence et du milieu de propagation. La mer étant un milieu de propagation dissipatif ainsi l'onde sonore émise par le sonar dans la mer se déplace longitudinalement en subissant une perte d'intensité acoustique au cours de sa propagation. Cette perte d'intensité correspond à deux phénomènes; d'une part un effet géométrique (les pertes par divergence géométrique) et d'autre part l'absorption d'énergie par le milieu (les pertes par amortissement et les pertes liées aux interactions aux interfaces).

a-Perte par absorption

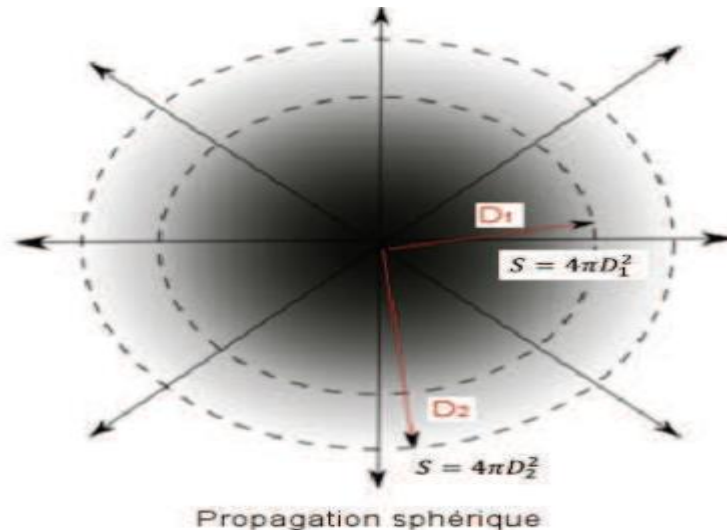
La perte d'intensité due à l'absorption d'énergie provient d'une part des interactions de l'onde avec les interfaces du milieu (fond marin, surface) et d'autre part de plusieurs phénomènes physiques et chimiques tel que la viscosité de l'eau, la relaxation de certaines molécules [3]. Cette perte d'énergie par absorption dépend d'un coefficient d'absorption noté α (exprimé dB/km), ce coefficient est largement influencé par la fréquence de l'onde émise : plus celle-ci est basse, plus le coefficient d'absorption est faible et donc moins l'onde est atténuée [1,3]. La perte d'énergie liée au phénomène d'amortissement peut être donnée par le coefficient d'absorption α suivant la relation :

$$PT_{\text{amor}} = \alpha R \text{ [dB]}$$

R (la distance parcourue par l'onde de la source vers le fond).

b-Perte par divergence géométrique

Cette perte par divergence géométrique s'explique en imaginant que l'émission d'énergie est faite par une source ponctuelle. Dans un milieu homogène et illimité (champ libre), cette énergie va se propager de façon sphérique. Sachant que l'énergie se conserve, la surface de la sphère possède autant d'énergie que le point de départ. Donc l'énergie d'un point appartenant à la surface de cette sphère est inversement proportionnelle à la surface de cette sphère. Plus l'onde se propage, plus le rayon de la sphère augmente et plus l'intensité diminue. Cet étalement traduit donc la diminution d'intensité proportionnellement à la surface [1,3]



On peut alors exprimer les pertes par divergence géométrique en décibel (dB) par la formule suivante :

$$PT_{\text{géo}} = 20 \log_{10}(R)$$

Où R la distance par rapport à la source en mètre (la distance parcourue par l'onde)

L'hypothèse considérée pour expliquer cette partie est la divergence sphérique.

IV- Description du Phénomène de rétrodiffusion

L'onde acoustique émise par le sonar se propage longitudinalement dans l'eau de mer et vient interagir avec le fond marin subissant ainsi des transformations. . Comme le fond est rugueux, une partie de l'énergie transportée par l'onde est réfléchie dans toutes les directions et en particulier vers l'émetteur . Ce phénomène de retour d'une partie de l'onde vers l'émetteur est qualifié de réflexion spéculaire. Ainsi on voit une partie de l'onde se rétrodiffuser : une onde de même longueur d'onde et dans la direction de l'onde incidente avec une intensité beaucoup plus faible (de l'ordre de 0,01 à 1% de l'énergie de l'onde incidente,) est née.

·
C'est la rétrodiffusion des ondes acoustiques par le fond marin qui fournit le principe fondamental du fonctionnement du sonar actif .En effet l'intensité de l'onde sonore(ultrasons pour le sonar latéral) reçue nous permet de connaître la composition du fond(sable, roche, argile) car suivant le milieu rencontré l'indice de rétrodiffusion diffère . L'indice de rétrodiffusion(dB) est donné par la formule suivante :

$$TS = 10 \log (I_s / I_i) \text{ (TS en anglais: Target strength)}$$

I_s : intensité de l'onde rétrodiffusée

I_i : intensité de l'onde incidente

Ainsi le fond peut être catégorisé selon sa composition sédimentaire .Pour le sonar latéral(un instrument de cartographie sous marine) par exemple au delà d' une fréquence de 10KHz l'indice de rétrodiffusion a l'air évoluer de quelques décibels pour les fonds lisses(sable ,argile) tandis que pour les fonds rugueux (galets, cailloux, roche) ce coefficient est indépendant de la fréquence choisie. Ainsi la connaissance de l'indice de rétrodiffusion nous permet d'avoir une idée plus ou moins claire sur nature du fond [3,7].

V- Modèles de description de la rétrodiffusion du fond marin

Nous présentons ici deux modèles de l'indice rétrodiffusion : un premier modèle développé par Jackson et Al. Aussi nous tenons à préciser que cette partie sur les modèles n'est pas exhaustive.

a- Modèle de Lambert

Le modèle de Lambert est un modèle monostatique qui montre la relation en rascance de l'indice de rétrodiffusion $BS(\theta)$ pour un fond. L'interprétation physique de ce modèle est que l'énergie diffusée par une surface apparaît tout aussi intense quelque soit l'angle de vue [3]. L'indice de rétrodiffusion est donné par la formule :

$$BS(\theta) = BS_0 + 20\log_{10}(\cos(\theta))$$

BS_0 : constante qui dépend du type de fond en dB, θ : angle de rascance du sonar

A titre d'exemple la figure ci-dessous décrit l'évolution de l'indice de rétrodiffusion en fonction de l'angle de rascance, pour quatre types de fond (roche, sable, vase et argile).

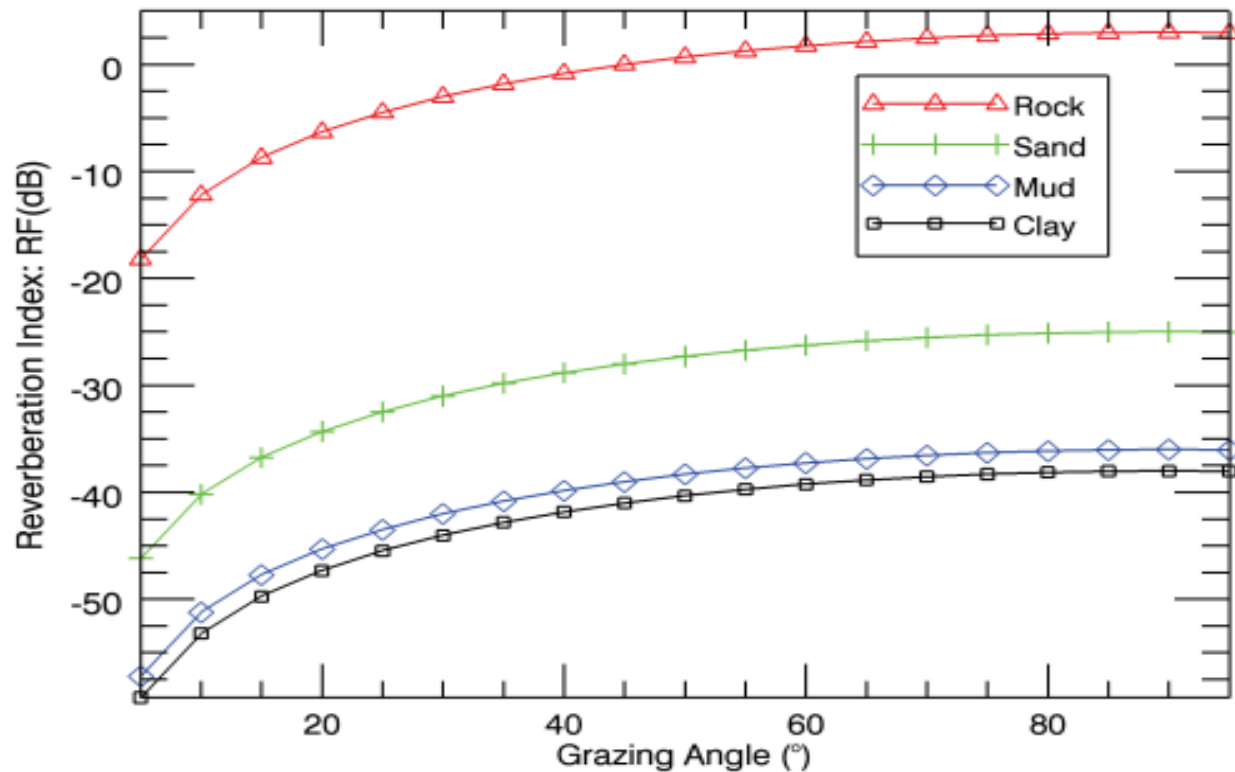


Figure 2: Modèle de Lambert pour l'indice de rétrodiffusion en fonction de l'angle de rasance de quatre types de fond : roche ,sable ,vase et argile.

b- Modèle de Jackson

Ce modèle a été proposé par Jackson et Al [8] et est couramment utilisé pour la caractérisation des fonds. Dans ce modèle les auteurs se proposent de séparer l'indice de rétrodiffusion en deux parties : un indice d'interface et un indice de volume [3].

$$\sigma(\theta) = \sigma_{\text{interface}} + \sigma_{\text{volume}}$$

θ : l'angle de rasance

Ce modèle est valable pour une plage de fréquences allant de 10 à 100KHz et pour de faibles angles d'incidence [3,10].

VI- Formation d'images acoustiques

En général, les transformations apportées aux données brutes, afin d'obtenir des images exploitables, sont subdivisées dans une chaîne de traitement en trois catégories : prétraitement, traitement, le post-traitement [3].

Le prétraitement et le traitement sont spécifiques pour chaque type de sonar puisqu'ils dépendent du format des données prises en entrée [3].

Le prétraitement consiste dans un premier temps à ré-amplifier le signal, à le filtrer et à le numériser. Puis dans un second temps, le signal est remis en forme par une étape de démodulation, de filtrage et de sous-échantillonnage. La démodulation consiste à ramener le signal utile en bande de base. Le signal est ensuite filtré afin de conserver uniquement la partie contenant les informations utiles et afin de rejeter le bruit. Enfin, le signal est sous-échantillonné afin de réduire le nombre d'échantillons à traiter et donc de diminuer le temps de calcul pour les opérations suivantes.

Le traitement proprement dit se fait en deux étapes :

- le traitement d'antenne, qui est un domaine du traitement du signal à part entière. Il consiste principalement à localiser angulairement le fond.
- le traitement cohérent, uniquement dans la chaîne du sonar actif et consiste à corrélérer le signal reçu avec le signal émis afin de rechercher la présence d'éventuels échos.

Le post-traitement nous permet d'avoir des informations extraites des signaux obtenus après le prétraitement et le traitement. Ces informations vont s'afficher sur l'interface homme-machine de l'opérateur sonar utilisé. Le traitement de l'information nous permet d'établir une carte des fonds marins. Il se fait en plusieurs tel que :

- La localisation : consiste à déterminer la position du fond en profondeur.
- la classification : consiste à déterminer la nature du fond marin.

Conclusion

Même si les premières applications du sonar et de l'imagerie acoustique en général étaient militaires, le développement de leurs utilisations dans divers domaines scientifiques et commerciales ne cesse de croître. En effet le sonar actif est devenu l'instrument phare dans la reconnaissance des fonds marins et la biologie marine.