



## L'imagerie acoustique sous-marine : que voit-elle réellement ?

Agnès Baltzer\*, Stéphane Unterseh°, Michel Voisset°

*\* Maître de conférences à l' Université de Caen, Centre de géomorphologie du CNRS, 24 rue des Tilleuls, 14 000 Caen*

*° Etudiant en thèse à IFREMER DRO/GM, B.P. 70, 29263 Plouzané*

*° Chercheur à IFREMER DRO/GM, B.P. 70, 29263 Plouzané*

### Résumé :

Les campagnes océanographiques SEDIFAN (1997) réalisées par IFREMER sur la marge continentale celtique ont permis de reconnaître et de caractériser le fan sous-marin profond celtique entre 4200 m et 4800 m de profondeur d'eau. La confrontation de deux types de données acoustiques (sondeur multifaisceaux EM12 à 13 Khz et le sondeur monofaisceau à 3,5 Khz) acquises lors de ces missions, avec les sédiments prélevés lors des carottages, permet d'établir dans la plupart des cas une bonne corrélation entre la nature lithologique des fonds et la réflectivité acoustique. Cependant il existe des cas où cette correspondance ne semble pas réalisée. Une explication possible pourrait résider dans l'état de consolidation de ces sédiments influençant la vitesse de propagation du son dans le sédiment, donc la pénétration du signal, et consécutivement la quantité de signal rétrodiffusé.

### Abstract:

The Sedifan cruises (1997) allowed us to acquire several kinds of acoustic data on the Celtic margin to recognise and characterize the Celtic deep sea fan, from 4200 m to 4800 m of water depth. We will compare two sets of acoustic data from the R/V *L'Atalante*: the EM12 Dual multibeam echosounder (13 kHz) data and the hull mounted subbottom profiler (3.5 kHz) data. The sonar image, giving a planar view of the seafloor, results from the measurement of the backscattering strength (BS in dB.m<sup>-2</sup>) depending on sediment lithology and physical properties. The echosounder profiler, giving a vertical view of the seafloor, is based on the difference of the sediment impedance encountered through deposits interfaces. Good correlation is obtained between backscattering changes on the EM12 images and lithology variation on our five cases. But for two of them, neither the lithology nor the sand occurrence observed in cores could explain the acoustic results: the consolidation state and more probably the excess of pore pressure should have a major influence on the collected signal.

### 1. Introduction

L'imagerie acoustique devient désormais une donnée aussi importante que la bathymétrie dans les études de géologie marine : en effet elle apporte non seulement une information sur la morphologie du fond sous-marin mais également sur sa nature. La préoccupation principale du géologue marin est alors d'établir la corrélation entre un faciès acoustique et un faciès sédimentologique afin de cartographier et de comprendre la mise en place des différents corps sédimentaires.

Toute la problématique repose donc sur l'établissement des relations entre la réflectivité acoustique et la lithologie. Nous présentons ici les données acquises par IFREMER sur le Fan Celtique (Fig. 1), fan sous-marin profond situé au débouché de l'ancien «fleuve Manche» au pied de la pente continentale des Entrées de la Manche. Deux types d'acquisition acoustique, l'une donnant un profil vertical (l'échosondeur 3,5 kHz) et l'autre permettant une visualisation plane (le multifaisceaux EM12) sont comparés à la vérité terrain, c'est-à-dire aux prélèvements effectués par carottages.

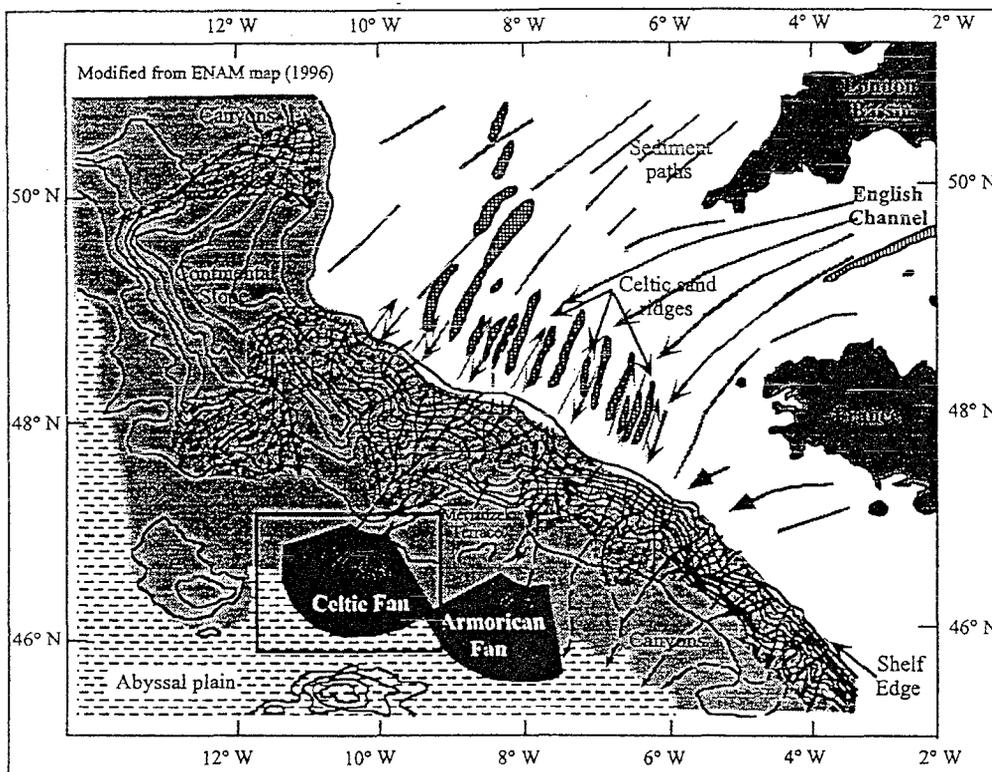


Figure 1: Carte de localisation du Fan Celtique. *Location map of the study area: the Celtic fan.*

## 2. Le sondeur multifaisceaux EM12 et l'échosondeur 3,5 Khz:

L'échosondeur 3,5 Khz utilisé sur l'Atalante fait partie de la famille des sondeurs monofaisceaux utilisés couramment pour la plaisance ou la pêche. Un signal acoustique, émis à la verticale du navire se réfléchit soit sur le fond, donnant accès à la bathymétrie soit sur un obstacle quelconque rencontré dans la tranche d'eau.

Dans le cas d'études sédimentologiques, le choix d'une fréquence relativement faible (3,5 kHz) permet une pénétration du signal dans les 70 premiers mètres du sédiment, donnant ainsi une image acoustique de la stratification des couches. Chaque fois que l'impédance change, on visualise une interface sédimentaire sur un profil vertical.

Les sondeurs multifaisceaux travaillent, eux, suivant une large ouverture angulaire, perpendiculairement à la route du navire, couvrant ainsi une large couverture spatiale. Le signal est émis sur l'ensemble du couloir angulaire, et est discrétisé en retour en un grand nombre de faisceaux, représentant autant de points de mesures. Le temps de propagation des ondes fournit une information bathymétrique tandis que l'énergie renvoyée par le fond permet la réalisation d'une image acoustique.

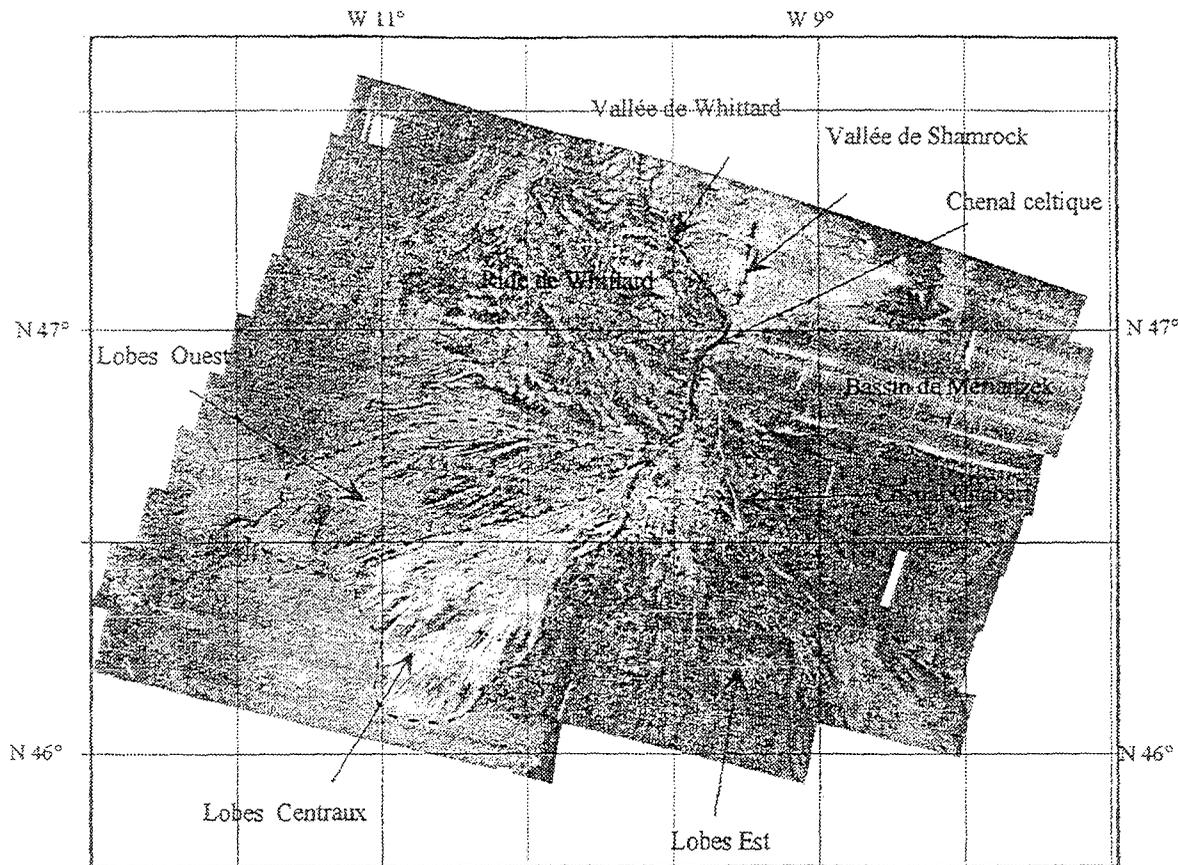
L'EM12 Dual, qui équipe l'Atalante, est constitué de 2 sondeurs identiques, fixés de part et d'autre de la quille travaillant à une fréquence de 13 KHz. Son ouverture latérale angulaire maximale de 150° lui permet de couvrir théoriquement une longueur équivalente à 7 fois la hauteur d'eau. L'imagerie est basée sur la rétrodiffusion des ondes, c'est-à-dire la capacité d'une cible à diffuser une partie du signal reçu dans la direction incidente. Cette grandeur, fournie par le sondeur, est l'indice de rétrodiffusion pour une surface unité, mesuré en dB/m<sup>2</sup>.

### 3. Le Fan celtique

#### **3.1. Imageries acoustiques**

L'image EM12 obtenue est représentée en niveaux de gris, les teintes les plus sombres reflétant classiquement les réflectivités les plus fortes tels que affleurements rocheux et sables. La mosaïque (Fig. 2) nous montre la partie terminale du système sédimentaire celtique qui s'étend au pied de la marge continentale sur une superficie d'environ 26 000 km<sup>2</sup> (Unterseh, 98). Un réseau de canyons entaille la marge, drainant les sédiments de la Manche de la rupture de pente (-200 m) jusqu'au canyon principal de Shamrock, qui se termine vers - 4200 m de profondeur. Ce canyon débouche sur la vallée sous-marine de Shamrock qui alimente directement le fan celtique. Plus à l'ouest, les apports en provenance de la Mer d'Irlande via la Mer Celtique sont transportés par le canyon Whittard (Bourillet et Loubrieu, 95) qui se combine à l'ensemble du réseau pour vers -4000 m pour former la vallée de Whittard. Ces deux vallées d'alimentation se rejoignent donnant naissance au Chenal Celtique qui conduit les écoulements gravitaires sur 40 km vers la partie centrale du fan, fan qui s'étend sur une superficie équivalente à 16 000 Km<sup>2</sup>.

Cette image acoustique en nuances de gris n'est pas directement exploitable car la réflectivité ne dépend pas uniquement de la nature du fond mais également de l'angle d'incidence du signal. Le processus de segmentation va réaliser une partition de l'image en un petit nombre de faciès, chacun étant représentatif d'une lithologie et caractérisé numériquement par une courbe de réflectivité : courbe BS (Back scattering Strength). Cette quantification des faciès nous permettra de confronter directement ces faciès acoustiques aux faciès sédimentologiques en faisant abstraction des problèmes d'incidence du signal inhérents à l'acquisition du multifaisceaux. Nous obtenons ainsi 5 faciès, donc 5 courbes BS variant d'une valeur de - 24 dB/m<sup>2</sup> à -36 dB/m<sup>2</sup>.



**Figure 2:** Mosaïque EM12 de la zone étudiée. Les tons sombres correspondant à une forte réflectivité.

*EM 12 image of the Celtic fan area. The dark tones represent high backscatter.*

D'autre part, 5 échofaciès basés sur la classification de Laine et al. (86) ont été reconnus sur les profils 3,5 kHz (Fig. 3).

### 3.2. Corrélation données acoustiques/carottages

La comparaison des données EM12 aux données 3,5 kHz donne dans l'ensemble de bonnes correspondances : aux 5 faciès de l'EM12 (A,B,C, D, E) ont pu être associés 5 faciès de l'échosondeur (Fig.3).

*Le faciès A*, le plus rétrodiffusant, correspond à un écho de surface fort et rugueux, sans réflecteur sous-jacent dans les 10 premiers mètres. Il correspond à la présence de sable dans le bassin de Mériadzek (lobes intermédiaires sableux) et à la présence de slumps (carotte AKSO2) au pied de l'escarpement de Trevelyan.

*Le faciès B* est caractérisé par un faible écho de surface associé à un épais réflecteur entre 1 et 1,5 m sur le 3,5 Khz avec une pénétration du signal limitée à 15 m maximum. Ces dépôts correspondraient à un épais banc de sable drapé par une couverture de sédiments fins (pas de carottages dans ce faciès).

*Le faciès C* correspond sur le 3,5 kHz à un échofaciès stratifié couplé à une importante pénétration du signal (supérieure à 50 m sur le dôme de Trevelyan).

Cet échofaciès est caractéristique de fortes épaisseurs de sédiments fins (alternances de silts et argiles), ce qui est confirmé par la carotte AKSO1.

*Le faciès D* est marqué sur les profils 3,5 Khz par la présence de réflecteurs plus ou moins continus sur les 2 premiers mètres, recouvrant une couche transparente de

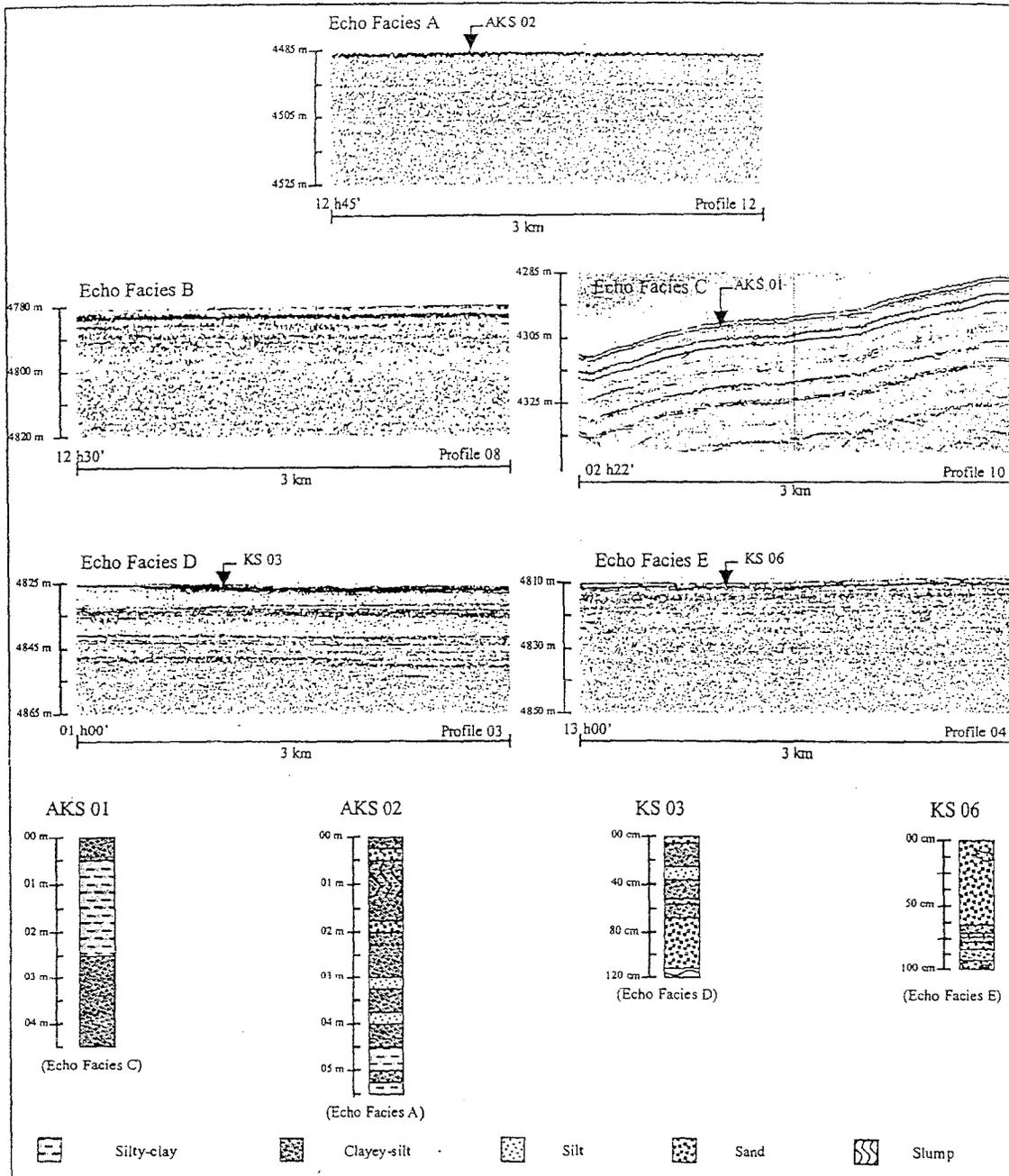


Figure 3: Comparaison des faciès imagerie EM12 (A,B,C,D,E) et des profils 3,5 kHz. 3.5 kHz echofacies and lithologies associated to the 5 acoustic facies defined by the segmentation

2 à 5 mètres d'épaisseur, le signal pénétrant à plus de 25 m de profondeur. La carotte KSO3, bien que très perturbée lors de son prélèvement montre un fin lit sableux en surface (5 cm) recouvrant des alternances de lits de silts argileux et de lits sableux. A partir de 70 cm la carotte ne contient plus que du sable fin.

Enfin le faciès E est associé sur le 3,5 khz à la présence d'un réflecteur très marqué et continu, entre 1 et 1,5 m sous la surface. Les carottes KS06 et le carottier pilote nous révèlent la présence d'un banc de sable fin recouvert par une fine couche de silt-argileux en surface, variant de 5 à 20 cm.

Or cette confortante adéquation imagerie-carottage est sujette à caution lorsque l'on se penche sur les valeurs de l'indice de rétrodiffusion.

#### **4 Discussion : relation réflectivité-lithologie**

Rappelons tout d'abord les sources de la rétrodiffusion. Si l'onde émise se propageait dans un milieu parfaitement homogène, le sondeur n'enregistrerait aucun retour car ce sont les hétérogénéités rencontrées qui sont à l'origine de sa rétrodiffusion. En arrivant sur l'obstacle, l'onde va être diffusée dans toutes les directions, dont la direction incidente. C'est cette composante, la rétrodiffusion qui est mesurée. En acoustique marine, l'obstacle pris en considération est le fond marin qui génère un signal rétrodiffusé composé de 2 contributions:

- *l'interface eau/sédiment*, qui marque une rupture brutale entre le milieu incident, l'eau et le fond marin. Le contraste d'impédance ainsi que la rugosité du sol vont entrer en compte.

- *le volume sédimentaire*, qui va agir par l'intermédiaire de toutes les hétérogénéités contenues, soit sous forme d'inclusions ponctuelles soit des changements plus globaux (stratification) des propriétés physiques.

Or la part respective de chacune de ces sources dans la rétrodiffusion globale va dépendre de la nature des fonds (lithologie et propriétés physiques) mais aussi des caractéristiques du signal incident (fréquence et angle d'incidence). Dans le cas de l'EM12, le sondeur travaillant par tous types de fonds et sur une vaste gamme angulaire (-75°, + 75°), ni la rétrodiffusion d'interface, ni celle de volume ne peuvent être privilégiées l'une par rapport à l'autre. L'angle d'incidence du signal va même se révéler un facteur déterminant quant à l'origine de la rétrodiffusion (Augustin et al., 1996). La rétrodiffusion de l'interface apparaît particulièrement importante pour le régime spéculaire : elle est alors largement contrôlée par le macro-relief ; au delà de l'angle critique (pour les incidences rasantes), le signal ne pénétrant plus dans le sol, elle est fonction du micro-relief. Par contre, pour les incidences intermédiaires, la rétrodiffusion mesurée résulte de la contribution du volume sédimentaire et de l'interface eau/sédiment, leur part respective dépendant de la nature des dépôts.

Ainsi, deux cas de configuration géoacoustiques peuvent être considérés, décrivant 5 séquences lithologiques principales.

Une configuration «simple», dans laquelle la réflectivité mesurée traduit la présence ou l'absence d'un réflecteur fort dans un milieu relativement homogène. Ce réflecteur peut être soit un épais banc de sable, soit un niveau impénétrable, soit un niveau très hétérogène de type slump. Trois possibilités se présentent :

- 1) - un réflecteur en surface ou a proximité immédiate : cas du faciès A (-24 dB/m<sup>2</sup>)
- 2) - le réflecteur est enfoui sous une couverture de sédiments plus ou moins homogènes : cas des faciès A et B (-24 DB/m<sup>2</sup> et -28 dB/m<sup>2</sup>)

3) - la séquence ne montre aucun réflecteur prépondérant et s'apparente à un milieu semi-infini de sédiments fins : faciès C (-31dB/m<sup>2</sup>) associé au dôme de Trévélyan

La configuration « complexe » correspond aux dépôts caractérisés par l'alternance de bancs sableux et d'interbancs stratifiés. La réflectivité mesurée résulte de cette forte hétérogénéité, avec une rétrodiffusion liée aux interfaces et au volume de chaque couche traversée par l'onde.

4) - les bancs et interbancs sont d'épaisseur décimétriques : faciès D (-33dB/m<sup>2</sup>)

5) - les bancs sableux sont d'épaisseur décimétrique à métrique, celle des interbancs restent d'ordre décimétrique : faciès E (-36 dB/m<sup>2</sup>).

Dans le cas d'une configuration simple, l'évolution de la réflectivité semble dictée par l'enfouissement du socle acoustique. Dans le cas des configurations complexes, les séquences lithologiques possèdent une réflectivité variable mais généralement basse et inférieure à celle des contextes les plus homogènes. Or ces deux configurations possèdent des gammes de réflectivités qui se recoupent (faciès C et D), et plusieurs séquences lithologiques très différentes peuvent correspondre à un même niveau de rétrodiffusion. Ainsi la figure 4 nous montre 3 carottes différentes auxquelles sont associées 3 réflectivités séparées de moins de 1 dB/m<sup>2</sup>, sachant que l'erreur de mesure est de l'ordre de 3 dB/m<sup>2</sup>!

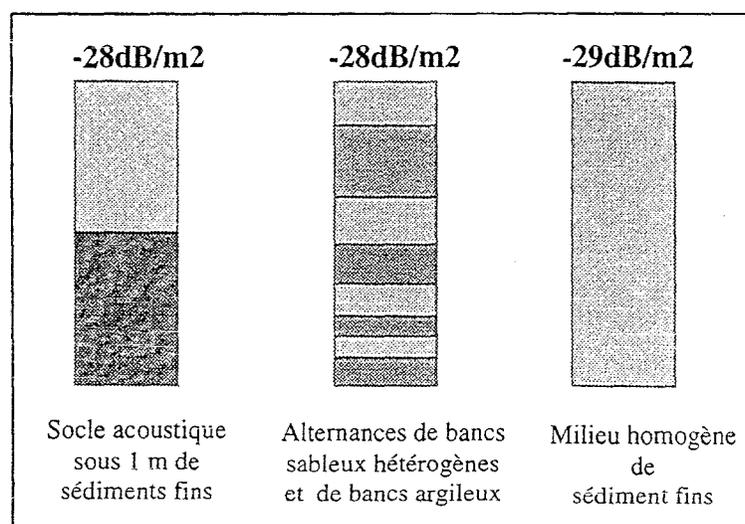


Figure 4: Exemple de l'ambiguïté de la réflectivité des fonds marins.

*3 different sedimentary sequences corresponding to 3 similar BS values*

Nous distinguerons enfin le faciès E qui correspond à une « tache blanche », acoustiquement très différenciée avec une valeur latérale moyenne particulièrement faible de -36 dB/m<sup>2</sup>. Cette tache blanche correspond à un lobe sableux récent, et devrait par conséquent être caractérisée par une forte réflectivité. Ce phénomène, déjà relaté par ailleurs dans la littérature (Kenyon, 1992) n'a pu être expliqué jusqu'à présent. Nous proposons ici une explication basée sur les propriétés in situ des sédiments, dues aux conditions de dépôts brutales et soudaines de type écoulement gravitaire. La faible réflectivité s'expliquerait alors par une modification réversible des propriétés acoustiques des sédiments en raison de la présence

serait provoquée par l'expulsion de l'eau interstitielle des interbancs argileux consécutivement à leur tassement provoqué par le dépôt brutal de sable en surface. La présence d'une surpression interstitielle entraînant une diminution importante de la vitesse des ondes P et S et une augmentation proportionnelle de l'atténuation du son, elle conduit à la diminution de la réflectivité d'une séquence lithologique. Ainsi, la présence de ces taches blanches traduirait un dépôt de type écoulement gravitaire récent, la surpression interstitielle n'ayant pas encore été dissipée.

## **5 Conclusions :**

Ces travaux sont en contradiction avec la plupart des concepts classiques d'analyse des images sonars. Ces concepts assument en effet la prépondérance de la rétrodiffusion de l'interface du fond marin sur celle du volume sédimentaire et suggèrent ainsi que les sédiments sableux sont plus rétrodiffusant que les sédiments argileux. Cette interprétation classique de l'imagerie est envisageable dans le cas de sonars fonctionnant à haute fréquence mais ne peut en aucun cas être appliquée dans le cas de systèmes de basse fréquence (13 kHz) comme l'EM12 .

Le volume sédimentaire va ainsi contribuer de manière importante à la rétrodiffusion globale, car le signal de l'EM12 pénètre plus ou moins profondément dans le sol. Globalement d'ordre métrique, la pénétration du signal dépendra de la nature des sédiments superficiels : de 0 à 2 m dans un environnement silto-sableux, de 4 à 13 m dans un contexte silto-argileux.

L'automatisation de la cartographie des fonds marins à partir de données type EM12 semble donc difficile à imaginer dans l'immédiat étant donné les faibles corrélations réflectivités/lithologies. Il paraît donc indispensable d'apporter des informations complémentaires, type propriétés physiques in situ, pour faire progresser la compréhension des phénomènes physiques qui régissent la rétrodiffusion.

Références bibliographiques :

AUGUSTIN J.M., LE SUAVE R., LURTON X., VOISSET M, DUGELAY S. and SATRA C., *Contribution of the Multibeam Acoustic Imagery to the Exploration of the Sea-Bottom*, Marine Geophysical Researches 18, 459-486, 1996.

BOURILLET J.F. et LOUBRIEU, *Carte Bathymorphologique de la Marge des Entrées de la Manche*. Eds IFREMER, Plouzané, France, 1995.

KENYON N.H., *Speculations on the Geological Causes of Backscatter Variation on GLORIA Sonographs from the Mississippi and De Soto Fans, Gulf of Mexico*, Geo-Marine Letters 12, 24-32, 1992.

LAINÉ E.P., DAMUTH J.E. and JACOBI R., *In surficial sedimentary processes revealed by echo-character mapping in the Western North Atlantic Ocean*, in: The Geology of North America, the Western North Atlantic Region, The Geological Society of America, ed., pp. 427-436, 1986.

UNTERSEH S., COCHONAT P., VOISSET M., OLLIER G. and HARMEGNIES F., *Acoustic Data Ground Truthing through In-Situ Measurements of Physical Properties*, the Eighth International Society of Offshore and Polar Engineers Conference (ISOPE 98), ISOPE Symp. Proc., pp.686-692, 1998.