CARACTÉRISATION D'UN MODÈLE DE MILIEU SÉDIMENTAIRE MARIN PAR ÉTUDE DE LA DISPERSION D'UNE ONDE D'INTERFACE

J. Guilbot, M. Zakharia

► To cite this version:

J. Guilbot, M. Zakharia. CARACTÉRISATION D'UN MODÈLE DE MILIEU SÉDIMENTAIRE MARIN PAR ÉTUDE DE LA DISPERSION D'UNE ONDE D'INTERFACE. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-845-C1-848. 10.1051/jp4:19921184 . jpa-00251146

HAL Id: jpa-00251146

<https://hal.science/jpa-00251146>

Submitted on 1 Jan 1992

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CARACTÉRISATION D'UN MODÈLE DE MILIEU SÉDIMENTAIRE MARIN PAR ÉTUDE DE LA DISPERSION D'UNE ONDE D'INTERFACE

J. GUILBOT et M. ZAKHARIA

I.C.P.I. Lyon, L.A.S.S.S.O., 25 rue du Plat, F-69288 Lyon cedex 02, France

Résumé: Dans un premier temps, nous décrivons une maquette de milieu sédimentaire marin réalisée dans notre laboratoire; il s'agit d'une plaque de polymère à taux de réticulation variable. Les profils de célérités continus (et linéaires) ainsi créés permettent une modélisation de la structure géophysique sédimentaire. Dans une géométrie plane, la dispersion de célérité de groupe des ondes de surface, se propageant à l'interface eau - sédiment, porte une information sur les profils d'impédances étudiés. Cette relation de dispersion est calculée numériquement à partir d'un modèle multicouche plan. L'étude expérimentale de la dispersion nécessite la mise au point d'un dispositif spécifique de génération de l'onde d'interface (méthode du coin solide). L'analyse des signaux reçus est effectuée à partir d'une méthode temps-fréquence basée sur la distribution de Wigner-Ville. Les courbes expérimentale et théorique de dispersion sont alors comparées.

Abstract: We first present a sea-based sedimentary mock-up designed in our acoustic laboratory. It is a polymerized plate with a variable reticulation rate and thus with continuous (and linear) velocity profiles. In a plane geometry, the group velocity dispersion of surface waves, which propagate at the water - sediment interface, provides information on impedance profiles of the geophysical sedimentary structure. The dispersion equation is numerically solved from a multi-layer model. The experimental study of the dispersion requires a specific set-up to generate the interface wave (solid wedge method). The analysis of the received signals is carried out using a time-frequency method based on the Wigner-Ville distribution. Experimental and theoretical dispersion curves are compared.

1. Introduction.

La caractérisation des ondes de surface se propageant à l'interface eau - sédiment marin est étroitement liée aux travaux de recherche sur la propagation d'ondes sismiques dans les roches et les sédiments marins. Une des principales motivations de ces études repose sur le fait que ces ondes de surface permettent une mesure de la célérité transversale des premières couches sédimentaires, ce qui est difficilement réalisable à partir de méthodes directes. Connaître les propriétés de dispersion de ces ondes, souvent nommées ondes de Stoneley-Scholte [1], permet une estimation des profils de célérités des premières couches sédimentaires. C'est ce que nous nous proposons d'étudier en prenant comme maquette de fond sédimentaire une plaque de polymère présentant des profils continus et linéaires de célérités suivant l'épaisseur. La caractérisation de cette maquette est réalisée par une étude théorique et expérimentale de la dispersion de célérité de groupe d'un signal large bande associé à une onde de surface se propageant le long de l'interface eau - polymère.

2. Maquette de fond marin.

Pour réaliser une telle maquette, nous avons utilisé une plaque de polymère (P.V.C. d'épaisseur $e=10$ mm) dans laquelle nous avons fait varier, sous presse et à chaud, le taux de réticulation: cette caractéristique chimique s'accompagne d'une variation des propriétés mécaniques (et ultrasonores) du matériau [2]. Des mesures de densité ont permis de conclure qu'aucune variation perceptible de masse volumique n'accompagnait la réaction de chauffage. Une mesure de cette densité a donné $\rho=1,38$ g/cm³. Un exemple de profils de célérités longitudinale et transversale est donné ci-dessous:

$$\begin{array}{lll} \text{Célérité longitudinale} & : & c_l(z) = (106,6z + 2030) \pm 20 \text{ m/s} \quad \text{avec } z \text{ en mm } (0 \leq z \leq e=10 \text{ mm}) \\ \text{Célérité transversale} & : & c_t(z) = (23,8z + 830) \pm 20 \text{ m/s} \quad \text{avec } z \text{ en mm } (0 \leq z \leq e=10 \text{ mm}) \end{array}$$

Ces profils ont été obtenus en découpant des échantillons de la plaque en fines lamelles de 1 mm d'épaisseur et en mesurant, pour chacune d'elles, les célérités longitudinale et transversale (supposées constantes dans la lamelle). La plaque de P.V.C. est collée sur un bloc en alliage d'aluminium de 110 mm d'épaisseur modélisant un socle rocheux semi-infini. Les caractéristiques acoustiques de ce socle sont les suivantes:

Célérité longitudinale: $c_L = 6350$ m/s, célérité transversale: $c_T = 2935$ m/s, densité: $\rho_s = 2,70$ g/cm³.

L'ensemble est placé sous une couche d'eau suffisante, de célérité $c_0 = 1500$ m/s, pour la considérer comme semi-infinie. Les essais sont réalisés dans une cuve de taille moyenne (1m x 2m, h=1m) (figure 1).

3. Position du problème.

La figure 2 décrit le problème acoustique analysé. On s'intéresse à la propagation dans la direction (0x) d'une onde plane évanescence harmonique dont l'amplitude décroît de façon exponentielle avec la profondeur (0z) repérée par rapport à la surface du solide en contact avec le liquide. Le milieu fluide est considéré comme semi-infini, homogène et isotrope. Le milieu solide est divisé "fictivement" en n couches homogènes d'égale épaisseur (figure 2). On transforme donc le modèle à variation continue de célérités en un modèle multicouche. Les calculs ont été réalisés à partir d'un découpage à $n=12$ couches sur la bande fréquentielle [50 kHz - 500 kHz]. Les simulations numériques ont montré qu'au delà de 12 couches les courbes de dispersion ne dépendaient plus du choix de n . Ce solide est en contact parfait avec un socle solide semi-infini, homogène, isotrope et parfaitement élastique. L'écriture des conditions aux limites à chacune des $(n+1)$ interfaces (satisfaites par le vecteur déplacement particulaire acoustique et les contraintes, en tout point de l'interface et à chaque instant) conduit à un système de $(4n+3)$ équations à $(4n+3)$ inconnues. L'annulation du déterminant associé à ce système conduit à la relation de dispersion de l'onde d'interface (célérité de phase en fonction de la fréquence) [3]. A l'aide de la courbe de célérité de phase (c_ϕ), on obtient la courbe de célérité de groupe (c_g) à partir de la relation suivante:

$$c_g = c_\phi + k \frac{d c_\phi}{d k} \quad \text{où } k \text{ est le nombre d'onde dans la direction de propagation, } k = \frac{\omega}{c_\phi}.$$

Pour résoudre numériquement le problème, on affectera les mesures expérimentales de célérités (profils expérimentaux) aux abscisses correspondant au milieu de chaque couche. La figure 3 représente la courbe de dispersion de célérité de groupe obtenue. On remarque que cette célérité tend, en haute fréquence, vers la célérité (c_{S1}) d'une onde de Stoneley-Scholte qui se propagerait à l'interface eau-substrat semi-infini de caractéristiques acoustiques semblables à celles de la première couche.

4. Excitation et réception de l'onde de Stoneley-Scholte.

La figure 1 décrit le dispositif expérimental de génération et de réception de l'onde de surface. L'excitation de cette onde est obtenue par une conversion de mode d'une onde plane transversale incidente dans un bloc de Téflon. Ce bloc est excité par un traducteur d'ondes transversales (fréquence de résonance 100 kHz, diamètre 28 mm); il est taillé de telle façon que l'angle d'incidence corresponde à l'angle critique moyen de génération de l'onde de surface. Ce dernier est donné par la relation de Snell-Descartes, sa valeur est de l'ordre de 45 degrés. La réception est assurée par une sonde large bande quasi ponctuelle (diamètre 1,3 mm) située très près de l'interface. L'étude de la dispersion est effectuée à partir de deux signaux reçus après des distances de propagation différentes. La figure 4 montre le signal reçu après 40 mm de propagation le long de l'interface et la figure 5 après 125 mm de propagation. On remarque sur la figure 5 un étalement temporel du signal dû à la dispersion de célérité. La célérité de groupe est alors estimée à partir de l'expression suivante:

$$c_g(v) = \frac{d}{\tau_2(v) - \tau_1(v)}$$

où d est la distance séparant la réception des deux signaux ($d=85$ mm)
 $\tau_1(v)$ est le temps de groupe associé au premier signal (à 40 mm de l'émetteur)
 $\tau_2(v)$ est le temps de groupe associé au second signal (à 125 mm de l'émetteur)

Figure 4: Signal temporel associé à l'onde de surface.
(Signal reçu à 40 mm de l'émetteur)

Figure 5: Signal temporel associé à l'onde de surface.
(Signal reçu à 125 mm de l'émetteur)

5. Analyse temps-fréquence des signaux dispersifs.

Une analyse conjointe en temps et en fréquence basée sur la distribution de Wigner-Ville a déjà été utilisée avec succès pour le calcul de la célérité de groupe de signaux fortement dispersifs [4]. Nous ne rappellerons pas toutes les propriétés intéressantes de cette transformation déjà largement étudiée [5]. Notons cependant que la distribution de Wigner-Ville permet de remonter à un temps de groupe et par là, à une estimation de la célérité de groupe connaissant la distance de propagation.

La distribution de Wigner-Ville, associée au signal d'énergie finie $x(t)$, est la fonction W_x des variables temporelle et fréquentielle (t, ν) suivante:

$$W_x(t, \nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \exp(-2i\pi\nu\tau) d\tau$$

On définit alors le retard de groupe $\tau_g(\nu)$ par:

$$\tau_g(\nu) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} t W_x(t, \nu) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} W_x(t, \nu) dt}$$

$\tau_g(\nu)$ peut se définir comme le moment d'ordre 1 en fréquence de la distribution. La figure 6 représente la distribution de Wigner-Ville du signal représenté sur la figure 5. La dispersion se traduit par "l'inclinaison" du motif temps-fréquence. Il est alors possible de calculer un temps de groupe fréquence par fréquence sur la bande [40 kHz - 80 kHz]. Cette bande fréquentielle correspond à la portion fortement dispersive observée sur la figure 3.

6. Résultats.

La résolution numérique du déterminant associé à l'équation de dispersion a permis d'établir, à partir des profils expérimentaux, la courbe "théorique" de dispersion de célérité de groupe. Ces profils sont estimés avec une erreur de l'ordre de 5%. Pour évaluer l'influence de cette erreur sur la courbe de dispersion "théorique", nous nous sommes placés dans les cas les plus défavorables: erreur systématique de +5% et erreur systématique de -5%. La figure 7 représente ces valeurs ainsi que les valeurs expérimentales extraites de la représentation temps-fréquence. La barre d'erreur sur les valeurs expérimentales est de l'ordre du symbole utilisé. On note une bonne correspondance entre la modélisation théorique de la dispersion et les valeurs expérimentales ainsi obtenues. L'erreur maximale est obtenue en haute fréquence sans pour autant dépasser 3%.

7. Conclusion.

Le dispositif expérimental de génération et de réception d'onde de surface, que nous avons développé, a permis de mettre en évidence une onde de Stoneley-Scholte se propageant à l'interface eau - P.V.C.. L'utilisation d'un système impulsif et d'une méthode d'analyse temps-fréquence a permis une estimation de la célérité de groupe de cette onde sur une large gamme de fréquences. La comparaison des valeurs expérimentales et théoriques montre la pertinence d'une telle méthode (erreur inférieure à 3%) ainsi que la validité de la description d'un profil linéaire continu de célérités par un profil constant par morceaux.

Remerciements.

Cette étude a été réalisée avec le soutien de la D.R.E.T. S.D.R./G.6.

Bibliographie.

- [1] DE BILLY, M. et QUENTIN, G. On the dispersion of Scholte wave propagating on a layered medium. J.Acoust.Soc.Am., 1990, Vol. 88, N°1, p.535-541.
- [2] COMBE, P. Détermination par une méthode ultrasonore du degré de réticulation d'une matière plastique P.V.C.. Lyon: ICPI - LTS, 1987. Rapport interne ICPI - LTS n° 86-07.
- [3] DEFEVRE, A., POULIQUEN, J. et MOUKALA, L.M. Caractérisation de milieux plans stratifiés (Ondes de Stoneley-Scholte - Résolution du problème inverse). Lille: FLS Lille, 1990. 19 p. Rapport d'états des travaux, convention D.R.E.T. n°89/136.
- [4] SESSAREGO, J.P., SAGELOLI, J., DEGOUL, P., FLANDRIN, P. et ZAKHARIA, M. Analyse temps-fréquence de signaux en milieux dispersifs. Application à l'étude des ondes de Lamb. J.Acoust., 1990, Vol. 3, p.273-279.
- [5] FLANDRIN, P. Représentation temps-fréquence des signaux non stationnaires. Thèse de Doctorat ès Sciences: INPG (Grenoble), 1987, 307 p.

Figure 1: Dispositif expérimental.

Profils de célérités.

Figure 2: Système multicouche étudié.

Figure 3: Courbe de dispersion de célérité de groupe.

Figure 6: Distribution de Wigner-Ville du signal de la figure 5. (Echelle des niveaux de gris: 2 db/niveau)

Figure 7: Courbes théoriques et expérimentale de dispersion de célérité de groupe.