Caractérisation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission acoustique horizontale par petits fonds

D. Jourdain

► To cite this version:

D. Jourdain. Caractérisation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission acoustique horizontale par petits fonds. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-1051-C5-1054. 10.1051/jp4:19945230 . jpa-00252917

HAL Id: jpa-00252917

<https://hal.science/jpa-00252917>

Submitted on 1 Jan 1994

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 de la réponse impulsionnelle du canal de transmission acoustique horizontale par petits fonds

D. JOURDAIN

Laboratoire d'Acoustique, DITI/SM/ASM, IFREMER, Centre de Brest, BP. 70, 29280 Plouzane, France

Abstract: This paper presents a shallow-water propagation analysis based on real signals. We study the influence of channel configurations (transmission ranges, water depths, natures of the bottom...) both on the multipath patterns and on the time spreading of the channel mean impulse responses. The signals fades are also investigated in term of envelope probability laws.

1. INTRODUCTION

On désigne par petits fonds les zones comprises entre la côte et le bord du talus continental, soit les fonds inférieurs à 200 m. Dans ces zones, la propagation s'effectue essentiellement par réflexions multiples sur la surface et sur le fond. On distingue deux types principaux de profils de célérités:

- *Le profil isocèle:* C'est le plus fréquent en hiver et dans les zones de très faibles profondeurs. La célérité étant constante, les trajectoires des ondes sonores sont des droites.

- *Le profil estival:* Il se retrouve à peu près systématiquement sur l'ensemble des zones littorale en été. Il est caractérisé par une couche superficielle à température et célérité nettement plus élevées, et une décroissance globale de la célérité avec les profondeurs croissantes. Les trajectoires des ondes sonores sont alors réfractées vers le bas, et la propagation se fait par réflexions multiples sur le fond.

Des campagnes systématiques de mesures ont été faites en hiver (mars et septembre 92) et en été (juin et août 93) afin de déterminer, pour les deux types de profils bathycélérimétriques, les allures des réponses impulsionnelles caractéristiques d'une variété importante de configurations (hauteur d'eau, nature du fond, bruit ambiant, distances de transmissions...) représentative de l'environnement côtier courant. Deux types de signaux ont été utilisés à l'émission:

- des SBLM de longueur 255 temps-symboles modulant une porteuse à 12 kHz. Ces signaux, à fort pouvoir de résolution temps-fréquences [1], permettent d'obtenir une bonne visualisation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission.

- des fréquences pures à 12 kHz qui, après démodulation, permettent d'étudier les phénomènes d'évanouissements en réception (*Fading*).

Les campagnes de mesures se sont déroulées sur différents sites le long des côtes bretonnes. Le récepteur était fixé sur ligne de mouillage à 10 m du fond. L'émetteur était immergé à partir du navire à des profondeurs de 5 à 20 m selon la hauteur d'eau du canal (H). Les distances de transmission (D) varient pour chaque site de 100 à 6000 m.

2. ETUDE DES REPONSES IMPULSIONNELLES

Les signaux reçus sont filtrés analogiquement autour du lobe principal puis échantillonnés à 48 kHz. Ils sont ensuite ramenés en bande de base par démodulation puis corrélés avec une séquence de référence (récepteur cohérent) [2]. Les modules des fonctions de corrélation ainsi obtenues sont ensuite moyennés sur plusieurs séquences (somme non cohérente) de façon à améliorer encore le gain de traitement.

2.1. Allures caractéristiques des réponses impulsionnelles

Les trois configurations présentées ici ont été choisies pour leur représentativité de l'influence de la configuration du canal sur l'allure de la réponse impulsionnelle:

- (1) Mer d'Iroise, $H = 90$ m, Fonds Sableux, $Dt = 1000$ m.
- (2) Pen-Hir/Cap de la Chèvre, $H = 35$ m, Fonds Rocheux, $Dt = 170$ m.
- (3) Rade de Brest, $H = 20$ m, Fonds Vaseux, $Dt = 180$ m.

2.1.1 Profil bathycélérimétrique hivernal

Le premier pic de toutes les réponses impulsionnelles "hiver" correspond au trajet direct émetteur-récepteur (trajet le plus court). C'est aussi le plus énergétique dans la mesure où il ne subit aucune perte par réflexion. Les réponses ensuite diffèrent par le nombre, la position et l'amplitude des trajets multiples en fonction de deux paramètres essentiels: La nature du fond et la distance de transmission.

(a) Fond sableux

La figure (2.1) montre la réponse impulsionnelle moyenne obtenue pour la configuration 1 à une distance de transmission de 1000 m. Elle présente deux groupes distincts de trajets. Le premier groupe est formé de 4 trajets: Le trajet direct (D), le trajet réfléchi-fond (F), le réfléchi-surface (S), et le réfléchi surface-fond (SF).

Remarque: L'émetteur était placé à 20 m en dessous de la surface, le récepteur à 10 m au dessus du fond, un calcul géométrique simple montre que le réfléchi-fond suit un trajet plus court que le réfléchi-surface et par conséquent, arrive avant ce dernier.

L'identification des trajets est confrontée aux prédictions du modèle théorique géométrique des rayons. Les retards théoriques sont figurés par les traits verticaux à la base des figures. Ceux-ci correspondent de manière très satisfaisante aux positions des pics de corrélation (les écarts entre temps d'arrivée théoriques et expérimentaux sont inférieurs à 0.1 ms pour les 4 trajets du premier groupe, alors que la résolution temporelle est de 0.5 ms)

Une remarque peut être faite concernant les troisième et quatrième trajets (S et SF). Au contraire des deux premiers, ils sont à peine distincts et comme noyés dans un groupe de trajets. Une évolution de la réponse au cours du temps montre en fait que, contrairement aux deux premiers trajets, ils sont très instables en retard comme en amplitude. Cela est dû à l'état de mer particulièrement agité (20 Nds de vent) le jour des mesures. La réponse traduit ici les pertes importantes par réflexion surface (de l'ordre de -10 dB), ainsi que le doppler différentiel affectant ces trajets (variation du temps d'arrivée).

fig.(2.1) Réponse impulsionnelle moyenne
Mer d'Iroise, Hiver, $Dt = 1000$ m.

fig.(2.2) Réponse impulsionnelle moyenne
Pen-Hir/Cap de la Chèvre, Hiver, $Dt = 170$ m.

(b) Fonds Rocheux

Dans le cas de la fig.(2.2), la distance de transmission est beaucoup moins grande que dans le cas précédent. Cela se traduit sur la réponse d'une part par l'absence de deuxième groupe de trajets (les angles de rasances correspondant à ces trajets sont supérieurs à 20° , et l'amortissement par réflexion devient trop important), et d'autre part par des écarts plus grands entre les temps d'arrivées des premiers trajets.

Les fonds rocheux étant très irréguliers (échelle de rugosités supérieure à la longueur d'onde du signal), la réflexion sur le fond entraîne une diffusion importante d'énergie dans toutes les directions, et donc un amortissement du réfléchi fond spéculaire, comme le montre la réponse impulsionnelle moyenne (fig.2.2).

(c) Fonds Vaseux

Les fonds vaseux sont caractérisés par un fort coefficient de pertes par réflexion fond. Cela se traduit sur la fig. (2.3) par la disparition du réfléchi-fond (voir fig.2.3) (Le pic (F), très amorti, est "noyé" dans la base du pic (D), mais l'observation est rendue difficile par les faibles valeurs des retards, le canal étant très peu profond.).

fig.(2.3) Réponse impulsionnelle moyenne
Rade de Brest, Hiver, $Dt = 180$ m.

fig.(2.4) Réponse impulsionnelle moyenne
Mer d'Iroise, Été, $Dt = 1000$ m.

2.1.2. Profil bathycélérimétrique estival

La fig.(2.4) correspond à la configuration de la fig.(2.1), en été. Le profil bathycélérimétrique de la mer d'Iroise présente un gradient de célérité peu marqué (on a donc toujours un trajet direct, bien que courbé, entre l'émetteur et le récepteur), mais suffisant pour que le trajet "surface" soit réfracté vers le bas avant d'être réfléchi. Cela se traduit sur la réponse impulsionnelle moyenne par des trajets (S),(SF),(FS)... beaucoup plus énergétiques qu'en hiver.

2.2. Étalement temporel moyen des réponses

fig.(2.5) Étalements temporels moyens à -15 dB, Hiver et Été.
(-- Mer d'Iroise; (...) Pen-Hir/Cap de la Chèvre; (—) Rade de Brest

La figure (2.5) montrent les valeurs des étalements temporels moyens à -15 dB (relativement au trajet direct) obtenus pour les trois configurations en hiver et en été. Les fortes valeurs obtenues pour le sable sont dues essentiellement au fait que, le canal étant plus profond, d'une part les différences de marche entre les trajets sont beaucoup plus importantes, et d'autre part, les groupes de trajets multiples subissent moins de pertes aux réflexions pour atteindre le récepteur et sont donc plus énergétiques. L'étalement temporel augmente en conséquence.

L'influence de la nature du fond est caractéristique: le sable étant un bon réflecteur, la propagation par réflexions multiples sur le fond est équivalente sinon meilleure (en terme de transmission d'énergie) que par réflexions surface-fond, et l'étalement temporel de la réponse est par conséquent plus important en été qu'en hiver. Au contraire, les fonds rocheux ont tendance à diffuser les signaux acoustiques, et les fonds sableux à les amortir. L'étalement temporel est alors en moyenne plus important en hiver qu'en été.

3. EVANOUISSEMENT DES SIGNAUX EN RECEPTION

Le phénomène de *fading*, bien connu dans tous les domaines des communications, est principalement dû dans le cas des transmissions petits fonds aux interférences destructrices entre trajets arrivant simultanément au récepteur, avec des phases opposées. La modélisation de ce phénomène permet de dégager les lois caractéristiques des *enveloppes* des signaux en réception. Lorsque le canal de transmission est totalement aléatoire, elles sont caractérisées par une loi de Rayleigh. Au contraire, les enveloppes de signaux transmis au travers d'un canal totalement déterministe suivront (asymptotiquement) une loi de Gauss. Ces deux lois sont les lois limites d'une loi de Rice, caractérisant la transmission au travers d'un canal moyennement stable.

Les lois de distribution des fréquences pures 12 kHz, après démodulation, ont été comparées (jusqu'à présent, de manière uniquement qualitative) aux lois limites évoquées ci-dessus. Nous avons ainsi pu mettre en évidence l'influence des conditions de propagation sur le comportement des enveloppes en réception.

-L'augmentation de la distance de transmission "stabilise" le canal. La raison en est purement géométrique: Les différences de phases entre les signaux s'amenuisent et les fluctuations associées diminuent. En conséquence, à petites distances, les enveloppes suivront majoritairement des lois de Rayleigh, et à grandes distance, des lois de Gauss, pour un même site de transmission.

-La nature du fond a cependant une influence prédominante: Les canaux à fonds faiblement réfléchissants comme les fonds vaseux (trajets peu nombreux) sont très stables et donnent généralement lieu à des lois gaussiennes. Par contre, les fonds sableux (bonne réflexion) induisent un fading beaucoup plus important et les lois observées sont alors proches des lois de Rice ou de Rayleigh selon la distance de transmission. Les fonds rocheux ont un comportement particulier (fig.3.1): A petites distances de transmission, les réfléchis fonds sont très diffusés et le canal est totalement aléatoire (lois de Rayleigh). A grande distance, les rayons diffusés sont rapidement amortis et n'ont que peu d'influence sur les signaux en réception. Le canal devient aussi stable que pour un fond vaseux (lois gaussienne).

fig.(3.1) Densité de probabilité des enveloppes en réception sur 20 s. (Roches, $H=35$ m)
(gauche) comparée avec une loi de Rayleigh - (droite) comparée avec une loi de Gauss.

4.CONCLUSION

Les résultats présentés ici confirment le fait que, par petits fonds, la transmission acoustique est particulièrement sensible à la configuration du canal de propagation (géométrie, nature du fond) et soulignent l'influence de cette dernière sur l'étalement temporel et les taux de fading, qui sont les deux principaux phénomènes physiques affectant les performances des systèmes de transmission de données par acoustique sous-marine.

Références:

- [1] MILLET J & JOURDAIN G., *Traitement du signal* 7 - 1 (1990)
- [2] JOURDAIN D. & LURTUN X., "Etude expérimentale de l'étalement temporel de trajets multiples en petits fonds", *Transmissions acoustiques sous-marines, Deuxième journée d'étude, SEE (1992) pp 62-70.*