

Mise en relation des variabilités acoustique et environnementale en ASM petit fond. Analyse des données de la campagne EVA 96.

Dominique MORISSET, Stanislas CHANCEL⁽¹⁾
Didier MAUARY⁽²⁾ et Claire NOEL⁽³⁾

(1)GESMA, Division Acoustique Basse Fréquence, BP 42
29240 Brest Naval, France

(2)CEPHAG, ENSIEG, Domaine Universitaire, BP 46
38402 Saint Martin d'Hères, France

(3)SEMANTIC TS, 39 Chemin de la Buge
83110 Sanary, France

RÉSUMÉ

L'expérimentation EVA (Etude de la Variabilité Acoustique, 1996) organisée par le GESMA a permis de recueillir des données de propagation et des mesures environnementales parallèles (XBT, SBE, météorologie), dans une zone petits fonds en bordure du talus continental atlantique. Les objectifs scientifiques étaient centrés sur l'estimation de l'ordre de grandeur de la variabilité acoustique en relation avec la variabilité environnementale. Les fluctuations des signaux reçus sur une antenne verticale fixe constituent le point d'intérêt de l'étude, l'émission couvrant la gamme 750-1200 Hz. Le traitement des données est réalisé en deux études parallèles: le développement d'un modèle environnemental à partir des données acquises, prélude à une simulation numérique de la réponse impulsionnelle, et son analyse expérimentale (analyse statistique des paramètres significatifs du signal acoustique).

1 Introduction

Les objectifs de cette étude sont 1) d'énumérer les causes des fluctuations acoustiques dans le milieu petit fond, 2) de décrire les résultats préliminaires d'une expérimentation multidisciplinaire destinée à mettre en évidence si certains paramètres acoustiques du signal reçu peuvent être mis en relation avec des paramètres de l'environnement, et 3) de résumer les enseignements tirés en matière de méthodologie de mesure et de traitement des données.

Après avoir rappelé la nature des problèmes dus à la variabilité par petits fonds, nous décrivons l'expérimentation EVA 96 et présentons les premiers résultats obtenus.

2 Variabilité acoustique en petit fond

Dans le domaine des basses fréquences acoustiques (< 5 kHz), l'océan constitue un milieu propice à la propagation sonore. Cependant, les inhomogénéités de célérité résultant de la présence dans le milieu de couches de propriétés physiques différentes dues à des phénomènes océaniques tels que les ondes internes ou à certaines turbulences sont la cause des fluctuations observées en transmission sonore (distorsion du front d'onde). En conséquence, la phase et

ABSTRACT

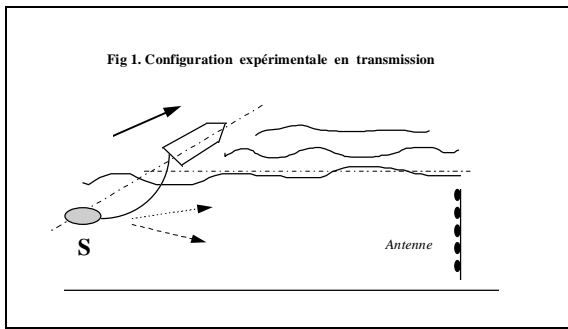
EVA experimentation (Summer 96) provided the GESMA with transmitted acoustic data and environmental measurements (XBT, SBE probe, meteorology) in shallow water area in the vicinity of the Atlantic continental shelf. The objective of this paper is to examine how to assess a relevant estimate of acoustic variability connected with environmental variability. Fluctuations of acoustic signals received on a vertical array over the range 750-1200 Hz are the main interest of the study. Data processing is divided in two parallel studies: development of a statistical model of the medium, prelude to numerical simulations of impulse response, and analysis of experimental impulse response (statistical analysis of significant signal parameters).

l'amplitude des signaux acoustiques présentent une variabilité spatiale et temporelle élevée, qui est à l'origine des dégradations des performances des systèmes sonar classiques dont l'emploi est étendu aux petits fonds... De nombreux travaux visant à caractériser cette variabilité par l'extraction des moments de l'intensité ont été entrepris [1], [2]. Cette démarche constitue la ligne directrice du traitement de nos signaux.

3 Expérimentation

EVA 96 a été menée sur le plateau continental atlantique au large de l'île de Ré du 17 au 24 août 1996, dans une zone homogène et très calibrée du point de vue du fond (investigations de l'EPSHOM). Les radiales de transmission sont de deux types: localisées sur le plateau avec un fond plat (130 m) et sur le talus avec un fond variable. Nous disposons ainsi de jeux de données affectés ou non par la bathymétrie. L'instrumentation acoustique en configuration de transmission (voir Fig 1) était constituée d'une source (niveau d'émission 210 dB réf μ Pa) remorquée par le BEE LANGEVIN perpendiculairement à l'axe de transmission (40 km) sur une distance de 10 km, et en réception d'une antenne hydrophonique immergée entre 80 et 110 mètres. Les signaux d'émission étaient composés de fréquences pures simultanées (750-950-1200 Hz durée 2s, récurrence 1

min) et de modulations hyperboliques de fréquence (750-1200 Hz) à rythme lent (durée 2s, récurrence 1 min) et rapide (durée 1s, récurrence 5s). Des mesures environnementales fines sont venues compléter les mesures acoustiques: profils de célérité au moyen de sondes XBT et SBE 25, météo (vent, état de mer)... Le profil de célérité était de type été avec une célérité de 1523 m/s à la surface, une thermocline centrée à 30 m (1512 m/s) et isocèle à partir de 70 m (1500 m/s). D'autre part, la cinématique de la source remorquée a été enregistrée (données GPS).



4 Traitement des données

Le traitement des données est réalisé en deux études parallèles: 1- le développement d'un modèle statistique de l'environnement à partir des mesures effectuées accompagné de simulations numériques de la réponse impulsionnelle (RI); 2- l'analyse des signaux reçus par le calcul de la RI et l'extraction de séries temporelles (énergie totale reçue, temps de retard, amplitude des pics principaux, ...), l'objectif étant de caractériser la variabilité en fonction du temps, de l'espace et de la fréquence.

4.1 Modèle environnemental

Un modèle statistique de l'environnement est développé sur la base d'informations théoriques de type bibliographiques, auxquelles sont assimilées les informations extraites de mesures in-situ. Ce modèle permet de définir l'environnement bathycélérimétrique dans lequel sont effectuées les simulations numériques de la réponse impulsionnelle. Une synthèse des connaissances relatives aux fluctuations de célérité par petits fonds est réalisée. Les mesures bathycélérimétriques déjà prélevées in-situ (lors d'EVA 96 et par le passé sur des zones géographiques voisines de la zone) sont analysées afin de définir un modèle de fluctuations du milieu de propagation :

- . en ajustant les paramètres des spectres spatio-temporels de fluctuations jugés les plus plausibles : la variance des fluctuations, échelles spatiales et temporelles de corrélation des fluctuations d'une part;
- . en construisant, d'autre part, des réalisations du milieu bathycélérimétrique aléatoire et évolutif.

Cette étape permet d'obtenir des informations qualitatives intéressantes et permet de définir et de mieux comprendre les exigences de l'approche statistique. En effet, une étude statistique n'a de sens que si elle respecte certaines contraintes du système physique: l'échantillonnage et la répartition des bathycélérimétries doivent être directement

adaptés aux paramètres spatiaux et temporels des fluctuations.

Les simulations numériques de la réponse impulsionnelle sont déterminées par le logiciel RAYSON basé sur une méthode de rayons selon la procédure présentée ci-après :

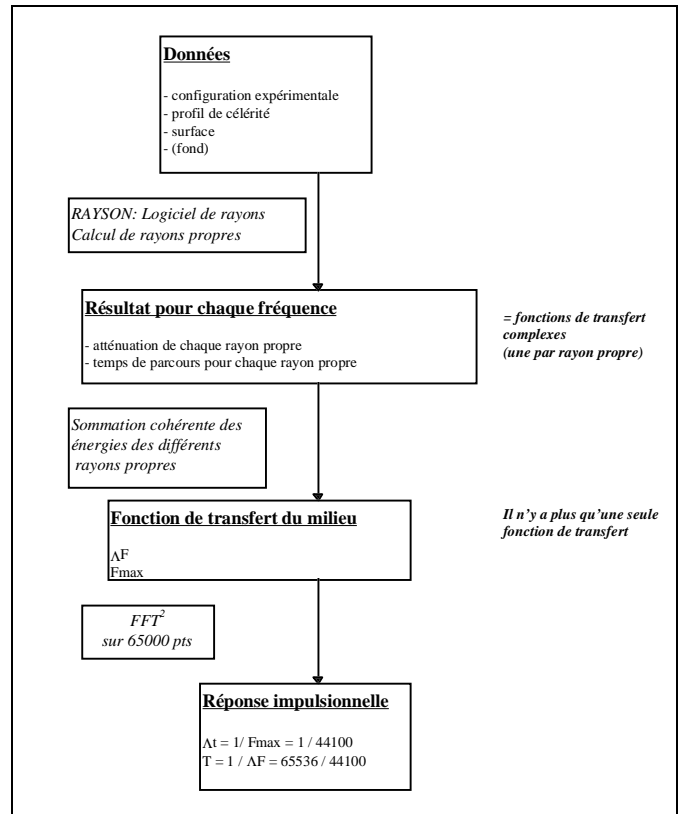
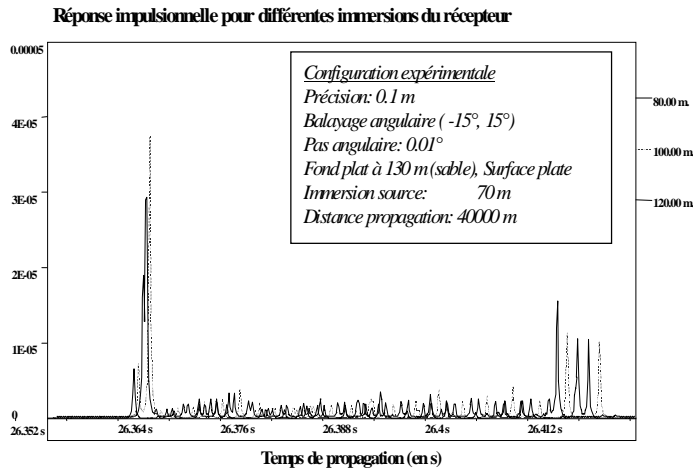


Fig. 2 : Principe des simulations acoustiques.

RAYSON intègre une procédure de type Monte-Carlo permettant d'effectuer de façon automatisée des simulations numériques statistiques: calcul de la réponse impulsionnelle pour un ensemble de profils de célérité évolutifs.

Les simulations réalisées dans cette étude visent tout d'abord à analyser l'influence de la configuration expérimentale sur les signaux propagés en estimant la réponse impulsionnelle moyenne le long des diverses passes T2 ainsi que ses variations majeures pour un paramétrage des positions sources et récepteurs. La figure 3 donne la réponse impulsionnelle obtenue dans la configuration opérationnelle d'EVA des passes T2, pour différentes immersions du récepteur 80, 100, 120 m.

La seconde partie des simulations a pour but d'analyser l'impact de fluctuations du milieu sur l'énergie totale reçue et sur la forme de la réponse impulsionnelle. Les fluctuations sont d'abord étudiées autour d'une configuration moyenne expérimentale. Les profils bathycélérimétriques évolutifs utilisés sont construits à partir du modèle environnemental. Chaque réalisation est indépendante de la suivante. Elles donnent la réponse impulsionnelle au cours du temps pour chaque réalisation du milieu marin. Les résultats sur l'ensemble de ces réalisations sont ensuite analysés statistiquement.



Ces simulations ont pour intérêt d'expliquer la variabilité des mesures acoustiques obtenues. Dans ce but, elles doivent fournir des informations permettant d'assurer la comparaison avec les données expérimentales. L'idée à développer pour définir des critères efficaces de comparaison manipulations est de travailler sur le modèle le plus adapté à la décomposition de la réponse impulsionnelle, c'est-à-dire dans notre approche, celui des rayons propres et d'étudier la stabilité de ce modèle. Un rayon propre est caractérisé dans un premier temps par deux paramètres: l'amplitude complexe et le temps de retard. Ce sont ces paramètres qui vont déterminer l'énergie totale reçue et la forme de la réponse impulsionnelle. De plus la variabilité de l'environnement se traduit par une variabilité des paramètres du modèle choisi. Il est possible, par exemple, qu'une petite fluctuation de l'immersion puisse engendrer une sensibilité sur une partie du modèle seulement (premiers pics d'arrivée). L'intérêt de cette approche est qu'à partir de simulations numériques, on sait remonter au modèle, ce qui n'est plus possible sur les signaux réels. Avec les simulations, on conserve une vision plus générale pour la définition de ces critères, et on apporte des informations utiles pour le dépouillement et l'analyse.

4.2 Traitement des signaux

L'objectif du traitement du signal est de mesurer la variabilité d'un paramètre donné et de confronter les valeurs mesurées à des prédictions obtenues via des modèles physiques. Le signal acoustique étant considéré comme une variable aléatoire, l'analyse se fonde sur les moments statistiques :

- la valeur moyenne,
 - la variance (ou puissance des fluctuations),
- et d'une manière plus complexe:
- les ordres supérieurs,
 - les fonctions de cohérence temporelle, spatiale et/ou fréquentielle.

L'un des problèmes majeurs lorsque l'on veut analyser la variabilité du milieu seule est la perturbation de la géométrie qui induit une variabilité acoustique qui peut en fait masquer la première. Les outils d'analyse doivent pouvoir faire la part des choses.

A titre d'exemple, nous décrivons la problématique de l'analyse sur le paramètre d'amplitude du signal reçu. Le niveau du signal reçu à une fréquence donnée est généralement obtenu via une grandeur complexe, issue d'une transformée de Fourier ou d'une démodulation, et qui peut s'exprimer comme une somme finie de P contributions :

$$a = \sum_{p=1}^P a_p \exp(-2\pi f \tau_p) \quad (1)$$

a_p et τ_p sont les paramètres d'amplitude et de retard des différentes ondes acoustiques atteignant le récepteur. Les paramètres de cette équation, sont en principe dépendant du temps, de la fréquence (f) et de l'espace. Analyser la variabilité énergétique pour ce type de signal, c'est donc tenter de décrire statistiquement le signal a complexe, ou le signal d'amplitude $|a|$, ou le carré de ce dernier, c'est à dire la puissance, ou enfin l'expression en dB de l'amplitude (transformation logarithmique). Un certain nombre de lois statistiques de répartition des différentes grandeurs mesurées, sont proposées, notamment celle de Rayleigh, ou celle, plus générale de Rice.

La loi de Rayleigh se justifie en supposant que les termes de phase dans l'expression de l'énergie reçue sont aléatoires et uniformément répartis sur $[0, 2\pi]$ et que les termes d'amplitude sont identiques. L'amplitude complexe reçue tend alors vers une loi gaussienne lorsque P est suffisamment grand. Une propriété remarquable de la loi de Rayleigh est que l'écart-type de l'énergie en dB est une constante universelle, égale à 5,6 ([3]). En acoustique sous-marine, la loi de Rayleigh n'est pas toujours exactement vérifiée ([5]). Il est alors important de comprendre pourquoi et d'affiner les modèles statistiques. On peut par exemple penser que les amplitudes observées sont variables et donc a priori non identiques entre elles, ce qui justifie un écart à la loi de Rayleigh.

D'une manière plus générale, on voit que l'objectif du traitement du signal est de pouvoir faire le lien entre le comportement statistique de l'énergie observée et celui des paramètres du modèle de travail choisi pour les simulations (amplitudes et temps de retard dans notre cas). Cette stratégie permet donc en principe de relier les quantités observées aux paramètres environnementaux via la modélisation acoustique. Ce problème est extrêmement complexe car la sommation du type trajets multiples est un "filtre" puissant. Quand on observe le comportement statistique de a , il n'est pas évident de remonter aux comportements statistiques des paramètres multiples qui le composent. Idéalement, il faut travailler avec des signaux le plus large-bande possible et avec une antenne de résolution maximale pour espérer isoler des trajets et accéder directement aux paramètres. Mais en contexte petits fonds, ce n'est pas toujours possible, vu la densité géométrique des trajets acoustiques. Des problèmes comme la diffusion ou la cohérence peuvent aussi perturber la résolution des trajets multiples. Le deuxième problème majeur est qu'à la variabilité naturelle du milieu s'ajoute une variabilité purement instrumentale. Savoir distinguer ces deux

composantes sur le plan statistique sera l'enjeu des prochains développements en traitement du signal sur ce type d'expérimentation. Ce type de problème se généralise en tenant compte de l'aspect temporel, fréquentiel et spatial des signaux reçus.

5 Premiers résultats

Pour les signaux de type fréquence pure, le paramètre d'amplitude observé est disponible pendant environ une heure, à raison d'une observation par minute, pour les trois fréquences données et pour six capteurs de l'antenne. On peut donc estimer l'écart-type des fluctuations avec les données temporelles (environ 60 échantillons) et spatiales (6 capteurs), ce qui fait un total de 360 échantillons pour faire l'analyse. L'estimation est alors faite indépendamment pour chaque passe et chaque fréquence sur la valeur en dB. Les résultats sont condensés dans la figure ci-dessous :

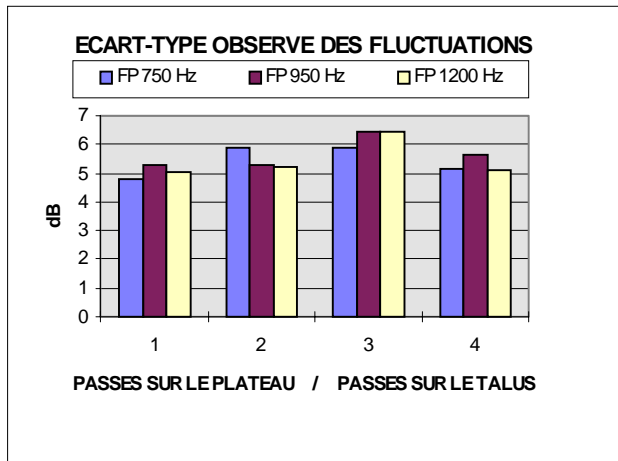


Fig. 4 : Variabilité observée sur 4 passes expérimentales.

Les 2 premières passes correspondent aux passes sur le plateau, les deux suivantes aux passes sur le talus. Les estimateurs semblent bon : l'écart-type théorique de l'erreur d'estimation est de 0.4 dB et les résultats sont stables pour les trois fréquences différentes de chaque passe. On s'écarte donc sensiblement de la valeur théorique de 5.6 dB et la variabilité des passes sur le talus est supérieure à celle des passes sur le plateau. Cela tend à montrer que le modèle de Rayleigh ne prédit pas précisément la variabilité acoustique observée sur ces données.

Pour argumenter davantage notre propos, nous représentons sur la figure 5 une réponse impulsionnelle expérimentale obtenue sur le talus avec des signaux large bande. Le filtrage adapté met en évidence la présence des trajets acoustiques qui fluctuent en fonction de la date de transmission. Rappelons que la géométrie du fond varie beaucoup en fonction de cette date car le bateau se déplace perpendiculairement à la plus grande pente du talus. L'énergie que l'on voit apparaître et disparaître sur la partie droite de la réponse impulsionnelle montre que l'on peut difficilement supposer que l'amplitude des rayons est constante dans le modèle (1). Or, c'est cette hypothèse qui justifie le modèle de Rayleigh pour la quantification de la variabilité. Ce ne peut donc être une justification raisonnable des écart-types observés pour les passes sur le talus. Les

aspérités du talus peuvent faire écran à une partie de l'énergie acoustique et induire une forte variabilité. Notons que ceci est dû au mouvement du bateau porteur de la source et que cet écart au modèle de Rayleigh qui a été observé au niveau du moment d'ordre 2 ne peut être imputé à la variabilité temporelle du milieu.

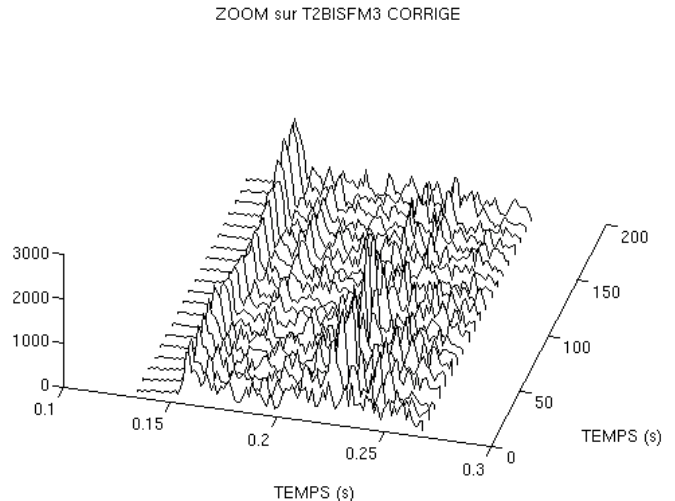


Fig. 5: Réponse impulsionnelle observée sur une passe perpendiculaire au talus.

Cette analyse demande à être confirmée sur un volume de données plus grand. Elle sera étendue au signal large bande. Les simulations qui sont en cours devront par ailleurs confirmer ces premiers résultats. Les possibilités d'extension de ce type d'analyse sont nombreuses. Il est important maintenant d'affiner le modèle d'observation des signaux (1) à l'aide d'un modèle acoustique et d'en déduire les nouvelles propriétés pour l'analyse statistique des fluctuations.

6 Perspectives

Nous avons présenté un résultat ponctuel qui permet de décrire la problématique des études mises en oeuvre autour de ce type d'expérimentation. Des résultats plus avancés seront présentés lors de la conférence.

7 Références

- [1] S.M. Flatté, R. Dashen, W.H.Munk, K.M. Watson, and F. Zachariasen, *Sound Transmission Through a Fluctuating Ocean* (Cambridge U.P., New York, 1979).
- [2] Dennis B. Creamer, *Scintillating shallow-water wave guides* (JASA, Vol 99, May 1996), Février 1997.
- [3] I. Dyer, *Statistics of Sound Propagation in the Ocean* (JASA, Vol 48, 1970).
- [4] D. Mauuary, *Signaux en transmission de la campagne EVA 96: dépouillement et premières analyses* (CEPHAG, rapport n°3/97).
- [5] K.V. Mackenzie, *Long range Shallow-Water Signal-Level Fluctuations and Frequency Spreading*. (JASA, vol. 34, Jan 1962).