

## Introduction

LES TRAVAUX présentés sur ce poster concernent la caractérisation des fonds marins par acoustique, plus particulièrement par petits fonds ( $h \leq 200$  m). Les domaines d'application sont nombreux : prédiction de performances de sonar, protection des ports, génie civil, détection de mammifères ou de bancs de poissons, ... Afin d'avoir une bonne résolution (de l'ordre de 50 cm) et une bonne pénétration (jusqu'à 150 m), nous utilisons le dispositif expérimental suivant : une antenne verticale ancrée composée de  $N$  capteurs ( $N = 15$  pour les données décrites ci-dessous) enregistre les signaux émis par une source omnidirectionnelle large bande (100 Hz - 6 kHz) remorquée près de la surface (Fig. 1 gauche). Nous utilisons des données synthétiques obtenues à partir d'un modèle numérique de réflexion d'ondes sphériques par des milieux multicouches [1] ainsi que des données expérimentales fournies par le NURC (Nato Undersea Research Center) (Fig. 1 droite). Pour ces dernières, nous utilisons les données acquises sur les sites 2 et 3 qui ont des structures géoacoustiques très différentes (Fig. 2).

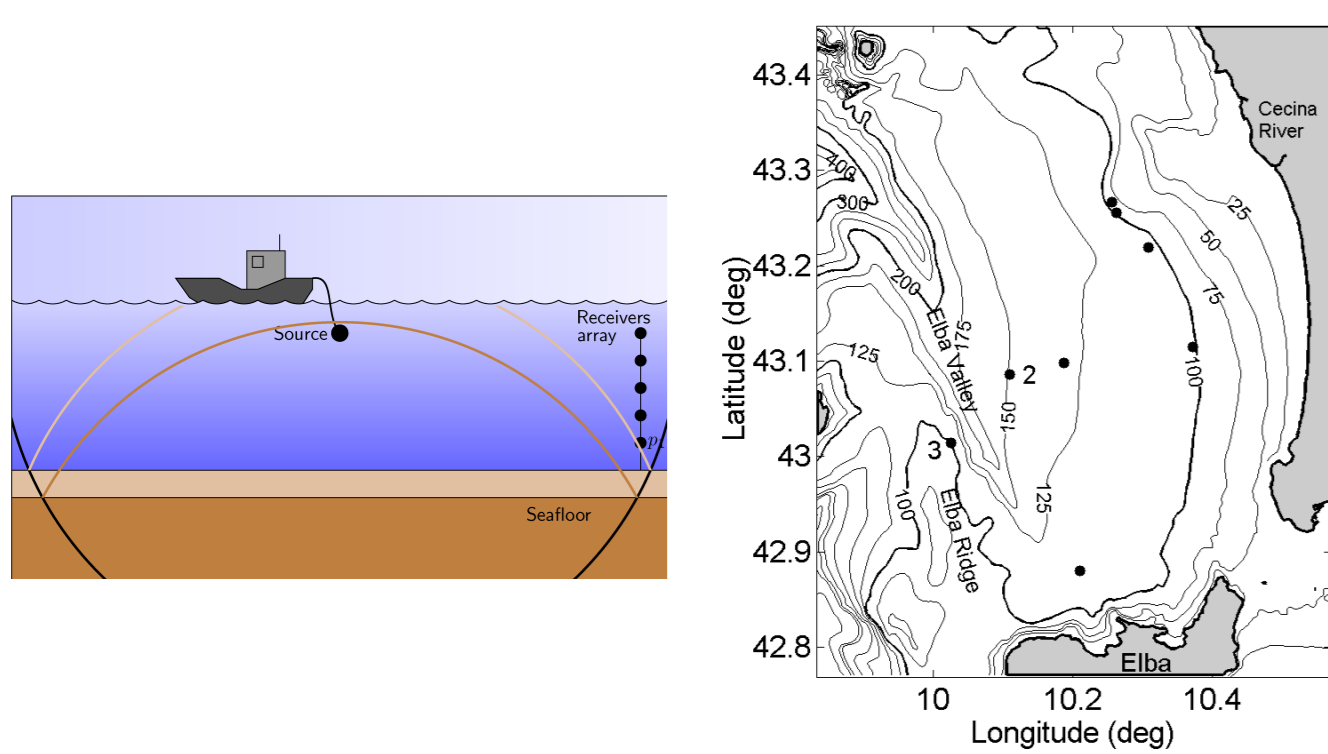


FIG. 1: (gauche) Schéma de la configuration expérimentale. (droite) Sites de provenance des données réelles.

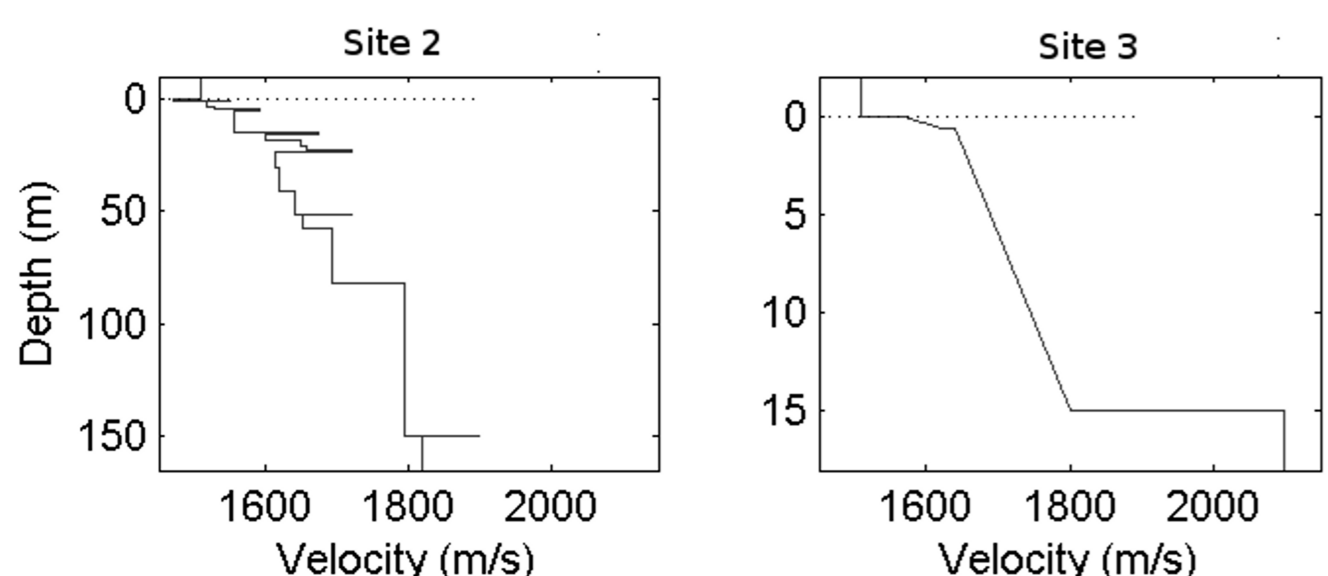


FIG. 2: Profils de vitesse du son dans les sédiments pour les sites 2 (gauche) et 3 (droite).

Actuellement, les travaux menés sont organisés selon deux thématiques complémentaires : 1) étude de la cohérence spatiale et fréquentielle et 2) utilisation des sources images pour obtenir les profils de vitesse dans les couches sédimentaires.

## 1. Cohérence spatiale et fréquentielle

LE PREMIER axe de travail concerne l'étude de la cohérence spatiale (i.e. le maximum du coefficient de corrélation) et fréquentielle (i.e. la phase des spectres croisés) des ondes reçues par l'antenne d'hydrophones. La cohérence du signal  $p_i(t)$  enregistré par l'hydrophone  $i$  par rapport au premier hydrophone (situé près du fond) est définie comme étant la valeur maximale du coefficient de corrélation :

$$\gamma_{1i} = \max \left[ \frac{C_{1i}(\tau)}{\sqrt{C_{11}(0)C_{ii}(0)}} \right], \quad (1)$$

avec  $C_{ab}(\tau) = p_a(t)p_b^*(t + \tau)$ .

Il a été montré [1] que les données synthétiques sont en très bonne adéquation avec les données expérimentales et que la cohérence spatiale est fortement dépendante de la nature géoacoustique des fonds considérés (Fig. 3).

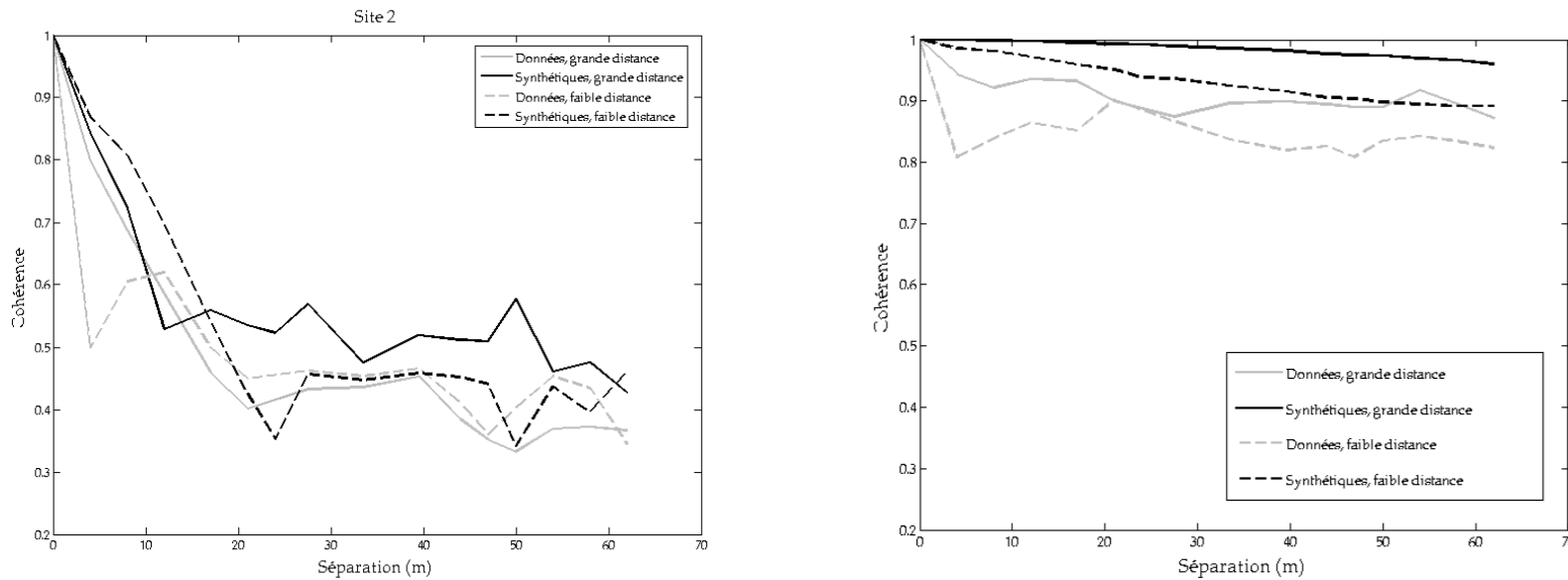


FIG. 3: Cohérence spatiale des données réelles et synthétiques pour le site 2 (gauche) et pour le site 3 (droite).

Cette première étude a été étendue ensuite par une étude paramétrique de la cohérence spatiale de données synthétiques décrivant différents types de fonds [2]. Il a été montré que l'on pouvait la décrire via la fonction d'autocorrélation du signal source et le rapport d'impédance entre les différentes strates. Cette description a permis de comprendre le lien entre la nature géoacoustique d'un fond considéré et la cohérence spatiale obtenue sur ce fond.

Concernant la phase des spectres croisés, elle s'obtient à partir du spectre d'intercorrélation des signaux enregistrés sur l'antenne :

$$G_{1i} = S_1(f) \times S_i(f)^* = |G_{1i}| e^{i\theta_{1i}(f)}. \quad (2)$$

La phase  $\theta_{1i}(f)$  permet de séparer les régimes de trajets multiples des régimes de trajets simples dans ce multicouche [3]. En effet, en présence d'un simple trajet entre l'émetteur et l'antenne de réception, la phase est proportionnelle à  $kd$ ,  $k$  étant le nombre d'onde et  $d$  la distance entre deux capteurs. Un écart par rapport à cette loi en  $kd$  met donc en évidence la présence de trajets multiples (Fig. 4). De plus, une étude précise de cette phase a mis en évidence les liens qui existaient entre des sauts de phase de  $2\pi$  et l'existence de résonances dans le multicouche.

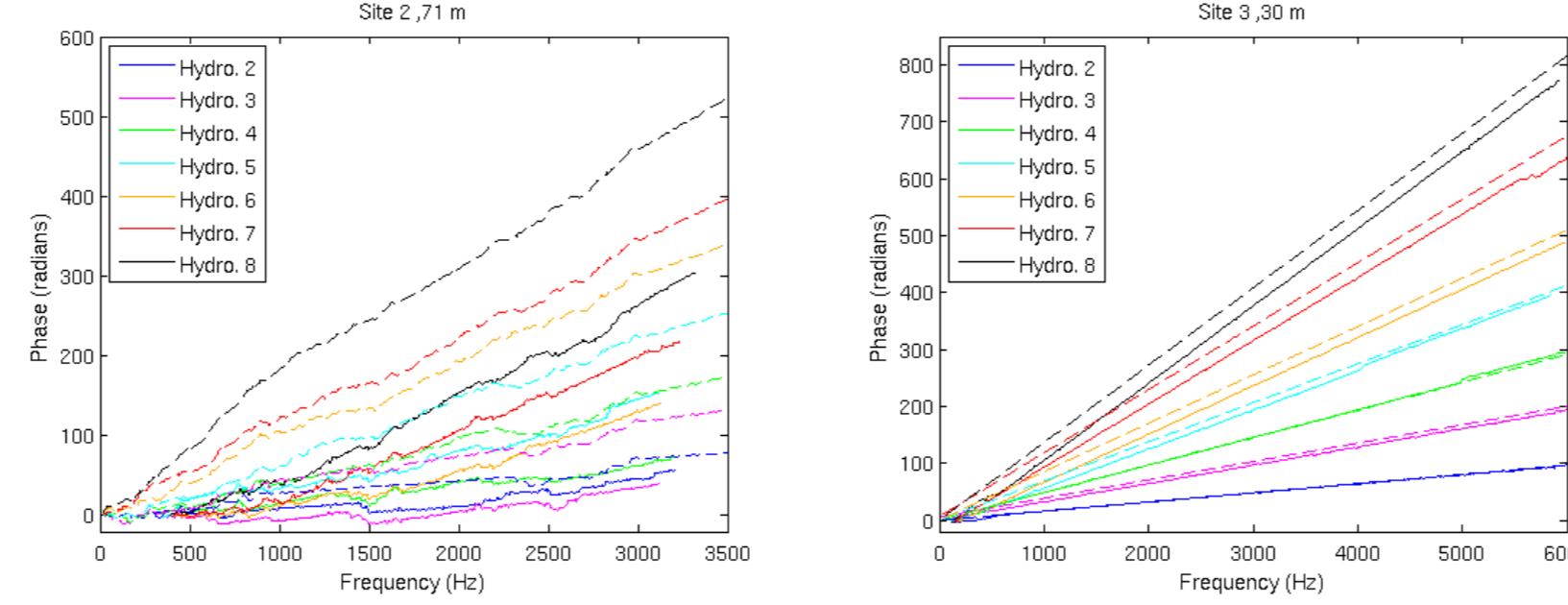


FIG. 4: Phases des spectres croisés à faible distance pour le site 2 (gauche) et pour le site 3 (droite).

## 2. Inversion du profil de vitesse par sources images

LA DEUXIÈME thématique porte sur le traitement d'antenne réalisé sur les signaux enregistrés avec pour objectif d'obtenir des informations sur la composition géoacoustique du sol en réalisant une carte des sources images. Pour cela, nous nous appuyons sur l'approximation de l'acoustique géométrique qui permet de décrire la réflexion des ondes sur un milieu multicouche par une somme de signaux émis par des sources images (Fig. 5). Cette approximation reste valable sous les hypothèses suivantes :

- la colonne d'eau et les strates sédimentaires sont homogènes, parallèles, et horizontales,
- l'angle d'incidence est inférieur à l'angle critique et ses variations sont faibles,
- les réflexions multiples (dans les strates) peuvent être négligées.

L'idée développée ici est la suivante : puisque la position géographique des sources images est directement liée à la géométrie (épaisseurs des strates) et aux paramètres acoustiques du multicouche (profil de vitesse), une cartographie de ces sources images devrait permettre de remonter à ces informations.

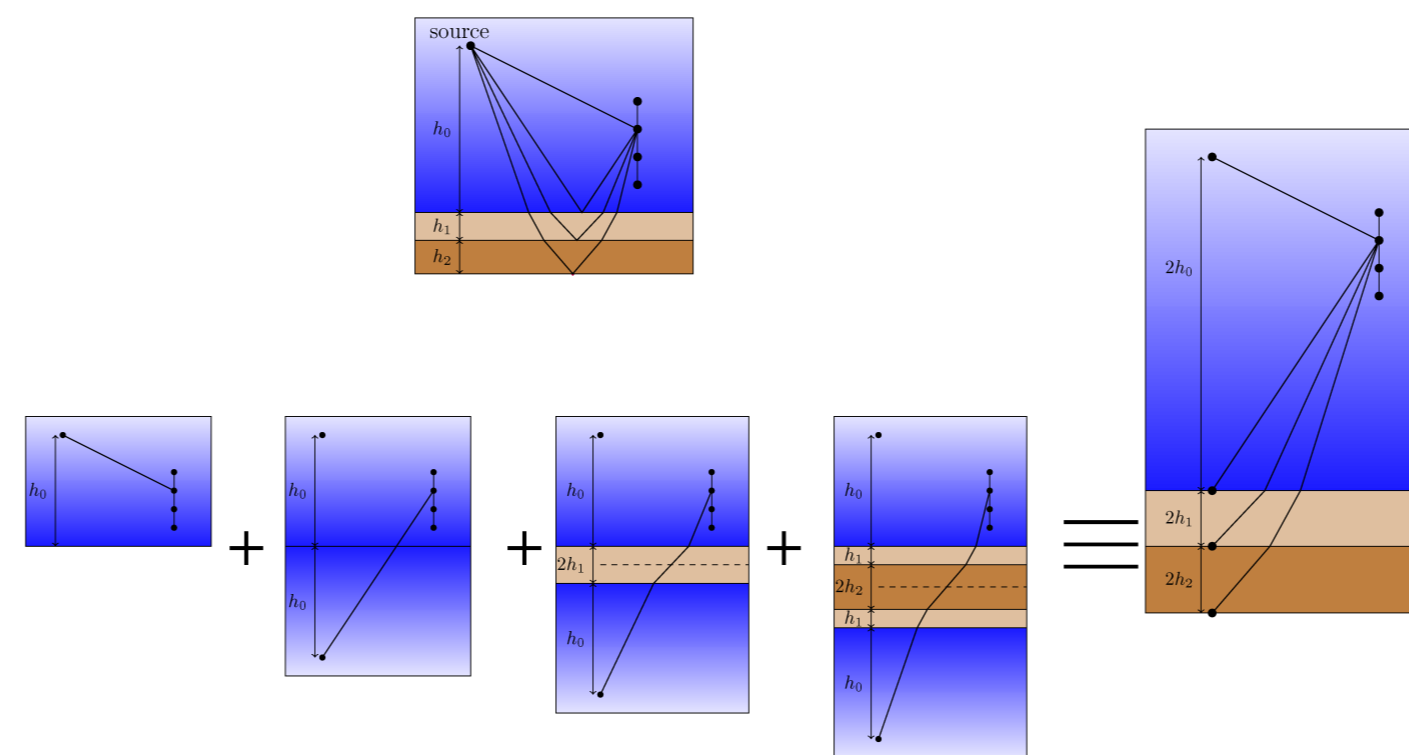


FIG. 5: Principe de la représentation de la réflexion d'une onde acoustique par les sources images.

La première étape est donc de développer un algorithme de traitement d'antenne permettant de localiser les sources images de la manière la plus précise possible. La technique utilisée s'inspire du retournement temporel et de la décomposition en vecteurs propres mise en oeuvre dans l'algorithme MUSIC. Pour cela, deux fonctionnelles sont calculées. La première est :

$$\mathcal{F}^{NS}(\mathbf{r}, \omega) = N - \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^N \frac{S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)}{\|S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)\|_{2,N}} \times \frac{S_{wq}^*(\mathbf{r}, \omega)}{\|S_{wq}(\mathbf{r}, \omega)\|_{2,N}}, \quad (3)$$

où  $S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)$  est le vecteur colonne formé par les signaux  $S_{wn}(\mathbf{r}, \omega) = [S_n(\omega) \times G_0^{-1}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_n)] * TF[w(t)]$ ,  $S_n$  étant les spectres des signaux enregistrés sur l'antenne,  $G_0^{-1}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$  l'inverse de la fonction de Green entre les points  $\mathbf{r}_1$  et  $\mathbf{r}_2$ , et  $w(t)$  une fenêtre de durée égale à la durée d'émission du signal. La seconde fonctionnelle est :

$$\mathcal{F}^{AT}(\mathbf{r}, \omega) = \min_{\pm} \left| \frac{F_w(\omega)}{\|f_w(t)\|_{\infty,t}} \pm \frac{1}{N} \sum_n \frac{S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)}{\|S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)\|_{\infty,t}} \right|^2, \quad (4)$$

où  $f_w(t) = f(t) \times w(t)$ ,  $F_w(\omega) = TF[f_w(t)]$ , et  $s_{wn}(\mathbf{r}, t) = TF^{-1}[S_{wn}(\mathbf{r}, \omega)]$ .

Finalement, la carte des sources images est obtenue par :

$$\mathcal{I}^{NSAT}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\int_{-\infty}^{+\infty} |F_w(\omega)|^2 \mathcal{F}^{NS}(\mathbf{r}, \omega) + \mathcal{F}^{AT}(\mathbf{r}, \omega) d\omega},$$

où  $\mathcal{F}^{NS}(\mathbf{r}, \omega)$  est pondérée en fréquence par l'énergie du signal émis.

La carte obtenue ainsi permet de localiser très précisément les sources images, que ce soit sur les données synthétiques ou sur les données réelles (Fig. 6).

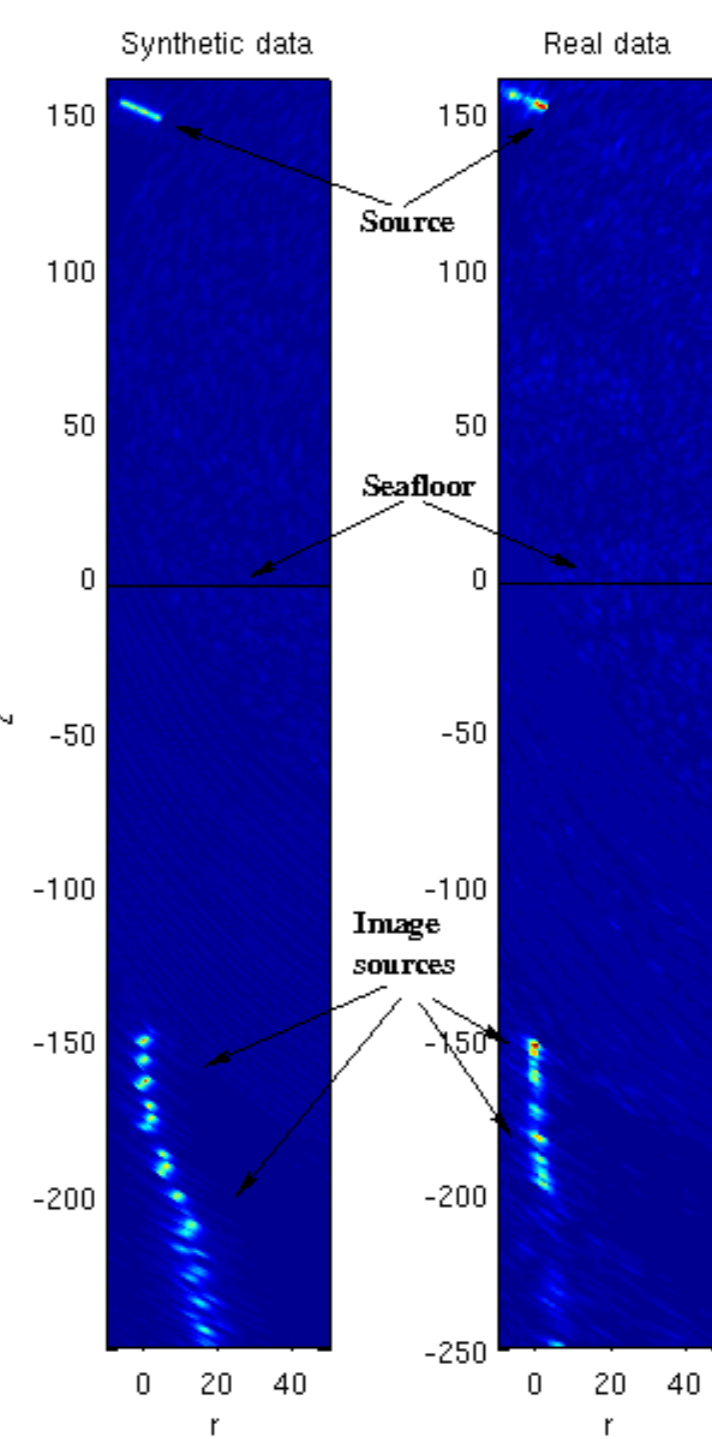


FIG. 6: Cartographie des sources images dans le cas des données synthétiques (gauche) et réelles (droite).

La deuxième étape du travail consiste à utiliser la carte ainsi formée pour remonter aux informations géoacoustiques (épaisseurs des différentes strates et profil de vitesse). La connaissance des temps de trajets entre les sources images et l'antenne de réception ainsi que l'application des lois de Snell-Descartes dans le contexte de l'acoustique géométrique permettent de réaliser une telle inversion. De nouveau, l'application de cette technique aux données réelles et expérimentales a fourni de très bons résultats : les principales strates sont retrouvées avec une bonne précision [4] (Fig. 7).

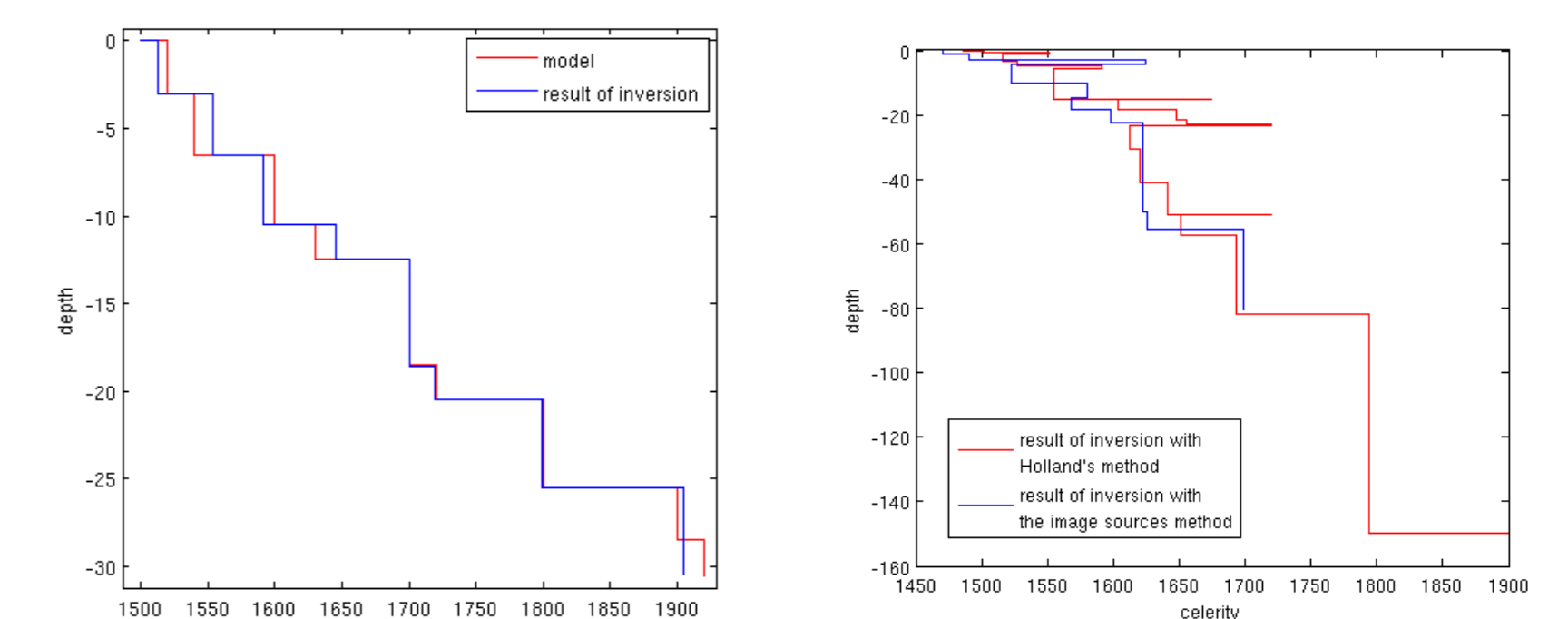


FIG. 7: Reconstruction du profil de vitesse pour les données synthétiques (gauche) et les données réelles (droite).

## Conclusions et perspectives

L'OBJECTIF final de ces deux axes de recherche est de les fusionner en un processus d'inversion géoacoustique. A partir des premiers résultats obtenus, il apparaît que le processus d'imagerie est capable de fournir la stratification du milieu (nombre de strates et célérités) alors que l'utilisation de la cohérence (spatiale ou fréquentielle) doit permettre d'affiner ces résultats et d'avoir accès à d'autres types de paramètres (rugosité, inhomogénéités, ...). Pour conclure, il faut également noter que, contrairement à la plupart des techniques d'inversion (Matched-field processing par exemple), l'approche proposée ici ne repose pas sur l'ajustement des paramètres d'un modèle de transmission entre la source et les récepteurs, aucun a priori n'est nécessaire. En un sens, c'est une approche « pilotée par les données ».

## Collaborations

CETTE ACTION de recherche s'insère dans le cadre du GIS Européen Mer (<http://www.europolemer.eu/>), en particulier dans l'axe 5 de ce GIS, « Systèmes complexes d'observation, de mesures et d'intervention ». Nous nous appuyons principalement sur deux collaborations :

- SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) : données acoustique et géologique et interprétation des résultats,
- ARL-PSU (Applied Research Laboratory, Penn State University) : définition et validation des processus de cohérence, d'imagerie, et d'inversion avec le Dr. Charles Holland.

## Références

- [1] L. Guillon & C. W. Holland, *Cohérence de signaux réfléchis par le sol marin : modèle numérique et données expérimentales*, Traitement du signal, volume 25, n 1-2, pp 131-138, avril 2008.
- [2] S. Pinson & L. Guillon, *A parametric study of interactions between acoustics signals reflected by the seafloor*, Proc. of Acoustics'08, pp 43-48, Paris, France, 2008.
- [3] L. Guillon, C. Holland, & C. Barber, *Cross-spectral analysis of seabed reflected signals : simulations and experimental data*, Proc. of the 2nd Int. Conf. on Underwater Acoustics Measurements, pp. 183-190, edited by L. Bjorno and J. Papadakis, Heraklion, Greece, 2007.
- [4] S. Pinson & L. Guillon, *Geoacoustic characterization using image sources*, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Underwater Acoustics Measurements, pp. 209-216, edited by L. Bjorno and J. Papadakis, Nafplio, Greece, 2009.