

UNIVERSITÉ DU MAINE
UFR SCIENCES ET TECHNIQUES
MASTER ACOUSTIQUE 2^{ÈME} ANNÉE

RAPPORT DE STAGE

Imagerie ultrasonore par inversion de formes d'onde

Travail réalisé en fin de stage

Alice DINSENMEYER
alice.dinsenmeyer@orange.fr
(adresse perso)

encadrée par :

Romain BROSSIER et Ludovic MOREAU
Maîtres de conférences, ISTerre

Année universitaire 2015-2016

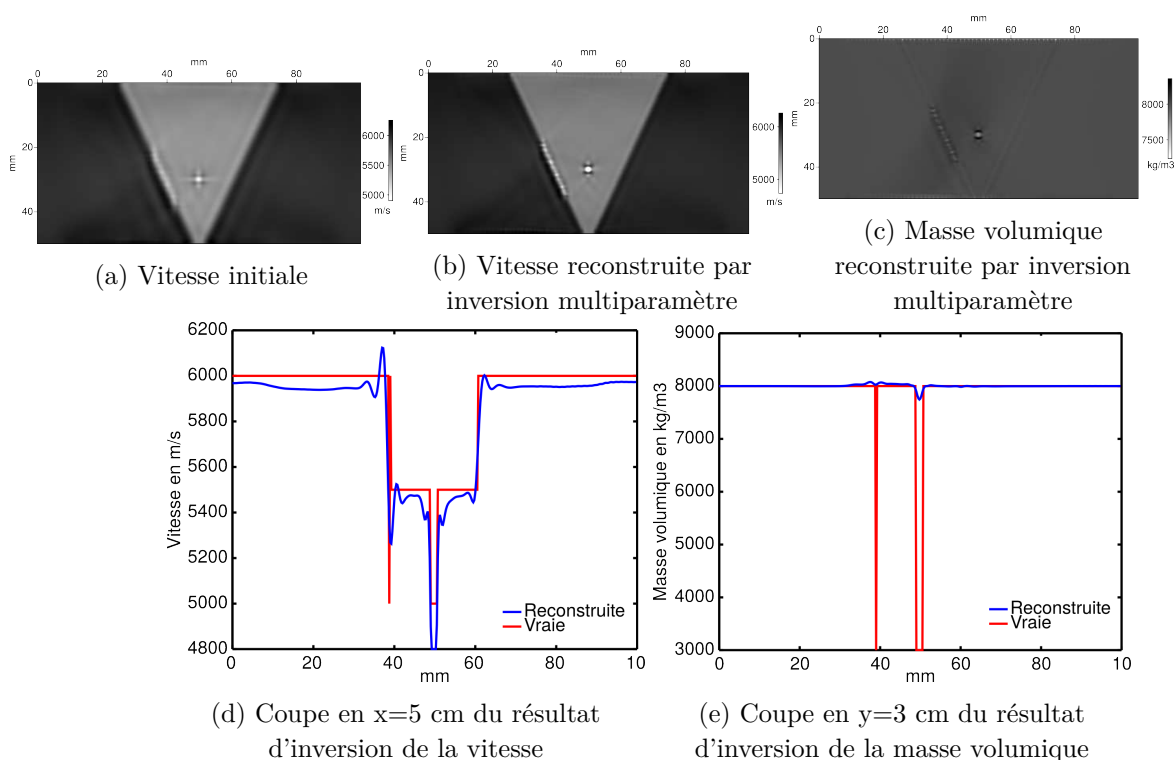
Ce document présente quelques pistes pour la suite de ce stage, ainsi que des difficultés rencontrées ne figurant pas dans mon rapport de stage.

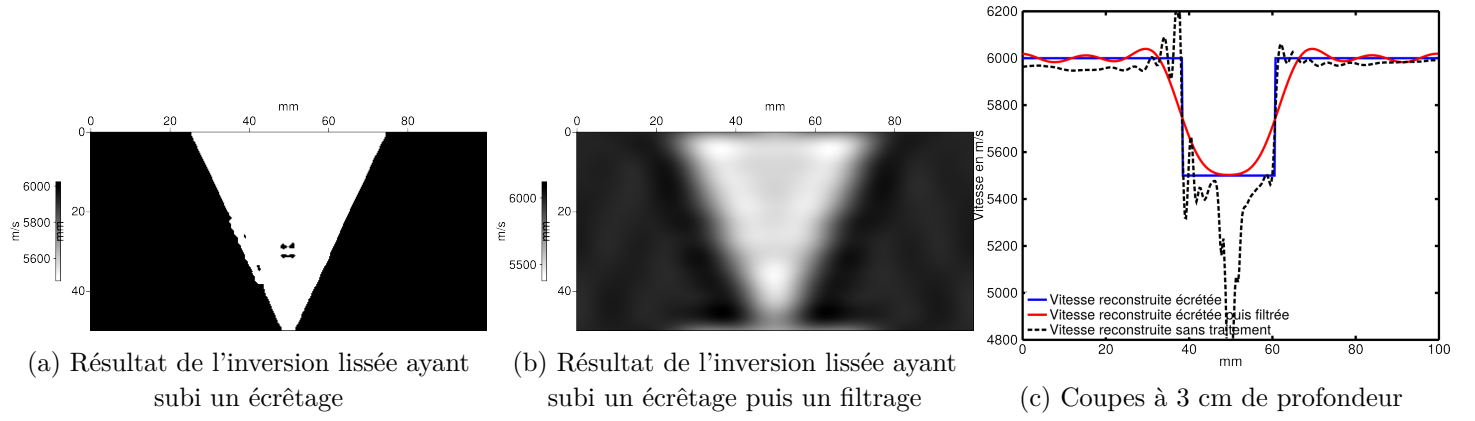
Les codes (Octave), rapports, présentations, ... produits pendant le stage sont disponibles à l'adresse : https://github.com/AlDi/Stage_M2. Les programmes sont accompagnés d'un fichier *readme.txt* qui explique leur fonction et leur utilisation.

0.1 Traitement du modèle intermédiaire : Écrêtage

Dans le rapport, il est présentée une stratégie d'inversion multiparamètre basée sur la construction d'un modèle intermédiaire de vitesse. Ce modèle est issu d'une première inversion monoparamètre de la vitesse avec un fort lissage ($\lambda = 2$) du gradient. Ce modèle aide à l'inversion multiparamètre (explication de la majorité des arrivées), mais en inversion monoparamètre, ce modèle détériore la qualité de la reconstruction de la vitesse.

D'autres modèles intermédiaires peuvent être élaborés, d'après la connaissance de la soudure. Considérant connu la vitesse dans la soudure sans défaut et dans la plaque qui contient la soudure, on peut écrêter le résultat de l'inversion lissée : on définit une valeur seuil (à 5750 m/s) au dessus de laquelle toutes les valeurs sont passées à 6000 m/s (vitesse dans la plaque) et en dessous de laquelle toutes les valeurs sont passées à 5500 m/s (valeur dans la soudure). Un lissage bas nombres d'onde est appliqué à cette vitesse écrêtée.





À noter que le filtrage bas nombres d'onde réalisé ici ajoute quelques oscillations basses fréquences au modèle.

Le modèle initial de masse volumique est toujours uniforme (à 8000 kg/m³). Le résultat de l'inversion multiparamètre réalisée à partir de ce modèle de vitesse écrêté-filtré et du modèle de masse volumique homogène est présenté en figure 3.

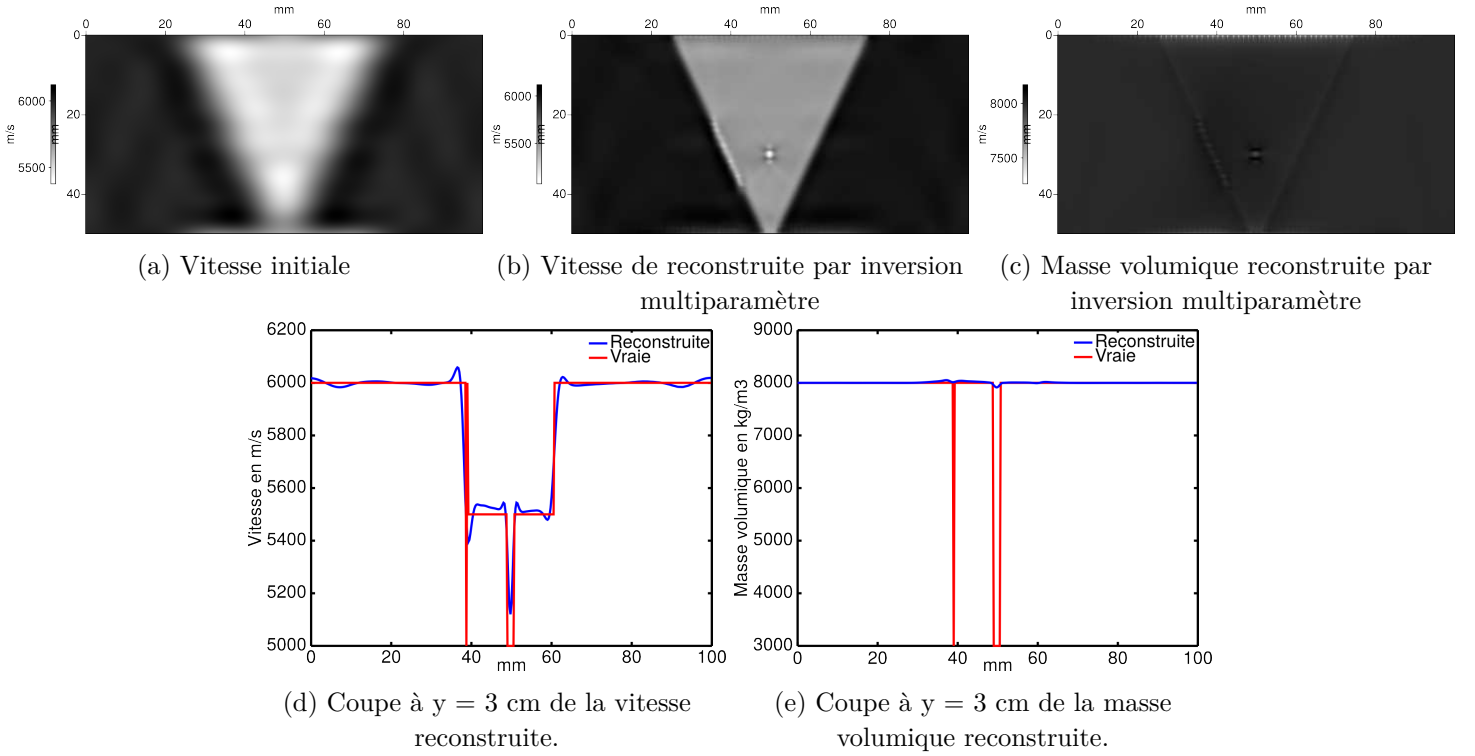


FIGURE 3

La vitesse ainsi reconstruite est moins perturbée. L'amplitude au niveau des défauts n'est pas toujours pas correcte, mais les bords sont mieux définis.

0.2 Inversions élastique 3D (SEM3D_V1.2_2016_04)

Le milieu que l'on cherche à imager est décrit par 3 paramètres : la masse volumique ρ , la vitesse des ondes de compression v_p et la vitesse des ondes de cisaillement v_s . La valeur vraie de ces paramètres est données en figure 4 et dans le tableau 1 construits sur grille régulière et projeté sur le maillage défini par les noeuds utilisés pour la résolution du problème direct par méthode

SEM. Seules des coupes dans le plan (zx) sont représentées ; les milieux sont invariants suivant y .

La grille régulière est construite avec :

- nombre de points verticalement : $n_x=100$,
- nombre de points horizontalement : $n_z=200$,
- nombre de points sur la dimension y : $n_y=20$,
- pas de discrétisation (régulier) : $h=0.5\text{e-3 m}$.

Le maillage SEM a les caractéristiques quivantes :

- 5 noeuds par élément (polynômes d'ordre 4),
- sur un élément 1D de longueur unitaire, ces noeuds sont placés aux distances (quadrature de Gauss-Lobatto (?)) : 0 ; 0.17267315 ; 0.5 ; 0.82732685 ; 1,
- nelX, le nombre d'élément (non déformés) sur la dimension X,
- plusieurs maillages sont utilisés, pour s'adapter à la fréquence des données :

	nelz	nelx	nely	Largeur des éléments en m (dans toutes les directions)
Maillage n°1	13	26	3	3.85e-3
Maillage n°2	25	50	5	2e-3

Temporellement, les signaux sont acquis sur $32 \mu\text{s}$, soit 4000 points avec un échantillonnage de 8e-9 s . L'acquisition est composées de 2 barrettes 64 éléments placées de part et d'autre de la soudure. Celle du haut est utilisée en excitation, celle du bas en transmission.

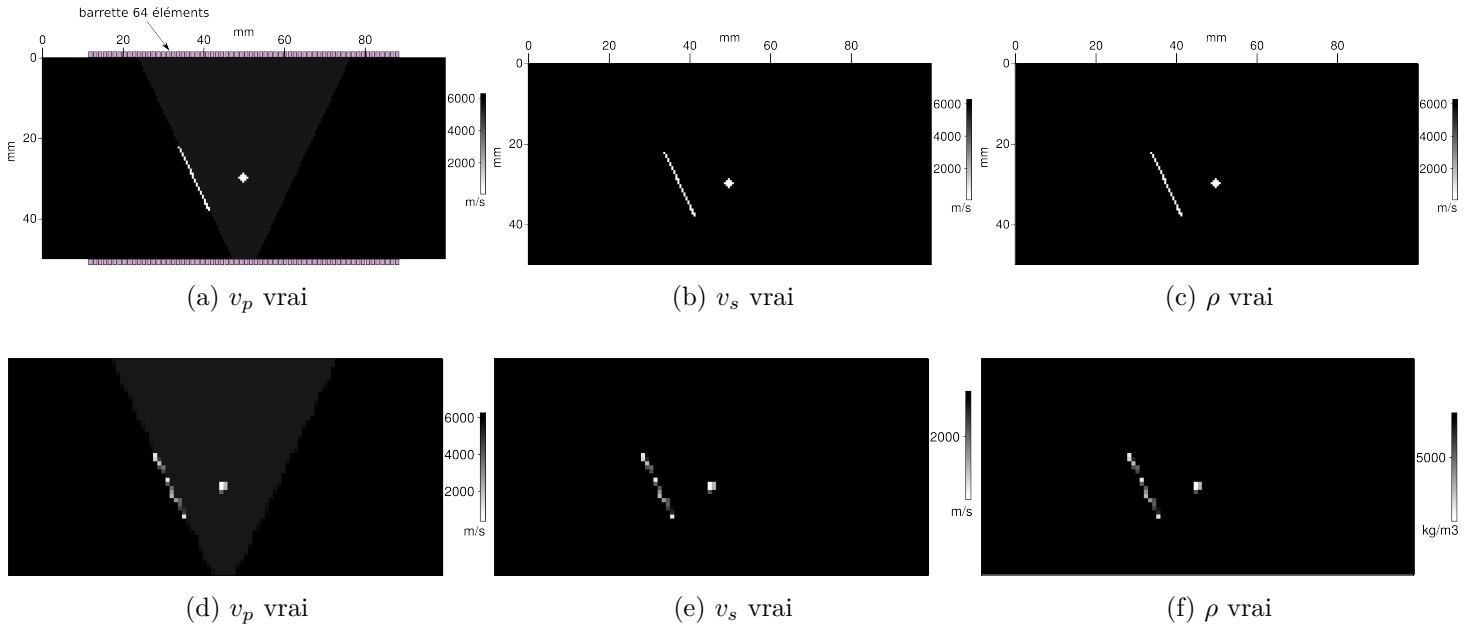


FIGURE 4 – Milieux vrais sur grille régulière (en haut) et interpolé sur les éléments SEM (en bas). L'acquisition est composées de 2 barrettes 64 éléments placées de part et d'autre de la soudure. Celle du haut est utilisée en excitation, celle du bas en transmission.

	v_p (m/s)	v_s (m/s)	ρ (kg/m ³)
Plaque	6000	3200	8000
Soudure	5500	3200	8000
Défauts sur grille régulière	340	100	100
Défauts sur grille SEM (valeurs min.)	636	277	553

TABLE 1 – Valeurs des paramètres dans différentes zones.

Une modification est apportée à la routine *modeling_fwi.f90* de manière à ce que le gradient soit rendu invariant suivant y, à sa valeur moyenné sur l'ensemble des coupes en y :

```
DO ipar=1,inv%npar
  DO i3=1,pbdir%nddl3_glob
    inv%gradient_glob(:, :, i3, ipar)=sum(inv%gradient_glob(:, :, :, ipar), dim=3)/pbdir%nddl3_glob
  END DO
END DO
```

De plus, le filtre médian est appelé jusqu'à 3 fois (en basses fréquences), de manière à réduire les perturbations hautes fréquences du gradient.

0.2.1 Fixer les bornes

Le coefficient de Poisson est tel que :

$$v_p = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2}} v_s \quad \Leftrightarrow \quad \mu = \frac{2v_s^2 - v_p^2}{2v_s^2 - 2v_p^2}. \quad (1)$$

On souhaite qu'en tout point du milieu, le coefficient de Poisson reste positif. Comme $v_p > v_s$, il faut que :

$$2v_s^2 - v_p^2 < 0 \quad \Leftrightarrow \quad v_s < \frac{v_p}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Les bornes du milieu sont donc à fixer en conséquence, de manière à bien contraindre l'inversion à respecter cette relation. Plusieurs stratégies peuvent être mises en place.

0.2.2 Génération des données

L'inversion à partir de données HF filtrées donne de fortes singularités au niveau des sources et des récepteurs. Elles sont peut-être dues à l'absence de pré-conditionnement du Hessien (amélioration en cours de développement ?). Pour éviter ces singularités, les données ne sont pas filtrées mais régénérées pour chaque inversion dans une nouvelle bande de fréquence. L'excitation et le maillage utilisés pour l'inversion sont les mêmes que ceux utilisés pour la génération des données.

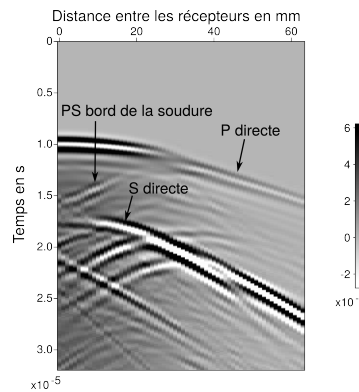


FIGURE 5 – Données observées pour une excitation à 750 kHz.

0.2.3 Stratégies d'inversion

Inversions monoparamètres

Les ondes de compression et de cisaillement ont une empreinte du même ordre de grandeur sur les données observées (cf figure 5). Il est donc indispensable de pondérer les données avant

une inversion monoparamètre (v_p ne doit pas être reconstruit par interprétation des ondes S, par exemple).

Inversions multiparamètres

L'inversion multiparamètre ne demande pas de pré-traitement des données mais nécessite de contraindre l'inversion pour que la condition 2 soit respectée. Pour cela, il est possible de fixer les valeurs limites que peuvent prendre les différents paramètres. Ces bornes peuvent être définies globalement (pour l'ensemble du milieu) ou localement (en chaque point du milieu). Comme les zones susceptibles de poser problèmes sont celles des défauts et que ces zones sont considérées inconnues, on doit définir les bornes globalement. Suite aux résultats des inversions basses fréquences, les défauts seront globalement localisés et en cas de problème avec la condition 2, il sera possible de définir d'autres bornes dans ces zones.

Les valeurs des bornes globales pour chaque bande de fréquence sont données dans le tableau 2.

Gamme de fréquence	$v_{p_{min}}$	$v_{p_{max}}$	$v_{s_{min}}$	$v_{s_{max}}$	Nombre de filtres médians appliqués	Maillage SEM
150 kHz	5000	6500	1000	3200	3	Maillage n°1
225 kHz	"	"	"	"	"	Maillage n°1
337 kHz	"	"	"	"	"	Maillage n°1
337 kHz	3500	6500	100	3200	2	Maillage n°1
500 kHz	3500	6500	100	3200	1 (donne un gradient trop crénelé)	Maillage n°1
750 kHz	"	"	"	"	2	Maillage n°2
1 MHz	"	"	"	"	"	Maillage n°2

TABLE 2 – Bornes, nombre de filtre médian et type de maillage utilisés pour des inversions réalisées sur des données dont le contenu spectral est de fréquence centrale croissante.

0.2.4 Résultat d'inversion multiparamètre en transmission

On choisit dans un premier temps de réaliser une inversion multiparamètre des vitesses v_p et v_s sur les gammes de fréquences du tableau 2 (10 itérations par bande de fréquences). Les milieux initiaux sont uniformes, de valeur $v_{p_{init}} = 6000$ m/s, $v_{s_{init}} = 3200$ m/s et $\rho_{init} = 8000$ m/s.

Le résultat d'inversions dans correspondant aux paramètres du tableau 2 sont présentés en figure 6. À basses et moyennes fréquences, les défauts sont surtout visibles sur le paramètre v_s . Ils apparaissent sur v_p à partir de 1MHz.

Les données générées à 1 MHz à partir des milieux vrais sont comparés à celles générées à partir des milieux reconstruits à 1 MHz et d'une masse volumique uniforme, en figure ??.

On peut voir un manque de nombres d'onde horizontaux, ce qui devrait être corrigé par l'ajout d'une barrette réceptrice du côté des sources (gain en petits angle de diffraction).

0.2.5 Résultat d'inversion multiparamètre en réflexion et en transmission

Afin d'améliorer la reconstruction des nombres d'onde horizontaux, on considère maintenant une acquisition constituée d'une barrette 32 (pour réduction de mémoire) éléments en excitation (placée sur la partie supérieure de la plaque) et de 2 barrettes 64 éléments en réception placées

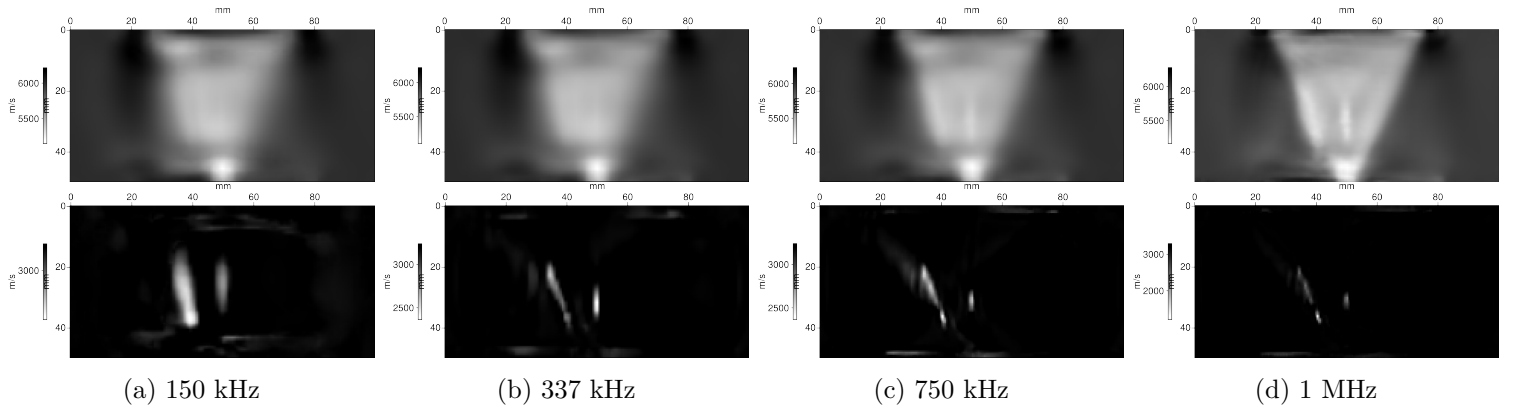


FIGURE 6 – Résultats d’inversions multiparamètres. En haut : v_p , en bas : v_s .

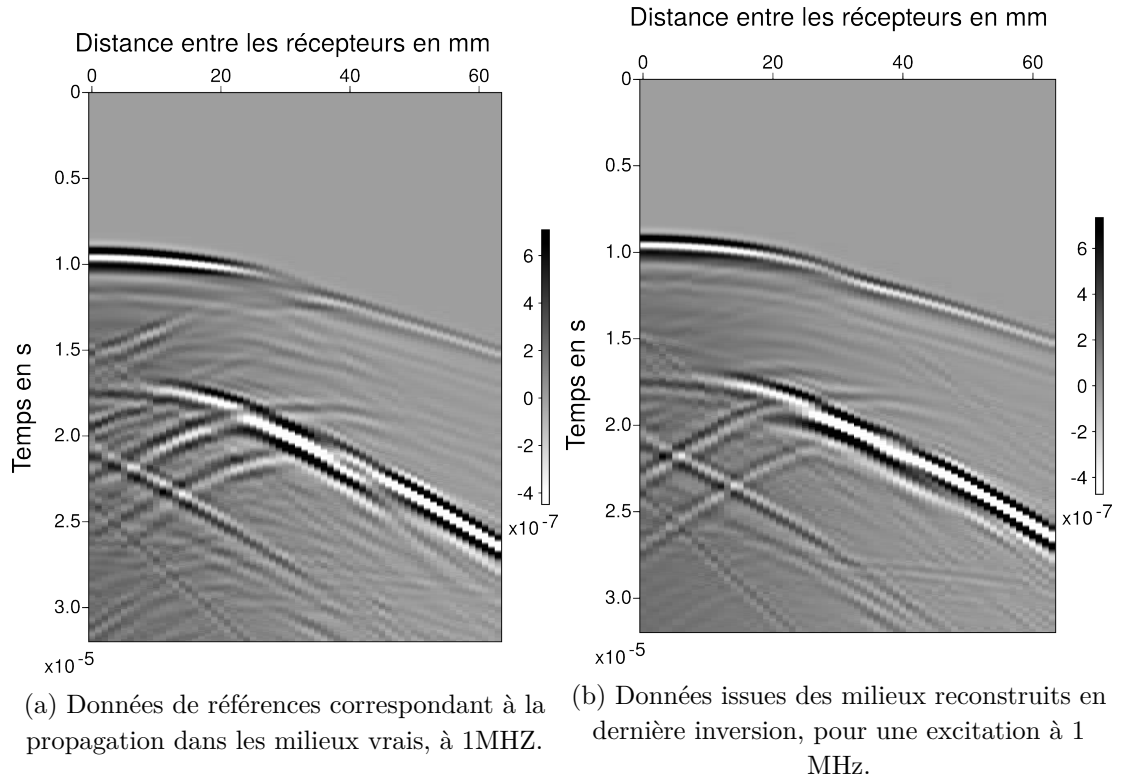


FIGURE 7

de part et d’autre de la plaque.

Étude des données

Le milieu vrai est représenté en figure 8 et les sources y sont repérées en vert. Les distances entre la huitième source et les principaux récepteurs sont représentées et le code couleur est réutilisé pour repérer les différentes réflexions sur les données issues de la huitième source (figure 9). Ces données montrent que :

- l’onde de surface (visible que sur les données avec surface libre) a une vitesse très proche de celle de l’onde de cisaillement, soit environ 3000 m/s, et est de très forte amplitude,
- si les défauts sont suffisamment éloignés des sources, le champ diffracté est principalement mesuré après le passage de l’onde de surface. Un masquage de type *front mute* semble donc plus indiqué qu’un *tail mute*,

- la réflexion sur le bord absorbant gauche (onde verte) est d'amplitude importante et n'est pas masqué par le *front mute* délimité par la ligne tiretée.

Note Un masque est appliqué sur les données acquise par la barrette du haut uniquement. Pour cela, il faut ajouter à la fonction `compute_weight_data.f90` une condition sur l'application du masque du type :

```
if(ABS((acqui%s1(isrc)-acqui%r1(irec)))< X ) THEN
    application du masque
end if
```

où `acqui%s1(isrc)` est la position de la source `isrc` en `z` et `acqui%r1(irec)` est la position du receptrer `irec` en `z`. Le masque n'est ainsi pas appliqué pour un écart en `z` supérieur à `X` entre source et récepteur d'un couple considéré.

Pour que l'onde de surface et ses réflexions sur les bords absorbants soient correctement filtré, sans perdre trop d'information contenues dans les réflexions sur les défauts, un filtre `fk` semble plus approprié qu'un masque des données temporelles.

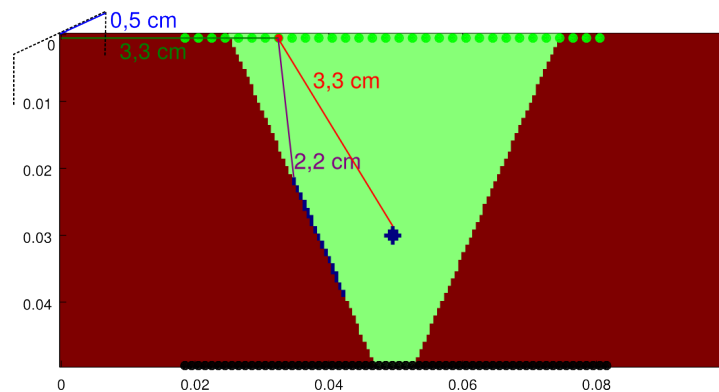
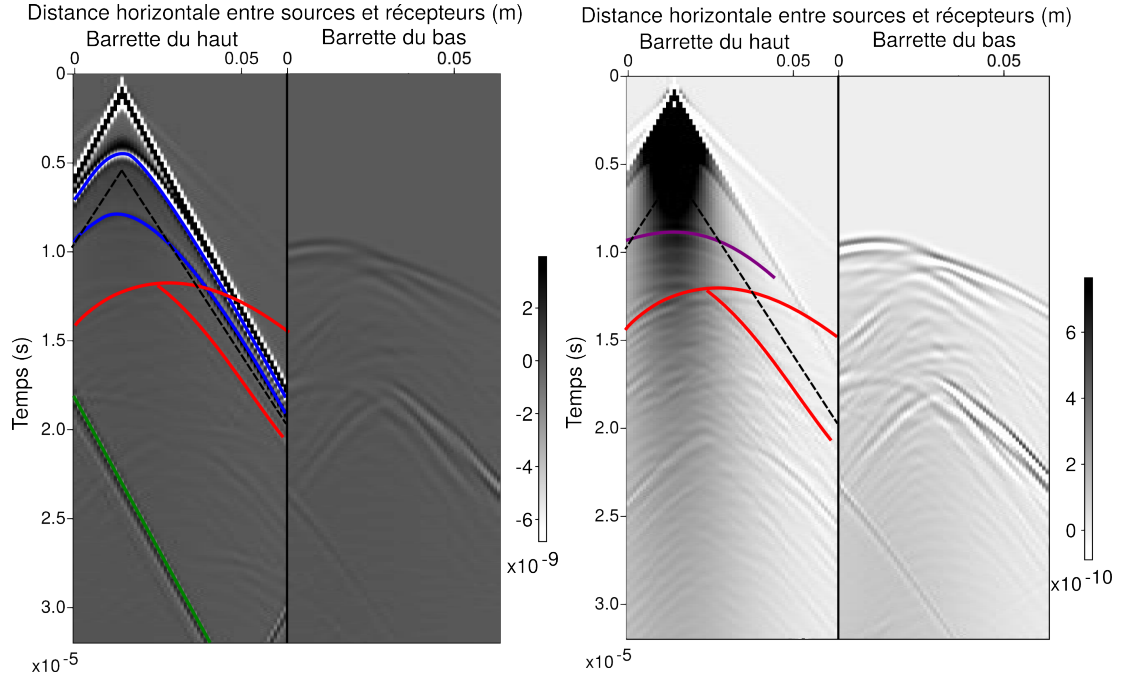


FIGURE 8 – Configuration du système d'acquisition : les ronds noirs sont les récepteurs de la barrette du bas (celle du haut n'est pas représentée) et les ronds verts sont les sources. Les distances entre la huitième source et quelques principaux réflecteurs sont indiquées.



(a) Données observées pour une excitation à 1 MHz dans le milieu comportant deux surfaces libres. (b) Données observées pour une excitation à 1 MHz dans le milieu sans surface libre.

FIGURE 9 – Données observées pour une excitation par la huitième source.
 Ondes bleues : réflexions de l'onde de surface dans les bords absorbants situés dans le plan (xz),
 Ondes rouges : réflexion P et S de l'onde P sur l'inclusion,
 Onde violette : réflexion sur la partie supérieure de la fissure,
 Onde verte : réflexion de l'onde de surface sur le bord absorbant gauche situé dans le plan (zy).
 La ligne tiretée indique une possibilité de masquage des données antérieures à cette ligne.