

TP Tomographie par Ultrasons

L'objectif de ce TP est d'expliquer les principes fondamentaux de la **formation d'une image en tomographie**. L'illustration est réalisée avec des **ondes ultrasonores**.

La tomographie est très fréquemment utilisée en imagerie par rayons X (X-ray CT pour Computed Tomography). Elle consiste à **reconstruire l'image de l'atténuation d'un objet à partir d'un ensemble de projections acquises pour différents angles de vue**. Le principe est illustré sur la figure 1-gauche. Chaque acquisition est appelée ligne et fournit une quantité « intégrée sur le trajet l'onde ».

Dans ce TP, la tomographie est réalisée à partir d'ondes ultrasonores. La seule différence entre une tomographie X et ultrasonore est la quantité physique qui est reconstruite. Durant une tomographie par rayons X, l'atténuation de la radiation X est estimée, alors que dans la tomographie ultrasonore, c'est l'atténuation des ondes acoustiques dans l'objet qui est estimée. On peut utiliser les mêmes algorithmes de reconstruction.

Classiquement en tomographie X, on dispose d'un détecteur linéaire (N pixels). Ici, on dispose d'un détecteur **ponctuel** qui sera **translaté**. Le principe est illustré sur la figure 1-droite. Afin de réaliser la tomographie de l'objet, il est nécessaire, pour un angle donné de réaliser l'acquisition d'un ensemble de N projections (cet ensemble est appelé par la suite Matrice A-scan et représenté par 1 scan sur la figure 1). Ces projections sont acquises dans une géométrie parallèle. L'acquisition de ces signaux sera réalisée dans la Partie 1

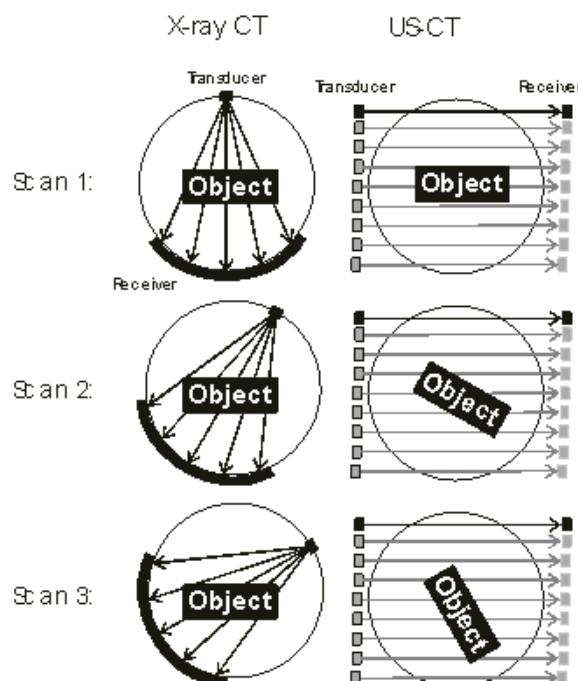


Figure 1 : (gauche) Principe de la tomographie classique par rayons X, (droite) principe de la tomographie US réalisée dans le TP.

Dans la partie 2, nous calculerons la grandeur à utiliser en d'entrée de l'algorithme de reconstruction à partir des données issues du capteur. Nous la comparerons avec celle donnée par le logiciel GS-EchoView.

Nous réaliserons ensuite l'ensemble des R rotations afin d'enregistrer toutes les signaux nécessaires à la tomographie. La tomographie sera réalisée par le logiciel GS-EchoView (Partie 3).

Dans la partie 4, vous serez amené à réaliser vous-même la tomographie par transformée de Radon inverse.

Organisation du TP :

1. Enregistrement d'une matrice A-Scan
2. Calcul des amplitudes pour cette matrice
3. Réalisation de l'ensemble des rotations et tomographie avec GS-EchoView
4. Tomographie à implémenter dans Matlab

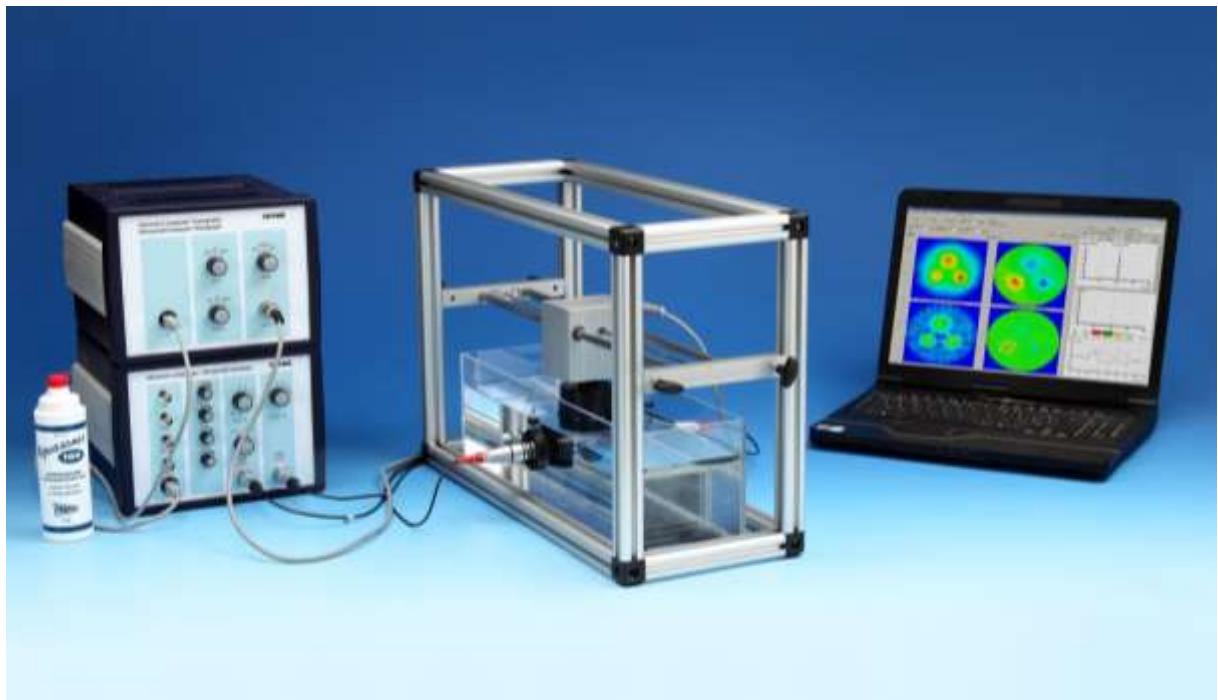


Figure 2 : Dispositif expérimental

Partie 1 : Mise en place et acquisition d'une matrice A-scan

On appelle A-scan l'acquisition d'un ensemble de N signaux, correspondant aux N lignes parallèles (représenté par 1 scan sur la figure 1 droite). Pour leur acquisition, N translations de l'objet sont réalisées et les signaux sont stockés dans la Matrice A-scan.

Question 1 : Justifier le choix des translations de l'objet pour réaliser le A-scan.

Mise en place du matériel

- *Remplir la cuve d'eau.*
- *Nettoyer l'emplacement des deux transducteurs de part et d'autres de la cuve pour enlever tout résidu de matière qui pourrait gêner la mesure.*
- *Appliquer un peu de gel Transound au centre des deux mono-transducteurs 2 MHz et les installer dans les emplacements sur la cuve prévus pour les porter (visser pour les maintenir en place). Bouger les sondes d'avant en arrière dans le but de répartir le gel uniformément.*

Question 2 : Quel est l'utilité du gel ? Quel problème pourrait apparaître si le gel est mal réparti ?

Paramétrage

Partie matérielle

- *Allumer l'« Echoscope GS200-Gampt » et le « Computer Tomograph UCT200-Gampt ».*
- *Positionner le sélecteur en mode transmission (1/2), et connecter chacune des sondes à un port (Probe 1, Probe 2). La sonde « Probe 1 » sera l'émetteur et la sonde « Probe 2 » sera le récepteur. Mettre tous les curseurs TGC à 0.*

Partie logicielle

- *Lancer le logiciel GS-EchoView*
- *Pour démarrer l'acquisition, sélectionner « Start A-scan ». Le signal enregistré apparaît dans le cadran haut-gauche.*

Question 3 : Calculer le temps d'arrivée théorique du signal émis (=reçu par le capteur en réception) si la largeur de la cuve est de 14 cm (vitesse de propagation des ondes acoustiques dans l'eau = 1500 m/s).

- *Régler la fenêtre temporelle de manière à voir ce signal (onglet Params) en ayant une durée totale d'enregistrement égale à 60 micro-sec.*
- *Ajuster le gain à l'émission (Gain dB) et à la reception (Output dB) de façon à ce que le signal ne soit pas saturé.*

Acquisition

- *Positionner l'échantillon sur le banc robotisé (cylindre noir). L'échantillon est maintenu par le haut (aimantation). Immerger l'échantillon en abaissant les barres horizontales (vissées).*
- *Positionner l'échantillon au centre des mono-transducteurs (horizontalement et verticalement). Pour la position horizontale, utilisez l'onglet Scanner qui permet de piloter le banc de position sans démarrer de CT.*

- Sélectionner le mode CT en haut à droite et afficher l'onglet CT-mode. Découcher « Use external trigger » et cocher « Line break » qui permet de réaliser une seule translation.
- Régler la longueur de l'acquisition L pour scanner l'ensemble de l'objet. Régler le pas de déplacement à 5 mm.

Question 4 : Calculer le nombre N d'acquisitions qui vont être réalisées pour créer la matrice de A-scan, sachant que le diamètre de l'échantillon est de 60 mm.

- **Note :** il faut que l'objet soit placé au centre avant de commencer la tomographie, le système se charge de déplacer de l'objet de $L/2$.
- Cocher « Both » (dans A-scan selection) et « Shot break » pour permettre l'enregistrement de chacun de A-scan individuellement au cours de la translation. Cliquer sur Start CT. Une première acquisition est réalisée.
- Pour enregistrer le signal, placer la souris sur le signal A-scan affiché. Cliquer sur l'icône Enregistrer. Choisir Save Data et nommer le fichier (pos_1, penser à créer un répertoire indépendant).
- Pour poursuivre la translation, cliquer sur Continue Shot. Une nouvelle acquisition est réalisée. Procéder à l'identique pour l'enregistrer. Répéter l'opération afin d'enregistrer les N signaux de la matrice A-scan.
- **Note :** une fois les N signaux enregistrés, les panneaux de droite (tomographie) s'affichent.
- Le système Gampy calcule pour chacune de ces acquisitions, l'amplitude et le temps d'arrivée et les affiche dans le panneau bas-gauche. Enregistrer ces valeurs afin de les comparer à celles que vous allez estimer par la suite. Pour cela, mettre la souris sur le panneau Attenuation / Sound velocity, et cliquer sur enregistrer (fichier A_scan_test.dat). L'enregistrement se fait de la même manière que précédemment (les 2 courbes sont stockées dans le même fichier, par la suite, nous utiliserons uniquement l'amplitude, les temps d'arrivée étant trop imprécis dans notre cas).
- Une fois les enregistrements terminés, arrêter le système en cliquant sur Cancel CT. Une matrice A-scan ainsi que les amplitude-temps calculées par le système ont été enregistrées.

Partie 2 : Lecture d'une matrice A-scan et extraction des observables de la tomographie

- Lancer Matlab. Copier le fichier lecture_donnees_etu.m dans votre répertoire, le compléter et le lancer. Ce programme réalise la lecture de l'ensemble des signaux enregistrés lors du A-scan et les enregistre dans matrice_A_scan_test.mat
- Observer et comprendre les différentes variables créées.

Question 5 : Afficher la matrice de A-scan ainsi que son enveloppe (en dB pour l'enveloppe).

Dans l'objectif de la tomographie on introduit la transformée de Radon :

$$R[f](u, \theta) = \int_{L(u, \theta)} f(x, y) dl$$

Cette transformée est inversible et la transformée de Radon inverse est couramment utilisée pour imager un objet en tomographie.

Par ailleurs, on sait que l'atténuation des ondes acoustique au cours de leur propagation s'écrit :

$$A = A_0 \exp \left(- \int_L \mu(x, y) dl \right)$$

Question 6a : Proposer une grandeur permettant de représenter le terme d'atténuation $\int \mu(x, y) dl$ à partir des signaux temporels bruts contenu dans les A-scan.

Question 6b : L'extraire des données acquises et la comparer avec celle extraite par le logiciel GS-EchoView (variable `amp_extraites`).

Partie 3 : Enregistrement des amplitudes et tomographie à partir de GS-EchoView

Dans cette partie, vous allez réaliser l'enregistrement de tous les signaux nécessaires ainsi que la tomographie proprement dite, avec un algorithme implémenté dans le logiciel GS-EchoView.

- *De plus, afin de réaliser la tomographie par vous-même, vous allez procéder à l'enregistrement des amplitudes calculées par GS-EchoView pour chaque rotation. Pour cela, décocher Shot break.*
- Il faut maintenant régler le pas angulaire qui déterminera le nombre de rotations. Choisir un pas angulaire égal à 16,2°

Question 7 : L'objet réalisant une rotation d'un tour complet, calculer le nombre R de rotations qui seront effectuées.

- Le nombre de rotations est ici volontairement limité pour ne pas multiplier le nombre d'enregistrements à réaliser manuellement.

Question 8 : Quel serait l'effet d'utiliser un plus grand nombre d'angles ?

- *Par ailleurs, pour obtenir un résultat satisfaisant, régler le pas de translation à 2 mm.*

Question 9 : Calculer le nombre total de mesures réalisées pour la tomographie.

- *Lancer l'acquisition en cliquant sur Start CT. La première translation commence. Une fois celle-ci terminée, vous pouvez enregistrer les amplitudes de la même manière que dans la Partie 1. Lancer l'acquisition de l'angle suivant en cliquant sur « Continue CT ». De la même manière, procéder à l'enregistrement des amplitudes (dans A_scan_numero.dat)*
- *Répéter l'opération pour tous les angles. Les résultats intermédiaires de tomographie s'affichent dans le panneau « Amplitude unfiltered ».*
- *Une fois l'ensemble des acquisitions réalisées, le résultat final de tomographie permet d'obtenir une carte de l'atténuation des ondes acoustiques dans l'objet.*

Question 10 : Commenter le résultat obtenu.

- Sauvegarder l'image de tomographie finale pour la comparer à votre résultat dans la suite.

Question 11 : Comment pourrait-on obtenir un meilleur résultat de tomographie ?

Partie 4 : Tomographie sous Matlab

- Copier le fichier `lecture_tomo_etu.m` dans votre répertoire, le compléter et le lancer. Ce programme réalise la lecture de l'ensemble des observables extraits et les enregistre dans `Matrice_acqui_angle.mat`
- Observer et comprendre les différentes variables créées.

Question 12 : Afficher la matrice des observables.

Question 13 : À partir de la fonction `iradon` disponible sous Matlab, réaliser la tomographie. On réalisera tomographie classique sans filtrage ainsi qu'un rétroposition filtrée avec un filtre de Shepp-Logan et une interpolation par splines.

- Comparer avec les résultats obtenus par le logiciel GS-EchoView.

Si vous arrivez jusque-là, vous aurez compris les grands principes de la tomographie