

MP30 - ACOUSTIQUE

4 juin 2021

Deleuze Julie & Jocteur Tristan

Niveau : Classes préparatoires

Bibliographie

✦ *Fascicule de TP Divers, Quelqu'un-e*

Table des matières

1	Propagation dans une phase condensée	2
2	Interférences acoustiques	3
3	Effet Doppler acoustique	4

1 Propagation dans une phase condensée

L'air est le milieu de propagation qui nous est le plus familier pour les ondes acoustiques, mais elles peuvent également se propager dans des liquides comme l'eau, ou même des solides comme le dural. Commençons par la propagation dans l'eau :

Le dispositif P0.28, schématisé en figure 4.3, est constitué d'une cuve remplie d'eau dans laquelle se trouve deux transducteurs ultrasonores et un bloc parallélépipédique de Dural. Il s'avère que les émetteurs ultrasonores émettent et reçoivent dans les deux directions (sur chaque face avant et arrière). Il est possible, pour une meilleure mesure, de fixer de la mousse sur les faces qui ne font pas face pour éviter les réflexions parasites.

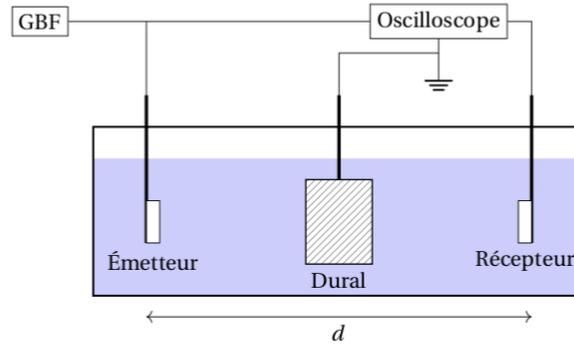


FIGURE 4.3 – Dispositif permettant d'étudier la propagation des ondes dans l'eau et dans le dural.

Déplacer le bloc de dural vers l'arrière de la cuve P0.28 pour qu'il interfère pas sur la mesure de la vitesse dans l'eau. Alimenter un transducteur avec une tension sinusoïdale de 10 V à 420 kHz produit par un GBF, et observer le signal émis et le signal reçu par l'autre transducteur avec un oscilloscope.

Le signal reçu est bruité à cause de la propagation d'ondes électromagnétiques entre les transducteurs dans l'eau. Pour les atténuer, il faut relier l'eau à la masse de l'oscilloscope.

Relier à l'aide de pinces crocodiles la masse de l'oscilloscope (on pourra utiliser la petite lamelle métallique sur sa face avant) à la tige du bloc de dural, qui est immergé dans l'eau.

Comme pour la propagation dans l'air, soigner l'alignement des transducteurs pour maximiser le signal reçu, chercher la fréquence de résonance des transducteurs (autour de 420 kHz), puis envoyer avec le GBF des salves sinusoïdales à cette fréquence (bouton Burst) espacées de 10 ms par exemple.

De façon analogue à la propagation dans l'air, il serait plus précis de mesurer le temps de vol d'une onde pour différentes distances entre les transducteurs, puis de remonter à la vitesse du son par régression linéaire. Nous allons nous contenter ici d'un seul point de mesure pour gagner de temps.

Mesurer le temps de vol t_{eau} d'une onde pour parcourir la distances d entre les deux transducteurs, et en déduire la vitesse du son dans l'eau $c_{\text{eau}} = d/t_{\text{eau}}$.

On retrouve que $c_{\text{eau}} \approx 1,48 \cdot 10^3$ m/s à 20°C.

On interpose à présent un bloc de dural entre les deux transducteurs. Comme la vitesse de propagation des ondes est différente dans les deux milieux, le signal arrive à l'émetteur avec un retard différent de celui de la mesure précédente. Connaissant la vitesse de propagation dans l'eau, la mesure de ce retard va nous permettre de déduire la vitesse de propagation dans le dural.

la propagation d'ondes acoustique est donc permise dans ces 3 états de la matière, bien qu'avec des vitesses de propagation très différentes. Cela est du aux propriétés mécaniques très différentes des 3 milieux.

Nous allons dans un premier temps envoyer une onde sous incidence normale dans le bloc de dural, de manière à n'exciter que le mode de compression, comme représenté en figure 4.4 à gauche.

Le temps de vol t_p de l'onde entre les deux transducteurs est la somme du temps de vol à travers l'épaisseur D de dural, et du temps de vol pour parcourir la distance $d - D$ d'eau, soit :

$$t_p = \frac{D}{c_{P,\text{dural}}} + \frac{d-D}{c_{\text{eau}}}$$

On peut alors remonter à la vitesse des ondes P dans le dural :

$$c_{P,\text{dural}} = \frac{D}{t_p - \frac{d-D}{c_{\text{eau}}}}$$

Placer le bloc de dural entre les deux transducteurs du dispositif P0.28 dans la direction de sa longueur (soit $D = 8,5$ cm) et orienter ses surfaces perpendiculairement à l'onde acoustique pour obtenir une incidence normale.

Mesurer le temps de vol t_p de l'onde, à partir du premier pic reçu par le récepteur. En déduire la vitesse $c_{P,\text{dural}}$.

Le dural est utilisé dans l'industrie sous le nom usuel *Aluminium alloy 2014*. À partir des valeurs tabulées de ses propriétés mécaniques ($E_{\text{dural}} \approx 73$ GPa, $\nu \approx 0,33$ et $\rho_{\text{dural}} \approx 2,8.10^3$ kg/m³), on attend $c_{P,\text{dural}} \approx 6,2.10^3$ m/s.

2 Interférences acoustiques

Le trombone de König, schématisé en figure 4.5, permet d'illustrer le phénomène d'interférence entre deux ondes acoustiques.

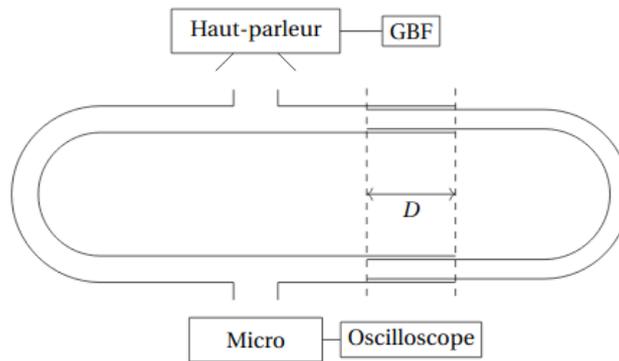


FIGURE 4.5 – Principe du trombone de König.

On envoie à l'aide d'un haut-parleur une onde à l'entrée du trombone. Une partie de l'onde parcourt la branche gauche du trombone de longueur fixe. L'autre partie de l'onde parcourt la branche droite du trombone qui est mobile. En déplaçant la coulisse d'une distance D , on fait varier la longueur de la branche de $2D$. Au niveau de la sortie, les deux ondes se rejoignent et interfèrent. Entre deux maxima ou deux minima successifs, la différence de chemin acoustique a varié d'une longueur d'onde, soit $\lambda = 2D$.

On se place à une fréquence de travail $f = 5$ kHz afin d'avoir un compromis agréable/assez de points. Et on trace alors :

$$D = f(n) \quad (1)$$

Par une modélisation affine on peut remonter à λ et donc finalement à c_{air} . A titre comparatif, on a les valeurs numériques suivantes à l'air libre :

$$c_{\text{air},th}(288\text{ K}) = 340,5\text{ m s}^{-1} \quad c_{\text{air},th}(293\text{ K}) = 343,5\text{ m s}^{-1}$$

3 Effet Doppler acoustique

Considérons un émetteur ultrasonore qui émet une onde à la fréquence f . Si cet émetteur se rapproche d'un récepteur à la vitesse v , la fréquence détectée par le récepteur vaut, par effet Doppler :

$$f_{\text{mesurée}} = \frac{c_{\text{son}}}{c_{\text{son}} - v} f$$

Pour une vitesse v de l'émetteur de l'ordre de quelques cm/s, beaucoup plus faible que la vitesse du son c_{son} , on peut alors développer cette expression au premier ordre et exprimer l'écart en fréquence dû à l'effet Doppler :

$$\delta f = f_{\text{mesurée}} - f \approx \frac{v}{c_{\text{son}}} f \ll f$$

Cet écart en fréquence est trop faible pour pouvoir distinguer f et $f_{\text{mesurée}}$ sur un oscilloscope. Nous allons alors réaliser une détection synchrone afin de mesurer δf .

Le principe de la détection synchrone est détaillé dans le TP 2 du fascicule d'électronique, et dans [FLTCLD] p.541, auxquels vous pouvez vous référer pour plus de détails. Rappelons qu'elle consiste à multiplier le signal de fréquence inconnue $f_{\text{mesurée}}$ par un signal de fréquence connue f pour obtenir un signal contenant une composante harmonique à $2f + \delta f$ et une composante harmonique à δf . On filtre ensuite ce signal à l'aide d'un passe-bas afin de ne conserver que la composante à δf . On accède ainsi facilement à l'écart en fréquence dû à l'effet Doppler.

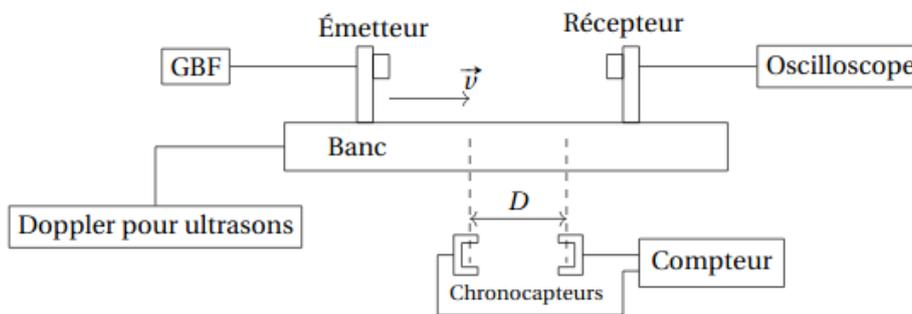


FIGURE 4.6 – Mesure d'un décalage en fréquence dû à l'effet Doppler.

Questions et remarques

Mesure de la vitesse du son dans l'eau et le dural

- Comment s'affranchir du temps de réponse du récepteur ? Utiliser deux récepteurs avec le même temps de réponse.
- Quelles sont les sources d'erreur sur la mesure de la distance entre l'émetteur et le récepteur ? Erreur de mesure (à la règle) et erreur systématique liée à la position réelle de l'émetteur/récepteur par rapport à la tige, c'est tout le temps la même si on mesure tout le temps par rapport au même endroit (ordonnée à l'origine sur la modélisation).
- Pourquoi observe-t-on une salve en réponse à un burst ? À cause de la fonction de transfert du capteur (piézo-électrique).
- Qu'est ce qu'on aurait pu faire sur le signal reçu pour s'affranchir de cette fonction réponse ? Caractériser le capteur pour déconvoluer le signal par la fonction réponse.
- Est ce qu'on aurait pu envoyer autre chose qu'un burst ? Oui ça aurait marché avec un sinus mais la mesure du déphasage aurait donné accès à la vitesse de phase et pas la vitesse de groupe, qui est la vitesse de propagation de l'information. Ces vitesses sont égales si la relation de dispersion est linéaire (milieu non dispersif).
- À quel type d'onde s'est-on intéressé ? On a mesuré la vitesse d'ondes longitudinales, dans le dural il existe aussi des ondes de cisaillement (plus lentes) qui sont absentes dans l'eau car le milieu n'est pas assez visqueux.
- Pourquoi avoir tourné le bloc de dural dans ce sens là ? Pour minimiser l'incertitude sur la différence de temps de vol, mais du coup on a aussi observé l'onde qui passe à côté du bloc et se propage dans l'eau.
- Comment aurait-on pu utiliser la réfraction des ondes pour remonter à leur vitesse ? En mesurant l'angle de réflexion totale et en définissant des indices acoustiques à partir des vitesses de propagation.

- Quelle aurait été la première onde à disparaître en réflexion totale? L'onde p (la plus rapide).
- Formule de propagation des incertitudes : quels termes sont négligeables? Ce n'est pas très intéressant de présenter cette formule si ce n'est pas pour comparer les termes. Penser à donner les valeurs d'incertitudes quand on mesure en direct. Écrire les valeurs mesurées et leurs incertitudes sur une feuille intermédiaire avant la modélisation.
- Comment expliquer l'écart entre la valeur de vitesse de propagation du son dans le dural mesurée et la valeur tabulée? Le dural étant un alliage, on avait peut-être une composition différente de celle de la valeur tabulée.
- Prendre plusieurs oscillo/GBF, on perd trop de temps à les transférer d'une manip à l'autre. De manière générale, toujours laisser la manip en l'état après une mesure pour pouvoir y revenir pendant les questions.

Trombone de König

- Comment aurait-on fait pour mesurer la vitesse du son dans l'air? Prendre le point de la régression linéaire le plus loin possible de l'origine.
- Comment calculer la vitesse du son dans l'air? Modèle du GP + évolution adiabatique réversible ou isotherme.
- Pourquoi peut-on faire l'hypothèse d'une évolution adiabatique? Les transferts thermiques sont lents devant le temps caractéristique du mouvement de la particule fluide.
- Quelle est la différence entre la propagation dans la cuve et dans le trombone? Dans le trombone la propagation est guidée, on peut avoir l'apparition de modes si la longueur d'onde est suffisamment petite (mais dans ce cas là on augmente les phénomènes d'absorption).

Effet Doppler

- Quelle est la grosse approximation dans cette manip? Que l'émetteur se déplace à vitesse constante, on peut le vérifier en changeant les chronocapteurs de position. Moyenner sur plusieurs périodes gomme les variations de vitesse.
- Il serait plus intéressant d'utiliser cette manip comme un radar pour mesurer v plutôt que comme une autre méthode de mesure de la vitesse du son (qui d'ailleurs donne des résultats peu satisfaisants). On pourrait comparer avec la mesure des chronocapteurs.
- Quels autres aspects ondulatoires du son aurait-on pu mettre en évidence dans ce montage? Diffraction, résonance : ondes stationnaires, adaptation d'impédance. Exemples d'adaptation d'impédance : cornets coniques/exponentiels, caisse de résonance des diapasons. La cloche à vide est un exemple de pb d'adaptation d'impédance, le vide n'étant pas total le son se propage toujours à l'intérieur.