

# MP30 - Acoustique

Clément (de la Salle et Colléaux )

30 mars 2020

Niveau : L3

Bibliographie

Prérequis

- 
- 
- 

Expériences

- ☞ Propagation dans l'eau et dans un solide
- ☞ Tube de KOENIG
- ☞ Effet DOPPLER

## Table des matières

Table des matières	1
<b>1 Propagation dans l'eau et dans un solide</b>	<b>2</b>
1.1 Dans l'eau . . . . .	2
1.2 Dans le dural . . . . .	3
<b>2 Trombone de König</b>	<b>4</b>
<b>3 Effet Doppler</b>	<b>5</b>

# 1 Propagation dans l'eau et dans un solide

## But

Proposer des mesures de célérité du son

## 1.1 Dans l'eau

On commence par d'autres milieux que l'air, parce que l'air on se le garde pour les deux autres manip... Qui ne sont pas juste des manip de mesure de célérité du son !

Bref faut trouver la cuve P0.28 (ou celle de Cachan qui, paraît-il est meilleure).

### Expérience : Mesure de la célérité du son dans l'eau

🔗 Pas de biblio...

⌚ 5 min

Commencer par déplacer le dural au fond de la cuve pour ne pas qu'il nous gêne pour l'instant...

**Première méthode** Chercher la fréquence de résonance des transducteurs (vers 420 kHz) et envoyer des bursts de 10 ms d'un signal sinusoïdal à 420 kHz. Veiller à l'alignement des transducteurs. Connaissant la distance  $d$  qui sépare les transducteurs (c'est la le plus délicat), faire une régression linéaire  $d = ct$  où  $t$  est le temps de vol entre les deux transducteurs.

**Deuxième méthode** Envoyer un signal à 420 kHz (ou par là) et superposer le signal émis du signal reçu. Marquer la position du récepteur et le faire bouger en comptant le nombre de longueurs d'ondes balayées (une vingtaine). Inconvénients : mesure unique (pas de régression) + difficile car ça va vite ( $\lambda \sim 1\text{mm}$ )...

### Précisions sur le montage

- On peut coller de la mousse sur certaines faces pour éviter les réflexions parasites... En effet les transducteur ultrasonores reçoivent, mais surtout émettent dans les deux directions (ces p'tits batards).
- Bien relier la masse de l'oscillo (petite lamelle métallique à l'avant) avec une pince croco à la tige du bloc de dural.
- Le dural est un alliage d'aluminium, de cuivre ... Blablabla voir WIKIÉDIA (je trouve pas de raison particulière d'utiliser ce métal plutôt qu'un autre...)

Ça peut paraître relou mais je pense que c'est bien de faire proprement au moins une mesure de célérité. On peut aussi sauter cette expérience pour faire directement la suivante, quitte à vérifier la célérité dans l'eau au préparation. Mieux vaut un truc propre que deux trucs pas ouf. Surtout

### Incertitudes

- Distance entre les transducteurs (la plus gross incertitude, vu que c'est mesuré à la règle et qu'on peut même pas mettre la règle à côté des transducteurs... On pourrait aussi imaginer prendre une photo et mesurer sur ImageJ, mais avec la parallaxe ça peut poser problème. À voir...
- Pour le temps de vol, vu que le signal reçu ressemble plus à une patate qu'à un burst, prendre ça en compte (on peut par exemple prendre le temps de vol au début du signal reçu ou bien la où il est maximal, faire la moyenne...)
- Sur la fréquence, on suppose que c'est chill

## 1.2 Dans le dural

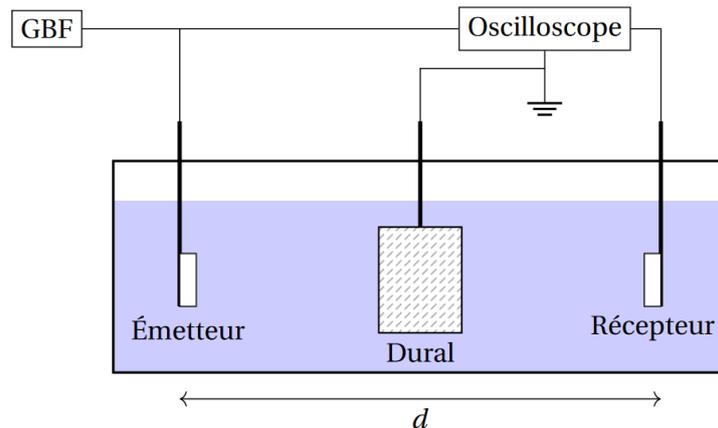


FIGURE 1.1 – Schéma du montage

Maintenant on remet le dural et on fait un peu de théorie... Dans un solide, il existe deux types d'ondes qui peuvent se propager ➤ *Oswald p.211* :

**Ondes P** Dites ondes de compression, elles sont longitudinales et se propagent à

$$c_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

**Ondes S** Dites ondes de cisaillement, elles sont transverses et ne peuvent donc se propager que dans les solides ! Leur vitesse est

$$c_S = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\nu)}} < c_P$$

On se propose de mesurer ces vitesses... Ou alors de n'en mesurer qu'une seule, à voir ce qu'on préfère ! (Dans ce cas, il est évident que ce sera abordé en questions).

Notons qu'en incidence normale, aucun cisaillement n'est créé. Cette configuration est donc adaptée à la mesure de  $c_P$ , mais pour  $c_S$ , il faut incliner légèrement le dural. On a alors la relation de SNELL :

$$\frac{\sin i}{c_{eau}} = \frac{\sin r_P}{c_P} = \frac{\sin r_S}{c_S}$$

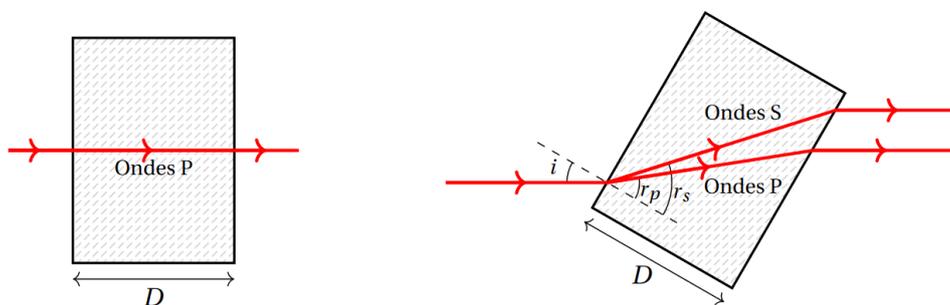


FIGURE 1.2 – Réfraction des ondes sonores sur le dural

On choisit donc un angle  $i$  faible, de sorte que la distance parcourue dans le dural soit la même pour les deux ondes :  $D = 8.5$  cm en longueur (P0.28).

## Expérience : Mesure de la célérité du son dans un solide

🔗 Toujours pas de biblio :(

⊖ 5 min

Envoyer le même burst sinusoïdal, montrer qualitativement qu'en incidence normale, on ne voit qu'un seul signal sur le récepteur, mais qu'en inclinant le dural, une seconde salse apparaît !

S'attacher ensuite à la mesure des temps de vol  $t_P$  et  $t_S$  pour les deux ondes, et trouver les vitesses correspondantes  $c_P$  et  $c_S$ , soit en une mesure, soit par régression linéaire :

$$t_{PS} = \frac{D}{c_{PS}} + \frac{d-D}{c_{eau}}$$

Les ondes acoustiques sont des ondes et il serait dommage de limiter l'étude expérimentale de leur nature ondulatoire à des "simples" mesures de célérité.. Étudions donc les interférences d'ondes acoustiques !

## 2 Trombone de König

🔗 Duffait CAPES, p.287

🔗 Quaranta I, "Sons (propagation libre des)"

### But

Mettre en évidence le phénomène d'interférences d'ondes acoustiques et l'utiliser pour mesurer une longueur d'onde.

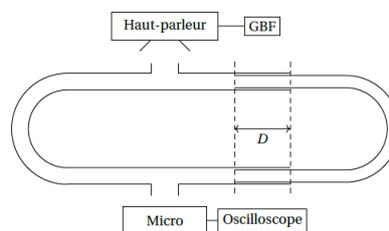


FIGURE 2.1 – Caption

En optique, un interféromètre assez sympa consiste à sommer deux ondes qui ont été déphasées par une différence de chemin optique, je parle bien évidemment de l'interféromètre de Michelson en lame d'air.

Eh bien, le tube de König c'est pareil (montrer ce fameux tube) : le principe c'est d'envoyer une onde acoustique par le HP dans le tube où l'onde se sépare en deux (c'est donc un interféromètre à division d'amplitude). Une partie de l'onde parcourt la branche de gauche/droite qui est fixe, et donc de longueur fixée. La partie de droite/gauche est quant à elle mobile (je la fais bouger sous vos yeux ébahis), ce qui signifie que sa longueur est variable. En faisant varier la coulisse d'une distance  $D$ , l'onde parcourt une distance supplémentaire de  $2D$ .

Exactement comme en optique mais sans histoire d'indice optique, pour qu'il y ait interférence constructive il faut que la différence de chemin parcouru soit un multiple entier de la longueur d'onde. Au contraire, un multiple demi-entier implique des interférences destructives. En utilisant la condition d'interférences constructives on peut remonter à la longueur d'onde.

## Expérience : Trombonne de König

☞ Duffait CAPES p.287, Quaranta I, "Sons"

⊖ 5 min

- Fixer des cornets P71.21 sur les embouchures du trombonne de König P72.2 et placer un haut-parleur P74.29 alimenté par un GBF.
- À l'autre extrémité, placer un micro P74.37, le relier à un oscillo via un adaptateur P74.38
- Avec le GBF, générer une onde de fréquence fixe (genre 1 kHz par exemple) et, en déplaçant la coulisse, relever les positions  $D_n$  des différents maxima (ou minima) successifs vus sur l'oscillo.
- Effectuer la régression linéaire  $D_n(n)$  qui donne deux résultats : la périodicité attendue pour des interférences est bien là et en plus ça donne  $\lambda/2$  en coeff directeur. L'ordonnée à l'origine n'a aucune importance dans la modélisation.

### Incertitudes

- incertitude sur la lecture du déplacement  $D$  (lu à la règle)
- incertitude sur l'instant du maxima/minima sur l'oscillo

## 3 Effet Doppler

### But

Vérifier la loi du décalage Doppler et l'utiliser pour mesurer une vitesse

☞ TP

☞ Jolidon, p.539

Si on écoute deux diapasons de fréquences proches, on entend des battements... Comment isoler la fréquence des battements dans ce cas? Avec cette méthode c'est impossible, nous avons besoin d'une méthode nous permettant d'isoler une fréquence avant de la mesurer

Prenons l'exemple de l'effet Doppler qui décrit le changement de fréquence perçue avec le changement de la distance émetteur/récepteur. On prend cet exemple car il a des grandes applications en tant que mesure de vitesse (astronomie, radar, navigation maritime,..)

Cet effet va être illustré sur ce banc où on a un émetteur piézoélectrique mobile et un récepteur fixe. La théorie de l'effet Doppler permet d'exprimer la fréquence  $f_{rec}$  du signal reçu par le récepteur en fonction de celle du signal monochromatique émis par l'émetteur  $f_{em}$  :

$$f_{rec} = \frac{1}{1 - \frac{v_{em}}{c}} f_{em}$$

avec  $v_{em}$  la vitesse constante de l'émetteur.

Dans le cas réaliste où  $v_{em} \ll c$ , l'expression se réécrit  $f_{rec} = f_{em} + \delta f$  avec  $\delta f = \frac{v_{em}}{c} f_{em} \ll f_{em}$ . Le signal reçu par le récepteur est donc constitué d'une fréquence très proche devant celle du signal émis. Le but est de mesurer ce  $\delta f$  pour remonter à la vitesse de l'émetteur. Très bien mais comment faire?

Un ordre de grandeur rapide avec  $c_{son} = 350$  m/s dans l'air et une vitesse  $v_{em} = 10$  cm/s (raisonnable vu notre matos) nous permet de trouver un décalage en fréquence de l'ordre de 0.02 %, ce qui n'est pas mesurable avec les techniques de mesure de fréquence habituelles (fréquence-mètre, oscillo,..). Nous allons donc présenter une méthode pour remonter à un faible décalage de fréquence : la détection synchrone.

Cette méthode nécessite de regarder les spectres des signaux considérés ici. Le signal émis est pur à  $f_{em}$  tandis ce que le signal reçu est pur à  $f_{em} + \delta f$ . Pour séparer ces deux composantes très proches, c'est compliqué. On va donc traiter ainsi le signal reçu :

1. On multiplie le signal reçu par un sinus de fréquence  $f_{em}$ . En sortie, on a alors deux composantes :  $2f_{em} + \delta f$  et  $\delta f$
2. On filtre ensuite plus facilement la fréquence qui nous intéresse  $\delta f$  puisque que les deux fréquences sont très éloignées, on peut donc les filtrer grâce à un passe-bas.

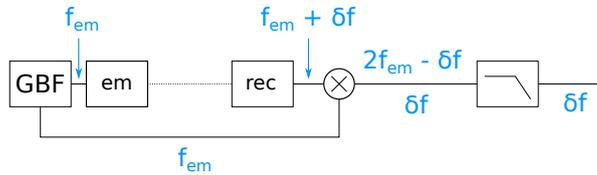


FIGURE 3.1 – Principe de l'hétérodynage

### Expérience : Application de l'hétérodynage à l'effet Doppler

🔗 Jolidon, BUP n°804

⌚ 5 min

- On utilise le banc à effet Doppler P73.23 en alimentant l'émetteur fixe avec 10 V et 40 000 Hz (fréquence de travail des piézos)
- On mesure la vitesse du récepteur avec deux chronocapteurs à fourche P96.27 séparés d'une distance connue et reliés à un chronocompteur P96.26 alimenté.
- Faire gaffe aux câbles qui font super chier : utiliser une potence pour éviter qu'ils ne freinent le piézo mobile
- Pour le filtre, utiliser le filtre P41.21 d'ordre 4 réglé sur 10 Hz et alimenté en  $\pm 15$  V
- Regarder le signal de sortie, supposé être sinusoïdal à  $\delta f$  sur l'oscillo et mesurer sa fréquence
- En préparation commencer une droite d'étalonnage  $\delta f(v_{em})$  et la finir devant le jury
- Ne pas hésiter à montrer des TF dans cette expérience !
- On peut alors utiliser la droite d'étalonnage pour mesurer une vitesse et la comparer avec celle calculée avec les capteurs.
- On peut faire une série de mesures dans un sens  $\delta f > 0$  et  $v > 0$  puis dans l'autre  $\delta f < 0$  et  $v < 0$

### Incertitudes

- incertitude sur la distance entre les capteurs (lue à la règle)
- incertitude sur le temps affiché par le chronocompteur (dernier chiffre?)
- incertitude sur la mesure de la période sur l'oscillo (compromis entre prendre le plus de périodes possible et diminuer le pas temporel...10 périodes c'est cool) et incertitude de lecture sur  $T$  devient incertitude sur  $f$