

MP 30: ACOUSTIQUE

5 avril 2018

*Ecoute un peu cette musique céleste, il est au poil
c'moulin !*

Mohamed Bensmili & Milan Rozel

PAOLO PICCOLO

Commentaires du jury

2017 : Ce montage se limite souvent à la mesure de la célérité du son dans l'air et à l'étude du diapason. La propagation dans d'autres milieux que l'air est appréciée par le jury. L'utilisation de la représentation de Lissajous pour mettre en évidence les passages en phase n'est pas généralisée. L'utilisation d'émetteurs et récepteurs ultrasonores est répandue, mais leur principe de fonctionnement doit être connu. Par ailleurs, certains dispositifs commerciaux conduisent à des réflexions parasites qui perturbent les mesures. Le choix de dispositifs plus performants conduit à des mesures plus satisfaisantes

2014-2016 : Les phénomènes de réflexion/transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. Le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son. Signalons enfin que les mesures d'atténuation des ondes acoustiques dans l'air qui ont été proposées par les candidats, n'ont pas donné de résultats probants

Bibliographie

➤ *Physique Expérimentale*, **FLTCLD**

→ Une partie acoustique est contenue à la fin du livre. En particulier pour le tube de Kundt

➤ *Dufait Capes*

→ Trombone de Koenig

➤ *Quaranta I*

→ Une partie "Propagation libre des sons"

➤ *Un livre d'électronique*

→ Pour la partie détection de crête

Expériences

☞ Trombone de Koenig

☞ Tube de Kundt

☞ Phénomène de battements des diapasons

☞ Effet Doppler

Table des matières

1	Détermination de la célérité du son dans l'air à l'aide du trombone de Koenig	2
2	Influence de la température sur la célérité	2
3	Battements acoustiques de deux diapasons : introduction à l'effet Doppler	3
4	Effet Doppler	4

Introduction

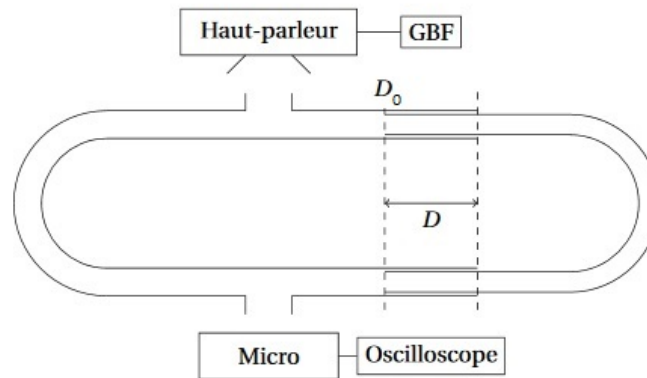
L'acoustique s'intéresse à l'émission d'un son et sa propagation dans un milieu. Le son se définit comme le résultat d'une vibration issue d'un corps matériel se propageant par des ondes élastiques dans un milieu matériel jusqu'à un récepteur [Quaranta 1], c'est donc une onde mécanique. Afin de pouvoir en tirer des applications, il faut dans un premier temps pouvoir le caractériser. Dans un premier temps, on s'attachera à caractériser le son. Via le caractère ondulatoire du son, on déduira par interférences dans un trombone de Koenig la célérité du son dans l'air. Après quoi nous étudierons l'influence de la température sur la célérité. Dans un second temps, on utilisera les connaissances acquises en premier partie pour quantifier l'écart en fréquence mis en jeu dans un phénomène de battements de diapasons, et dans l'effet Doppler.

1 Détermination de la célérité du son dans l'air à l'aide du trombone de Koenig

✦ *Dufait Capes*

Dans un premier temps, on s'intéresse aux propriétés du son.

Le son étant une **onde progressive**, on peut observer des interférences entre deux ondes sonores cohérentes, et mesurer leur vitesse de propagation dans le milieu (ici l'air). Pour cela, nous avons opté pour l'expérience du trombone de Koenig.



Le trombone de Koenig est une expérience analogue à l'interféromètre de Michelson. En effet, lorsqu'on envoie une onde sonore à l'entrée du trombone de Koenig à l'aide d'un GBF et d'un haut-parleur, une partie de l'onde parcourt un bras de longueur fixée, et une seconde partie parcourt une distance que l'on peut faire varier à l'aide d'un système de coulisse. Le signal est recueilli en sortie par un microphone, puis amplifié pour faciliter la précision dans l'observation de minimas, et observé à l'oscilloscope. En déplaçant la coulisse, on modifie la différence de marche entre les deux ondes sonores, on observe alors une succession de maxima d'intensité (interférences constructives) et minimas d'intensité (interférences destructives). Entre deux minimas (ou maxima) successifs, la différence de chemin acoustique a varié d'une longueur d'onde, soit $\lambda = 2D$

Sachant que $c_{son} = \lambda * f$, il nous suffit de connaître λ et f .

- La fréquence est mesurée à l'aide d'un fréquencemètre : $f = (\dots \pm \dots) \text{ Hz}$

L'incertitude est donnée par le constructeur dans la notice du fréquencemètre

- Pour déterminer précisément la longueur d'onde, on se place à une distance D_0 correspondant à un maxima ou un minima d'intensité puis on déplace la coulisse et on relève les positions D_n de n minimas (ou maxima) successifs, et on trace $D_n - D_0$ en fonction de n . La pente vaut alors $\frac{\lambda}{2}$.

L'incertitude majeure est liée à la détermination des positions, pour la minimiser on prends le plus de n possibles. L'incertitude est calculée à l'aide de la formule de propagation des incertitudes.

Finalement $c_{son} = (\dots \pm \dots) \text{ m.s}^{-1}$ pour une température $T = \dots \text{ K}$

ATTENTION : - Le phénomène qui nous intéresse est l'interférence, cependant ce n'est pas le seul phénomène car il peut y avoir un phénomène de résonance lié au développement d'ondes stationnaires étant donné que le trombone est un système fermé. - La célérité du son dépend du milieu de propagation et de la température. C'est l'influence de cette dernière que nous allons maintenant étudier à l'aide du dispositif du tube de Kundt.

2 Influence de la température sur la célérité

✦ *Physique Expérimentale, FLTCLD*

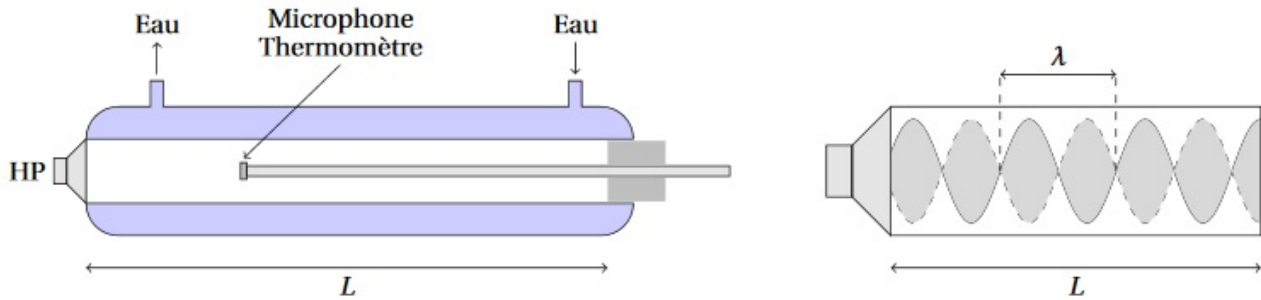
La célérité du son dans un gaz parfait est donnée par :

$$c_{son} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

avec γ le coefficient isentropique du gaz, R la constante des gaz parfaits, T la température (en K) et M la masse molaire du gaz parfait. Pour vérifier la relation de dépendance en température, on va mesurer la vitesse à différentes températures et tracer c_{son}^2 en fonction de T .

Un dispositif adéquat est le tube de Kundt. Un tube de Kundt est un tuyau de section circulaire rempli d'air et de

longueur L . Un bain thermostaté permet de thermaliser le tuyau. A l'entrée du tube, un son est émis à l'aide d'un haut-parleur connecté à un GBF. A cause des réflexions aux extrémités du tuyau, les ondes sont stationnaires. Pour détecter les noeuds et ventres, un microphone est placé sur une tige que l'on peut déplacer dans le tube. La température est mesurée avec un thermomètre également relié à la tige.



On commence par chercher les fréquences de résonances du tube de Kundt. Pour cela on commence par mesurer la longueur du tube, connaissant l'ordre de grandeur de c_{son} et sachant que $f_n = \frac{(n+1)c_{son}}{2L}$ avec n entier naturel, on en déduit l'ordre de grandeur du fondamental. On choisit n suffisamment grand pour observer le maximum de noeuds (ou ventres).

ATTENTION : n ne peut pas excéder une certaine valeur (4kHz) car le tube de Kundt est un guide d'onde cylindrique et on ne peut considérer la présence d'un seul mode seulement en dessous de cette fréquence.

Pour une température de 298K, on déplace le micro de telle sorte à déterminer la longueur d'onde sachant que la distance entre deux noeuds (ou ventres) est égale à $\lambda/2$. La longueur d'onde étant reliée à la géométrie du tube est inchangée lorsqu'on modifie la température. On se place donc à un noeud (ou un ventre). On modifie la température à l'aide du bain thermostaté, à l'oscilloscope on n'observe plus un maximum ou un minima d'intensité, il faut ajuster la fréquence pour être de nouveau à la résonance. On réitère l'opération tous les 5K (ATTENTION : les mesures doivent être faites avec des températures croissantes car le temps de refroidissement du système est très grand, par ailleurs la thermalisation peut prendre une dizaine de minutes), et on trace $c_{son}^2 = (\lambda * f_n(T))^2$ en fonction de T . On s'attend à une droite de coefficient directeur $\frac{\gamma R}{M}$. Pour conclure sur cette expérience, on insiste sur le fait qu'on obtient bien une droite, et on commente la validité du modèle en donnant avec les incertitudes la valeur expérimentale du coefficient isentropique de l'air.

$$\gamma = (... \pm ...)$$

Les sources d'incertitude sont :

- La mesure des distances : détermination de la taille de la cavité, positionnement du microphone mesuré à l'aide d'un mètre ruban, erreur de parallaxe
- La température dans la cavité (pertes, position du thermocouple par rapport au microphone, fluctuation de l'appareil de mesure)
- Estimation de la fréquence de résonance faible par rapport aux autres (incertitude du fréquencesmètre et l'ajustement de la fréquence pour obtenir à nouveau un maxima/minima)

Maintenant que nous avons mis en évidence certaines propriétés du son, nous allons présenter des applications de celles-ci. Dans un premier temps, on étudiera comment accorder deux instruments à l'aide du phénomène de battement.

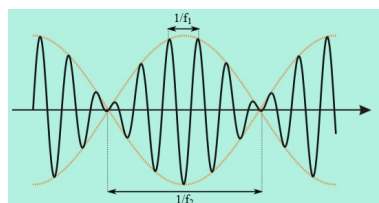
3 Battements acoustiques de deux diapasons : introduction à l'effet Doppler

⚡ Dufait Capes

Le but de cette partie est de remonter à la différence de fréquences entre deux diapasons La440 dont l'un des deux a été déréglé par une masselotte.

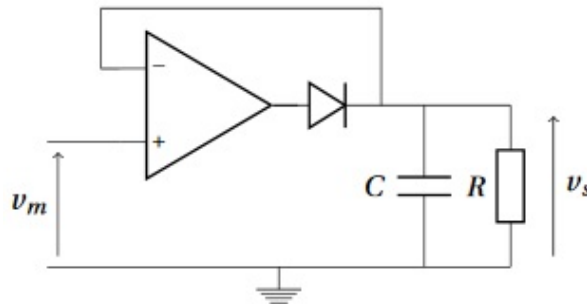
Pour diminuer la différence de fréquence, il suffit de rapprocher la masselotte de l'extrémité de la branche.

On place le micro en sortie des 2 caisses de résonance des diapasons. En les faisant vibrer simultanément, on peut entendre le phénomène de battement et l'observer à l'aide d'un oscilloscope.



On peut de façon directe mesurer à l'oscilloscope le décalage en fréquence, dans ce montage nous avons opté pour une détection de crête. En effet, cela nous permet d'observer directement la valeur du décalage de fréquence.

Notons qu'il est important que l'amplitude des signaux sonore soit différente pour que le taux de modulation de leur somme soit inférieur à 1 et que la fréquence apparente ne soit pas la fréquence double de celle des battement mais bien le décalage de fréquence.



On comprends bien pourquoi il faut bien accorder ses instruments car un léger décalage de fréquence peut provoquer un phénomène de battements désagréables.

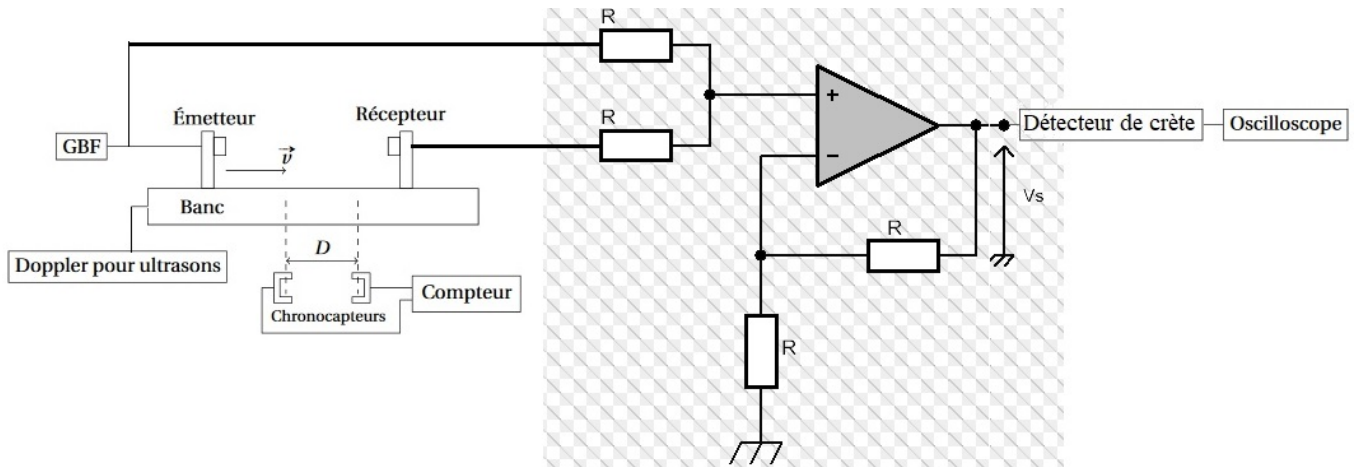
Transition ???

4 Effet Doppler

Pour le mouvement nous suggérons d'utiliser un GBF réglé sur 9V et 0.11Hz en signal carré, pour que le charriot fasse des aller-retour à une fréquence connue sur le banc. On peut ainsi faire une mesure sur un temps important et s'affranchir des chronocapteurs qui alourdissent le montage inutilement. Pour calculer la vitesse on multiplie la taille du banc moins la longueur du mobile (la distance parcourue donc) par la fréquence multiplié par deux imposée par le GBF contrôlant le moteur.

➤ *Physique Expérimentale, FLTCLD*

Dans le Jolidon, l'expérience est proposée par détection synchrone. On peut également la réaliser par détection de crête si jamais vous êtes plus à l'aise avec son principe. Pour cela, on additionne le signal de l'émetteur avec celui du récepteur à l'aide d'un additionneur, puis on réalise une détection de crête.



Conclusion Au cours de ce montage, nous avons pu étudier les propriétés du son : c'est une onde qui se propage dans un milieu matériel à une vitesse qui dépend des propriétés du milieu (température, nature du milieu, ...). Les interférences nous permettent notamment de remonter à des informations comme le décalage de fréquence et permet notamment d'accorder un instrument. L'effet Doppler permet également de remonter à la vitesse de déplacement d'un objet. Ce ne sont pas les seuls exemples, on peut notamment évoquer le sonar ou encore l'échographie, ...

Autres expériences possibles : Propagation dans le dural, Diffraction, Résonateur de Helmholtz, Adaptation d'impédance