

MP30 – ACOUSTIQUE

12 février 2015

*But my words, like silent raindrops fell,
And echoed in the wells of silence*
«The Sound Of Silence» Simon & Garfunkel

Marie-Caroline Auguères & Pauline Risson

Commentaires du jury :

[2014] Les phénomènes d'interférences, 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. En tout état de cause, 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 :

Duffait, Expériences de physique Capes
Quaranta, Tome I, Mécanique
Garing, Ondes

→ pour la partie adaptation d'impédance

Expériences :

- ♪ Dépendance de la vitesse du son dans l'air avec la température
- ♪ Mesure de la vitesse du son dans l'eau et le dural
- ♪ Trombone de König : interférences
- ♪ Battements du diapason : interférences
- ♪ Adaptation d'impédance avec la glycérine sur l'aluminium

Table des matières

I.	Vitesse de propagation d'une onde acoustique	2
1.	Propagation dans l'air	2
2.	Dans l'eau	3
3.	Dans un matériau solide : le dural	3
II.	Propriétés ondulatoires des ondes acoustiques. Interférences	4
1.	Trombone de König	5
2.	Battements du diapason	5
III.	Adaptation d'impédance	6

Introduction :

L'acoustique est l'étude des vibrations issues d'un émetteur se propageant par des ondes élastiques dans un milieu matériel jusqu'à un récepteur (définition du Quaranta). L'émetteur d'une telle onde crée une variation locale de pression qui donne naissance à l'onde, comme par exemple la membrane d'un haut parleur. Ces ondes acoustiques sont caractérisées par deux grandeurs couplées : la vitesse et la pression.

Dans ce montage, on ne s'intéresse qu'aux ondes sonores audibles (caractérisées par des fréquences limites moyennes de 20 Hz à 20 kHz, variant d'un individu à l'autre) et ultrasonores (de 20 kHz au MHz).

Les ondes sonores ont besoin d'un support matériel pour se propager, on va donc tout d'abord s'intéresser à leur vitesse de propagation dans des milieux de propriétés différentes.

I. Vitesse de propagation d'une onde acoustique

1. Propagation dans l'air

On souhaite étudier, on peut assimiler l'air à un gaz parfait (Duffait, p286) donc il vérifie la loi

$$c = \frac{\gamma RT}{M}$$

$$M = 29 \text{ g/mol}$$

$$R = 8,314 \text{ J/(K.mol)}$$

$$\gamma = 1,4 \text{ pour un gaz diatomique}$$

On souhaite donc vérifier cette loi, grâce au tube de Kundt.

Dépendance de la vitesse en fonction de la température :



Duffait, p278

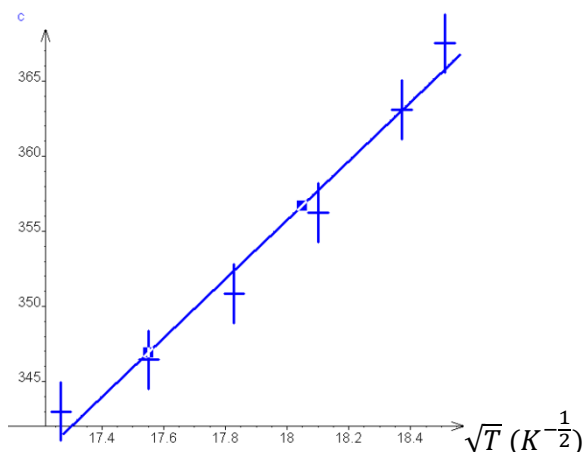


10 min

Matériel :

- Tube de Kundt avec le bain thermostaté
- GBF
- Oscilloscope

Tracé de $c = \lambda f = f(\sqrt{T})$. On cherche les résonnances des ondes stationnaires. On place le micro à un ventre de pression. On travaille à λ fixé, et pour chaque T on fait varier f pour retrouver la résonnance.



Modélisation affine de pente

$$a = \pm$$

$$\text{Valeur théorique : } \sqrt{\frac{\gamma R}{M}} = 20,0.$$

Grâce à la mesure de c, on peut remonter aux propriétés du milieu (γ , M) ou à la température.

2. Dans l'eau

On va calculer dans cette partie la vitesse du son dans l'eau en calculant l'écart de temps à la réception entre un émetteur et un récepteur d'ultra-sons plongés dans l'eau et distants d'une valeur connue.

Mesure de la vitesse du son dans l'eau



pas de référence.

☑ 7 min

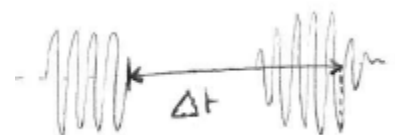
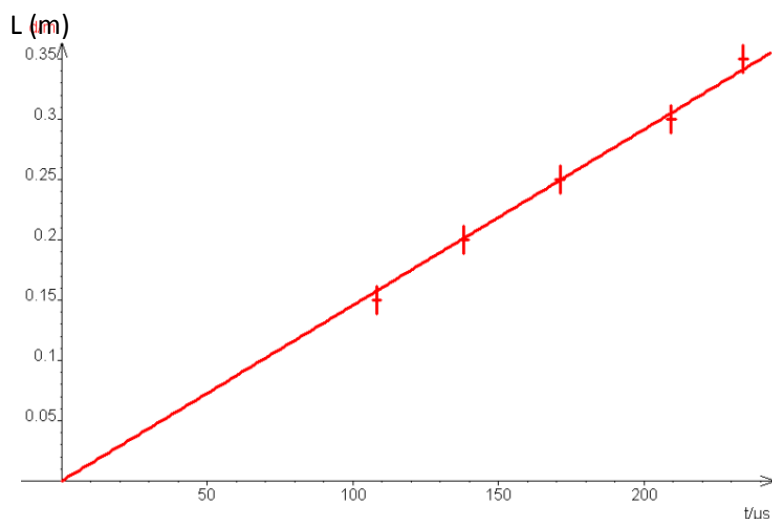
Matériel :

- Cuve d'eau avec l'émetteur/récepteur ultrason
- GBF (mode burst avec 7 cycles sinusoïdaux de 1 ms)
- Oscilloscope

Tracé de $L = f(t)$. On déplace l'émetteur et le récepteur en notant leur distance respective L et on relève l'intervalle de temps entre l'émission et la réception sur l'oscillo (en prenant les curseurs comme indiqués sur le schéma ci-dessous).

Incertitudes : $\Delta L = 1 \text{ cm} \rightarrow 2\sigma = 2\Delta L/\sqrt{3}$ à 95%

$\Delta t = \lambda/2 = 1,3 \text{ } \mu\text{s} \rightarrow 2\sigma = 2\Delta t/\sqrt{3}$ à 95%



Modélisation linéaire de coefficient directeur :

$c = \quad \pm \quad \text{m/s.}$

Valeur tabulée : $c = 1482 \text{ m/s}$ à 20°C .



On constate que le son se propage beaucoup plus rapidement dans un milieu liquide que gazeux.
Qu'en est-il des solides ?

3. Dans un matériau solide : le dural

Mesure de la vitesse du son dans le dural



pas de référence.

☑ 7 min

Même dispositif en intercalant cette fois le bloc de dural de taille $D = 3,80 \pm 0,05 \text{ cm}$.

On relève les intervalles de temps à l'oscillo en conservant la distance L entre l'émetteur et le récepteur constante cette fois.

On a **deux méthodes** pour mesurer la vitesse du son dans le dural :

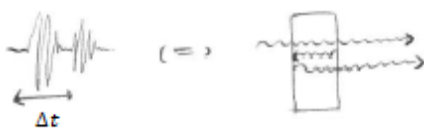
- en utilisant la mesure précédente de la vitesse du son dans l'eau (cela introduit une incertitude non négligeable) et en considérant que le son a parcouru une distance D dans le dural et une distance $(L-D)$ dans l'eau (L étant la distance entre l'émetteur et le récepteur), donc

$$c_{dural} = \frac{D}{\Delta t - \frac{L-D}{c_{eau}}}$$

Propagation des incertitudes :

$$\delta c_{dural} = \frac{1}{\left(\Delta t - \frac{L-D}{c_{eau}}\right)^4} \cdot \left[(\delta D)^2 \cdot \left(\Delta t + \frac{L}{c_{eau}}\right)^2 + (\delta \Delta t)^2 \cdot D^2 + (\delta L)^2 \cdot \left(\frac{D}{c_{eau}}\right)^2 + (\delta c_{eau})^2 \cdot \left(\frac{D(L-D)}{c_{eau}^2}\right)^2 \right]$$

- en utilisant les deux premiers signaux reçus sur la voie du récepteur, qui correspondent à la première incidence et à la première réflexion au son qui a fait un aller retour dans le dural. On déduit



$$c_{dural} = \frac{2D}{\Delta t}$$

$\Delta t =$	$\pm$	t
$c_{dural} =$	$\pm$	m/s

Propagation des incertitudes :

$$\delta c_{dural} = c_{dural} \left(\frac{\delta D}{D} + \frac{\delta(\Delta t)}{\Delta t} \right)$$

On remonte ainsi aux propriétés du matériau : la vitesse est reliée au **module d'Young** grâce à la masse volumique de celui-ci.

$$c_{dural} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Or $\rho_{dural} = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$. Donc on déduit : $E =$ $\pm$ Pa. (Valeur théorique 73 GPa).

Mise en évidence des ondes P et S (cisaillement)

Incliner le Dural et montrer l'apparition de signaux plus lents correspondant aux ondes S.



Ainsi, la mesure de la vitesse du son dans divers matériaux peut permettre de remonter à quelques propriétés du milieu.

On a introduit le son comme une onde se propageant dans la matière, cherchons donc maintenant à mettre en évidence d'autres propriétés propres aux ondes.

II. Propriétés ondulatoires des ondes acoustiques. Interférences

1. Battements du diapason

On veut cette fois montrer le phénomène d'interférence en provoquant des battements entre deux diapasons de fréquences différentes voisines.

Tout d'abord, considération sur la **caisse de résonance** des diapasons : amélioration du transfert d'énergie mécanique du diapason en énergie acoustique dans l'air par adaptation d'impédance (cf. partie III).

Côté fermé : nœud de déplacement } $l = \frac{\lambda}{4}$: mode le plus bas qui se propage
Côté ouvert : ventre de déplacement }

Battements des diapasons



Duffait p. 293



5 min

Matériel :

- Diapason à 440 Hz. Diapason à 400 Hz équipé d'une masselotte sur un bras (diminue sa fréquence)
- Microphone cravate
- Oscilloscope

Visualisation des battements en temporel. Analyse de Fourier. On relève la fréquence du signal, ainsi que des battements et vérifier qu'ils correspondent à la différence fréquentielle entre les deux diapasons et que les oscillations sont à la fréquence moyenne des deux.

$f_{\text{battements}} = \pm \quad \text{Hz.}$ On vérifie que cela correspond à $\frac{f_2 - f_1}{2} = \quad .$

$f_{\text{oscillations}} = \pm \quad \text{Hz.}$ On vérifie que cela correspond à $\frac{f_2 + f_1}{2} = \quad .$

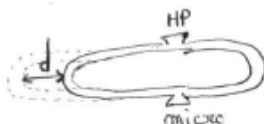
Rmq : il faut bien prendre la période qui compte deux maximums sur les battements.

Phénomène désagréable à l'oreille, d'où l'importance de bien accorder les instruments dans un orchestre.

2. Trombone de König

On va chercher à montrer le phénomène d'interférence avec les ondes acoustiques. Pour cela on utilise le trombone de König qui permet de créer une « différence de marche » entre les portions de tuyaux qui relient le haut parleur du micro. On peut faire une analogie avec l'optique.

Attention, il faut être conscient qu'il y a plusieurs phénomènes dans cette expérience : à la fois le phénomène d'interférence, mais aussi la résonance des ondes dont on impose une fréquence et donc qui ne peuvent vibrer dans l'air de la cavité qu'à certaines tailles de celle-ci (conditions aux limites fixes).



On veut vérifier que la différence de longueurs parcourues entre deux interférences constructives est bien égale à λ . En effet, la différence de marche peut s'écrire $\delta = p\lambda$.

Interférences des ondes sonores dans le trombone de König



Quaranta p 399 ou Duffait p278

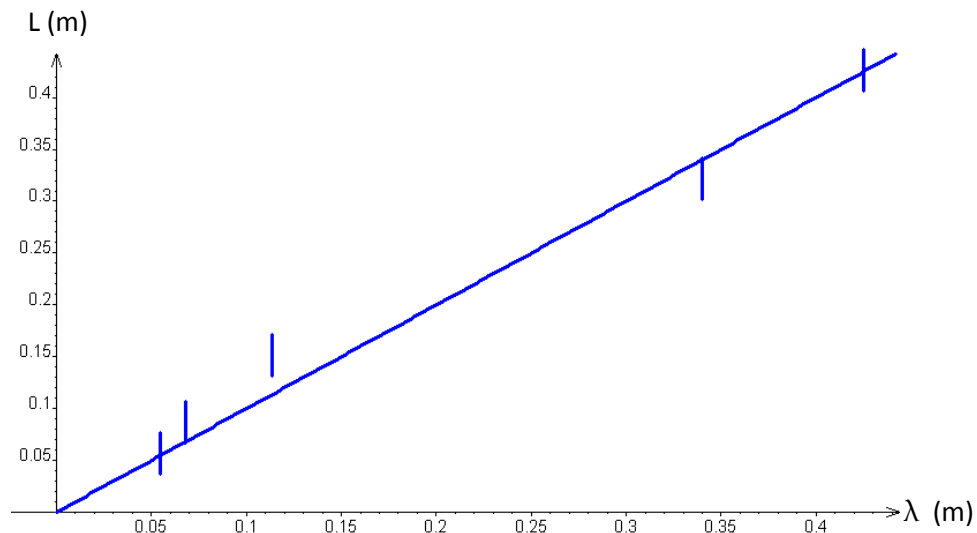


5 min

Matériel :

- Trombone de König (deux supports boy)
- Microphone cravate (à demander à Benoit) avec pince, noix et potence
- GBF
- Oscilloscope

Vérification de loi. Tracé de $L = f(\lambda)$. A fréquence fixée, on relève la position entre deux maximums lorsque l'on fait varier la taille du tuyau, ce qui correspond à une variation de longueur de tuyau (différence de marche) de λ , soit de $d = \lambda/2$ (puisque l'on augmente la taille de deux portions de tuyau). On relève sur la règle la valeur d et on trace $L = 2*d$, pour vérifier que L vaut λ .



Pente attendue de 1 pour assimiler L à λ . Expérience : pente = $\pm$



On a mis en évidence les propriétés ondulatoires des ondes acoustiques (propagation + interférences) au sein d'un milieu homogène. Que se passe-t-il à l'interface entre des milieux différents ?

III. Adaptation d'impédance (Garing, p 112)

On peut définir l'impédance acoustique d'un milieu, qui caractérise sa résistance au passage de l'onde. On peut l'exprimer, avec ρ la masse volumique du milieu :

$$Z = \rho c$$

Cette impédance nous permet d'exprimer les coefficients de transmission T et réflexion R de l'onde aux interfaces :

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad T = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Si on mesure les amplitudes en volts, on peut réécrire le coefficient de transmission

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{V_t^2}{V_i^2}$$

Donc quand les milieux ont des impédances très différentes, par exemple $Z_1 \ll Z_2$, alors $R \sim 1$ et $T \ll 1$ et la majorité de l'intensité est réfléchi. C'est un phénomène que l'on cherche à éviter lorsque l'on souhaite transmettre le son.

On va chercher à montrer ce phénomène avec une expérience basée sur le principe de l'échographie.

Adaptation d'impédance



Garing

🕒 5 min

Matériel :

- Emetteur & récepteur ultrason immergeables
- GBF pour alimenter l'émetteur $f = 40 \text{ kHz}$ (ultrasons) avec $V_i = 10 \text{ V}$
- Oscilloscope
- Glycérine liquide

On colle l'émetteur au récepteur et on relève l'intensité transmise.

Puis on met de la glycérine entre l'émetteur et le récepteur. Même mesure : l'intensité transmise augmente.

Sans la glycérine :

émetteur | air | récepteur

$$Z_{\text{air}} \sim 340 \text{ kg}/(\text{s.m}^2)$$

L'amplitude transmise vaut

$$V_t = (\quad \pm 0,1) \text{ mV}$$

$$T_{\text{air}} = \quad \pm$$

Avec la glycérine :

émetteur | gly | récepteur

$$Z_{\text{gly}} \sim 2,42 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{s.m}^2)$$

L'amplitude transmise vaut

$$V_t = (\quad \pm 0,1) \text{ mV}$$

$$T_{\text{gly}} = \quad \pm$$

On compare les deux situations :

- Expérimentalement,

$$\frac{T_{\text{gly}}}{T_{\text{air}}} = \frac{(I_t/I_i)_{\text{gly}}}{(I_t/I_i)_{\text{air}}} =$$

- En théorie

$$\frac{T_{\text{gly}}}{T_{\text{air}}} = \frac{(I_t/I_i)_{\text{gly}}}{(I_t/I_i)_{\text{air}}} = \frac{Z_{\text{gly}}}{Z_{\text{air}}} = 3,2 \cdot 10^7$$

On constate donc que la présence de glycérine permet d'améliorer la transmission. En effet, il y a adaptation d'impédance entre l'émetteur et le récepteur puisque l'impédance de la glycine est beaucoup plus grande que celle de l'air (plus proche de l'impédance des émetteur et récepteur, dont on n'a pas de valeur donnée par la doc, mais qui en générale est assez élevée par rapport à l'air).

Conclusion

Il est possible d'utiliser les ondes acoustiques pour caractériser un milieu, en y calculant leur vitesse. Et l'adaptation d'impédance est un phénomène qui est important dans ce domaine, principalement dans le milieu médical (échographie).

Autres manips : effet Doppler, résonateur de Helmholtz.