

①

MP33: ONDES ACOUSTIQUES.

Kévin PETITOT.

(02/04/09).

* Bibliographie:

- + Charmont, montages de physique.
- + Duffait, expériences de Q: CAPES DE SCIENCES PHYSIQUES.
- + Quaranta, tome 1, la mécanique.
- + Eraux-Renault, mécanique des fluides et ondes mécaniques.

* Rapport de jury 2008:

Il est conseillé de ne pas se limiter à la propagation dans l'air, ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles.

* Plan:

① Caractéristiques ondulatoires:

↳ interférences (trouble de Koenig).

② Caractéristiques d'une onde acoustique:

① propagation dans un milieu matériel:

a) célérité des ondes acoustiques dans l'eau.

b) célérité des ondes acoustiques dans un bloc d'aluminium.

② dépendance de la célérité avec la température.

* Introduction:

→ déf d'une onde acoustique: onde sonore correspondant à la propagation d'une surpression ⇒ onde de pression, qui est généralement longitudinale*. Elle a besoin d'un milieu matériel pour se propager (gaz, liquide, solide).

→ différences avec une onde électromagnétique: transversale et n'a pas besoin d'un milieu matériel pour se propager → cas d'une onde EM dans le vide par exemple.

→ exp qualitative: "je parle" → propagation d'une onde sonore dans l'air qui se dirige vers les oreilles de mes collègues ⇒ ils m'entendent, c'est sûr non!!! 

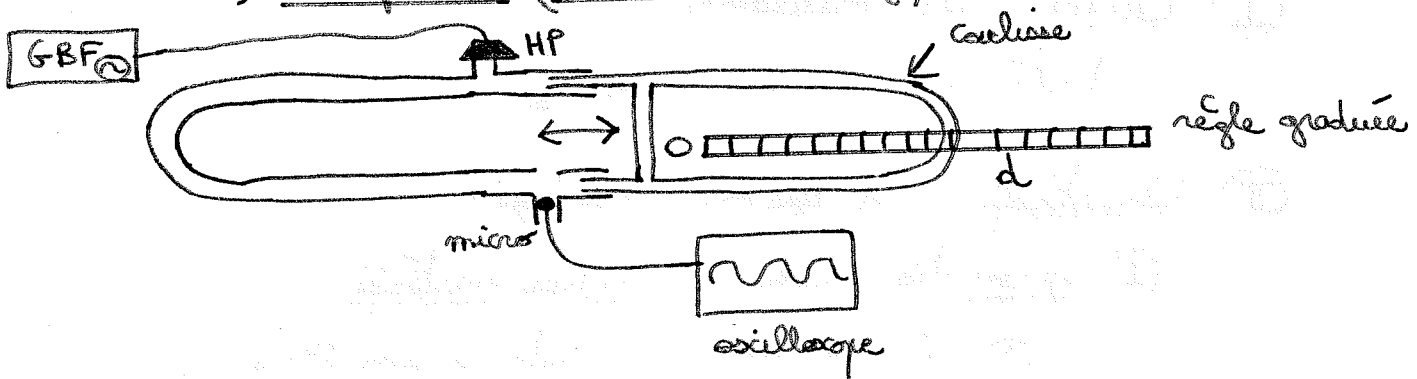
→ objectif: mise en évidence des propriétés:

(* ondulatoires: interférences.
* ondes sonores: propagation dans un milieu matériel et dépendance de la célérité avec la température.

(* Remarque: dans les solides, les ondes acoustiques portent le nom d'ondes élastiques, et sont composées d'une onde transversale (cisaillement) et d'une onde longitudinale (compression) ⇒ (cf. II ① ②).

① Caractéristiques ondulatoires: (Quantita, Suffit):

↳ interférences (trouble de Koenig):

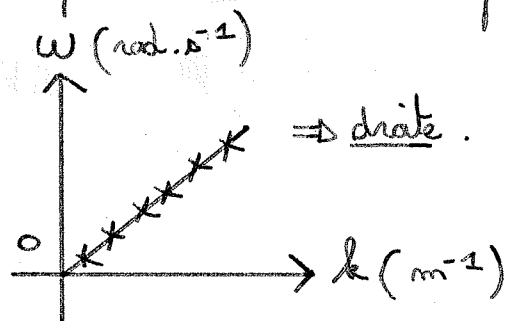


. on règle la fréquence f du son entre 500 et 1500 Hz (afin d'obtenir une interférence mesurable), puis on déplace la coulisse du trouble ⇒ modification de la différence de marche δ entre les 2 trajets empruntés par l'onde. Entre deux maxima (ou minima) le déplacement est de d , tel que : $\delta = k \lambda = 2d$, avec k l'ordre d'interférence (entier). En effet, le micro étant sensible à la pression, il nous permet de détecter l'interférence entre les 2 ondes. Ainsi : pour $d=0$, $k=0$, puis premier max pour $k=1$ soit $d=\lambda/2$, deuxième maximum pour $k=2$ soit $d=\lambda$, etc...
⇒ visualisation d'interférences constructives et destructives.

②

. Par plusieurs fréquences f et donc ω (entre 500 et 1500 Hz), on mesure la longueur d'onde λ associée et on en déduit k par chaque ω

. On trace en synchronie la relation de dispersion des ondes acoustiques se propageant dans l'air : $\omega = f(k)$:



. on vérifie bien que l'air est un milieu non dispersif, car la relation de dispersion $\omega = f(k)$ est linéaire.

. le calcul de la pente de cette droite nous permet de remonter à la vitesse de propagation du son dans l'air ($c_{\text{air}} = \text{célérité des ondes acoustiques dans l'air}$), en effet, $\boxed{\omega = c_{\text{air}} k}$:

⇒ $\boxed{\text{pente} = c_{\text{air}} = (\quad \pm \quad) \text{ m/s}}$ et $\boxed{c_{\text{air}} (\text{calculée}) = 343,3 \text{ m/s}}$ à $T = 20^\circ \text{C}$.
(cf. Fessac - Renault).

. Calcul d'incertitudes:

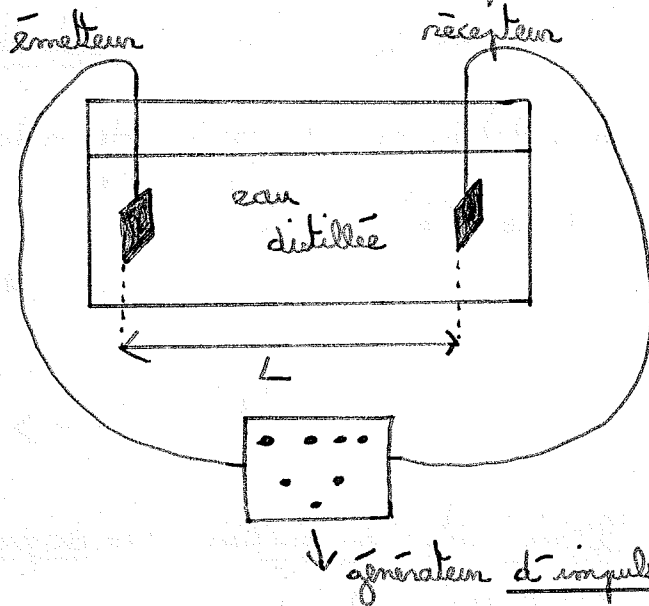
$$\boxed{\frac{\Delta c_{\text{air}}}{c_{\text{air}}} = \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \quad \%}$$

. Remarque: en toute rigueur, le système étant fermé, il se produit aussi des ondes stationnaires (SOS) et un phénomène de résonance, mais le terme le plus important reste l'interférence à 2 ondes. Eventuellement on peut modifier la fréquence par avoir un phénomène bien net (minimas nuls).

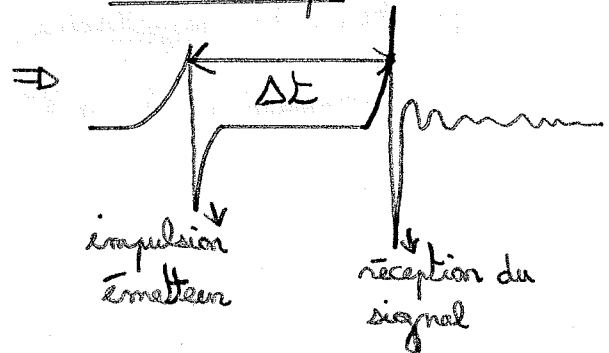
II Caractéristiques d'une onde acoustique:

① propagation dans un milieu matériel: (Charmont, Quenetta):

a) Célérité des ondes acoustiques dans l'eau : c_{eau} :

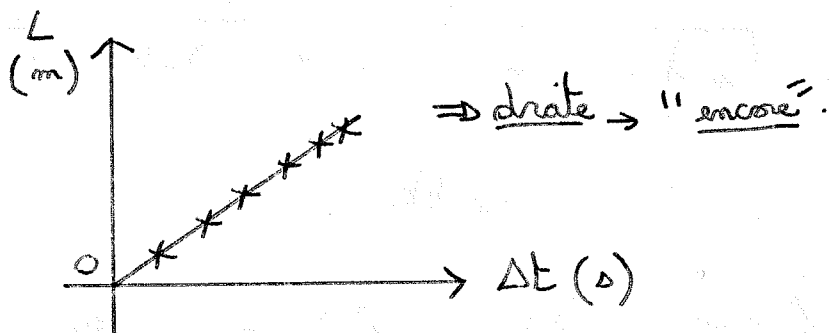


on visualise le signal de sortie à l'oscilloscope :



- Par plusieurs L (distance émetteur - récepteur), on mesure le Δt associé (temps de parcours ^{de l'onde sonore} de l'émetteur au récepteur dans l'eau).
- on trace sur synchrone la variation de L en fonction de Δt :

$$L = f(\Delta t) :$$



- le calcul de la pente de cette droite nous permet de remonter à la vitesse de propagation du son dans l'eau (c_{eau}), en effet, on a :

$$L = c_{\text{eau}} \Delta t : \Rightarrow \text{pente} = c_{\text{eau}} = \left(\pm \right) \text{ m/s } \text{ et }$$

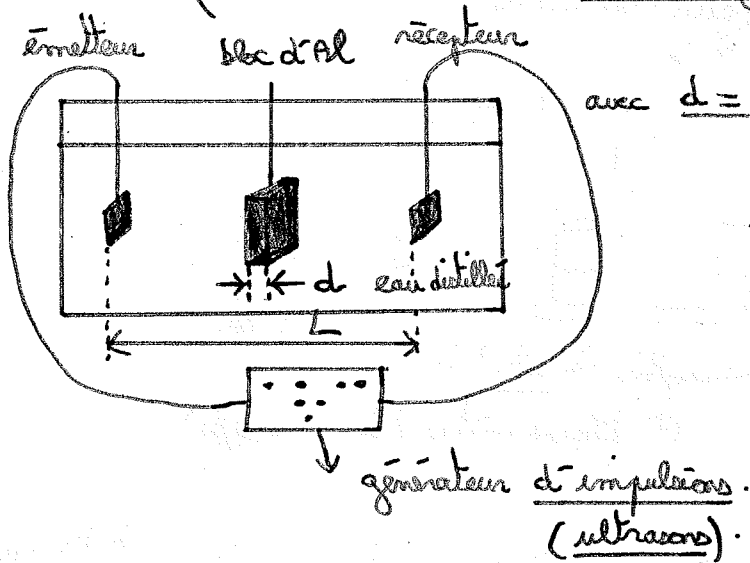
$$c_{\text{eau}} (\text{calculée}) = 1482 \text{ m/s } \text{ à } T = 20^\circ\text{C} \Leftrightarrow (\text{cf. Fizeau-Renaud}).$$

- Calcul d'incertitudes :

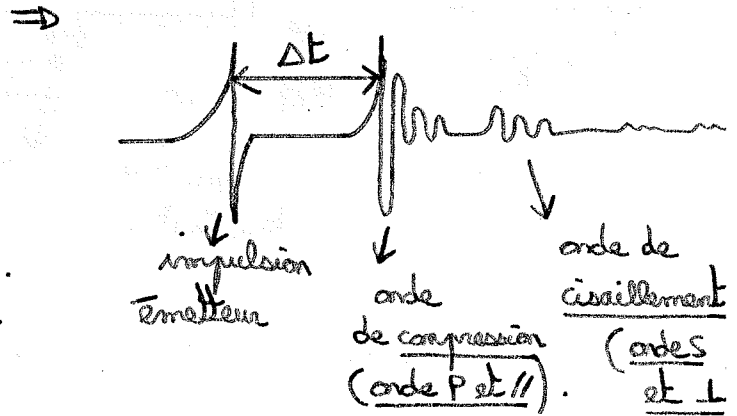
$$\frac{\Delta c_{\text{eau}}}{c_{\text{eau}}} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} = \quad \% .$$

③

⑥ célérité des ondes acoustiques dans un bloc d'aluminium: $c_{Al//}$:
(on se limitera au cas longitudinal seulement).



avec $d = 4,06 \text{ cm}$. on visualise le signal de sortie à l'oscilloscope:



Connaissant Δt , L , d et c_{eau} déterminées précédemment, on peut remonter à $c_{Al//}$, en effet:

$$\Delta t = \frac{L - d}{c_{eau}} + \frac{d}{c_{Al//}} \Leftrightarrow c_{Al//} = \frac{d}{\Delta t + \frac{d - L}{c_{eau}}}$$

on mesure $\Delta t = \text{ } \mu\text{s}$ et $L = \text{ } \text{cm} \Rightarrow$

$$c_{Al//} = \text{ } \text{m/s} \text{ et } c_{Al//} (\text{tablee}) = 6420 \text{ m/s}$$

↓
(cf. Handbook Physics à la BU Haut).

Ensuite, on peut en déduire un O.D.G du module d'Young E de l'aluminium, en effet, on a:

$$E (\text{tablee}) = 70 \text{ GPa}$$

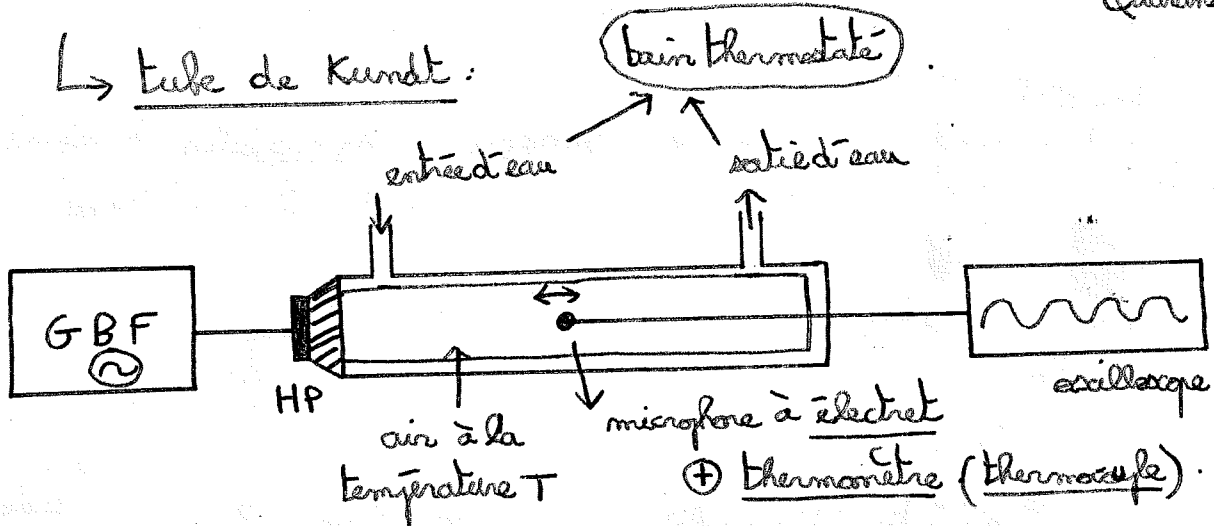
↑ (cf. Handbook Physics à la BU Haut)

$$c_{Al//} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

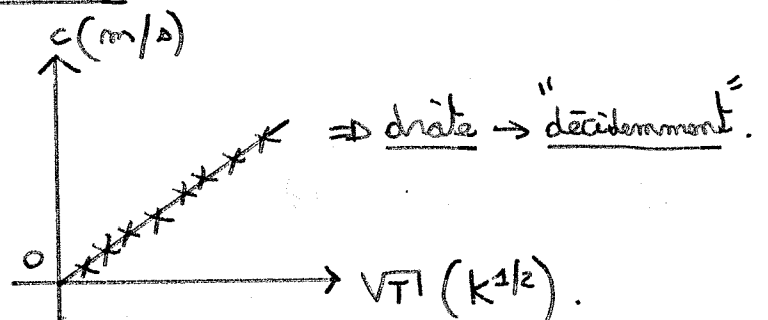
avec $\rho = \text{masse volumique de Al} = 2700 \text{ kg/m}^3 \Leftrightarrow$ (cf. Handbook Physics à la BU Haut).
 $\Rightarrow E = \rho c_{Al//}^2 = \text{ } \text{GPa}$

② dépendance de la célérité c avec la température T : (Charnont, Duffait, Quarenta):

↳ tube de Kundt:



- Cavité fermée: il se produit un SOS (système d'ondes stationnaires) caractérisé par des nœuds et des ventres de pression.
- Pour avoir une bonne thermalisation du milieu, on laisse refroidir le tube et on fait les mesures au fur et à mesure.
- on se fixe à fréquence fixée ($f = 1 \text{ kHz}$), lorsque $T \downarrow$, comme $c = \lambda f$, on a $\lambda \downarrow$ et $c \downarrow$ ($\lambda \propto c \propto \sqrt{T}$).
- Pour plusieurs T , on mesure λ par le repérage des nœuds ou des ventres de pression en déplaçant le microphone à électret dans le tube. Par conséquent, on peut en déduire la valeur de $c = \lambda f$ par chaque température T mesurée.
- on trace ensuite en synchronie la variation de c en fonction de $\sqrt{T}$: $c = f(\sqrt{T})$:



④

le calcul de la pente nous permet de remonter à la masse molaire de l'air M au sein du tube, en effet, on a :

$$C = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \quad \text{avec } \gamma = 7/5 = 1,4 \quad \text{et } R = 8,314 \text{ J/mol/K.}$$

(En supposant que l'air dans le tube peut-être considéré comme un G.P diatomique et isentropique).

$$\Rightarrow \text{pente} = \left(\frac{\gamma R}{M} \right)^{1/2} = A = \text{constante} \Rightarrow M = \frac{\gamma R}{A^2} = \left(\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

$$\text{et } M (\text{calculée}) = 29 \text{ g/mol} \Leftrightarrow (\text{cf. Enaux-Renault}).$$

• Calcul d'incertitudes :

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{\Delta \gamma}{\gamma} + \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta A}{A} = \frac{2 \Delta A}{A} = \quad \%, \text{ car}$$

on suppose γ et R fixés (γ et R ne dépendent pas de T)

$$\text{et } \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta T}{2T} = \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta T}{2T} = \quad \%.$$

• Remarque :

La valeur de M calculée correspond à une composition "standard" de l'air (78% N_2 , 21% O_2 , 1% Ar). Sur la plage de températures étudiée, les degrés de liberté de vibration des molécules diatomiques N_2 et O_2 ne sont pratiquement pas excités ("gelés"), ce qui nous permet de prendre $\gamma = 1,4 = 7/5$ et de considérer l'air comme un G.P diatomique.

Concernant l'hypothèse d'évolution isentropique du gaz (hypothèse d'adiabaticité), on peut dire qu'elle est très bien vérifiée à notre fréquence d'étude $1 \text{ kHz} = f$.

En effet, cette hypothèse implique que, lors d'une 1/2 période d'une onde $\odot$, le transfert thermique d'une zone comprimée, donc à température plus élevée, vers la zone raréfiée, à température plus basse, est négligeable.

Or, ces zones sont distantes de $\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$ où f est la fréquence de l'onde.

Pour ailleurs, la distance caractéristique de la diffusion thermique à la fréquence f est donnée par $l = \sqrt{\frac{D}{f}}$ où D désigne la diffusivité thermique du milieu (m^2/s). Le transfert thermique est donc négligeable si

$$\boxed{l \ll \lambda/2} \Leftrightarrow \boxed{f \ll \frac{c^2}{4D}} \quad (\text{à condition de négliger la diffusion de chaleur transversale})$$

$\Rightarrow$ C'est donc pour les basses fréquences que l'hypothèse d'adiabaticité est la mieux vérifiée.

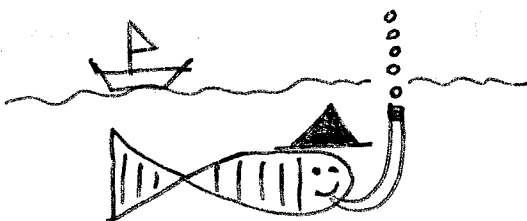
Dans notre étude, pour l'air, dans les conditions nouvelles, D est de l'ordre de $2 \times 10^{-5} m^2/s$ avec $c = 340 m/s$, on obtient donc la condition $\boxed{f \ll 1 \text{ MHz}}$ comme on travaille à $f = 1 \text{ kHz} \Rightarrow$ c'est tout bon!



* Conclusion:

$\rightarrow$ Résumé des points clés du montage.

$\rightarrow$ autres manipulations possibles: effet Doppler, résonateur de Helmholtz,



(FIN)

("Applaudissement").