2. ONDES SONORES – CORDES VIBRANTES

I. Ondes sonores

1°) Dispositif expérimental

2 Hauts parleurs
1 Micro
1 Banc pour étude des sons
1 Générateur de fonctions
1 Oscilloscope
1 Amplificateur
1 Tube de Kundt
1 pied (petit) avec noix
2 Tés BNC
1 ruban mètre

Matériel commun : un bocal de poudre de liège, une spatule, un paquet de coton hydrophile.

Le dispositif expérimental est analogue à celui utilisé pour les ultrasons. Les ondes sonores sont produites par un haut parleur et le récepteur est soit un micro soit l'oreille. Les hauts parleurs sont alimentés par un générateur de fonction couplé à un amplificateur de puissance (gain unité).

2°) Interférences de deux ondes frontales

a) Aspect théorique

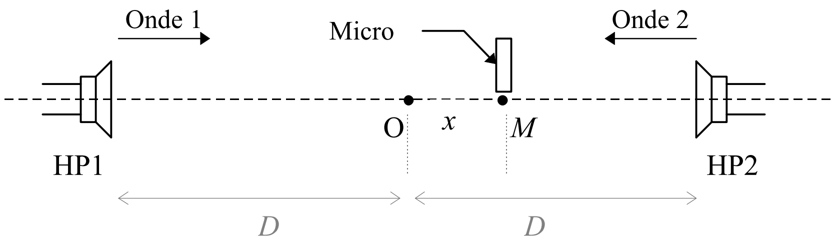

Figure 1 : interférences de deux ondes sonores frontales

Les deux haut parleur $HP1$ et $HP2$ sont alimentés en parallèle par une même tension : les deux sources sonores émettent donc des ondes synchrones (même amplitude et même phase) :

$$y_{HP1} = y_{HP2} = a \cos \omega t$$

Elles arrivent en M avec des retards différents et elles interfèrent. La vibration résultante (somme des deux vibrations en M) est :

$$y = a\cos\omega\left(t - \frac{D+x}{c}\right) + a\cos\omega\left(t - \frac{D-x}{c}\right) = 2a\cos\left(\omega\frac{x}{c}\right)\cos\omega\left(t - \frac{D}{c}\right)$$

L'amplitude de la vibration est le terme indépendant du temps :

$$A = 2a\cos\left(\omega\frac{x}{c}\right) = 2a\cos\left(2\pi\frac{x}{\lambda}\right)$$

Elle dépend de la position x du point M où est placé le micro. Certains points, les *nœuds*, correspondent à une amplitude nulle : $A = 0$ (pas de son) :

$$2\pi\frac{x}{\lambda} = (2n+1)\frac{\pi}{2} \qquad (n \text{ entier relatif})$$

D'autres points, les *ventres*, correspondent à une amplitude maximale : $A = 2a$ (son intense) :

$$2\pi\frac{x}{\lambda} = n\pi$$

La distance entre deux nœuds ou deux ventres consécutifs d'ordres n, $n + 1$ est donc :

$$x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{2}$$

b) Observations

Aligner face à face les deux haut-parleurs et les alimenter avec une même tension. Déplacer le micro sur l'axe en le maintenant perpendiculaire à cet axe. Observer les noeuds et les ventres d'amplitude à l'oscilloscope et au millivoltmètre. Mesurer la longueur d'onde. En déduire la célérité. Comparer avec la valeur acceptée dans l'air à la température Celsius θ :

$$c = 331{,}6 + 0{,}6\ \theta\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

3°) Ondes stationnaires longitudinales

a) Éléments théoriques

L'équivalent de la corde vibrante est un tuyau sonore. L'onde incidente est créée par le haut parleur et l'onde réfléchie renvoyée par l'extrémité fermée ou ouverte du tuyau (figure 2).

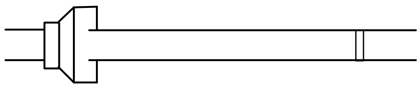

Figure 2 : expériences du tube de Kundt

Un régime d'ondes stationnaires s'établit dans le tuyau avec des noeuds et des ventres de vibration. Le phénomène est amplifié (résonance) quand la longueur du tuyau vaut (n entier) :

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad \text{(tube ouvert)} \qquad\qquad L = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \quad \text{(tube fermé)}$$

Si la longueur est fixe, les résonances sont obtenues pour des fréquences :

$$f = n\frac{c}{2L} \quad \text{(tube ouvert)} \qquad\qquad f = (2n+1)\frac{c}{4L} \quad \text{(tube fermé)}$$

b) Partie expérimentale

(1) Visualisation des résonances en tuyau fermé

Un piston mobile permet de fermer le tube et donc de faire varier la longueur L de la cavité résonnante. Saupoudrer un peu de poudre de liège dans le tube (très fine couche). Rechercher, pour une position du piston donnée, la fréquence qui permet de visualiser au mieux les nœuds et les ventres (travailler de préférence à basse fréquence). Décrire les observations et interpréter.

(2) Étude des résonances en tuyau ouvert

Dégager l'ouverture du tube opposée au haut parleur. Placer le micro à l'extrémité ouverte du tube. Rechercher les fréquences de résonance f_n pour n =1, 2, …. Tracer f_n en fonction de n. Vérifier la linéarité de la relation[1]. En déduire la célérité.

II. Cordes vibrantes

1°) Dispositif expérimental

[1] La première résonance observable sans ambiguïté ne correspond pas forcément à n = 1. Le fait de lui attribuer la valeur n = 1 ne modifie pas la pente de la courbe mais uniquement son ordonnée à l'origine.

1 Vibreur monté sur socle	1 poulie sur socle	1 Un fil de nylon (1,2 m environ)
1 Alimentation 6 V alternatif	1 Boîte de masses marquées	1 Ruban mètre

Le dispositif expérimental (dispositif de Melde) est présenté sur la figure 3. Le vibreur est alimenté par une tension alternative de 6 V de fréquence fixe (celle du secteur) ; son amplitude de vibration est très faible de sorte que l'on peut considérer que les deux extrémités du fil sont pratiquement fixes (noeuds). La poulie est fixée sur un support non représenté. On tend le fil en y suspendant des masses marquées.

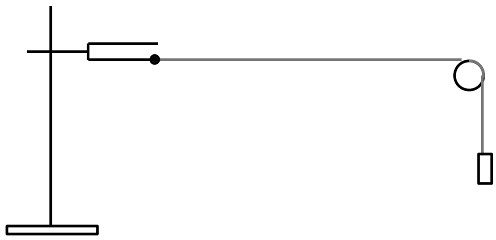

Figure 3 : montage pour expérience de Melde

2°) Ondes stationnaires transversales

a) Rappels théoriques

On observe un phénomène d'ondes stationnaires résonnantes, avec des noeuds et des ventres d'amplitude quand la longueur de la corde est un multiple entier de la demi longueur d'onde :

$$L = n\frac{\lambda}{2} = n\frac{c}{2f}$$

c est la célérité des ondes transversales dans la corde et *f* la fréquence excitatrice du vibreur. A cause de la persistance rétinienne, la vibration de la corde entre deux nœuds prend l'aspect de *fuseaux* de longueur $\lambda/2$: on observe *n* fuseaux.

La célérité des ondes transversales le long d'une corde de masse linéique μ tendue par une force *F* est donnée par :

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{mg}{\mu}}$$

La résonance a donc lieu quand :

$$L = \frac{n}{2f}\sqrt{\frac{mg}{\mu}}$$

Si la fréquence du vibreur est maintenue constante et si la nature de la corde reste inchangée (μ = cste), ainsi que sa longueur, la relation précédente prend la forme :

$$\boxed{m = \frac{K}{n^2}} \qquad (1)$$

avec :

$$K = \frac{4f^2L^2\mu}{g}$$

b) Partie expérimentale

Rechercher pour une longueur de corde donnée et différentes masses (commencer par une masse de 600 g au moins et une longueur de corde de 1 m environ), les différents modes de vibration. Tracer *m* en fonction de *n* en coordonnées log-log. Vérifier la relation (1). En déduire la masse linéique de la corde.