

Exercice 2 – De la physique sonore avec trois smartphones

L'application phyphox[®] dispose de modules acoustiques très utiles pour mener des expériences sur les ondes à l'aide d'un téléphone portable. Le module *Générateur de son* permet de produire une onde sonore sinusoïdale à une fréquence déterminée, tandis que le module *Intensité sonore* permet de déterminer l'intensité sonore d'un son. Il s'agit dans cet exercice d'étudier des phénomènes ondulatoires à l'aide de smartphones (appelés ici *mobiles multifonction*) munis de l'application phyphox[®].

**Données :**

- intensité sonore de référence (seuil d'audibilité) : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- célérité des ondes sonores dans l'air : $c = 3,4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

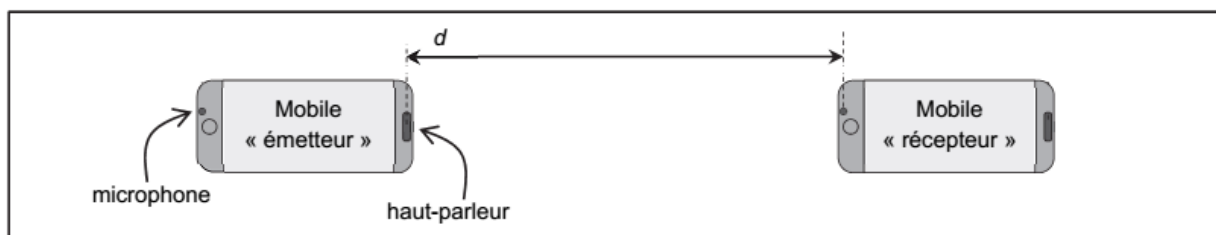
Première expérience

Figure 1. Mobiles multifonction émetteur et récepteur en vue de dessus.

Le mobile *Générateur de son* produit une onde sonore sinusoïdale de fréquence $f = 2,00 \times 10^3 \text{ Hz}$.

1. L'intensité sonore mesurée par le mobile « récepteur » situé à une distance $d = 30 \text{ cm}$ de l'émetteur vaut $I_1 = 2,0 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. **Calculer** la valeur du niveau d'intensité sonore L_1 correspondant.

Dans le modèle de l'atténuation géométrique et pour une source ponctuelle qu'on considère émettre dans tous les directions, l'intensité sonore I perçue à une distance d de la source est le rapport de la puissance P_0 de la source par la surface de la sphère de rayon d (surface dont l'expression est $4\pi d^2$).

2. À l'aide de ce modèle, on souhaite trouver la distance d' pour laquelle l'intensité sonore (notée I_2) vaut la moitié de l'intensité sonore I_1 à la distance d . En indiquant le raisonnement, **indiquer** parmi les expressions suivantes celle qui convient.

a. $d' = \frac{d}{\sqrt{2}}$ b. $d' = \sqrt{2} \times d$ c. $d' = 2 \times d$ d. $d' = \frac{d}{2}$ e. $d' = 4 \times d$ f. $d' = \frac{d}{4}$

3. Lorsqu'on réalise l'expérience dans les conditions décrites à la question 2 (distance d' donnée par la relation choisie), on trouve une valeur de niveau d'intensité sonore $L_2 = 48 \text{ dB}$. **Calculer** l'intensité sonore I_2 associée et **vérifier** qu'elle vaut moins que la moitié de $I_1 = 2,0 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

4. La mesure précédente de I_2 n'est donc pas en accord avec la valeur prévue par le modèle d'atténuation géométrique. **Proposer une explication** à cet écart entre les prévisions du modèle et les mesures.

Deuxième expérience

Deux mobiles multifonction sont disposés côte à côte (numérotés 1 et 2) comme l'indique la figure 2. Chacun d'eux dispose du module « Générateur de son » de phyphox[®]. Les modules sont activés afin de produire un son sinusoïdal de fréquence $f = 2,00 \times 10^3 \text{ Hz}$. Le mobile multifonction 3 dispose quant à lui d'une application d'enregistrement sonore (figure 2).

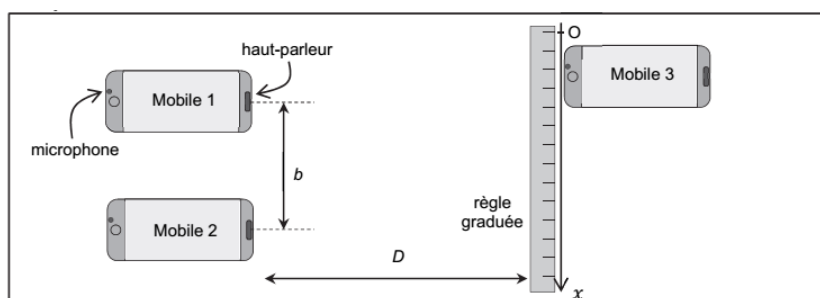
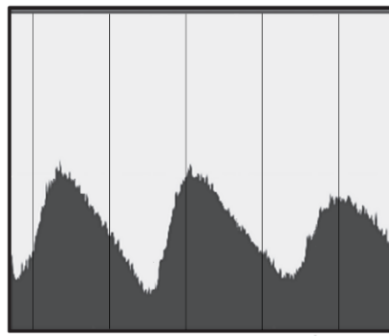


Figure 2. Disposition relative des trois mobiles multifonction. Les échelles sur le schéma ne sont pas respectées.

On précise les valeurs de b et D : $b = 1,0 \text{ m}$ et $D = 1,0 \text{ m}$.

5. **Montrer** que la valeur de la longueur d'onde des ondes émises vaut $\lambda = 17 \text{ cm}$.

L'expérimentateur déplace le mobile multifonction 3 le long de la règle graduée (suivant l'axe Ox) à une vitesse constante d'environ $v = 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pendant que le son est enregistré. On constate que l'amplitude du son varie périodiquement comme l'indique la figure 3.



L'écart entre deux traits verticaux consécutifs correspond à une seconde.

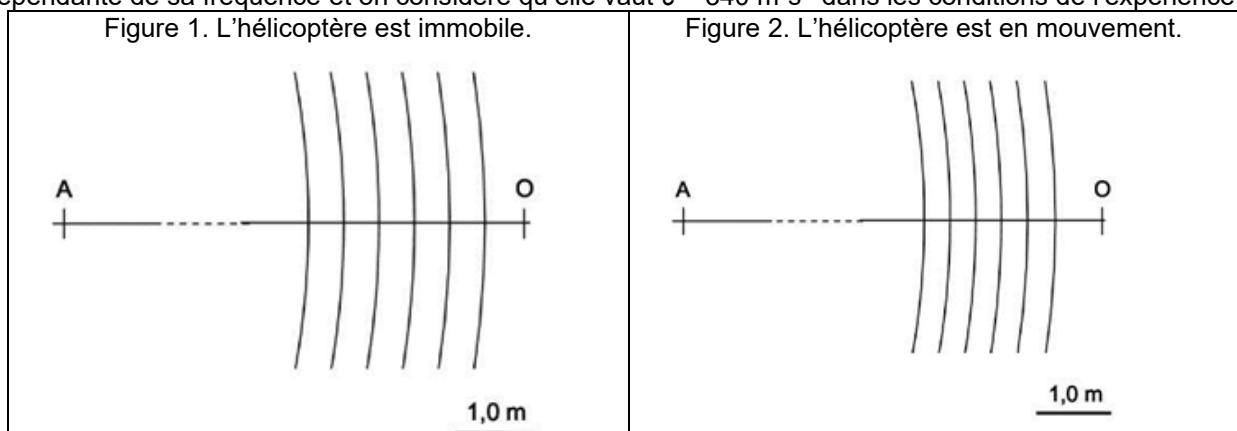
Figure 3. Amplitude du son (après traitement) au cours du temps pour le déplacement du mobile multifonction 3.

6. **Nommer** le phénomène physique en jeu lorsque les mobiles multifonction 1 et 2 émettent simultanément des ondes sonores sinusoïdales de même fréquence.
 7. En supposant que les deux mobiles émetteurs émettent deux sons en phase, **indiquer** une condition sur la différence de marche (qu'on **définira**) pour que le mobile 3 soit dans une zone correspondant à une amplitude faible.
 8. L'interfrange i est définie comme la distance entre deux minima consécutifs ou deux maxima consécutifs le long de l'axe Ox. **Estimer** la valeur de l'interfrange à partir de la figure 3.
- La distance D entre l'émetteur et le récepteur ne pouvant pas être considérée très grande par rapport à la distance b entre les deux sources, l'expression de l'interfrange i est un peu compliquée que celle vue en classe dans le cas des ondes lumineuses : ici, $i = \frac{\lambda \times D}{b} \sqrt{1 + \frac{b^2}{4D^2}}$.
9. **Calculer** la valeur de l'interfrange à l'aide de la relation donnée ci-dessus. Cette valeur est prise comme valeur de référence.
 10. En considérant que l'incertitude-type sur la valeur mesurée à la question 8 vaut $u(i) = 1 \text{ cm}$, **indiquer** grâce à un calcul si la valeur mesurée est compatible avec la valeur fournie par la relation ci-dessus. On rappelle que pour comparer une valeur mesurée notée x_{mes} à une valeur de référence notée $x_{réf}$, on peut calculer le rapport $\frac{|x_{mes} - x_{réf}|}{u(x_{mes})}$. Si sa valeur est inférieure à 2 on considère les deux valeurs compatibles.
 11. On suppose qu'on positionne le récepteur sur la médiatrice des deux sources (le mobile est alors à égale distance des deux émetteurs).
 - a. Si on rapproche brusquement le mobile récepteur en le laissant sur cette médiatrice, **justifier** qu'il y ait encore des interférences et qu'elles restent constructives.
 - b. **Décrire** les évolutions de la fréquence et de la longueur d'onde du signal reçu lors de ce rapprochement.

Exercice 2 - Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est $f = 8,1 \times 10^2 \text{ Hz}$.

Les portions de cercles des figures 1 et 2 ci-dessous donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 1, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 2, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence et on considère qu'elle vaut $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans les conditions de l'expérience.



1. Décrire la perception de l'observateur par rapport à la situation où l'hélicoptère serait immobile.
2. On montre que la fréquence du son perçu par l'observateur, notée f_r , lorsque l'hélicoptère est en mouvement s'exprime par l'une des deux formules suivantes :
 - ① $f_r = \frac{c}{c-v} \times f$
 - ② $f_r = \frac{c}{c+v} \times f$
 où v est la vitesse de l'hélicoptère.
 À l'aide d'un raisonnement qualitatif, choisir la relation adaptée à la situation.
3. Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ' de l'onde perçue lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.
4. En déduire la valeur de f_r .
5. En déduire une estimation de la valeur de la vitesse de l'hélicoptère en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.