

Exercice – Le trombone de Koenig

Remarque

Bac 2025 – Centres étrangers 1 (Jour 2) – Exercice 2 : le trombone de Koenig (5 points, durée conseillée 50 min). Sujet télé-chargé sur labolycee.org.

Le trombone de Koenig est un dispositif permettant de déterminer la célérité des ondes acoustiques. Il est composé de deux tubes en U emboîtés l'un dans l'autre. Le premier est fixe, le second est mobile. Un haut-parleur, alimenté par un générateur de basse fréquence, émet un son de fréquence fixe. Un microphone branché sur un oscilloscope mesure le signal à la sortie du dispositif. On suppose que les ondes ont la même amplitude dans les deux tubes et que leur propagation a lieu sans amortissement.

Lorsque le tube mobile est enfoncé au maximum (décalage nul), le dispositif est symétrique et les deux chemins suivis par les ondes ont la même longueur.

Lorsque le tube mobile est tiré, les deux chemins suivis sont différents : les ondes interfèrent.

D'après la Mission de Sauvegarde du Patrimoine Scientifique Technique Contemporain (patstec.fr).

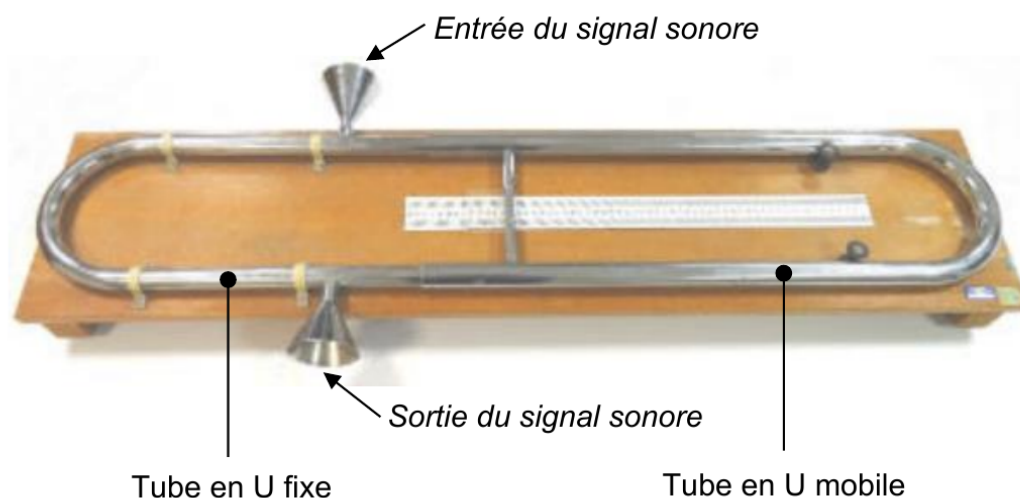


FIGURE 1 – Trombone de Koenig.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la célérité des ondes acoustiques dans l'air à 20°C .

Exercice – Le trombone de Koenig

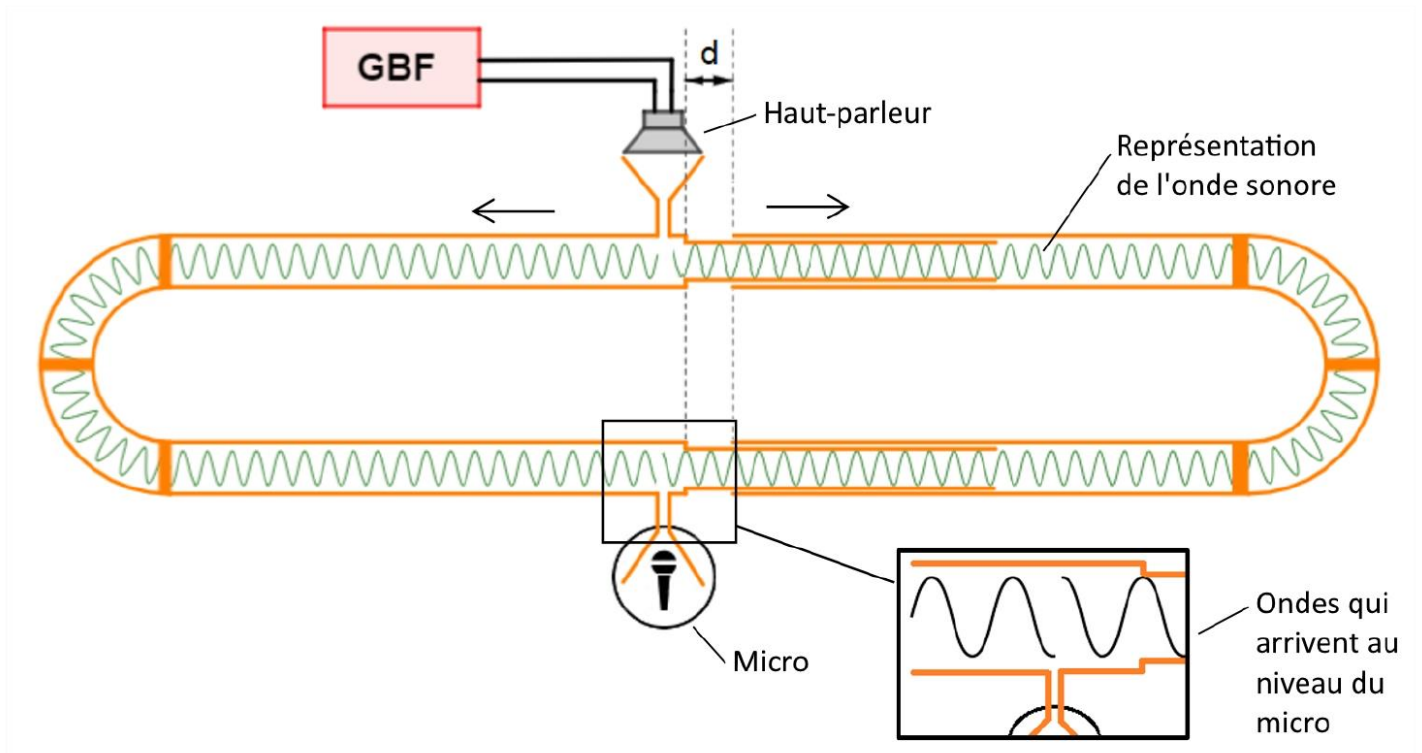


FIGURE 2 – Le tube mobile est décalé vers la droite d'une distance d (le sens de propagation des signaux est représenté par une flèche) – Expérience 1.

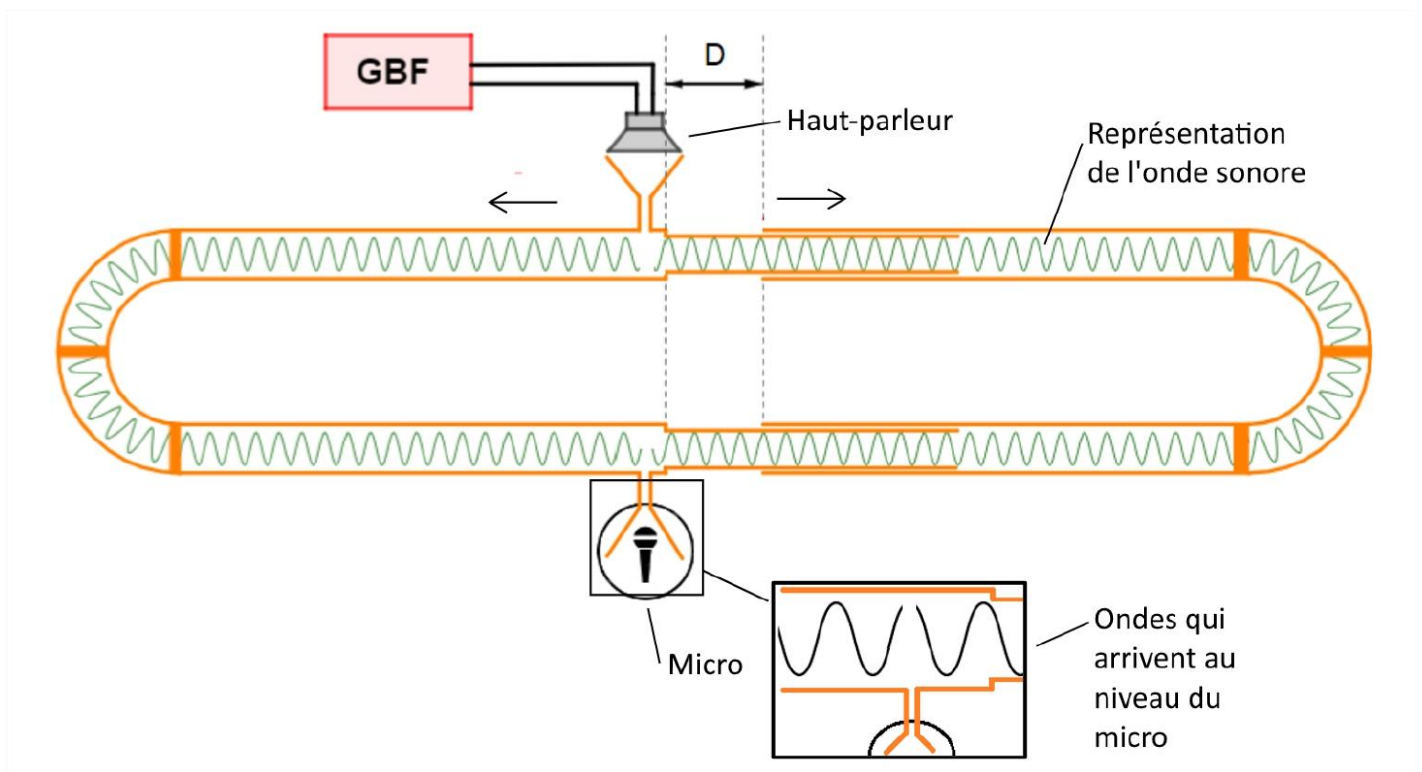


FIGURE 3 – Le tube mobile est décalé vers la droite d'une distance D (le sens de propagation des signaux est représenté par une flèche) – Expérience 2.

Exercice – Le trombone de Koenig

Q.1. Justifier en quoi le trombone de Koenig est un dispositif qui vérifie les conditions nécessaires à l'observation d'interférences au niveau du microphone.

✓ Correction

Les deux ondes qui arrivent au microphone sont issues de la **même source** (le haut-parleur alimenté par le GBF) : elles ont donc la même fréquence. De plus, une fois le tube mobile immobilisé, les deux chemins suivis sont fixes : le déphasage entre les deux ondes reste constant. Les deux ondes sont donc **cohérentes**; elles ont en outre la même amplitude (donné dans l'énoncé) et se superposent au niveau du microphone. Les conditions d'observation d'interférences sont donc réunies.

Sur l'écran de l'oscilloscope, on observe la figure suivante :

- la voie CH1 est reliée au GBF;
- la voie CH2 est reliée au microphone.

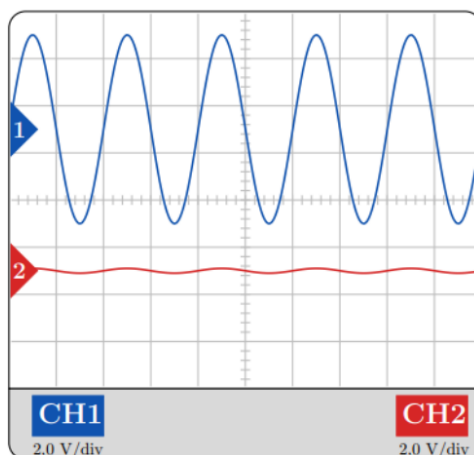


FIGURE 4 – Écran d'oscilloscope.

Q.2. Préciser le type d'interférences observé sur la figure 4 et justifier si celle-ci est associée à l'expérience 1 ou à l'expérience 2.

✓ Correction

Sur la voie CH2 (microphone), le signal a une amplitude très faible, quasiment nulle, alors que la voie CH1 (GBF) délivre une tension sinusoïdale d'amplitude notable. Les deux ondes arrivent donc en **opposition de phase** au niveau du microphone : il s'agit d'**interférences destructives**.

Ces interférences destructives sont associées à l'**expérience 1**, dans laquelle les deux ondes arrivent en opposition de phase au microphone. L'expérience 2 correspond, elle, au décalage D conduisant à des interférences constructives (questions suivantes).

Pour l'expérience 2, on définit δ , la différence de marche à l'instant t entre l'onde circulant dans le tube en U fixe et l'onde circulant dans le tube en U mobile.

Q.3. Exprimer δ en fonction de D .

✓ Correction

En sortant du tube mobile de la distance D , l'onde parcourt un chemin plus long de D à l'aller et de D au retour, soit $2D$ au total par rapport à l'onde circulant dans le tube fixe :

$$\delta = 2D$$

Exercice – Le trombone de Koenig

- Q.4. Rappeler la relation entre δ et λ , la longueur d'onde du signal sonore, dans le cas d'interférences constructives. On introduira dans cette relation un nombre entier positif k .

✓ **Correction**

Dans le cas d'interférences constructives, la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde :

$$\delta = k\lambda \quad \text{avec } k \text{ entier positif}$$

- Q.5. Montrer, à l'aide des questions 3 et 4, que pour tout k entier positif, la distance de décalage correspondante D_k , conduisant à des interférences constructives, peut se mettre sous la forme :

$$D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$$

avec v : célérité de l'onde sonore dans le trombone en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; f : fréquence de l'onde sonore dans le trombone en Hz.

✓ **Correction**

D'après la question 3, $\delta = 2D_k$; d'après la question 4, $\delta = k\lambda$. On a donc $2D_k = k\lambda$. Or $\lambda = \frac{v}{f}$, d'où :

$$2D_k = k \frac{v}{f} \quad \Rightarrow \quad D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$$

- Q.6. La plus petite distance de décalage D_1 permettant d'observer à l'écran des interférences constructives est $D_1 = 4,35 \text{ cm}$ pour une fréquence de l'onde sonore $f = 4032 \text{ Hz}$.

En déduire la valeur de la célérité de l'onde sonore se propageant dans le trombone de Koenig.

✓ **Correction**

D'après la question 5, $D_k = \frac{k}{2} \times \frac{v}{f}$, soit $v = \frac{2fD_k}{k}$. La plus petite distance de décalage correspond à $k = 1$:

$$v = 2fD_1 = 2 \times 4032 \text{ Hz} \times 4,35 \times 10^{-2} \text{ m} = 351 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

soit $v \approx 3,5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

On souhaite automatiser la détermination de la célérité v des ondes acoustiques, en exploitant toutes les valeurs D_k mesurées, à l'aide du programme écrit en langage python ci-dessous.

```
1 from statistics import mean
2
3 D=[4.32e-2,8.7e-2,13.1e-2,17.4e-2,21.6e-2] # décalage en mètre de la partie mobile du trombone
4 k=[1,2,3,4,5] # nombre de décalage permettant l'obtention d'interférences constructives
5 f=4032
6 v=[]
7
8 for i in range(len(D)): # i prend les valeurs successives 0,1,2,3,4
9     v_i=2*f*D[i]/k[i]
10    v.append(v_i)
11
12    Vson=round(mean(v)) # permet de calculer la moyenne Vson des grandeurs contenues dans la liste V
13
14 print("La vitesse moyenne du son dans le trombone est", Vson,"m/s")
15
16 Lambda=...
17 print("La longueur d'onde de l'onde acoustique dans le trombone est",Lambda,"m")
```

FIGURE 5 – Programme permettant de déterminer la célérité et la longueur d'onde des ondes acoustiques.

Q.7. Expliquer l'intérêt des lignes 8, 9 dans le programme.

✓ Correction

La ligne 8 parcourt toutes les valeurs de décalage D mesurées et la ligne 9 calcule, pour chacune d'elles, la célérité correspondante $V_i = \frac{2fD_i}{k_i}$. Le programme exploite ainsi **toutes les mesures** réalisées et non une seule : la moyenne calculée à la ligne 12 est donc plus fiable (les erreurs de mesure se compensent en partie), ce qui améliore la précision de la valeur de v obtenue.

Q.8. Proposer à la ligne 16, à l'aide des grandeurs définies dans le programme, une formule permettant de calculer la longueur d'onde λ (Lambda) des ondes acoustiques.

✓ Correction

La longueur d'onde se déduit de la célérité et de la fréquence par $\lambda = \frac{v}{f}$, soit, avec les grandeurs du programme :

$$\text{Lambda} = \text{Vson} / f$$