

Exercices de Spécialité Physique 8 : Instruments à vent

S'autoévaluer

1. QCM : Fréquence du fondamental

Un tube de longueur 85 cm, ouvert à ses deux extrémités, est placé devant un haut-parleur relié à un G.B.F. La vitesse du son dans l'air est $335 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Quelle sera la plus petite fréquence pour laquelle on percevra un son de forte amplitude ?

- a. 98,5 Hz ; b. 197 Hz ; c. 295 Hz ; d. 394 Hz.

2. QCM : Vitesse du son dans l'air

Un tuyau sonore de 66 cm, ouvert à ses deux extrémités, est excité par un haut-parleur à la fréquence de 1 500 Hz.

Un microphone est introduit dans le tube et permet d'observer des maxima de variation de pression sonore à intervalles réguliers de 11 cm. À partir de ces observations, quelle est la vitesse du son dans l'air ?

- a. $330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; b. $335 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
c. $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; d. on ne peut pas la calculer.

3. QCM : Note émise par un tuyau d'orgue

Lorsque la température s'élève, la vitesse du son dans l'air augmente. Comment varie une note émise par un tuyau d'orgue lorsque la température s'élève ?

- a. Elle est toujours la même. b. Sa hauteur augmente.
c. Sa hauteur diminue. d. Son timbre est modifié.

Utiliser les acquis

4. Construire sa flûte de Pan

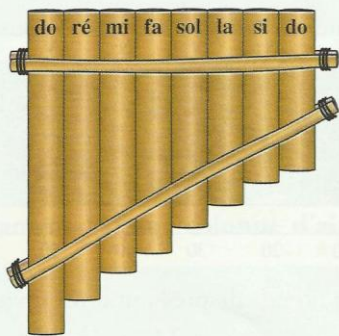
Sur un site Internet on peut trouver un protocole pour construire sa flûte de Pan.

- Utiliser des bambous ou des tuyaux en matière plastique pour faire huit tubes de longueurs différentes.

- Le fond de chaque tube doit être fermé soit par le nœud du bambou, soit par un bouchon de liège taillé, soit par du joint de silicone.

- Rassembler les huit tubes comme sur le dessin ci-dessus à l'aide de papier adhésif.

- Limer le haut de chaque tube avec du papier de verre pour éviter de s'abîmer les lèvres.



Note	do	ré	mi	fa	sol	la	si	do
Fréquence (Hz)	523	588	659	698	784	880	988	1 046
Taille tube (cm)	16,2	14,14	12,9	12,1	10,8	9,6	8,6	8,1

1. a. Quel est le système vibrant d'une flûte de Pan ? Quel est le résonateur ?

b. Comment le musicien change-t-il de note ?

2. a. Tracer le graphique correspondant à la longueur des tubes en fonction de la période T de la note jouée.

b. Quel est le coefficient directeur de la droite ?

3. Lorsqu'un système d'ondes stationnaires est établi dans le tube, on observe un nœud de vibration à l'extrémité fermée du tube et un ventre de vibration à l'extrémité ouverte.

a. On note d la distance entre un nœud et un ventre consécutifs. Quelle est la relation entre d et la longueur d'onde λ de l'onde stationnaire ?

b. En s'aidant de schémas sur lesquels apparaissent les nœuds (N) et les ventres (V) de vibration, montrer que la longueur L d'un tube est un multiple impair de la distance d .

c. Déterminer, en fonction de la vitesse V du son et de la longueur L du tube, les trois plus petites fréquences pour lesquelles il y aura des ondes stationnaires dans le tube.

d. Donner l'expression de la fréquence du mode fondamental en fonction de la longueur du tube.

4. Sachant que la vitesse de propagation du son dans l'air est $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, retrouver le résultat de la question 2. b.

5. Tuyaux sonores

Le mot « orgue » désigne un type d'instrument de musique dont on peut jouer à l'aide d'un ou de plusieurs claviers et d'un pédalier. Il produit les sons à l'aide d'ensembles de tuyaux sonores alimentés par une soufflerie.

Parmi les tuyaux à biseaux on trouve plusieurs catégories :

- les **fonds** qui sont des tuyaux ouverts, appelés aussi montre lorsqu'ils sont présentés en façade de l'instrument ;

- les **bourdons** qui sont des tuyaux bouchés et qui possèdent une sonorité plus sourde. Comme ils sont bouchés, ils émettent des sons d'une octave plus grave qu'un tuyau ouvert de même taille ;

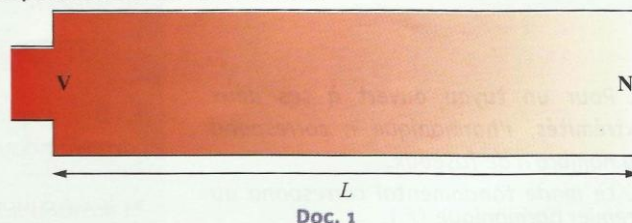
- les **mixtures** qui sont formées de plusieurs rangs de tuyaux groupés et qui émettent ensemble des sons riches en harmoniques.

La longueur des tuyaux est exprimée en pieds (32,48 cm : la longueur du pied du roi).

Lorsqu'une onde stationnaire s'établit dans un tuyau sonore, on observe un nœud (N) de vibration à une extrémité si cette extrémité est fermée, et un ventre (V) de vibration si cette extrémité est ouverte.

En simplifiant, on peut représenter le bourdon comme un tuyau sonore de longueur L fermé à une extrémité et ouvert à l'autre.

Pour le mode fondamental de vibration, les positions du ventre et du nœud sont données sur le **document 1** ci-dessous, schématisant l'amplitude de la vibration sonore.



Doc. 1

Donnée : Célérité du son dans l'air à 20 °C : $V = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

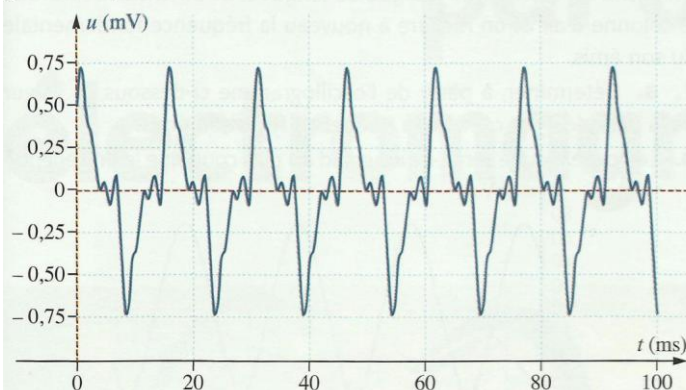
1. Les ondes sonores sont-elles des ondes transversales ou longitudinales ? Justifier.

2. Pour le mode fondamental, exprimer la longueur d'onde λ_1 , en fonction de la longueur L du tuyau. Justifier.

3. En déduire que la fréquence f_1 du mode fondamental s'écrit :

$$f_1 = \frac{V}{4L}$$

4. Un enregistrement du son de base d'un bourdon donne l'oscillogramme représenté sur le **document 2**.



Doc. 2

a. Déterminer, à partir de cet oscillogramme, la fréquence f_1 du mode fondamental. La hauteur de ce son correspond-elle à un son grave ou à un son aigu ?

b. En déduire la longueur L du bourdon utilisé. Exprimer cette valeur en centimètres puis en pieds.

5. Quelle devrait être la longueur minimale d'un tuyau ouvert aux deux extrémités (de type fond) pour donner une note de même hauteur ?

Lors du fonctionnement d'une mixture, on étudie le son produit par deux tuyaux. Pour ce faire, on mesure à 2 m des tuyaux le niveau sonore L_S (en décibel) produit successivement par chacun des deux tuyaux. On note $L_{S1} = 72 \text{ dB}$ et $L_{S2} = 75 \text{ dB}$.

On rappelle que le niveau sonore L_S est donné par la relation :

$$L_S = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

où I_0 représente l'intensité sonore de référence égale à $10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

6. Déterminer les intensités sonores I_1 et I_2 émises respectivement par chacun des tuyaux à la distance $d = 2$ m.

7. On admet que lorsque deux sons sont émis simultanément, l'intensité sonore résultante I est la somme des deux intensités sonores. En déduire le niveau sonore L_S perçu à 2 m dans ce cas.

6. Détermination expérimentale de la vitesse du son

Un diapason est placé au-dessus d'un tube vertical contenant de l'eau. Au bas du tube, un robinet permet de faire augmenter la longueur L de la colonne d'air au-dessus de l'eau [Doc. 1].

Le tube étant entièrement rempli d'eau, on fait vibrer le diapason puis on ouvre légèrement le robinet pour faire descendre le niveau d'eau. On repère les longueurs L pour lesquelles l'intensité sonore est maximale. Pour une expérience réalisée à 20 °C les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

L (cm)	19,6	58,9	98,0	137,1
----------	------	------	------	-------

1. a. Indiquer, dans cette expérience, quel est le système vibrant et quel est le résonateur ?

b. À quoi sont dues les variations d'intensité sonore perçues lors de l'expérience ?

2. Quelle est la fréquence de vibration de ce diapason sachant qu'il joue un la_3 ?

3. Lorsqu'un système d'ondes stationnaires est établi dans le tube, on observe un ventre de pression à l'extrémité fermée du tube et un nœud de pression à l'extrémité ouverte.

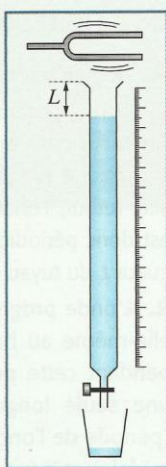
a. On note d la distance entre un nœud et un ventre consécutifs.

Exprimer d en fonction de la longueur d'onde λ ?

b. Montrer, avec des schémas, que les longueurs L pour lesquelles on entend des sons intenses, correspondent à des multiples impairs de d .

c. Exprimer λ en fonction de la vitesse V du son dans l'air.

4. À partir des résultats expérimentaux, déduire la valeur V de la vitesse du son dans l'air dans les conditions de l'expérience.



Doc. 1

8. Instruments à vent

A. Expressions théoriques

1. On suppose qu'une onde progressive se déplace sans atténuation, à l'intérieur d'un tuyau ouvert de longueur L . L'onde subit une réflexion sur chaque extrémité. Pour des fréquences bien déterminées, après un aller-retour, l'onde réapparaît identique à elle-même ; le phénomène est donc périodique de période T_n . Exprimer T_n en fonction de la longueur L du tuyau et de la vitesse V de propagation du signal dans l'air.

2. L'onde progressive est sinusoïdale, elle se reproduit identique à elle-même au bout d'une durée correspondant à une période T_1 ; pendant cette période, elle s'est propagée d'une distance égale à une seule longueur d'onde. Exprimer alors la relation entre T_1 (période de l'onde sinusoïdale), λ (longueur d'onde de l'onde sinusoïdale) et V (vitesse de propagation du signal dans le tuyau).

3. On donne la relation liant T_n et T_1 , lorsque l'onde progressive se propageant et se réfléchissant à l'intérieur du tuyau est sinusoïdale : $T_n = nT_1$. Comment nomme-t-on une telle onde ?

4. Déduire de la relation donnée à la question 3 et des résultats des questions 1 et 2 l'expression de la longueur d'onde de l'onde sinusoïdale en fonction de la longueur L du tuyau.

5. On suppose que le tuyau émet un son de fréquence f_n .

On donne la relation liant la longueur d'onde de l'onde sinusoïdale, la fréquence f_n du son émis par le tuyau et la vitesse V de propagation

$$\text{tion du signal dans l'air : } \lambda = \frac{V}{f_n}.$$

Déduire de cette relation et du résultat de la question 4 une relation entre la fréquence f_n du son émis par le tuyau, la vitesse V de propagation du signal dans l'air et la longueur L du tuyau.

B. Détermination de la vitesse de propagation d'une onde sonore dans un tuyau

Un tuyau d'orgue de longueur à vide $L_1 = 86,4$ cm est ouvert à ses deux extrémités.

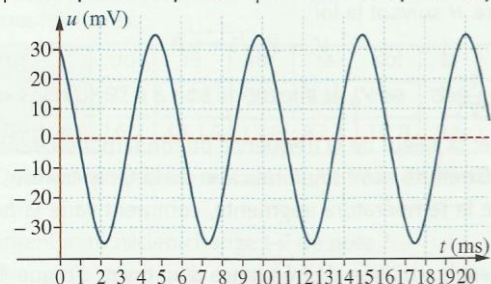
On excite la colonne d'air à l'aide d'un haut-parleur et on mesure la

fréquence du son émis grâce à un microphone couplé à la carte son d'un ordinateur, muni d'un logiciel de traitement du son.

Le logiciel d'acquisition est muni d'un filtre électronique lui permettant d'isoler la fréquence de réponse spectrale de plus grande amplitude : la fréquence fondamentale.

1. Quelle(s) condition(s) doit remplir un instrument de musique pour produire un son ?

2. À partir de l'oscillogramme ci-dessous, déterminer la valeur de la période T_1 ainsi que la fréquence f_1 du son émis par le tuyau.



Doc. 1 Enregistrement obtenu pour un tube de longueur L_1 .

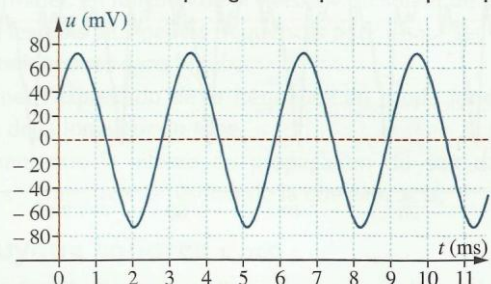
3. Déterminer la valeur de la vitesse de propagation de l'onde sonore à l'intérieur du tuyau à partir de la relation établie à la question A.5 et de la valeur de la fréquence f_1 .

C. Détermination de la longueur d'un tuyau

On prend un autre tuyau d'orgue de longueur L . On excite à nouveau la colonne d'air et on mesure à nouveau la fréquence fondamentale du son émis.

1. a. Déterminer, à partir de l'oscillogramme ci-dessous, la valeur de la période T_2 et celle de la fréquence f_2 du son émis.

b. Le nouveau tube sera-t-il plus grand ou plus court que le précédent ?

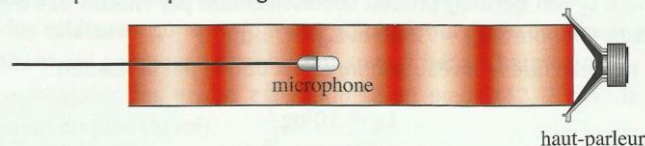


Doc. 2 Enregistrement obtenu pour un tube de longueur L_2 .

2. On suppose que la vitesse V de propagation de l'onde sonore est toujours la même qu'à la question B.3 ; déduire du résultat de la question C.1.a et de la relation établie au A.5, la longueur du nouveau tube.

D. Modes de vibration d'une colonne d'air

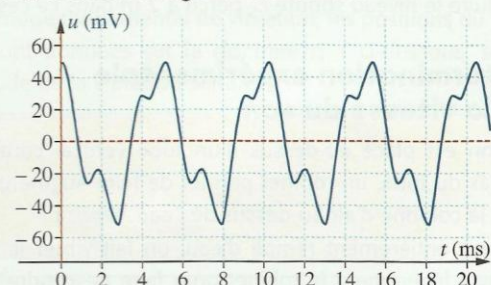
On donne l'allure de la colonne d'air, lors d'une mesure de l'amplitude sonore pour une fréquence correspondant à un mode harmonique : recopier et légénder le schéma ci-dessous.



Donner, sur un autre schéma, l'allure de la colonne d'air lors de la mesure de la fréquence correspondant au mode harmonique 3.

E. Acoustique musicale et physique des sons

On joue une note de fréquence f_1 avec un autre instrument de musique : on obtient l'enregistrement suivant.



Doc. 3 Enregistrement obtenu pour un autre instrument.

1. Définir le timbre d'un instrument de musique.

2. a. Définir la hauteur d'un son.

b. Préciser la hauteur du son correspondant à la note de fréquence f_1 .

3. Comparer les hauteurs des sons correspondant aux différents enregistrements.