Activité expérimentale
Les tuyaux sonores des orgues

→ 1 seul compte-rendu par binôme ; bien soigner la rédaction et la présentation

Mots-clefs : Instrument à cordes ; harmonies

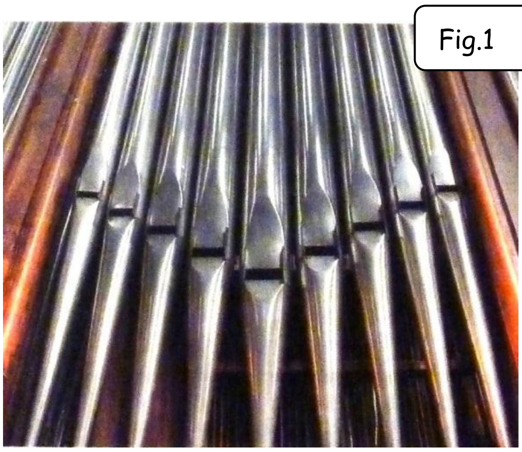


Fig.1

A. Problématique

Un orgue est constitué de tuyaux sonores de différentes longueurs. Généralement, ces tuyaux sont à embouchure de flûte (**fig.1**) : l'air entrant vient frapper le biseau de ces tuyaux ouverts à leur extrémité inférieure. L'autre extrémité des tuyaux peut être soit ouverte (« tuyau à bouche », qui produit un son « brillant »), soit fermée (« tuyau à anche », qui produit un son « creux »).

B. Analyse du problème

Comme dans tout instrument à vent, un tuyau sonore d'un orgue émet le son désiré lorsqu'il est le siège d'**ondes sonores stationnaires** qui résultent de la superposition d'ondes incidentes et d'ondes réfléchies sur ses extrémités ouverte ou fermée.

Ces ondes stationnaires ne peuvent s'observer (ou plutôt « s'entendre »), pour un tuyau donné, que pour certaines fréquences que le tuyau lui-même va sélectionner. Ces fréquences sont appelées « fréquences de résonnance » ou « harmoniques ».

Dans le tuyau sonore d'un instrument à vent, l'existence d'une onde sonore stationnaire se traduit par l'existence de maxima de vibration minima de pression) appelés « ventres » et de minima de vibration (maxima de pression) appelés « nœuds ». Un tuyau fermé se terminera donc naturellement par un « nœud » et un tuyau ouvert, par un « ventre ».

La distance séparant deux nœuds de vibration est égale à une demi-longueur d'onde « $\frac{\lambda}{2}$ » (**fig. 2**)

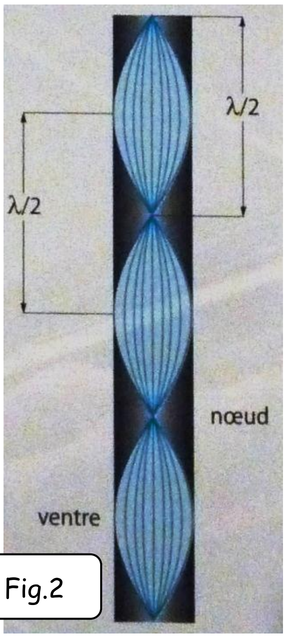


Fig.2

→ Problème à résoudre : Dans un instrument à vent, comme un orgue, comment déterminer la note jouée par un tuyau sonore ?

C. Construction des étapes de la résolution

Si vous n'arrivez pas à répondre à certaines questions, passez directement à la manipulation

1) Quelles grandeurs physiques interviennent dans le son émis par les tuyaux sonores ?
2) Au laboratoire de physique, comment peut-on générer une onde sonore à une certaine fréquence ?
3) Comment savoir si cette fréquence est une « fréquence de résonnance » pour un tuyau donné ?
4) Comment, pour un tuyau donné, repérer les différentes « fréquences de résonnance » ou harmoniques ?
5) Comment étudier l'influence de la longueur du tuyau sur les fréquences de résonance ?
6) Pour une fréquence de résonance donnée, comment pourrait-on repérer, à l'intérieur d'un tuyau sonore, les « ventres » et les « nœuds » ?

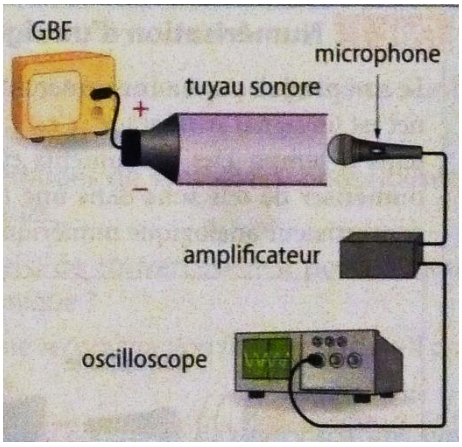
D. Mise en œuvre des étapes de la résolution

Matériel : *• Choisir deux tuyaux parmi les quatre tuyaux sonores (tubes cylindriques en PVC) de longueurs différentes • haut-parleur • microphone explorateur • GBF • oscilloscope*

• Réaliser le montage, afin de générer des ondes sonores à l'aide du haut-parleur relié à un GBF. On visualise la tension aux bornes du microphone en le branchant à la voie 1 de l'oscilloscope. (**fig. 3**)

Pour chacun des deux tuyaux : (effectuer le travail entier pour un tuyau puis recommencer pour l'autre).

Montage à réaliser (fig. 3)



• Disposer le haut-parleur le plus près possible d'une extrémité d'un tuyau (sans contact), et le microphone juste à l'autre extrémité

• Régler la fréquence du GBF à « 250 Hz », et l'amplitude du signal « AMPL LEVEL » sur « 2 V p-p »

• Augmenter progressivement la fréquence du GBF (on réalise alors un « balayage en fréquence »), et rechercher les cinq premières valeurs de la fréquence pour lesquelles le son émis est intense (amplitude maximale). Ces fréquences sont les « fréquences de résonnance » possibles, appelées harmoniques : elles sont notées « F_n », avec « n » un entier égal à 1, 2, 3, …

• Recopier le tableau, et noter les valeurs de fréquence mesurées pour vos deux tuyaux. Arrondir les valeurs trouvées à 10 Hz près (310 Hz, 1 090 Hz, etc…) :

Longueur du tuyau (cm)	F_1 (Hz)	F_2 (Hz)	F_3 (Hz)	F_4 (Hz)	F_5 (Hz)
17					
22					
33					
50					

7) La plus petite fréquence pour laquelle le son est obtenu est maximal, appelé « fondamentale » et notée « F_1 », dépend-elle de la longueur du tube ?
8) Si oui, comment cette fréquence « F_1 » varie-t-elle lorsque la longueur du tube augmente ?
9) Pour chaque tube, calculer les rapports « $\frac{F_2}{F_1}$ », « $\frac{F_3}{F_1}$ », « $\frac{F_4}{F_1}$ », « $\frac{F_5}{F_1}$ ».
10) En déduire une relation entre « F_n » et « F_1 ».

E. Détermination de la vitesse de propagation des ondes sonores

→ Reprendre le même montage, avec le **tuyau « 50 cm » ou « 33 cm »**. Cette fois-ci, la fréquence est constante, et on déplace le microphone dans le tube.

• Régler la fréquence du GBF sur une des valeurs de fréquences de résonnance du tuyau choisi. Par exemple F_3 pour le tuyau de 33 cm ou F_5 pour le tuyau de 50 cm

• Placer le microphone dans le tube, juste au niveau de son extrémité.

• Déplacer le microphone vers l'autre extrémité (le HP), et observer simultanément l'évolution de la tension à l'oscilloscope.

• Lorsque le microphone est relié à un oscilloscope, celui-ci permet de mesurer une tension électrique qui est proportionnelle à la pression acoustique. Relever la position du micro, à l'aide des graduations, lorsqu'un ventre ou un nœud est observé à l'écran. On rappelle que les maxima de pression sont des nœuds et les minima de pression des ventres.

• Compléter le tableau suivant :

Tuyau → **L = ______ cm**	Position du premier « ventre »	Position du deuxième « ventre »
	x_1 = ________ cm	x_2 = ________ cm
Fréquence du GBF F... = ___________ Hz	Position du premier « nœud »	Position du deuxième « nœud »
	x_3 = ________ cm	x_4 = ________ cm

11) En s'aidant de la « fig.2 », calculer la valeur de « $\frac{\lambda}{2}$ » : $\frac{\lambda}{2}$ = ____ cm

12) Rappeler la relation entre la longueur d'onde « λ », la vitesse de propagation d'une onde « v » et sa fréquence « F ».

13) Si la vitesse du son dans l'air était de v = 344 $m.s^{-1}$, pouvez-vous retrouver la valeur de fréquence choisie ?

14) Evaluer l'incertitude « Δx » sur la mesure de la position des ventres : Δx = ____ cm

15) En déduire un encadrement de « $\frac{\lambda}{2}$ » : ____ < $\frac{\lambda}{2}$ (cm) < ____

Aide : *Si « $y = x_2 - x_1$ », alors* $\Delta y = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$

16) En déduire alors un encadrement de la longueur d'onde « λ » : ____ < λ (cm) < ____

17) Calculer la vitesse de propagation de l'onde sonore, et l'exprimer sous la forme d'un encadrement :
____ < v ($m.s^{-1}$) < ____

18) La valeur théorique de la célérité « v » du son dans l'air se calcule à l'aide de la relation : $v = \sqrt{\alpha . T}$, avec α = 402 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, et « T » la température en kelvin. *Aide : T(kelvin) = T(degré Celsius) + 273*

Calculer cette valeur théorique : $v_{théorique}$ (son dans l'air) = ___________ $m.s^{-1}$

19) Est-ce que les deux valeurs sont concordantes (la valeur théorique appartient aux valeurs possibles de l'encadrement) ?