

On étudie une onde acoustique unidimensionnelle se propageant dans un tuyau de longueur L , de section constante, d'axe Ox ($0 \leq x \leq L$, cf. schémas ci-dessous).

On note :

- le champ des vitesses $\vec{v}(x,t) = v(x,t)\vec{e}_x$;
- la pression $P(x,t) = P_0 + p_I(x,t)$ où $p_I(x,t)$ est la surpression acoustique ;
- la masse volumique $\mu(x,t) = \mu_0 + \mu_I(x,t)$.

On se place dans le cadre de l'approximation acoustique et on considère que $c = 340 \text{ ms}^{-1}$.

Rappels :

- À l'interface entre deux milieux, les coefficients de réflexion en amplitude pour la surpression et la vitesse sont liés par : $r_v = -r_p$;
- Impédance acoustique : $Z_i = \frac{p_i(x,t)}{v_i(x,t)} = \mu_0 c$ et $Z_r = \frac{p_r(x,t)}{v_r(x,t)} = -\mu_0 c$.

Réflexion à une extrémité

Une onde sonore plane progressive harmonique se propage dans le sens des x croissants :

$p_i(x,t) = p_0 e^{j(\omega t - kx)}$. On note $v_i(x,t)$ l'onde de vitesse correspondante.

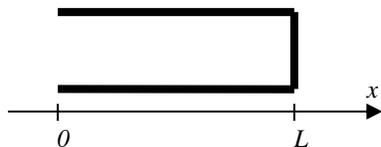
On étudie l'onde réfléchie sur l'extrémité $x = L$ et l'onde résultante.

1) Onde incidente

Donner l'expression de $v_i(x,t)$ en fonction de p_0 , ω , k et des caractéristiques du milieu de propagation. On note μ_0 la masse volumique moyenne de l'air et c la vitesse de propagation des ondes sonores progressives dans l'air.

2) Extrémité fermée

L'extrémité $x = L$ est fermée.

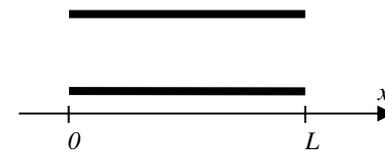


- a) Que peut-on dire du champ des vitesses $v_I(x,t)$ en $x = L$?
- b) En déduire la valeur du coefficient de réflexion r_v puis du coefficient r_p .
- c) Donner alors les expressions des ondes réfléchies $p_r(x,t)$ et $v_r(x,t)$.
- d) En déduire l'expression de l'onde de pression $p_I(x,t)$ et de l'onde de vitesse $v(x,t)$ dans le tuyau.
Commenter ces résultats.

3) Extrémité ouverte

L'extrémité $x = L$ est ouverte.

On considère que l'extrémité ouverte impose la condition $P(x = L, t) = P_0$ (pression atmosphérique).



- a) Que vaut la surpression acoustique à l'extrémité ouverte $p_I(x = L, t)$?
En déduire les expressions des coefficients r_p et r_v .
- b) Donner alors les expressions des ondes réfléchies $p_r(x,t)$ et $v_r(x,t)$.
- c) En déduire l'expression de l'onde de pression $p_I(x,t)$ et de l'onde de vitesse $v(x,t)$ dans le tuyau.
Commenter.

Modes propres

4) Ondes stationnaires

Pour chaque configuration ci-dessus, préciser les modes propres des ondes stationnaires observées. Exprimer en particulier λ_n en fonction de L , f_n en fonction de L et c . Représenter graphiquement le champ de surpression pour le fondamental et l'harmonique suivant (préciser son rang).

5) Flûte traversière

Une flûte traversière est un tuyau de section constante, de longueur $L = 65 \text{ cm}$.



<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Flute.jpg>

- a) Quelle est la nature de la condition à l'extrémité opposée à l'embouchure ?
- b) Lorsque tous les plateaux sont fermés, l'instrument émet un *do* de fréquence $f_1 = 261,6 \text{ Hz}$. En déduire la nature de la condition au niveau de l'autre extrémité (l'embouchure).
- c) En forçant le souffle, on peut émettre l'harmonique correspondant au mode propre suivant. Quel est le rapport de sa fréquence avec celle du fondamental ?

6) Clarinette

La longueur d'une clarinette est $L = 60 \text{ cm}$.



<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Clarinete.jpg>

Reprendre les questions précédentes sachant que le son le plus grave émis par une clarinette est le *ré* de fréquence $f_1 = 146,8 \text{ Hz}$.