

VITESSE DU SON DANS L'AIR

1 But

Cette expérience¹ a pour but de mesurer la vitesse du son dans l'air à l'aide de la résonance dans un tuyau *fermé*, c.-à-d. ouvert seulement à une extrémité. Vous pouvez trouver de l'information sur les sujets sous-jacents dans votre manuel de cours: vitesse du son, ondes longitudinales stationnaires, résonance dans un tube, etc. Cette expérience est analogue au laboratoire "Ondes stationnaires" - sauf qu'il s'agit ici d'ondes *longitudinales* et non d'ondes *transversales*.

2 Matériel

Le montage expérimental consiste en un long tuyau avec un piston mobile et une source de fréquences connues (diapasons ou haut-parleur branché à un générateur de fréquences). La longueur de la colonne d'air dans le tuyau est variée en bougeant le piston aux positions où les ondes stationnaires se produisent.

3 Théorie

Nous supposons ici que la vitesse du son, v , est définie en termes de sa fréquence f et de sa longueur d'onde λ par la relation

$$v = \lambda f. \quad (1)$$

La longueur d'onde λ peut être déterminée expérimentalement à l'aide d'ondes stationnaires, c.-à-d. lorsqu'on entend le tuyau résoner avec une *intensité sonore maximale*, quand sa longueur est appropriée (voir Figure 1).

¹Adapté de: Experiment 8 - Speed of Sound in Air, *Physics Laboratory Manual- Phys 124/126*, Department of Physics, University of Alberta.

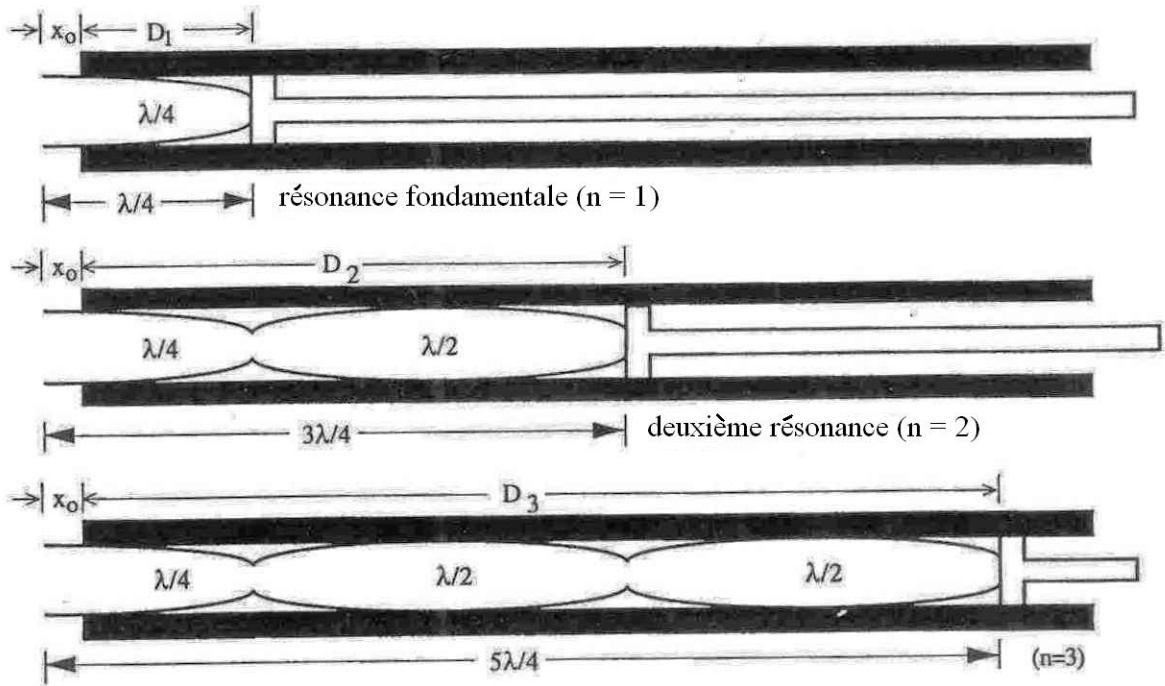


Figure 1: Distances successives pour les ondes stationnaires dans un tuyau fermé.

Pour un signal sonore d'une longueur d'onde donnée, une onde stationnaire sera établie à des longueurs de tuyau particulières. L'onde consiste en un série de noeuds (points d'amplitude nulle, où les molécules d'air sont stationnaires) et de ventres (points d'amplitude maximale, où les molécules oscillent beaucoup) qui se trouvent à des positions fixes (Figure 1). Pour une longueur d'onde donnée λ , ces résonances sont établies quand la longueur L_n de la colonne d'air est un *multiple impair de quarts de la longueur d'onde*, c.-à-d.: $L_n = \frac{\lambda}{4}$, $\frac{3\lambda}{4}$, $\frac{5\lambda}{4}$, etc., ou encore

$$L_n = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Remarquez que la longueur *totale* L_n de la colonne d'air est plus *grande* que la distance de la chambre d'air à l'intérieur du *tuyau* D_n . Ceci est parce que le centre du ventre à l'extrémité ouverte du tube est situé en *dehors* du tuyau d'une distance x_0 . De la Figure 1, nous pouvons voir que $L_n = D_n + x_0$, de sorte que

$$L_n = D_n + x_0 = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Dans un cas idéal, le terme de correction x_0 est constant et indépendant de l'ordre de résonance n et de la fréquence f .

À l'aide des équations (1) et (3), nous pouvons exprimer D_n en termes de la vitesse v et de la fréquence f pour des résonances successives n :

$$D_n = (2n - 1) \frac{v}{4f} - x_0 \quad n = 1, 2, 3... \quad (4)$$

En mesurant la distance de la chambre à air D_n à différentes valeurs d'ordre de résonance n et à différentes fréquences f , un graphique peut être tracé à partir de l'équation (4) linéarisée, et ainsi déterminer la vitesse du son v et le terme de correction inconnu x_0 .

4 Manipulations

1. Déplacez le piston dans le tube tout en tenant un diapason près de l'ouverture. À certains endroits le long du tuyau, un *son fort* à la fréquence du diapason sera entendu. Ce sont les positions de résonance. Pour chaque diapason, obtenez ainsi les longueurs de la chambre d'air dans le tuyau D_1 , D_2 , et D_3 , illustrées à la Figure 1. Si la fréquence fondamentale du diapason est la seule présente, les longueurs D_n seront dans un rapport de 1:3:5.... Évaluez l'erreur de D (ΔD) en notant l'étendue sur laquelle le son semble avoir une puissance constante. Vous devriez trouver une erreur relativement faible. L'incertitude du diapason est petite, alors l'erreur des fréquences peut être considérée négligeable.

Remarques: Utilisez un maillet en caoutchouc pour frapper le diapason. Ceci fera vibrer le diapason à sa fréquence fondamentale, indiquée sur le diapason. Si vous frappez brusquement le diapason sur la table du laboratoire, d'autres fréquences (harmoniques) seront excitées. De plus, le diapason pourrait être endommagé.

Si le diapason est frappé brusquement, il ne produira pas seulement la fréquence fondamentale f , mais aussi le premier harmonique, de fréquence $2f$. Alors ceci est à éviter durant vos mesures. Vous pouvez détecter les harmoniques lorsque vous entendez un son à un octave plus élevé que le mode fondamental du diapason. De plus, cette résonance n'est pas aussi forte que celle de la fréquence fondamentale. Une autre méthode pour détecter les harmoniques est d'observer le patron des longueurs de résonance. Si la fréquence fondamentale est uniquement présente, les longueurs D_n seront dans un rapport de 1:3:5....

2. Mesurez le diamètre intérieur du tube. Le rayon correspondant sera écrit R , et permettra de calculer le terme de correction x_0 .
3. Mesurez aussi la température de la pièce où vous avez mesuré les valeurs D_n . Celle-ci permettra de calculer la vitesse théorique du son dans le tube.

5 Analyse des résultats

1. Démontrez comment l'équation (4) peut être linéarisée de sorte que le graphique linéaire donnera directement les résultats de v et x_0 . Identifiez les constantes et les variables de l'équation (4) d'après la procédure de cette expérience. Et déterminez les quantités de l'équation (4) qui correspondent à l'axe des x , à l'axe des y , à la pente et à l'ordonnée à l'origine du graphique.
2. Faites un tableau de vos données brutes pour f , n , D_n , et toutes données calculées. Assurez-vous d'avoir un nombre suffisant de colonnes pour inclure la variable de l'axe des x et la variable de l'axe des y du graphique linéaire prévu.
3. Tracez le graphique linéaire suggéré à l'étape 1, ci-dessus. Déterminez les valeurs expérimentales pour la vitesse du son $v_{\text{exp}} \pm \Delta v_{\text{exp}}$ et le facteur de correction $x_{0\text{exp}} + \Delta x_{0\text{exp}}$ à partir de ce graphique.
4. La vitesse du son v_0 dans l'air sec à 0°C (273.15 K) est $v_0 = 331.3$ m/s. Puisque cette vitesse varie selon la vitesse moyenne des molécules d'air, et cette dernière augmente avec la température, nous pouvons utiliser un facteur de correction pour calculer la vitesse théorique du son $v_{\text{théo}}$ à la température de la pièce:

$$v = v_0 \sqrt{\frac{T}{273.15}} \quad (5)$$

où T est mesurée en degrés kelvin. Utilisez votre mesure de T pour calculer la vitesse théorique du son $v_{\text{théo}}$. Comparez les deux valeurs de v , soit v_{exp} et $v_{\text{théo}}$. Sont-elles égales à erreur près? Quel est le pourcentage d'écart entre ces deux valeurs?

5. Un calcul théorique montre que x_0 est relié approximativement au rayon intérieur du tube, R , par la relation

$$x_{0,\text{théo}} \approx 0.6R. \quad (6)$$

Comparez cette valeur théorique $x_{0,\text{théo}}$ à la valeur que vous avez obtenue expérimentalement $x_{0,\text{exp}}$. Sont-elles égales à erreur près? Quel est le pourcentage d'écart entre ces deux valeurs?

6 Questions

(Insérez vos réponses dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport. Vous pouvez répondre aux questions 1 à 4 avant la séance de laboratoire.)

1. Quelle est la distance entre deux noeuds successifs, en termes de la longueur d'onde λ ?

2. Expliquer physiquement pourquoi il doit y avoir un noeud à l'extrémité fermée du tuyau. Si le tuyau était fermé aux *deux* extrémités, et supposant que nous aurions un système pour y générer une onde, quel serait le rapport L_2/L_1 pour les deux premières résonances? Déterminez L_2/L_1 en dessinant le patron de l'onde stationnaire pour L_1 et celui de L_2 .
3. Déterminez le rapport L_2/L_1 pour un tuyau à une extrémité fermée comme celui utilisé dans cette expérience. Comparez ce rapport (pour un tuyau fermé à une extrémité) avec le rapport L_2/L_1 pour un tuyau fermé aux deux extrémités déterminé à la question 2.
4. Si la température à l'intérieur du tuyau passait de 23 degrés à 25 degrés celsius, calculez le pourcentage de variation dans la vitesse du son, selon l'équation (5). Commentez brièvement.