

Expérience 4

Les ondes stationnaires

I. Introduction et objectifs

Une onde est une perturbation qui voyage ou *se propage* sans déplacement permanent de matière. La vitesse d'une impulsion sur une corde dépend seulement des caractéristiques de la corde : tension et densité de masse linéique. Lorsqu'une impulsion se propageant le long d'une corde est réfléchiée à une extrémité fixe, elle est inversée.

Les ondes stationnaires sont produites par la superposition de deux ondes sinusoïdales de même amplitude et de même fréquence qui voyagent dans des sens opposés. Sur une corde fixe aux deux extrémités, il ne peut se produire que certaines ondes stationnaires résonantes.

Première partie; Ondes stationnaires sur une corde tendue

Objectifs

Après cette expérience, vous serez en mesure :

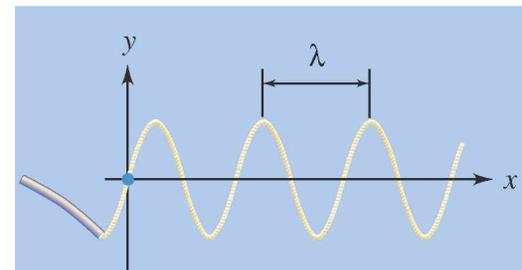
1. De mesurer la vitesse de propagation des ondes sur une corde tendue.
2. De produire et observer des ondes stationnaires.
3. De mesurer la fréquence de plusieurs harmoniques.
4. De démontrer la dépendance de la vitesse v en fonction de la tension F .

II. Équipements

- Vibrateur électrique
- Mètre
- Balances
- Chronomètre
- Poulie et support
- Corde
- Masses calibrées (1% d'incertitude sur les valeurs indiquées)

III. THÉORIE

La figure ci-dessous représente un montage servant à produire une onde sinusoïdale progressive sur une corde fixée à ses deux extrémités. Une extrémité de la corde est attachée à une lame qu'on fait osciller à de faibles amplitudes. Lorsque la lame oscille verticalement en effectuant un mouvement harmonique simple, une onde progressive se propage vers la droite sur la corde.



Sur cette corde tendue fixée à ses deux extrémités, les ondes progressives se réfléchissent aux extrémités. Les ondes incidentes et réfléchies se combinent conformément au principe de superposition.

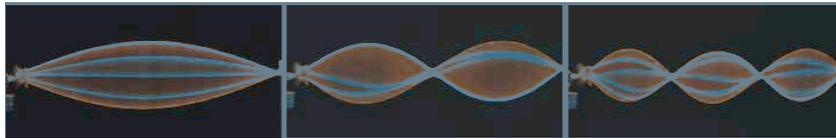
La corde possède un certain nombre de modes de vibration propre. Chacun de ces modes est caractérisé par une fréquence facile à calculer. Les fréquences propres associées à ces modes sont déduites de la relation $f = v/\lambda$, où la vitesse de l'onde v est la même pour toutes les fréquences.

Puisque

$$v = \sqrt{F/\mu}$$

où F est la tension dans la corde et μ sa masse par unité de longueur, nous pouvons exprimer les fréquences propres d'une corde tendue sous la forme :

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$



Voici les trois premiers modes de vibration

IV. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE.

Le dispositif est constitué d'un fil de longueur l fixé à la lame d'un vibreur électrique. Le fil passe par une poulie et est tendu par l'intermédiaire de masses. Le vibreur se compose essentiellement d'un petit électroaimant et d'une lame métallique qui, excitée directement par le courant du secteur, vibre à 60 Hz.

1. Ajoutez des masses au support (de 50 g) afin de produire une onde stationnaire avec deux ventres. Mesurez la distance entre deux noeuds consécutifs. Notez ces valeurs dans le tableau 1.
2. Refaites la manipulation précédente afin d'obtenir 3, 4, 5, 6 et 7 ventres.
3. Calculez la tension associée à la masse suspendue.
4. Déterminez la longueur d'onde pour chaque mode de vibration.
5. Faites un graphique de λ^2 vs F .

Tableau 1

Masse de la corde m _____ \pm _____ g
 Longueur de la corde l _____ \pm _____ m

Nombre de ventres	Masses suspendues m	Tension F	Distance entre deux noeuds consécutifs	Longueur d'onde λ	λ^2
	g	N	m	m	m ²
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
2					
3					
4					
5					
6					
7					

V. Rapport (première partie)

- Page de présentation
 - Tableau des résultats
 - Graphique de λ^2 vs F
 - Détermination de μ (et de son incertitude)
 - Commentez ce résultat
 - Répondez aux questions suivantes
1. Déterminez la masse qu'on devrait suspendre afin d'obtenir un seul ventre.
 2. Calculez le % d'écart entre la valeur expérimentale de μ (à partir du graphique) et la valeur théorique soit $\mu = m/l$

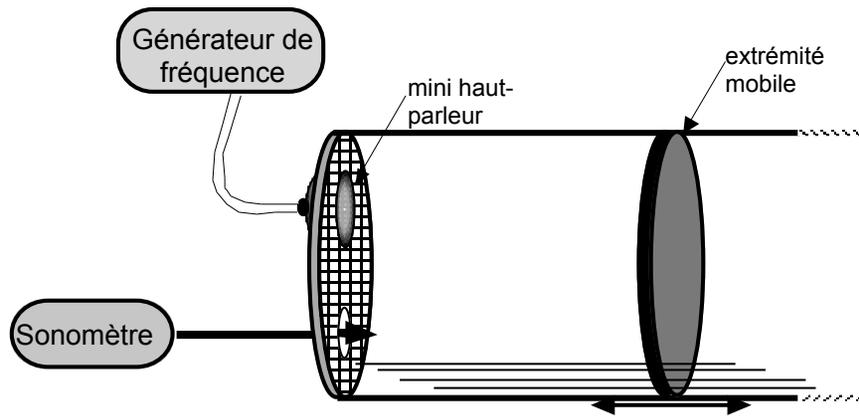
Deuxième partie; Mesure de la vitesse du son

Matériel:

- Tube gradué muni d'un haut-parleur
- Générateur de fréquence *BK Precision*
- Sonomètre *Extech Instruments*

Dans la première partie de l'expérience, vous avez utilisé l'équation reliant les fréquences résonantes (mode d'oscillation propre) et la vitesse d'une onde sur une corde tendue afin de déterminer la densité linéaire de cette corde. On procède plus ou moins de la même façon pour obtenir la vitesse d'une onde sonore.

Vous disposez d'un tube **fermé** à ses deux extrémités. À l'une des extrémités est fixé un petit haut-parleur et une ouverture est pratiquée dans la paroi afin de pouvoir y introduire le microphone du **sonomètre**, appareil qui servira à mesurer l'intensité sonore. L'autre extrémité est mobile; vous pouvez donc ajuster la longueur du tube.



Ce ne sont pas toutes les fréquences qui peuvent produire une onde sonore stationnaire à l'intérieur d'un tube d'une longueur donnée (voir les schémas de la section 3.2 du manuel. Attention: vous devez adapter ces schémas aux conditions de votre montage). Seulement certains modes de vibrations (ou harmoniques) produiront un son d'une grande intensité. L'air que contient le tube entre alors en résonance.

Manipulations

Ajustement du générateur de fréquence

Après avoir mis l'appareil sous tension (**Power**), choisissez l'échelle de fréquence de 5 kHz (**5K**) et une forme d'onde sinusoïdale (\sim). La fréquence s'ajuste à l'aide des deux boutons **Coarse** et **Fine** . Il y a un petit délai entre l'ajustement de la fréquence et son affichage. L'intensité du signal s'ajuste avec le bouton **Output Level**. Tous les autres boutons doivent être à «Off».



Ajustement du sonomètre

Utilisez dans un premier temps l'échelle d'intensité de 100 dB. Placez les deux autres boutons à **S** et à **C**.



Observations

Dans un premier temps, remarquez les similitudes et les différences que présente ce montage par rapport au montage de la corde vibrante. Quels sont les paramètres sur lesquels vous pouvez agir dans l'un et l'autre cas; ceux qui demeurent constants ?

Choisissez une fréquence proche de 2000 Hz. Introduisez le microphone du sonomètre dans l'ouverture du tube à une extrémité. Déplacez ensuite l'extrémité mobile. Remarquez, autant à l'oreille qu'à l'aide du sonomètre, qu'il y a des longueurs assez précises du tube pour lesquelles le son est plus intense. Si ce n'est pas le cas, augmentez l'intensité de la source et/ou abaissez l'échelle du sonomètre. Ce sont les longueurs qui correspondent aux différents harmoniques.

Attention !: Si l'aiguille dépasse de beaucoup l'échelle graduée (+6dB), abaissez quelque peu l'intensité de la source. Vous devrez aussi réajuster à l'occasion la fréquence afin de la maintenir à la valeur sélectionnée.

Détermination de la longueur d'onde

Maintenez la fréquence à 2000 Hz et, à partir d'une position proche de l'extrémité fixe, allongez le tube et notez les 5 premières longueurs pour lesquelles le sonomètre vous donne une grande intensité. Ce sont ces valeurs de la longueur qui produisent les 5 premiers harmoniques.

Répétez ces mesures pour une fréquence proche de 1000 Hz. Présentez vos mesures et déduisez-en la valeur de la longueur d'onde. Des tableaux, des graphiques et/ou des schémas permettront de mieux saisir votre démarche.

Tableau 1 Les cinq premiers harmoniques d'un tuyau fermé pour une fréquence de 2 000 Hz

Mode de vibration (n)	Longueur L
	m
	±
1	
2	
3	
4	
5	

Tableau 2 Les cinq premiers harmoniques d'un tuyau fermé pour une fréquence de 1 000 Hz

Mode de vibration (n)	Longueur L
	m
	±
1	
2	
3	
4	
5	

Rapport (deuxième partie)

Calcul de la vitesse du son

- Cadre théorique
- Tableaux et graphiques appropriés
- Détermination de la vitesse de l'onde sonore (et de son incertitude)
- Commentez ce résultat