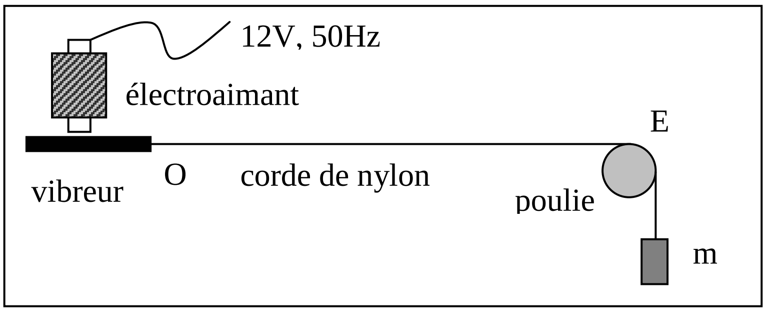
EXERCICES SUR LES ONDES STATIONNAIRES ET L'ACOUSTIQUE

Spécialité Terminale S

■ D101 – VIBRATIONS D'UNE CORDE EN NYLON

On dispose d'un corde fine en nylon. L'une des extrémités O est attachée à un vibreur ; à l'autre extrémité, on suspend une masse m. La corde passe en E dans la gorge d'une poulie ; E et O sont sur la même horizontale. On notera L la distance OE.



Le vibreur est une lame mince en acier. Il est soumis au champ magnétique alternatif d'un électroaimant alimenté par un courant sinusoïdal de fréquence 50 Hz. L'une des extrémités du vibreur est fixe. L'extrémité O vibre à la fréquence 100 Hz ; on supposera le mouvement sinusoïdal.
On déplace la poulie et lorsque L = 1,20 m, la corde se met à vibrer fortement. On remarque un nœud de vibration tout près de O : on le confondra avec O. Outre le point assimilé à O et le point E, la corde présente cinq autresnœuds de vibration.

1) Reproduire le schéma en y représentant l'aspect de la corde pour la distance L = 1,20 m.

2) La corde vibre-t-elle selon son mode fondamental ou l'un de ses modes harmoniques ? Dans ce deuxième cas, préciser quel est ce mode.

3) Calculer la fréquence du mode fondamental.

4) On suspend une masse m' plus importante.
a. La corde de vibre pratiquement plus. Pourquoi ?
b. On modifie la position de la poulie et pour L' = 1,25 m, la corde vibre de nouveau. Il y a alors six nœuds (O et E compris). Quelle est la fréquence du mode fondamental ?
c. Quel est l'effet de la tension d'un corde sur la fréquence du mode fondamental ?

■ D102 – LES CORDES DU VIOLON

Relation entre la célérité v d'une onde sur une corde tendue, la tension F de la corde et sa masse par unité de longueur (ou masse linéique) μ : $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$

Une corde de violon émet le son fondamental de fréquence f = 660 Hz.

a. Cette corde vibre sur une longueur de 33 cm ; sa masse vaut 220 mg pour une longueur totale de 50 cm. Quelle est la valeur de sa tension ?

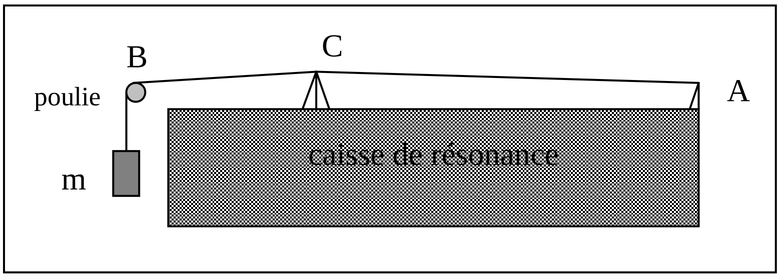
b. Le violoniste veut s'accorder sur un instrument émettant le son de fréquence f' = 650 Hz. Expliquer, sans calcul numérique, comment il va faire varier la tension de sa corde. Calculer la valeur de la nouvelle tension.

c. Une extrémité de la corde est immobilisée par le chevalet. L'instrumentiste immobilise un autre point en appuyant sur la corde avec un doigt. Avec le premier réglage de la tension, où le violoniste devrait-il placer son doigt pour produire un son dont le fondamental a une fréquence f_1 = 880 Hz ?

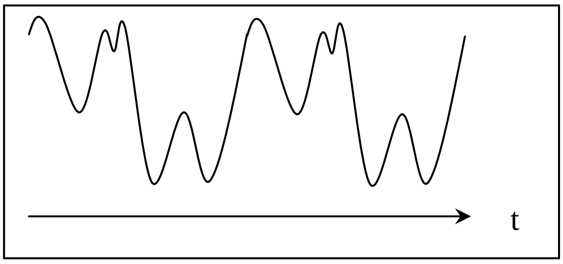
■ D103 – VIBRATION D'UNE CORDE EN ACIER > corrigé <

Relation entre la célérité v d'une onde sur une corde tendue, la tension F de la corde et sa masse par unité de longueur (ou masse linéique) μ : $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$

On dispose d'une corde en acier. Cette corde est tendue entre deux points A et B et s'appuie en C sur un chevalet mobile.



On frotte avec un archet la partie AC de la corde. Un microphone, disposé à proximité, est relié à un système d'acquisition. L'allure de la courbe obtenue durant un temps de mesure t = 8,4 s est représentée ci-dessous.

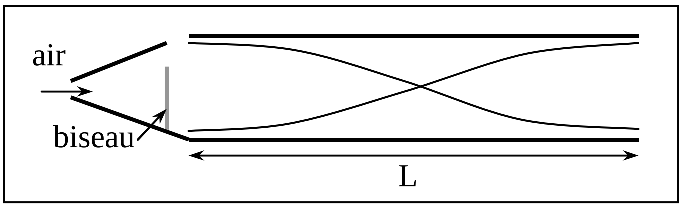


a. Quelle est la fréquence du mode fondamental de la corde ?
b. Pourquoi la vibration sonore émise n'est-elle pas sinusoïdale ?
c. Quelle serait l'évolution probable de la courbe au cours du temps ?
d. La masse m vaut 5 kg ; 1 m de cette corde a une masse de 3,92 g. A quel endroit a-t-on placé le chevalet pour obtenir le son analysé ci-dessus ?

Donnée : Valeur du champ de pesanteur : g = 9,8 $m.s^{-2}$

■ D104 – VIBRATION SONORE D’UNE COLONNE D’AIR > corrigé <

On modélise la partie d’un tuyau d’orgue qui se trouve au dessus du biseau par un tube ouvert à ses deux extrémités. Les tranches de la colonne d’air contenue dans le tube vibrent parallèlement à l’axe du tube.



Dans le modèle proposé, il y a toujours un ventre de vibration à chaque extrémité du tube. Le schéma ci-dessus représente l’élongation maximale du déplacement des tranches d’air le long de l’axe du tube pour le mode fondamental.

1) Faire une représentation analogue à la figure ci-dessus pour le deuxième puis le troisième harmonique.

2) Par analogie avec la corde, donner la fréquence de ces deux harmoniques en fonction de la fréquence f_1 du mode fondamental.

3) Pour un tube de longueur L = 132,8 cm, la fréquence du mode fondamental est 128 Hz.
a. On considère un tube de longueur L/2. en s’appuyant sur le schéma de la question 1, justifier que le mode fondamental de ce tube à la même fréquence que le deuxième harmonique du tube de longueur L. Quelle est cette fréquence ?
b. Reprendre l’étude pour le second schéma de la question 1 en donnant la fréquence du fondamental pour un tube de longueur L/3.

4) Généraliser les résultats obtenus à la question 3.

■ D105 – INTENSITE ACOUSTIQUE > corrigé <

1) Rappeler la définition de l’intensité acoustique.

2) Qu’appelle-t-on seuil d’intensité acoustique ?

3) Un haut-parleur a une puissance de 75 W. Son rendement acoustique est égal à 10 %.
a. Calculer la puissance sonore émise par ce haut-parleur.
b. On suppose que cette puissance sonore se propage dans toutes les directions de l’espace. Etablir l’expression de l’intensité sonore I a une distance d de la source.
c. Le tympan a une surface de l’ordre de 2.10^{-4} m^2. Quelle est la puissance P qu’il reçoit à la distance r = 2m de la source ?
d. Calculer le niveau sonore L de dB. Dans ces conditions, a-t-on une impression de douleur ?

CORRIGES DES EXERCICES

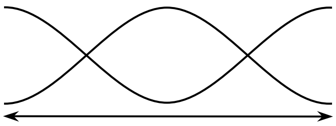
Correction ■ D103 – VIBRATION D'UNE CORDE EN ACIER

a. Période du son fondamental : T_1 = 4,2 ms donc $f_1 = 1/T_1$ = 238 Hz
b. la vibration sonore n'est pas sinusoïdale mais complexe : elle résulte de la superposition au son fondamental de fréquence f_1 = 238 Hz d'harmoniques de fréquences multiples de f_1 (superposition des modes propres de vibration de la corde. $f_n = n.f_1$
c. Diminution de l'amplitude car amortissement des oscillations de la corde.
d. tension de la corde : F = P = mg = 5 . 9,8 = 49 N
Masse linéique de la corde μ = $3{,}92.10^{-3}$ kg.m^{-1}
Célérité de l'onde : $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} = 111{,}8\, m \cdot s^{-1}$
Dans le mode fondamental, la corde ne forme qu'un fuseau L = λ/2

$$L = \frac{v}{2f_1} = \frac{111{,}8}{2 \times 238} = 0{,}235\,m = 23{,}5\,cm$$

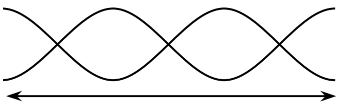
Correction ■ D104 – VIBRATION SONORE D'UNE COLONNE D'AIR

1) 2ème harmonique



L=2λ/2

3ème harmonique



L=3λ/2

2) harmonique 2 : $f_2 = 2f_1$ / harmonique 3 : $f_3 = 3f_1$

3) a. dans le mode 2 et une longueur L : $L = 2\dfrac{\lambda}{2} = \lambda = \dfrac{v}{f_2} \Rightarrow f_2 = \dfrac{v}{L}$

dans le mode 1 et une longueur L/2 : $\dfrac{L}{2} = \dfrac{\lambda'}{2} = \dfrac{v}{2f_1'} \Rightarrow f_1' = \dfrac{v}{L}$

Le son fondamental émis a une fréquence $f_1' = f_2 = 2f_1$ = 2 x 128 = 256 Hz

b. Dans le mode 3 et une longueur L : $L = 3\dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{3v}{2f_3} \Rightarrow f_3 = \dfrac{3}{2}\dfrac{v}{L}$

Dans le mode 1 et une longueur L/3 : $\frac{L}{3}=\frac{\lambda''}{2}=\frac{v}{2f_1''}\Rightarrow f_1''=\frac{3}{2}\frac{v}{L}$

Le son fondamental émis a une fréquence $f_1'' = f_3 = 3f_1 = 3 \times 128 = 384$ Hz

4) Plus généralement, si f_1 est la fréquence du fondamental pour un tube de longueur L, alors la fréquence pour un tube de longueur L/n est égale à $n.f_1$. Le son émis est de plus en plus aigu lorsque la longueur du tube diminue.

Correction ■ D105 – INTENSITE ACOUSTIQUE

1) L'intensité acoustique est la puissance sonore reçue par unité de surface I = P/S en $W.s^{-2}$

2) Au dessus du seuil d'intensité acoustique, le son n'est pas entendu

3) a. $\eta = P_{sonore} / P_{élec}$ donc $P_{sonore} = \eta.P_{élec} = 10/100 . 75 = 7{,}5$ W

b. $I=\frac{P}{4\pi r^2}$

c. $I=\frac{P_{recue}}{S}$ $\quad I=\frac{P}{4\pi r^2}$ $\quad \Rightarrow P_{recue}=\frac{PS}{4\pi r^2}=2{,}98\cdot 10^{-5}W$

d. I = 0,149 $W.s^{-2}$

$$L=10\cdot\log\left(\frac{I}{I_0}\right)=10\cdot\log\left(\frac{0{,}149}{10^{-12}}\right)=112\,dBA$$

112 < 140 donc le bruit n'est pas douloureux (seuil de sensibilité douloureuse)