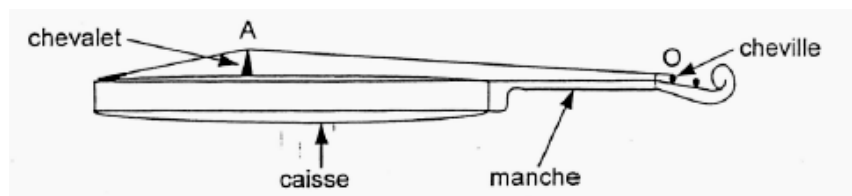


TS Spécialité	Physique	La physique et le violon	Exercice résolu
--------------------------	----------	---------------------------------	----------------------------

Énoncé

Un violon possède 4 cordes que l'on frotte avec un archet.



La nature et la tension des cordes sont telles qu'en vibrant sur toute leur longueur elles émettent des notes dont les caractéristiques sont données ci-dessous :

Numéro de la corde	1	2	3	4
Note	sol ₂	ré ₃	la ₃	mi ₄
Fréquence du son fondamental (en Hz)	f ₁ = 196	f ₂ = 294	f ₃ = 440	f ₄

Données :

- AO = ℓ = 55,0 cm
- Chaque corde du violon a une tension et une masse linéique qui lui sont propres.
- Une onde progressive se propage le long d'une corde tendue entre deux points fixes à la célérité : $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (avec F la tension de la corde et μ sa masse linéique).
- Masse linéique de la corde « la₃ » : $\mu = 0,95 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$
- On admet qu'un diapason émet un son de fréquence unique 440 Hz.
- Le niveau sonore L, en décibel acoustique (dBA) est défini par : $L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, où I est l'intensité sonore et I₀ l'intensité sonore de référence (seuil d'audibilité).
- Les intensités sonores s'additionnent.

1. Un musicien fait vibrer une corde tendue de son violon en la pinçant : il observe un fuseau.

a) Ce fuseau est-il dû à l'existence d'ondes longitudinales ou transversales ?

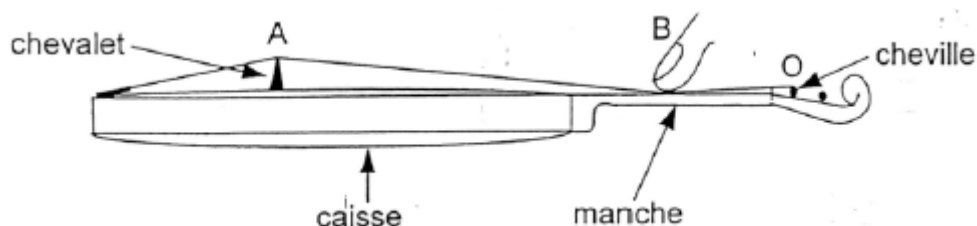
b) Après avoir rappelé l'expression qui exprime la quantification des modes propres de vibration le long d'une corde, montrer que la longueur ℓ de la corde et la longueur d'onde λ sont liées par la relation : $\ell = \frac{\lambda}{2}$.

c) Les vibrations de la corde sont transmises à la caisse en bois du violon. Quel est le rôle de cette caisse ?

2. Le musicien accorde son violon. Pour chaque corde, il règle la tension de celle-ci afin qu'elle émette un son correspondant à une fréquence donnée dans le tableau ci-avant. Pour cela, il tourne une cheville. Il s'intéresse d'abord à la corde « la₃ » et règle la hauteur du son en utilisant un diapason.

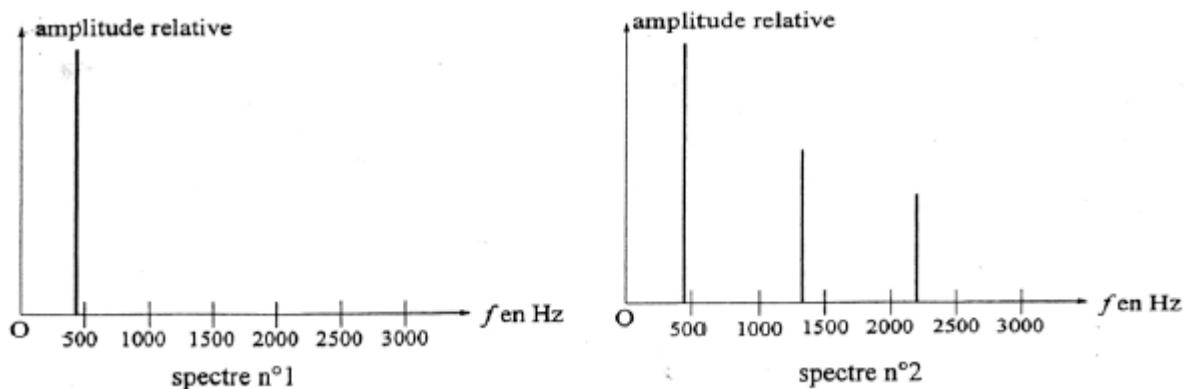
Calculer la tension F de la corde après cette opération.

3. Pour jouer une note « la_3 » sur la corde « ré₃ », le musicien appuie en un point B de cette dernière :



- a) En admettant que cette opération ne change pas la tension de la corde « ré₃ », quelle(s) grandeur(s) le violoniste modifie-t-il ?
 b) A quelle distance $AB = l'$ du chevalet le musicien appuie-t-il sur la corde pour que la note émise ait pour fréquence fondamentale 440 Hz ?

4. Dans un laboratoire d'acoustique musicale, le son émis par la corde « la_3 » du violon et le son émis par un diapason 440 Hz sont captés par un microphone relié à un ordinateur. Un logiciel permet d'établir les spectres des fréquences reproduits ci-dessous :



- a) Identifier chacun des spectres.
 b) Pour le spectre correspondant au violon, entre les fréquences 0 et 3000 Hz, quelles sont les fréquences des harmoniques manquants ?

5. À l'aide d'un sonomètre, un technicien mesure un niveau sonore valant 70 dBA lorsqu'il joue une note pendant quelques secondes en frottant avec l'archet. Sur un autre violon, un autre technicien joue, en même temps que le premier, la même note au même niveau sonore. On suppose que le sonomètre est alors placé à la même distance des deux violons. Quel niveau sonore indique le sonomètre dans ce dernier cas ?

6. Les fréquences fondamentales des quatre cordes du violon ne sont pas choisies au hasard.
 a) Trouver la relation mathématique simple entre les valeurs des fréquences f_1 et f_2 d'une part, puis f_2 et f_3 d'autre part.
 b) En déduire la valeur de la fréquence f_4 .

Corrigé

1. a) Ce fuseau est-il dû à l'existence d'ondes longitudinales ou transversales ?

Il s'agit d'ondes transversales, la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la direction de la perturbation créée par le pincement de la corde.

b) Après avoir rappelé l'expression qui exprime la quantification des modes propres de vibration le long d'une corde,

montrer que la longueur ℓ de la corde et la longueur d'onde λ sont liées par la relation : $\ell = \frac{\lambda}{2}$

La quantification des modes propres de vibration le long d'une corde de longueur ℓ s'exprime par la relation : $\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$. (n entier). Le mode fondamental de vibration correspond à $n = 1$ car il se

forme un unique fuseau sur la corde. On a alors : $\ell = \frac{\lambda}{2}$

c) Les vibrations de la corde sont transmises à la caisse en bois du violon. Quel est le rôle de cette caisse ?

La caisse du violon sert de caisse de résonance : c'est grâce à elle que l'on peut entendre la vibration émise par la corde.

2. Calculer la tension F de la corde après cette opération.

La corde émet un la_3 qui correspond au mode fondamental de vibration donc : $\ell = \frac{\lambda}{2}$ ou $\lambda = 2 \cdot \ell$

D'autre part : $\lambda = \frac{v}{f_3} \Rightarrow 2 \cdot \ell = \frac{v}{f_3}$ et $v = 2 \cdot \ell \cdot f_3$

Par ailleurs : $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow 2 \cdot \ell \cdot f_3 = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ et $F = 4 \cdot \ell^2 \cdot f_3^2 \cdot \mu$

Soit : $F = 4 \times (55,0 \times 10^{-2})^2 \times (440)^2 \times 0,95 \times 10^{-3} \Rightarrow F = 2,2 \times 10^2 \text{ N}$

3. a) En admettant que cette opération ne change pas la tension de la corde « ré₃ », quelle(s) grandeur(s) le violoniste modifie-t-il ?

En appuyant sur la corde, le violoniste modifie la longueur ℓ de la corde et donc la longueur d'onde et la fréquence.

b) A quelle distance $AB = \ell'$ du chevalet le musicien appuie-t-il sur la corde pour que la note émise ait pour fréquence fondamentale 440 Hz ?

Si la tension de la corde ne change pas, la célérité v ne change pas.

Quand le violoniste joue un « ré₃ » sur la corde n°2 : $v = 2 \cdot \ell \cdot f_2$

Quand le violoniste joue un « la₃ » sur la corde n°2 (en appuyant en un point B) : $v = 2 \cdot \ell' \cdot f_3$

$\Rightarrow 2 \cdot \ell' \cdot f_3 = 2 \cdot \ell \cdot f_2$ et $\ell' = \frac{\ell \cdot f_2}{f_3}$ soit : $\ell' = \frac{55,0 \times 294}{440} = 36,8 \text{ cm}$

4. a) Identifier chacun des spectres.

Le spectre n°1 est celui du diapason car ce dernier émet un son pur qui ne contient qu'une seule fréquence (aux alentours de 440 Hz).

Le spectre n°2 est celui du son produit par la corde n°3 : il contient la fréquence fondamentale et des fréquences harmoniques.

b) Pour le spectre correspondant au violon, entre les fréquences 0 et 3000 Hz, quelles sont les fréquences des harmoniques manquants ?

Les fréquences recherchées doivent obéir à la relation : $f_n = n \cdot f_1$ (avec n un entier et $f_1 = 440 \text{ Hz}$).

Il s'agit des fréquences :

$f_2 = 2 \times 440 = 880 \text{ Hz}$; $f_4 = 4 \times 440 = 1320 \text{ Hz}$; $f_6 = 6 \times 440 = 2640 \text{ Hz}$

5. Quel niveau sonore indique le sonomètre dans ce dernier cas ?

Pour un instrument : $L_1 : 10 \cdot \log \frac{I_1}{I_0} = 70 \text{ dBA}$

Pour deux instruments : $L_2 = 10 \cdot \log \frac{2I_1}{I_0} = 10 \cdot \log 2 + 10 \cdot \log \frac{I_1}{I_0} = 3,0 + 70 = 73 \text{ dBA}$

6. Les fréquences fondamentales des quatre cordes du violon ne sont pas choisies au hasard.

a) Trouver la relation mathématique simple entre les valeurs des fréquences f_1 et f_2 d'une part, puis f_2 et f_3 d'autre part.

$$\frac{f_2}{f_1} = 1,50 \text{ et } \frac{f_3}{f_2} = 1,50$$

b) En déduire la valeur de la fréquence f_4 .

$$\frac{f_{n+1}}{f_n} = 1,50 \Rightarrow f_4 = 1,50 \cdot f_3 \quad \text{soit : } f_4 = 440 \times 1,50 = 660 \text{ Hz}$$