CHAP 05 : ONDES STATIONNAIRES

CORRIGÉS DES EXERCICES

1. Lorsqu'une onde progressive parvient à l'extrémité fixe d'une corde, elle se réfléchit. L'onde réfléchie est progressive, elle transporte une déformation inverse de l'onde incidente et se propage sur la corde en sens inverse et à la même vitesse.

2. 1. Lorsqu'une portion de corde dont une seule extrémité est fixe est le siège d'ondes stationnaires, il apparaît sur la corde des points dont l'amplitude de vibration est toujours nulle (les nœuds de vibration) ; ces points sont distants de $\frac{\lambda}{2}$. Au milieu de ces intervalles se trouvent des points dont l'amplitude de vibration est $2a$ (a étant l'amplitude de l'onde incidente). Entre deux nœuds consécutifs, tous les points de la corde vibrent en phase (c'est ce qui distingue l'onde stationnaire de l'onde progressive).

2. Ce phénomène n'apparaît que sur la portion de corde atteinte par l'onde réfléchie ; il est dû à la superposition, à chaque instant et en chaque point de cette portion de corde, de l'onde incidente progressive sinusoïdale et de l'onde réfléchie sur l'extrémité fixe.

3. a. L'extrémité fixe étant un nœud de vibration et les nœuds étant distants de $\frac{\lambda}{2}$, le point situé à $\frac{\lambda}{4}$ est un ventre.

b. L'amplitude de vibration de ce point est donc $2a$.

3. 1. Aspect flou et instable dû à une vibration totalement désordonnée des points de la corde.

2. a. Pour une certaine tension de la corde, de longueur donnée L, apparaît le phénomène d'ondes stationnaires ; la corde présente un certain nombre de fuseaux stables et de longueur constante entre des points équidistants ne vibrant pas et situés dans des positions fixes, les nœuds (il n'y a plus de propagation apparente). Tous les points d'une portion de corde situés entre deux nœuds vibrent en phase.

b. Pour certaines valeurs de la fréquence du stroboscope, on observe une corde immobile ayant la forme d'une sinusoïde. Pour des valeurs voisines de ces fréquences, on observe des points totalement immobiles et des points qui vibrent en phase entre deux nœuds avec des amplitudes dépendant de leur position.

3. a. Le phénomène est dû à la superposition, en tout point, à chaque instant, d'ondes se propageant dans le même sens que l'onde incidente (et ayant subi un nombre pair de réflexions sur les extrémités) et d'ondes se propageant en sens inverse (parce qu'ayant subi un nombre impair de réflexions sur les extrémités). Ainsi, pour une certaine longueur de la corde tendue, il existe des points en lesquels les ondes parviennent toujours en opposition de phase et conduisent à une amplitude nulle. En d'autres points distants de $\frac{\lambda}{4}$ des précédents, les ondes arrivent toujours en phase et leurs élongations s'ajoutent, conduisant à une amplitude maximale très supérieure à a, amplitude de l'onde incidente.

b. Les deux extrémités fixes étant nécessairement des nœuds, il s'ensuit que la longueur L de la corde est un multiple de la demi-longueur d'onde : $L = k \cdot \frac{\lambda}{2}$ avec $\lambda = \frac{V}{f}$.

c. Si la corde comporte un nombre impair de fuseaux, le milieu se trouve être un ventre ; si la corde comporte un nombre pair de fuseaux, le milieu de la corde est un nœud.

4. 1. a. La corde présentant trois fuseaux, $L = \frac{3\lambda}{2} = 2{,}10$ m, soit $\lambda = V \cdot T = 1{,}4$ et $V = 70\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. $\mu = \frac{F}{V^2} = \frac{2{,}0}{70^2} = 4{,}1 \cdot 10^{-4}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$.

2. a. Une période et demie de sinusoïde stable entre les deux extrémités.

b. On observe un mouvement apparent ralenti de la corde autour de sa position de repos et avec quatre points immobiles ; le point est situé à $\frac{3\lambda}{4}$, c'est donc un ventre que l'on voit vibrer lentement verticalement avec une amplitude bien plus grande que celle de la source B.

5. 1. a. L'indication « poids » est erronée ; il s'agit de la masse de la corde m = 300 g ou 0,300 kg.
$\mu = 3\ \text{g} \cdot \text{m}^{-1}$.

2. a. $L = \frac{4\lambda}{2}$, soit $\lambda = 0{,}60$ m.
La vitesse de propagation est $V = \lambda \cdot f_1 = 60\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. $F = \mu \cdot V^2 = 11$ N.

3. Le nombre de fuseaux est divisé par 2, la longueur d'onde est donc multipliée par 2. Comme la vitesse de propagation ne varie pas, la fréquence est divisée par 2 (car $\lambda = \frac{V}{f}$), ce qui donne $f_2 = 50$ Hz.

4. On peut faire varier soit la tension F, soit la masse linéique μ, soit la longueur L de la corde.
- Modification de la longueur de la même corde sans variation de vitesse : prendre une longueur de corde correspondant à deux fuseaux, soit $L = \lambda = 0{,}60$ m.
- Modification de la tension de la même corde : comme $V^2 = \frac{F}{\mu}$, il faut multiplier par 4 la tension F.
- À cause de la relation précédente, il faut prendre une masse linéique quatre fois plus faible.

5. En formant une cordelette avec deux brins, on obtient une ficelle de masse linéique double ; on en déduit la longueur nécessaire : $L' = 0{,}85$ m.

6. 1. a. Un nœud à chaque extrémité en mode fondamental : $L = \frac{\lambda}{2}$ avec $\lambda = \frac{V}{f}$, soit $f = a \cdot \frac{1}{L} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, d'où $a = \frac{1}{2}$.

b. La masse linéique de la corde.

c. $F = 4\mu \cdot f^2 \cdot \frac{L^2}{k^2}$ avec, pour un cylindre :
$\mu = \rho \cdot \frac{V_{ol}}{L} = \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{L}{L}$, d'où $F = 4\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot f^2 \cdot \frac{L^2}{k^2}$, soit $F = 14$ N.

d. Attacher la corde à une verge métallique ou en bois dont une extrémité est fixe et l'autre vibre avec une fréquence dépendant de sa longueur.

2. a. Le mouvement rapide des ailes entraîne la vibration de l'air, source d'une onde sonore qui se propage.

b. La note est déterminée par la fréquence de vibration de l'air qui est la même que celle des battements d'ailes qui ont produit cette vibration.

7. 1. Un mouvement vibratoire d'un objet quelconque va entraîner la vibration de l'air ambiant à la même fréquence, source d'une onde sonore ; la note étant d'autant plus aiguë que sa fréquence est grande, une vibration plus rapide (donc de plus grande fréquence), entraînera bien un son plus aigu.

2. a. La vibration propre (mode fondamental) d'une corde a lieu lorsque la corde présente un seul fuseau : sa longueur vaut alors $\frac{\lambda}{2}$, soit $L = \frac{V}{2f} = \frac{1}{2f}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$.

b. $L \cdot f$ = constante, soit $L_0 \cdot f_0 = L' \cdot f'$, d'où $f' = \frac{L_0}{L'} \cdot f_0$;

$f' = \frac{3}{2} \times 261{,}63 = 392{,}445$, soit $f' = 392{,}44$ Hz (c'est un sol).

c. $f'' = 2f_0 = 523{,}26$ Hz : fréquence double, donc harmonique et même note mais à l'octave (do 4).

8. **1. a.** L'émetteur est le haut-parleur, le récepteur est l'oreille ou le microphone relié à l'oscilloscope et les colonnes d'air sont respectivement OAO' et OBO' de longueur réglable.
b. La colonne OBO' est de longueur réglable.
2. a. Le son est dû à une vibration longitudinale de l'air ; aussi, quand l'onde est émise en O, elle peut se propager naturellement dans toutes les directions autour de O.
b. L'amplitude de la vibration en O' résulte de la superposition des deux ondes arrivant simultanément en O'. Il faut donc repérer comment arrivent, du point de vue de leurs phases, les deux types d'ondes qui se superposent après des parcours de longueurs différentes.
c. Cette amplitude est nulle lorsque les deux ondes arrivent à chaque instant en opposition de phase.
d. L'amplitude est maximale quand les deux ondes arrivent en phase.
3. a. Il faut allonger le trajet de l'onde d'une longueur d'onde : il faut donc déplacer la coulisse d'une demi-longueur d'onde (l'onde parcourant ainsi deux fois $\frac{\lambda}{2}$ en plus).
b. De $\frac{\lambda}{4}$.
4. Si, partant d'un maximum, on a entendu trois maxima successifs, c'est que l'on a déplacé la coulisse de $\frac{3\lambda}{2}$, soit de 0,51 cm ; avec $\lambda = \frac{V}{f}$, on obtient $V = \lambda \cdot f = 0{,}34 \times 1\,000$, soit $V = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

9. **1.** La corde comportant un seul fuseau, on peut écrire $L = \frac{\lambda}{2} = 1{,}0$ m, soit $\lambda = 2{,}0$ m.

Or $\lambda = \frac{V}{f}$ et $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, donc $F = \mu \cdot f^2 \cdot \lambda^2 = m_1 \cdot g$, soit $m_1 = \mu \cdot f^2 \cdot \frac{\lambda^2}{g} = 19$ kg.

2. a. Le nouveau son est plus aigu car la fréquence augmente.
b. Par analogie avec la relation précédente :

$$m_2 = \mu \cdot f_2^2 \cdot \frac{\lambda^2}{g} = 43 \text{ kg}.$$

Les deux masses ne sont pas dans le rapport $\frac{m_2}{m_1} = \frac{3}{2}$ mais dans le rapport $\frac{9}{4}$; en effet, $\frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 = \frac{9}{4}$.

La valeur de la force de tension, donc la masse suspendue, augmente plus vite que la fréquence et prend une valeur importante pour des notes très aiguës.

10. **1. a.** Lorsque qu'une corde se dilate, son rayon r augmente, sa masse linéique $\mu = \rho \cdot \pi \cdot r^2$ augmente. La distance entre ses deux extrémités étant constante, la vitesse de propagation diminue $\left(\text{car } V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}\right)$.

b. $L = n \cdot \frac{\lambda}{2} = n \cdot \frac{V}{2f}$, soit $f = n \cdot \frac{V}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$: la fréquence propre d'une corde diminue donc quand la température augmente.
c. Le musicien doit retendre la corde à l'aide des clés.
2. a. Les vitesses de propagation du son sont :
– à 15°C : $V = 331\sqrt{1 + \frac{15}{273}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
– à 20°C : $V = 331\sqrt{1 + \frac{20}{273}} = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Calcul des vitesses grâce à la 2e relation :
– à 15°C : $V = 331 + 0{,}60 \times 15 = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
– à 20°C : $V = 331 + 0{,}60 \times 20 = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
c. $L = (2N + 1)\frac{\lambda}{4}$; avec $\lambda = \frac{V}{f}$ et $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, on obtient $f = (2N + 1)\frac{V}{4L}$.

d. Lorsque la température augmente, la fréquence de vibration de l'air dans les tuyaux augmente.
La variation relative de fréquence est ici égale à la variation relative de vitesse correspondante, soit $\frac{3}{340}$, c'est-à-dire moins de 1 % ; cette très faible variation n'est pas perceptible pour une oreille moyenne.