

# TD n° 11 de Physique

## Ondes - Ondes stationnaires

### Applications directes du cours

#### 1 Violon et violoncelle

Deux cordes identiques sont fixées de façon équivalente (identiquement tendues) sur un violon et sur un violoncelle. Laquelle émet le son le plus grave ? Justifier.

#### 2 Four à micro-ondes

Un four à micro-ondes fonctionne à la fréquence  $f = 2,45$  GHz. Quelle est la longueur d'onde de ces ondes électromagnétiques ? La comparer à la taille du four : est-il possible qu'il s'installe un système d'ondes stationnaires ? Cela est-il gênant pour la cuisson des aliments ?

## Exercices

### 1 Instrument à vent ★

On considère un instrument de musique modélisé par une cavité de longueur  $\ell$ , fermée à une extrémité et ouverte à l'autre. La vitesse du son dans l'air est  $c = 340$  m·s<sup>-1</sup>.

- Quelle doit être la valeur de  $\ell$  pour que la plus faible fréquence d'une onde stationnaire dans cet instrument soit  $f_1 = 440$  Hz ?
- Quelle est la fréquence  $f_2$  immédiatement supérieure pouvant être émise par cet instrument ?
- Exprimer, en fonction d'un entier  $n$ , l'ensemble des fréquences  $f_n$  pouvant être émises par l'instrument.
- Où doit-on placer un trou dans l'instrument afin de supprimer  $f_2$  du spectre du son émis ?

### 2 Notes de guitare ★★

Une corde de guitare se modélise comme une corde vibrante de longueur  $L = 64,2$  cm, fixée à ses deux extrémités.

- Déterminer la célérité  $c$  de l'onde sur la corde afin que le fondamental soit un Do<sub>3</sub>.

On donne ci-dessous les différentes fréquences des notes de l'octave numéro 3, composée de 12 demi-tons. L'octave 4 possède les mêmes notes, auxquelles on associe alors le double des fréquences de ce tableau.

Note	Do <sub>3</sub>	Do <sub>3</sub> #	Ré <sub>3</sub>	Ré <sub>3</sub> #	Mi <sub>3</sub>	Fa <sub>3</sub>	Fa <sub>3</sub> #	Sol <sub>3</sub>	Sol <sub>3</sub> #	La <sub>3</sub>	La <sub>3</sub> #	Si <sub>3</sub>
$f$ (Hz)	262	277	294	311	330	350	370	392	415	440	466	494

- Quelles sont les notes correspondant aux harmoniques  $n$  allant de 2 à 7 ? Dans le cas  $n = 3$ , on utilise par exemple  $3 = \frac{3}{2} 2$  afin d'identifier la note grâce à un changement d'octave et  $5 = \frac{5}{4} 4$  pour  $n = 5$ .
- L'accord Do, Mi, Sol (quinte majeure) est harmonieux. Lequel des harmoniques trouvés à la question précédente doit-on supprimer ? Où doit-on alors gratter la corde de guitare ?

### 3 Anharmonicit  d'une corde de piano \*\*\*

On s'intéresse aux modes propres d'une corde de piano de longueur  $M$ , fixée en ses deux extrémités. La relation entre le vecteur d'onde et la pulsation d'une onde se propageant le long de cette corde est :

$$\omega = ck\sqrt{1 + \alpha k^2}$$

où  $c$  et  $\alpha$  dépendent de la section de la corde et de sa tension mais pas de sa longueur. Le coefficient  $\alpha$  est d  à la raideur de la corde (il serait nul pour une corde parfaitement souple comme la corde de Melde).

1. Quelles sont les unités de  $c$  et  $\alpha$  ?
2. Quelles sont les valeurs possibles de  $k$  pour une onde stationnaire existant sur cette corde ?
3. Exprimer les fréquences correspondantes en fonction de  $c$ ,  $\alpha$ ,  $L$  et d'un entier  $n$ .
4. Les cordes d'un piano de concert sont plus longues que les cordes d'un piano de salon. Pourquoi cela améliore-t-il la qualité musicale du son ?

### 4 Ondes stationnaires sur une corde excitée \*\*\*

Une corde de longueur finie, située entre  $x = 0$  et  $x = L$ , est entraînée en oscillation par un vibreur situé à l'extrémité gauche ( $x = 0$ ), tandis qu'elle est attachée à l'extrémité droite ( $x = L$ ). Une onde s'y propage dans le sens des  $x$  croissants. Elle est notée  $y_1(x,t) = A_1 \sin(\omega(t - x/c) + \varphi_1)$ .

1. Comment s'exprime a priori (sans prendre en compte les conditions limites) l'onde se propageant en sens inverse  $y_2(x,t)$  ?
2. En utilisant la condition à  $x = L$ , déterminer plus précisément l'expression de cette onde réfléchie.
3. En déduire que l'onde résultante  $y(x,t)$  peut s'écrire comme un produit d'une fonction du temps et d'une fonction de l'espace. On rappelle que

$$\sin p - \sin q = 2 \sin\left(\frac{p - q}{2}\right) \cos\left(\frac{p + q}{2}\right)$$

4. Préciser la position des nœuds et commenter.
5. Le mouvement de l'extrémité gauche de la corde, d  au vibreur, est en fait  $y(0,t) = a \cos \omega t$ . En déduire l'amplitude  $A(x)$  de l'onde résultante (on ne s'étonnera pas de trouver un terme pouvant devenir infini).
6. Où se trouvent les ventres ? Commenter leur amplitude : pourquoi cela est-il finalement possible ?