

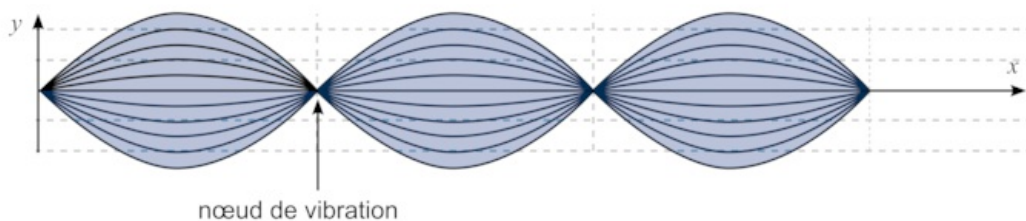
## Fiche

Certains instruments de musique sont à cordes, d'autres sont à vent. La variation de la longueur des cordes, de leur diamètre, de leur matériau (cordes en nylon ou métalliques), de leur tension, implique des notes différentes. Il en va de même pour la longueur des tuyaux sonores. Pour qu'un instrument de musique produise un son, il doit remplir deux fonctions : vibrer et émettre. Les instruments de musique comportent donc un système mécanique vibrant, appelé exciteur. L'exciteur doit être couplé à un résonateur pour que le son produit puisse être audible. Par exemple pour une corde, le résonateur est la caisse de résonance qui se trouve sous la corde et qui est couplée à la corde par le chevalet.

### Comment vibre une corde tendue ?

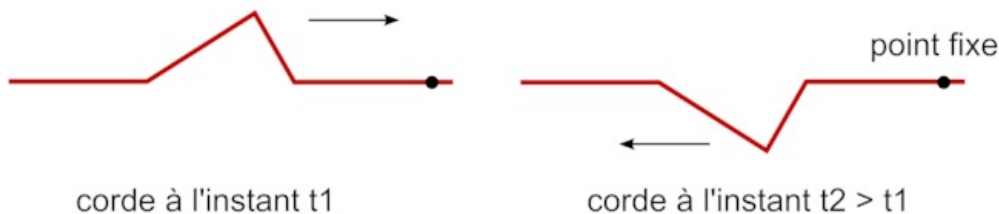
- Une corde, qui est tendue entre deux points fixes et qui est mise en oscillation, vibre librement à une fréquence caractéristique qui lui est propre que l'on note  $f_0$  et qui sera appelée **fréquence propre**.
- Imaginons que l'on impose à la corde de vibrer, avec un exciteur extérieur (comme un doigt), à une fréquence  $f$  qui peut être différente de sa fréquence propre. On observe que la corde vibre avec une grande amplitude en formant un ou plusieurs fuseaux, pour certaines valeurs de la fréquence d'excitation, telle que  $f_k = k \times f_0$  ( $k > 0$ ).

Nœuds et ventres de vibration



- Un nœud de vibration est un point de la corde immobile. Un ventre de vibration est un point de la corde qui vibre avec une amplitude maximale.
- Le mode pour lequel la fréquence est égale à  $f_0$  est appelé le fondamental. Les modes pour lesquels la fréquence est un multiple de  $f_0$  ( $f_k = k \times f_0$ ) sont nommés les harmoniques.
- Au départ, une onde se propage sur la corde de la gauche vers la droite. Elle se réfléchit sur un obstacle : l'extrémité de la corde. Après réflexion, l'onde se propage dans le sens inverse : la forme de l'onde réfléchie est la même, mais en sens inverse.

Vibration d'une corde

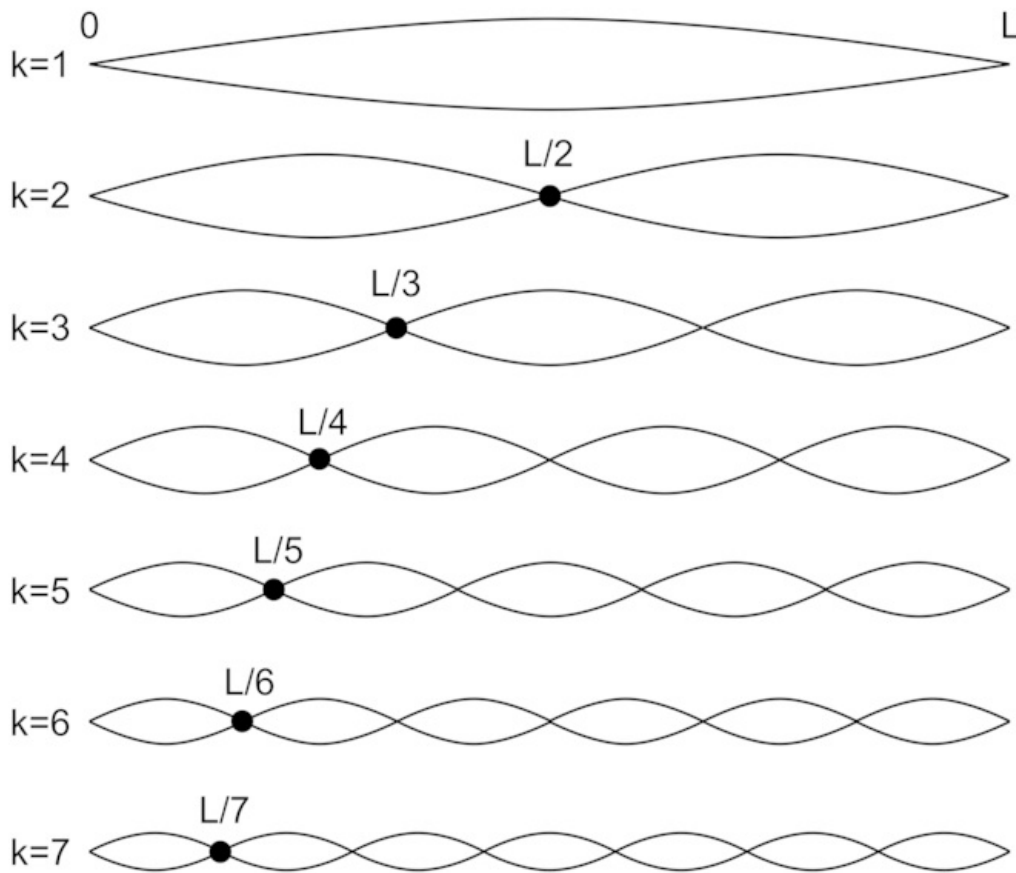


- On fixe les deux extrémités de la corde de longueur  $L$  et un vibreur mécanique produit une onde sinusoïdale. Comme la perturbation est entretenue, il y a superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie, qui se propagent en sens inverse, à la même vitesse  $v$ . L'onde incidente étant sinusoïdale, de période  $T$ , l'onde réfléchie est également sinusoïdale, de même période  $T$ . Sur l'extrémité fixe, la perturbation résultante est nulle. À un instant donné, l'aspect de la corde correspond à l'addition point par point des déformations dues à l'onde incidente et à l'onde réfléchie.
- La superposition en tout point de l'onde incidente et de l'onde réfléchie produit une **onde stationnaire**, c'est-à-dire qu'à l'œil nu, vue de loin, la corde paraît immobile : elle a l'aspect de fuseau(x) entre des points fixes ; il n'y a aucune progression apparente du mouvement vibratoire de la corde.
- Pour des valeurs particulières de la fréquence de l'exciteur telle que  $f_k = k \times f_0$ , on observe une onde stationnaire avec un, deux,

trois, quatre, cinq fuseaux, ou davantage. On dit que la corde entre en résonance pour ces fréquences.

- Le **mode fondamental de vibration** est le mode pour lequel la corde présente un seul fuseau. La fréquence  $f_0$  du mode fondamental est la plus petite fréquence pour laquelle on observe un mode de vibration de la corde. Pour  $k > 1$ , on a les harmoniques de rang 1, 2, 3...

Harmoniques d'un son



- Ces fréquences particulières, qui permettent d'obtenir une onde stationnaire sur la corde, dépendent de la **masse linéique**  $\mu$  de la corde, de la **tension** F de la corde et de sa **longueur** L. On peut noter que :
  - plus la masse linéique (masse par unité de longueur) est grande, plus la fréquence de vibration est petite : pour une même nature de corde, plus elle est de diamètre important et plus le son produit est grave ;
  - plus la longueur de la corde est grande et plus la fréquence de vibration est petite : pour une même corde, plus elle est longue, plus le son produit est grave ;
  - plus la tension de la corde est grande, plus la fréquence de vibration est grande : le son est donc aigu.

- La relation donnant les fréquences de vibration d'une corde est :

$$f_k = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- Où  $k$  est un entier supérieur ou égal à 1 ;  $\mu$  est la masse linéique de la corde, F est la tension de la corde et L est sa longueur. Ces fréquences sont appelées **fréquences propres de vibration** de la corde, car leurs valeurs ne dépendent que des paramètres propres de la corde.

 [Exercice n°1](#)

 [Exercice n°2](#)

 [Exercice n°3](#)

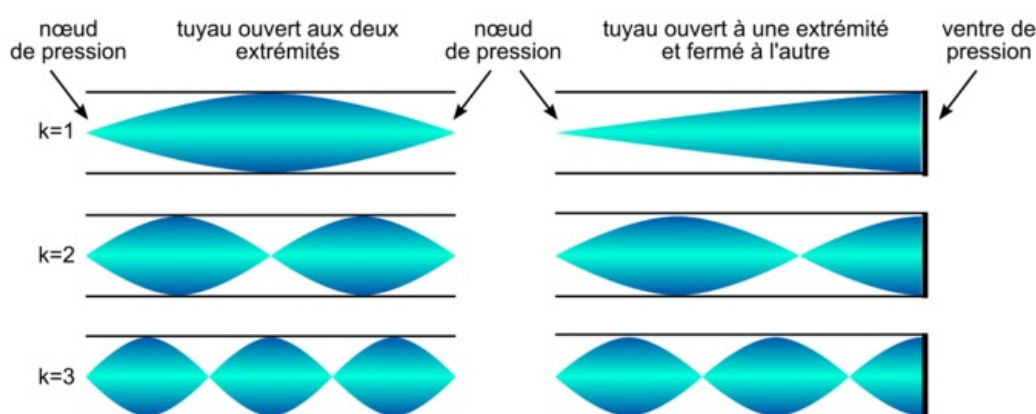
## Comment vibre un tuyau sonore ?

- L'air peut aussi être le siège d'ondes stationnaires. Dans un tuyau sonore, les grandeurs physiques qui interviennent dans le son émis par le tuyau sont la fréquence (hauteur) avec présence d'harmoniques ou non (timbre) et intensité sonore (volume sonore).
- Lorsque l'on place un haut-parleur devant un tuyau, pour certaines fréquences délivrées par le haut-parleur, multiples entiers de la

**fréquence fondamentale**  $f_0$ , la colonne d'air émet un son nettement plus intense : elle entre en résonance. On observe une répartition stable des amplitudes de vibration avec des nœuds et des ventres.

- Dans la colonne d'air, les tranches d'air vibrent **longitudinalement**, perpendiculairement au déplacement. Comme pour la corde, les fréquences des modes propres de vibration sont liées à la longueur du tuyau. Les nœuds de vibration correspondent à des **ventres de pression**, c'est-à-dire une faible pression.
- Aux extrémités du tube, deux cas se présentent :
  - Si le tube est **ouvert**, on a un ventre de vibration c'est-à-dire un nœud de pression.
  - Si le tuyau est **fermé**, ce qui est le cas de la flûte de pan et des tuyaux d'orgue, on a un nœud de vibration c'est-à-dire un ventre de pression.
  - Si le tube a un trou, alors il y aura un nœud de pression à cet endroit : c'est le principe des flûtes.
- Par conséquent, lorsque les tubes sont ouverts ou fermés, le comportement des ondes diffère, car l'onde stationnaire se terminera soit par un « nœud de pression », soit par un « ventre de pression ». Ainsi, la fréquence (ou hauteur de la note) sera modifiée de même que la distribution des harmoniques.

#### Effets de l'ouverture du tuyau



- La note jouée est déterminée par la **longueur du tuyau** sonore que compose le corps de l'instrument par l'ouverture ou la fermeture de son extrémité. Les sons aigus seront favorisés par des tuyaux courts et les sons graves par des tubes longs. La relation donnant les fréquences de vibration d'une colonne est :

$$f_k = \frac{2k-1}{2} \times \frac{v}{2L}$$

Où  $k$  est un entier supérieur ou égal à 1 ;  $v$  est la célérité du son dans la colonne qui correspond à la célérité du son dans l'air et  $L$  est sa longueur.

 Exercice n°4

 Exercice n°5

#### À retenir

Les instruments de musique comportent un système mécanique vibrant, appelé exciteur. Celui-ci doit être couplé à un résonateur. Une corde tendue mise en oscillation vibre à une fréquence  $f_0$  appelée fréquence propre.

Si on impose à une corde tendue de vibrer avec un exciteur extérieur, pour certaines fréquences d'excitation multiples de sa fréquence propre, la corde entre en résonance. On observe une onde stationnaire avec un ou plusieurs fuseaux qui dépendent de la fréquence d'excitation.

Les fréquences particulières qui mettent en résonance la corde dépendent de la masse linéique, de la longueur de la tension de la corde. Ce sont les fréquences propres de vibration.

De même, une colonne d'air excitée par un haut-parleur entre en résonance pour certaines valeurs particulières de fréquence.