

Produire des sons, écouter
PRODUCTION D'UN SON
ET
MODES PROPRES DE VIBRATION

I- Production d'un son par un instrument de musique

Un instrument de musique produit un son car un **système mécanique vibrant** est associé à un **système assurant le couplage avec l'air**.

1°) Système mécanique vibrant

- Dans un **instrument acoustique**, un **système mécanique vibrant** est à l'origine de la production d'un son.
- Pour les **instruments à corde**, l'oscillateur mécanique, ou système vibrant, est une corde tendue qui vibre entre deux points fixes. Les vibrations sont déclenchées par le musicien :
 - Dans un piano, des marteaux frappent les cordes en acier ;
 - Pour une guitare, les cordes en acier ou en nylon sont pincées ;
 - Dans le cas d'un violon, c'est un archet qui frotte les cordes.

La fréquence du son est imposée par ce système mécanique vibrant. Sa valeur dépend de la longueur de la corde, de sa masse linéique (masse par unité de longueur) et de la force avec laquelle elle est tendue.

- Dans le cas des **instruments à vent**, on rencontre différents types de système mécanique vibrant :
 - Pour les instruments à anche simple, comme la clarinette ou le saxophone, il s'agit d'une mince lame fixée au bec de l'instrument. Cette anche vibre sous l'effet du souffle du musicien.
 - Pour les instruments à biseau, comme le pipeau ou l'orgue acoustique, un biseau sert à former un jet d'air plat qui, alternativement, sort par un orifice, appelé lumière, et entre dans le corps de l'instrument.

2°) Système assurant le couplage avec l'air

- Une corde vibrante est incapable de donner une amplitude suffisante aux vibrations de l'air pour produire un son audible.
- Pour les **instruments à cordes**, comme la guitare ou le violon, ou encore pour le diapason, il faut une **caisse de résonance**.
 Dans un piano, ce rôle est assuré par la **table d'harmonie**.
- Dans les **instruments à vent**, c'est le corps de l'instrument qui joue le rôle de caisse de résonance. La colonne d'air qui se trouve à l'intérieur est mise en vibration par l'oscillateur vibrant (anche, jet d'air sur le biseau).
 La fréquence du son est imposée par les vibrations de cette colonne d'air.

II- Vibration d'une corde entre deux points fixes

1°) Modes propres de vibration

On considère une corde très fine tendue entre **deux points fixes**. On suppose que la corde n'est le siège que de **vibrations transversales** : les points de la corde se déplacent dans une direction perpendiculaire à celle de la corde immobile.

Toute **vibration** de la corde pour laquelle chaque point vibre sinusoidalement à la même fréquence est un **mode propre** de vibration. La fréquence est une **fréquence propre**.

2°) Mode fondamental et modes harmoniques

La corde est immobilisée à ses deux extrémités. Ces conditions ne permettent pas toutes les vibrations sinusoidales possibles. Elles imposent des modes propres pour lesquelles les fréquences propres f_n forment une suite arithmétique (on dit que les modes propres sont **quantifiés**) :

- Le mode propre dont la fréquence est la plus basse ($n = 1$) est appelé **mode fondamental** : sa fréquence propre est notée f_1 .
- Les autres modes propres sont appelés **modes harmoniques**. Ils sont caractérisés par un nombre entier n .
 La fréquence f_n de l'harmonique n est égale à n fois la fréquence fondamentale : $f_n = n \cdot f_1$.

3°) Nœud et ventre de vibration

- Excitons sinusoïdalement la corde par une force appliquée sur un petit élément de longueur. Pour qu'elle se mette à vibrer, **il est nécessaire que la fréquence d'excitation soit égale à une de ses fréquences propres.**
- À cette fréquence, les points de la corde vibrent sinusoïdalement avec une amplitude qui dépend de leur position :
 - Lorsqu'ils sont situés à un **ventre** de vibration, **l'amplitude est maximale.**
 - Lorsqu'ils sont situés et à un **nœud** de vibration, **l'amplitude est nulle.**
- Lorsque la corde vibre selon un de ses modes propres, on remarque la présence de **fuseaux** de longueurs égales. L'extrémité d'un fuseau est un **nœud** de vibration; le milieu d'un fuseau est un **ventre** de vibration.

Pour l'**harmonique n**, la longueur d'un fuseau est égale à $\frac{L}{n}$ où L est la longueur de la corde.

4°) Son émis par une corde pincée ou frappée

- Lorsqu'une corde de guitare n'est plus excitée par une force sinusoïdale mais pincée, ses vibrations libres (on parle d'**oscillations libres**) produisent un **son composé de sons sinusoïdaux** dont **les fréquences sont celles des modes propres** de la corde :
 - La **fréquence du son produit** est égale à celle du **mode fondamental** ;
 - La **fréquence la plus basse** est celle du **mode fondamental** de la corde ;
 - Les **autres fréquences** sont égales à **certaines fréquences des modes harmoniques.**

Il n'y a pas de fréquences autres que celle du fondamental et des harmoniques.

- À la suite du coup bref porté par le marteau d'un piano sur une corde, les vibrations de la corde sont une superposition du mode fondamental et de certains modes harmoniques, comme dans le cas d'une guitare.

III- Vibration d'une colonne d'air

1°) Modes propres pour une colonne d'air

- On considère une colonne d'air dans un tube. Excitées par le son sinusoïdal d'un haut-parleur, les tranches d'air dans le tube peuvent vibrer **longitudinalement**.
- On constate alors que le tube n'émet un son que pour certaines fréquences d'excitation dites « **favorisées** ». Comme pour la corde de guitare, ces fréquences sont les **fréquences des modes propres de vibration** de la colonne d'air : elles sont **quantifiées**.
- Si le mode fondamental a pour fréquence f_1 , les modes harmoniques ont pour fréquence $f_n = n.f_1$, où n est un entier.

2°) Influence de la longueur de la colonne d'air

- La fréquence f_1 du **mode fondamental** dépend de la longueur L du tube.
- Plus le tube est court, plus la valeur de la fréquence du mode fondamental est élevée.
Les sons aigus seront donc favorisés par des tubes courts et les sons graves par des tubes longs.

3°) Excitation d'une colonne d'air par un biseau

- Un tuyau d'orgue émet un son lorsque de l'air est insufflé par l'embouchure. Un mince jet d'air plat sort alors d'une fente située entre le biseau et la lèvres inférieure du tube. La direction de ce jet n'est pas constante. Il oscille au niveau de la bouche du tuyau passant alternativement de l'intérieur à l'extérieur du tuyau. Ce sont ces **oscillations** qui excitent la colonne d'air du tuyau.
- La fréquence du **mode fondamental** est déterminée par la longueur donnée au tube. Une coulisse d'accord située dans la partie supérieure du tube permet d'affiner le choix de cette fréquence.
- Le **son émis** par le tuyau d'orgue contient principalement les **premiers harmoniques**.
Sa fréquence est celle du **fondamental**.