

Partie ϕ 2 - PRODUIRE UN SON

Tp ϕ 1 - PRODUCTION D'UN SON PAR LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE

1. PRODUCTION D'UN SON.

Parmi les sons que nous percevons, les sons musicaux sont parmi les plus agréables. A l'aide du film «C'est pas Sorcier: l'orchestre», observons quelques instruments de musique pour identifier les principes qui leur permettent de produire des sonorités très diverses.



1.1. LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE.

1. Les instruments de musique sont disposés dans l'orchestre sur le critère de l'intensité sonore.

2. Les instruments de musique sont classés en trois catégories:

Les instruments à corde :	Les instruments à vent :	Les instruments à percussion :
Parmi les instruments à corde on distingue: - les cordes frottées : violon, violoncelle, contrebasse ... - les cordes pincées : guitare, harpe, clavecin . - les cordes frappées : piano,	Parmi les instruments à vent on distingue les instruments: - à biseau : flûte à bec, flûte traversière, orgues - à anche simple : clarinette, <i>saxophone</i> ... - à anche double : hautbois, trompette	tambour, caisse, xylophone, timbales, gong ...

3. Les instrumentistes doivent s'accorder car les caractéristiques physiques des instruments varient en fonction de la température et de l'humidité ambiante. Il faut donc recalibrer tous les instruments sur une même note. La note de référence est le La 442 Hz toujours donné par le Hautbois car c'est l'instrument qui se désaccorde le moins.

4. La hauteur du son augmente avec la fréquence du son. Un son est d'autant plus haut (aiguë) que sa fréquence est élevée.

Les instruments à corde :	Les instruments à vent :	Les instruments à percussion :
On modifie la hauteur d'un son en raccourcissant la longueur de corde qui vibre (on joue sur la tension)	On modifie la hauteur d'un son en raccourcissant la longueur du tuyau sonore.	Pour les timbales, on modifie la hauteur d'un son en jouant sur la tension de la peau, ou en réduisant la taille de la plaque.

5. Le La 442 Hz n'est pas perçu identiquement selon l'instrument qui l'émet. Cela s'explique par la superposition des différentes harmoniques. Ils ont tous la même fréquence «de base», ce qu'on appelle la fondamentale, mais est associée à cette fondamentale, un cocktail d'ondes de fréquences multiples de cette fondamentale. Ce qui change entre les instruments, c'est qu'ils ne possèdent pas le même cocktail d'ondes.

6. La gamme contient 12 notes

7. La fréquence d'une note à l'octave supérieure est multipliée par deux.

8. La tessiture d'un instrument correspond à l'étendue d'octaves de cet instrument.

9. Ce qui caractérise finalement un instrument c'est son intensité sonore, la hauteur et le timbre.

1.2. VIBRATION ET EMISSION.

Dispositif. Faire vibrer un diapason en le tenant à la main et en le posant sur la caisse de résonance.

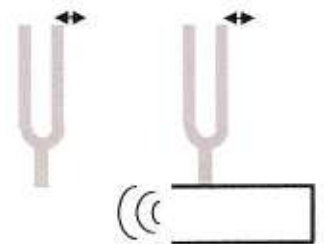
Observation, interprétation & conclusion.

□ La première fonction que remplit un instrument de musique est de **vibrer**. Cette vibration est à l'origine du son émis et est assurée par l'**excitateur**.

Par exemple, lorsqu'ils jouent de leur instrument, un guitariste pince les cordes de sa guitare, un violoniste frotte celles de son violon, un trompettiste souffle dans l'embouchure de sa trompette. Toutes ces actions ont un même effet: provoquer la vibration d'une partie de leur instrument afin d'émettre un son.

□ La vibration seule de l'excitateur ne suffit pas pour émettre un son audible. L'excitateur doit être **couplé** à un **résonateur** pour que le son produit puisse être audible.

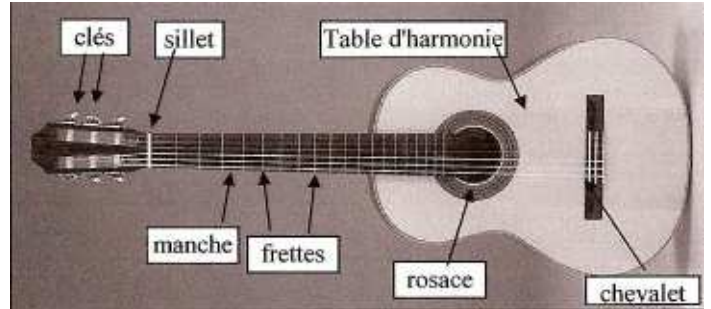
Par exemple, pour la trompette, le résonateur est le corps de l'instrument. Pour le violon, c'est la caisse (appelée table d'harmonie). Pour la guitare, c'est également la caisse ou bien un système d'amplification dans le cas des guitares électriques.



Instruments	Excitateur	Système vibrant	Couplage	Résonateur
Cordes	Archet	Corde	Chevalet - âme	Table harmonie
Piano	Marteau	Corde	Chevalet - âme	Table harmonie
Harpe	Doigt	Corde	Chevalet - âme	Table harmonie
Hautbois / Basson	Bouche	Anche double	Anche	Tuyau sonore
Clarinette	Bouche	Anche simple	Anche	Tuyau sonore
Flûte	Bouche	Embouchure	Embouchure	Tuyau sonore
Trompette - cuivre	Bouche	Lèvre	Embouchure	Tuyau sonore
Timbale	Baguette	Peau	Peau	Caisse

1.3. FONCTIONNEMENT D'UN INSTRUMENT A CORDES: LA GUITARE.

- ❑ Une guitare classique comporte **six cordes** tendues parallèlement le long du manche entre **le chevalet** et **le sillet**.
- ❑ **Les clés** permettent de tendre **les cordes en acier** et donc **d'accorder** la guitare.
- ❑ Une corde pincée et qui vibre n'est pas capable de mettre l'air en vibration. **La table d'harmonie** percée d'une **rosace** joue le rôle de **caisse de résonance**: elle **amplifie le son** et permet de le rendre audible.
- ❑ En appuyant sur **les frettes** du manche de la guitare, le musicien modifie la **longueur des cordes** et peut ainsi jouer différentes notes sur une même corde.



1.4. FONCTIONNEMENT D'UN INSTRUMENT A VENT: LA CLARINETTE.

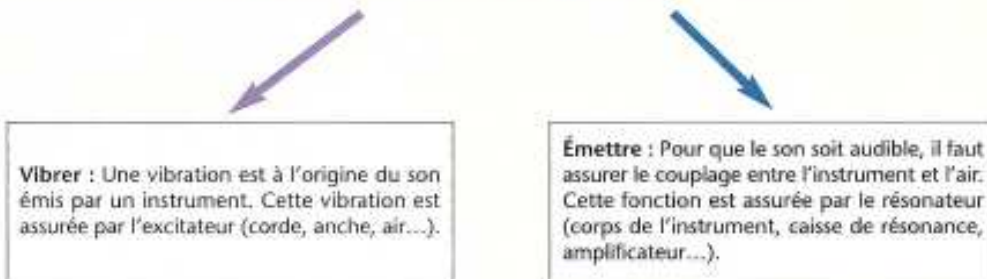
- ❑ La clarinette est un instrument à vent. Le souffle du musicien dans **le bec et le corps** de l'instrument met en vibration une lame mince de roseau appelée **anche**.
- ❑ Les **vibrations de l'anche** sont transmises à la **colonne d'air** dans **le corps** de l'instrument. C'est **le corps** de la clarinette qui joue le rôle de **caisse de résonance**.
- ❑ En changeant la longueur de la colonne d'air à l'aide de **clefs métalliques**, le musicien peut modifier la fréquence des vibrations.



1.5. CONCLUSION.

Pour produire un son, un instrument de musique doit remplir deux fonctions: vibrer et émettre.

Deux fonctions pour un instrument de musique



La voix peut être considérée comme un instrument. En effet, les cordes vocales (excitateur) vibrent et mettent en vibration l'air contenu dans le pharynx, le larynx et la bouche (résonateur) qui produisent le son.

De même pour le piano: la corde (excitateur) d'un piano à queue est tendue horizontalement et elle vibre sous l'action d'un «marteau» commandé par une touche du clavier. Le corps de l'instrument forme une magnifique caisse de résonance pour une émission sonore optimale.



2. MODES DE VIBRATION D'UNE CORDE TENDUE ENTRE DEUX POINTS FIXES

Dispositif.

Une corde de guitare tendue entre deux points fixes.

La corde est parcourue par un courant alternatif d'intensité efficace $I = 1,5 \text{ A}$ délivré par un GBF.

Le fil passe entre les pôles d'un aimant en U. Une force magnétique de Laplace impose alors au fil un déplacement vertical qui dépend du sens du courant.

L'aimant est placé initialement au centre du fil.

On part d'une fréquence nulle du courant délivré par le GBF et on augmente la fréquence f du GBF jusqu'à entendre un son et observer la forme de la corde métallique. Compléter alors le tableau suivant:



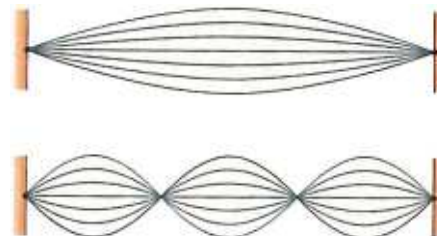
Fréquence	Mode de vibration	Nombre de fuseaux	Forme de la corde (distances en cm)
$f_1 =$	Fondamental (Harmonique 1)		
$f_2 =$	Harmonique 2		
$f_3 =$	Harmonique 3		
$f_4 =$	Harmonique 4		
$f_5 =$	Harmonique 5		

Observation.

Observée en éclairage continu, elle entre en résonance pour des fréquences qui sont multiples d'une même fréquence f_1 : elle prend alors l'aspect d'un ou de plusieurs **fuseaux**.

L'observation au ralenti stroboscopique montre que la forme en fuseau est due à ce que la corde prend à chaque instant l'aspect d'un arc de sinusoïde qui subit une déformation périodique sur place.

Les extrémités d'un fuseau sont des points immobiles ce sont des **noeuds de vibration**.

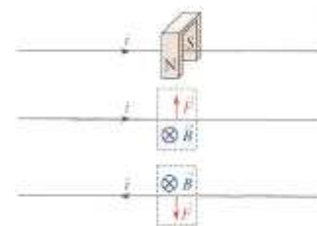


Interprétation.

La corde, parcourue par un courant alternatif et placée au voisinage d'un aimant, est soumise à la force de Laplace, également alternative, et de même fréquence que le courant: cette force transversale provoque le mouvement de la corde qui subit des oscillations forcées.

L'excitateur est le GBF, le résonateur est la corde.

Pour des fréquences d'excitation quelconques, le mouvement de la corde a une très faible amplitude. Cependant, pour certaines valeurs de la fréquence d'excitation, multiples d'une fréquence f_1 et appelées fréquences propres, la corde vibre avec une grande amplitude en formant un ou plusieurs fuseaux (résonance).

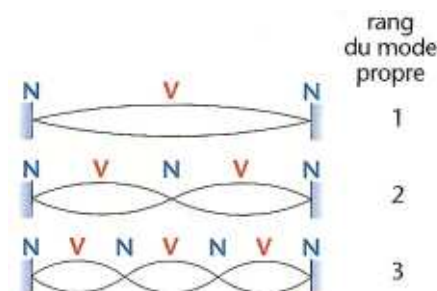


A la résonance, on observe un nombre entier n de fuseaux identiques et stables. Les extrémités des fuseaux égaux sont immobiles (amplitude de vibration nulle): ce sont des noeuds d'amplitude équidistants. Au milieu de l'intervalle entre les noeuds se trouvent les points dont l'amplitude est maximale: ce sont les ventres d'amplitude, également équidistants. Entre un noeud et un ventre, les points vibrent avec une amplitude intermédiaire.

Il n'y a qu'un nombre limité de modes de vibrations possibles; c'est ce que l'on appelle quantification des modes propres de vibration d'une corde tendue, de longueur L donnée.

On distingue:

- ☐ le mode fondamental (encore appelé par extension l'harmonique de rang 1 ou encore première harmonique), pour lequel la corde vibre en un seul fuseau, correspond à la fréquence f_1 . Cette fréquence f_1 est celle du son émis par la corde pincée et qui oscille ensuite librement.
- ☐ les harmoniques de rang n entier, pour lesquels la corde vibre en n fuseaux, et qui correspond aux fréquences $f_n = n \times f_1$.



Conclusion

❑ Oscillations libres.

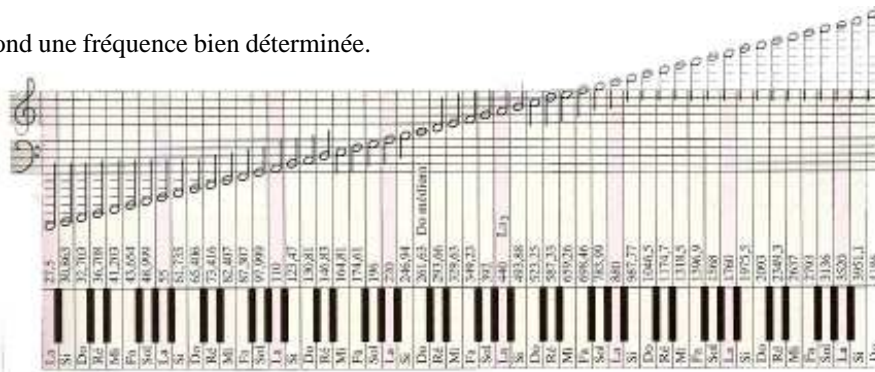
Une corde pincée et livrée à elle-même oscille librement. Elle émet un son de fréquence f_1 qui est celle du mode fondamental. Nous verrons plus tard qu'un son produit est composé de fréquences des modes propres de la corde. Par exemple, une corde fixée en ses deux extrémités et pincée en son milieu émet un son complexe qui est composé du mode fondamental f_1 et des harmoniques impairs $3 f_1, 5 f_1, 7 f_1 \dots$

❑ Oscillations forcées

Lorsque la corde est soumise à l'action d'un excitateur permanent exerçant une force périodique de fréquence f , la corde subit des oscillations forcées.

La corde ne vibre avec des amplitudes notables que si la fréquence d'excitation f est voisine de l'une des fréquences propres $f_n = n \times f_1$. Il s'agit du phénomène de résonance. La corde est un résonateur à fréquences multiples.

A chaque note correspond une fréquence bien déterminée.

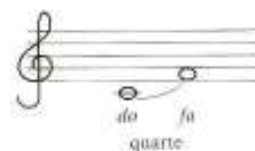


Certains rapports de fréquence donnent une impression agréable à l'oreille, les sons correspondants sont dits consonants. Les différents types de gammes sont conçues à partir de certains rapports de fréquences existant entre les notes.

Dans la gamme tempérée utilisée en Occident, au rapport 2 correspond une octave. Ainsi, le la_3 a une fréquence de 440 Hz, le la_4 de 880 Hz, le la_5 de 1 760 Hz, etc...

Lorsqu'on passe du *do* au *sol* dans l'ordre ascendant de la gamme tempérée, on joue cinq notes (ou degrés) successives: *do, ré, mi, fa, sol*. L'écart, ou intervalle, entre le *do* et le *sol* est appelé une quinte. Il lui correspond un rapport de fréquences d'environ $3/2$.

nom de l'intervalle	exemple	nombre de degrés	rapport des fréquences
octave	$do_2 - do_3$	8	2
quinte	$do - sol$	5	$\approx \frac{3}{2}$
quarte	$do - fa$	4	$\approx \frac{4}{3}$



$$\frac{f(fa_2)}{f(do_2)} = \frac{349,2}{261,6} = \frac{4}{3}$$



$$\frac{f(sol_2)}{f(do_2)} = \frac{392}{261,6} = \frac{3}{2}$$

Application aux instruments à cordes: la guitare

Le musicien agit sur la vibration sonore émise en mettant en vibration des cordes de caractéristiques différentes et/ou en modifiant la longueur de la corde mise en vibration.

Par exemple, le guitariste dispose de six cordes différentes numérotées de 1 à 6:

- ❑ la sixième corde étant celle du bas, la plus grosse, qui émet le son le plus grave;
- ❑ la corde 5 vibrant sur toute sa longueur est accordée sur le «la» à l'aide d'un diapason.

Le guitariste agit sur la longueur en bloquant un point de la corde sur une «frette». La position de quelques frettes est indiquée sur le document ci-dessous.

La vibration de la corde est transmise à la caisse de résonance au niveau des contacts (exemple, le chevalet d'une guitare): la paroi de la caisse ainsi que l'air qu'elle contient sont mis en vibration et amplifient l'émission sonore.

En plaçant le doigt entre deux frettes, la corde ne peut plus vibrer entre le chevalet et le sillet, elle vibre en un seul fuseau entre le chevalet et la frette située avant le doigt.

