

TP Les instruments de musique, la voix

On peut classer les instruments de musique en trois familles qui sont les instruments à corde, les instruments à vent et les instruments à percussion.

1. Les instruments à corde

1. les différents modes de vibrations d'une corde

Extrait du manuel « TS spécialité » éditions Hachette éducation

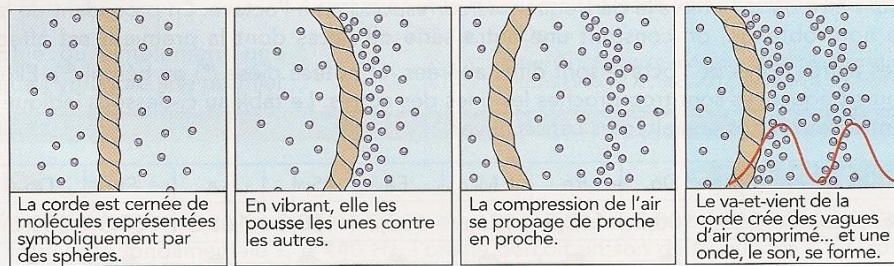
Document 1 Une note est née

■ Du bout du doigt, le guitariste a déplacé la corde pour la faire vibrer. Celle-ci se déforme alors d'avant en arrière et bouscule les **molécules d'air** autour d'elle. Ainsi, quand la corde avance, elle repousse les molécules devant elle, qui se retrouvent ratatinées les unes contre les autres. L'air est donc comprimé à l'endroit où vient de passer la corde, **et les molécules cherchent aussitôt à retrouver leur espace vital en s'écartant les unes des autres.**

Elles repoussent alors leurs voisines comme des boules de billard et, de proche en proche, la zone de surpression se déplace. Le va-et-vient de la corde vibrante crée ainsi une succession de zones de surpression qui vont se déplacer comme

des vagues dans la pièce : le son naît. Et le nouveau prend la forme d'une onde, dont les pics correspondent à chaque battement de la corde. Il vibre donc au même rythme. Aussi, la **vitesse de vibration** de la corde – autrement dit, le nombre de battements par seconde – détermine la fréquence du son, qui s'exprime en hertz (Hz).

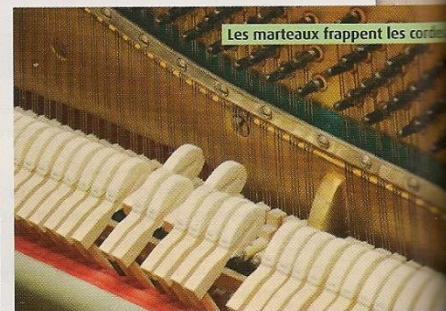
D'après F. MARTIN, « Silence », Sciences & Vie Junior, n° 9, nov. 1989



Document 2 Ça pince, ça frappe ou ça frotte

■ Il existe différentes manières de faire vibrer les cordes d'un instrument :

- les cordes d'une guitare sont pincées avec les doigts, avec un médiator (dispositif permettant de pincer ou gratter les cordes d'un instrument, aussi appelé plectre) ou avec un ongle;
- les cordes du piano sont frappées par des petits marteaux;
- les cordes du violon ou d'un violoncelle sont frottées avec un archet.



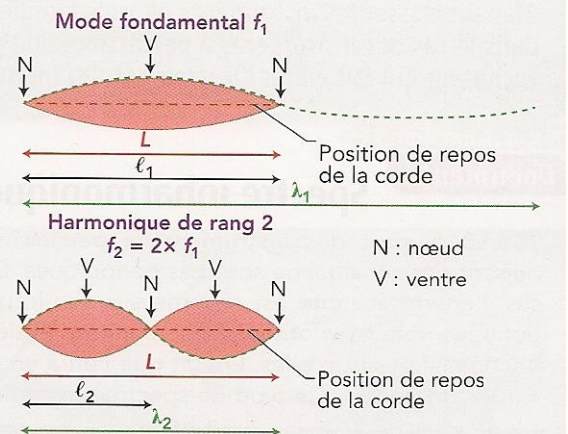
Document 3 Modes de vibration d'une guitare

Une corde vibre lorsqu'elle est excitée. Pour certaines fréquences d'excitation, elle prend l'aspect d'un ou plusieurs fuseaux de longueurs égales. À la plus basse de ces fréquences, appelée fréquence fondamentale et notée f_1 , on observe un seul fuseau. On obtient plusieurs fuseaux lorsque la fréquence excitatrice est multiple de la fréquence fondamentale. Ces fréquences f_n , telles que $f_n = n \cdot f_1$, sont appelées fréquences harmoniques de rang n . Le nombre entier n est également le nombre de fuseaux.

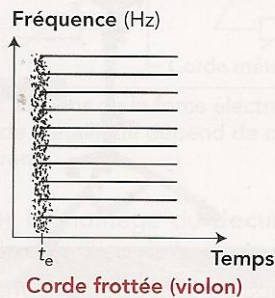
Les extrémités d'une corde en vibration sont immobiles, on parle de nœuds de vibration.

Au milieu d'un fuseau, l'amplitude de vibration de la corde est maximale, on parle de ventre d'amplitude.

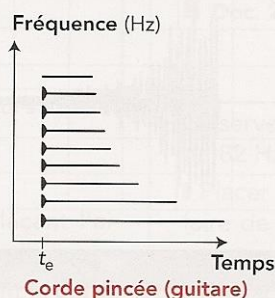
Pour une corde de longueur L fixe, la longueur ℓ_n d'un fuseau d'un harmonique de rang n vaut : $\ell_n = \frac{L}{n}$.



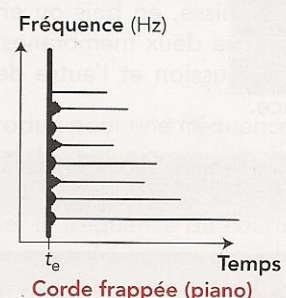
Document 4 Comparaison des modes d'excitation des cordes d'un instrument



Corde frottée (violon)



Corde pincée (guitare)



Corde frappée (piano)

Analyses spectrales du son correspondant à une même note jouée avec un violon, une guitare et un piano.

Le début de l'excitation de la corde est appelé attaque de la note et est repéré à la date t_e . Les représentations graphiques permettent de déterminer les composantes fondamentales et harmoniques en fon-

ction du mode d'excitation de la corde de l'instrument. De plus, il est possible de comparer pour chaque instrument les durées pendant lesquelles les différentes composantes sont émises.

Questions

1. Expliquer en quelques lignes la propagation d'ondes par une corde vibrante.
2. Quelles sont les différentes manières d'exciter une corde ?
3. Pourquoi peut-on dire que les ondes produites par l'excitation de la corde sont stationnaires ?
4. Exprimer la longueur d'un fuseau en fonction de la longueur d'onde.

5. Si L est la longueur de la corde, à quelle condition peut-on observer n fuseaux sur la corde entre les deux extrémités fixes ? Indiquer une relation entre L, n et $\frac{\lambda}{2}$.
6. Représenter l'aspect d'une corde de longueur L vibrant à une fréquence f_3 correspondant à son troisième harmonique.
- 7.a. Quelle relation a-t-on entre v, λ et f pour une onde sinusoïdale le long de la corde ? v représente la vitesse de l'onde, λ représente sa longueur d'onde et f sa fréquence.
- b. En déduire la relation donnant les fréquences propres f_n pouvant donner naissance à des ondes stationnaires en fonction de n, v et L .
- c. Exprimer la fréquence fondamentale f_1 de la corde en fonction de v et L .
- d. Retrouver la relation entre f_n, n et f_1 indiquée dans le document 3.
8. Sur le document 4 repérer la fréquence fondamentale et les harmoniques. Pourquoi peut-on dire que les spectrogrammes représentent la même note ?
9. Qu'est ce qui différencie un instrument de musique d'un autre lorsqu'ils jouent la même note ?
10. Sachant que la vitesse de propagation est donnée par la relation $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ où F est la force de tension de la corde (N) et μ sa masse linéique (kg.m^{-1}), retrouver l'expression des fréquences harmoniques f_n :

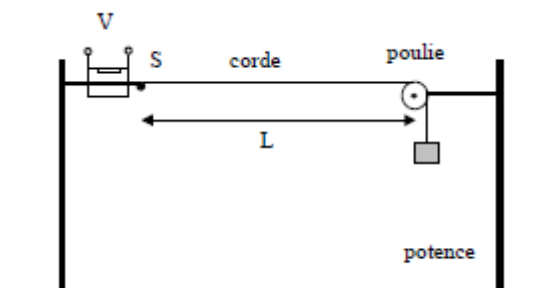
$$f_n = \frac{n}{2L} * \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

2. Etude expérimentale :

Détermination de la vitesse de propagation des ondes

Le dispositif est constitué d'une corde de longueur L , fixée en S à la lame d'un vibreur électrique V. La corde passe dans la gorge d'une poulie et est tendue par l'intermédiaire de masses marquées exerçant une force $F = P = m.g$

Le vibreur se compose essentiellement d'un petit électroaimant et d'une lame métallique vibrante. Pour certaines fréquences d'excitation de la corde ou certaines valeurs de la force F (donc de m), il se forme des ondes stationnaires.



Données $f = 50 \text{ Hz}$, $\mu = 7,4.10^{-4} \text{ kg.m}^{-1}$ (masse linéique de la corde).
 $m = 100 \text{ g}$ et $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Manipulation

Augmenter progressivement la valeur de la fréquence f d'excitation de la corde et noter les différentes fréquences pour lesquelles on observe n fuseaux :

Nombre n de fuseau(x)	Fréquence de l'excitateur (Hz)
1	
2	
3	
4	

1. Quel lien existe-t-il entre les différentes fréquences ?
2. Ce résultat est-il en accord avec l'expression obtenue à la question 10 de la partie précédente ?
3. Que se passerait-il si on augmentait la valeur de la masse accrochée à la poulie ? Réaliser l'expérience et indiquer de manière qualitative si le résultat est cohérent.

2. Un instrument à vent, l'orgue à tuyaux

1. Excitation d'une colonne d'air par un haut parleur

Extrait du livre « TS spécialité » éditions Belin



Une corde excitée sinusoïdalement entre en résonance pour certaines fréquences, qui sont les fréquences propres de la corde. Pour savoir ce qu'il en est dans le cas d'une colonne d'air soumise à une onde sonore produite par un hautparleur, réaliser l'expérience suivante.

- Brancher un haut parleur à la sortie d'un GBF, puis régler la fréquence du GBF à environ 300Hz. Ajuster le gain pour avoir un son juste audible.
- Placer une extrémité d'un tube de cm de longueur au plus près de la partie centrale du haut parleur, sans la toucher.
- Augmenter la fréquence du GBF jusqu'à obtenir un niveau sonore important. Noter la valeur F_a de la fréquence correspondante.
- Augmenter ensuite progressivement la fréquence jusqu'à $5F_a$ et noter les fréquences pour lesquelles le son obtenu est maximal.
- Recommencer pour le second tube disponible.

Questions

1. La plus petite fréquence pour laquelle le son obtenu est maximal dépend-elle de la longueur du tube ?
2. Si oui, comment cette fréquence varie-t-elle lorsque la longueur du tube augmente ?
3. Les tubes favorisent-ils d'autres fréquences ? si oui, quelle relation peut-on établir entre ces fréquences et la fréquence la plus basse ?
4. Dans un tuyau sonore, il se forme des ondes stationnaires comme dans le cas d'une corde vibrante. En s'aidant de la première partie (qu.5) rappeler quelle relation il y a entre la longueur d'onde λ_n pour laquelle il y a résonance et la longueur L du tuyau.
4. Rappeler la relation liant la longueur d'onde, la célérité et la fréquence, puis en déduire la relation :

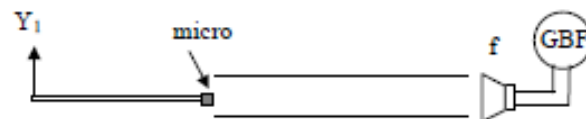
$$f_n = \frac{n}{2L} * v$$

Le résultat est-il en accord avec la réponse à la question 3 ?

2. Ondes stationnaires à l'intérieur d'un tuyau sonore ouvert

Placer le micro à l'extrémité du tube.

Régler la tension aux bornes du GBF de manière à obtenir une bonne amplitude.



Position des ventres (cm)			
Position des noeuds (cm)			

Chercher au voisinage de 600 Hz, la fréquence du GBF pour que l'amplitude du signal reçu soit maximale sur l'oscilloscope : on trouve ainsi la fréquence d'une des harmoniques. Noter sa valeur f.

Déplacer le micro dans le tube et relever les positions des ventres et des nœuds de pression.

3. Exploitation des résultats

1. Quelle est, en moyenne, la distance entre deux nœuds ou deux ventres successifs ?

2. En déduire la longueur d'onde λ de l'onde sonore sinusoïdale produite par le haut-parleur.

3. Sachant que la vitesse du son dans l'air est de 340 m.s^{-1} à 20°C , calculer à partir de la valeur f de la fréquence de l'excitateur, la longueur d'onde λ de l'onde sonore. Comparer à la valeur précédente.

3. Les instruments à percussion

Extrait su dite internet « http://www.couleurs-orchestre.com/pages/son_percu.htm »

Il y a beaucoup d'instruments à percussion, et tous sont très différents. Il y en a qui produisent des notes déterminées (comme les timbales et le xylophone) et d'autres qui produisent des sons qui ne correspondent pas à une note précise (comme les maracas et la caisse claire). On peut aussi les classer selon s'ils ont une membrane ou pas, et c'est cette classification qu'on va utiliser pour expliquer comment les instruments à percussion produisent du son.

Comment produit-on un son avec un instrument à percussion avec membrane ?

Comme avec tous les autres instruments, le son se produit grâce à la vibration de l'air. C'est en frappant la membrane qu'elle vibre et elle fait vibrer l'air qui se trouve autour. La caisse qui tient la membrane sert de résonateur.

Comment fait-on pour produire différentes notes avec des instruments à percussion avec membrane ?

La majorité des instruments à membrane ne produisent pas des notes précises. Par contre, on peut distinguer des sons graves ou aigus.

Selon la taille de l'instrument

Les instruments les plus grands produisent des sons plus graves ; les plus petits, des sons plus aigus.

Selon la tension de la peau

De la même façon qu'avec les instruments à cordes : Plus de tension est synonyme de plus aigu.

La timbale produit des notes précises. On peut accorder l'instrument en tendant plus ou moins la peau grâce à une pédale (qui permet de passer d'une note à l'autre) et à une manette de réglage d'accord fin.

Comment produit-on un son avec un instrument à percussion sans membrane ?

Il y a une multitude d'instruments de ce type. Certains sont très différents :

- Certains doivent être secoués pour produire le son (par exemple les maracas).
- D'autres, frappés avec un bâton ou un batteur (comme le xylophone).
- D'autres encore, doivent être entrechoqués (les cymbales, les claves).
- On peut aussi les frotter ou les racler (comme le guiro).
- Certains doivent être pincés (comme les guimbardes).

- Et d'autres moins connus, sont pilonnés (comme la txalaparta, instrument du Pays Basque).

Parmi tous ces instruments, seuls les instruments frappés peuvent produire des sons déterminés.

Etudions donc de plus près, la production du son d'un xylophone.

Comment produit-on un son avec un xylophone ?

Comme avec tous les autres instruments, le son est produit grâce à une vibration de l'air. C'est en frappant les lames du xylophone qu'on met en vibration la lame et l'air qui se trouve autour. Les lames sont positionnées sur l'instrument mais elles vibrent facilement parce qu'elles ne sont pas bloquées et elles ont un peu de liberté de mouvement (ce qui leur permet de vibrer).

Comment fait-on pour produire différentes notes avec un xylophone ?

Le xylophone comporte des lames de tailles différentes. C'est cette différence de taille qui crée des différences de hauteur et donc, différentes notes. Plus la lame est longue et plus le son est grave.

Questions

1. Comment produire un son avec un instrument à percussion ?
2. Peut-on produire une note déterminée ?
3. Si oui, de quoi dépend la hauteur de la note ?

En image, les différentes percussions évoquées dans les documents :

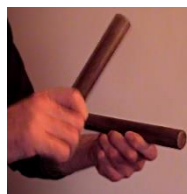
Maracas



xylophone



claves



guiro



guimbarde



txalaparta



timbale



5. La voix humaine, sonagramme

Extrait du manuel « Initiation à l'acoustique », Antonio Fischetti édition Belin.

Sonagramme

Dans un *sonagramme*, le temps est représenté en abscisse et les harmoniques en ordonnée (Fig. I.23). L'épaisseur du trait correspondant est proportionnelle à l'intensité de l'harmonique. Le sonagramme est très utilisé car il permet une visualisation particulièrement lisible de l'évolution temporelle des harmoniques. Par exemple, la fig. I.23. représente le sonagramme d'un son dont la fréquence commence par augmenter légèrement, décroît puis remonte un peu. L'essentiel de l'énergie est concentrée sur le fondamental, et les harmoniques, présents au début du son, s'estompent progressivement (voir l'expérience « Spectres, Sonogrammes » sur le DVD-Rom.

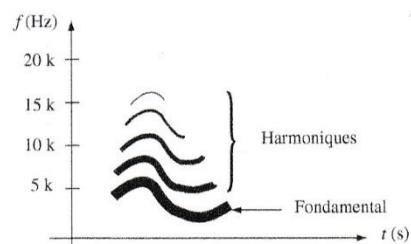


Fig. I.23. Principe du sonagramme.

La voix humaine

Étendue spectrale

Le spectre de la voix (fondamental + harmoniques) est généralement compris entre 50 Hz et 10 000 Hz, avec un maxima énergétique aux environs de 400 Hz.

L'étendue des fréquences fondamentales est plus restreinte : de 80 Hz à 350 Hz pour une voix de basse, et de 300 Hz à 1 000 Hz pour une voix de soprano.

Formants

Lorsqu'on étudie le spectre d'une voyelle, on observe des régions fréquentielles comportant une grande quantité d'énergie : ce sont les *formants*. La position des formants sur le spectre dépend de la voyelle prononcée. Les formants correspondent aux résonances des cavités du conduit vocal (pour le phénomène de résonance,

En effet, chaque voyelle correspond à une configuration particulière des cavités de la bouche et la gorge. Ces cavités se mettent à vibrer et renforcent ainsi des fréquences particulières. Ce sont les formants qui permettent de reconnaître la voyelle prononcée, et de différencier par exemple un *a* d'un *i*, ou d'un *o*. Dans la Fig. I.24, les voyelles sont représentées dans un diagramme à deux dimensions, en fonction des valeurs de leurs deux premiers formants.

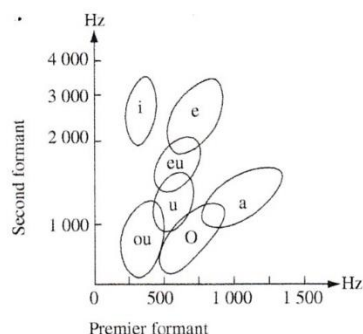


Fig. I.24. Représentation des voyelles selon leurs deux premiers formants.

Le spectre des chanteurs professionnels est généralement accentué entre 3 000 et 4 000 Hz. Ce renforcement du spectre, qu'on appelle le *formant-chant*, est dû à l'abaissement du larynx. Il se trouve que c'est précisément dans cette zone fréquentielle que l'énergie d'un orchestre est la plus faible. Comme l'oreille est de surcroît très sensible dans cette zone, cela permet à la voix chantée d'être particulièrement bien perçue.

Intelligibilité

La totalité du spectre n'est pas indispensable à l'intelligibilité de la voix. Par exemple, le téléphone laisse essentiellement passer les fréquences entre 300 Hz et 3 400 Hz, ce qui suffit à préserver l'intelligibilité.

Les voyelles contiennent davantage d'énergie que les consonnes. Cependant, elles sont bien moins importantes que ces dernières dans l'intelligibilité de la voix. Par exemple, lorsqu'on supprime les consonnes d'un enregistrement, tout en conservant les voyelles, la phrase n'est plus intelligible. Par contre, elle le reste si on supprime les voyelles en conservant les consonnes.

Questions

1. Que représente un sonagramme ? Quel est son intérêt ?
2. Que représente l'épaisseur du trait sur le sonagramme ?
3. Qu'est ce qu'un formant pour la voix humaine ?
4. Justifier la position de la voyelle « o » par rapport à la voyelle « e » sur la figure I.24.
5. Est-il nécessaire d'entendre l'intégralité des harmoniques pour identifier un son ?
6. Les consonnes et les voyelles ont-elles la même importance dans l'intelligibilité d'une phrase ?