

ACOUSTIQUE 1 : **PRODUCTION D'UN SON PAR UN INSTRUMENT DE MUSIQUE**

Connaissances et savoir-faire exigibles :

- (1) Savoir que pour qu'un instrument de musique produise un son il doit remplir deux fonctions - vibrer et émettre - et que dans de nombreux cas d'instruments réels ces fonctions sont indissociables.
- (2) Connaître l'existence des modes propres de vibration.
- (3) Savoir qu'il y a quantification des fréquences des modes de vibration : rapport entre les fréquences des harmoniques et celles du fondamental.
- (4) Savoir ce que sont un ventre et un nœud de vibration.
- (5) Savoir qu'une corde pincée ou frappée émet un son composé de fréquences qui sont celles des modes propres de la corde.
- (6) Savoir qu'une colonne d'air possède des modes de vibrations dont les fréquences sont liées à sa longueur.

Savoir-faire expérimentaux :

- (7) Mesurer une période et déterminer ainsi une fréquence.
- (8) Décrire et réaliser une expérience permettant de mesurer la fréquence de vibration d'une corde par stroboscopie et celle du son émis par la corde.
- (9) Avec le matériel disponible au laboratoire, savoir mettre en évidence les modes propres de vibration d'une corde et d'une colonne d'air.

I Production d'un son :

1) Expériences :

- a. Placez un bracelet élastique de caoutchouc autour d'un bœcher en plastique, de sorte qu'il passe au-dessus de l'ouverture de celui-ci et qu'il soit bien tendu (on appellera partie libre du bracelet la partie qui passe au-dessus de l'ouverture).
- b. En tenant le récipient à la main, tirez légèrement sur le bracelet de caoutchouc dans sa partie libre, puis lâchez-le (on dit qu'on le "pince"). Observez et écoutez :
.....
.....
- c. Renouvelez l'expérience après avoir posé le récipient sur la table :
.....
.....
- d. Comment est modifié le son si on immobilise à l'aide d'une baguette la partie libre, obtenant ainsi deux parties libres plus courtes ? Faites varier la longueur des parties libres :
.....
.....
- e. Comment est modifié le son si on change la tension du bracelet élastique ?
.....
.....

2) Conclusion :

Dans un système acoustique, on distingue deux parties :

- Un **système mécanique vibrant** (l'.....) qui est à l'origine de la d'un son par

Exemples :

- ✓ Pour les instruments à corde l'oscillateur mécanique est une (dans un piano des viennent frapper la corde, pour une guitare les cordes sont et pour un violon elles sont).
- ✓ Pour les instruments à vent il existe plusieurs types de système mécanique (c'est un dans les tuyaux d'orgues qui permet de créer l'oscillation, une sur un saxophone, ou simplement le du tuyau dans une flûte de pan).

- Un **système assurant le avec l'air** (le) : l'amplitude d'un son est bien trop faible pour être perçu si nous n'ajoutons pas au système mécanique un système assurant le avec l'air.

Exemples :

- ✓ d'une guitare ou d'un diapason
- ✓ d'..... pour une flûte ou une clarinette.

II Vibration d'une corde entre deux points fixes :

1) Description et fonctionnement de la guitare :

Le pincement de la corde provoque sa mise en vibration entraînant la vibration de la caisse et de l'air qu'elle contient. **Le son émis par la guitare a la même fréquence que les vibrations de la corde.**

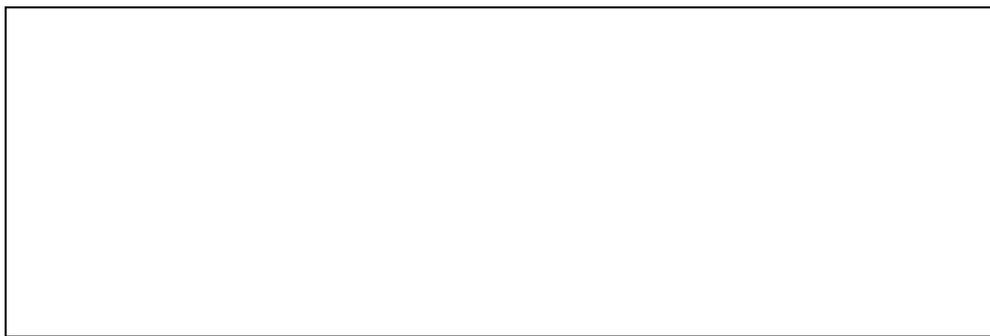
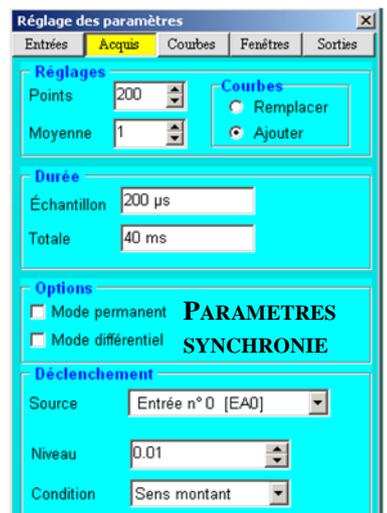
- a. Une guitare classique possède six cordes tendues entre le sillet (à l'extrémité du manche) et le chevalet (sur la table d'harmonie). Quel paramètre physique fait-on varier pour accorder une des cordes ? Comment s'y prend-on ?

- b. Un certain nombre de barrettes (ou "frettes") sont disposées sur le manche : quel est leur rôle ?

- c. Ainsi, quels sont les deux paramètres que l'on peut faire varier pour modifier la fréquence de vibration de la corde donc la note donnée par celle-ci ?

2) Oscillations libres d'une corde pincée et comparaison avec un diapason :

Nous allons réaliser les enregistrements des sons produits par une corde de guitare (la corde La, la deuxième plus grosse) et un diapason. Pour cela, nous allons réaliser le montage suivant et régler les paramètres de synchronie comme ci-contre :



A. Analyse du son émis par le diapason :

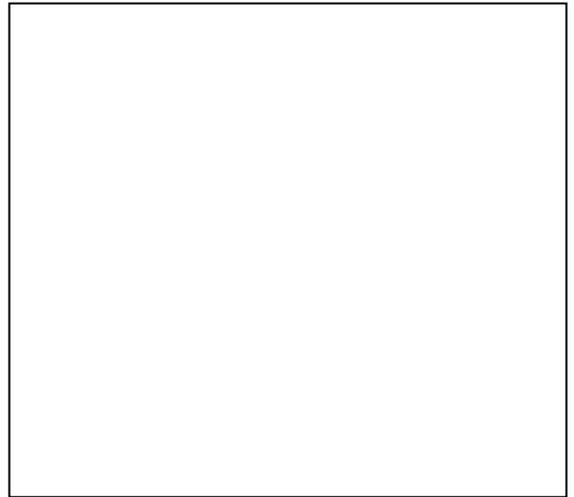
- a. Dessinez ci-contre l'oscillogramme obtenu :
- b. Comment appelle-t-on ce type de signal ?

- c. Déterminez la période et la fréquence de ce signal et comparez cette dernière avec la fréquence de la note émise par ce diapason :



B. Analyse du son émis par la corde de guitare :

- Dessinez l'oscillogramme obtenu :
- Comment peut-on caractériser le signal obtenu ?
.....
.....
- Déterminez la période puis la fréquence de ce signal par le calcul. Comparez cette dernière avec la fréquence obtenue à l'aide d'un stroboscope :
.....
.....
.....
.....



C. Spectres en fréquence :

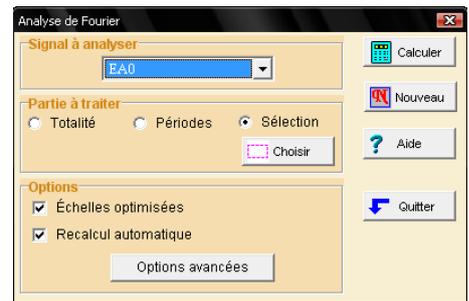
Tout signal périodique non sinusoïdal correspond en fait à la somme de signaux sinusoïdaux de fréquence déterminée.

Donc le signal correspondant à la vibration de la corde de guitare est en fait une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences f_1, f_2, f_3, \dots

Pour déterminer la fréquence de ces signaux sinusoïdaux on peut utiliser une opération mathématique appelé transformé de fourrier, on obtient alors un spectre en fréquence : il s'agit d'une courbe montrant la variation de l'amplitude des signaux sinusoïdaux en fonction de leur fréquence.

- Effectuez cette opération sur les deux signaux précédemment enregistré :

Pour que le logiciel travaille dans de bonnes conditions, il faut lui demander de faire ce travail sur la partie de la courbe la plus périodique possible. Pour cela, on choisira la partie de la courbe à traiter :



Pour le diapason, on obtient :



Pour la guitare, on obtient :



- Ainsi pour le diapason, on ne retrouve, de fréquence
- Pour la guitare, on a, de fréquence :
 $f_1 = \dots ; f_2 = \dots ; f_3 = \dots ; f_4 = \dots$

d. Comparez la valeur de la fréquence obtenue par calcul ou stroboscopie (question B.c.) et celle de f_1 trouvée précédemment :

.....
.....

e. Effectuez les rapports :

$$\frac{f_2}{f_1} = \dots\dots\dots \quad \frac{f_3}{f_1} = \dots\dots\dots \quad \frac{f_4}{f_1} = \dots\dots\dots$$

D. Conclusion :

- **Le diapason**, dont le spectre en fréquence ne montre signal significatif, **émet un son**
- **Pour la corde La de la guitare**, on observe signaux significatifs dans le spectre en fréquence, **le son émis est donc un son**

La corde est immobilisée à ses deux extrémités : ces conditions ne lui permettent pas de vibrer n'importe comment, elle vibre selon ses

➤ Mode propre de vibration :

.....
.....
.....

➤ Mode fondamental :

.....
.....

Pour la corde La de la guitare que nous avons étudié, il s'agit de $f_1 = 113$ Hz, plus petite fréquence du spectre en fréquence. On a aussi obtenue celle-ci en mesurant la période sur l'oscillogramme ou bien en éclairant la corde avec le stroboscope.

➤ Mode harmonique :

.....
.....
.....

Pour la corde La de la guitare, on a donc visualisé 3 harmoniques sur le spectre en fréquence : harmonique 2 (f_2), harmonique 3 (f_3) et harmonique 4 (f_4).

➤ Quantification :

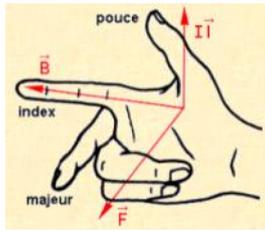
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3) Oscillations forcées d'une corde :

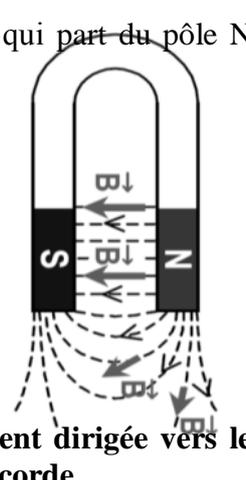
A. Montage :

B. Principe utilisé pour mettre en vibration la corde :

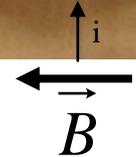
L'aimant en U admet un champ magnétique entre ses branches qui part du pôle N pour aller sur le pôle S.



Or, le fil parcouru par un courant i , soumis à un champ magnétique subit la force de Laplace dont la direction est donnée par la règle de la main droite :



La force de Laplace subit par la corde est verticale. Et comme le courant est alternatif, la force est alternativement dirigée vers le haut puis vers le bas ce qui provoque la vibration forcée de la corde



C. Manipulations :

- On part d'une fréquence nulle et on augmente progressivement celle-ci tout en observant la corde.
- Que se passe-t-il à une fréquence faible, quelconque ?
.....
- Lorsque l'on continue d'augmenter la fréquence, on arrive alors à une valeur qui provoque un mouvement particulier de la corde :
 - ✓ Quel est ce mouvement ?
.....
 - ✓ Quelle la fréquence correspondante (f_1) ?
.....
 - ✓ A cette fréquence, quelle forme a la corde ?
Dessinez-la dans le cadre ci-contre.
 - ✓ Notez la longueur de la corde : $L =$
- Continuons d'augmenter la fréquence : on trouve alors une nouvelle fréquence d'excitation qui donne une forme particulière à la corde :
 - ✓ Quelle est cette fréquence (f_2) ?
.....
 - ✓ Comparez-la à f_1 ?
.....
 - ✓ A cette fréquence, quelle forme a la corde ?
Dessinez-la dans le cadre ci-contre.
 - ✓ Mesurez la longueur de chaque morceau de la forme prise par la corde ?
.....
- De nouveau on augmente la fréquence d'excitation, d'après vous, que va-t-on trouver par la suite (nouvelle fréquence particulière, comparaison avec f_1 , forme de la corde ?
.....
.....
.....

D. Conclusion :

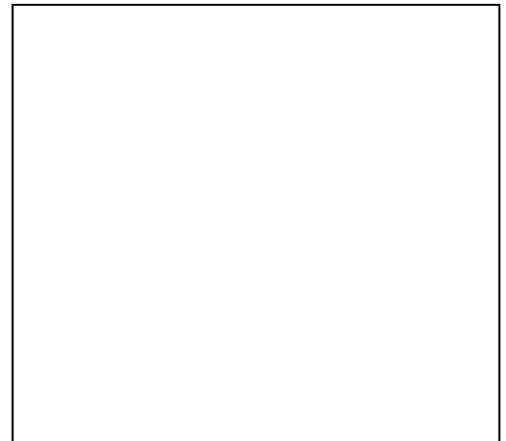
Lorsque l'on excite sinusoidalement une corde tendue entre ses deux extrémités, **on n'observe effectivement un mouvement de la corde uniquement pour des fréquences particulières** :

-
-
-

Comme la corde est mise en mouvement par un phénomène de résonance, on dit que la corde est un résonateur à fréquence multiple.

➤ De plus, on observe que la corde fait des **figures particulières** lors de ses vibrations aux différents modes :

- ✓
-
- ✓
-
- ✓
-
- ✓
-



III Vibration d'une colonne d'air :

1) Préambule :

- Nous allons réaliser un parallèle avec notre étude de la corde fixée à ses deux extrémités : Ici, nous nous intéresserons à une colonne d'air ouverte à ses deux extrémités.
- Pour exciter cette colonne d'air, nous allons utiliser un haut parleur relié à un GBF, ce qui nous permettra d'envoyer un son pur d'une fréquence voulue.
- Pour détecter ce qu'il se passe dans la colonne, nous utiliserons un microphone, en rappelant que celui-ci est sensible aux différences de pression de l'air, et convertit celles-ci en signaux électriques.

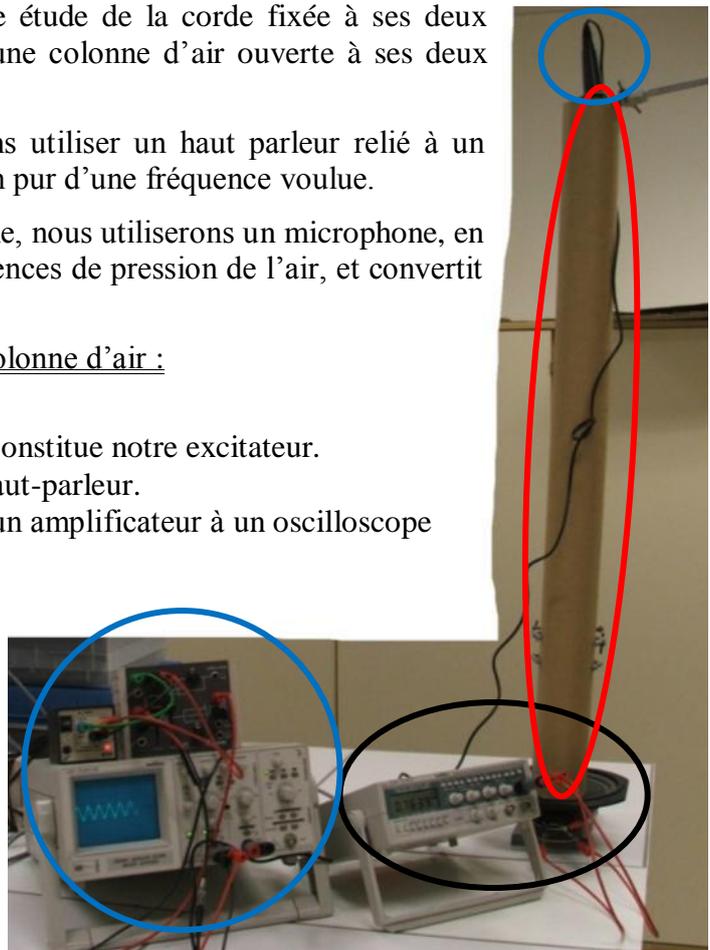
2) Modes propres de vibrations de la colonne d'air :

Nous allons réaliser le montage ci-contre :

- : un GBF est relié à un haut parleur, ceci constitue notre exciteur.
- : la colonne d'air est placée au dessus du haut-parleur.
- : un micro est relié, par l'intermédiaire d'un amplificateur à un oscilloscope sur lequel on recueille le signal reçu.

A. Manipulation :

- a. Réglez le GBF sur un signal sinusoidal de fréquence quelconque, réglez le bouton « level » pour avoir une bonne intensité sonore.
- b. Réglez alors l'oscilloscope pour visualiser le signal reçu par le micro.
- c. Placez-vous à une fréquence nulle du GBF.
- d. Augmentez alors progressivement celle-ci et notez les fréquences favorisées, c'est-à-dire celles pour lesquelles le signal reçu est intense.



Notez ces fréquences (en Hz) : $f_1 = \dots$; $f_2 = \dots$; $f_3 = \dots$; $f_4 = \dots$; $f_5 = \dots$

e. Effectuez les rapports :

$$\frac{f_2}{f_1} = \dots\dots\dots \quad \frac{f_3}{f_1} = \dots\dots\dots \quad \frac{f_4}{f_1} = \dots\dots\dots \quad \frac{f_5}{f_1} = \dots\dots\dots$$

f. Recommencez ces mesures avec un tuyau de longueur différente et comparez.

B. Conclusion :

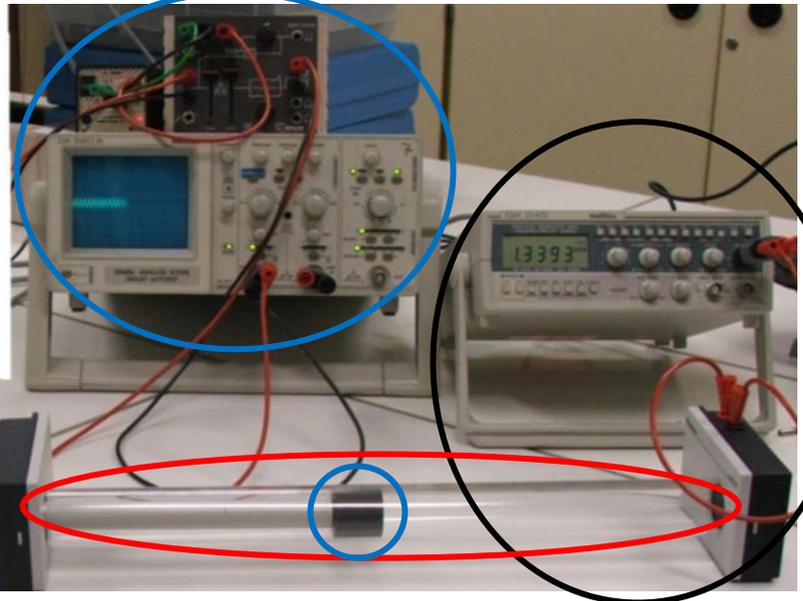
- Comme pour la corde tendue, une colonne d'air ne vibre de façon que pour certaines fréquences qui sont ses de vibrations.
- La plus petite fréquence f_1 est la fréquence du mode, les autres fréquences vérifiant la relation sont les fréquences des modes
- Les modes de vibration de la colonne d'air sont donc
- Ces fréquences dépendent de la longueur de la colonne d'air, plus cette longueur est, plus la fréquence du fondamental est

3) Nœuds et ventres de pression :

Nous allons utiliser pour cette manipulation le matériel pédagogique décrit ci-dessous :

Il s'agit du même matériel que précédemment mais miniature :

- : un GBF est relié à un haut parleur, ceci constitue notre excitateur.
- : la colonne d'air est placée contre le haut-parleur.
- : un micro est relié, par l'intermédiaire d'un amplificateur à un oscilloscope.



A. Manipulation :

- a. Mettez le micro au milieu du tube.
- b. Réglez le GBF sur un signal sinusoïdal de fréquence quelconque, réglez le bouton « level » pour avoir un son juste audible.
- c. Réglez alors l'oscilloscope pour visualiser le signal reçu par le micro.
- d. En partant d'une fréquence nulle, cherchez la sixième fréquence favorisée.
- e. Déplacez alors le micro à l'intérieur du tube et noter les positions pour lesquelles on observe des minimas de pression nœuds.
- f. Faites un schéma de la colonne en précisant les positions des ventres de pression et des nœuds de pression. Remarquez leur position en mesurant l'écart entre deux nœuds ou deux ventres.

B. Conclusion :

.....

.....

.....

.....