MUSIQUE

1ère partie : instruments de musiques

A- Production d'un son par un instrument à corde.

Problématiques :

Lorsque l'on fait vibrer une corde de guitare, pourquoi entend-t-on mieux le son qu'en ayant simplement tendu la même corde entre deux points de la pièce ?

Pour une corde de longueur donnée et de tension donnée, quel rapport y a-t-il entre la vibration de la corde et la productions des différents harmoniques ?

La « vibration » de la corde, en quoi cela consiste-t-il ? (A priori, lorsque l'on pince et que l'on relâche une corde de guitare, on déclenche la propagation d'une onde, alors comment nait cette vibration d'aspect permanent et fixe dans l'espace ?)

A votre disposition :

Une expérience préliminaire avec des sphères magiques et des diapasons…

1) Des « sonomètres » et des guitares : cordes métalliques tendues au dessus de caisses en bois et que l'on peut forcer à vibrer sur toute une gamme de fréquence. Pour les vibrations de grande amplitude, un son « musical » sera audible.
2) Une corde type guitare tendue sans association avec une caisse est aussi disponible.

3) Une corde plus souple que l'on pourra faire vibrer et dont on pourra modifier la longueur et la tension. Quelle que soit l'amplitude des vibrations observées, il n'y aura pas de son « musical » audible.

Remarque : on ne s'intéressera pas aujourd'hui au son produit par le haut parleur qui sert à faire vibrer la corde souple. Ce dispositif 3) ne sert qu'à observer plus nettement l'aspect de la corde pour certaines fréquences de vibrations imposées à une de ses extrémités.

4) Une longue corde tendue entre deux points de la salle de classe sur laquelle on peut procéder à des propagations de perturbations périodiques jusqu'à découvrir à quelles conditions elles peuvent se transformer en « vibrations permanentes et fixes » pour chaque point de la corde. On tachera en particulier de constater l'existence de points qui restent immobiles alors que l'on est en train de perturber périodiquement le milieu (la corde).

5) Des ordinateurs afin de procéder à quelques recherches.

Les mots clés qui peuvent vous être utiles :

- **Caisse de résonance, système résonant, système vibrant.**
- **Ondes stationnaires.**
- **Nœuds et ventres de vibrations.**

Annexe 1 : le sonomètre

Une corde métallique tendue parcourue par un courant électrique alternatif est placée dans le champ magnétique d'un aimant. Les électrons qui circulent dans la corde en changeant périodiquement de sens sont donc soumis (au voisinage de l'aimant et du champ magnétique qu'il produit) à la force magnétique de Laplace qui change elle aussi périodiquement de sens, déviant alternativement les électrons du circuit vers le bas puis vers le haut... ***La corde vibre****.*

Cette corde est fixée entre deux points A et B et surmonte une caisse de résonance. Cet ensemble constitue un sonomètre.

Remarque : le dispositif électrique apparemment complexe qui accompagne le sonomètre ne sert qu'à faire passer dans la corde un courant alternatif de fréquence réglable et d'intensité suffisante (environ 0,5 A).

a- *Mettre l'aimant au milieu de la corde dont on a fixé la longueur à 1 m (environ 80 cm pour la guitare). A partir d'une fréquence d'environ 20 Hz, augmenter doucement la fréquence du GBF jusqu'à entendre un son à l'oreille et voir la corde vibrer (observation au stroboscope autorisée pour déterminer la fréquence de vibration de la corde).*

Décrire alors l'aspect de la corde, relier éventuellement les valeurs de fréquence : celle délivrée par le GBF et celle de vibration de la corde.

b- *Déplacer maintenant l'aimant aux 3/4 de la longueur de la corde. Augmenter la fréquence du GBF jusqu'à de nouveau percevoir un son.*

Noter alors toutes les observations significatives (aspect de la corde, fréquence caractéristique) et en particulier mettre en relation la fréquence mesurée dans cette situation et celle caractéristique de la situation a - .

c - *Recommencer en replaçant l'aimant au milieu et en continuant à augmenter la fréquence au niveau du GBF.*

d - *Quelle relation y a-t-il entre ces fréquences caractéristiques (appelées modes propres de vibration de la corde) ?*

e - *Reprendre la situation a - , mais avec une longueur différente de corde.*

Conclure.

(on pourrait aussi faire varier la tension de la corde)

Annexe 2 : Ondes stationnaires

(tout le raisonnement tenu ici concerne une système vibrant de telle sorte qu'il y a toujours des nœuds de vibration à ces extrémités, par exemple une corde tendue entre deux points fixes)

Lorsqu'une onde rencontre un obstacle fixe, on observe la formation d'une ***onde réfléchie*** *c'est à dire une onde qui revient, qui se propage en sens inverse par rapport à l'onde incidente.*

L'onde réfléchie est caractérisée par une perturbation qui est exactement opposée à celle caractérisant l'onde incidente.
Considérons maintenant comme système vibrant une corde tendue entre deux points fixe et qui a été pincée de telle sorte qu'une onde s'y propage. (onde incidente)
Arrivée à la première extrémité, cette onde est réfléchie…
Arrivée à l'autre extrémité, l'onde réfléchie subit à son tour une réflexion et repartira dans le même état que l'onde incidente. (si on néglige tout amortissement)

Si, maintenant, l'onde produite résulte d'une perturbation périodique sinusoïdale, les ondes successivement réfléchie vont se combiner aux ondes incidentes qui continuent à se propager.
On peut, dans certaines conditions, observer ce que l'on appelle ***des ondes stationnaires*** *:*
Ce phénomène se produit lorsqu'une onde réfléchie repart exactement en même temps et dans le même état (en phase avec) que l'onde incidente.
Pour cela, il faut que l'aller-retour de l'onde se fasse en une durée correspondant à un nombre entier de périodes (pour être synchrone avec une nouvelle onde incidente produite lorsqu'elle repart).
Si la durée de l'aller-retour est $t = n.T$ *(avec n entier)*

Alors la longueur de l'aller-retour est $n.\lambda$ *(car pendant une période T, une onde périodique se propage de la longueur* λ.

La longueur du système vibrant doit donc être $L = \frac{n.\lambda}{2}$

(c'est la condition d'obtention d'onde stationnaire dans un système vibrant dont les deux extrémités sont fixes)

On dessine et en particulier on met en évidence la longueur d'onde.

On ne voit plus alors de propagation d'onde, chaque point de la corde vibre alors de façon permanente et sinusoïdale à la même fréquence, avec une amplitude qui dépend de la position du point sur la corde. On retrouve des points particuliers qu'on appelle bien sûr ventres (amplitude de vibration maximum) et nœuds de vibration (amplitude de vibration nulle, immobilité).

Il y a visiblement vibration sans propagation, pourtant ce phénomène et le résultat de la superposition d'ondes en train de se propager.

Les fréquences des ondes sinusoïdales pouvant se propager sur une corde tendue entre 2 points fixes de façon à générer un mode d'ondes stationnaires sont les fréquences correspondant au modes propres de vibration.

1^er^ mode : n = 1, ***1 fuseau, 2 nœuds, 1 ventre (mode fondamental) ;***
2^ème^ mode : n = 2, ***2 fuseaux, 3 nœuds, 2 ventres (2^ème^ harmonique)***
etc.
n^ième^ mode : n ***n fuseaux, (n+1) nœuds, n ventres (n^ième^ harmonique)***

Annexe 3 : Conditions d'obtention d'ondes stationnaires

(aide pour manipulation de la corde vibrante souple reliée à un haut parleur)

Travail à réaliser :

- présenter par écrit (schéma + explications) le dispositif utilisé ;

1ère partie : travail à célérité v constante. (*tension constante*)

- Vérifier l'existence des différents modes de vibration et la relation entre les fréquences propres des harmoniques successifs et la fréquence propre du fondamental.

- Formules caractéristiques :

$$L = n\frac{\lambda_n}{2} \quad (1) \qquad\qquad f_n = \frac{nv}{2L} \quad (2)$$

- Pour chacun des modes observés, utiliser les formules ci-dessus afin de :
  - déterminer λ_n ;
  - déterminer v ;
  - déterminer f_n ;
  - Tracer le graphe $f_n = f(n)$, puis l'exploiter (mesure du coefficient directeur..) afin de retrouver une valeur de v ;

2ème partie, travail à longueur d'onde constante. (*longueur constante, mode constant)*

- Reproduire le même mode de vibration avec différentes valeurs de la masse m suspendue pour tendre le fil (attention : pas trop lourde), noter à chaque fois la fréquence correspondante. En déduire la célérité v. Tracer le graphe $v = f(\sqrt{m})$. Le résultat est-il cohérent avec la formule :

$$v = k\sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad ?$$

(μ : masse linéique de la corde en $kg.m^{-3}$, F tension exercée sur la corde de même valeur que le poids de la masse suspendue)

- Déterminer la valeur de k et donner son unité.

A’ Conclusions pour la partie A

En quoi consiste l’expérience du “sonomètre” (corde vibrante + caisse de résonance) ?

- On force le système à vibrer (à osciller) selon une fréquence imposée.
- On constate que le système ne “répond” pas toujours de la même façon . Il n’y a que pour certaines valeurs de fréquences qu’il se met en vibration de façon nette (avec, en chaque point, un amplitude **constante** et visible).
- Cela implique (discussion) que si l’on abandonne la corde après l’avoir pincée, elle va vibrer librement et la fréquence de ses vibrations libres sera une des fréquences particulières mises en évidence précédemment.

C’est pour cela que ces fréquences sont appelées les fréquences propres du système étudié.

C’est pour cela que : “ les fréquences propres de vibration du système sont quantifiées “

En observant le système en vibration, on a pu constater que pour chaque fréquence propre de vibration, le système ne vibrait pas de la même manière : il y a différents modes (propres) de vibration.
Ici, le domaine de fréquences correspond aux domaine des ondes sonores, donc lorsque le système vibre nettement, il peut y avoir émission d’un son.

On peut maintenant conclure : le système vibrant, source sonore, vibre de telle sorte qu’il produit un ensemble de fréquences qui sont forcément des fréquences propres du système. Lorsque je lâche ma corde de guitare, le son que j’entends ne contient pas forcément qu’une seule fréquence, mais probablement un ensemble de fréquences.

La vibration produite est une combinaison des modes propres de vibration de notre système.

Les valeurs de ces fréquences dépendent de caractéristiques (propres) du système vibrant ; ici : longueur, tension, matériau pour la corde.

A RETENIR :

- Le mode correspondant à la plus basse fréquence propre est appelé fondamental. On lui donne aussi le nom de 1^er^ harmonique.

- Les autres modes (correspondant aux fréquences supérieures) sont appelés harmoniques. (harmoniques supérieurs)

- Les fréquences propres caractéristiques des harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence du fondamental (exemples).

- Lorsqu'un système vibre selon un de ces modes, on observe au sein de ce système des zones où l'amplitude de vibration est maximale (des ventres de vibration) et des zones où l'amplitude de vibration est nulle (nœuds de vibration)

vibration en mode fondamental (1^{er} mode) : 1 ventre 2 nœuds
vibration en mode 2ème harmonique ($2^{ème}$ mode : 2 ventres 3 nœuds
vibration en mode $3^{ème}$ harmonique ($3^{ème}$ mode): 3 ventres 4 nœuds (schémas)
vibration en mode $n^{ème}$ harmonique ($n^{ème}$ mode) : n ventres n+1 nœuds

Lorsque la corde d'un instrument de musique est pincée, il y a émission d'un son qui est composé de plusieurs fréquences qui sont forcément celles des modes propres de vibration.

Schémas de fuseaux…

<u>Les sons produits par l'instrument, mélanges d'ondes fondamentale et harmoniques supérieures, sont audibles car suffisamment amplifiés et entretenus grâce à la possibilité d'existence d'ondes stationnaires aux fréquences correspondantes</u>. *Toute onde de vibration correspondant à une autre valeur de fréquence que celle d'une fréquence propre va rapidement s'annuler, « disparaître », suite à de multiples réflexions ne se faisant pas en phase.*