

OBJECTIFS

- Observer et étudier les modes de vibration d'une corde tendue et d'une colonne d'air.
- Découvrir le phénomène d'ondes stationnaires.
- Mettre en évidence la notion de mode fondamental et d'harmoniques.
- Étudier les facteurs qui influencent les modes de vibration de la corde.

I. HISTORIQUE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CORDE DE GUITARE

Ana

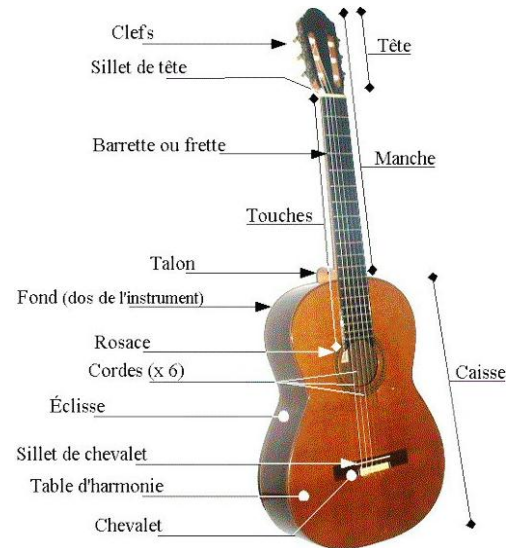
Il existe un grand nombre d'instruments à cordes pincées ayant une forme proche de la guitare. Les premières traces iconographiques datent, selon les sources de 3000 à 1000 avant J.C. Une forme proche de la guitare c'est à dire une caisse, un manche distinct et des cordes. L'origine exacte de la guitare est floue. Elle pourrait venir d'un luth assyrien qui se serait implanté en Espagne en passant par l'Arabie et la Perse ou bien elle serait issue de la cithare romaine et arriverait en Espagne avec les Arabes.

<http://www.les-instruments-de-musique.fr/instrument.php?nom=guitare>

Une guitare classique est constituée, entre autres, de six cordes de diamètres différents qui vibrent lorsqu'elles sont pincées, et d'une partie creuse, appelée caisse de résonance. Les cordes vibrent entre le sillet et le chevalet, des clefs situées sur la tête de la guitare permettant de faire varier la tension mécanique de chaque corde (Figure ci-contre).

Afin de produire différentes notes de musique, le guitariste a la possibilité de réduire la longueur de la corde en appuyant son doigt sur des cases situées entre deux frettes du manche de la guitare.

Les cordes sont numérotées de 1 à 6, de la plus épaisse à la plus fine. Lorsqu'elles sont jouées à vide, c'est-à-dire sans pression des doigts sur une case, l'instrument est dit accordé si chaque corde donne une note de hauteur différente, donnée dans le tableau ci-dessous.



Corde	1	2	3	4	5	6
Note	Mi ₁ (mi grave)	La ₁ (la)	Ré ₂ (ré)	Sol ₂ (sol)	Si ₂ (si)	Mi ₃ (mi aigu)
Hauteur (Hz)	82,40	110,00	146,83	196,00	246,94	329,63

On cherche à étudier les différents modes de vibration de ces cordes.

1. Sur cette guitare, identifier les éléments participant à la formation d'une onde sonore.
2. Proposer une fonction à chacun de ces éléments.

II. OSCILLATIONS LIBRES D'UNE CORDE DE GUITARE

Étudions les vibrations d'une corde de guitare et le son qu'elle produit lorsqu'elle oscille librement.

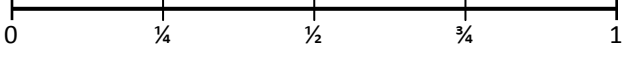
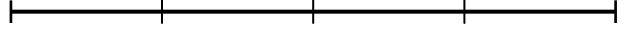
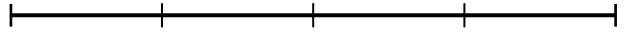
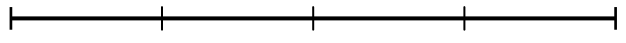
- Pincer la plus grosse corde d'une guitare en son milieu, la lâcher et l'observer à l'œil nu, puis à l'aide d'un stroboscope.
- En partant de 100 Hz, diminuer progressivement la fréquence f_e des éclairs du stroboscope jusqu'à l'immobilité apparente de la corde. La fréquence f_c des vibrations est alors égale à f_e .
- 3. Quel est l'aspect de la corde observée à l'œil nu, puis avec le stroboscope ?
- 4. Quelle est la valeur de la fréquence f_c ?
 - Placer un micro près d'une sortie de la caisse de résonance et le brancher à un système d'acquisition. Enregistrer la tension correspondant à la vibration sonore émise.
- 5. Le son produit par la corde est-il pur ?
- 6. La vibration sonore émise est-elle sinusoïdale ? Est-elle périodique ? Reproduire son allure.
- 7. Mesurer la période T_c (en s) des oscillations. En déduire la fréquence f_c des oscillations libres de ce fil.
 - Réaliser l'analyse de FOURRIER de l'enregistrement.
- 8. Quelles sont les valeurs des premières fréquences qui apparaissent dans le spectre ? Comparer ces fréquences avec la fréquence f_c .

III. OSCILLATIONS FORCÉES D'UNE CORDE DE GUITARE

Excitons la corde avec une force périodique et étudions les oscillations périodiques qui en résultent.

- La corde est maintenant parcourue par un courant alternatif d'intensité I délivré par un GBF.
- La corde métallique passe entre les pôles d'un **aimant en U**. Elle est alors soumise à une **force magnétique de Laplace** qui provoque un déplacement vertical alternativement vers le haut puis vers le bas selon le sens du courant. La corde est ainsi soumise à des **oscillations forcées**.
- L'aimant est placé initialement au centre de la corde.
- En partant de 50 Hz, augmenter la fréquence f du GBF jusqu'à entendre un son et observer la forme de la corde.

9. Compléter le tableau suivant :

Fréquence (Hz)	Mode de vibration	Nombre de fuseaux	Forme de la corde
$f_1 =$			
$f_2 =$			
$f_3 =$			
$f_4 =$			

▲ Mode propre de vibration fondamental : harmonique de rang 1

10. Définir le mode de vibration fondamental.
11. Comparer la fréquence f_1 de vibration du mode fondamental à la fréquence f_c de vibration de la corde lors des oscillations libres. Conclure.

▲ Modes propres de vibration de rang supérieur à 1 : harmonique de rang n

12. Calculer les rapports : $\frac{f_2}{2}$, $\frac{f_3}{3}$ et $\frac{f_4}{4}$. Comparer ces valeurs à f_1 .
13. Quelle relation simple peut-on écrire entre la fréquence f_1 du mode fondamental et la fréquence f_n de l'harmonique de rang n ?
14. Pourquoi dit-on que les fréquences de vibration de la corde sont quantifiées ?

▲ Relation entre longueur d'onde λ_n et la longueur de la corde L

15. À partir des schémas de la question 9. compléter le tableau suivant :

Nombre n de fuseaux	1	2	3	4
Longueur d'onde λ_n				

16. En déduire la relation générale entre L et λ_n .

▲ Relation entre longueur d'onde λ_n et fréquence f_n

17. Compléter le tableau suivant :

Nombre n de fuseaux	1	2	3	4
Fréquence f_n (Hz)				
$f_n \times \lambda_n$				

18. Par analyse dimensionnelle, trouver à quelle grandeur correspond cette constante et donner la relation liant ces trois grandeurs.

IV. ÉTUDE DES FACTEURS QUI INFLUENCENT LA VALEUR DE LA FRÉQUENCE PROPRE DE VIBRATION

- Ouvrir l'animation **Corde_Melde** qui permet de modéliser un vibreur de Melde.
Un vibreur de Melde est constitué d'un électro-aimant qui excite périodiquement une lame d'acier. Un fil élastique est fixé à la lame d'acier et passe dans la gorge d'une poulie : le fil est tendu par une masse à crochet.
On note L la longueur du fil entre le centre de la poulie et la lame d'acier.

19. Quels sont, à priori, les facteurs physiques qui peuvent avoir une influence sur la valeur de la fréquence propre de vibration de la corde ?

▲ **Influence de la tension du fil**

→ Pour un fil donné, de longueur constante $L = 0,60 \text{ m}$ et de masse linéique $\mu = 1,00 \text{ g.m}^{-1}$, on va augmenter progressivement la masse m qui permet de tendre le fil et à chaque fois on cherchera la fréquence de l'harmonique de rang 1 soit la fréquence du fondamental (1 seul fuseau).

Masse m (en kg)	$M = 0,020$	$2M = 0,040$	$3M = 0,060$	$4M = 0,080$
Force T exercée sur le fil (N)				
Fréquence f_1 (Hz)				

→ Tracer la courbe donnant l'évolution de f_1 , en fonction de \sqrt{T} .

20. Que peut-on en conclure ?

▲ **Influence de la longueur du fil**

→ Avec une masse $M = 50 \text{ g}$ accrochée au bout du fil de masse linéique $\mu = 1,00 \text{ g.m}^{-1}$, chercher la fréquence de résonance donnant un fuseau, pour différentes longueurs L du fil.

Longueur L (m)	$0,40$	$0,60$	$0,80$	$1,00$
Fréquence f_1 (Hz)				

→ Tracer la courbe donnant l'évolution de f_1 , en fonction de $1/L$.

21. Que peut-on en conclure ?

▲ **Influence de la masse linéique du fil**

→ Avec une masse $M = 50 \text{ g}$ accrochée au bout du fil de longueur constante $L = 0,60 \text{ m}$, chercher la fréquence de résonance donnant un fuseau, pour différentes masse linéique μ du fil.

Masse linéique μ (g.m^{-1})	$0,75$	$1,00$	$1,25$	$1,50$
Fréquence f_1 (Hz)				

→ Tracer la courbe donnant l'évolution de f_1 , en fonction de $\frac{1}{\sqrt{\mu}}$.

22. Que peut-on en conclure ?

▲ **Conclusions**

23. Par rapport à vos résultats précédent, laquelle de ces relations est correcte ?

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\mu}{T}} \quad f = \frac{1}{2} L \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad f = \frac{1}{2L} \sqrt{T\mu} \quad f = \frac{1}{2} L \sqrt{T\mu} \quad f = \frac{1}{2} L \sqrt{\frac{\mu}{T}}$$

24. À partir des résultats des questions 16., 18. et 23. donner la relation entre la vitesse v de l'onde, la tension T et la masse linéique μ du fil.

25. Pourquoi les cordes d'une guitare sont-elles d'épaisseurs différentes ?

26. Laquelle d'entre elle émet le son le plus aigu. Réponse à justifier.

27. Quel est le rôle des clés sur une guitare ?

28. Une guitare doit souvent être accordée. Comment procède-t-on ?

29. Quel est le rôle des frettes ? Comment varie la fréquence de vibration d'une corde lorsque l'on pose un doigt entre deux frettes.

