DS Acoustique TS 10 –15 mars 2012 – Durée 1h 30

EXERCICE N°1 : LA GUITARE, UN INSTRUMENT A CORDES (14 POINTS)

*Un élève musicien se propose de réaliser quelques expériences avec sa guitare parfaitement accordée. La guitare possède 6 cordes numérotées de 1 à 6, de même longueur **L** = 642 mm.*
Le joueur a la possibilité de réduire la longueur de la corde en appuyant sur des frettes situées sur le manche de la guitare (voir figure ci-dessous).

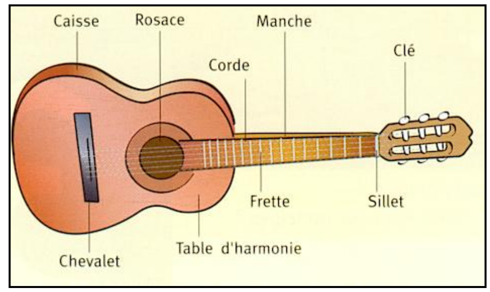
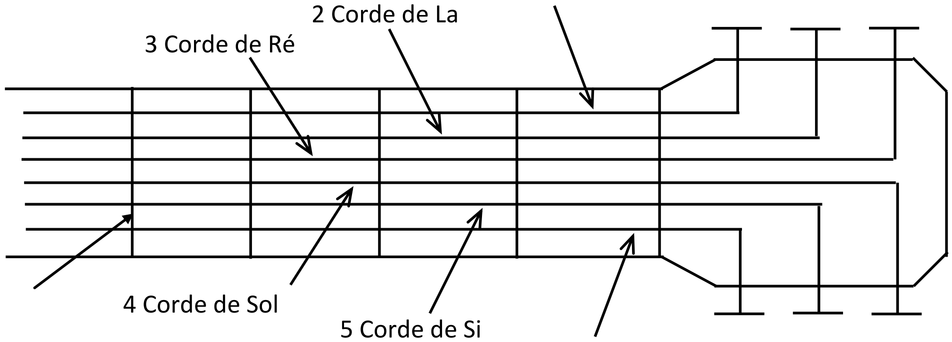


Schéma du manche de la guitare



La fréquence de vibration f et la note émise par chaque corde sont indiquées dans le tableau suivant:

Corde	1	2	3	4	5	6
f(Hz)	82,5	110,0	146,8	196	246,9	329,5
Note	Mi grave	La	Ré	Sol	Si	Mi aigu

I. Expérience 1: mise en évidence des ondes stationnaires

*L'élève réalise un montage consistant à placer la corde métallique n°1 au voisinage d'un aimant et d'y imposer le passage d'un courant électrique alternatif de fréquence **f** réglable. La corde vibre alors à la même fréquence que celle du courant. Il constate que le mouvement de la corde a une faible amplitude sauf pour certaines valeurs de la fréquence:*

$f_1 = 82{,}5$ Hz $\quad f_2 = 2 \times f_1 \quad f_3 = 3 \times f_1 \quad f_4 = 4 \times f_1$ …

Ces fréquences particulières permettent d'obtenir un système d'ondes stationnaires: suivant le cas, il observe un ou plusieurs fuseaux.

1. Quel est le nom du mode de vibration correspondant à la fréquence f_1 ?
Quel aspect présente la corde lorsqu'on lui impose cette fréquence de vibration ?
Faire un schéma et indiquer les noms des points particuliers de la corde.

2. Ecrire la condition d'existence d'un système d'ondes stationnaires stables en fonction de la longueur L de la corde et de la longueur d'onde λ et du mode de vibration n.
Quelle relation a-t-on alors entre la célérité v des ondes mécaniques le long de la corde, la longueur L de la corde et la fréquence f_1 ?
Calculer la célérité v en m.s^{-1}.

3. Quel est le nom des autres modes de vibration de la corde ?
Quel aspect présente la corde lorsqu'on lui impose la fréquence f_3 ? Faire un schéma.
Calculer la longueur d'onde λ_3 des ondes du système d'ondes stationnaires de ce mode de vibration.

II - Expérience 2: analyse du son émis par une corde

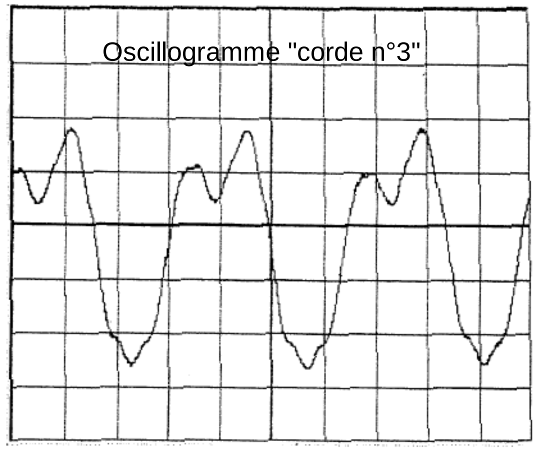
L'élève pince la corde n°3 et visualise, à l'aide d'un microphone et d'un système d'acquisition, une tension électrique de même fréquence de vibration que celle de la corde.

Les réglages de l'acquisition sont:

Base de temps: 2,0 ms / div

Sensibilité verticale: 200 mV / div.

L'acquisition obtenue est représentée ci-contre:



4. Déterminer la période de vibration ***T*** de la corde en détaillant le calcul.

5. Montrer que la corde est bien accordée.

6. Le son émis par la corde est-il pur ou complexe ? Justifier.

III - Expérience 3: Analyse spectrale d'un son

*La corde 2 émet un « La ». Il en est de même de la corde 6 lorsqu'on appuie sur la 5ème frette (« La3 » de fréquence 440 Hz). Deux notes sont séparées **d'une octave** si le rapport de leur fréquence vaut 2.*

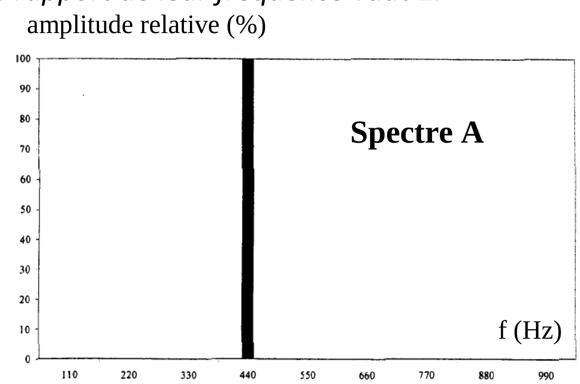
7. De combien d'octaves sont séparées les notes *La* et *La3* ? Justifier.

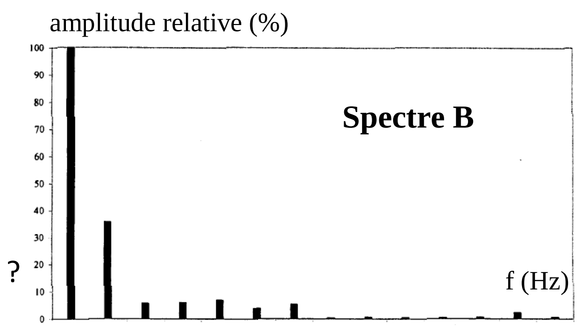
L'élève dispose par ailleurs d'un diapason émetteur d'un son pur de fréquence 440 Hz. Il réalise les spectres en fréquence, représentés ci-contre, des sons émis par ces trois émetteurs:

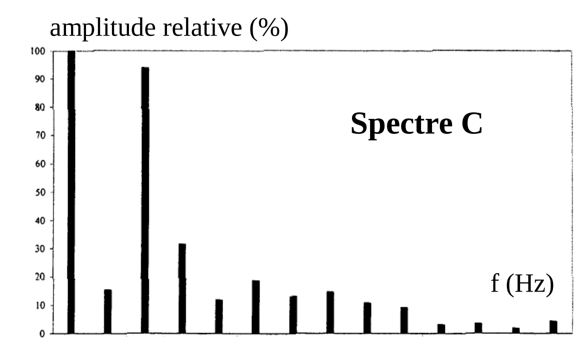
- son 1 (corde 2)

- son 2 (corde 6 de longueur réduite par appui sur 5ème frette)

- son 3 (diapason).







8. A quel spectre (A, B ou C) est associé le son 3 émis par le diapason ? Justifier.

Quelle est l'allure de la vibration sonore associée à ce son ?

9. Attribuer les deux autres spectres aux deux autres sons en justifiant vos réponses.

Les trois sons correspondent à des « La », mais sont néanmoins différents.

10. Quelles sont les trois principales caractéristiques d'un son ?

11. Quelle caractéristique distingue les sons associés aux spectres B et C ?

12. Quelle caractéristique distingue les sons associés aux spectres A et C ?

IV - Expérience 4: Accord d'une corde de guitare

Pour accorder la corde d'une guitare, le guitariste tourne la clef correspondant à la corde, ce qui ajuste sa tension. Les différentes cordes n'ont pas la même masse linéique mais on peut considérer qu'elles sont tendues de la même façon.

La célérité v des ondes le long d'une corde tendue entre deux points fixes est: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

avec F: tension de la corde en N ; µ: masse linéique de la corde en kg.m^{-1}*.*

13. Montrer que la période ***T*** du son émis par une corde tendue entre deux points fixes distants de ***L*** est:
$T = 2.L.\sqrt{\frac{\mu}{F}}$.

14. On suppose que la corde 4 du « Sol » est non accordée: elle a une fréquence trop basse lorsqu'elle est mise en vibration. Comment le guitariste doit-il procéder pour accorder la corde 4 du « Sol » ? Justifier sans calcul.

EXERCICE N°2 : LA FLUTE, UN INSTRUMENT A VENT (6 POINTS)

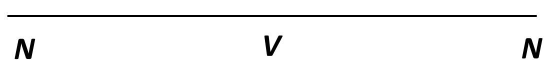
Les tuyaux sonores à embouchure de flûte équipent en partie les tuyaux d'orgues.
Un tuyau sonore à embouchure de flûte, comprend un biseau ; l'air vient frapper ce biseau, il en découle une mise en oscillation de la colonne d'air à l'intérieur du tuyau. Ces tuyaux sont considérés comme des tuyaux ouverts au niveau de l'embouchure. L'autre extrémité du tuyau peut être :

- *soit ouverte, le tuyau sonore est alors un **tuyau ouvert aux deux extrémités**.*
- *soit fermée, le tuyau est alors **ouvert à une extrémité, fermé à l'autre**.*

*À une extrémité **ouverte**, est toujours situé un **nœud** de pression de l'air, noté **N**.*
*À une extrémité **fermée**, est toujours situé un **ventre** de pression de l'air, noté **V**.*
Données : *célérité du son dans l'air est $v = 340\ m.s^{-1}$ à 15 °C.*

I. Tuyau sonore ouvert aux deux extrémités

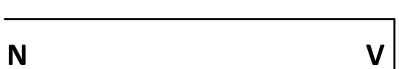
Une flûte émet en continu un son dans l'air environnant.
15. Caractériser l'onde sonore qui se propage dans l'air en utilisant tout ou partie du vocabulaire suivant :
« progressive, électromagnétique, transversale, mécanique, longitudinale, stationnaire ».
Un tuyau sonore de longueur L_1 ouvert aux deux extrémités émet à $\theta = 15$ °C un son de fréquence f_1.
*L'état vibratoire du **mode fondamental** du tuyau peut être représenté de la manière suivante :*



16. Dans le cas d'une corde tendue entre deux points fixes, quelle distance ***d*** sépare deux ventres ou deux nœuds successifs en fonction de la longueur d'onde λ ?
Sachant que la relation précédente reste valable dans le cas du tuyau sonore ouvert aux deux extrémités, établir la relation entre L_1, v, et f_1 pour le mode fondamental du tuyau précédent.
17. L'affirmation suivante d'un élève : «*À un tuyau sonore long correspond un son grave* » est-elle vraie ? Justifier.
18. On considère un tuyau de longueur L_2 qui émettrait un son, dont la fréquence f_2 du mode fondamental correspondrait à l'harmonique de rang 2 du tuyau de longueur L_1.
Exprimer une relation entre f_2, L_2 et v. En déduire la relation entre L_2 et L_1.

II. Tuyau sonore fermé à une extrémité

Soit un tuyau à embouchure de flûte de longueur L_0, mais fermé à l'autre extrémité.
Ce tuyau est représenté ci-dessous dans le mode fondamental :

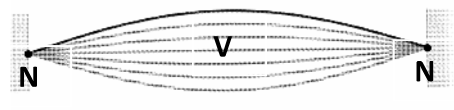


19. Exprimer la relation entre la longueur L_0 et la longueur d'onde λ du tuyau ci-dessus.
Exprimer la fréquence f_0 du mode fondamental émis par ce tuyau en fonction de v et L_0.
20. Un élève affirme : « *Un tuyau ouvert aux deux extrémités sonne avec une fréquence double de celle d'un tuyau de même longueur, fermé à une extrémité* ». Est-ce vrai ou faux ? Justifier la réponse.

Correction DS Acoustique TS 10 – 15 mars 2012 – Durée 1h 30

EXERCICE N°1 : LA GUITARE, INSTRUMENT A CORDES

I.1. Le mode de vibration correspondant à f_1 est appelé mode **fondamental** (ou harmonique de rang 1).
La corde présente un fuseau avec deux **nœuds N** à ses extrémités et un **ventre V** au centre, soit:



2. Les ondes stationnaires s'établissent si la longueur L de la corde est un multiple de la demi-longueur d'onde soit si: $\boxed{L = n.\frac{\lambda}{2}}$ avec n nombre de fuseaux.

De plus $\lambda = \frac{V}{f}$ donc $L = n\,\frac{V}{2f}$ ou $\boxed{V = \frac{2L.f}{n}}$

Pour le fondamental n = 1 donc $\boxed{\mathbf{V = 2Lf}}$

La célérité des ondes mécaniques le long de la corde 1 vaut: $V = 2\times0{,}642\times82{,}4$ = **106 m.s^{-1}.**

3. Les autres modes de vibration sont appelés **harmoniques**. Lorsqu'on impose la fréquence f_3 à la corde 1, celle-ci est dans le mode harmonique de rang 3, elle présente 3 fuseaux.
Comme n = 3 alors, $\boldsymbol{\lambda_3} = 2L / 3 = 2\times0{,}642 / 3$ **= 0,428 m.**

4. On a: 2 T ⇔ 6,9 div donc $T = \frac{6{,}9}{2}\times 2{,}0\times10^{-3}$ = **6,9×10^{-3} s.**

5. Si la corde est parfaitement accordée, elle doit vibrer à la fréquence **f = 146,8 Hz**.
Or **f = 1 / T = 145 Hz**.
Ce résultat est proche (à 1,2 % près) de la fréquence de vibration attendue. Avec une précision peu importante due à la lecture graphique de T, on peut considérer que **la corde est bien accordée.**

6. La vibration sonore n'est **pas une sinusoïde**, ce n'est donc pas un son pur. La vibration sonore est périodique mais non sinusoïdale: elle correspond à un **son complexe.**

7. La corde 2 émet un La de fréquence à 110 Hz, tandis que la corde 6 avec appui sur la 5ème frette émet un La3 mais de fréquence 440 Hz. On constate que 440 / 110 = 4 alors les deux notes sont séparées par **deux octaves**.

8. Le **spectre A** ne contient **qu'une seule raie**, c'est un **son pur**: il s'agit du son émis par le diapason: **SON 3**.
La vibration sonore associée à ce son est une sinusoïde.

9. Le **spectre B** a un fondamental de fréquence **110 Hz**: il s'agit donc du son émis par la corde 2 : **SON 1.**
Le **spectre C** a un fondamental de fréquence **440 Hz**: il s'agit du son émis par la corde 3 pincée au niveau de la frette 5: **SON 2.**

10. Un son est caractérisé par sa **hauteur,** son **timbre** et son **niveau sonore.**

11. Les sons associés aux spectres B et C ont des **hauteurs différentes**. Les fréquences des modes fondamentaux ne sont pas les mêmes (110 Hz et 440 Hz).

12. Les sons associés aux spectres A et C ont **même hauteur** à **440 Hz ;** cependant le spectre C contient de nombreux harmoniques, contrairement au spectre A qui n'en contient qu'un seul. Les sons A et C ont donc des **timbres différents**.

13. Par définition $\lambda = V\times T$, et $\lambda = \frac{2L}{n}$ donc $\frac{2L}{n} = V.T$

Et $T = \frac{2L}{n.V}$.

Or la fréquence du son émis par la corde est celle du mode vibration fondamental donc n = 1, $T = \frac{2L}{V}$.

Et $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, donc : $\boxed{T = 2L.\sqrt{\frac{\mu}{F}}}$

14. La hauteur de la corde « Sol » est trop basse, sa fréquence de vibration est donc trop basse. On sait que la fréquence $f = \frac{1}{T}$, donc **pour augmenter la fréquence il faut diminuer la période T**. D'après l'expression $T = 2L.\sqrt{\frac{\mu}{F}}$, L et μ sont constantes, il faut donc **augmenter la valeur F de la tension de la corde.** Pour cela le guitariste tourne la clef située en haut du manche.

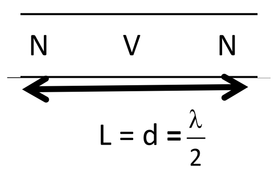
EXERCICE N°2 : LA FLUTE, INSTRUMENT A VENT

I. Tuyau sonore ouvert aux deux extrémités

15. L'onde sonore qui se propage dans l'air est une onde **mécanique, progressive et longitudinale.**

16. Pour une corde tendue, deux ventres ou deux nœuds consécutifs sont séparés d'une distance $\boxed{d = \frac{\lambda}{2}}$

La relation précédente, appliquée au tuyau considéré donne : $L = d = \frac{\lambda}{2}$



On a : $v = \lambda.f_1$ donc $\lambda = \frac{v}{f_1}$.

Et $L_1 = \frac{\lambda}{2}$ (mode fondamental ,n = 1) donc $\lambda = 2L_1$

En égalant les deux expressions de λ, il vient : $\frac{v}{f_1} = 2L_1$

soit finalement : $\boxed{L_1 = \frac{v}{2f_1}}$

17. D'après la relation précédente $L_1 = \frac{v}{2f_1}$, plus la fréquence f_1 diminue plus le son est grave et plus L_1 augmente (avec v constante). Donc l'affirmation de l'élève est **vraie**.

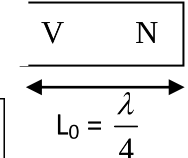
18. Pour le tuyau de longueur L_2, **la fréquence f_2 du mode fondamental** est telle que : $\boxed{L_2 = \frac{v}{2f_2}}$

Or, l'harmonique de rang 2 du tuyau de longueur L_2 a pour fréquence $f_2 = 2 f_1$ donc :

$L_2 = \frac{v}{2f_2} = \frac{v}{2\times 2f_1}$, comme $\mathbf{L_1 =} \frac{v}{2f_1}$ alors $\boxed{\mathbf{L_2 =} \frac{L_1}{2_1}}$.

II. Tuyau sonore fermé à une extrémité

19. La distance entre V et N correspond à la longueur d'un demi-fuseau soit $L_0 = \frac{\lambda}{4}$.



Pour le tuyau considéré $\lambda = \frac{v}{f_0}$ et $\lambda = 4.L_0$ Donc $\frac{v}{f_0} = 4.L_0$ finalement : $\boxed{f_0 = \frac{v}{4L_0}}$

20. Pour le tuyau ouvert aux deux extrémités $L_1 = \frac{v}{2f_1}$. Pour le tuyau fermé à une extrémité $L_0 = \frac{v}{4f_0}$.

Les deux tuyaux ont même longueur $L_1 = L_0$, alors $\frac{v}{2f_1}, = \frac{v}{4f_0}$ donc $2f_1.v = 4f_0.v$, ou $2f_1 = 4f_0$.

Finalement $\mathbf{f_1 = 2\ f_0}$, l'affirmation « Un tuyau ouvert aux deux extrémités sonne avec une fréquence double de celle d'un tuyau de même longueur fermé à une extrémité » est **vraie**.