Devoir maison n°2 sciences physiques

PROBLÈME 1 : Étude de la propagation du son

I - La propagation du son :

« Lorsque nous parlons, nos cordes vocales mettent en mouvement l'air qui les entoure. L'air étant élastique, chaque couche d'air se comporte comme un ressort. La couche d'air comprimé se détend, et ce faisant comprime la couche qui la suit dans le sens de propagation du son, etc. »

I.1. Quelle grandeur physique peut-on associer à une onde acoustique ?

I.2. Le son est une onde mécanique. Que peut-on alors dire de son milieu de propagation ? Donner deux autres exemples d'ondes mécaniques (mais non acoustiques).

I.3. À quel intervalle de fréquences correspond le domaine des ondes sonores audibles par l'homme ? Qu'appelle-t-on « ultrasons » ? Expliquer un des usages **autres que dans les sonars** que l'homme peut faire des ultrasons.

I.4. Pendant un orage, on peut grossièrement évaluer la distance à laquelle est tombée la foudre.

Si on divise par trois la durée (en secondes) entre l'éclair et le tonnerre, on obtient la distance cherchée (en kilomètres).

A quel type d'onde est associé l'éclair ? Donner l'intervalle de longueurs d'onde dans le vide du spectre visible.

À partir de l'observation faite pendant l'orage, estimer approximativement la valeur numérique de la vitesse du son dans l'air, par temps orageux. La réponse sera justifiée.

II – Principe du sonar

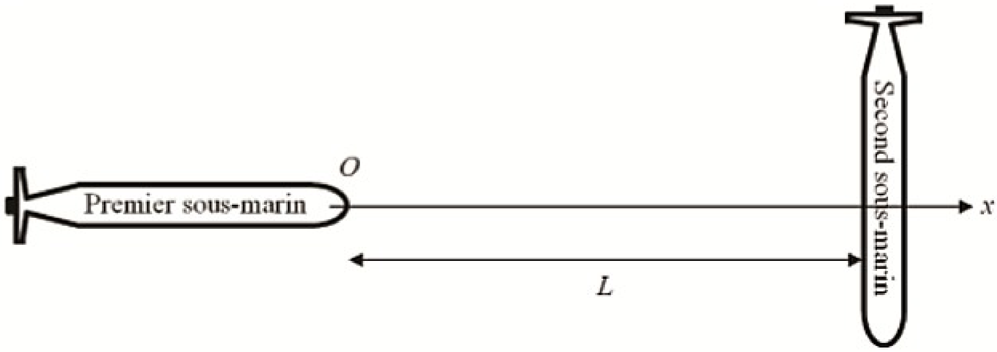


Figure 1 – Les sous-marins, vus du dessus.

Un sonar (« SOund NAvigation and Ranging ») est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-mariniers de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins...) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 20 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{mer} = 1{,}50\ km.s^{-1}$.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise.

On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et *(Ox)* l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin est à la distance L du premier, dans la configuration représentée sur la figure 1.

II.1. Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar. Un schéma peut être fait.

II.2. L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38{,}8\ ms$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin ; faire l'application numérique.

À partir de l'instant t = 0, le sonar émet l'impulsion sonore sinusoïdale de la figure 2, pendant une durée $\Delta t_i = 800\ \mu s$.

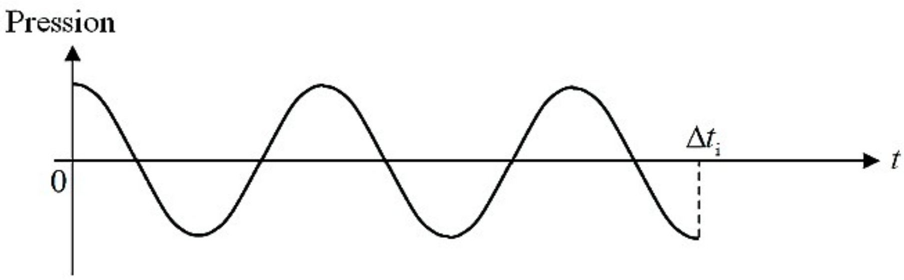


Figure 2 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar .

II.3. Déterminer, en justifiant, la valeur numérique de la fréquence f de l'onde émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore : on la représente alors dans le système d'axes de la figure 3.

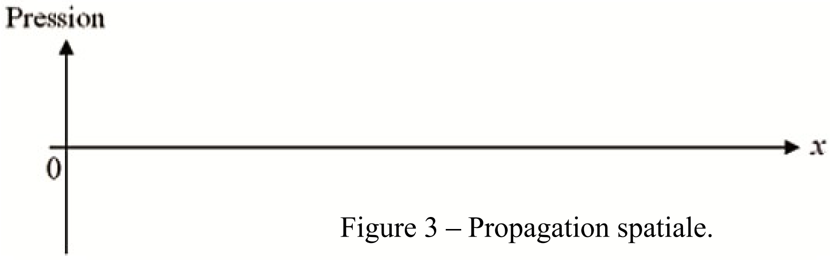


Figure 3 – Propagation spatiale.

II.4. Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

II.5. Reproduire sur la copie le système d'axes de la figure 3 et y représenter l'impulsion sonore à l'instant t = 12,0 ms ; calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox).

II.6. Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion et on repérera ces instants sur l'axe horizontal qu'on graduera.

<u>PROBLÈME 2:</u> Morceau de guitare

Les deux parties de ce problème sont totalement indépendantes

Première partie : Propagation d'une onde le long d'une corde

Une onde sinusoïdale se propage le long d'une corde à la vitesse $c = 2\ cm.s^{-1}$ dans le sens des x croissants.

On a photographié la corde à t=0.

La vibration $Y_M^+(x, t=0)$ est représentée *figure 1* :

1. Quelle est la longueur d'onde , l'amplitude de l'onde, la période temporelle T de l'onde ?
2. A partir du graphe, déduire l'expression mathématique de $Y_M^+(x, t=0)$.
3. Déduire de la question 2 $Y_M^+(x, t)$.
4. En déduire le tracé $Y_M^+(x_0, t)$ pour $x_{01} = 5\,cm$ et $x_{02} = 10\,cm$ pour $0 \le t \le 4\text{s}$

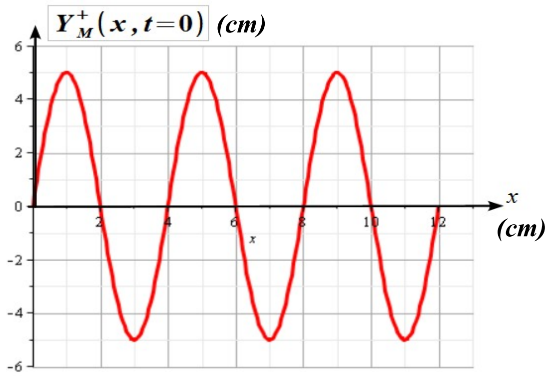


Figure 1

Deuxième partie : Vibrations produites par des cordes de guitare *(barème sur 80 points)*

Une corde pincée, grattée ou frappée vibre toujours simultanément selon plusieurs modes propres correspondants à plusieurs fréquences propres: **la fréquence du fondamental et les harmoniques**.

La répartition et les amplitudes des harmoniques définissent le timbre du son. **La fréquence du mode fondamental détermine la note. Un son pur n'a pas d'harmoniques.**

Précisons l'évolution des notes en fonction de la fréquence : les notes se répartissent sur une octave, c'est-à-dire un intervalle de fréquences entre f et $2f$ (fréquence double).

Sur une octave, la succession des notes est do, ré, mi, fa, sol, la, si, do.

Pour une octave donnée, à chaque note on associe le numéro de l'octave, pour l'octave n°1 par exemple : do1, ré1, mi1, fa1, sol1, la1, si1, do2 (début de l'octave n°2)

L'octave est divisée en une progression géométrique de 12 demi-tons.

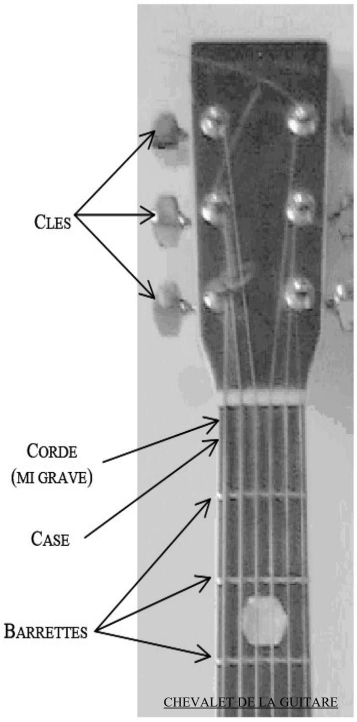
Les écarts entre deux notes successives est d'un ton (ou deux demi-tons) sauf entre mi et fa et entre si et do où il n'y a qu'un seul demi-ton.

La base de la gamme est le la3 de fréquence $f_{la3}=440\,Hz$ que l'on obtient sur la sixième corde de la guitare. Un dièse (#) correspond à une montée d'un demi-ton (ainsi mi# est en fait un fa).

On se servira des relevés faits sur la guitare photographiée ci-contre et sur laquelle figure des éléments de vocabulaire. On considérera les 6 cordes tendues sur L = 64,25 cm.

De la plus grave à la plus aiguë, les cordes sont numérotées de 1 à 6 et associées respectivement aux notes **mi1 , la1 , ré2 , sol2 , si2 et mi3** .

Leur diamètre varie suivant la fréquence qui leur est associée. Les plus aiguës, sont en acier et de diamètre : 0,70 mm pour le sol2 , 0,50 mm pour le si2 et 0,30 mm pour le mi3.



MANCHE DE LA GUITARE

- On donne la masse volumique de l'acier : $\rho=7870\,kg.m^{-3}$
- On donne le volume d'un cylindre de rayon R et de longueur L : $V=\pi R^2 L$
- La vitesse de propagation d'une onde de long d'une corde est $c=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ où T est la tension de la corde et μ sa masse linéique.

5. L'amplitude de l'onde stationnaire correspondant à un mode propre donné peut s'écrire :

$$y(x,t)=Y_m\cos(\omega t+\phi)\cos(kx+\psi)$$

a) Pourquoi cette onde est-elle nécessairement stationnaire ?

b) Quelle est l'expression de k en fonction de la longueur d'onde λ correspondante ?

c) Pour tout t , la corde est fixe en $x=0$, en déduire Ψ puis simplifier l'expression de $y(x,t)$.

d) Pour tout t , la corde est fixe en $x=L$, en déduire que seules certaines longueurs d'ondes λ_n dépendant d'un entier n et de L sont possibles.

e) Tracer l'allure des trois premiers modes propres de la corde et préciser sur chaque schéma la relation entre la longueur L de la corde et la longueur d'onde correspondante.

6. Quelle indication de l'énoncé permet de montrer que lorsqu'on multiplie une fréquence f par $2^{\frac{1}{12}}$ on obtient la fréquence de la note juste ½ ton au dessus.

7. A partir de la fréquence du fondamental f_{la3} du la3 en déduire les fréquences fondamentales à vide (lorsqu'elles vibrent sur toute leur longueur) des trois cordes en acier (les plus aiguës) : f_{mi3} , f_{si2} et f_{sol2} .

8. Établir l'expression générale de la tension T d'une corde en fonction de la fréquence de son fondamental , de sa longueur, de sa masse volumique et de son diamètre. En déduire la valeur numérique de la tension T de chaque corde en acier à vide.

9. Pour pouvoir changer la hauteur (fréquence) de la note jouée sur une corde, on a disposé des barrettes métalliques sur le manche (voir photo) : on peut ainsi, en appuyant la corde à l'aide du doigt sur ce support changer la longueur de la corde. En pratique, le doigt appuie dans la case (espace entre les barrettes) précédant la barrette.

Sur quelle barrette doit reposer la corde de mi3 pour obtenir le la3 de référence de la gamme ? Quelle est alors la longueur L' de la corde qui vibre, exprimer L' comme une fraction de la longueur totale à vide L.

10. On procède à plusieurs enregistrements des sons produits par la guitare au moyen d'un microphone et d'un amplificateur. C'est la tension produite par l'amplificateur qui est en fait enregistrée.

a) Le son produit est-il « pur » ?

b) Le relevé 1 donné en annexe 2 correspond à un son enregistré après avoir frappé la corde de mi1 près du chevalet. Le relevé 2 est l'analyse de Fourier de ce signal. Commenter ces documents. Combien y-a-t-il d'harmoniques ? La guitare est-elle accordée ? On prendra pour répondre à cette question la valeur numérique $f_{mi3}=330\,Hz$.

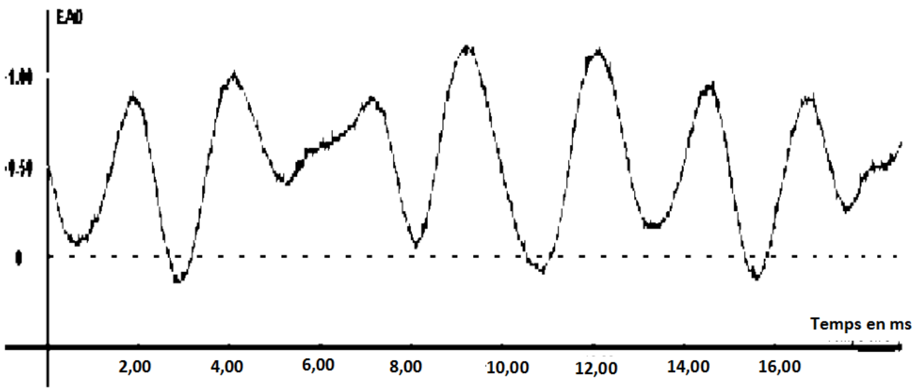
11. Pour différentes cases d'une corde donnée, on détermine la fréquence du mode fondamental en fonction de la longueur de la corde . On obtient le tableau de valeurs ci-dessous :

Fréquence f_1 en (Hz)	203	216	241	255	270	286	303
Longueur de la corde(m) : L	0,615	0,580	0,517	0,488	0,460	0,435	0,410

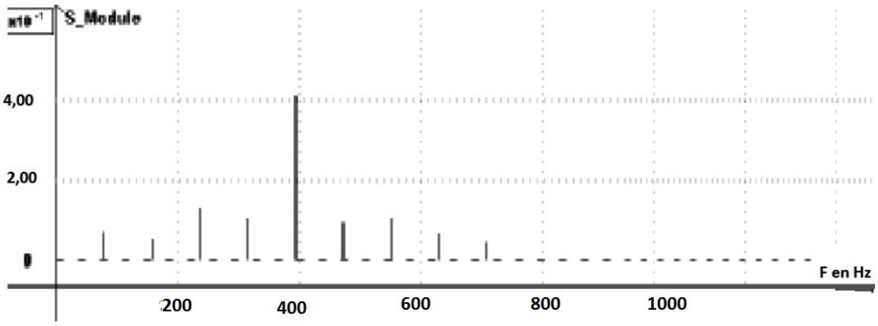
Quelle relation doit-on vérifier entre L et f_1 ?

Déterminer grâce à une étude statistique des données expérimentales la valeur de la célérité c de l'onde sur la corde associée à son incertitude-type. On pourra s'aider de l'annexe 2.

Annexe 1



Relevé 1 : enregistrement du son produit par la corde de mi$_1$.



Relevé 2 : analyse de Fourier rapide du signal du relevé 1.

Annexe 2

Si on réalise N fois le même protocole pour obtenir l'ensemble des points expérimentaux $\{x_i\}$.

Le résultat de l'expérience est : $\boxed{\bar{x}\pm u(\bar{x})}$ avec $\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i$, $u(\bar{x})=\frac{u(x)}{\sqrt{N}}$ et $u(x)=\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}$.

Devoir maison n°2 sciences physiques - Correction

PROBLÈME 1 : (d'après CC INP TSI 2016):

I - La propagation du son :

I.1 La variation de la pression de l'air est la grandeur physique qui se propage de proche en proche pour une onde acoustique.

I.2 - Le son se propage dans un milieu matériel élastique comme toute onde mécanique.

On peut observer des ondes mécaniques :

- Le long d'une corde tendue instrument à cordes type violon, guitare ou à percussion type piano).
- A la surface de la croûte terrestre et à l'intérieur des roches : ondes sismiques.

I.3 - Le domaine des fréquences audibles se situe entre 20 Hz et 20 kHz .

Les fréquences des ultrasons se situe au-dessus des 20 kHz.

L'échographie utilise la réflexion des ultrasons dans le domaine de l'imagerie médicale.

I.4 – L'éclair est une onde électromagnétique.

Les longueurs d'onde du spectre du visible sont $400\ \text{nm}<\lambda<800\ \text{nm}$.

La célérité de la lumière étant très élevée, on peut considérer que l'on observe l'éclair à l'instant t_0 où il est émis.

L'onde acoustique nous arrive après s'être propagée à la célérité c_{air} .

Nous entendons donc le tonnerre avec un certain retard : $\Delta t=\dfrac{L}{c_{air}}$, L étant la distance qui nous sépare de l'endroit où la foudre est tombée. D'après le texte, $L(km)=\dfrac{\Delta t}{3}$; donc $L(m)=\dfrac{1000\times\Delta t}{3}$; D'où $c_{air}=\dfrac{L(m)}{\Delta t}=\dfrac{1000}{3}$. AN : $\boxed{c_{air}\approx 333\ m.s^{-1}}$.

II - Principe du sonar :

II.1 Le sonar mesure le décalage temporel entre l'émission et la réception de l'onde sonore : $\Delta t=\dfrac{2L}{c_{mer}}$.

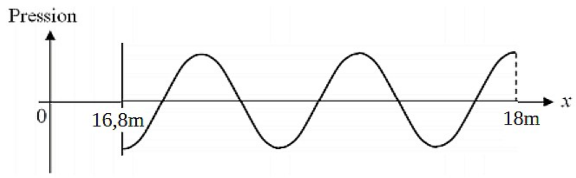
Connaissant la vitesse du son dans la mer c_{mer}, la mesure de Δt permet de déterminer L.

II.2 $L=\dfrac{\Delta t\times c_{mer}}{2}$; AN : $\boxed{L=\dfrac{38{,}8.10^{-3}\times 1500}{2}=29{,}1\ m}$

II.3 D'après le schéma fig 2, on a : $2{,}5\ T=\Delta t_i$; Soit : $2{,}5/f=\Delta t_i$; ainsi : $f=2{,}5/\Delta t_i$. AN : $\boxed{f=\dfrac{2{,}5}{800.10^{-6}}=3125\ Hz}$

II.4 On sait que $\Delta x=c_{mer}\times\Delta t_i$. AN : $\boxed{\Delta x=1500\times 800.10^{-6}=1{,}2\ m}$.

II.5 On passe en représentation spatiale. L'impulsion émise à t=0 se trouve en $x_1=c_{mer}\times t$ à l'instant t. $\boxed{x_1=1500\times 12.10^{-3}=18\text{m}}$. La fin du train d'onde se trouve en $\boxed{x_2=x_1-1{,}2=16{,}8\ m}$. On obtient la figure ci-contre.

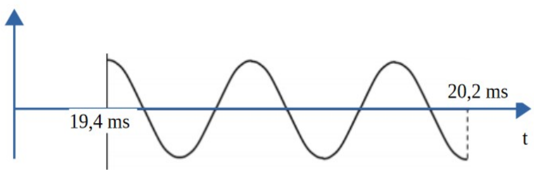


II.6 Le début de l'impulsion émis à t=0 est reçu à $t_1=\dfrac{L}{c_{mer}}$. AN :

$\boxed{t_1=\dfrac{29{,}1}{1500}=19{,}4\ ms}$

La fin de l'impulsion émise à $\boxed{t_2=t_1+\Delta t_i=20{,}2\ ms}$

On obtient le graphe ci-contre.



PROBLÈME 2 :

1. La longueur d'onde est la période spatiale soit $\boxed{\lambda=4\,cm}$. L 'amplitude des oscillations est $\boxed{X_m=5\,cm}$.

La période temporelle est $\boxed{T=\frac{\lambda}{c}=\frac{4}{2}=2\,s}$.

2. $Y_M^+(x,t=0)=5\sin(\frac{2\pi x}{\lambda})$ en cm.

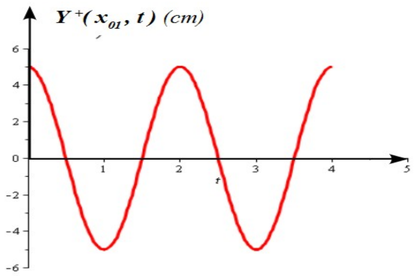
3. D'après le cours $\boxed{Y_M^+(x,t)=g(x-ct)=5\sin(\frac{2\pi}{\lambda}x-\frac{2\pi}{T}t)}$.

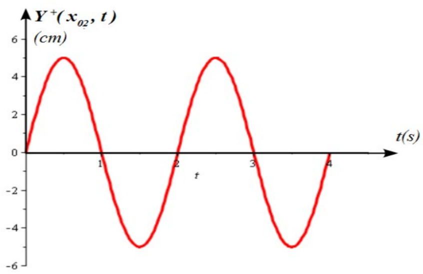
4. Si $x=x_{01}=5\,cm$ alors $Y_M^+(x_{01},t)=5\sin(\frac{2\pi}{4}\times 5-\frac{2\pi}{T}t)=5\sin(2{,}5\pi-\frac{2\pi}{T}t)=5\sin(\frac{\pi}{2}-\frac{2\pi}{T}t)$ donc

$\boxed{Y_M^+(x_{01},t)=5\cos(\frac{2\pi t}{T})}$.

• Si $x=x_{02}=10\,cm$ alors $Y_M^+(x_{02},t)=5\sin(\frac{2\pi}{4}\times 10-\frac{2\pi}{T}t)=5\sin(5\pi-\frac{2\pi}{T}t)=5\sin(\pi-\frac{2\pi}{T}t)$ donc

$\boxed{Y_M^+(x_{02},t)=5\sin(\frac{2\pi t}{T})}$.





5.

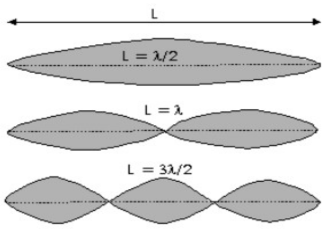
a) L'onde est stationnaire car elle est du type : $\boxed{y(x,t)=f(t)\times g(x)}$.

b) $\boxed{k=2\frac{\pi}{\lambda}}$.

c) Pour tout t $y(0,t)=0$ donc $\boxed{\cos\psi=0}$ donc $\boxed{\psi=\frac{\pi}{2}}$. De plus $\cos(kx+\frac{\pi}{2})=-\sin(kx)$ d'où

$\boxed{y(x,t)=-Y_m\cos(\omega t+\phi)\sin(kx)}$.

e)



d) $y(L,t)=0$ d'où $kL=n\pi$ d'où $2\pi\frac{L}{\lambda_n}=n\pi$ d'où $\boxed{\lambda_n=\frac{2L}{n}}$

6. Les notes se répartissent sur une octave, c'est-à-dire un intervalle de fréquences entre *f* et *2f* (fréquence double). L'octave est divisée en une progression géométrique de 12 demi-tons. $(2^{\frac{1}{12}})^{12}\times f=2f$.

7. On obtient de la$_3$ à partir de mi$_3$. Pour passer du mi$_3$ au la$_3$, il y a ½ + 1 + 1 = 2,5 tons soit 5 demi-tons. La fréquence du mi$_3$ est : $\boxed{f_{mi3}=\frac{f_{La3}}{(2^{\frac{1}{12}})^5}=\frac{440}{(2^{\frac{1}{12}})^5}=330\,Hz}$. Du la$_3$, on passe au la$_2$ en divisant la fréquence par 2 . Du la$_2$ au si$_2$ il y a 2 fois ½ ton donc $\boxed{f_{si2}=\frac{f_{La3}}{2}\times(2^{\frac{1}{12}})^2=\frac{440}{2}\times(2^{\frac{1}{12}})^2=247\,Hz}$.

Du la$_2$ au sol$_2$ il y a 2 fois ½ ton donc $\boxed{f_{sol2}=\frac{\frac{f_{La3}}{2}}{(2^{\frac{1}{12}})^2}=\frac{\frac{440}{2}}{(2^{\frac{1}{12}})^2}=196\,Hz}$

8. On sait que la célérité est : $c=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ de plus la fréquence du fondamental est : $f_1=\frac{c}{2L}$ donc $2Lf_1=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ donc $T=4L^2 f_1^2 \mu$ De plus $\mu=\frac{\rho\times\pi(\frac{D}{2})^2\times L}{L}=\rho\times\pi(\frac{D}{2})^2$ donc $\boxed{T=4L^2 f_1^2 \rho\times\pi(\frac{D}{2})^2=L^2 f_1^2 \rho\times\pi D^2}$.

AN : pour le mi3 : $\boxed{T_{mi3}=0,6425^2\times330^2\times7870\times\pi\times(0,3.10^{-3})^2=100\,N}$

Pour le si2 : $\boxed{T_{si2}=0,6425^2\times247^2\times7870\times\pi\times(0,5.10^{-3})^2=156\,N}$

Pour le sol2 : $\boxed{T_{sol2}=0,6425^2\times196^2\times7870\times\pi\times(0,7.10^{-3})^2=192\,N}$

9. Entre le mi3 et le La3, il y a 5 demi-tons. Il faut appuyer la corde sur la 5ème barrette. La3 et mi3 sont des notes fondamentales donc $f_{mi3}=\frac{c}{2L}$ et $f_{La3}=\frac{c}{2L'}$ donc $f_{mi3}\times L=f_{La3}\times L'$ donc $\boxed{L'=\frac{f_{mi3}\times L}{f_{La3}}=\frac{330}{440}L=\frac{3}{4}L}$.

10. Enregistrement

a) Le son n'est pas une sinusoïde pure donc le son n'est pas pur.

b) La fréquence fondamentale pour le mi1 est $f_{mi1}=\frac{330}{4}=82,5\,Hz$. Sur le spectre du relevé 2 on voit le fondamental et huit harmoniques, régulièrement espacés comme il se doit. 5 *f1* est un peu inférieure à 400Hz donc f_1 est un peu inférieure à 400/5 =80Hz, la guitare n'est pas accordée.

11. $f_1=\frac{c}{2L}$. Pour chaque couple de donnée expérimentales, on détermine $c=2Lf_1$. On fait ensuite la moyenne des valeurs obtenues puis l'incertitude de type A . On trouve $\boxed{c=249,25\pm0,31\,m.s^{-1}}$.