

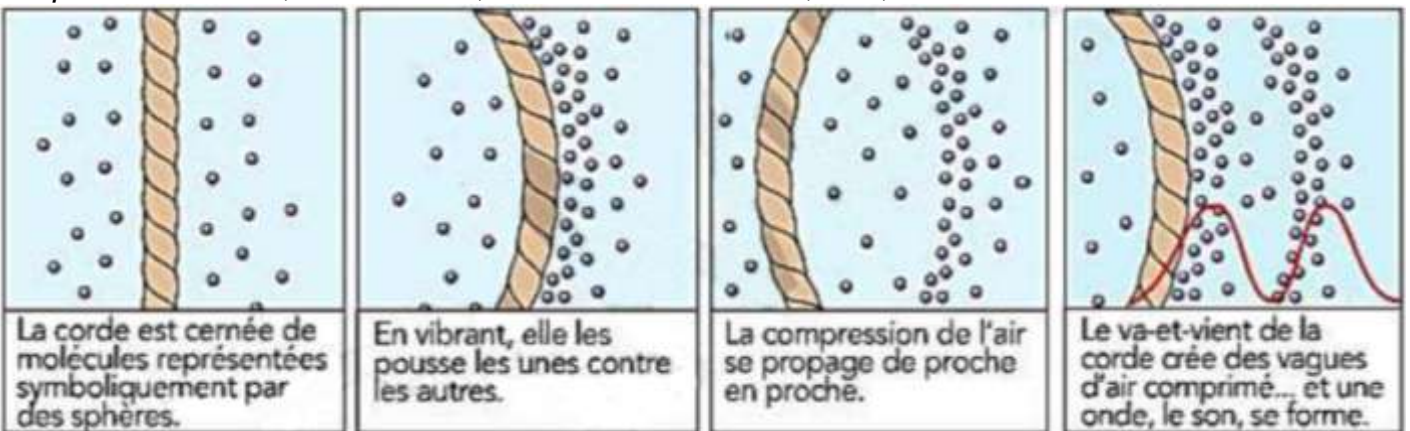
Mots-clés : instrument à corde

I – La guitare

Document 1 La naissance d'une note

Du bout du doigt, le guitariste a déplacé la corde pour la faire vibrer. Celle-ci se déforme alors d'avant en arrière et bouscule les **molécules d'air** autour d'elle. Ainsi, quand la corde avance, elle repousse les molécules devant elle, qui se retrouvent ratatinées les unes contre les autres. L'air est donc comprimé à l'endroit où vient de passer la corde, et les molécules cherchent aussitôt à retrouver **leur espace vital en s'écartant les unes des autres**. Elles repoussent alors leurs voisines comme des boules de billard et, de proche en proche, la zone de surpression se déplace. Le va-et-vient de la corde vibrante crée ainsi une succession de zones de surpression qui vont se déplacer comme des vagues dans la pièce : le son naît. Et le nouveau- né prend la forme d'une onde, dont les pics correspondent à chaque battement de la corde. Il vibre donc au même rythme. Aussi, la **vitesse de vibration** de la corde - autrement dit, le nombre de battements par seconde - détermine la fréquence du son, qui s'exprime en hertz (Hz).

D'après F. MARTIN, . « Silence », Sciences & Vie Junior, n° 9, nov. 1989.

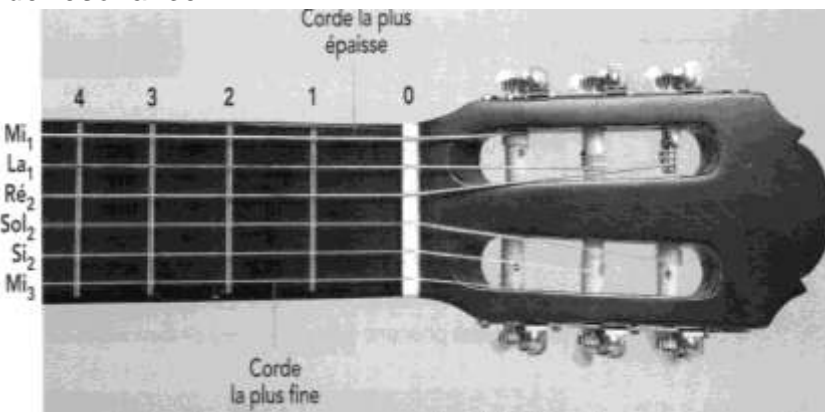


Document 2 La guitare acoustique

C'est un instrument de musique à cordes pincées comportant six cordes tendues entre le chevalet et le sillet. À chaque corde est associée une note. L'accord de la guitare se fait en modifiant la tension des cordes grâce aux clés qui, en tournant, permet de l'étirer ou de la relâcher.

Le manche est coupé de frettes entre lesquelles le guitariste appuie ses doigts sur les cordes. En déplaçant ces derniers sur le manche, le joueur modifie la longueur de la corde et la note créée.

Pour produire un son audible, le son émis par une corde doit être amplifié. La table d'harmonie assure la fonction de caisse de résonance.



Document 3 Notes et cordes

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

Le jeu du guitariste consiste à modifier la longueur de chaque corde en utilisant les frettes (barres verticales sur le manche) : la longueur de la corde est alors égale à la distance séparant la frète du chevalet. En diminuant la longueur de la corde **vers la table** :

- d'une frette, on monte d'un demi-ton ;
- de deux frettes, on monte d'un ton.

Document 4 Accorder une guitare

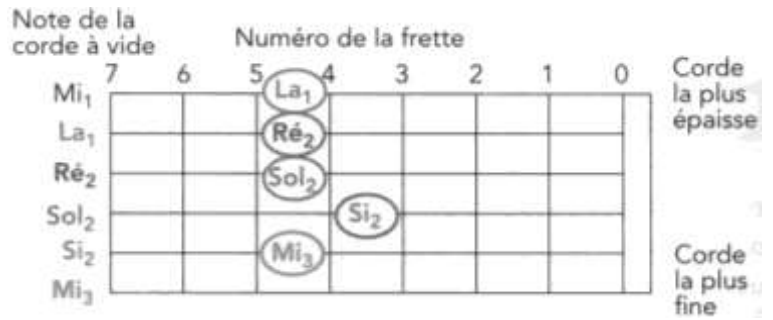
Accorder consiste à régler de la tension de chaque corde pour qu'elle produise, lorsqu'elle vibre sur toute sa longueur, une note de fréquence précise.

Quand on appuie sur la cinquième case de la corde mi_1 bien accordée, la corde, en vibrant, joue un la_1 .

Si la corde du dessus, jouée à vide, est bien accordée, elle doit donc aussi jouer un la_1 . Sinon, le guitariste tournera la clé de la deuxième corde jusqu'à ce que cette corde joue ce la_1 .

En pratique, un guitariste accorde par comparaison le son joué par la guitare lorsqu'un doigt est positionné sur la cinquième case, et un diapason La_3 de fréquence $f = 440$ Hz.

Par comparaison, il accordera ensuite les différentes autres cordes une par une.



Document 5 Les harmoniques

Une corde vibre lorsqu'elle est excitée. Pour certaines fréquences d'excitation, elle prend l'aspect d'un ou plusieurs fuseaux de longueurs égales.

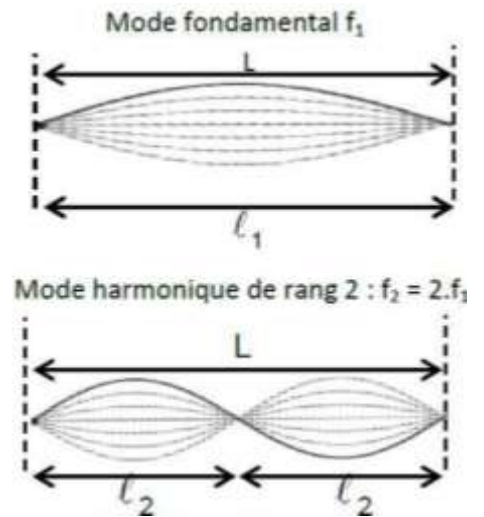
À la fréquence fondamentale notée f_1 correspond un seul fuseau. En revanche, plusieurs fuseaux sont obtenus lorsque la fréquence excitatrice est un multiple de f_1 .

Ces fréquences f_n , avec $f_n = n \times f_1$ sont les fréquences harmoniques de rang n , n correspondant au nombre de fuseaux.

Les extrémités d'une corde en vibration sont immobiles, ce sont les nœuds de vibration. Au milieu d'un fuseau, l'amplitude de vibration de la corde est maximale, c'est un ventre d'amplitude.

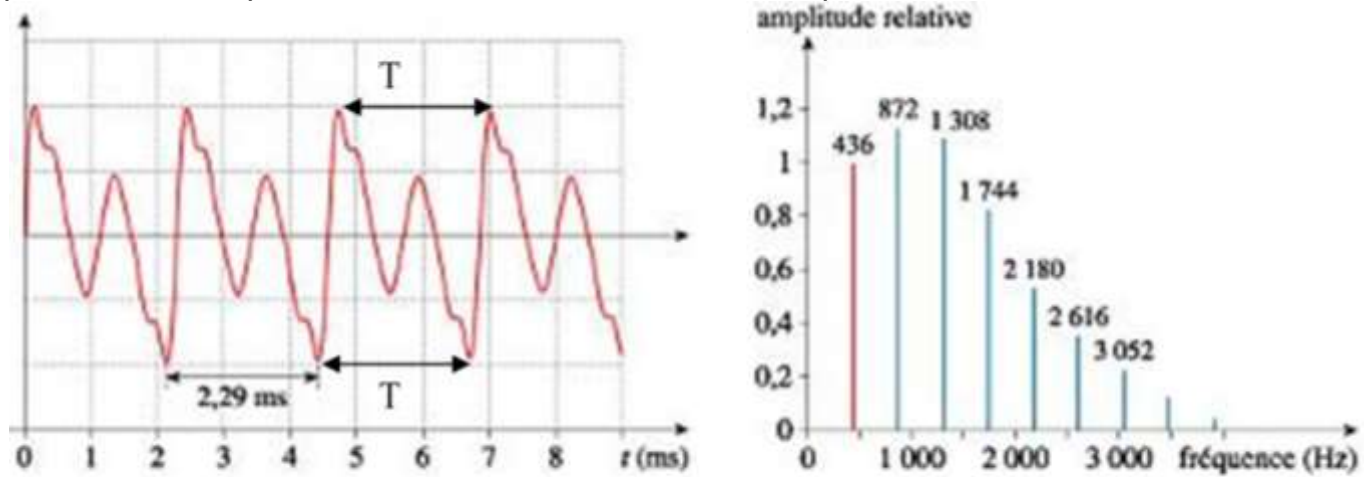
Pour une corde de longueur L fixe, la longueur l_n d'un fuseau d'un harmonique de rang n vaut : $l_n = L / n$.

Ex : $f_2 = 2 f_1$ et $l_2 = L / 2$



Document 6 Son complexe et spectre de fréquences

Une corde pincée et livrée à elle-même oscille librement en émettant un son non sinusoïdal de fréquence f_1 appelé fondamental ou fréquence propre (ci-contre). Le spectre de fréquences présentes les amplitudes relatives des différents harmoniques.



a. Oscillogramme du la_3 joué par un piano. b. Spectre de fréquences d'un la_3 joué au piano.

Document 7 Les ondes stationnaires

Lorsqu'une onde sinusoïdale de longueur d'onde λ se propage sur la corde de longueur L fixée à ses deux extrémités, elle est réfléchiée de nombreuses fois. Une onde stationnaire apparaît sous la forme d'un ou plusieurs fuseaux de quantité n lorsque $L = n \lambda / 2$

Document 8 Hauteur d'un son

Si l'on considère une corde vibrante maintenue entre ses deux extrémités, la hauteur du son émis dépend de la longueur L de la corde, de sa masse par unité de longueur μ et de la tension T de la corde.

La composition spectrale du son émis est complexe et la fréquence f_1 du fondamental est donnée

$$\text{par la relation : } f_1 = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

T étant la tension de la corde en N et μ la masse linéique de la corde en kg.m^{-1} .

Document 9 La corde pincée de la guitare

Il existe différentes façons de faire vibrer la corde d'un instrument de musique. Dans le cas de la guitare, les cordes sont pincées avec les doigts ou un médiator ou encore un onglet.

En revanche, les cordes d'un piano sont frappées par de petits marteaux et les cordes d'un violon ou d'un violoncelle frottées avec un archet.



II – Analyse des documents et synthèse

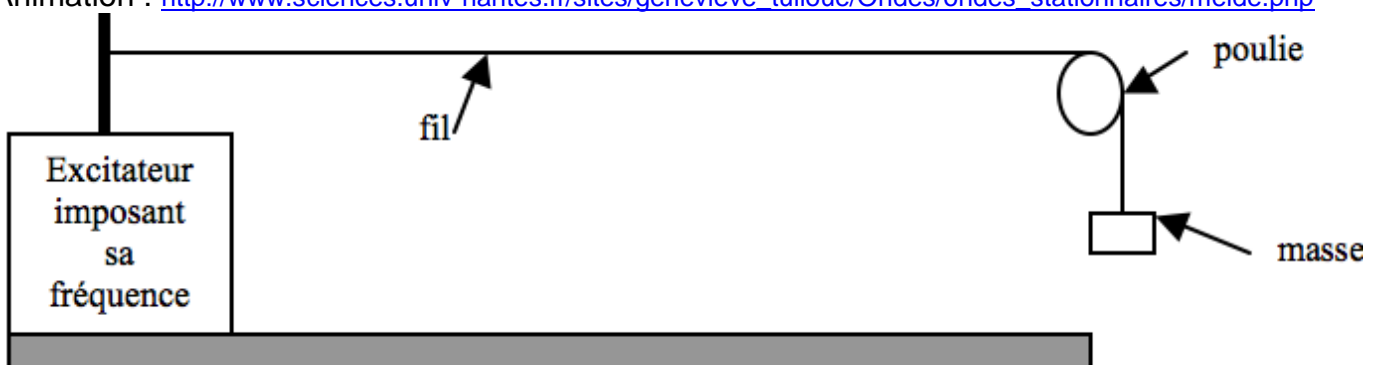
1. Reformuler les trois expressions en gras dans le document 1 qui sont incorrectes d'un point de vue scientifique.
2. Expliquer en quelques lignes de quelle façon une corde vibrante peut émettre un son.
3. On dispose d'une corde de longueur L vibrant à la fréquence f_3 , correspondant à l'harmonique de rang 3.
 - 3.1 Représenter l'aspect de cette corde.
 - 3.2 Indiquer les nœuds (notés N) et les ventres (notés V).
 - 3.3 Exprimer la longueur d'onde λ_3 en fonction de la longueur L de la corde.
 - 3.4 Exprimer la fréquence f_3 de l'harmonique de rang 3 en fonction de la fréquence f_1 du fondamental de cette corde.
4. Un guitariste tend une corde de sa guitare en utilisant une clé. Expliquer comment varie la hauteur du son émis par la corde.
5. Un guitariste appuie sur une corde entre deux frettes du manche et pince la corde entre son doigt et le chevalet. La hauteur du son obtenu devient-elle plus grande ou plus petite que celle du son obtenu avec la corde libre ? Justifier.

III – Expérience de la corde vibrante


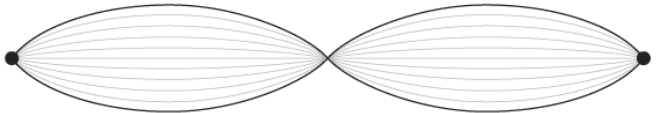

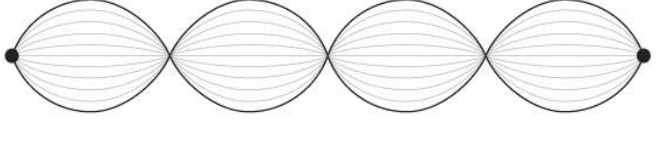
Dispositif expérimental

Vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=xFOPUaoRI_8

Animation : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/ondes_stationnaires/melde.php

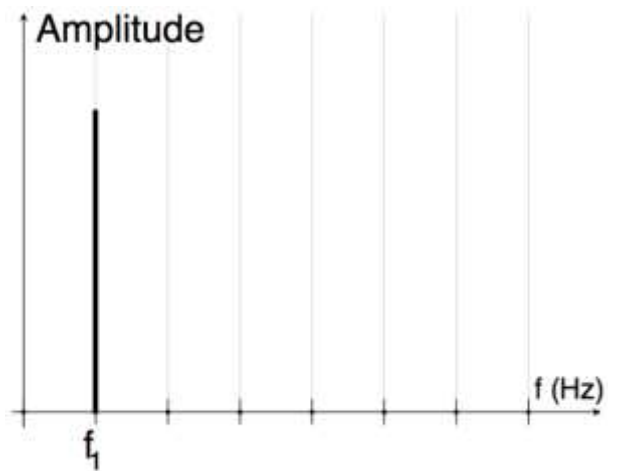


Modes de vibration et fréquences associées

Mode 1	Mode 2
	
$f_1 =$	$f_2 =$
$\lambda_1 = \quad L$	$\lambda_2 = \quad L$
Mode 3	Mode 4
	
$f_3 =$	$f_4 =$
$\lambda_3 = \quad L$	$\lambda_4 = \quad L =$

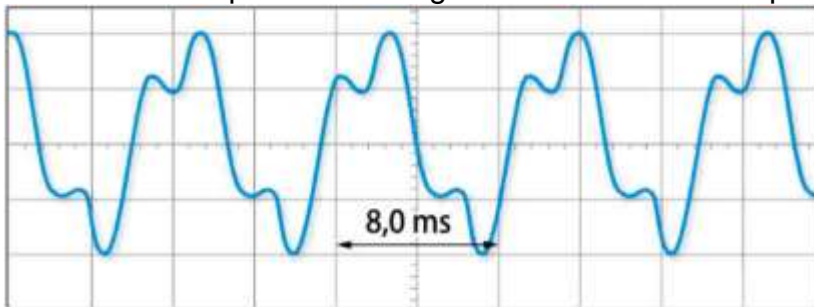
Questions

1. Le mode de vibration 1 est appelé mode fondamental. Exprimer la fréquence de ce mode en fonction de la vitesse de propagation v sur la corde et la longueur L de la corde.
2. Pour les autres modes de vibration, exprimer les fréquences en fonction de f_1 , puis en fonction de v et de L .
3. Représenter sur le graphique ci-dessous les différentes fréquences mesurées lors de l'expérience.
4. Justifier le terme mode fondamental



V – Exercice de révision : analyse de l'enregistrement d'un son

Un musicien dispose de l'enregistrement du son émis par l'une des cordes de sa guitare.



1. Ce son est-il pur ou un son complexe ? Justifier.
- 2.1 Proposer une méthode pour déterminer la fréquence du signal.
- 2.2 Déterminer sa fréquence.
3. La fréquence de vibration et la note émise par chaque corde sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

- 3.1 En déduire la corde utilisée pour l'enregistrement.
- 3.2 Cette corde est-elle bien accordée? Justifier.

Corde	1	2	3	4	5	6
f (Hz)	329,5	246,9	196	146,8	110,0	82,4
Note	mi_3	si_2	sol_2	$ré_2$	la_1	mi_1

VI – Résolution de problème

Un capodastre est un accessoire que l'on fixe en travers du manche d'une guitare sur une case particulière. De composition très variable (élastique, ressort ou boulon), il raccourcit la longueur de toutes les cordes sans modifier leurs tensions, ce qui crée en fait un nouveau sillet. Toutes les cordes à vide jouent maintenant des tons de hauteur supérieure à ceux qu'elles produisent sans le capodastre.

Photographie d'un capodastre placé sur la 3^{ème} case du manche d'une guitare.



La principale fonction du sillet est de maintenir les cordes au niveau de la tête de la guitare. Le sillet fixe ainsi la limite haute des cordes de la guitare, tout comme le chevalet sur la partie basse de l'instrument. Il joue ainsi le rôle de « frette zéro » et détermine donc le son des cordes à vide obtenu lorsqu'on fait vibrer une corde sans placer de doigt sur le manche.

Dans cet exercice, on s'intéresse au rôle du capodastre utilisé par les guitaristes.

Question préalable

Déterminer les paramètres physiques de la corde dont dépend sa fréquence de vibration et préciser le ou lesquels de ces paramètres restent fixes lors de l'utilisation d'un capodastre.

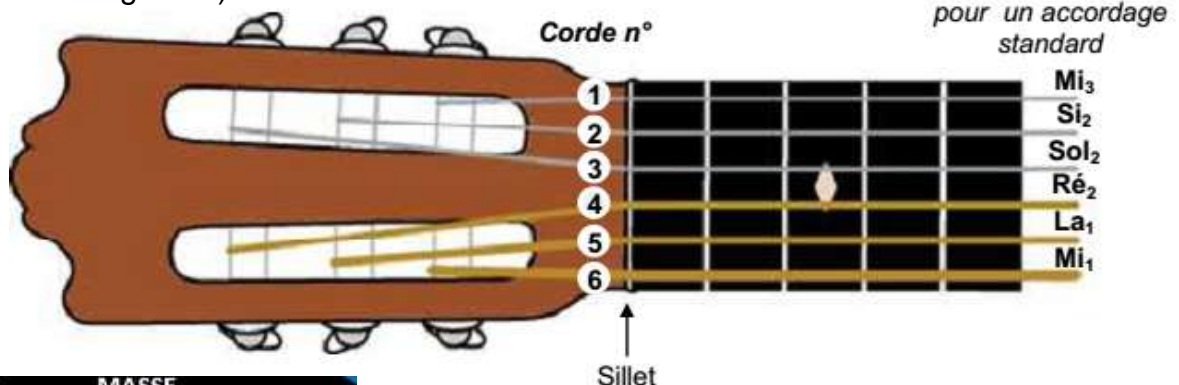
Problème

Montrer que lorsqu'on place le capodastre à la troisième case, la corde n°1 joue à vide trois demi-tons au-dessus de celui joué sans capodastre.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme.

Document 1 : les cordes

Numéro des cordes d'une guitare et note obtenue lorsque l'on joue chaque corde « à vide » (c'est-à-dire que la corde vibre sur toute sa longueur sans que le musicien ne place ses doigts sur les cases du manche de la guitare).



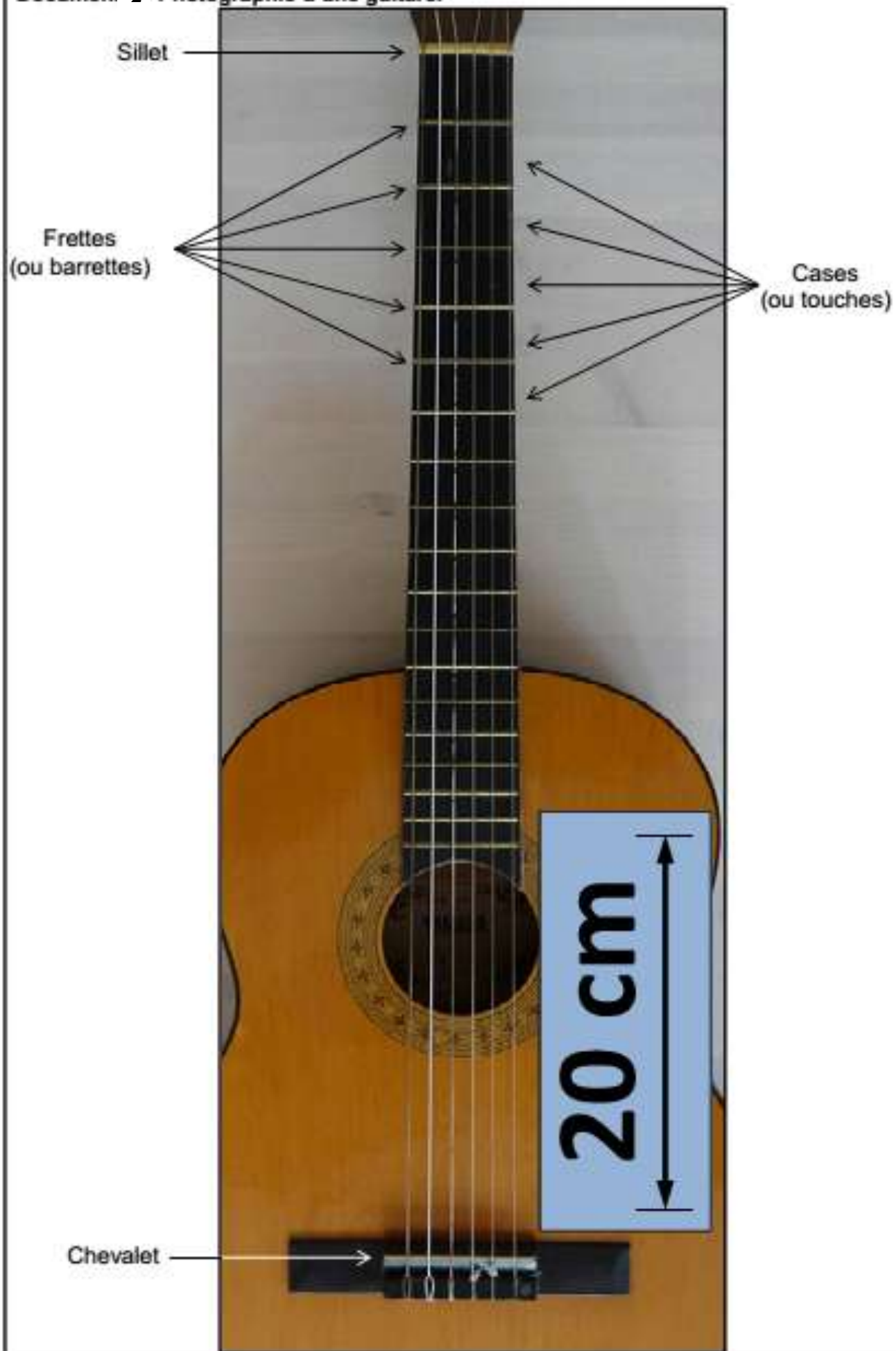
Note* obtenue à vide pour un accordage standard

CORDE	DIAMÈTRE	MASSE LINÉIQUE	TENSION
	mm	g/m	N
n°1 - Mi ₃	0.72	0.419	74.85
n°2 - Si ₂	0.83	0.551	55.23
n°3 - Sol ₂	1.04	0.867	54.74
n°4 - Ré ₂	0.76	2.041	72.30
n°5 - La ₁	0.91	3.794	75.44
n°6 - Mi ₁	1.12	7.384	67.69

*le chiffre en indice correspond à l'octave dans laquelle la note se trouve.

Reproduction d'une pochette de cordes nylon de guitare classique ●EJ46●

Document 2 Photographie d'une guitare.



Document 3 : comment la gamme tempérée est-elle bâtie ?

La gamme tempérée, ou plus exactement la gamme à tempérament égal, divise l'octave en douze demi-tons, ou intervalles chromatiques, selon la séquence suivante : *do, do dièse, ré, ré dièse, mi, fa, fa dièse, sol, sol dièse, la, la dièse, si*. Pour passer d'une de ces notes à la suivante, on multiplie la fréquence par 1,059 (racine douzième de 2 pour les mathématiciens), ce qui revient à monter le son d'un demi-ton. Quand on a multiplié douze fois par 1,059, c'est-à-dire par 2, on tombe dans l'octave suivante. On reprend alors la séquence : *do, do dièse, ré, ré dièse, mi, fa, fa dièse, sol, sol dièse, la, la dièse, si*.
D'après « les sons en 150 questions ».

Notes	Fréquences en Hertz par octave		
	1	2	3
Do	65,41	130,81	261,63
Ré	73,52	146,83	293,66
Mi	82,41	164,81	329,63
Fa	87,31	174,61	349,23
Sol	98,00	196,00	392,00
La	110,00	220,00	440,00
Si	123,47	246,94	493,88

Fréquence des notes de la gamme tempérée

Document 4 : les vibrations d'une corde idéale

Il y a une relation incontournable : celle qui donne la hauteur de son d'une corde en fonction de tout le reste (longueur, tension, etc)

On montre que la fréquence fondamentale f d'une corde tendue, la longueur L , sa tension T et sa

masse linéique μ (masse d'une longueur de corde d'un mètre) sont reliés par : $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ qui donne

la fréquence fondamentale de la vibration transversale. Elle montre par exemple qu'à tension et longueur données, une corde plus lourde sonnera plus grave.
« Le guide du Cordage »

VII – Résolution de problème : la quête du grave

L'histoire de la contrebasse remonte à la création de la famille des violons au XVI^{ème} siècle en Italie. La recherche d'instruments à cordes avec ce timbre particulier mais capable de jouer des notes plus graves a conduit à l'élaboration de la contrebasse puis de l'octobasse. En 2010, l'atelier de lutherie de Mirecourt de J.J. Pagès a reproduit à l'identique l'octobasse.

L'objectif de cet exercice est de répondre au problème que se pose le luthier : comment peut-il produire des notes de plus en plus graves avec l'instrument qu'il fabrique, l'octobasse ?

Pour répondre aux questions, vous vous aiderez des documents 1 à 3 à la fin de l'exercice.

Résolution de problème

Questions préalables

1. Donner la relation liant la fréquence f du mode de vibration fondamental, la longueur de la corde

L et la célérité v de l'onde sur la corde. Montrer que cette relation peut s'écrire : $f = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

2. Le son le plus grave de la contrebasse jouant à vide est un mi_0 . La longueur de la corde émettant cette note vaut $L_0 = 1,05$ m. On souhaite construire une octobasse qui puisse émettre la note do_{-1} .

En faisant l'hypothèse que l'octobasse possède une corde de même masse linéique et de même tension que la corde « mi_0 » de la contrebasse, que peut-on dire de la longueur de la corde L_1 de l'octobasse nécessaire pour émettre la note do_{-1} . À quelle difficulté se trouve confronter le luthier ?



Problème

En s'affranchissant de l'hypothèse précédente, quelle(s) solution(s) technique(s) le luthier peut-il proposer pour que, en respectant le cahier des charges (document 3), une même corde de l'octobasse puisse émettre un do_{-1} et aussi un $ré_{-1}$?

Remarque : l'analyse des données ainsi que la démarche suivie sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur.

Document 1 Quelques informations

Une corde de longueur L vibrant en mode fondamental vérifie la relation : $L = \frac{\lambda}{2}$ avec λ : longueur d'onde de la vibration de la corde

La célérité v de l'onde sur la corde est liée à la tension T imposée à la corde et à sa masse

linéique μ par la relation : $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ avec T en N et μ en $kg.m^{-1}$

Le domaine du spectre audible pour l'homme va de 20 Hz à 20 kHz.

Fréquences des notes (Hz)			
Numéro d'octave	-1	0	1
do (ut)	16,3	32,7	65,4
ré	18,3	36,7	73,4
mi	20,6	41,2	82,4
fa	21,8	43,6	87,3
sol	24,5	49,0	98,0
la	27,5	55,0	110
si	30,9	61,7	123

Les cordes d'un instrument sont nommées d'après la note qu'elles émettent dans le mode fondamental, quand elles sont pincées à vide.

Document 2

Fréquences de quelques notes dans la gamme tempérée

Document 3 Cahier des charges de l'octobasse d'après le luthier

L'octobasse possède 3 cordes jouant respectivement les notes do_{-1} , sol_{-1} et do_0 et sa taille est d'environ 4 m. La longueur des cordes est de 2,18 m (longueur à vide). L'instrument est si grand que le musicien doit monter sur un escabeau pour frotter les cordes avec un archet. Le musicien peut manipuler, à l'aide de manettes, sept doigts métalliques qui réduisent la longueur des cordes pour jouer les différentes notes

