EXERCICE 3 Spécialité : SCIENCE APPLIQUÉE… (4 points)

*Peut-on produire un **son très aigu** à la limite du supportable **avec une simple tige en aluminium** ? Grâce à la physique des ondes sonores, c'est parfaitement possible. Cette expérience étonne un grand nombre de personnes, les physiciens eux-mêmes !*

Dans une tige métallique, on peut avoir plusieurs mouvements de vibration qui engendrent un son.

- L'onde est transversale : la tige oscille autour de son axe. Déformer une tige selon ce mouvement demande peu de force. La vibration est de faible énergie d'où un son de basse fréquence (note grave).
C'est le même phénomène qui se produit quand un marteau frappe une plaque de xylophone.



- L'onde est longitudinale : la tige se contracte et se dilate le long de son axe. Il faut plus d'énergie pour imposer ce mouvement à la tige. La vibration demande plus d'énergie, d'où un son de fréquence élevée (note aigüe). C'est le phénomène qui se produit quand un archet glisse sur la corde d'un violon.



*[..] On peut ainsi à l'aide de plusieurs tiges, fabriquer un instrument de musique à condition de respecter les contraintes imposées par la **gamme tempérée de Bach**.*
Une gamme musicale est déterminée par les écarts de fréquence entre les notes qui composent la gamme. Il existe un grand nombre de gammes selon leur origine culturelle.
La gamme utilisée dans la musique occidentale est basée sur « la gamme au tempérament égal » ou encore « gamme tempérée » de Jean-Sébastien Bach.

D'après le site : www.scienceamusante.net

Dans cet exercice, l'onde est longitudinale et se propage à la vitesse v dans la tige. La section des tiges est un paramètre constant dans tout l'exercice.
La tige est le siège d'ondes stationnaires. Elle se comporte comme une colonne d'air de longueur L ouverte aux deux extrémités. Elle oscille à la fréquence f_0 dans son mode fondamental. Son état vibratoire peut alors être représenté de la manière suivante :

V	*N*	*V*

1. Une tige qui siffle :

1.1. La tige est le siège d'ondes stationnaires.

1.1.1. L'onde est longitudinale. Donner une définition de ce type d'onde.

1.1.2. Qu'appelle-t-on onde stationnaire ?

1.1.3. Quelle relation existe-t-il entre le mode fondamental et les autres harmoniques ?

1.1.4. Définir ce qu'on appelle nœud de vibration.

1.1.5. On note λ la longueur d'onde du son de fréquence *f*. Exprimer λ en fonction de la longueur *L* de la tige.

1.2. À l'aide d'un microphone, on visualise sur l'écran d'un oscilloscope une tension électrique, image du mouvement vibratoire de la tige.

1.2.1. Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ?

1.2.2. La tige est en aluminium.
La fréquence du mode fondamental est égale à 2093 Hz.
Parmi les spectres en fréquence proposés en **figure 1** et **figure 2 ci-dessous**, lequel correspond au son émis, sachant qu'il s'agit d'un son pur ?

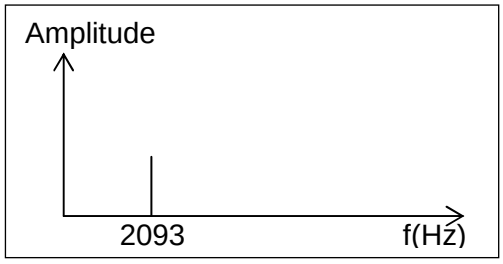


Figure 1

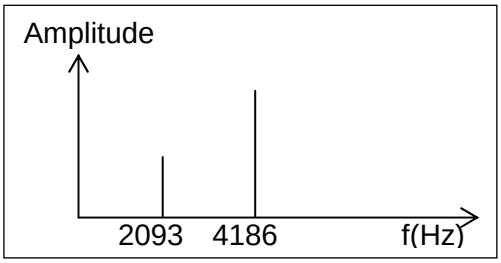


Figure 2

1.3. La vitesse de propagation *v* du son à l'intérieur d'un matériau dépend de certains paramètres, notamment de la masse volumique de ce matériau.

Répondre par « vrai » ou « faux » aux affirmations ci-dessous, en justifiant son choix.

1.3.1. **Affirmation 1** : Les tiges de même matériau et de longueurs différentes donnent des notes différentes : la note est plus grave quand la tige est plus longue.

1.3.2. **Affirmation 2** : La tige en aluminium donne une note plus aiguë que la tige en laiton de même longueur.

On donne les valeurs de la vitesse du son dans l'aluminium et le laiton.

Matériau	*v (m/s)*
Aluminium	*voisine de 4190*
Laiton (70% Cu, 30% Zn)	*voisine de 3470*

2. Des tiges musicales.

*Dans la gamme de Bach, il y a 12 notes séparées chacune d'un intervalle appelé « demi-ton » (**voir figure 3**).*

La fréquence f_0 est la fréquence de la note « do » donnée par la tige n°0 de longueur L_0.
La fréquence f_{12} est la fréquence de la même note à l'octave supérieure. Cette note sera donnée par la tige n°12 de longueur L_{12}.

Par définition de l'octave, $f_{12} = 2.f_0$
Par conséquent, si k est le rapport de fréquences de deux notes consécutives, k est égal à $2^{1/12}$.

k est appelé intervalle ou degré ou demi-ton. Il est indépendant du couple de notes qui se suivent, d'où le nom de « gamme tempérée » ou « tempérament égal » pour cette gamme (tempérament = accord).

1/2 ton 1/2 ton 1/2 ton

Fréquence (Hz)	f_0 = 2093	f_1		2637		2793		3136		3520		3951	4186
Note	**do**	do ♯	**ré**	ré ♯	**mi**	**fa**	fa ♯	**sol**	sol ♯	**la**	la ♯	**si**	**do**
Numéro de la tige	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longueur de la tige	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}

Figure 3 : une octave divisée en douze intervalles ou demi-tons

2.1. Rappeler la relation qui existe entre la longueur L d'une tige, la vitesse v de propagation de l'onde dans la tige et la fréquence f du son émis.

2.2. La tige numéro 0 a pour longueur L_0 = 1,00 m.
Elle vibre dans son mode fondamental à la fréquence f_0 = 2093 Hz (voir **figure3**).
Par définition de la gamme tempérée de Bach, la fréquence f_1 de la tige n°1 de longueur L_1 est donnée par la relation $f_1 = 2^{1/12} f_0$. Montrer que la longueur L_1 s' écrit : $L_1 = L_0 / 2^{1/12}$.

2.3. Ces relations s'écrivent pour la tige n : $f_n = 2^{n/12} f_0$ et $L_n = L_0 / 2^{n/12}$. En s'aidant du tableau ci-dessous, quelle serait la fréquence de la tige la plus courte ? Retrouve-t-on la valeur donnée pour la définition de l'octave, donnée page précédente ?

n	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
$2^{n/12}$	*1,00*	*1,06*	*1,12*	*1,19*	*1,26*	*1,33*	*1,41*	*1,50*	*1,59*	*1,68*	*1,78*	*1,89*	*2,00*
$2^{-n/12}$	*1,00*	*0,94*	*0,89*	*0,84*	*0,79*	*0,75*	*0,71*	*0,67*	*0,63*	*0,60*	*0,56*	*0,53*	*0,50*