

*Trois jeunes musiciens amateurs (un guitariste, un pianiste et un flûtiste) projettent de donner un concert devant leurs amis dans le sous-sol d'une maison. Lors d'une répétition dans ce lieu, ils s'interrogent sur les améliorations à apporter pour éviter une réverbération trop importante.*

**Les parties 1 et 2 sont indépendantes.**

Les documents utiles sont regroupés à la fin de l'exercice.

**1. Accord des instruments.**

Avant le concert, les musiciens doivent « accorder » leurs instruments. Pour cela, ils utilisent un diapason qui émet la note « La<sub>3</sub> ». Chacun joue cette note sur son instrument, la compare à celle émise par le diapason et procède aux réglages permettant d'obtenir une note de même hauteur.

En utilisant les enregistrements des différents sons produits et leurs spectres, répondre aux questions suivantes :

- 1.1. Quelle est la fréquence  $f$  de vibration du son émis par le diapason ?
- 1.2. Les trois musiciens jouent-ils une note de même hauteur ? Justifier.

**2. La pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ?**

Le concert a lieu dans une salle au sous-sol d'une maison. La salle a une forme parallélépipédique, de longueur  $L = 10,0$  m, de largeur  $l = 5,0$  m et de hauteur  $h = 3,0$  m.

Cette salle, vide et sans vitrage, possède une porte en bois de surface  $S_{\text{bois}} = 3,0$  m<sup>2</sup>.  
Le sol, les murs et les plafonds sont en béton d'une surface totale :  $S_{\text{béton}} = 187$  m<sup>2</sup>.

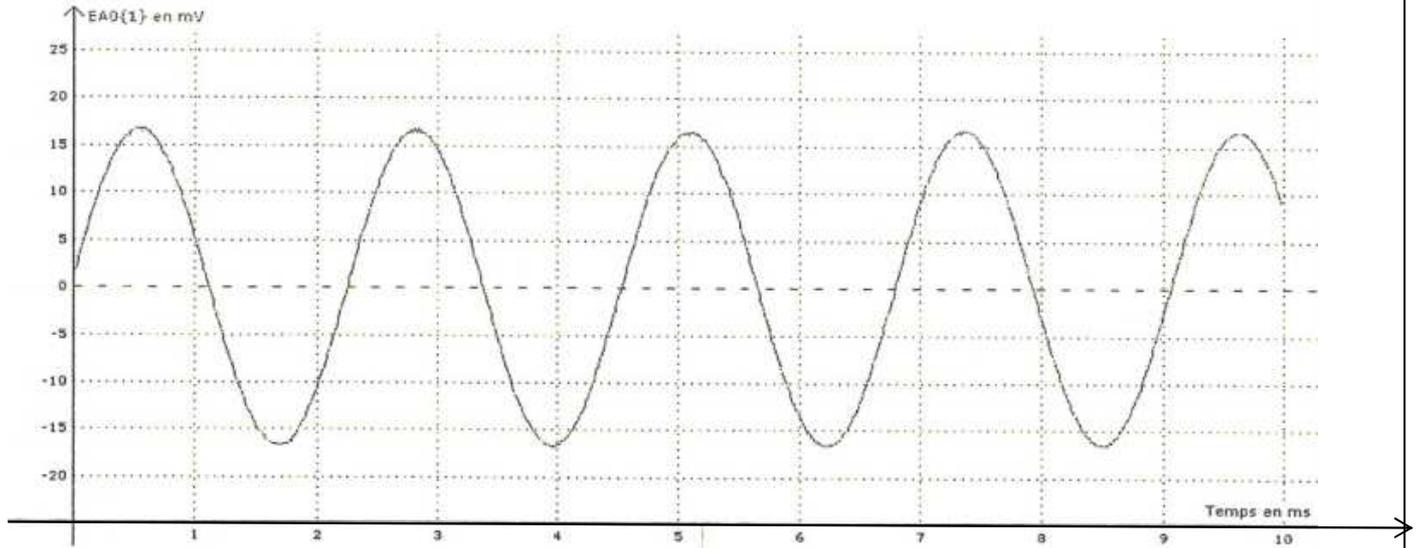
- 2.1. Quels sont les phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.
- 2.2. Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine (**document 7**) ?
- 2.3. En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ? Justifier.
- 2.4. On souhaite obtenir une durée de réverbération égale à 2,0 s. Pour cela, on dispose sur les murs des panneaux absorbants verticaux de coefficient d'absorption acoustique  $\alpha_{\text{panneau}} = 0,50$ .  
Quelle surface de panneau faut-il utiliser pour satisfaire la nouvelle durée de réverbération  $T_R$  ?

## DOCUMENTS DE L'EXERCICE

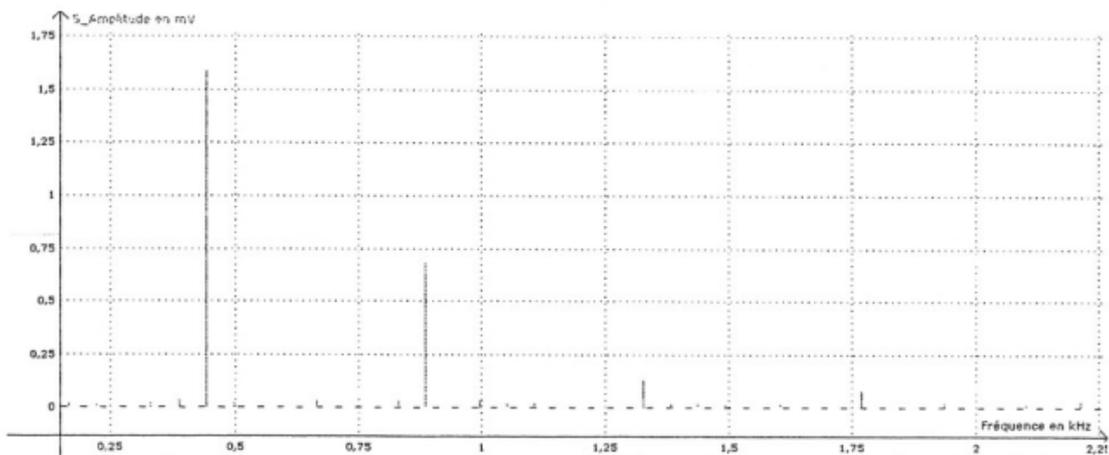
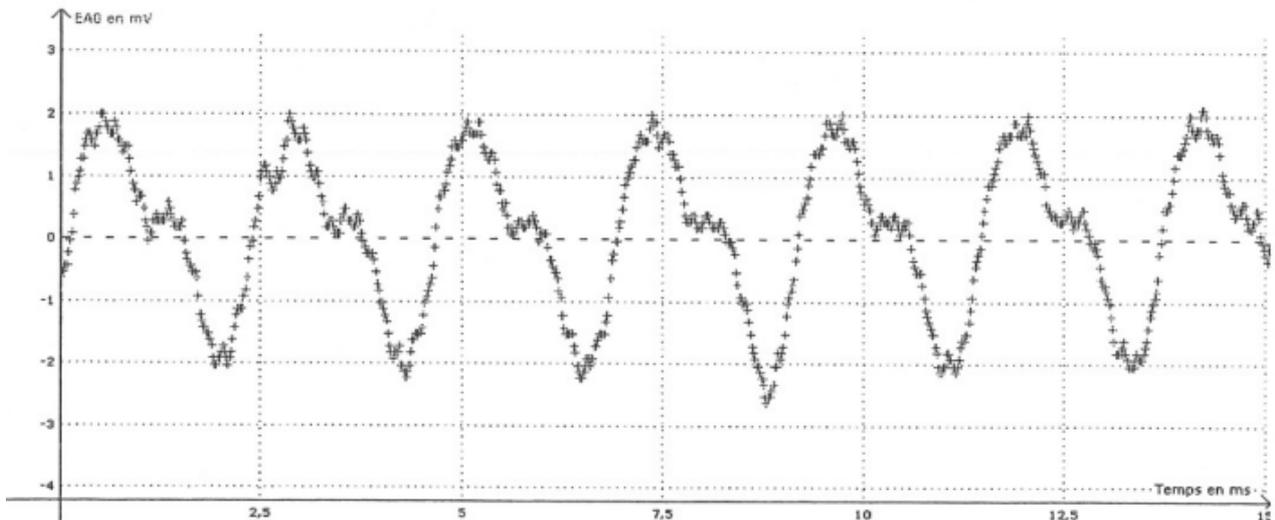
**Document 1 :** correspondance entre la hauteur et la fréquence associée de quelques notes de la gamme tempérée :

Note	la <sub>1</sub>	la <sub>2</sub>	la <sub>3</sub>	si <sub>3</sub>	do <sub>4</sub>	ré <sub>4</sub>	mi <sub>4</sub>	fa <sub>4</sub>	sol <sub>4</sub>	la <sub>4</sub>
Fréquence (Hz)	110	220	f	494	523	587	659	698	783	880

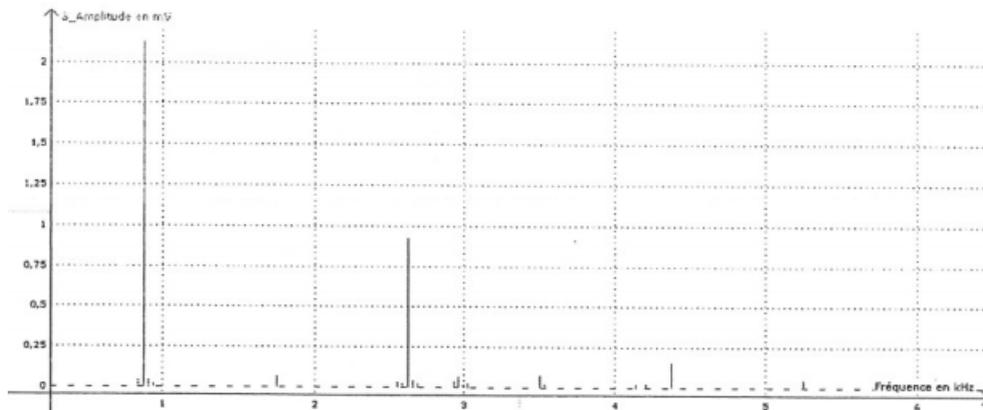
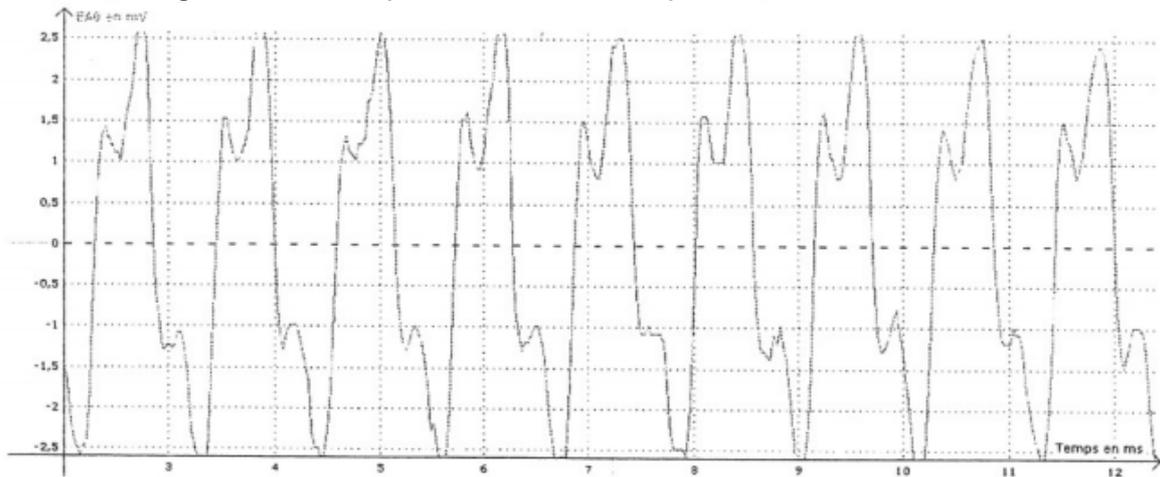
**Document 2 :** Enregistrement de la note « La<sub>3</sub> » émise par le diapason.



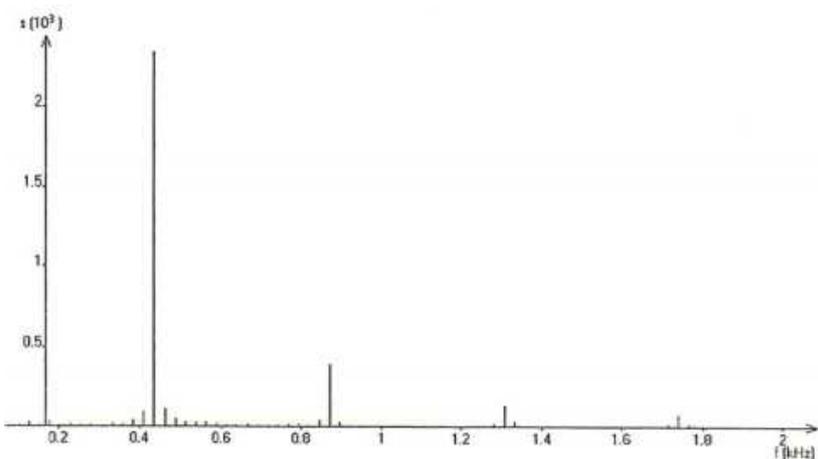
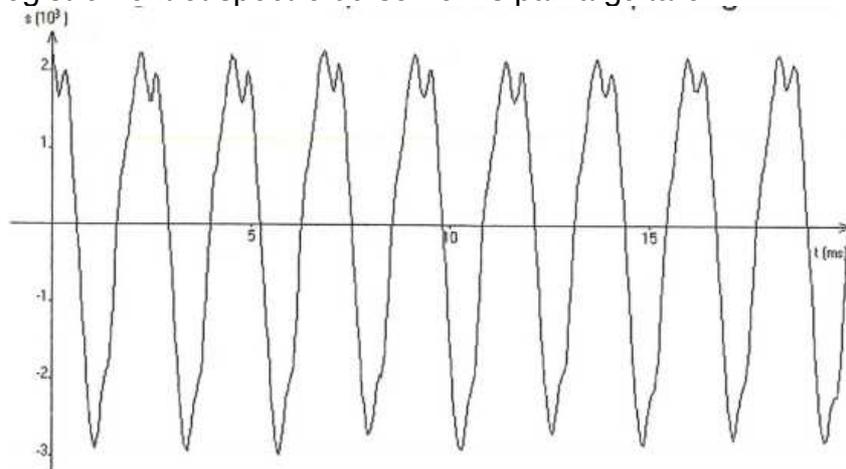
**Document 3 :** Enregistrement et spectre du son émis par le piano.



### Document 4 : Enregistrement et spectre du son émis par la flûte

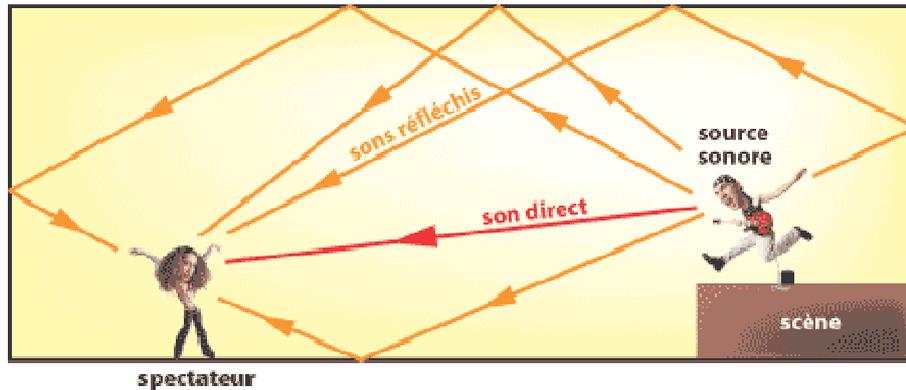


### Document 5 : Enregistrement et spectre du son émis par la guitare



**Document 6 : Réverbération d'une salle.**

La réverbération est le phénomène qui prolonge l'énergie sonore après un arrêt net de la source sonore. Une onde sonore émise dans une salle se propage dans toutes les directions à la vitesse de 340 m/s. Très rapidement elle rencontre le plafond, le sol ; et les murs. Selon la nature de ces parois, une fraction de l'énergie acoustique est absorbée et le reste est réfléchi.



En règle générale, l'absorption est plus faible pour les sons graves.

La réverbération n'est pas toujours souhaitée pour un orateur, sauf effets spéciaux.

Elle doit être courte pour une bonne compréhension du texte ; au maximum 0,8 seconde. Au-delà, les syllabes se chevauchent et l'intelligibilité diminue.

L'absence de réverbération provoque un rendu sec et dur sur la musique ; on recherche toujours une prolongation du son. Une bonne salle de musique présente une réverbération de 1,0 à 2,5 secondes. L'orgue nécessite une réverbération plus longue : c'est le cas des églises.

D'après <http://www.sonorisation-spectacle.org/reverberation.html>

**Document 7 : Durée de réverbération**

La durée de réverbération  $T_R$  est le temps mis par un son pour décroître de 60 dB après la coupure de la source sonore.

Cette durée  $T_R$  se calcule à l'aide de la loi de Sabine :  $T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$

avec  $V$  : volume de la salle (en  $m^3$ )

$A$  : l'aire de la surface absorbante équivalente de la salle (en  $m^2$ )

$T_R$  : durée de réverbération (en s)

On définit la surface équivalente  $A$  par :  $A = \sum_i (\alpha_i \times S_i)$  où  $\alpha_i$  représente le coefficient d'absorption du matériau de surface  $S_i$ . Il dépend de la nature du matériau et de la fréquence du son.

Coefficients d'absorption acoustique moyens,  $\alpha_M$ , de différents matériaux à une fréquence de 500 Hz.

Matériau	Plâtre	Carrelage	Béton	Bois	Verres	Dalles acoustiques
$\alpha_M$ (pas d'unité)	0,030	0,020	0,010	0,15	0,18	0,75

D'après <http://www.acouphile.fr/materiaux.html>

### Grille DS6 Spé

- T sur plusieurs périodes
- $f = 1/T$
- $f = 441$  Hz
- Piano  $f = 440$  Hz
- Guitare  $f = 430$  Hz
- Accord possible
- Réflexion
- Absorption
- Diffraction
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- $T_R = 10$  s
- $T_R = 10$  s
- Trop long, inintelligible, expliqué
- Béton réduit par le bois  $S_{\text{béton}} - S_{\text{panneau}}$
- Formule littérale  $S_{\text{panneau}}$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$

Note

.../20

### Grille DS6 Spé

- T sur plusieurs périodes
- $f = 1/T$
- $f = 441$  Hz
- Piano  $f = 440$  Hz
- Guitare  $f = 430$  Hz
- Accord possible
- Réflexion
- Absorption
- Diffraction
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- $T_R = 10$  s
- $T_R = 10$  s
- Trop long, inintelligible, expliqué
- Béton réduit par le bois  $S_{\text{béton}} - S_{\text{panneau}}$
- Formule littérale  $S_{\text{panneau}}$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$

Note

.../20

### Grille DS6 Spé

- T sur plusieurs périodes
- $f = 1/T$
- $f = 441$  Hz
- Piano  $f = 440$  Hz
- Guitare  $f = 430$  Hz
- Accord possible
- Réflexion
- Absorption
- Diffraction
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- $T_R = 10$  s
- $T_R = 10$  s
- Trop long, inintelligible, expliqué
- Béton réduit par le bois  $S_{\text{béton}} - S_{\text{panneau}}$
- Formule littérale  $S_{\text{panneau}}$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$

Note

.../20

### Grille DS6 Spé

- T sur plusieurs périodes
- $f = 1/T$
- $f = 441$  Hz
- Piano  $f = 440$  Hz
- Guitare  $f = 430$  Hz
- Accord possible
- Réflexion
- Absorption
- Diffraction
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- $0,16 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ , analyse dimensionnelle explicitée
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- Sous-sol  $T_R = 0,16 \times L \cdot \ell \cdot h / \alpha_{\text{béton}} \cdot S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}} \cdot S_{\text{bois}}$
- $T_R = 10$  s
- $T_R = 10$  s
- Trop long, inintelligible, expliqué
- Béton réduit par le bois  $S_{\text{béton}} - S_{\text{panneau}}$
- Formule littérale  $S_{\text{panneau}}$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$
- $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$

Note

.../20

## 1. Accord des instruments.

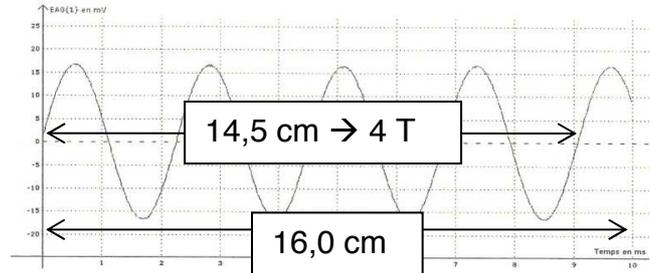
**1.1. (0,75 pt)** Fréquence  $f$  de vibration du son émis par le diapason :  
Sur le document 2, on mesure la période de la tension.  
Pour une meilleure précision, on mesure plusieurs périodes.

$$10,0 \text{ ms} = 10,0 \times 10^{-3} \text{ s} \rightarrow 16,0 \text{ cm}$$

$$4 T \rightarrow 14,5 \text{ cm}$$

$$T = \frac{10,0 \times 10^{-3} \times 14,5}{4 \times 16,0}$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ donc } f = \frac{4 \times 16,0}{10,0 \times 10^{-3} \times 14,5} = \mathbf{441 \text{ Hz}}$$



**1.2. (0,75 pt)** Il faut déterminer la fréquence du son émis par chaque instrument.

L'analyse spectrale donne la fréquence du fondamental qui caractérise la hauteur du son :

- pour le piano, la fréquence du fondamental vaut environ 0,4 kHz,
- pour la flûte, on lit environ 0,8 kHz,
- pour la guitare, on lit environ 0,4 kHz.

La flûte ne joue pas une note de même hauteur que les autres instruments.

Pour être certain que la guitare et le piano jouent la même note, il faut déterminer avec précision (voir méthode employée en 1.1.) la période.

Piano :  $15,0 \text{ ms} = 15,0 \times 10^{-3} \text{ s} \rightarrow 16,0 \text{ cm}$   
 $6 T \rightarrow 14,5 \text{ cm}$

$$T = \frac{15,0 \times 10^{-3} \times 14,5}{6 \times 16,0}$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ donc } f = \frac{6 \times 16,0}{15,0 \times 10^{-3} \times 14,5} = \mathbf{4,4 \times 10^2 \text{ Hz}}$$

Guitare :  $15,0 \text{ ms} = 15,0 \times 10^{-3} \text{ s} \rightarrow 7,8 \text{ cm}$   
 $8 T \rightarrow 9,6 \text{ cm}$

$$T = \frac{15,0 \times 10^{-3} \times 9,6}{8 \times 7,8}$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ donc } f = \frac{8 \times 7,8}{15,0 \times 10^{-3} \times 9,6} = \mathbf{4,3 \times 10^2 \text{ Hz}}$$

Les fréquences sont très proches, le piano et la guitare jouent sans doute la même note, même si l'imprécision des mesures ne permet pas de le démontrer rigoureusement.

## 2. La pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ?

**2.1. (0,75 pt)** Trois phénomènes physiques interviennent au cours de la propagation du son dans une salle : réflexion, absorption (atténuation), diffraction (par l'ouverture de la porte...).

**2.2. (0,5 pt)** Formule de Sabine :  $T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$  soit  $0,16 = \frac{T_R \times A}{V}$

En remplaçant les grandeurs par leurs unités, on a  $\frac{\text{s} \times \text{m}^2}{\text{m}^3}$ , donc le coefficient s'exprime en  $\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ .

**2.3. (1 pt)** Le document 6 nous apprend qu'une bonne salle de concert présente une durée de réverbération de 1,0 s à 2,5 s.

Calculons la durée de réverbération du sous-sol :  $T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$  avec  $A = \sum_i (\alpha \times S_i)$

$$T_R = \frac{0,16 \times V}{\alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}}} = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{\alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}}}$$

$$T_R = \frac{0,16 \times 10,0 \times 5,0 \times 3,0}{0,010 \times 187 + 0,15 \times 3,0} = \mathbf{10 \text{ s}}$$

**(0,25 pt)** La durée de réverbération est trop longue, les notes successives vont se chevaucher et l'ensemble sera inintelligible.

**2.4. (1 pt)** La surface du béton sera réduite par la pose de panneaux, elle vaudra  $S_{\text{Béton}} - S_{\text{Panneau}}$

$$T_R = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{\alpha_{\text{Béton}} \cdot (S_{\text{Béton}} - S_{\text{Panneau}}) + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}} + \alpha_{\text{Panneau}} \cdot S_{\text{Panneau}}}$$

$$\alpha_{\text{Béton}} \cdot (S_{\text{Béton}} - S_{\text{Panneau}}) + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}} + \alpha_{\text{Panneau}} \cdot S_{\text{panneau}} = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{T_R}$$

$$\alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} - \alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Panneau}} + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}} + \alpha_{\text{Panneau}} \cdot S_{\text{panneau}} = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{T_R}$$

$$\alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} + S_{\text{Panneau}} \cdot (\alpha_{\text{Panneau}} - \alpha_{\text{Béton}}) + \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}} = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{T_R}$$

$$S_{\text{Panneau}} \cdot (\alpha_{\text{Panneau}} - \alpha_{\text{Béton}}) = \frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{T_R} - \alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} - \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}}$$

$$S_{\text{Panneau}} = \frac{\frac{0,16 \times L \cdot l \cdot h}{T_R} - \alpha_{\text{Béton}} \cdot S_{\text{Béton}} - \alpha_{\text{Bois}} \cdot S_{\text{Bois}}}{(\alpha_{\text{Panneau}} - \alpha_{\text{Béton}})}$$

$$S_{\text{panneau}} = \frac{\frac{0,16 \times 10,0 \times 5,0 \times 3,0}{2,0} - 0,010 \times 187 - 0,15 \times 3,0}{(0,50 - 0,010)} = \frac{12 - 1,87 - 0,45}{0,49} = \mathbf{20 \text{ m}^2}$$

Il faut installer environ 20 m<sup>2</sup> de panneaux absorbants.