

AMÉRIQUE DU NORD 2013

Concert en sous-sol

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.

I. Accord des instruments.

Avant le concert, les musiciens doivent « accorder » leurs instruments. Pour cela, ils utilisent un diapason qui émet la note « La₃ ». 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.

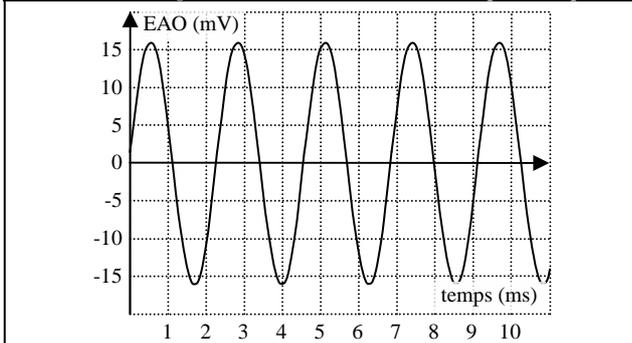
En utilisant les enregistrements des différents sons produits et leurs spectres, répondre aux questions suivantes :

- 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.

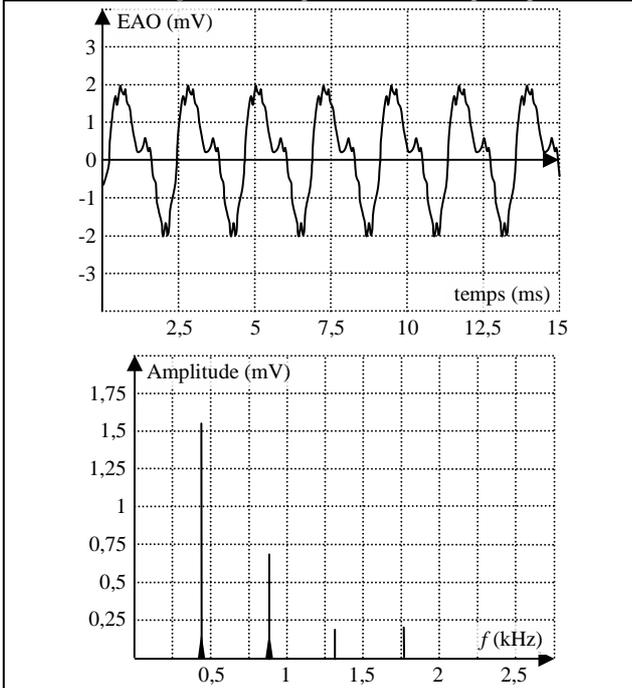
Document 1 : Hauteur de note et fréquence associée (Hz)

La ₁	La ₂	La ₃	si ₃	do ₄	ré ₄	mi ₄	fa ₄	sol ₄	la ₄
110	220	f	494	523	587	659	698	783	880

Document 2 : Enregistrement de la note « La₃ » émise par le diapason



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



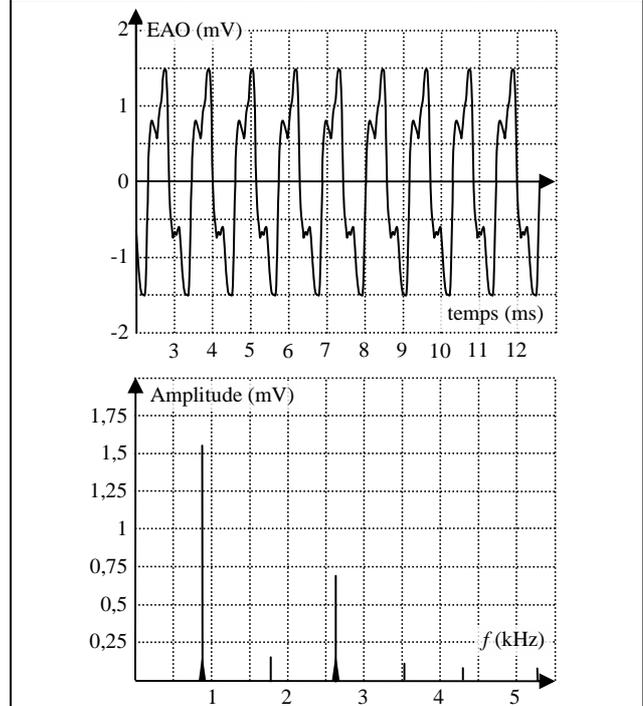
II. La pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ?

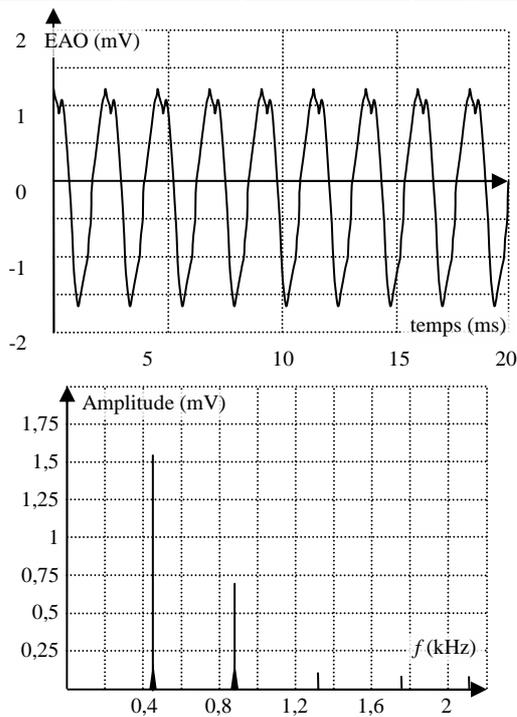
Le concert a lieu dans une salle au sous-sol d'une maison. La salle a une forme parallélépipédique, de longueur $L = 10,0$ m, de largeur $\ell = 5,0$ m et de hauteur $h = 3,0$ m.

Cette salle, vide et sans vitrage, possède une porte en bois de surface $S_{\text{bois}} = 3,0$ m². Le sol, les murs et les plafonds sont en béton d'une surface totale : $S_{\text{béton}} = 187$ m².

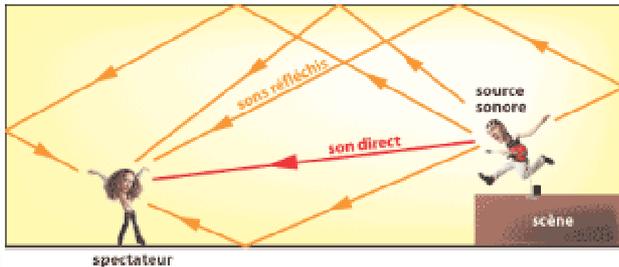
- 2.1. Quels sont les phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.
- 2.2. Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine (document 7) ?
- 2.3. En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une 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 ?

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 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 : $T_R = \frac{0,16 \cdot V}{A}$

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 : $A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$ où α_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, α_M , de différents matériaux à une fréquence de 500 Hz.

Matériau	α_M (sans unité)
Plâtre	0,030
Carrelage	0,020
Béton	0,010
Bois	0,15
Verres	0,18
Dalles acoustiques	0,75

D'après www.acophile.fr/materiaux.html

Correction

1.1. 4 périodes pour environ 9,1 ms, soit $T = 2,28$ ms et $f = 4,4 \cdot 10^3$ Hz.

1.2. Piano : 6 périodes \rightarrow 5,4 cm et 6 cm \rightarrow 15 ms, donc $T = 2,25$ ms

Flûte : 8 périodes \rightarrow 4,6 cm et 5,5 cm \rightarrow 11 ms, donc $T = 1,15$ ms

Guitare : 8 périodes \rightarrow 5,5 cm et 6 cm \rightarrow 20 ms, donc $T = 2,29$ ms

La période des trois signaux étant différentes, les trois musiciens ne jouent pas la même note. (*On peut utiliser également les spectres*).

2.1. Diffraction, réflexion, diffusion

2.2. $0,16 = \frac{A \cdot T_R}{V}$, ses unités sont donc : $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ soit des $\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$

2.3. On calcule T_R , avec :

$$V = 10 \times 5 \times 3 = 150 \text{ m}^3;$$

$$A = S_{\text{béton}} \cdot \alpha_{\text{béton}} + S_{\text{bois}} \cdot \alpha_{\text{bois}} = 187 \times 0,01 + 3 \times 0,15 = 2,32 \text{ m}^2$$

$$T_R = \frac{0,16 \cdot 150}{2,32} = 10 \text{ s}$$

Ce n'est pas une bonne salle de concert car son T_R est bien au-delà des 2,5 s que préconise le document 6.

2.4. On cherche la surface de panneau S_{panneau} qui recouvrira le béton (!) de manière à obtenir $T_R = 2,0$ s.

On obtient donc l'équation :

$$T_R = \frac{0,16 \cdot V}{S_{\text{bois}} \cdot \alpha_{\text{bois}} + (S_{\text{béton}} - S_{\text{panneau}}) \cdot \alpha_{\text{béton}} + S_{\text{panneau}} \cdot \alpha_{\text{panneau}}}$$

On isole S_{panneau} :

$$S_{\text{panneau}} = \frac{1}{\alpha_{\text{panneau}} - \alpha_{\text{béton}}} \cdot \left(\frac{0,16 \cdot V}{T_R} - S_{\text{béton}} \cdot \alpha_{\text{béton}} - S_{\text{bois}} \cdot \alpha_{\text{bois}} \right)$$

Donc $S_{\text{panneau}} = 20 \text{ m}^2$.