

*Mots-clefs « instruments électroniques », « traitement du son » et « isolation phonique ».*

## 1 Activité documentaire : l'isolation phonique (30 minutes)

Un logement situé au-dessus d'un bar, dans une rue bruyante ou entouré par des voisins musiciens, doit avoir une isolation phonique parfaite. Pour prévoir le couplage acoustique entre une salle et son entourage, les acousticiens et architectes utilisent des indices d'affaiblissement.

### Document 1 – Quelques définitions

L'**indice d'affaiblissement**  $R$  d'une paroi est la différence entre le niveau sonore incident et le niveau sonore transmis par la paroi :

$$R = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$$

$R$  s'exprime en dB. L'indice d'affaiblissement total de parois superposées est égal à la somme des indices d'affaiblissement de chacune des parois :

$$R_{\text{mur}} = \sum R_{\text{parois}}$$

Il y a **couplage acoustique** entre deux salles lorsqu'une salle réceptrice reçoit de l'énergie sonore d'une salle émettrice. La différence entre le niveau sonore dans la salle émettrice et le niveau sonore dans la salle réceptrice s'appelle **indice d'affaiblissement brut**  $D$ , mesuré en dB.

$$D = R + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

$R$  est l'indice d'affaiblissement de la paroi de surface  $S$  ;

$A$  est l'absorption de la salle réceptrice, en mètre carré ( $\text{m}^2$ ), dont la définition a été donnée lors de la séance précédente.

Plus cet indice est élevé, meilleure est l'isolation phonique.

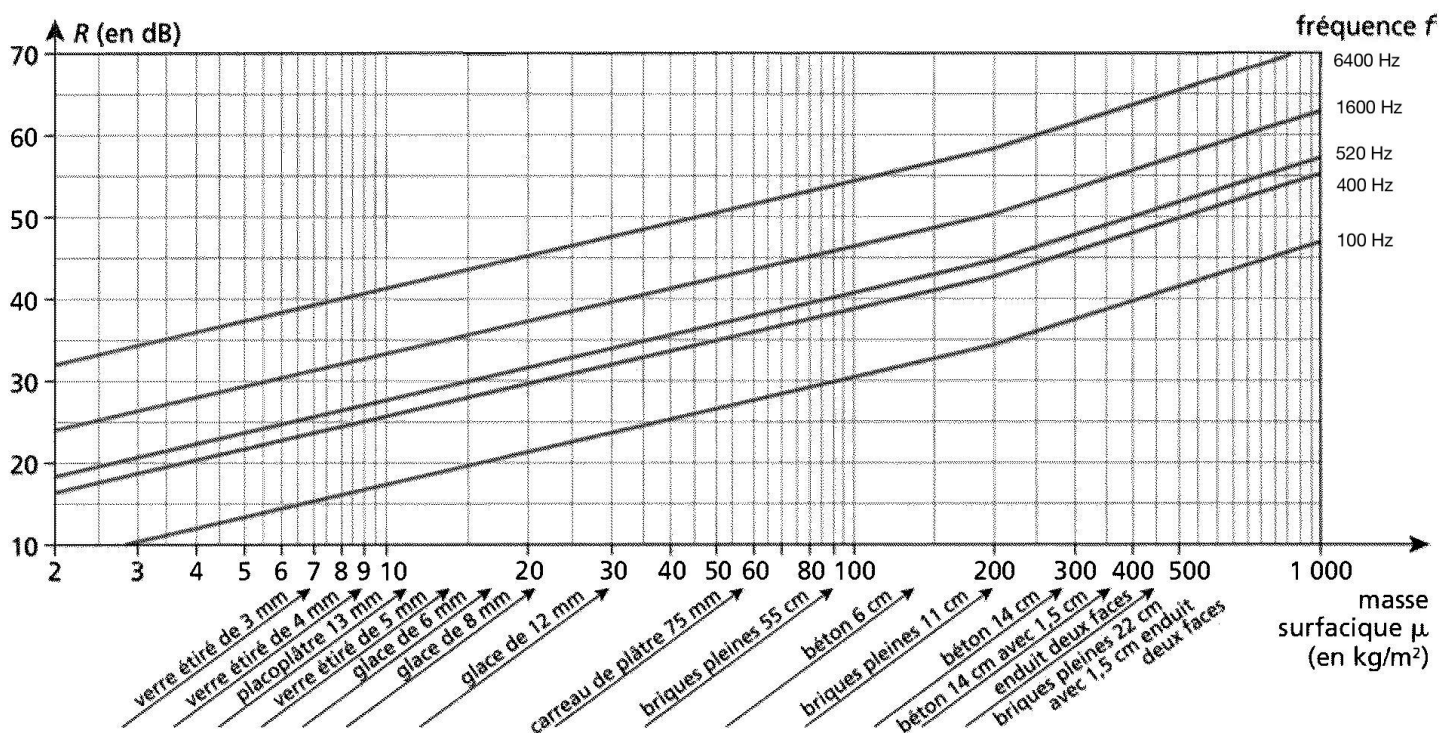
### Document 2 – Abaque des indices d'affaiblissement $R$

Une abaque permet de représenter l'évolution d'une grandeur en fonction de deux paramètres. L'abaque ci-dessous permet de trouver l'indice d'affaiblissement  $R$  en fonction de la fréquence  $f$  du son et de la masse surfacique  $\mu$  (masse de la paroi par unité de surface). L'exemple de quelques matériaux courants dans la construction est indiqué.

Ainsi, pour un son de fréquence égale à 520 Hz, l'indice d'affaiblissement  $R$  d'une paroi en briques pleines de 11 cm d'épaisseur vaut 45 dB.

**a.** Sur l'abaque, effectuer un tracé pour mettre en évidence l'exemple précédent.

**b.** Justifier que 14 cm de béton permette, à la même fréquence, de doubler l'intensité sonore  $I$  absorbée.



c . Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde sonore de 400 Hz. Justifier alors l'emploi de la masse surfacique (en kilogramme par mètre-carré) plutôt que la masse volumique (en kilogramme par mètre-cube) comme paramètre d'influence de la valeur R.

d. Le raisonnement précédent est-il toujours valable à 5 kHz ?

e . Pourquoi perçoit-on mieux les graves que les aiguës au travers d'une paroi ?

f . Pour améliorer l'isolation phonique d'une pièce d'absorption  $A = 40 \text{ m}^2$ , un habitant change la fenêtre composée d'une vitre en verre de 4 mm d'épaisseur et de surface  $S = 3,0 \text{ m}^2$ . En considérant que le bruit de la rue est émis à 400 Hz, calculer la valeur de D de la pièce de l'ancienne fenêtre.

## 2 Activité documentaire : principe d'un synthétiseur (40 minutes)

Depuis l'apparition des premiers synthétiseurs à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la musique électrique ou électronique n'a cessé de se développer. Aujourd'hui, les ordinateurs permettent des fonctionnalités très étendues, mais le principe reste quasiment le même que celui des synthétiseurs à clavier : un son est produit par un oscillateur (analogique ou numérique), puis traité de différentes manières. Découvrons le principe d'un synthétiseur.



### Document 1 – Zeth, un logiciel de synthèse sonore

Une capture d'écran d'un logiciel de synthèse sonore est donnée ci-dessus. Ce logiciel est un freeware disponible sur le site suivant :



<http://www.dskmusic.com/dsk-zeth/>

Ce logiciel possède trois oscillateurs. Pour chacun, il est possible de régler, entre autres, la forme du signal, l'amplitude et la fréquence, et d'assigner ou non un filtre (défini dans la zone entourée en bleu). Plusieurs titres sont possibles : passe-bas (LP sur le logiciel), passe-haut (HP) et passe-bande (BP).

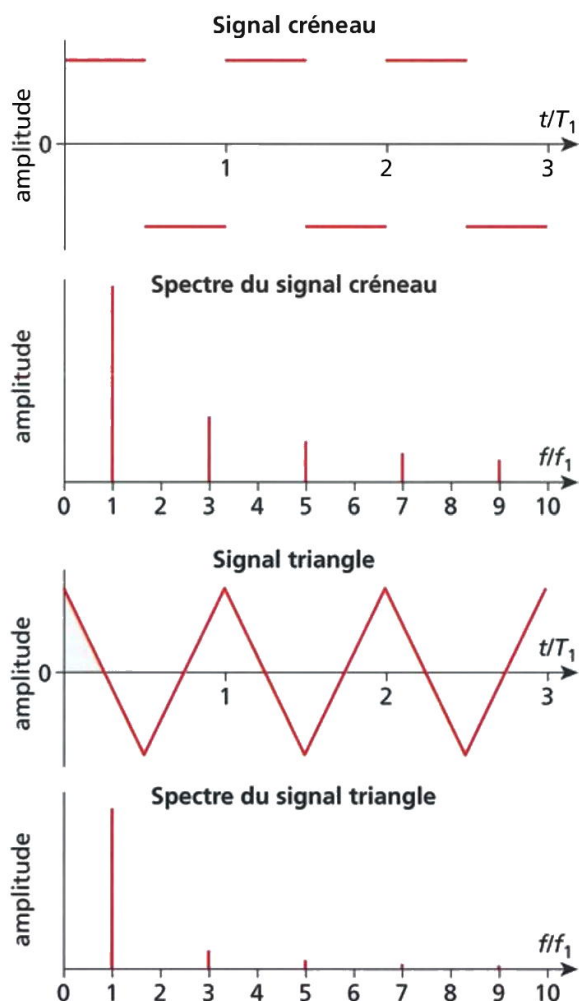
### Document 2 – Synthèses numériques d'un son

La synthèse additive d'un son consiste à créer un signal par superposition de signaux sinusoïdaux de fréquences don-

nées. La synthèse soustractive, elle, utilise des filtres pour supprimer des fréquences dans le spectre de sons complexes produits par des oscillateurs (par exemple signaux créneau, triangle ou dents de scie).

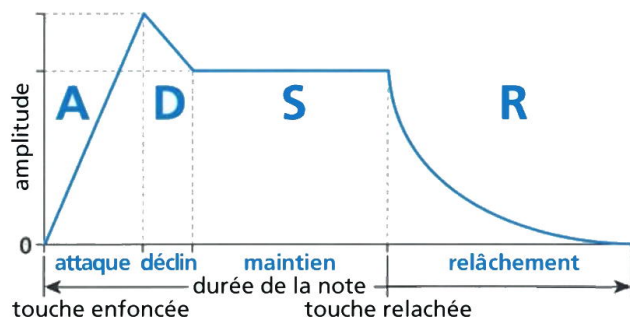
### Document 3 – Signaux et spectres

L'analyse de Fourier est un outil mathématique permettant de faire le lien entre un signal périodique et son spectre en fréquences. Un signal sinusoïdal de période  $T_1$  ne comporte, dans son spectre, qu'un pic à la fréquence  $f_1 = 1/T_1$ . Les représentations temporelles et les spectres en fréquences de deux autres signaux simples, créneau et triangle, sont donnés ci-dessous.



### Document 4 – Enveloppe d'un son

Pour créer un son musical ressemblant à celui d'un instrument de musique, les instruments électroniques ne doivent pas se contenter de produire un son périodique de spectre donné. Ils doivent tenir compte également de l'évolution au cours du temps, pour une note donnée, du timbre et de l'amplitude du son. Ainsi, l'enveloppe d'un son musical est souvent découpée en quatre zones nommées A, D, S et R : l'attaque (*attack* en anglais), le déclin (*decay*), le maintien (*sustain*) et le relâchement (*release*).



Le timbre du son peut varier au cours de ces quatre étapes. Les synthétiseurs permettent de filtrer ou d'amplifier chaque zone séparément.

**g.** En vous appuyant sur vos connaissances des sons musicaux et en utilisant les documents présentés, vous rédigerez un texte de synthèse expliquant le mode de production d'un son musical par un synthétiseur ou un ordinateur. Vous détaillerez en particulier le principe de la synthèse additive et celui de la synthèse soustractive. Votre texte sera agrémenté d'un ou plusieurs schémas explicatifs.

## 3 Activité expérimentale : le traitement du son (40 minutes)

Un son peut être modifié par traitement électronique ou numérique. Quels traitements peut-on appliquer à un son ?

### Document 1 – Quelques exemples de traitement d'un son

**Amplification** Augmentation ou atténuation du niveau d'intensité sonore de la totalité du son. Lors de l'amplification, il faut veiller à ne pas saturer le signal, car il serait déformé. Si l'enregistrement comporte des bruits parasites, ils seront aussi amplifiés. La montée ou la descente progressive du niveau d'intensité est appelée « fading ».

**Égalisation** Amplification ou atténuation de certaines fréquences du son.

**Changement du tempo** Modification de la vitesse d'exécution du son sans modification de sa hauteur.

**Changement de la hauteur** Modification de la hauteur du son sans modification de sa vitesse d'exécution.

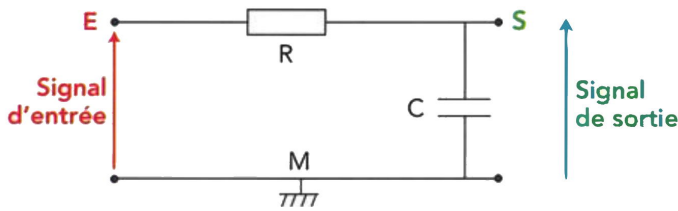
**Changement de la vitesse** Modification de la hauteur et du tempo du son.

**Écho** Superposition du son d'origine avec le même son, décalé et atténué dans le temps.

**Suppression du bruit** Élimination du son correspondant au bruit de fond.

## Document 2 – Traitement électronique d'un son

Le montage proposé ci-dessous est celui d'un « filtre passe-bas ». Il comporte plusieurs dipôles, dont un conducteur ohmique de résistance  $R$  (exprimée en ohm, de symbole  $\Omega$ ) et un condensateur de capacité  $C$  (exprimée en farad, de symbole  $F$ ).



Le signal d'entrée est la tension électrique correspondant à l'enregistrement d'un son musical.

Le signal de sortie est la tension électrique obtenue après application du traitement électronique. Ce signal peut alimenter un haut-parleur.

Ce montage possède une fréquence particulière, appelée fréquence de coupure  $f_c$ , et qui s'exprime par :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

**h.** Calculer la fréquence de coupure associée au filtre réalisé avec les composants à votre disposition.

### 3.1 Expérience – Bande passante du filtre

- À l'aide d'un multimètre et d'un capacimètre (appareil de mesure de la capacité d'un condensateur), vérifier les valeurs nominales des composants à votre disposition.
- Brancher un GBF délivrant une tension sinusoïdale  $u_E$  à l'entrée du filtre. ?
- Brancher un voltmètre à l'entrée du filtre pour mesurer la valeur efficace  $U_E$  de la tension d'entrée  $u_E$  et un second à la sortie du filtre pour mesurer la valeur efficace  $U_S$  de la tension de sortie  $u_S$ .

Vérification par le professeur avant mise sous tension !

- Faire varier la fréquence  $f$  du GBF et pour chaque valeur de la fréquence, mesurer  $U_E$  et  $U_S$ . ?
- Calculer le gain  $G$  en décibels (dB) d'expression :

$$G = 20 \cdot \log \frac{U_S}{U_E}$$

**i.** Dresser un schéma électrique du montage ainsi réalisé.

**j.** Sur du papier semi-log, tracer le diagramme représentant  $G$  en fonction de  $f$ .

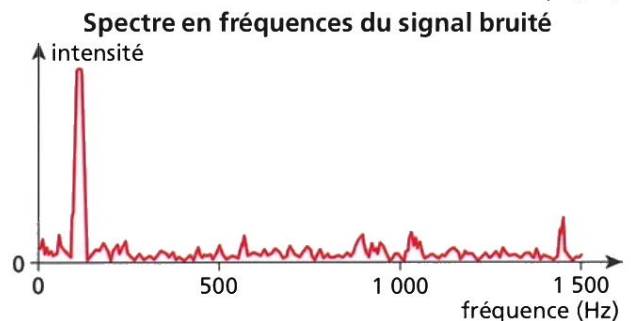
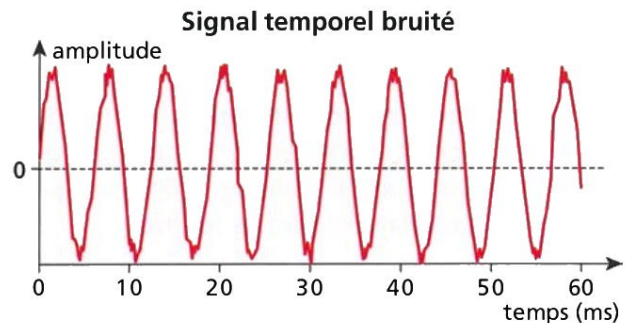
**k.** Justifier le nom du filtre.

**l.** La fréquence de coupure  $f_c$  est la fréquence à laquelle le rapport  $U_S/U_E$  est égal à  $1/\sqrt{2}$ , c'est-à-dire la fréquence pour laquelle le gain vaut  $G = -3$  dB. Déterminer graphiquement cette fréquence et comparer avec le calcul théorique précédent (écart relatif).

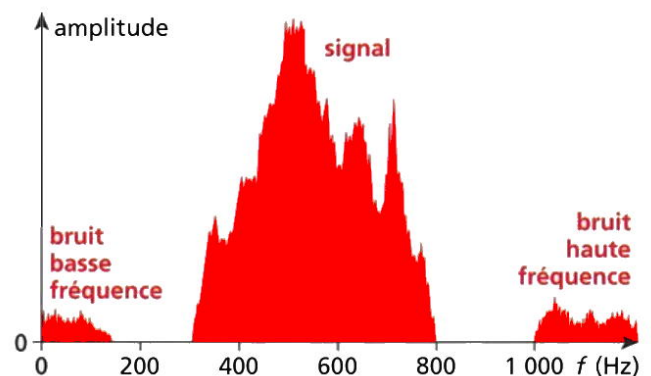
## Document 3 – Filtrage des bruits

Un son perçu comporte souvent des « bruits » de fréquences variées pouvant provenir de diverses sources parasites. Ils rendent le message moins audible ; pour les éliminer, il faut utiliser des filtres.

**m.** Attribuer à chaque filtre page suivante un qualificatif parmi : passe-bas ; passe-haut ; passe-bande.



**n.** À l'aide des figures ci-dessus, caractériser un bruit en termes de fréquence et d'amplitude.



**o.** Sur la figure ci-dessus représentant le spectre d'un signal très bruité, indiquer quels filtres il faut utiliser pour éliminer les bruits.

Filtre	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3
Montage			
Effet			
Fréquence caractéristique	$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

## 4 Correction des exercices de la séance n° 9

### 9.1 N° 3 p. 103 – Instruments à percussion

Il faut enregistrer le son de l'instrument à percussion avec un échantillonneur également appelé sampler. Il faut ensuite « pitcher le son à l'octave autant que nécessaire », c'est-à-dire multiplier par deux sa fréquence autant que nécessaire, puisque deux notes sont séparées d'une octave lorsque le rapport de leurs fréquences fondamentales est égal à 2.

C'est l'échantillonneur qui permet d'augmenter la hauteur du son enregistré.

Lorsqu'on obtient un son dont la fréquence est repérable sur la gamme tempérée, on ajuste cette dernière en tendant la peau si la fréquence est trop faible ou en la détendant si la fréquence a une valeur trop élevée.

### 9.2 Exercice résolu n° 1 p. 118 – Auditorium

### 9.3 N° 4 p. 121 – Un réfectoire en salle de spectacles

On cherche une durée de réverbération  $TR = 1,6$  s.

Le volume de la salle est :

$$V = L \cdot \ell \cdot H$$

$$V = 12 \times 6,0 \times 2,5 = 180 \text{ m}^3$$

D'après la formule de Sabine :

$$A = 0,16 \times \frac{V}{TR} = 0,16 \times \frac{180}{1,6} = 18 \text{ m}^2$$

Pour transformer cette salle en salle de spectacles, il faut une surface équivalente d'absorption de  $18 \text{ m}^2$ .

La surface équivalente d'absorption,  $A_v$ , de la salle en l'absence de panneaux en bois se détermine en tenant compte des parois qui la constituent :

Paroi	Plafond	Sol	Mur	Porte	Vitre	Chaise
S (m <sup>2</sup> )	72	72	60	4,0	26	100
$\alpha_M \cdot S_i$ (m <sup>2</sup> )	2,16	1,44	1,2	0,60	4,68	0,8

On additionne toutes les contributions :

$$A_v = 2,16 + 1,44 + 1,2 + 0,6 + 4,68 + 0,8 = 11 \text{ m}^2$$

Avec les panneaux, la surface équivalente d'absorption est :

$$A = A_v + 0,20 \times S_{\text{panneaux}}$$

$$S_{\text{panneaux}} = \frac{A - A_v}{0,20} = \frac{18 - 11}{0,20} = 35 \text{ m}^2$$

Chaque panneau possède une surface de  $2,0 \text{ m}^2$  ; il faut donc 18 panneaux pour obtenir la durée de réverbération souhaitée.

### 9.4 N° 5 p. 121 – Aménagement d'un auditorium

Il faut déterminer la surface d'absorption équivalente :

$$A = 120 \cdot \alpha_M + \alpha_p \cdot (L + \ell) + \alpha_s \cdot (L + \ell) + N \cdot A_{\text{sièges}}$$

où N est le nombre de sièges.

$$V = L \cdot \ell \cdot h \Leftrightarrow L \cdot \ell = \frac{V}{h} = \frac{200}{0,4} = 50 \text{ m}^2$$

Par suite :

$$A = 120 \times \alpha_M + 0,050 \times 50 + 0,080 \times 50 + 25 \times 0,50$$

$$A = 120 \times \alpha_M + 19$$

La durée de réverbération imposée au niveau des murs conduit à une condition sur la surface d'absorption équivalente :

$$0,16 \times \frac{V}{0,50} \leq A \leq 0,16 \times \frac{V}{0,30}$$

$$\Rightarrow 64 \text{ m}^2 \leq A \leq 1,1 \times 10^2 \text{ m}^2$$

On en déduit l'encadrement pour le coefficient :

$$0,38 \leq \alpha_M \leq 0,73$$

En comparant aux valeurs données, il apparaît que les isolants n° 2 et n° 3 conviennent.

Pour savoir lequel est le plus avantageux, il faut calculer le prix de revient au mètre :

— pour l'isolant n° 2,

$$\frac{425}{12,5} = 34 \text{ €}$$

— pour l'isolant n° 1,

$$\frac{850}{25} = 34 \text{ €}$$

Ces deux isolants auront donc le même coût et les mêmes propriétés acoustiques. À part un autre critère (couleur, qualité, etc.), rien ne les différencie au niveau du cahier des charges.

## 5 Exercices pour la séance n° 11

**10.1** N° 3 p. 120 – Coefficient d'absorption acoustique

**10.2** N° 6 p. 122 – Critères de choix d'un matériau