

Mots-clefs « acoustique active », « instruments à percussion » et « instruments électroniques ».

1 Activité documentaire : les instruments à percussion

On peut classer les instruments en trois familles qui sont les instruments à cordes, à vent et à percussion. Dans le cas des instruments à percussion, une membrane ou un matériau résonnant constitue le système excitateur qui fait vibrer l'instrument. Un instrument à percussion joue-t-il une note de musique ?

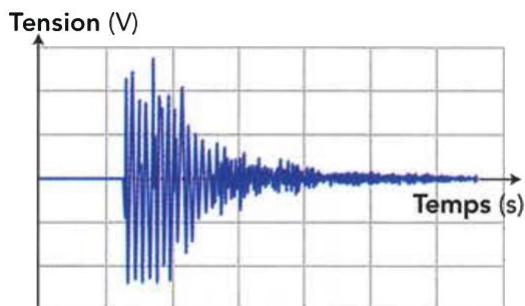
Document 1 – Spectre inharmonique

La plupart des instruments à percussion produisent des sons qui ne sont pas périodiques. Dans ce cas, l'énergie sonore est répartie sur des fréquences dont les valeurs n'ont pas de relations entières ou fractionnaires entre elles. On dit que l'on a un spectre « inharmonique ». Ce type de spectre n'engendre pas de sensation de hauteur bien nette, voire, comme c'est le cas pour certaines cloches, peut évoquer plusieurs hauteurs simultanément.

Document 2 – La caisse claire



La caisse claire est un des éléments principaux d'une batterie. Sur la caisse, en bois ou en métal, on fixe deux membranes, une de percussion et l'autre de résonance. Voici une représentation en fonction du temps du signal électrique à la sortie d'un microphone, correspondant au son émis par une caisse claire de batterie :



Document 3 – La timbale

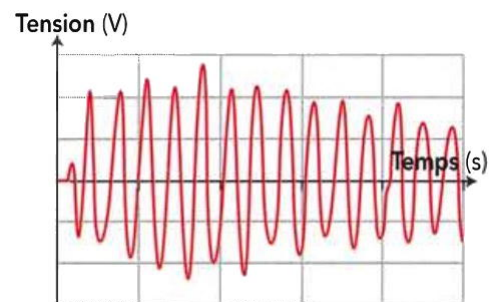
La timbale est formée d'une membrane circulaire ; cette « peau » est aujourd'hui fabriquée en mylar, un polymère

synthétique. Elle est tendue sur une coque (ou fût) de forme quasi hémisphérique.



Pour produire le son recherché, le timbalier frappe sur la peau avec une ou plusieurs « mailloches ». Un petit trou situé dans le fond du fût de la timbale garantit que lorsque l'instrument est au repos, les pressions de part et d'autre de la membrane sont égales (sinon, la peau serait trop tendue et vibrerait mal sous la frappe du timbalier).

Les timbales ont une fonction rythmique, bien sûr, mais elles ont aussi une couleur musicale. Les timbales engendrent une sensation de hauteur- un coup de timbale est perçu comme plus ou moins aigu — qui, sans être aussi nette que celle d'une flûte ou d'un piano, n'en est pas moins réelle. Voici le signal électrique à la sortie d'un microphone correspondant au son émis par une timbale :



Lorsqu'on joue de la timbale, on constate que cette sensation de hauteur est d'autant plus perceptible que le coup porté sur la peau est proche du bord (si l'on frappe la membrane au centre, on obtient un son plus sourd).

- a. Les instruments à percussion présentés dans les différents documents émettent-ils des sons musicaux ?

2 Activité documentaire : matériaux actifs

Afin d'optimiser la bonne diffusion et l'écoute sonore, il faut donner à une salle une forme convenable et une durée de réverbération favorable. En quoi l'acoustique active peut-elle être une réponse à la conception de salles de spectacles ?

Document 1 – Moduler l'acoustique et corriger les problèmes

Les techniques passives

Elles consistent à modifier la durée de réverbération en jouant sur l'absorption acoustique. Elles font appel à des moyens mécaniques qui se révèlent souvent lourds, bruyants et, de surcroît onéreux. Citons, par exemple, les réflecteurs, les panneaux mobiles ou les rideaux absorbants, les éléments scéniques comme les décors ou les conques d'orchestre, et même parfois les parois et les plafonds mobiles.

Les techniques actives

Ces techniques ont été développées en 1965, avec l'objectif initial de prolonger la durée de réverbération des salles pour pouvoir y accueillir des concerts dans de bonnes conditions. Elles apportent à la salle les composantes acoustiques qui lui font défaut, en utilisant des systèmes électroacoustiques constitués de microphones, de filtres, d'amplificateurs et de haut-parleurs. D'une pression du doigt, on sélectionne les paramètres les mieux adaptés pour chaque type de spectacle : théâtre, opéra, conférence, etc. Pour chaque ambiance, l'auditeur garde l'impression d'une acoustique naturelle : il ne détecte pas la présence du système actif. On peut obtenir avec ces techniques une variabilité beaucoup plus efficace et flexible que celle obtenue avec les moyens passifs :

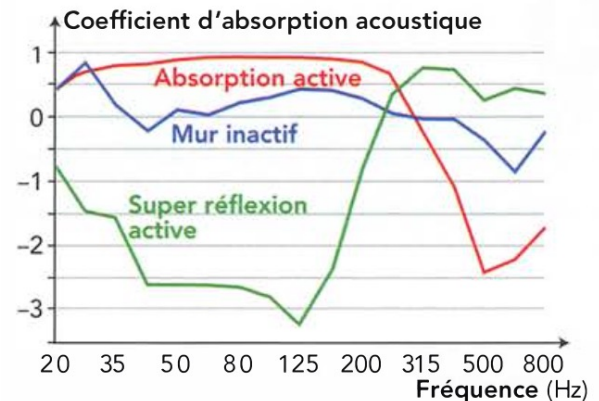
- pour l'exploitant d'une salle, l'acoustique active présente l'intérêt d'optimiser l'utilisation de son équipement ;
- pour les usagers (sur scène comme en salle), elle assure un grand confort acoustique ;
- pour les architectes et acousticiens, elle est le moyen de se libérer de certaines contraintes acoustiques, par exemple, une géométrie ou un type de matériaux qui ne procureraient pas les nécessaires réflexions du son.

Document 2 – Acoustique active et réverbération

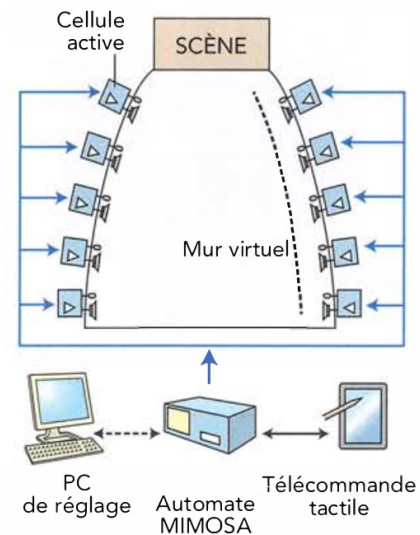
L'électronique associée à un mur actif permet de modifier son coefficient d'absorption acoustique, α , et donc sa durée de réverbération, TR . La surface équivalente d'absorption, A , d'une salle est liée aux coefficients d'absorption, α_i , des surfaces S_i qui la composent par la relation :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i$$

Dans la plupart des cas, la durée de réverbération est calculée par la relation de Sabine ; Grâce à ces dispositifs électroacoustiques, il est même envisageable d'obtenir des coefficients d'absorption négatifs.



Document 3 – Un exemple d'acoustique active



« Carmen[®], contrôle actif de la réverbération par mur virtuel à effet naturel, est une technique active totalement originale, conçue par les chercheurs du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment). Elle est fondée sur un concept essentiel : pour les musiciens comme pour les spectateurs, la salle équipée de Carmen[®] doit respecter les lois naturelles de l'acoustique afin de préserver les couleurs sonores des instruments et la localisation des artistes. Le principe de Carmen[®] repose sur la création de murs virtuels actifs constitués d'un ensemble de cellules

à réaction quasi locale, réparties autour de la salle, sur les murs et au plafond.

Chaque cellule capte et restitue en temps réel les sons comme s'ils étaient naturellement réfléchis. Une unité de traitement numérique spécialement développée effectue l'ensemble du traitement des signaux en temps réel. Cette architecture permet un contrôle facile et précis de tous les paramètres acoustiques et préserve la cohérence spatio-temporelle du champ sonore.

Chaque mur est constitué de plusieurs cellules actives ; un système complet en comporte de vingt à quarante. L'enrichissement du champ sonore s'obtient à partir de l'interaction entre les cellules, à l'image de ce qui se passe dans une salle de spectacle, où la réverbération se construit par le jeu des réflexions successives sur les parois.

[...] D'un spectacle à l'autre, les durées de réverbération souhaitables varient énormément : de 0,8 à 1,2 seconde

pour un concert de jazz et de 1,8 à 2,5 secondes pour une symphonie romantique.

[...] Ainsi, toutes les salles de spectacle peuvent instantanément moduler leurs caractéristiques acoustiques en fonction du spectacle. »

b. Critiquer l'affirmation écrite dans le document 2 : « Le son est pur ».

c. Expliquer les adjectifs « passive » et « active » qualifiant l'acoustique.

d. Comment peut être modifiée la durée de réverbération d'une salle en fonction des réglages d'un mur actif ?

e. Bilan : Commenter, en argumentant, l'expression « procédé révolutionnaire » pour qualifier l'acoustique active.

3 Activité documentaire : l'isolation phonique

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 (m^2), dont la définition a été donnée lors de la séance précédente.

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

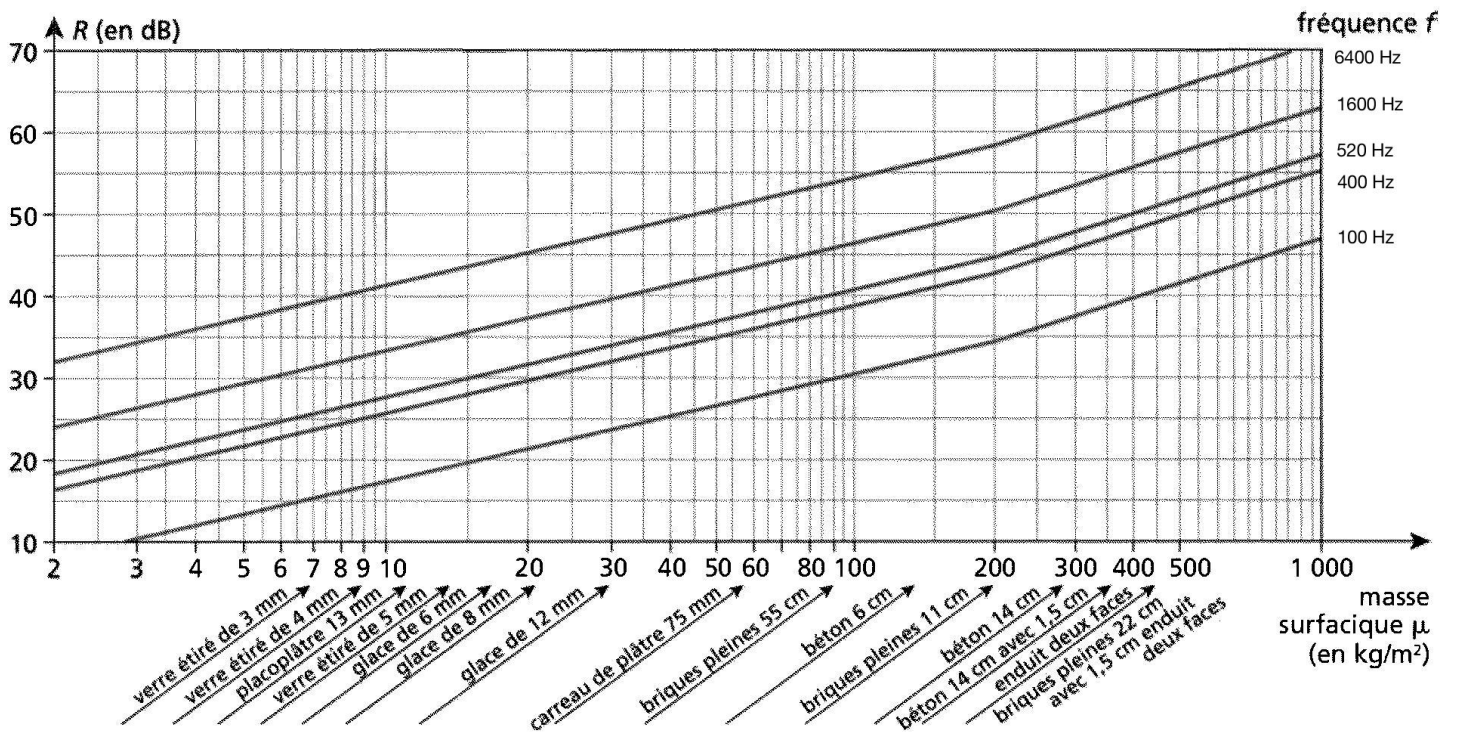
Document 2 – Abaque des indices d'affaiblissement R

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 μ (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.

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

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



h. Calculer la longueur d'onde λ 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 .

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

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

k. 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.

4 Activité documentaire : principe d'un synthétiseur

Depuis l'apparition des premiers synthétiseurs à la fin du XIX^e 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

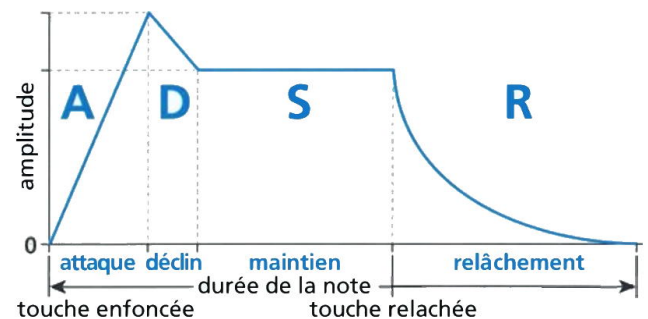
Une capture d'écran d'un logiciel de synthèse sonore est donnée ci-dessus. Ce logiciel est un freeware disponible sur le site suivant :

<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 types sont possibles : passe-bas (LP sur le logiciel), passe-haut (HP) et passe-bande (BP).

Document 2 – 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.

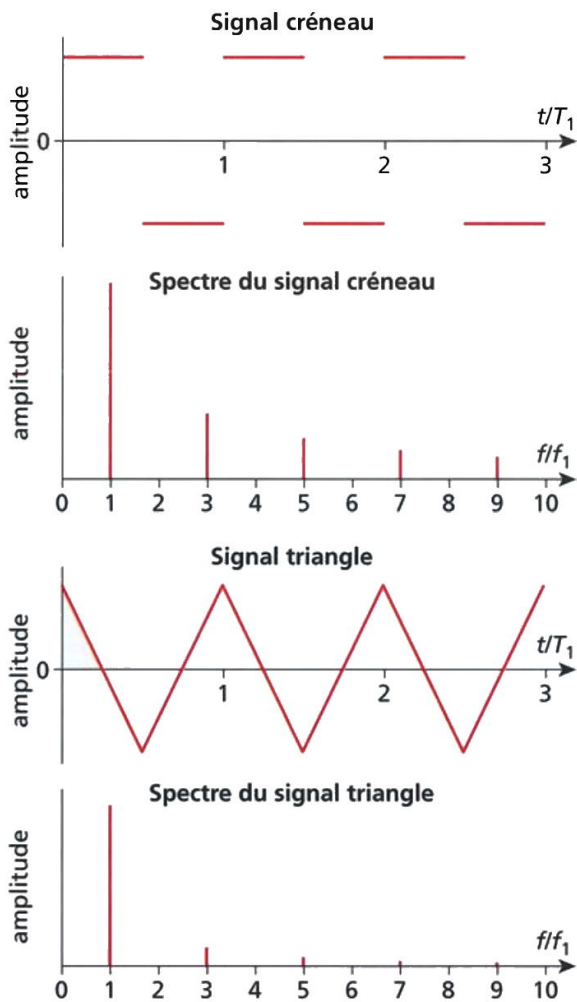
Document 3 – Signaux et spectres

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 page suivante.

Document 4 – Synthèses numériques d'un son

La synthèse additive d'un son consiste à créer un signal par superposition de signaux sinusoïdaux de fréquences données. 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).

1. 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.



5 Exercices pour la séance n° 11

10.1 N° 3 p. 103 – Instruments à percussion

10.2 N° 6 p. 122 – Critères de choix