

CHAP 08-COURS Son et architecture

Mots clés :

- Auditorium ; salle sourde.
- Isolation phonique ; acoustique active ; réverbération

1. CARACTERISTIQUES DES ONDES SONORES

L'effet d'une onde sonore est caractérisé par :

- . La surpression ΔP (Pa) de l'air lors du passage de l'onde
- Son intensité acoustique I ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- Son niveau sonore L (dB)

1.1. La surpression ΔP (Pa) de l'air lors du passage de l'onde

$$\Delta P = \Delta P_0 \cdot 10^{\frac{L}{20}}$$

ΔP : La surpression ΔP (Pa) de l'air lors du passage de l'onde
 ΔP_0 : La surpression de référence : $2 \cdot 10^{-5}$ Pa
 L : niveau acoustique en dB

Ou si on cherche le niveau acoustique :

$$L = 20 \log\left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0}\right)$$

ΔP (Pa)	I ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	L (dB)	Exemple de bruit
200	100	140	Réacteur d'avion au décollage
20	1	120	Sirène de pompier
6	0,1	110	Moto à l'accélération
0,2	10^{-4}	80	Circulation automobile
0,036	$3 \cdot 10^{-6}$	65	Conversation animée
$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-8}	40	Chuchotement
$6 \cdot 10^{-5}$	10^{-11}	10	Chambre anéchoïque
$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-12}	0	Limite d'audition (oreille humaine)

1 Correspondance pour quelques bruits usuels des différentes grandeurs.

1.2. Le niveau sonore et le décibel

Le **niveau sonore** L , exprimé en décibels acoustiques (dB) est défini par la relation suivante :

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

I_0 : seuil d'audibilité de l'oreille humaine ($10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 I : est l'intensité sonore de la vibration acoustique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 La notation « log » fait référence à la fonction logarithme décimal.
 L'échelle de L est graduée de 0 à 140 dB environ

Ou si l'on veut I et pas L :

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

2. ISOLATION PHONIQUE

- Les sons de notre environnement sont parfois gênants, voire dangereux pour la santé. C'est pourquoi il est nécessaire de les atténuer ou de les supprimer.

- L'isolation phonique consiste à utiliser des matériaux qui atténuent le niveau sonore incident

2.1. Atténuation phonique

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

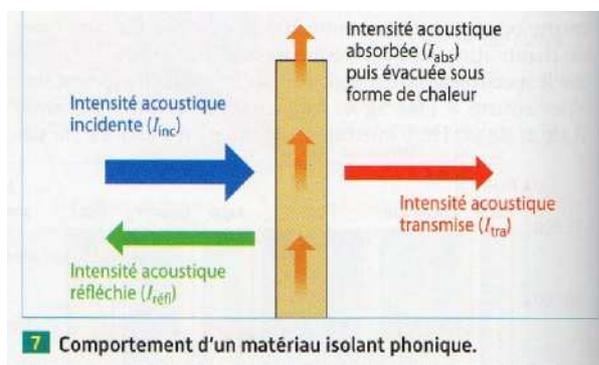
A : Atténuation phonique (en dB)

L_{incident} : Niveau acoustique incident (en dB)

L_{transmis} : Niveau acoustique transmis (en dB)

2.2. Comportement des isolants phoniques

Le comportement des isolants phoniques est décrit par 3 grandeurs sans unités :



a) Coefficient de transmission

$$t = \frac{I_{\text{transmis}}}{I_{\text{incident}}}$$

t : Coefficient de transmission (pas d'unité)

I_{incident} : Intensité acoustique incidente (W.m^{-2})

I_{transmis} : Intensité acoustique transmise (W.m^{-2})

b) Coefficient d'absorption

$$a = \frac{I_{\text{absorbée}}}{I_{\text{incident}}}$$

a : Coefficient d'absorption (pas d'unité)

I_{incident} : Intensité acoustique incidente (W.m^{-2})

I_{absorbée} : Intensité acoustique absorbée (W.m^{-2})

c) Coefficient de réflexion

$$r = \frac{I_{\text{réfléchi}}}{I_{\text{incident}}}$$

r : Coefficient de réflexion (pas d'unité)

I_{incident} : Intensité acoustique incidente (W.m^{-2})

I_{réfléchi} : Intensité acoustique réfléchi (W.m^{-2})

d) La relation entre l'atténuation A (dB) et le coefficient de transmission t

$$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}} = -10 \cdot \log(t)$$

A : Atténuation phonique (en dB)

L_{incident} : Niveau acoustique incident (en dB)

L_{transmis} : Niveau acoustique transmis (en dB)

t : Coefficient de transmission (pas d'unité)

3. CRITERES DE QUALITE ACOUSTIQUE D'UNE SALLE

Lors de sa propagation, une onde sonore subit des phénomènes de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les parois des obstacles qu'elle rencontre (murs, plafonds, mobilier, etc.).

La superposition de l'onde directe et des ondes réfléchies contribue à la qualité du son perçu. Un auditorium est une salle qui a une bonne qualité acoustique.

Quels paramètres doivent être pris en compte pour obtenir une bonne acoustique ?

3.1. Réverbération d'une salle

- Plus la durée de réverbération d'une salle de spectacle est longue, plus le spectateur a la sensation d'être dans une grande salle. En effet, plus la salle grande, moins il y a de perte d'énergie sonore par réflexion du son sur les parois et plus la durée de réverbération est grande. La matière des parois de la pièce influe aussi sur la durée de réverbération :

- Plus la surface est lisse et dense, moins elle absorbe de l'énergie et plus le temps de réverbération est long, Ainsi le verre ou le béton sont des éléments très réverbérant, mais les matières souples et rugueuses (moquette, tapis, tissus) absorbent le son. De même la présence des spectateurs diminue la durée de réverbération

a) Aire de la surface absorbante équivalente de la pièce

On définit la surface d'absorption équivalente A_{eq} par

$$A_{eq} = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$$

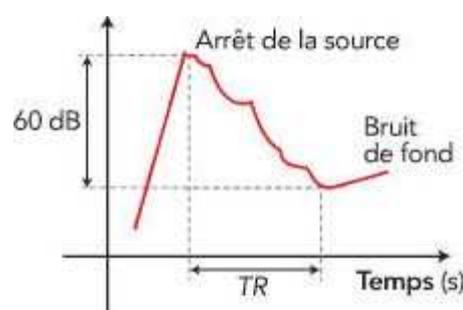
A_{eq} : Aire de la surface absorbante équivalente de la pièce (m^2)
 α_i : Coefficient d'absorption du matériau i (pas d'unité)
 S_i : Surface du matériau i (m^2)

Voir exo résolu p 117

b) Formule de Sabine

- La durée de réverbération, notée TR (car parfois encore appelée temps de réverbération),

correspond à la durée au bout de laquelle le niveau d'intensité sonore a diminué de 60 dB après que la source sonore a cessé d'émettre



- Dans la plupart des situations, la durée de réverbération se calcule par la formule de Sabine :

$$TR = 0,16 \cdot \frac{V}{A_{eq}}$$

TR : Durée de réverbération (s);
 V : Volume de la pièce (m^3)
 A_{eq} : Aire de la surface absorbante équivalente de la pièce (m^2)

Rem :

Cette formule est valable si l'énergie réverbérée est uniformément répartie dans la salle.

3.2. Les murs du son

- Dès qu'il y a une symétrie, en général ce n'est pas très bon. Car certaines fréquences sont favorisées par rapport à d'autres, le son paraît plus fort ici que là. Les salles parallélépipédiques rectangulaires, hexagonales, ovoïdes, ne sont pas favorables.

- Pourtant, les meilleures salles européennes, le Concertgebouw d'Amsterdam ou le Musikverein de Vienne, sont de vraies boîtes à chaussures.

- La boîte à chaussures est une forme de départ idéale, même pour une grande salle car tout y est prévisible, calculable.

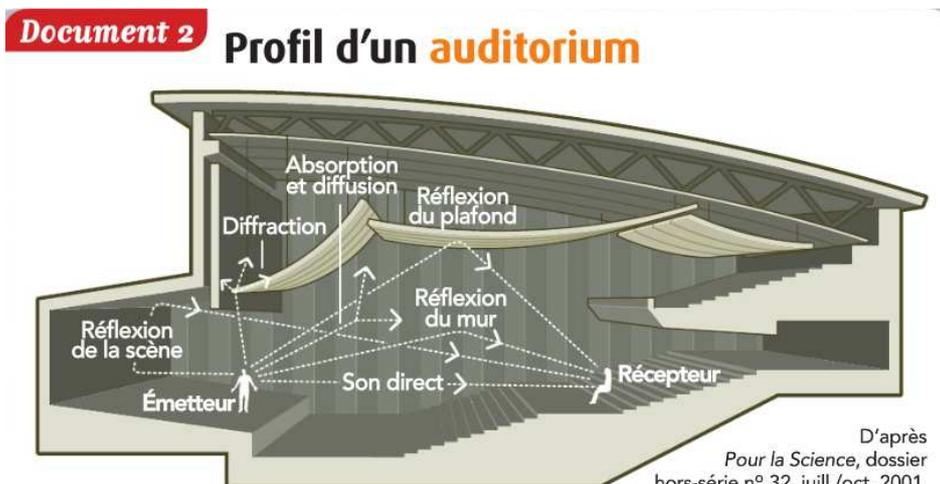
- Seulement, il faut y ajouter des balcons qui cassent les murs parallèles, et d'autres éléments de ce genre, des panneaux légèrement inclinés. A Vienne, ce sont des moulures, des cariatides, des stucs qui assurent la diffusion du son.

- La question est que le son parvienne à l'auditeur directement, mais aussi après s'être réfléchi plus ou moins au fond de la scène, au plafond, sur les murs latéraux, et même au fond de la salle.

La superposition de ces sources, apporte « l'effet de salle ».

Mais il n'est pas question d'entendre deux fois le même son, ni de l'entendre trop différemment selon sa position dans la salle; ni d'entendre mieux les aigus que les graves.

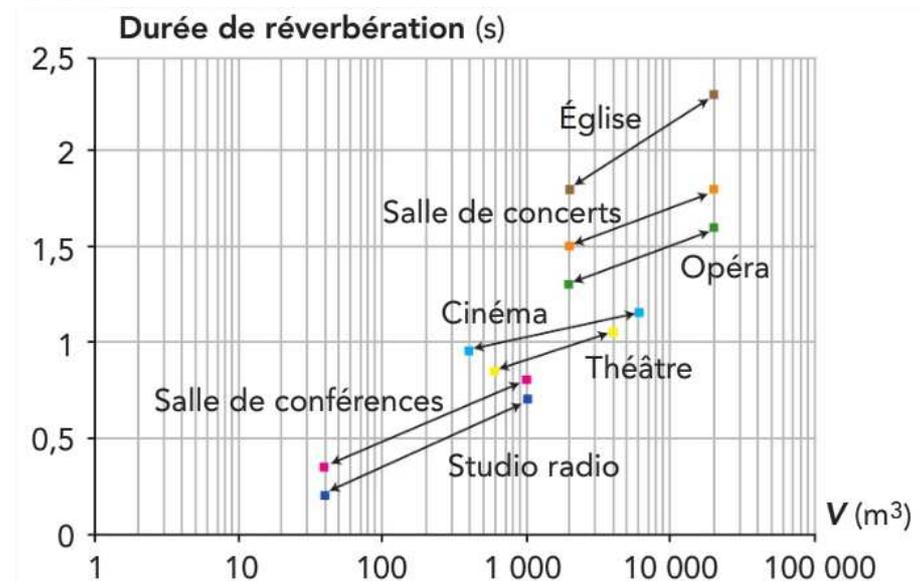
La nature des matériaux, et leur coefficient d'absorption, de réflexion, font varier cette diffusion.



3.3. Musique, parole et réverbération

L'absence de réverbération dans une salle provoque un rendu sec et dur de la musique; on recherche toujours une prolongation du son pour une bonne qualité musicale. Une bonne salle de musique présente une durée de réverbération de 1,0 à 2,5 secondes. Les orgues, présentes dans les églises, imposent de longues durées de réverbération afin d'avoir une bonne qualité de son.

La réverbération n'est, en général, pas souhaitée par un orateur. 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.



4. L'ACOUSTIQUE DES THEATRES ANTIQUES

L'acoustique extraordinaire des théâtres antiques grecs ou romains, n'est certainement pas due au hasard. Leur architecture permet-elle d'expliquer ces prodiges acoustiques?

Pour Nico Declercq et Cindy Dekeyser, du Georgia Institute of Technology, à Atlanta (USA), la qualité acoustique du théâtre d'Epidaure (en Grèce) serait liée à la disposition de ses rangées de sièges.

D'après leurs calculs, la succession périodique des marches du théâtre serait géométriquement optimisée pour filtrer les basses fréquences, composante principale du bruit de fond qui masque généralement le son perçu loin de la scène, tout en préservant les hautes fréquences provenant de la voix des acteurs.

L'agencement particulier des gradins permettrait ainsi d'atténuer les fréquences inférieures à 500 Hz au profit des fréquences plus élevées.

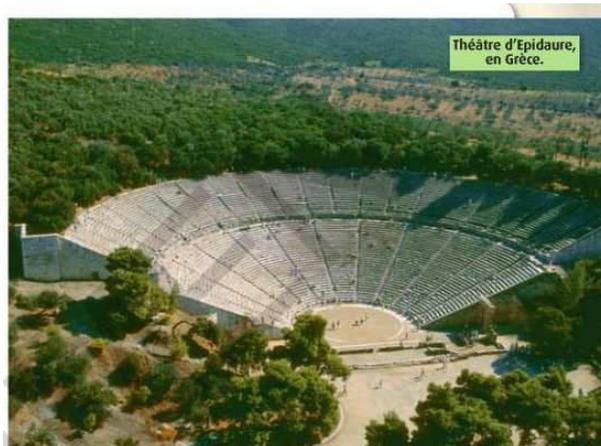
D'après les chercheurs, le bruit de fond du théâtre d'Epidaure était vraisemblablement dominé par des basses fréquences telles que le bruissement des arbres ou le brouhaha de spectateurs distraits.

Le fait de filtrer ces basses fréquences améliorerait l'audibilité de la voix des artistes, riches en hautes fréquences. Comme l'explique Declercq « La fréquence de coupure est juste là où il faut pour éliminer le bruit de fond que l'on avait sans doute dans cet amphithéâtre à l'époque ».

Le chercheur souligne cependant que la présence de spectateurs assis modifie cet effet acoustique de manière bien plus difficilement prévisible.

En effet, le corps humain, non homogène, répercute les ondes sonores différemment suivant la silhouette de chaque spectateur.

L'élimination des basses fréquences s'applique aussi bien au bruit de fond qu'aux voix graves des acteurs. Ceci ne constituerait cependant pas un problème majeur, car le système auditif humain est capable de reconstituer les basses fréquences manquantes. S'appuyant sur un phénomène neurologique, le cerveau humain va reconstruire la source sonore, pour le plus grand plaisir du spectateur



3. MATERIAUX 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 ?

3.1. 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.

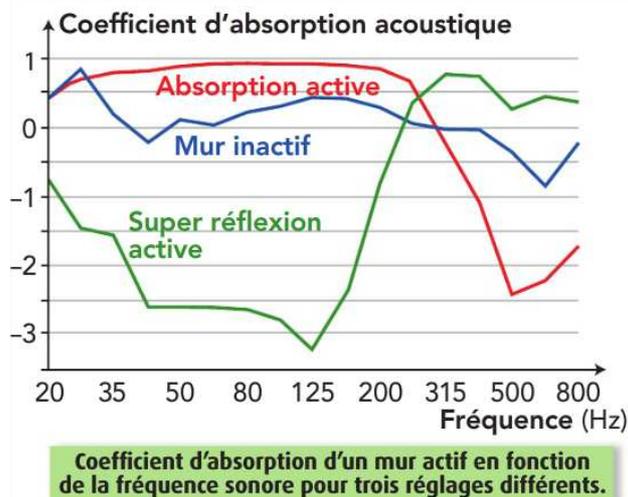
Citons, par exemple, les réflecteurs, les panneaux mobiles ou les rideaux absorbants, les éléments scéniques comme les décors ou les conques d'orchestre, et même parfois les parois et les plafonds mobiles.

3.2. 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.



4. L'ISOLATION PHONIQUE

4.1. Définition

L'isolation phonique a pour but d'éviter la propagation des ondes sonores venant de l'extérieur ou de l'intérieur en les absorbant grâce à des matériaux qualifiés d'isolants acoustiques. Elle ne sert pas uniquement à améliorer l'acoustique des salles, elle permet aussi de limiter les nuisances sonores.

Comment limiter la transmission du bruit?

Le bruit fait partie des principales nuisances de notre cadre de vie actuel.

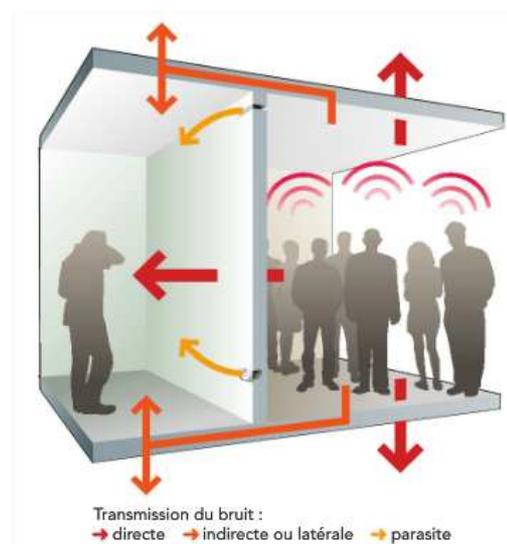
S'en isoler est moins simple qu'il n'y paraît : on doit souvent s'accommoder de compromis plutôt que l'éliminer complètement.

Le bruit : au mieux une gêne, au pire un vrai traumatisme. Les camions qui démarrent sous la fenêtre, ou le gamin du dessous qui fait beugler de la techno.

S'en protéger est possible, mais peut revenir très cher. Soyons simples : toute sonorité non désirée est un bruit, qu'il s'agisse d'un scooter débridé ou d'une étude de Chopin. On a en effet affaire à une onde sonore qui se propage par ébranlement mécanique des molécules de l'air, donc par une série de compressions et de dépressions des couches d'air. L'amplitude de ces vibrations fixe le volume sonore, et leur rapidité d'oscillation la fréquence. Lorsque le son, en se propageant, rencontre un obstacle, il lui transmet ses oscillations, mais le transfert des amplitudes vibratoires est fonction de la masse rencontrée.

C'est un problème de bilan d'énergie transférée, ou encore de choc élastique. Ainsi une simple vitre atténuée déjà fortement un son se propageant dans l'air. Un mur en pierre épais l'élimine presque totalement.

D'autres paramètres, tels que la fréquence du son ou l'élasticité des milieux concernés, interviennent également. L'isolation acoustique d'un local, qui vise à empêcher que les bruits extérieurs y pénètrent, revient à s'opposer à la transmission des vibrations entre deux domaines en contact. La seule solution pour y parvenir totalement serait de réaliser une boîte suspendue dans une autre boîte par des amortisseurs parfaitement élastiques.



4.2. Absorption et isolation

Lorsqu'une onde sonore rencontre un obstacle, comme un mur, un groupe de personnes, etc., une partie de son énergie acoustique est absorbée, ce qui engendre une diminution du niveau d'intensité sonore.

On parle d'absorption acoustique.

On définit le coefficient d'absorption α d'un matériau comme le rapport entre l'énergie acoustique absorbée ou transmise à travers le matériau et l'énergie acoustique reçue.

Ce coefficient dépend de l'angle d'incidence de l'onde reçue et de sa fréquence.

En général, on ne précise pas l'angle et on utilise un coefficient d'absorption moyen pour tous les angles d'incidence.

Pour caractériser l'absorption d'une salle, on définit la surface équivalente d'absorption A de la salle par :

$$A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$$

Où α_i représente le coefficient d'absorption du matériau de surface S_i .

Une chambre anéchoïque, ou salle sourde, possède un coefficient d'absorption de 1. C'est une salle qui permet de conserver uniquement le son direct, son émis par la source.

4.3. Indice d'affaiblissement acoustique

Deux pièces, (1) et (2) et sont séparées par une paroi de surface S (en m^2).

La faculté de cette paroi à absorber un son émis dans la pièce (1) se mesure par son indice d'affaiblissement acoustique, R .

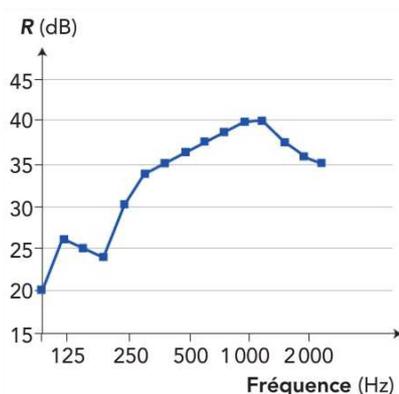
Cet indice, R , exprimé en décibel (dB), se calcule par la relation :

$$R = L_2 - L_1 - 10 \cdot \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

L_1 est le niveau d'intensité sonore (en dB) mesuré au niveau de la paroi dans la pièce (1) où se trouve l'émetteur sonore.

L_2 est le niveau d'intensité sonore (en dB) mesuré au niveau de la paroi dans la pièce (2)

A est la surface d'absorption équivalente de la pièce (1) (en m^2).



Indice d'affaiblissement acoustique d'une fenêtre en fonction de la fréquence.

