

Propagation sonore en espace clos

3.5.4. Choix des matériaux absorbants

Du choix des matériaux mis en œuvre sur les diverses parois dépend la qualité du traitement de la salle.

Si l'on prend différents types de matériaux dont les absorptions se complètent, le traitement sera plus facile à trouver et l'absorption sera plus régulière à toutes les fréquences audibles.

On classe les matériaux en trois catégories :

- matériaux fibreux
- panneaux fléchissants
- résonateur

Pour les locaux de logements courants normalement meublés le temps de réverbération est de l'ordre de 0.50 à toutes fréquences.

Ce qui se traduit par une constante du temps de réverbération au delà de 500 Hz et par un accroissement dans les graves.

Les matériaux fibreux ou poreux

Ce sont des matériaux constitués de pores ouverts : laines de verre, feutres, moquettes, mousses. Une partie des ondes acoustiques incidentes est absorbée par ces pores. Ils absorbent préférentiellement aux fréquences élevées (200 à 4000Hz).

Les panneaux fléchissants

Ce sont des plaques de faible épaisseur montées en membrane sur des liteaux fixés sur un support rigide (et massif), un mur porteur par exemple.

Ces membranes ont des fréquences f_0 de

$$\text{résonance souvent faibles } f_0 = \frac{600}{\sqrt{md}}$$

m = masse surfacique de la membrane (Kg/m^2)

d = épaisseur de la lame d'air en cm.

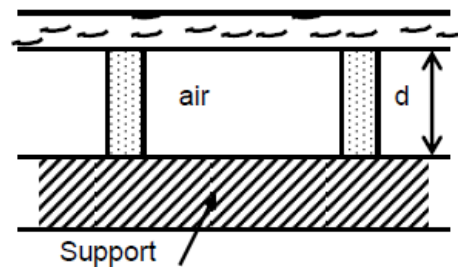


Figure 3.9

Lorsqu'une onde heurte la membrane à une fréquence voisine de la résonance il se produit une absorption par l'intermédiaire de la lame d'air jouant le rôle de ressort.

Ces produits présentent une absorption sélective autour de f_0 . Ils sont utilisés pour les basses fréquences (125 à 500 Hz).

Les résonateurs.

Un résonateur est un dispositif composé d'un goulot de section S et de longueur l communicant à un volume d'air V .

La fréquence de résonance d'un tel système

$$\text{est } f_0 \approx 54 \sqrt{\frac{S}{Vl}}$$

Lorsqu'une onde met en vibration l'air contenu dans le goulot, il y a dissipation d'énergie par frottement dans le col du goulot, ce qui se traduit par une absorption d'autant plus importante que la fréquence de l'onde est voisines de la fréquence de résonance.

Ce dispositif absorbe préférentiellement les fréquences médiums (500 à 2000 Hz)

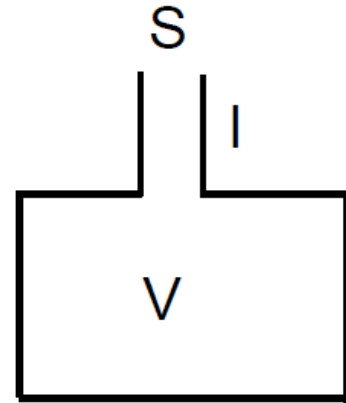


Figure 3.10

Un exemple courant de résonateur se compose d'un panneau perforé disposé à une certaine distance d'un mur (Figure 3.12)

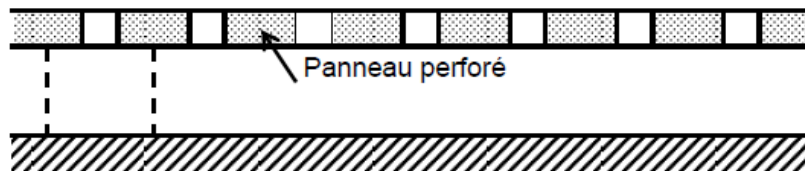


Figure 3.11 : Résonateurs en parallèle

Ce type de panneaux se comporte à la fois comme une série de résonateurs auxquels on associe à chaque perforation un certain volume d'air entre le mur et le panneau, comme des panneaux fléchissants, si la plaque perforée est souple.

De tels dispositifs donnent une courbe d'absorption comme celle reproduite à la figure 3.12.

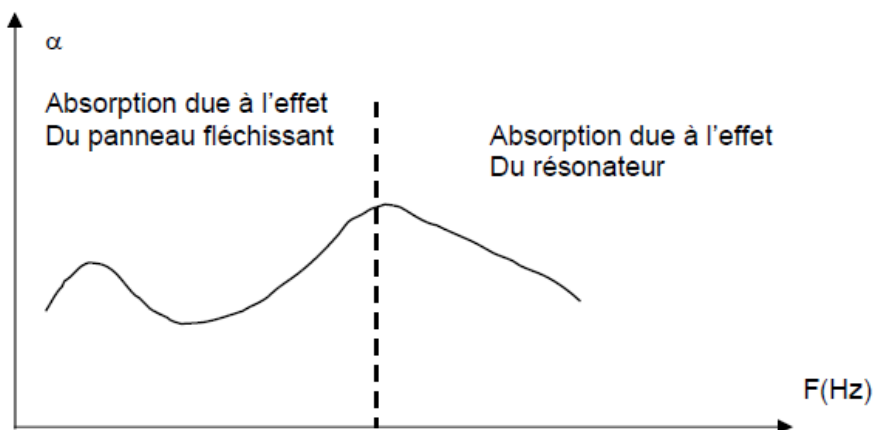


Figure 3.12 : Courbe type d'absorption d'un panneau perforé

MATERIAU	Fréquence (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Béton	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Plâtre	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03
Verre 3 (mm)	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Placage de bois a/ épaisseur 8(mm) avec vide d'air de 30 (mm) 5 (kg/m ²)	0,25	0,22	0,04	0,03	0,03	0,08
b/ épaisseur 16 (mm) avec vide d'air de 50 (mm) 10 (kg/m ²)	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
Polyuréthane (e = 30 mm, 30 kg/m ³)	0,03	0,15	0,48	0,65	0,82	0,81
Laine de verre collée épaisseur (40 mm, 70 kg/m ³)	0,29	0,52	0,69	0,89	0,96	0,97
Rideau épais et plissé en velours...	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
P.V.C	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05
Caoutchouc	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06
P.V.C sur sous-couche (5mm)	0,02	0,09	0,31	0,12	0,06	0,03
Parquet bois collé	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Parquet bois sur lambourde	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,06
Moquette bouclée (4mm)	0,01	0,03	0,05	0,11	0,32	0,66
Moquette sur thibaude (5,5 + 8(mm))	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74
Marbre	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
	Absorption totale S.α (m ²)					
Fauteuil avec revêtement velours	0,14	0,23	0,35	0,39	0,37	0,38
Avec revêtement plastique	0,09	0,13	0,15	0,15	0,11	0,07
Personne assise	0,15	0,23	0,56	0,78	0,88	0,89
Personne debout	0,15	0,23	0,61	0,97	1,14	1,14

Valeurs des Coefficients d'Absorption (Sabine) α_s Des matériaux couramment utilisés dans le bâtiment

Calcul des surfaces d'absorption des matériaux entrant dans le traitement

Il faut dans la phase finale déterminer les surfaces des matériaux absorbants pour que la salle ait les durées de réverbération fixées précédemment. On est amené alors à définir l'aire d'absorption équivalente A pour chaque fréquences des matériaux utilisés à chaque fréquence.

$$A = \frac{0,161.V}{T_{opt}} \quad \text{avec } T_{opt} = \text{temps de réverbération optimal.}$$

Les surfaces des différents matériaux utilisés étant déterminées, on procède à leur répartition sur les différentes surfaces à traiter.

Il faut répartir aussi uniformément que possible les matériaux. Eviter notamment de disposer un même matériau sur toute la surface d'une paroi.

Eviter que deux surfaces parallèles demeurent réfléchissantes, ce qui aurait pour effet de créer un « écho flottant ».

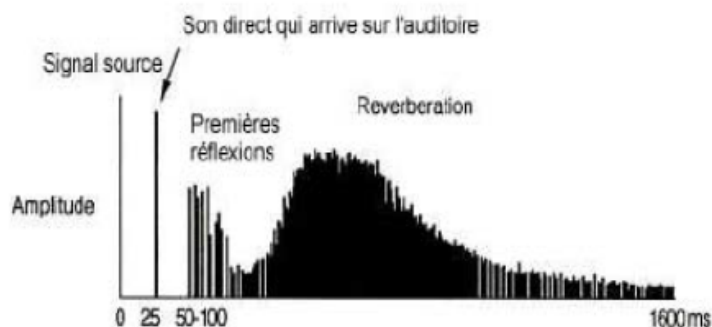
La présence de surfaces concaves sera à éviter : focalisation des ondes. Elles pourront être conservées à condition qu'elles soient absorbantes.

3.6. Critères d'acoustique architecturale

Outre le temps de réverbération, plusieurs critères permettent de caractériser la réponse acoustique d'une salle.

3.6.1. Temps de réverbération TR60

Le TR60, temps de réverbération à -60dB , est le critère d'acoustique des salles le plus répandu. Il se mesure classiquement par l'enregistrement de la réponse impulsionnelle de la salle étudiée : un son bref et puissant est produit dans la salle et un système de mesure logiciel permet de récupérer le signal en un point donné de la salle où l'on a placé un microphone. La réponse impulsionnelle d'une salle est classiquement de la forme ci-contre.



Le TR60 est ensuite calculé sur plusieurs bandes de fréquence (de la largeur d'une octave ou d'un tiers d'octave généralement) comme la durée pendant laquelle l'intensité acoustique dans la salle va décroître de 60dB par rapport à son niveau initial, c'est à dire pour qu'elle soit 10^{-6} fois plus faible que l'intensité initiale.

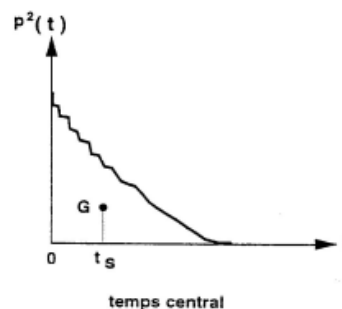
En pratique, il est en général estimé entre -5dB et -35dB : cela signifie que l'intervalle de temps correspondant à la décroissance entre ces deux bornes est mesuré puis ramené à une décroissance régulière exponentielle hypothétique entre 0 et -60dB . Cette extrapolation permet d'éviter les perturbations du signal souvent observées en début et en fin de réponse.

3.6.2. Early Decay Time EDT

Comme son nom l'indique (durée de décroissance précoce), l'EDT est un temps de réverbération calculé à partir du début de la réponse impulsionnelle enregistrée. La durée de la décroissance entre 0dB et -10dB est mesurée sur différentes bandes de fréquence puis rapportée à 60dB de décroissance régulière. Lorsqu'un flux sonore est émis continuellement dans la salle, l'oreille n'a souvent pas la possibilité d'apprécier 60dB de décroissance puisque le champ réverbéré est rapidement masqué par le son direct. L'EDT est alors utilisé pour mesurer l'impression de réverbération ressentie par un auditeur écoutant un flux sonore « continu ». Il permet d'apprécier l'influence de la salle sur la netteté des attaques et la dynamique des sources en prenant mieux en compte l'influence des premières réflexions. La valeur de l'EDT est à comparer à celle du TR60 : plus l'EDT sera faible devant le TR60, plus la pente initiale de la décroissance sera forte, révélant une concentration de l'énergie sonore dans le début de la réponse impulsionnelle favorable à une bonne intelligibilité. Notons également que l'EDT varie plus facilement que le TR60 en fonction de la position d'écoute dans la salle.

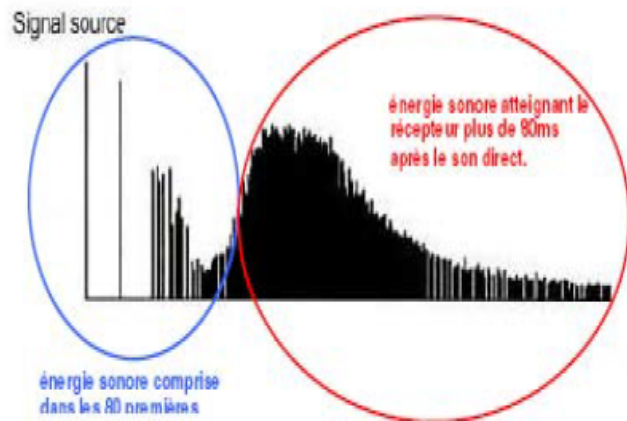
3.6.3. Temps central T_s

T_s est le centre de gravité temporel de la réponse impulsionnelle de la salle c'est à dire le temps pour lequel la moitié de l'énergie sonore totale est reçue. Il se calcule comme le barycentre continu des instants de réception du son pondéré par l'énergie sonore en ces instants. T_s donne un ordre d'idée de l'« étalement » de la réponse impulsionnelle c'est à dire du temps moyen que prend un son pour parvenir aux auditeurs.



3.6.4. Clarté C80

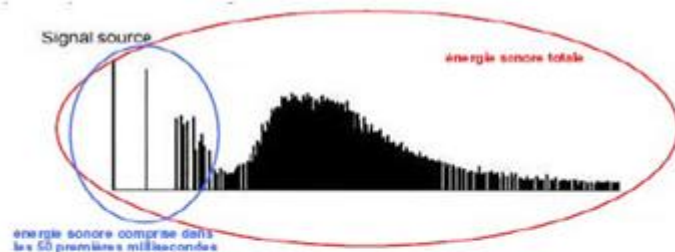
Les critères énergétiques comparent l'énergie reçue dans différents intervalles de temps de la réponse impulsionnelle d'une salle. Ils permettent ainsi d'apprécier la part d'énergie précoce dans la réverbération de cette salle qui est un critère important pour juger de la qualité de son acoustique et du type de représentation ou d'utilisation auquel elle est adaptée. La clarté C80 est, en décibels, le rapport de l'énergie comprise dans les 80 premières millisecondes de la réponse impulsionnelle sur le reste de l'énergie, atteignant le récepteur plus de 80ms après le son direct. La clarté peut être positive (respectivement négative) selon que l'énergie sonore précoce est plus (ou moins) importante que l'énergie tardive. Pour la musique, on préconise généralement une clarté comprise entre -3dB et +3dB c'est à dire une énergie sonore à peu près équitablement répartie entre les intervalles [0 ; 80ms] et [80ms ; ∞]. Généralement utilisé pour déterminer la qualité acoustique d'une salle pour l'écoute de musique, la clarté mesure ainsi la façon dont un son donné se détache des autres au sein d'une phrase musicale.



$$C_{80} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_0^{80}}{E_{80}^{\infty}} \right)$$

3.6.5. Définition D50

Les critères énergétiques comparent l'énergie comprise dans différents intervalles de temps de la réponse impulsionnelle d'une salle. Ils permettent ainsi d'apprécier la part d'énergie précoce dans la réverbération de cette salle qui est un critère important pour juger de la qualité de son acoustique et du type de représentation ou d'utilisation auquel elle est adaptée. La définition D50 est le rapport de l'énergie comprise dans les 50 premières millisecondes de la réponse impulsionnelle sur l'énergie totale. Analogue à la clarté et correspondant aux mêmes impressions subjectives, la définition est cependant davantage utilisée pour déterminer la qualité acoustique d'une salle pour la parole.



$$D_{50} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_0^{50}}{E_0^{\infty}} \right)$$

On distingue généralement les intervalles suivants pour juger de la qualité de la définition sonore dans une salle en fonction de la valeur mesurée ou calculée du critère D50.

D50	0 à 30%	30 à 45%	45 à 60%	60 à 75%	75 à 100%
Définition	Mauvaise	Pauvre	Moyenne	Bonne	Excellente