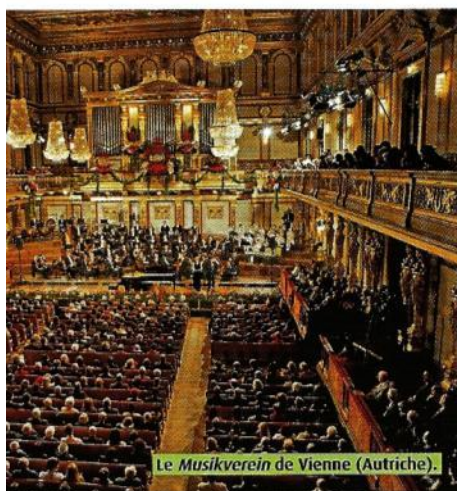


Acoustique des salles : la réverbération

I Introduction

Document 1 et document 2 : chercher une bonne acoustique et profil d'un auditorium

« "Pour avoir une bonne acoustique, écrivait Charles Garnier après avoir achevé l'Opéra, une salle doit être large ou étroite, haute ou basse, en bois ou en pierre, ronde ou carrée, et ainsi de suite. [...]"



Le Musikverein de Vienne (Autriche).

"Dès qu'il y a une symétrie, explique Manuel MELON, qui enseigne l'acoustique au Cnam, 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. "Ce genre de salle parallélépipédique peut très bien marcher, répond Eckhard KAHLE, grand acousticien qui prépare l'auditorium de Bordeaux. Mais une salle symétrique, nue, avec des murs en béton brut, non. La boîte à chaussures est une forme de départ idéale, même pour une grande

salle : tout y est prévisible, calculable, c'est du billard. Seulement, il faut y ajouter des balcons qui cassent les murs parallèles, et d'autres éléments de ce genre, des panneaux légèrement inclinés..."

À Vienne, ce sont des moulures, des cariatides, des stucs qui assurent la diffusion du son. [...].

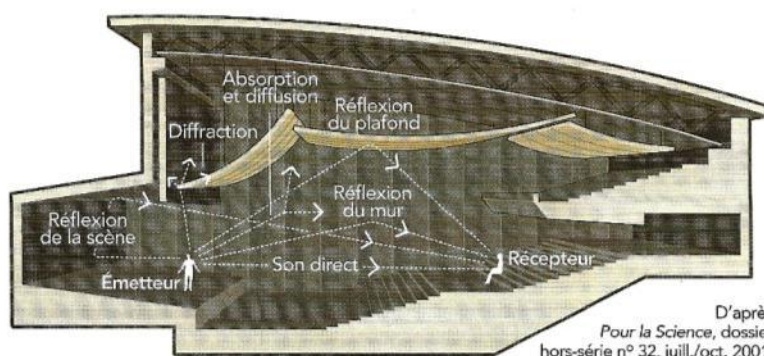
La question est que le son parvienne à l'auditeur directement, mais aussi après s'être réfléchi plus ou moins au fond de la scène, au plafond, sur les murs latéraux, et même au fond de la salle. La superposition de ces sources, dans le cerveau, apporte l'"effet de salle", la conscience du lieu. Mais il n'est pas question d'entendre deux fois le même son, comme à Pleyel; 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. C'est la première partie du casse-

tête : le nombre de paramètres. Deuxième partie : il faut savoir ce qu'on va faire d'une salle. [...] La quadrature du cercle, c'est l'opéra. Commins explique : "C'est le cas le plus complexe. Il faut tenir compte de la musique de l'orchestre, et de la voix. Et des chanteurs, qui doivent aussi avoir une perception claire de l'orchestre! Il faut donc que le son soit prolongé, pour l'orchestre, mais qu'il soit aussi très clair, pour que les chanteurs soient compréhensibles. Donc on renforce le son aussi tôt que possible pour que la clarté soit préservée."

Souvent l'on adopte des compromis (bon marché) ou des salles modulables (plus chères) où l'on peut couvrir et découvrir la fosse d'orchestre, hausser son plancher, modifier la nature des murs en faisant tourner des panneaux articulés (comme à l'Ircam), et même ajouter discrètement des haut-parleurs au fond, sans parler des abat-sons, des rideaux. [...]

Extrait de J. DRILLON, « L'acoustique : science ou pifomètre? Les murs du son. », Le Nouvel Observateur, n° 2165, mai 2006.

Document 2 Profil d'un auditorium



D'après
Pour la Science, dossier
hors-série n° 32, juill./oct. 2001.

Document 3 : réverbération

Dans une salle, un auditeur perçoit le son direct mais aussi celui des ondes sonores ayant subi une multitude de réflexions sur les parois des obstacles qu'elle rencontre. Ce son est qualifié de son réverbéré. La durée de réverbération notée TR correspond à la durée au bout de laquelle le niveau d'intensité sonore du son reçu a diminué de 60 dB par rapport à son niveau maximal depuis le début de réception, sans prendre en compte la durée d'émission du son.

Document 4 : mathématiques des phénomènes acoustiques et oscilloscope

Variation de niveau d'intensité sonore à partir des amplitudes des sons

La variation de niveau d'intensité sonore d'un son d'amplitude A par rapport à un son de référence d'amplitude A_0 peut s'exprimer par la relation :

$$\Delta L = 20 \log \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

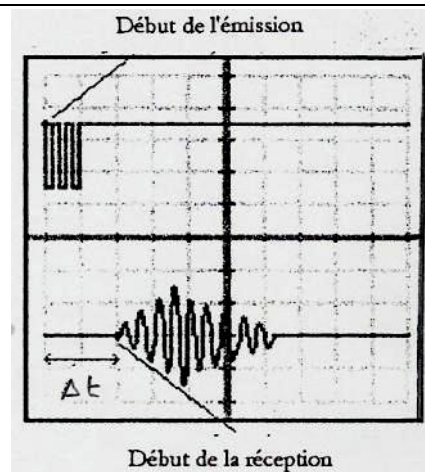
(Le facteur 20 au lieu de 10 comme dans le cours vient du fait qu'on utilise ici l'amplitude et non l'intensité du son).

Enregistrement d'un son

Sur un oscilloscope relié à un récepteur sonore, on enregistre et on visualise une tension dont l'amplitude traduit directement (proportionnalité) l'amplitude du signal sonore à l'endroit où se trouve le récepteur.

Document 5 : un exemple de mise en évidence du phénomène de réverbération avec des ultrasons

On a placé un émetteur ultrasonore à proximité d'un récepteur ultrasonore et on visualise à l'écran d'un oscilloscope la tension aux bornes de l'émetteur et aux bornes du récepteur. La base de temps vaut $200 \mu\text{s}/\text{carreau}$. Pour les ultrasons, dans ce TP, le TR sera défini quand le son reçu a définitivement baissé de 14 dB, en ne prenant pas en compte, évidemment, la durée de réception due uniquement à la durée d'émission.



Questions préliminaires à la séance

- A quel(s) phénomène(s) est due la réverbération ?
- Quels paramètres influent sur la durée de réverbération ?
- Sur l'oscillogramme du document 5, à quoi correspond la durée Δt indiquée sur le schéma ci-contre ? Déterminer la durée de réverbération sur l'exemple de ce document avec le critère du document 5.

II Réverbération due à différents matériaux

1) Classement de différents matériaux

Matériel : oscilloscope, émetteur ultrasonore, récepteur ultrasonore, réglet métallique, fils, différentes boîtes ainsi qu'un fond dans le même matériau dans lesquelles on peut introduire l'émetteur et le récepteur, tapissées de carton, bois, papier d'aluminium, polystyrène, mousse alvéolée, plexiglas, coton.

On souhaite classer ces 7 matériaux du moins réverbérant au plus réverbérant. Etablir un protocole complet et précis puis le mettre en place après validation. On utilisera le critère adapté au TP, comme écrit dans le document 5

Points imposés :

- la distance entre les faces se faisant vis-à-vis de l'émetteur et du récepteur sera égale à environ 25 cm.
- Les boîtes sont TRES fragiles, il faut en prendre le plus grand soin lors des manipulation et lors des passages d'un groupe à l'autre.

2) Des salles polyvalentes

Document 6 : formule de Sabine

La durée de réverbération est directement liée au volume acoustique V et à la surface d'absorption équivalente A de la salle.

On définit la surface d'absorption équivalente A par la surface de la paroi d'un matériau parfaitement absorbant (100 % d'absorption) ayant la même absorption acoustique que le local considéré :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i,$$

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

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

$$TR = 0,16 \times \frac{V}{A}$$

TR s'exprime en seconde (s); la surface A est exprimée en m^2 et le volume V en m^3 .

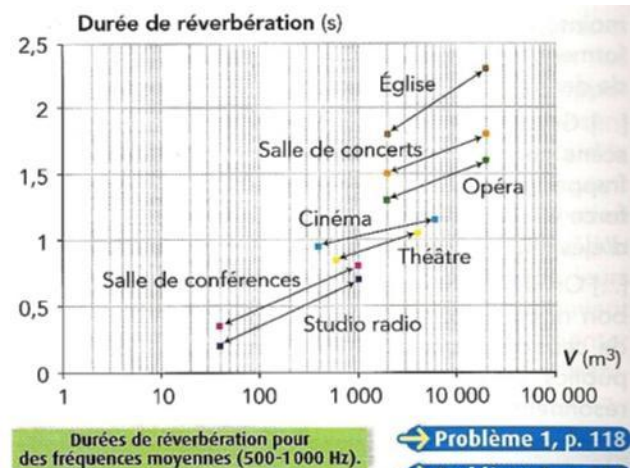
Cette formule est valable si l'énergie réverbérée est uniformément répartie dans la salle.

Document 7 : réverbération souhaitée ?

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.

D'après le site www.sonorisation-spectacle.org



D'après F. KUZNIK, G. KRAUSS et R. YEZOU,
« Acoustique du bâtiment », INSA Lyon, 2009.

Document 8 : un exemple concret

On s'intéresse à une salle de réfectoire de longueur $L = 12$ m, de largeur $l = 6,0$ m et de hauteur $h = 2,75$ m. Cette salle possède deux portes en bois de hauteur $h' = 2,25$ m et de largeur $l' = 2,0$ m pour chacune, ainsi que deux baies vitrées de surfaces respectives $S_1 = 16$ m² et $S_2 = 10$ m². On a disposé dans cette salle une centaine de chaise en bois.

Le sol est carrelé, les murs sont en briques peintes et le plafond en plâtre.

Données

Les coefficients d'absorption acoustique moyens, α_M , des différents matériaux ont été obtenus à une fréquence de 500 Hz correspondant au centre du spectre du bruit ambiant.

Matériau	Plâtre	Carrelage	Brique peinte	Bois	Verre	Bois des chaises
α_M	0,03	0,02	0,02	0,15	0,18	0,008

Problème scientifique

On désire transformer la salle du document 8 en salle de concert en gardant les ouvertures disponibles pour la sécurité. Pour cela, on dispose de panneaux verticaux en bois avec des trous acoustiques, de largeur 1,0 m et de hauteur 2,0 m et de coefficient d'absorption acoustique $\alpha_{\text{panneau}} = 0,50$.

Faut-il augmenter ou diminuer la réverbération de la salle ? Comment procéder ?