

**TS - PHYSIQUE-CHIMIE - SPÉCIALITÉ  
SON ET MUSIQUE - SÉANCE N°6**

*Domaine d'étude : son et architecture*

**Mots-clefs : auditorium, réverbération, isolation phonique**

**CRITÈRES DE QUALITÉ ACOUSTIQUE D'UNE SALLE**

**CONTEXTE DU SUJET**

*La forme d'une salle de concert peut varier considérablement d'une ville à l'autre. 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, piliers, mobilier, ...) 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. Quelles sont les caractéristiques acoustiques liées à l'architecture des différentes salles de concert ?*

**DOCUMENTS MIS À DISPOSITION**

**DOCUMENT I : LES MURS DU SON**

« Pour avoir une bonne acoustique, une salle doit être large ou étroite, haute ou basse, en bois ou en pierre, ronde ou carrée, et ainsi de suite... » écrivait Charles GARNIER après l'achèvement de l'Opéra de Paris. « 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 rectangles, hexagonales, ovoïdes, ne sont pas favorables » explique Manuel MELON qui enseigne l'acoustique au CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers).

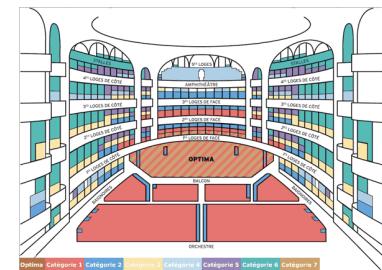
Pourtant, les meilleures salles européennes, le Concertgebouw d'Amsterdam ou le Musikverein de Vienne, sont de vraies boîtes à chaussures. « Ce genre de salle parallélépipédique peut très bien marcher. Mais une salle symétrique, nue, avec des murs en béton brut, non. La boîte à chaussures est une forme 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... » répond Eckhard KAHLE, grand acousticien qui a préparé l'auditorium de Bordeaux. À Vienne, ce sont des moulures, des cariatides, des stucs qui assurent la diffusion du son.

La question est que le son parvient 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 et 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 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 ».

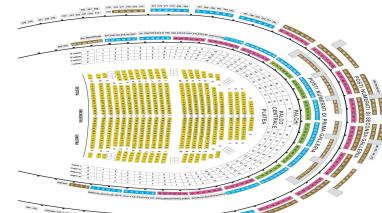
On adopte souvent des compromis (bon marché) ou des salles modulables (plus chères) où l'on peut couvrir et découvrir la fosse d'orchestre, hausser son plancher, modifier la nature des murs en faisant tourner des panneaux articulés et même ajouter discrètement des haut-parleurs au fond, sans parler des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

DOCUMENT II : QUELQUES SALLES CONNUES...

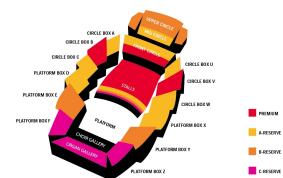
*Opéra Garnier – Paris*



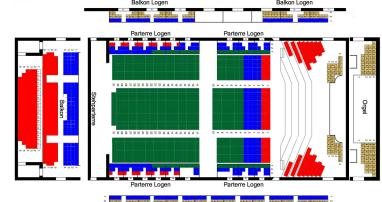
*La Scala – Milan*



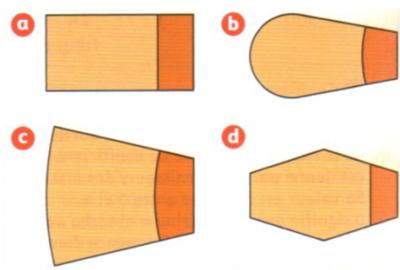
*Opera House – Sydney*



*Musikverein – Vienne*



### DOCUMENT III : DIFFÉRENTES FORMES DE SALLES



L'architecture des théâtres anciens, comme le théâtre d'Épidaure construit il y a 2500 ans en Grèce, repose sur la focalisation acoustique. La pierre est utilisée comme matériaux réfléchissant et les voûtes, l'ellipse et, plus généralement, l'arc de cercle servent de guides d'onde.

Aujourd'hui, les salles de concert ou les auditoriums les plus répandus ont une architecture rectangulaire, en éventail, en fer à cheval ou évasée.

Dans une salle rectangulaire (figure ④), les multiples réflexions sonores provoquées par les murs latéraux provoquent des sensations agréables de réverbération, tout en évitant l'écho.

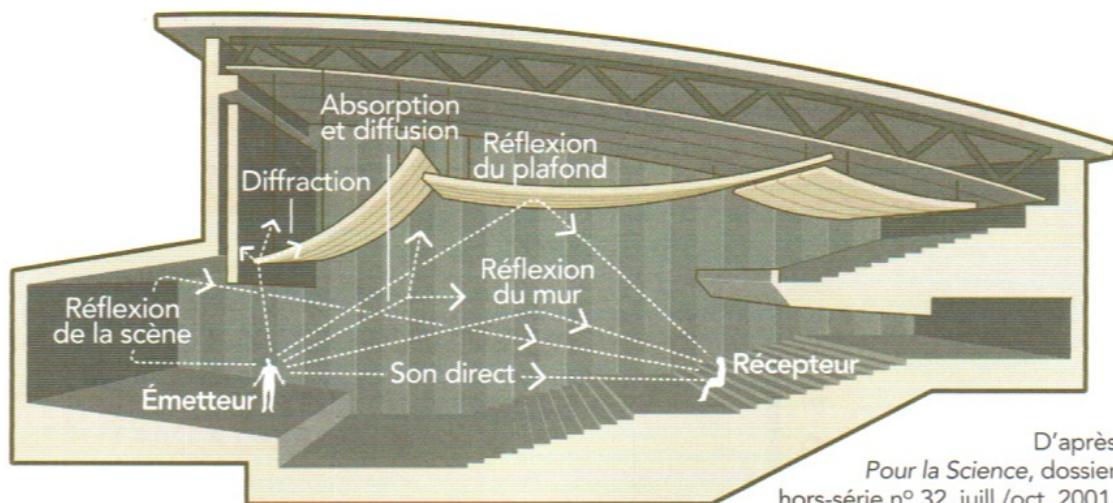
Une salle en éventail (figure ⑤), quant à elle, réduit « l'image stéréophonique » et rend le son plus « frontal ». La réverbération semble alors plus riche sur le plan du timbre. Elle permet de rapprocher le public de la scène mais il faut se méfier des réflexions sonores du mur du fond de la salle.

Les salles en fer à cheval (figure ⑥) sont intéressantes mais la focalisation des ondes acoustiques à certaines places peut poser problème, ce qui nécessite de placer des absorbants et des réflecteurs pour éviter ce problème.

Dans une salle évasée (figure ⑦), le sentiment de spatialisation est plus fort qu'avec une forme en éventail et le niveau d'intensité sonore est renforcé pour les sièges du fond de la salle. Il faut cependant faire attention à la géométrie exacte des murs.

Il existe enfin des salles aux formes plus irrégulières, comme la grande salle de l'Opéra House, inauguré à Sydney en 1973, qui permettent d'offrir une diffusion plus naturelle du son en raison de l'irrégularité des surfaces intérieures de la salle.

### DOCUMENT IV : PROFIL D'UN AUDITORIUM



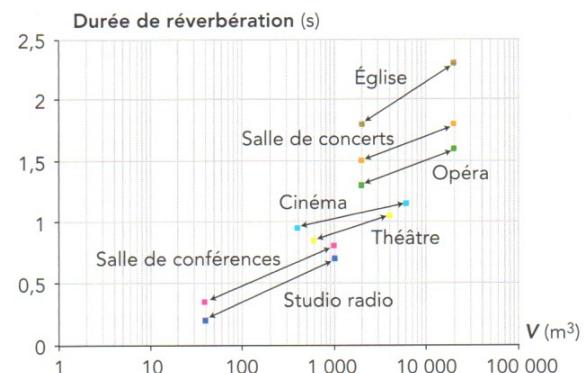
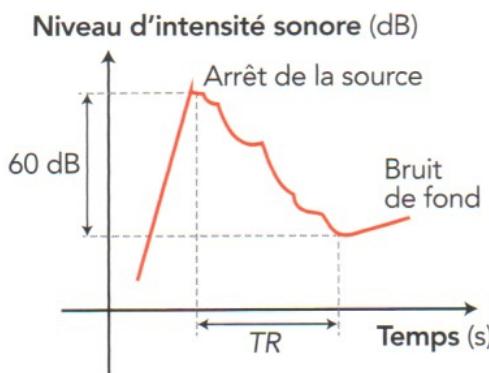
## DOCUMENT V : DURÉE DE RÉVERBÉRATION

Dans une salle de spectacle, un auditeur perçoit le son direct, mais aussi celui des ondes sonores ayant subi une multitude de réflexions sur les parois des obstacles qu'elles rencontrent. Ce son est qualifié de son réverbéré.

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  $60 \text{ dB}$  après l'émission de l'onde sonore par la source. 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 :  $A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$  où  $\alpha_i$  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 :  $TR = 0,16 \times \frac{V}{A}$  où  $TR$  s'exprime en seconde (s), la surface  $A$  en mètres carrés ( $\text{m}^2$ ) et le volume  $V$  en mètres cubes ( $\text{m}^3$ ). Cette formule est valable si l'énergie réverbérée est uniformément répartie dans la salle.



## DOCUMENT VI : 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 secondes. Au-delà, les syllabes se chevauchent et l'intelligibilité diminue.

En outre, si le décalage temporel entre les ondes sonores directes et réfléchies est trop important, la réverbération se transforme en écho gênant pour une personne assistant à un concert qui entend alors deux sons distincts l'un après l'autre. C'est le cas dès que le son réfléchi est décalé de 35 ms ou plus par rapport au son direct.

## ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

1. Extraire et exploiter des informations issues de documents scientifiques (on pourra s'aider d'un ordinateur relié à internet)
  - 1.1. Faire le bilan des phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation d'un son dans une salle et définir chacun de ces phénomènes.
  - 1.2. Quels sont les phénomènes responsables de la décroissance de l'intensité sonore et quelle en est la conséquence pour la perception d'un son par un auditeur ?
  - 1.3. Définir les termes suivants : moulures, cariatides, stucs, ovoïde, quadrature du cercle, abat-sons.
  - 1.4. En argumentant, commenter la phrase « La boîte à chaussures est une forme de départ idéale ».
  - 1.5. Expliquer les différences entre les phénomènes de réverbération et d'écho dans une salle de concert.
  - 1.6. Déterminer la différence de distance maximale parcourue par l'onde réfléchie par rapport au son direct pour qu'il n'y ait pas d'écho et expliquer en quoi cela influe sur l'architecture d'une salle de concert.
  - 1.7. Comment peut-on expliquer que le phénomène de réverbération nuise à l'intelligibilité de la parole ?
  - 1.8. *D'après le document III, dans une salle en éventail, il faut se méfier des réflexions sonores du mur du fond de la salle.* Que convient-il alors de faire d'un point de vue architectural sur le mur du fond d'une telle salle de concert ?
  - 1.9. Indiquer de quelles grandeurs physiques dépend la durée de réverbération et comment, d'un point de vue architectural, il est possible de la maintenir à une valeur acceptable lorsque le volume de la salle augmente.

## 2. Rédiger une synthèse argumentée

À l'aide de vos connaissances et des documents précédents, rédiger, en une dizaine de lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

### **Comment concevoir un auditorium ?**

Pour cela, définir dans un premier temps un auditorium puis indiquer les paramètres à prendre en compte pour obtenir une bonne acoustique et expliquer enfin la nécessité de disposer de salles de conceptions différentes selon l'utilisation que l'on projette d'en faire.