

## 1- Les auditoriums

Dans le livre ; livre « l'acoustique des bâtiments » de Loïc Hamayon ed Le Moniteur on peut trouver les documents suivants :

### Document 1

Les bonnes salles, d'un point de vue acoustique, ont des formes variées. Il n'est donc ni possible ni souhaitable de préconiser certaines d'entre elles. En revanche, il faut absolument éviter:

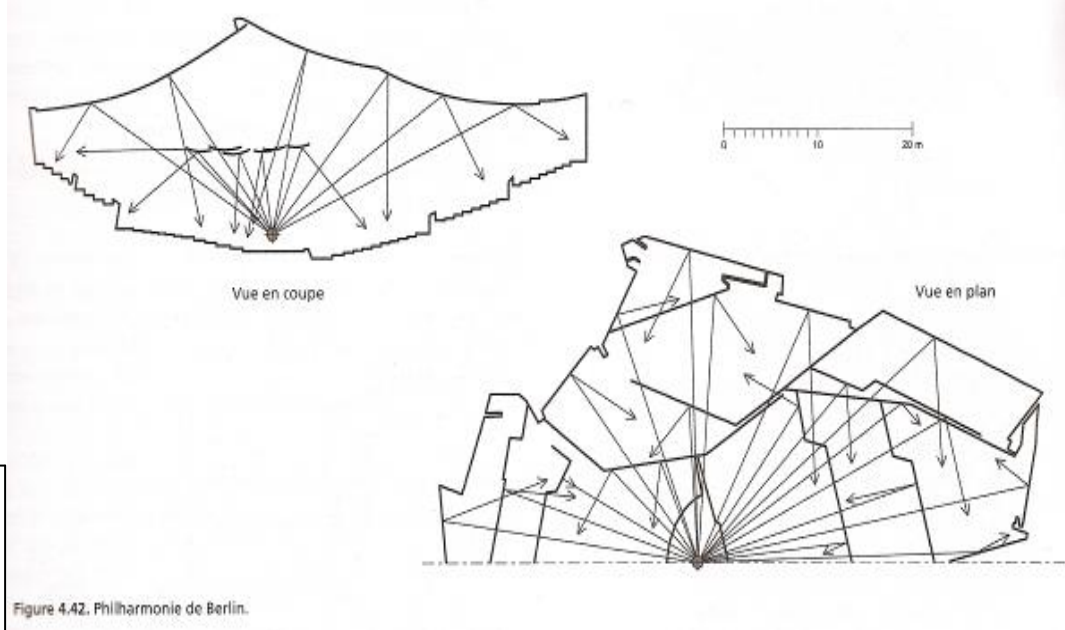
- les formes concaves, que ce soit en fond de sa plafond, car il y a des risques de focalisation. Si une forme concave est imposée, par exemple en fond de salle, il doit être traité avec des matériaux absorbants et diffusants
- les grandes surfaces réfléchissantes parallèles les parois parallèles devant être absorbantes ou diffusantes. Si des parois doivent être réfléchissantes, il faut faire qu'elles ne soient pas parallèles;
- les grandes surfaces plates réfléchissantes trop éloignées Les fonds de salle, par exemple, doivent être absorbants et diffusants, ou bien encore inclinés
- les zones d'ombre acoustique sous les balcons, en veillant à ce que la longueur du balcon soit inférieure ou au plus égale à une fois et demi la distance séparant le sol de la sous face du balcon.

Par ailleurs, il importe de:

- faire en sorte que les sons directs ne soient pas absorbés par le public. Aucun auditeur ne doit masquer la tête de l'auditeur placé derrière lui, le même principe permettant d'assurer la bonne visibilité
- mettre en place des réflecteurs proches de l'orchestre
- permettre une meilleure utilisation possible des parois en tant que réflecteur
- rechercher la diffusion par un relief des parois très accentuées

### Document 2

Trajet des ondes sonores dans une très bonne salle :



### Document 3

Tableau 4.5. Exemples de volumes de salles d'opéra et de concert rapportés au nombre d'auditeurs.

Salle	Nombre de places	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume par auditeur (m <sup>3</sup> )	T <sub>r</sub> à 1 000 Hz (s)
Philharmonie (Berlin)	2230	25 000	11,2	2,1
Opéra de la Bastille (Paris)	2700	21000	7,8	1,55
Symphonie Hall (Boston)	2631	18 740	7,1	1,8
Musikvereinsaal(Vienne)	1680	15 000	8,9	2,05
Royal Festival Hall	3030	22 000	7,3	1,5
Concertgebouw(Amsterdam)	2206	15 500	8,5	2
Neues Festspielhaus(Salzburg)	2158	15 500	7,2	1,5

## Document 4

Exemples de volumes de salles de théâtre rapportés au nombre d'auditeurs (source: Gerhard Grabner, Theaterbau Ausgabe und Planung, Cal/wey, München, 1968).

Salle	Nombre de places	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume par spectateur (m <sup>3</sup> )	T, à 1 000 Hz (s)
Schauspielhaus(Wuppertal)	750	3990	5,3	1
Kammerspiele(Bochum)	401	2010	5	1
Schauspielhaus(Bochum)	922	5075	5,5	1,2
Stadttheater(Krefeld)	832	4400	5,3	1,3

## Document 5

Dimensionnement des balcons de manière à éviter les zones d'ombre acoustique

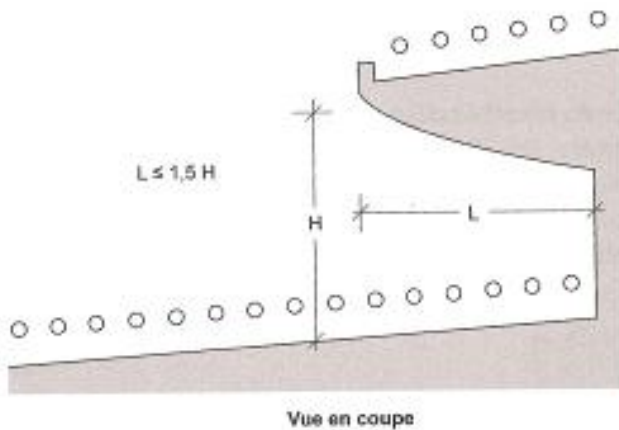
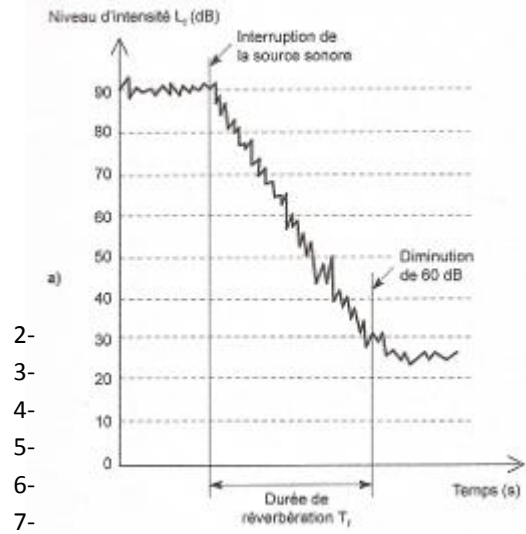


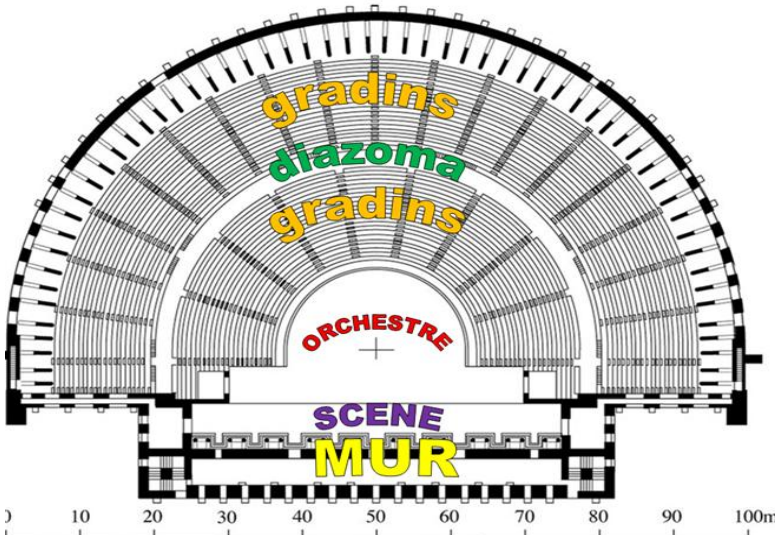
Figure 4.46. Dimensionnement des balcons de manière à éviter les zones d'ombre acoustique.

## Document 6 Définition du temps de réverbération.



## 2-Les théâtres antiques

Doc1 : le théâtre antique d'ASPENDOS



The Roman Theatre at Aspendus (modern Belkiz, Turkey).  
Cavea width: 95.48 m, orchestra width: 23.87 m; capacity: 15,000; ca. 161-169 AD.  
Plan (T.H. after Lanckoronski)

Le théâtre grec antique d'Ἄσπενδος (50 km d'Antalya, en Turquie actuelle) est le mieux conservé de toute l'Asie Mineure. Construit par l'empire romain au II<sup>ème</sup> siècle après J.C., sa célébrité est due à son excellent état de conservation, mais aussi à son acoustique remarquable qui, comme l'ensemble des théâtres antiques, révèle la réussite de son architecte. Les spectateurs assis au dernier rang de ce théâtre, doté d'une capacité d'accueil de 15000 personnes, peuvent en effet entendre très distinctement les paroles d'un acteur situé sur la scène à une distance de plusieurs dizaines de mètres !

## Document 2 : maquette d'étude du théâtre d'ASPENDOS.

On réalise une maquette du théâtre et l'on utilise un émetteur ultrasonore au lieu de sons audibles pour cette simulation.

- les sons audibles par l'oreille ont une fréquence  $f$  comprise entre 20 Hz et 20 kHz,
- lorsque la fréquence  $f$  est supérieure à 20 kHz, on parle d'ultrasons,
- ordre de grandeur de la célérité des sons émis par la voix et des ultrasons dans l'air dans les conditions habituelles :  $v = 340$  m/s.

Afin d'étudier l'impact d'un plafond recouvrant totalement la salle de concert sur l'acoustique de cette salle, on utilise une maquette rectangulaire dont le couvercle est amovible. Une des parois latérales est traversée par un tube, relié comme précédemment à un émetteur ultrasonore. La longueur d'onde du son émis est là encore réduite dans le rapport indiqué par l'échelle de la maquette. Sur la paroi opposée est disposé un microphone. L'expérience consiste à envoyer pendant un temps très court (1 ms), un top d'émission (au niveau de l'extrémité du tube). Un microphone est situé à une distance  $D$  du tube. Un oscilloscope permet de recevoir d'abord l'émission arrivant directement, puis tous les échos successifs. Le TOP est reçu avec un retard  $\tau$  par rapport au TOP émis.

On réalise 3 expériences :

Expérience ❶ avec le couvercle

Expérience ❷ avec un couvercle recouvert de moquette

Expérience ❸ sans couvercle

### Influence du mur

La propagation des ondes et leur comportement quand elles rencontrent une surface réfléchissante peuvent être assez bien matérialisés au moyen d'une cuve à ondes.

Un vibreur muni d'une pointe, frappe verticalement, avec une fréquence connue, la surface de l'eau contenue dans une cuve à ondes.

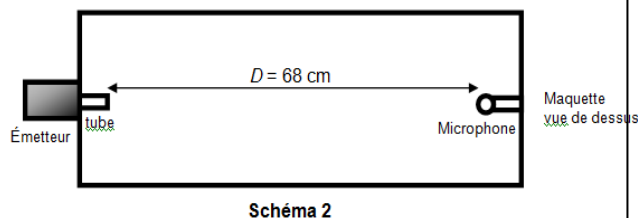
**Expérience 1 :** On réalise l'expérience en plaçant un mur plan. On constate la présence d'échos. Tout se passe comme s'il y avait une deuxième source.

**Expérience 2 :** On utilise cette fois-ci un mur alvéolé.

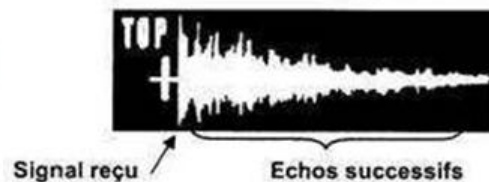
On obtient les images ci-après (vues de dessus) :

- 1- Dans le cas de l'expérience 1, l'onde émise au point A rencontre le mur plan ce qui génère une onde réfléchie qui semble provenir de B, symétrique de A par rapport au plan formé par le mur.

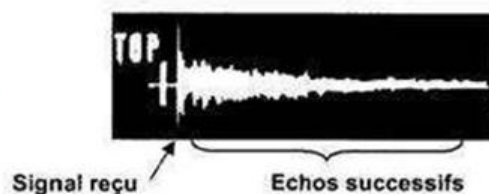
Celle-ci se superpose alors à l'onde incidente issue de A.



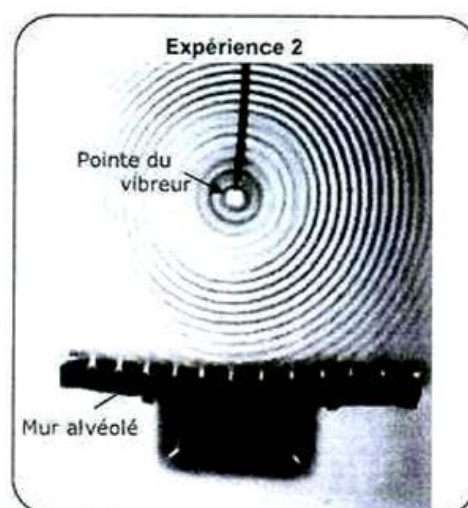
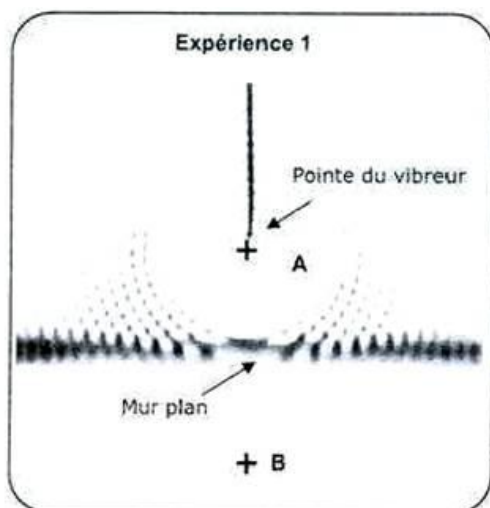
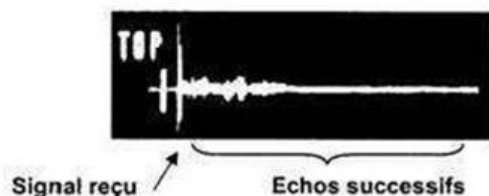
Expérience ❶



Expérience ❷



Expérience ❸

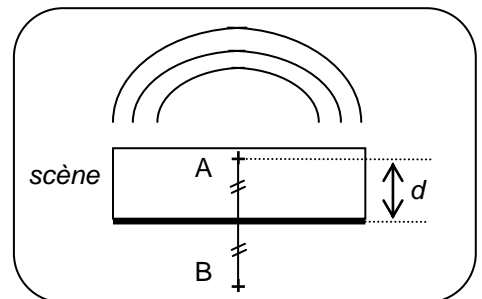


## A les auditoriums

1. Pourquoi faut-il éviter les plafonds concaves ? Justifier en dessinant un schéma représentant le profil vertical d'une salle de spectacle.
2. Pourquoi les grandes surfaces planes en fond de salle, éloignées de l'orchestre, doivent-elles être absorbantes ?
3. En complétant le document 5, montrer que le balcon n'occasionne pas de zone d'ombre acoustique.
4. Quel est le rôle des déflecteurs situés au-dessus de l'orchestre du Philharmonie de Berlin ?
5. Comparer les temps de réverbération des grands auditoriums du document 3. Peut-on dégager une relation entre le volume de la salle et le temps de réverbération ?
6. Quelle caractéristique d'écoute donne un temps de réverbération plus élevé ? Moins élevé ?
7. Comparer les temps de réverbération des auditoriums (document 3) dédiés à l'écoute musicale et les temps de réverbération des théâtres (document 4). Argumenter une explication des valeurs de ces durées de réverbération.

## B- les théâtres antiques

- 1- Justifier l'intérêt d'utiliser des ondes ultrasonore dans le cadre d'une simulation avec une maquette plutôt que des sons audibles..
- 2- Comparer les résultats des trois expériences sur l'influence d'un plafond en termes d'amortissement de l'écho.
- 3- Parmi les trois expériences (influence d'un plafond), quelle est la situation la plus intéressante d'un point de vue acoustique ? Justifier la réponse. (Les théâtres antiques étaient à l'air libre ou en cas de fort soleil on tendait une immense toile au-dessus).
- 4- Justifier alors que le plafond des salles de concert modernes est toujours recouvert de dalles alvéolées constituées d'un matériau très absorbant.
- 5- Justifier la forme du pupitum (mur droit devant la scène) ainsi que la présence de niches et de colonnes dans les murs des théâtres antiques.
- 6- Les ondes réfléchies par le mur ne pouvant être totalement évitées, l'essentiel est que tous ces échos n'arrivent pas avec un trop grand retard. En effet, ce sont les consonnes qui forment l'armature de la parole. Leur durée d'émission est très courte ce l'ordre de 1/25 seconde. Pour qu'elles ne se juxtaposent pas, il faut que leur écho arrive avant la fin de leur émission.



- a. Si l'orateur est placé en A, à une distance  $d$  du mur formant le fond de la scène, exprimer la distance  $AB$  en fonction de  $d$ .
  - b. En déduire l'expression en fonction de  $d$  et de  $v$  du retard  $\Delta t$  entre l'onde sonore émise par l'orateur au point A et l'onde réfléchi par le mur, qui semble issue du point B.
  - c. déterminer la profondeur maximale  $d_{\max}$ , de la scène qui permet à la parole de rester nettement compréhensible.
- 7- Conclusion : Les architectes de l'époque avaient prévu une bonne audition en tout point du théâtre de la façon suivante
    - Orchestre réfléchissant et bien dégagé.
    - Hauteur faible de la scène et profondeur généralement inférieure à 6,50 m.
    - Inclinaison moyenne des gradins de  $30^\circ$  environ.

Justifier ces 3 choix