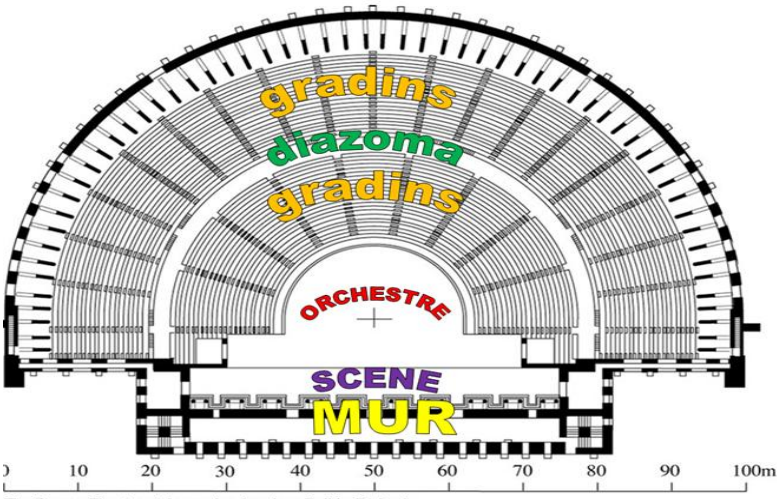
Spécialité PHYSIQUE TS

SONS ET ARCHITECTURE

1-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 IIème 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 emetteur ultrasonore au lieu de sons audible 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.

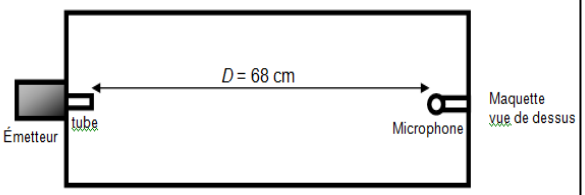


Schéma 2

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 τ par rapport au TOP émis.

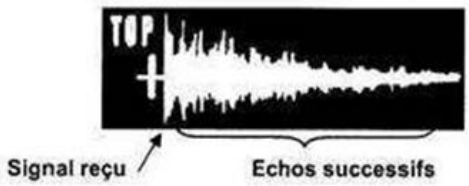
On réalisé 3 expériences :

Expérience ❶ avec le couvercle

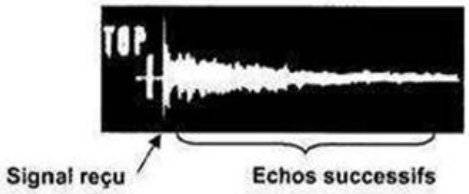
Expérience ❷ avec un couvercle recouvert de moquette

Expérience ❸ sans couvercle

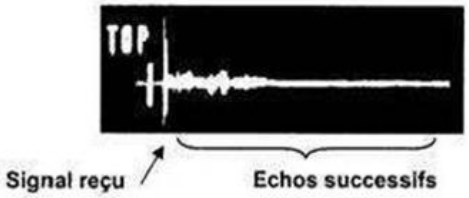
Expérience ❶



Expérience ❷



Expérience ❸



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.

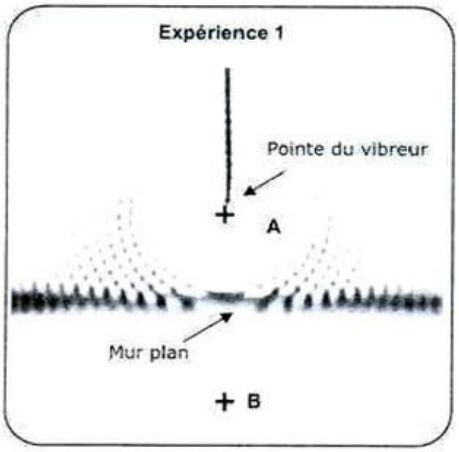
Expérience 1 : On réalise l'expérience en plaçant un mur plan. On constate la présence d'échos. Tout se passe comme s'il y avait une deuxième source.

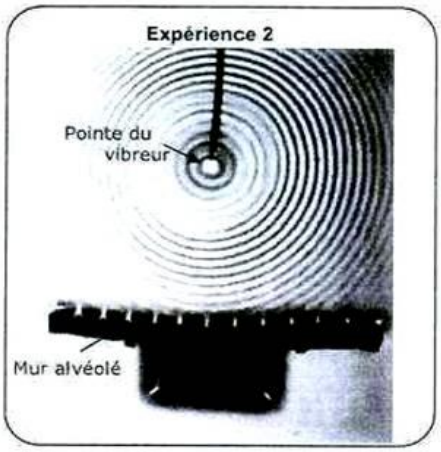
Expérience 2 : On utilise cette fois-ci un mur alvéolé.

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.





Questions

1- Justifier l'intérêt d'utiliser des ondes ultrasonore dans le cadre d'une simulation avec une maquette plutôt que des sons audibles..

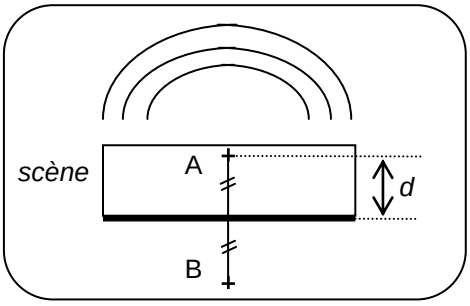
2- Comparer les résultats des trois expériences sur l'influence d'un plafond en termes d'amortissement de l'écho.

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 pulpitum (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 Δt entre l'onde sonore émise par l'orateur au point A et l'onde réfléchie 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° environ.

Justifier ces 3 choix

2- Salle de concert

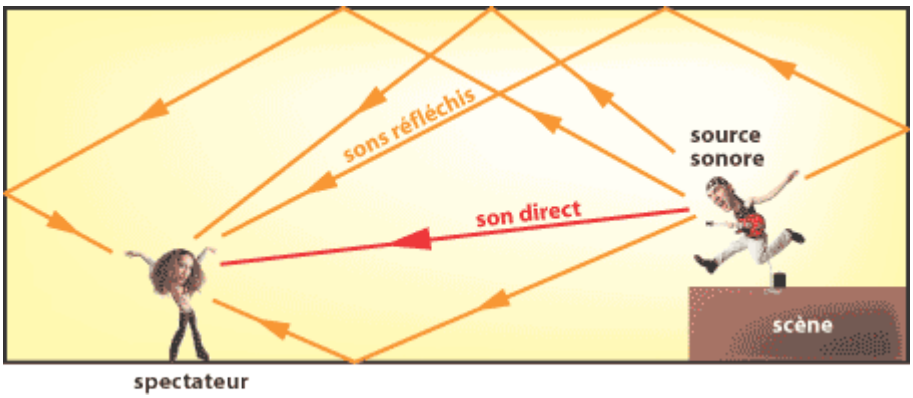
Trois jeunes musiciens amateurs (un guitariste, un pianiste et un flûtiste) projettent de donner un concert devant leurs amis dans le sous-sol d'une maison. Lors d'une répétition dans ce lieu, ils s'interrogent sur les améliorations à apporter pour éviter une réverbération trop importante.

Document 1 : Réverbération d'une salle.

La réverbération est le phénomène qui prolonge l'énergie sonore après un arrêt net de la source sonore. Une onde sonore émise dans une salle se propage dans toutes les directions à la vitesse de 340 m/s. Très rapidement elle rencontre le plafond, le sol ; et les murs. Selon la nature de ces parois, une fraction de l'énergie acoustique est absorbée et le reste est réfléchi.

En règle générale, l'absorption est plus faible pour les sons graves.

La réverbération n'est pas toujours souhaitée pour un orateur, sauf effets spéciaux.



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.

L'absence de réverbération provoque un rendu sec et dur sur la musique ; on recherche toujours une prolongation du son. Une bonne salle de musique présente une réverbération de 1,0 à 2,5 secondes. L'orgue nécessite une réverbération plus longue : c'est le cas des églises.

Document 2 : Durée de réverbération

La durée de réverbération T_R est le temps mis par un son pour décroître de 60 dB après la coupure de la source sonore.

Cette durée T_R se calcule à l'aide de la loi de Sabine : $T_R = \frac{0,16 \times V}{A}$

avec V : volume de la salle (en m^3)
A : l'aire de la surface absorbante équivalente de la salle (en m^2)
T_R :durée de réverbération (en s)

On définit la surface équivalente A par : $A = \sum_i (\alpha \times S_i)$ où α_i représente le coefficient d'absorption du matériau de surface S_i. Il dépend de la nature du matériau et de la fréquence du son.

Coefficients d'absorption acoustique moyens, α_M, de différents matériaux à une fréquence de 500 Hz.

Matériau	Plâtre	Carrelage	Béton	Bois	Verres	Dalles acoustiques
α_M (pas d'unité)	0,030	0,020	0,010	0,15	0,18	0,75

Questions

Le concert a lieu dans une salle au sous-sol d'une maison. La salle a une forme parallélépipédique, de longueur L = 10,0 m, de largeur l = 5,0 m et de hauteur h = 3,0 m.

Cette salle, vide et sans vitrage, possède une porte en bois de surface Sbois = 3,0 m².

Le sol, les murs et les plafonds sont en béton d'une surface totale : Sbéton = 187 m².

1. Quels sont les phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.
2. Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine ?
3. En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ? Justifier.
4. On souhaite obtenir une durée de réverbération égale à 2,0 s. Pour cela, on dispose sur les murs des panneaux absorbants verticaux de coefficient d'absorption acoustique $\alpha_{panneau}$ = 0,50.
   Quelle surface de panneau faut-il utiliser pour satisfaire la nouvelle durée de réverbération TR ?

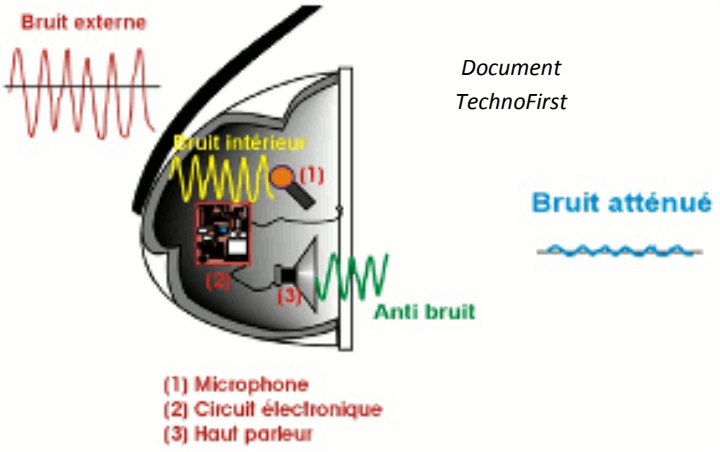
III. Casque actif anti bruit.

Document 1 : Casque actif anti bruit.

La société TechnoFirst® a développé la gamme de casques NoiseMaster® équipés de la technologie ANR® (Active Noise Reduction®).

La technologie ANR® repose sur un système électronique miniaturisé (2) placé à l'intérieur de la coquille du casque. Ce système est connecté d'une part à un petit microphone (1) qui capte le bruit ambiant et d'autre part à un petit haut-parleur (3) qui génère le « contre bruit » à proximité de l'oreille de façon à atténuer considérablement le bruit qui arrive au tympan.

Ce casque nécessite l'utilisation de piles électriques.

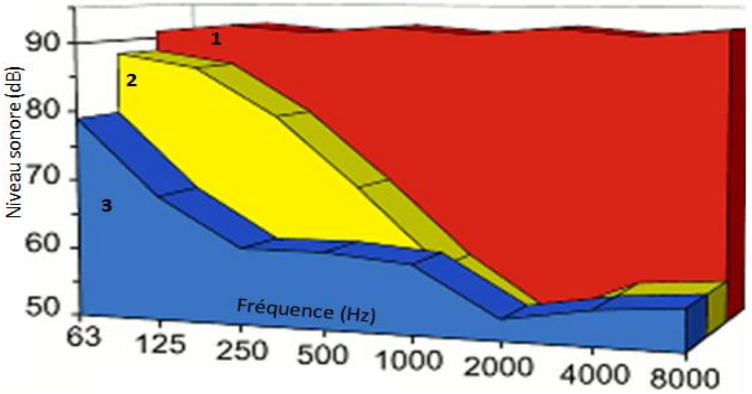


Document TechnoFirst

Document 2 : Les différents types de casques antibruit.

Il existe deux types de casques antibruit : les casques passifs et les casques actifs.

Le graphe ci-dessous donne les atténuations des niveaux sonores apportés par ces deux types de casques. Pour un niveau sonore de bruit donné (courbe 1), la courbe 2 donne le niveau sonore après atténuation apportée par un casque passif et la courbe 3 celle apportée par un casque actif.



Document 3 : quelques données

- Relation entre le niveau sonore L (dB) et intensité sonore I ($W.m^{-2}$) : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ $W.m^{-2}$, intensité sonore de référence.
- L'intensité sonore I à une distance R d'une source émettant dans toutes les directions est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation $I = \frac{P}{S}$ où S représente la surface de la sphère de rayon R ($S = 4\pi R^2$).

Echelle de niveaux sonores

Niveau sonore (dB)	0	60	85	90	120
Effet sur l'auditeur	Limite d'audibilité	Bruit gênant	Seuil de risque	Seuil de danger	Seuil de douleur

Dans cet exercice on cherche à évaluer le niveau sonore auquel peut être exposé un ouvrier sur un chantier de construction et on présente une technologie innovante de lutte contre le bruit.

1. Technologie « ANR ».

1.1. Nommer le phénomène ondulatoire utilisé par la technologie « ANR » pour réduire le bruit reçu.

1.2. Expliquer théoriquement et à l'aide de schémas simples comment ce phénomène peut annuler la perception d'une onde progressive sinusoïdale.

2. ***On considère un bruit extérieur, reçu par une personne sur un chantier, caractérisé par une intensité sonore I_1 = $1{,}0\times10^{-3}$ $W.m^{-2}$ à la fréquence de 500 Hz.***

2.1. Calculer le niveau sonore L_1 du son reçu par cette personne (sans casque).

2.2. En déduire le niveau sonore L_2 du son à travers un casque de protection « NoiseMaster® », puis calculer l'intensité sonore I_2 correspondante.

3. ***Sur un chantier de travaux publics, un ouvrier (sans casque) est placé à une distance R = 1,0 m d'un engin émettant un bruit de fréquence moyenne 125 Hz avec une puissance sonore P = 15 mW.***

3.1. Déterminer, en justifiant, si le bruit perçu par cet ouvrier présente un danger pour son système auditif.

3.2. L'ouvrier met son casque avec protection « NoiseMaster® ». Quel est alors le niveau sonore ressenti ? Le danger persiste-t-il ?

3.3. L'ouvrier retire son casque et s'éloigne pour se positionner à 10 m de l'engin.
Cette opération est-elle plus efficace que celle décrite en 3.2. en termes de protection contre le bruit ?