

Mots-clés : auditorium, acoustique active, réverbération

I – L'acoustique des salles

Document 1 Définition

L'acoustique architecturale est le domaine scientifique et technologique qui vise à comprendre et à maîtriser la qualité sonore des bâtiments. L'application privilégiée de l'acoustique architecturale est la construction de salles qui nécessitent une bonne qualité acoustique.

Document 2 L'acoustique, sciences ou pifomètre ?

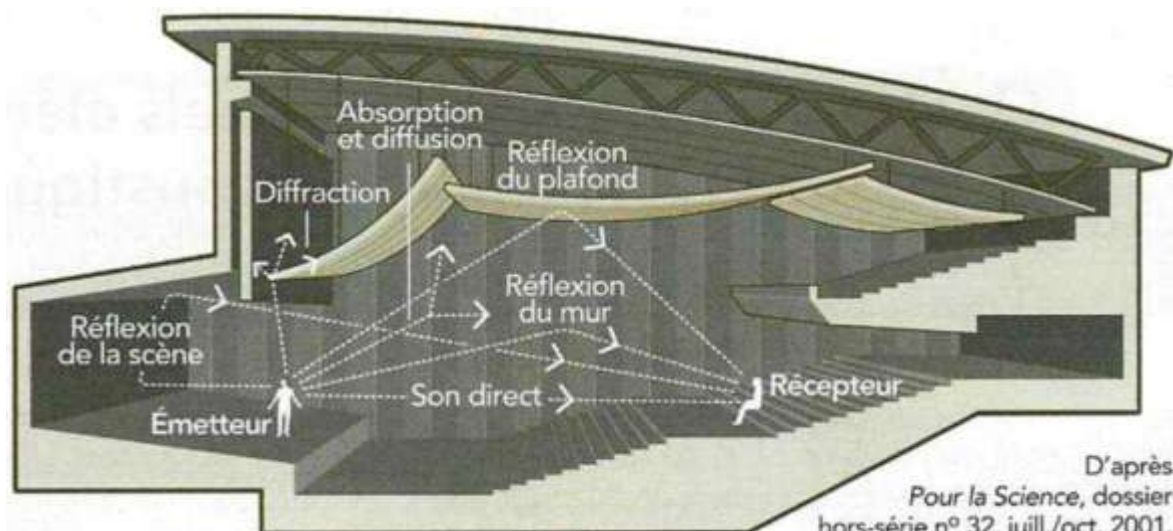
Certains outils informatiques sont capables de prédire l'acoustique d'une salle, mais les mauvaises surprises existent. Dans ces conditions, il devient préférable de s'inspirer de salles existantes donnant de bons résultats, car, même avec des bases de données sérieuses, le résultat reste incertain. De fait, la symétrie de la salle (parallépipédiques rectangles, hexagonales, ovoïdes) favorise certaines fréquences par rapport à d'autres. Ainsi, le son paraît plus fort ici que là et la perception musicale devient décevante. Pourtant, les meilleures salles européennes sont de vraies boîtes à chaussures. Leur principal avantage est que tout y est calculable et certaines erreurs peuvent y être évitées, par exemple, en ajoutant des balcons qui cassent les murs parallèles, et d'autres éléments de ce genre, comme 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 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, de réflexion, font varier cette diffusion. C'est la première partie du casse-tête : le nombre de paramètres. Deuxième partie : quelle sera l'utilisation de la salle ? Théâtre ? Il faut une salle sèche, avec très peu de réverbération (0,8 seconde d'écho). Musique symphonique ? Il en faut beaucoup plus (entre 1,5 et 2). Les églises, où la réverbération atteint 8 ou 9 secondes, ne se prêtent qu'à des informations sonores très simples, comme le chant grégorien. 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 ! »

Adapté d'un extrait de J. Drillon. Les murs du son.

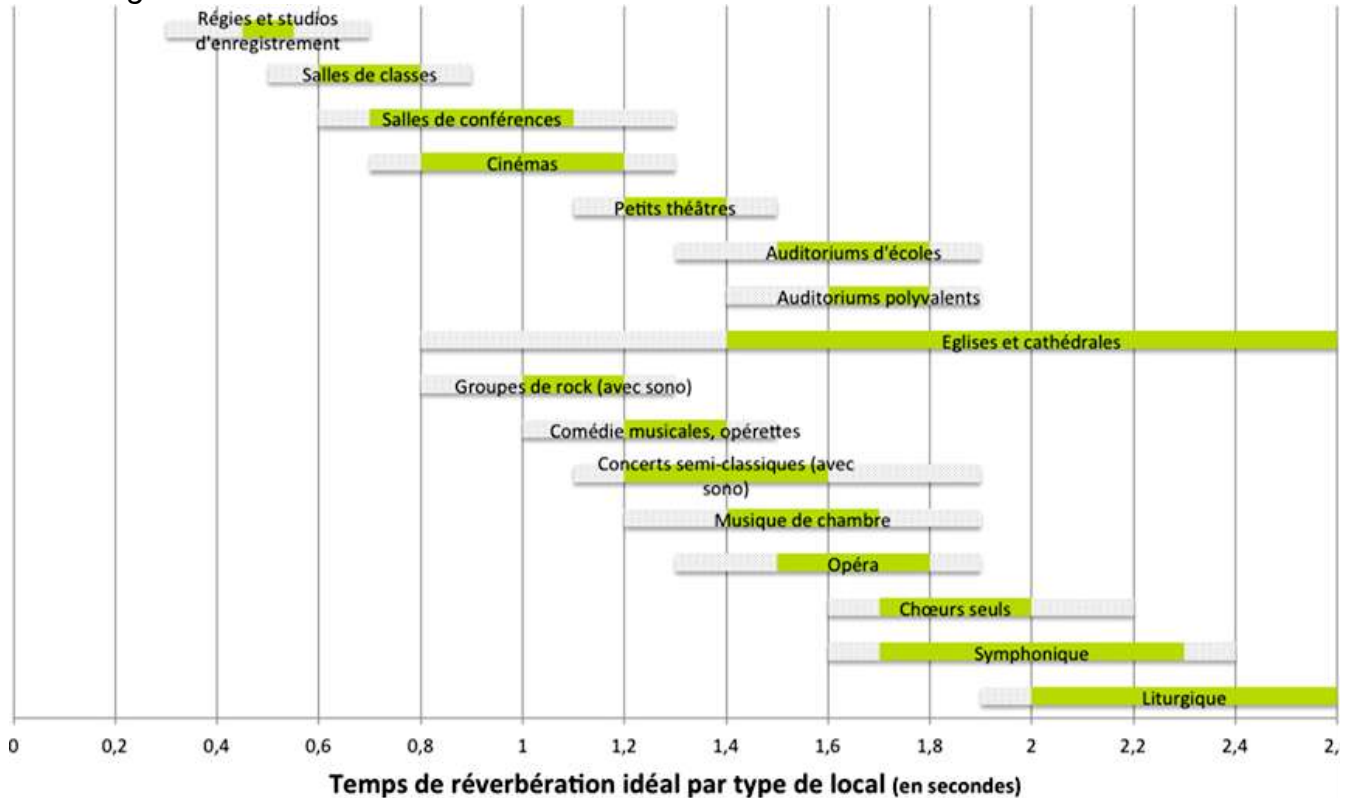
Document 3 Profil d'un auditorium



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

Document 4 Musique, parole et réverbération

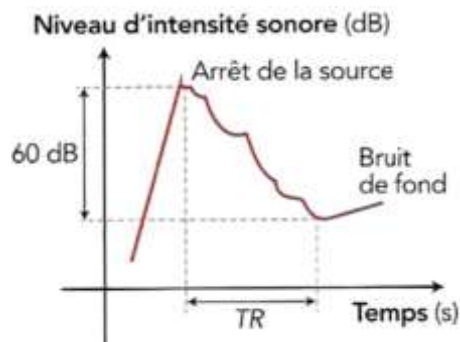
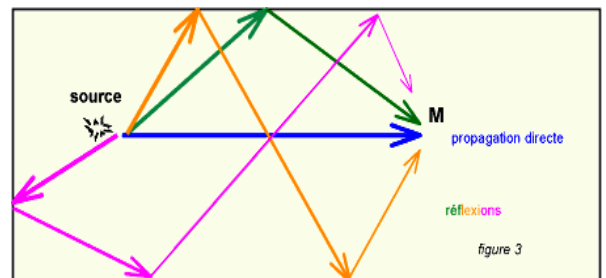
L'absence de réverbération dans une salle provoque un rendu sec et dur de la musique ; on recherche toujours une prolongation du son pour une bonne qualité musicale. Une bonne salle de musique présente une durée de réverbération de 1,0 à 2,5 secondes. Les orgues, présentes dans les églises, imposent 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 seconde. Au-delà, les syllabes se chevauchent et l'intelligibilité diminue.



Document 5 Durée de réverbération

Dans une salle de spectacle, un auditeur perçoit le son direct, mais également celui des ondes sonores qui ont subi de nombreuses réflexions sur toutes les surfaces rencontrées.

La durée de réverbération, notée TR , correspond à la durée au bout de laquelle le niveau d'intensité sonore a diminué de 60 dB après la fin d'émission de la source sonore.



Dans la plupart des situations, la durée de réverbération se calcule par la formule suivante : $TR = 0,16 \times \frac{V}{A}$
 avec TR : durée de réverbération (s),
 V : volume de la pièce (m^3),
 A : surface absorbante équivalente de la pièce (m^2)*

*La surface d'absorption équivalente A est donnée par la relation : $A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$

A : surface absorbante équivalente de la pièce (m^2)

α_i : coefficient d'absorption du matériau i (pas d'unité)

S_i : Surface du matériau i (m^2)

Exemple :

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

Plus la salle grande, moins il y a de perte d'énergie sonore par réflexion du son sur les parois et plus la durée de réverbération est grande.

La matière des parois de la pièce influe aussi sur la durée de réverbération ; plus la surface est lisse et dense, moins elle absorbe de l'énergie et plus le temps de réverbération est long. Ainsi, le verre ou le béton sont des éléments très réverbérants, mais les matières souples et rugueuses (moquette, tapis, tissus) absorbent le son. De même la présence des spectateurs diminue la durée de réverbération

II – L'acoustique des théâtres antiques

Document 6 L'acoustique extraordinaire des théâtres antiques grecs ou romains

Leur architecture permet-elle d'expliquer ces prodiges acoustiques?

La qualité acoustique du théâtre d'Épidaure (en Grèce) serait liée à la disposition de ses rangées de sièges.

Ainsi, la succession périodique des marches du théâtre serait géométriquement optimisée pour filtrer les basses fréquences, composante principale du bruit de fond qui masque généralement le son perçu loin de la scène, tout en préservant les hautes fréquences provenant de la voix des acteurs.

Le fait de filtrer ces basses fréquences améliorerait l'audibilité de la voix des artistes, riches en hautes fréquences.

Au final, l'élimination des basses fréquences s'appliquant aussi bien au bruit de fond qu'aux voix graves des acteurs ne constituait pas un problème majeur, car le système auditif humain sait reconstituer les basses fréquences manquantes.

À noter cependant, la présence de spectateurs assis modifiait cet effet acoustique de manière bien plus difficilement prévisible. En effet, le corps humain, non homogène, répercute les ondes sonores différemment suivant la silhouette de chaque spectateur.



III – Les matériaux actifs

Afin d'optimiser la bonne diffusion et l'écoute sonore, il faut donner à une salle une forme convenable et une durée de réverbération favorable. En quoi l'acoustique active peut-elle être une réponse à la conception de salles de spectacles ?

Document 7 Les techniques passives

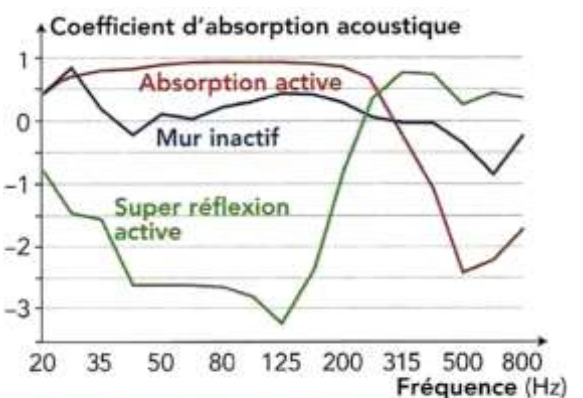
Elles consistent à modifier la durée de réverbération en jouant sur l'absorption acoustique. Elles font appel à des moyens mécaniques qui se révèlent souvent lourds, bruyants et, de surcroît, onéreux.

Citons, par exemple, les réflecteurs, les panneaux mobiles ou les rideaux absorbants, les éléments scéniques comme les décors ou les conques d'orchestre, et même parfois les parois et les plafonds mobiles.

Document 8 Les techniques actives

Ces techniques ont été développées en 1965, avec l'objectif initial de prolonger la durée de réverbération des salles pour pouvoir y accueillir des concerts dans de bonnes conditions. Elles apportent à la salle les composantes acoustiques qui lui font défaut, en utilisant des systèmes électroacoustiques constitués de microphones, de filtres, d'amplificateurs et de haut-parleurs. D'une pression du doigt, on sélectionne les paramètres les mieux adaptés pour chaque type de spectacle : théâtre, opéra, conférence, etc. Pour chaque ambiance, l'auditeur garde l'impression d'une acoustique naturelle : il ne détecte pas la présence du système actif.

On peut obtenir avec ces techniques une variabilité beaucoup plus efficace et flexible que celle obtenue avec les moyens passifs :



Coefficient d'absorption d'un mur actif en fonction de la fréquence sonore pour trois réglages différents.

- pour l'exploitant d'une salle, l'acoustique active présente l'intérêt d'optimiser l'utilisation de son équipement ;
- pour les usagers (sur scène comme en salle), elle assure un grand confort acoustique ;
- pour les architectes et acousticiens, elle est le moyen de se libérer de certaines contraintes acoustiques, par exemple, une géométrie ou un type de matériaux qui ne procureraient pas les nécessaires réflexions du son.

IV – Analyse et synthèse

1. Citer les phénomènes mis en jeu lors de la propagation du son et donner une définition pour chacun.
2. Donner une explication au fait qu'un temps de réverbération trop long nuise à l'intelligibilité de la parole.
3. De quelles grandeurs dépend la durée de réverbération ?
4. Réaliser une synthèse exposant les différents paramètres dont dépend l'acoustique d'une salle et donner un exemple expliquant la sélection de ces paramètres.
5. Expliquer la qualité acoustique des théâtres antiques.
6. Préciser les avantages d'une acoustique active par rapport à une acoustique passive en précisant leur différence fondamentale.

V – Étude expérimentale : détermination du temps de réverbération de la salle 307

Le fichier **TR307.wav** a été réalisé avec une source sonore émettant un son à 1000 Hz. On souhaite exploiter ce fichier afin de déterminer le temps de réverbération de la salle 307.

Utilisation du logiciel REGAVI

Le logiciel Regavi permet d'écouter le son étudié et de sélectionner une partie de ce son afin d'en réaliser l'étude. Ouvrir le logiciel **REGAVI** et suivre la fiche.

Sur Regressi

Voir la fiche afin de déterminer le temps de réverbération de la salle 307 (voir document 5).

VI – Résolution de problème : concert en sous-sol

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.

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

Les documents utiles sont regroupés à la fin de l'exercice.

1. Accord des instruments.

Avant le concert, les musiciens doivent « accorder » leurs instruments. Pour cela, ils utilisent un diapason qui émet la note « La3 ». Chacun joue cette note sur son instrument, la compare à celle émise par le diapason et procède aux réglages permettant d'obtenir une note de même hauteur. En utilisant les enregistrements des différents sons produits et leurs spectres, répondre aux questions suivantes :

- 1.1. Quelle est la fréquence f de vibration du son émis par le diapason ?
- 1.2. Les trois musiciens jouent-ils une note de même hauteur ? Justifier.

2. La pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ?

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 $S_{\text{bois}} = 3,0$ m².

Le sol, les murs et les plafonds sont en béton d'une surface totale : $S_{\text{béton}} = 187$ m².

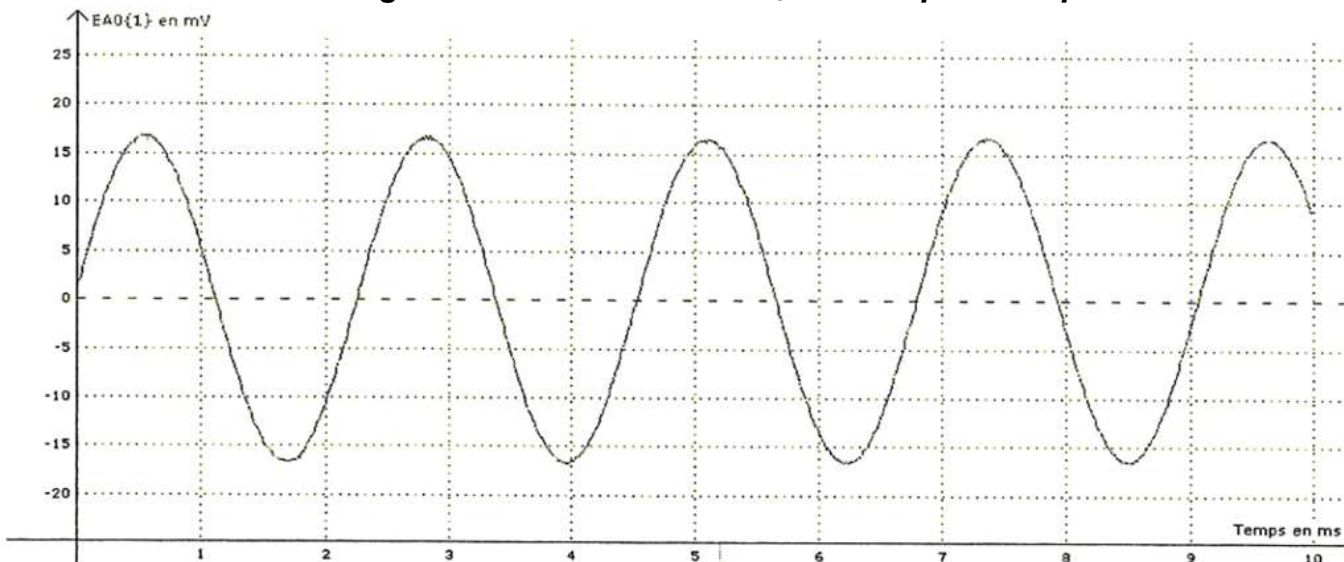
- 2.1 Quels sont les phénomènes physiques qui interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.
- 2.2 Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine (document 5) ?
- 2.3 En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ? Justifier.

2.4 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 $\alpha_{\text{panneau}} = 0,50$. Quelle surface de panneau faut-il utiliser pour satisfaire la nouvelle durée de réverbération T_R ?

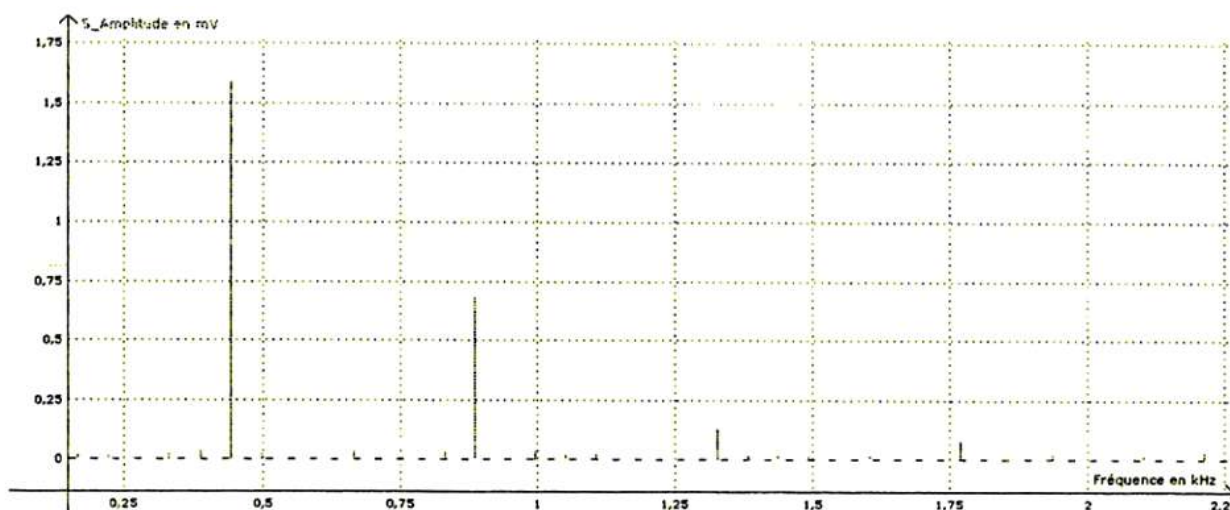
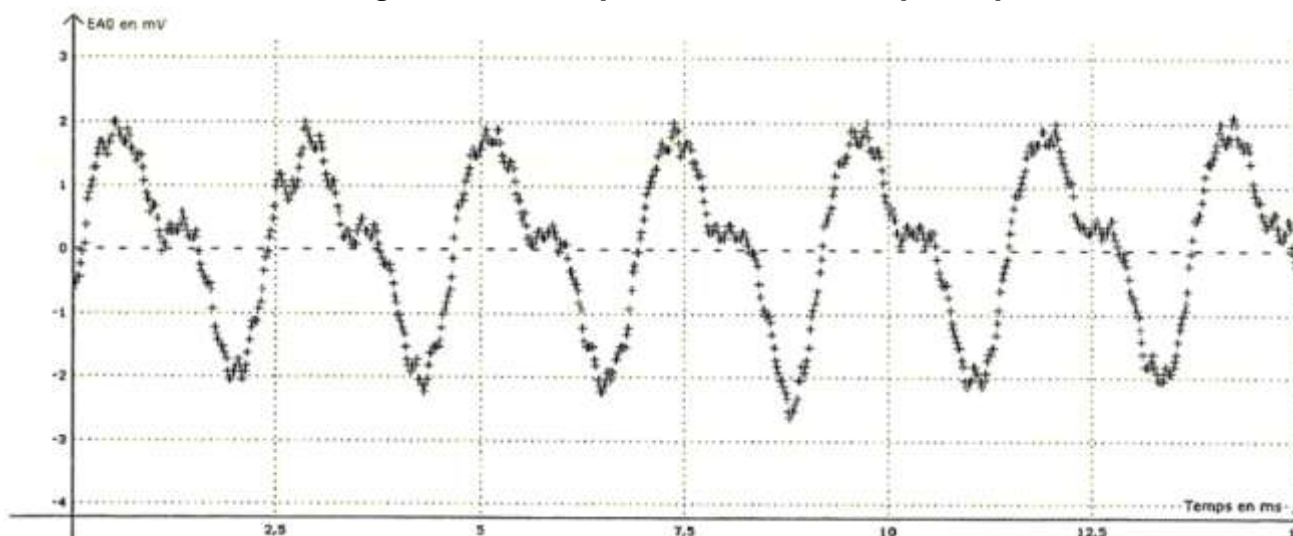
Document 1 *Correspondance entre la hauteur et la fréquence associée de quelques notes de la gamme tempérée*

Note	la ₁	la ₂	la ₃	si ₃	do ₄	ré ₄	mi ₄	fa ₄	sol ₄	la ₄
Fréquence (Hz)	110	220	f	494	523	587	659	698	783	880

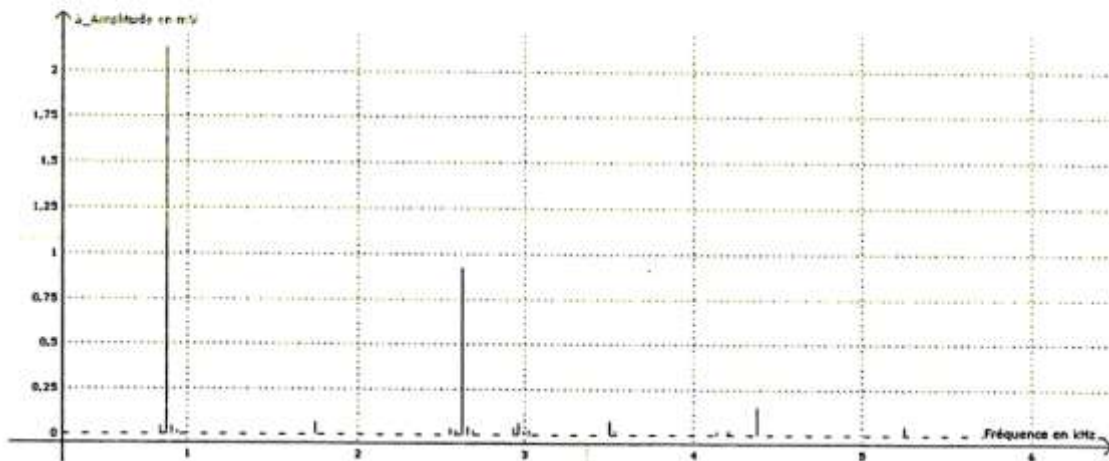
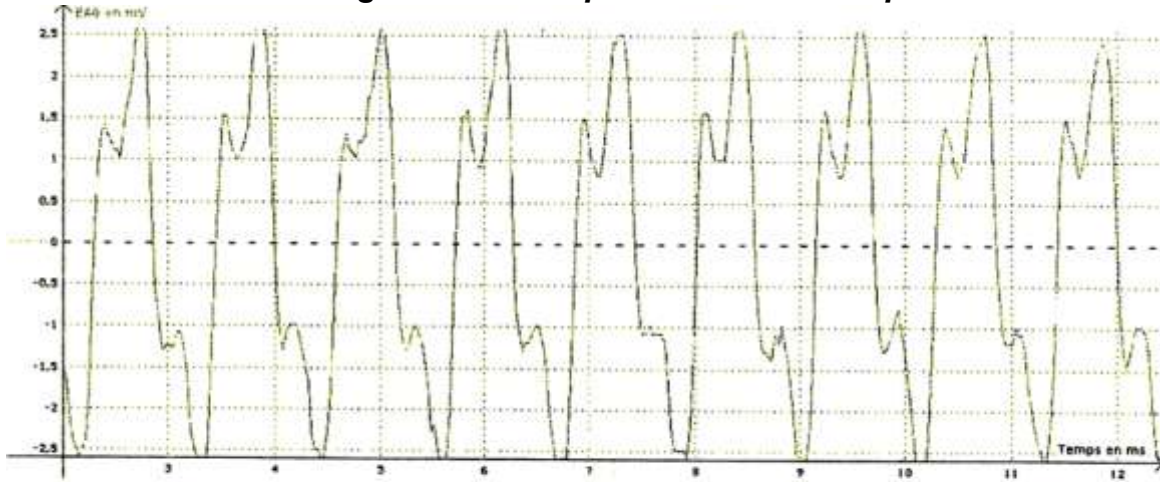
Document 2 *Enregistrement de la note « La₃ » émise par le diapason*



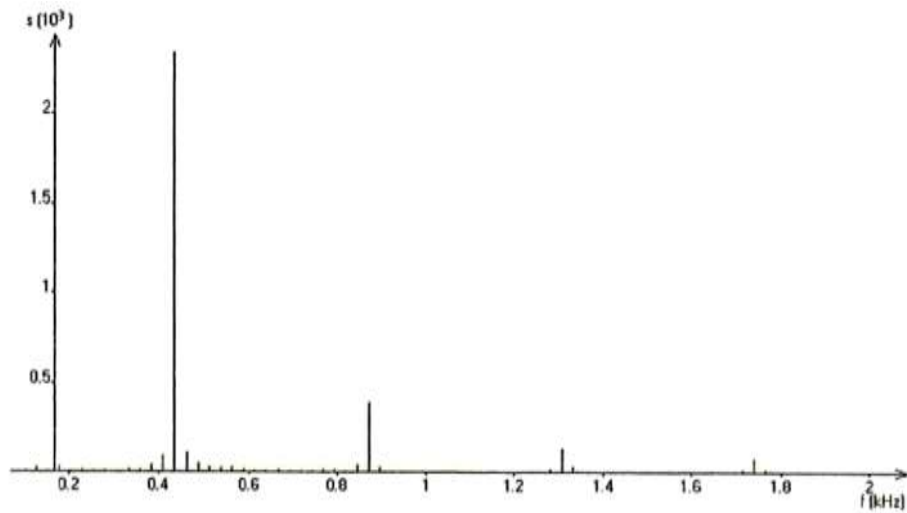
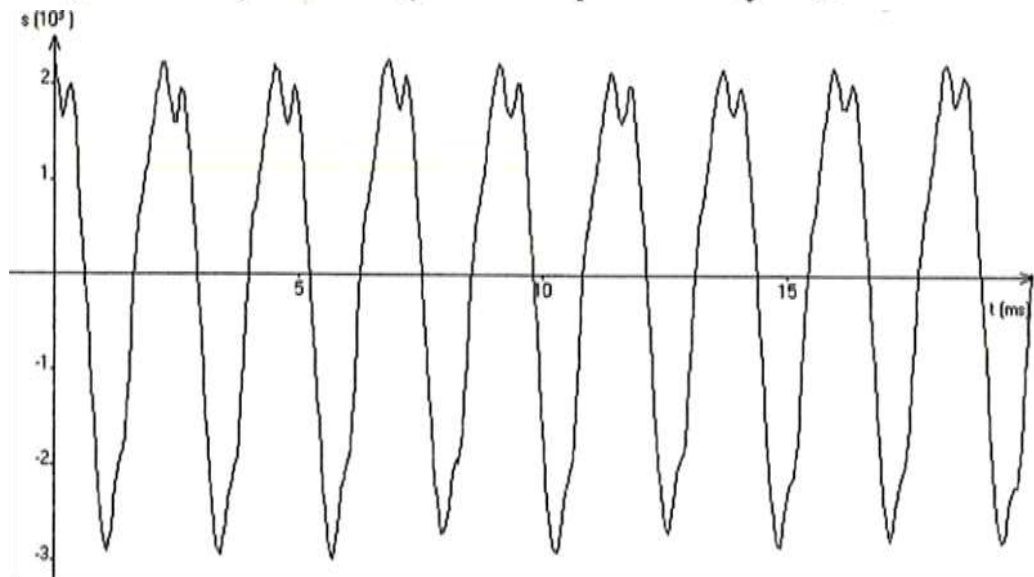
Document 3 *Enregistrement et spectre du son émis par le piano*



Document 4 **Enregistrement et spectre du son émis par la flûte**

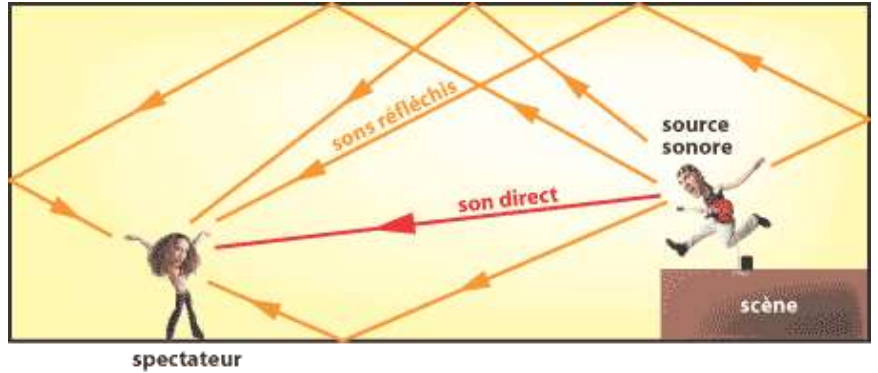


Document 5
Enregistrement et
spectre du son
émis par la
guitare



Document 6 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.

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 7 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 : $A = \sum_i(\alpha_i \times S_i)$ 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 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