



Travaux dirigés et solutions

Acoustique de bâtiment



Dr Zakia LOUNIS

Année 2024

Travaux dirigés

Exercices avec solutions



Introduction

L'acoustique est une discipline essentielle pour la conception de bâtiments qui répondent aux besoins acoustiques spécifiques de leurs occupants. Elle se divise en trois parties principales : la source, le chemin et le récepteur. La source peut être une voix humaine ou un équipement, et son volume peut être ajusté pour améliorer ou réduire le bruit. Par exemple, l'utilisation stratégique de surfaces réfléchissantes près des haut-parleurs dans les salles de conférence, les auditoriums permet de renforcer et de distribuer uniformément le son. Le chemin, qui peut inclure l'air, la terre ou les matériaux de construction, joue un rôle crucial dans la transmission du son. Des constructions à double paroi et d'autres techniques peuvent être utilisées pour interrompre le trajet du son, offrant ainsi une isolation acoustique efficace. Enfin, le récepteur, souvent des humains mais parfois des animaux ou des équipements sensibles, est l'élément final de cette chaîne acoustique. Les occupants d'un bâtiment bénéficieront d'un confort acoustique accru si le bruit gênant est contrôlé et si le bruit ambiant est isolé ou supprimé.

Il est crucial de considérer les exigences acoustiques dès les premières étapes de la conception. Des modifications ultérieures peuvent être coûteuses et difficiles à mettre en œuvre. Par exemple, ajouter un système électronique de renforcement du son dans un auditorium mal conçu peut aggraver les problèmes acoustiques au lieu de les résoudre. Les concepteurs doivent donc comprendre les principes de base de l'acoustique pour éviter de telles surprises.

L'objectif de ce polycopié est de fournir des séries d'exercices accompagnés de solutions collectés des travaux dirigés des étudiants d'ENP Oran de génie Civil, dans un cadre complet pour l'étude de l'acoustique architecturale. Ce document est conçu pour servir de ressource à long terme pour les étudiants, en leur permettant de comprendre les éléments essentiels de l'acoustique. Grâce à cette compréhension, ils seront en mesure de poser les bonnes questions, d'identifier des solutions alternatives et de mettre en œuvre des conceptions acoustiques réussies. Les exercices proposés couvrent divers aspects de l'acoustique de bâtiment, tels que l'isolation sonore, la gestion des réverbérations, et l'optimisation des matériaux acoustiques. Chaque exercice est conçu pour renforcer les compétences pratiques des étudiants, en les préparant à anticiper et résoudre les problèmes acoustiques courants dans les bâtiments. En suivant ce polycopié, les étudiants pourront non seulement améliorer la qualité acoustique des espaces qu'ils créent, mais aussi collaborer plus efficacement avec les consultants en acoustique. Ils apprendront à poser des questions pertinentes, à évaluer différentes approches et à intégrer des solutions acoustiques innovantes dans leurs projets.

SOMMAIRE DES TRAVAUX DIRIGÉS SUR L'ACOUSTIQUE

DES BÂTIMENTS

I.	<i>Caractéristiques des ondes sonores</i>	<i>page 12</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 31</i>
II.	<i>Analyse du bruit</i>	<i>page 13</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 38</i>
III.	<i>Diffusion de la source du bruit</i>	<i>page 15</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 45</i>
IV.	<i>Écran de sonorisation, temps de réverbération, coefficient d'absorption, correction acoustique</i>	
		<i>Page 15</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 51</i>
V.	<i>Correction acoustique facteur d'absorption</i>	<i>page 17</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 58</i>
VI.	<i>Nature du matériau absorbant, Facteur de Transmission, l'isolation</i>	
		<i>page 18</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 61</i>
VII.	<i>Indice d'affaiblissement des parois, loi de masse, Isolement</i>	<i>Page 20</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 68</i>
VIII.	<i>Examens</i>	<i>page 22</i>
	<i>Solutions</i>	<i>page 82</i>

RAPPELS SUR L'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

I. Caractéristiques des ondes sonores

- ✚ **Le son** : (a) physiquement parlant, c'est une fluctuation de pression, un déplacement de particules dans un milieu élastique, comme l'air ; c'est un son objectif ; (b) physiologiquement, c'est une sensation auditive évoquée par la fluctuation décrite précédemment ; c'est un son subjectif

✚ **Définition des ondes sonores**

Les ondes sonores sont des vibrations qui se propagent dans un milieu élastique, comme l'air, l'eau ou un solide. Elles se déplacent sous forme de variations de pression et de densité dans le milieu. Les ondes sonores peuvent être définies par plusieurs caractéristiques :

- ✚ **Fréquence (f)** : Nombre de cycles par seconde, mesuré en Hertz (Hz). Elle détermine la hauteur du son (grave ou aigu).
- ✚ **Amplitude (A)** : Correspond à l'intensité ou la pression du son, mesurée en décibels (dB). Elle influence le volume du son.
- ✚ **Longueur d'onde (λ)** : Distance entre deux points consécutifs en phase sur l'onde.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{où } C, \text{ est la vitesse du son dans le milieu.}$$

- ✚ **Vitesse du son (c)** : Vitesse à laquelle les ondes sonores se propagent dans un milieu. En air, à température ambiante, elle est d'environ 343 m/s.
- ✚ **Propagation du son**

Les ondes sonores se propagent en ligne droite dans un milieu homogène mais peuvent se réfléchir, se réfracter et se diffuser en fonction des propriétés du milieu et des surfaces rencontrées.

II. Analyse du bruit

✚ **Définition du bruit**

Le bruit est un son indésirable ou perturbateur qui peut nuire au confort ou à la santé. Il est caractérisé par son niveau d'intensité sonore, sa fréquence et sa durée.

✚ **Niveau sonore**

Le niveau sonore est mesuré en décibels (dB) et est souvent utilisé pour quantifier le bruit. Il est calculé comme suit : $L = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$

où I est l'intensité du son et $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ est l'intensité de référence.

✚ **Types de bruit**

- Bruit continu : Niveau sonore constant dans le temps.
- Bruit impulsionnel : Bruits de courte durée, comme les coups ou les explosions.
- Bruit périodique : Bruit qui se répète à intervalles réguliers.

✚ **Bruit avec Pondération A, B, et C**

Les pondérations A, B et C sont des courbes de pondération utilisées pour ajuster les mesures du bruit afin de mieux refléter la perception humaine du son à différentes fréquences.

✚ **Pondération A (dB(A))**

- Définition : La pondération A est la plus couramment utilisée pour mesurer les niveaux de bruit en raison de sa capacité à simuler la réponse de l'oreille humaine aux différentes fréquences. Elle atténue les basses fréquences et accentue les fréquences intermédiaires, car l'oreille humaine est moins sensible aux basses fréquences et plus sensible aux fréquences moyennes.

- Application : Utilisée pour évaluer le bruit dans des environnements variés, notamment pour la réglementation des nuisances sonores et la protection de la santé auditive.

✚ **B. Pondération B (dB(B))**

La pondération B est moins couramment utilisée que la pondération A. Elle est destinée à mesurer le bruit dans des environnements où les basses fréquences sont particulièrement importantes. Elle offre une pondération plus uniforme sur une gamme de fréquences plus large, mais elle est généralement moins courante dans les standards modernes.

- Application : Parfois utilisée dans des contextes spécialisés où la pondération B est plus appropriée.

✚ **C. Pondération C (dB(C))**

- Définition : La pondération C est utilisée pour mesurer les niveaux de bruit à des niveaux élevés et donne une réponse plus plate, ce qui signifie qu'elle est moins sélective vis-à-vis des fréquences. Elle est souvent utilisée dans des contextes industriels ou pour mesurer des bruits avec une forte composante basse fréquence.

- Application : Utilisée pour évaluer les risques liés aux niveaux de bruit très élevés et pour les environnements industriels.

➤ **Bruit Blanc, Bruit Rose et Bruit routier**

✚ **Bruit Blanc**

- Définition : Le bruit blanc est un type de bruit qui contient toutes les fréquences audibles (de 20 Hz à 20 kHz) avec une intensité égale à chaque fréquence. Cela signifie que son spectre est plat, et le bruit est perçu comme une sorte de "sifflement" constant.

- Caractéristiques : Il a un spectre d'énergie uniforme, ce qui peut couvrir d'autres bruits ou masquer des sons indésirables.

- Applications : Utilisé en acoustique pour tester des équipements audio, en thérapie sonore pour masquer les bruits gênants et en audio pour des effets spéciaux.

✚ **Bruit Rose**

- Définition : Le bruit rose est un type de bruit qui a une énergie répartie de manière égale par octave, ce qui signifie que l'intensité du bruit diminue avec l'augmentation de la fréquence. Le bruit rose est perçu comme moins "aigu" que le bruit blanc.

- Caractéristiques : Le bruit rose a une pente de -3 dB par octave, ce qui le rend plus naturel et plus équilibré en termes de fréquence.

- Applications : Utilisé dans le test et la calibration des systèmes audio, en acoustique de salle pour équilibrer les niveaux de bruit, et en thérapie sonore pour créer des environnements relaxants.

✚ **Bruit Routier**

- Définition : Le bruit routier est le bruit généré par le trafic routier, y compris les véhicules en mouvement (voitures, camions, motos), les moteurs, les pneus sur la chaussée, et les bruits de freinage ou d'accélération.

- Caractéristiques : Il est souvent caractérisé par une composante élevée en basse fréquence due au roulement des pneus et au bruit des moteurs. Le bruit routier est mesuré en décibels (dB) et est souvent ajusté pour les conditions de trafic spécifiques.

- Applications : L'évaluation du bruit routier est cruciale pour la planification urbaine et les régulations de zonage afin de minimiser les impacts sur les résidents. Des normes et des régulations sont mises en place pour limiter le niveau de bruit des routes et améliorer la qualité de vie.

III. Diffusion de la source du bruit

✚ **Propagation du bruit**

Le bruit se propage dans toutes les directions depuis la source. Les caractéristiques de propagation incluent :

✚ **Absorption** : Réduction de l'intensité du son lorsqu'il rencontre une surface absorbante.

✚ **Réflexion** : Changement de direction du son lorsqu'il rencontre une surface réfléchissante.

✚ **Diffusion** : Dispersion des ondes sonores lorsqu'elles rencontrent des surfaces irrégulières ou texturées.

IV. Écran de sonorisation, temps de réverbération, coefficient d'absorption, correction acoustique

✚ **Écran de sonorisation**

Un écran acoustique est un dispositif conçu pour réduire la transmission du bruit d'une zone à une autre en bloquant ou en atténuant les ondes sonores.

✚ **Temps de réverbération (T_{R60})**

Le temps de réverbération est le temps nécessaire pour que le niveau sonore décroisse de 60 dB après l'arrêt de la source sonore. Il est calculé par :

$$T_{R60} = \frac{0,161 \times V}{A}$$

où V est le volume de la pièce et A est la surface d'absorption équivalente.

✚ **Coefficient d'absorption, alpha α**

Le coefficient d'absorption est une mesure de la capacité d'un matériau à absorber le son. Il est défini comme la proportion de son énergie incidente absorbée par le matériau :

$$\alpha = \frac{A}{S}$$

où A est la surface d'absorption et S est la surface totale.

✚ **Correction acoustique**

Pour corriger les problèmes acoustiques, on peut ajouter des matériaux absorbants ou modifier la disposition des surfaces pour atteindre le temps de réverbération souhaité.

V. Nature du matériau absorbant, Facteur de Transmission, l'isolation

✚ **Nature du matériau absorbant**

Les matériaux absorbants réduisent la réflexion du son en convertissant l'énergie sonore en chaleur. Ils sont souvent en fibre ou en mousse et ont un coefficient d'absorption élevé.

✚ **Facteur de Transmission τ**

Le facteur de transmission acoustique mesure la proportion de l'énergie sonore qui passe à travers un matériau. Il est défini par :

$$\tau = 10^{-\frac{R}{10}}$$

où R est l'affaiblissement acoustique du matériau.

✚ **L'isolation**

L'isolation acoustique se réfère à la capacité d'un matériau ou d'une structure à empêcher la transmission du son d'un espace à un autre. Elle est souvent améliorée par l'utilisation de matériaux à haute masse ou à haute densité.

VI. Indice d'affaiblissement des parois, loi de masse, Isolement

✚ **Indice d'affaiblissement des parois R**

L'indice d'affaiblissement acoustique est une mesure de la capacité d'une paroi à réduire le niveau de bruit transmis à travers elle. Il est mesuré en décibels (dB) et est donné par

$$R = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

où I_1 et I_2 sont les intensités du bruit de part et d'autre de la paroi.

⊕ **Loi de masse**

La loi de masse stipule que l'affaiblissement acoustique d'une paroi augmente avec sa masse. Pour une paroi homogène, l'affaiblissement en dB est approximativement donné par :

$$R = 20\text{Log}_{10}(\sigma) + 20\text{Log}_{10}(f) - 47$$

où σ est la masse surfacique (kg/m^2) et f est la fréquence (Hz).

⊕ **Isolement**

L'isolement acoustique est la capacité d'un élément de construction à réduire la transmission du son entre deux espaces. Cela dépend de la masse, de la structure, et du type de matériau utilisé dans la paroi.

L'isolement acoustique normalisé $D_{n,AT}$ est une équation qui permet de calculer l'isolement acoustique normalisé en tenant compte de l'indice d'affaiblissement de la paroi, du volume du local récepteur, de la surface de la paroi et du facteur d'absorption acoustique. Cela aide à concevoir des espaces avec une isolation sonore adéquate pour le confort des occupants

L'explication l'équation d'isolement acoustique normalisé $D_{n,AT}$:

$$D_{n,AT} = R + 10\text{Log}_{10}\left(0,32\frac{V}{S}\right) - a$$

Définition des termes :

1. **$D_{n,AT}$** : Isolement acoustique normalisé
 - ❖ C'est la mesure de la capacité d'une paroi à réduire la transmission du son entre deux espaces. Il est exprimé en décibels (dB).
2. **(R)**: Indice d'affaiblissement acoustique
 - ❖ Il représente la capacité d'une paroi à atténuer le son. Plus la valeur de (R) est élevée, meilleure est l'isolation acoustique de la paroi. Il est également exprimé en décibels (dB).
3. **(V)**: Volume du local récepteur
 - ❖ C'est le volume de la pièce où le son est reçu, mesuré en mètres cubes (m^3). Un volume plus grand peut nécessiter une meilleure isolation pour maintenir un niveau sonore acceptable.
4. **(S)**: Surface de la paroi séparatrice
 - ❖ C'est la surface de la paroi qui sépare les deux espaces, mesurée en mètres carrés (m^2). Une surface plus grande peut permettre plus de transmission sonore, nécessitant une meilleure isolation.
5. **(a)**: Facteur d'absorption acoustique
 - ❖ Il représente la capacité des matériaux dans le local récepteur à absorber le son. Un facteur d'absorption plus élevé signifie que plus de son est absorbé, réduisant ainsi le niveau sonore perçu.

Explication de l'équation :

- ❖ **(R)**: Indice d'affaiblissement acoustique de la paroi. C'est la base de l'isolement acoustique.
- ❖ **$(10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}))$** : Ce terme ajuste l'isolement en fonction du volume du local récepteur et de la surface de la paroi. Un volume plus grand ou une surface plus petite augmentera l'isolement acoustique.
- ❖ **(- a)**: Ce terme soustrait l'effet de l'absorption acoustique dans le local récepteur. Plus l'absorption est élevée, moins le son est réfléchi, ce qui réduit le niveau sonore perçu.

TRAVAUX DIRIGES

I. Caractéristiques des ondes sonores

1. Calculer la vitesse du son à la température 25°C.

2. Calculer la longueur d'onde du son produite par le diapason de 500 Hz lorsque la température est de 20°C.

3. Pour une onde sphérique sonore produite par un orateur à 200W, calculer l'intensité de la sonorisation à une distance de 5m de l'orateur.

4. L'intensité due à une certaine onde sphérique à une distance de 4m est de 0.4W/m². Calculer l'intensité à une distance de 12m.

5. Calculer le niveau du volume sonore en décibels à une distance de 20m de l'orateur de 500W, et en supposant que l'on de sonore est sphérique.

6. Une source sonore émet un son avec une puissance sonore P (en Watts). L'intensité sonore I en un point donné dépend de la puissance de la source et de la distance d (en mètres) à laquelle on se trouve de cette source.

1. Écrivez la relation entre l'intensité sonore I et la distance d.

2. Exprimez I en fonction de P et d.

3. Donnez l'unité de mesure de l'intensité sonore.

7. Calculer l'intensité I d'un instrument de musique qui émet une note de niveau d'intensité sonore L= 60 dB

8. On considère 4 instruments qui émettent chacun « SOL » une note de niveau d'intensité sonore I=60 dB. Quel sera le niveau d'intensité sonore si les 4 instruments jouent ensemble.

9. Quel est le niveau sonore d'une conversation dont l'intensité est de $10^4 I_0$
Un concert de Rock atteint un niveau sonore de 120 dB. Déterminez $\frac{I}{I_0}$

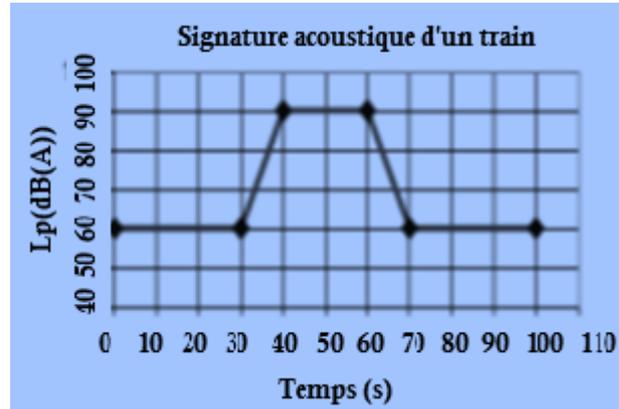
10. Une source sonore émet dans l'air, un signal très bref avec une puissance de 15W

1) calculer l'intensité sonore à 20 m de la source

2) Déterminer le niveau sonore à la même distance

3) Calculer la distance pour laquelle le niveau n'est plus que 50dB.

11. La signature acoustique d'un train à la forme suivante



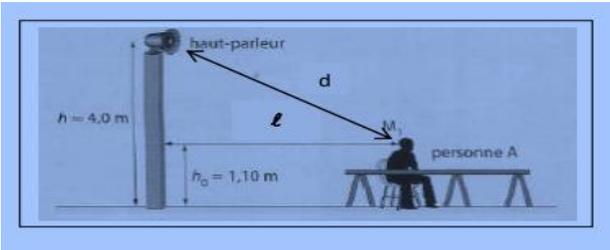
1. Quel est le niveau équivalent (Leq) de ce signal pour une durée d'observation de 40 secondes (temps de passage d'un train) ?

2. Quel est le niveau équivalent sur une heure (Leq(1h)) pour le passage d'un seul convoi ?

12. Calculer l'intensité sonore d'un marteau-piqueur à 115 dB et montrer que l'on s'approche du seuil de douleur.

13. Dans une foire, on a installé un stand à proximité d'un haut-parleur qui émet de la musique. Ce haut-parleur (voir schéma) est considéré comme une source acoustique S d'ondes sphériques de puissance sonore $P = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W}$. Les oreilles de la personne A, se trouvent en M1. 1) Etablir l'expression littérale de l'intensité acoustique I reçue par la personne A en fonction de P, h, h₀ et ℓ . 2) Une deuxième personne vient s'asseoir. La conversation à deux est de niveau d'intensité sonore normale, soit $L_{\text{conv}} = 70 \text{ dB}$. 2) En déduire la distance ℓ_{min} minimale à laquelle la personne A devra se trouver du poteau pour que les deux personnes puissent s'entendre sans être gênées par la musique. On supposera que la musique et la « conversation » sont de fréquences très

voisines 3) En réalité, la personne A est située sur une direction faisant un angle de 60° avec l'axe principal du haut-parleur. Expliquer brièvement comment cette



nouvelle

information va modifier la valeur de λ_{\min} précédente.

II. Analyse du bruit

1. On procède à la répartition de deux bruits

Niveau par bandes d'octave de bruit 1						
f_1 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	60	65	65	80	70	90
Niveau par bandes d'octave de bruit 2						
f_2 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	90	70	80	65	65	60

a) Calculer le niveau global d'intensité de chaque bruit

b) Calculer le niveau global d'intensité **pondérée A**; Les deux bruits seront ils perçus de la même façon par un même auditeur? Commenter, données

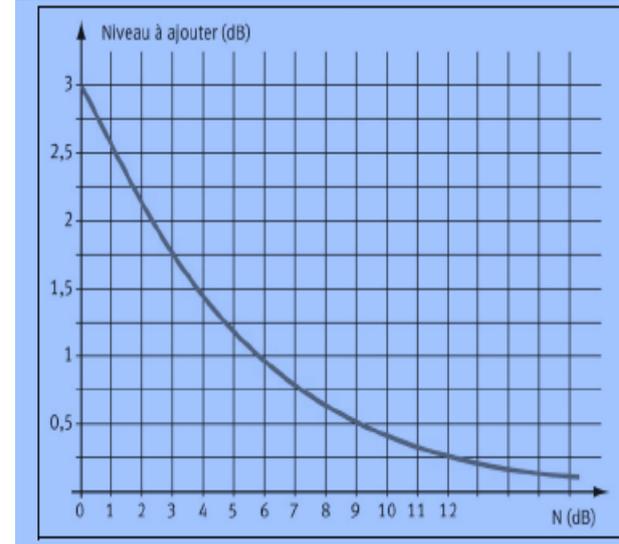
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A (dB)	-15.5	-8.6	-3.2	0	+1	+1

2. Un local est soumis à trois bruits dont les niveaux sonores sont **65, 70 et 60 dB**

a- Calculer à l'aide de l'abaque, le niveau sonore résultant des deux premiers bruits puis le niveau sonore total

b- Le résultat aurait-il été le même en combinant les deux derniers niveaux d'abord?

c- Quel est le niveau sonore résultant de deux sources sonores de même niveau? De trois sources sonores de même niveau?



NB: On peut calculer rapidement le niveau sonore résultant de deux sources sans passer par le calcul des intensités. Un abaque permet ce calcul rapide.

3. On analyse, par bande d'octaves, le bruit d'un compresseur avec un sonomètre et on trouve les résultats suivants

F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
N(dB)	89.3	75.5	82.3	77	74.3	73

a. En appelant $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ les différentes valeurs du niveau d'intensité sonore dans chacune des bandes de fréquence, donner l'expression littérale du niveau d'intensité sonore global N . Montrer que ce niveau peut se mettre sous la forme $N = 10 \text{Log} \left(10^{\frac{N_1}{10}} + 10^{\frac{N_2}{10}} + 10^{\frac{N_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{N_6}{10}} \right)$

b. Calculer numériquement le niveau sonore N .

c. Quelle est la particularité de deux sons séparés d'une octave?

d. Quelle différence faites-vous entre dB et dB(A)?

e. Calculer les niveaux de sensation sonore $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$ en dB(A) sachant que

les atténuations en fonction de la fréquence sont données dans le tableau suivant :

F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A (dB)	-16	-9	-3	0	+1	+1

4. Une chaudière est située dans un local ; dont les parois sont en béton ; On mesure, quand elle fonctionne, le niveau de pression acoustique L_p à l'aide d'un sonomètre équipé d'un analyseur muni d'un filtre **d'octaves de fréquences** centrales sur f_0

f_0 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	36	50	52	52	60	61

Calculer le niveau de pression acoustique total L.

5. L'analyse de bruit extérieur par bandes d'octaves a donné les valeurs suivantes

Valeur centrale par bandes d'octaves (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau (dB)	90	90	90	90	90	90

1/ Donner les valeurs minimale et maximale des fréquences de la bande d'octave centrée sur **125Hz**

2/Calculer le niveau d'intensité acoustique global L, du bruit extérieur

3/Pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille, on utilisera la pondération A suivante

Valeur centrale par bandes d'octaves(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A(dB)	-16	-9	-3	0	+1	+1

6. Soit un bruit dont le spectre 1/3 d'octave est donné par :

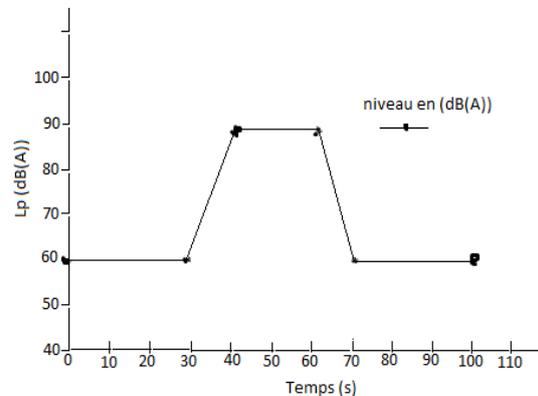
f (Hz)	100	125	157	200	250	315	400	500	630
L_p (dB)	70	65	67	75	60	70	72	72	72
f (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L_p (dB)	77	75	70	65	62	57	55	55	55

-Donner son spectre par bande d'octave

-Déterminer le niveau de pression globale de bruit

-Calculer la sensation en **dB(A)**

7. On donne une signature acoustique d'un train en passage avec un bruit de fond de **40s** sous la forme suivante



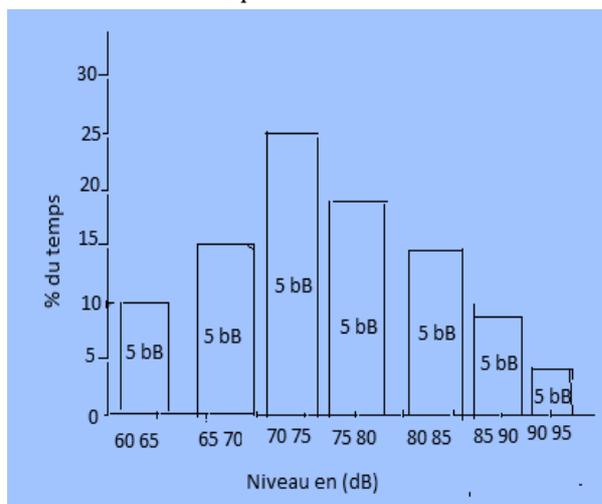
-Quel est le niveau équivalent (L_{eq}) de ce signal pour une durée d'observation de **10s**

-Quel est le niveau équivalent sur 1Heure ($L_{eq/1H}$) pour passage d'un seul convoi ?

3/ Même question s'il y'a **10** passages de trains dans l'heure et avec un même bruit de fond pour chaque passage

8. Analyse temporelle d'un bruit a donné la distribution de fréquences suivante en classe de **5dB** de la figure suivante

-Déterminer les niveaux dépassés de **10%, 50% et 90%** du temps L_{10} ; L_{50} et L_{90} ?
Calculer alors L_{eq} ?



III. Diffusion de la source du bruit

1. On considère les spectres par bande d'octave des bruits types suivants

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	61	64	67	70	73	76
L_p (dB)	70	70	70	70	70	70
L_p (dB)	76	75	71	70	68	62

Déterminer pour ces trois bruits, la sensation globale en **dB(A)**.

2. Le niveau de pression acoustique pour une source directive ou G est un indice de directivité dépendant du facteur Q de directivité selon la formule $G = 10 \text{ Log } Q$

$L_p = L_w - 10 \text{ Log } 4\pi + G / L_w$, tel que L_w est le niveau de puissance; une personne parle à voix normale émet une puissance acoustique de 10^{-6} Watt.

Calculer la pression efficace à 1m sachant que $\rho_0 = 118 \text{ Kg/m}^3$ et de célérité de l'air $C = 345 \text{ m/s}$. Au lieu de considérer la source comme étant omni dimensionnelle, on considère qu'elle possède une directivité de 4 pour le public qui lui fait face à 1m est alors est égale à $3.4 \cdot 10^{-2}$ Pa

- 1/Déterminer le niveau de pression acoustique à 1, 2, 4, 8 mètres
- 2/Déterminer le point de réception de l'onde sonore

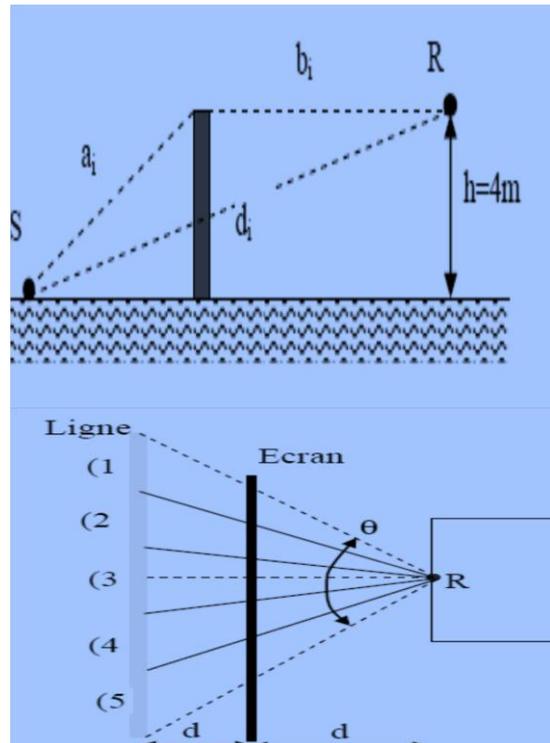
3. Afin de réduire le niveau de bruit en façade d'un bâtiment on dispose un écran parallèlement à la ligne source voir schéma

Données

$$\begin{aligned} W_u &= 0.07 \text{ W/m} \\ \theta &= 100 \\ d_1 &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= 50 \text{ m} \\ h &= 4 \text{ m} \\ f &= 600 \text{ Hz} \end{aligned}$$

On assimile la ligne source à N sources élémentaires vues du point R sous un même angle $\Delta\theta = 20^\circ$



-Sachant que l'écran masque complètement la ligne source, calculer l'atténuation globale de l'écran.

IV. Écran de sonorisation, temps de réverbération, coefficient d'absorption, correction acoustique

1. Soit un local de $5\text{m} \times 4\text{m}$ et de 2.5m de hauteur, dont le plafond a un coefficient d'absorption α de 0.4 à 100Hz et dont toutes les autres parois ont un coefficient α de 0.05 à la même fréquence

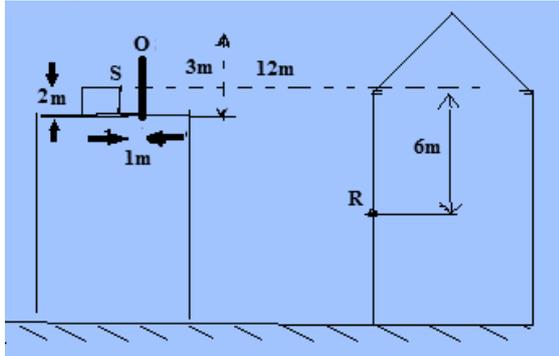
Quelle est la durée de réverbération du local à 1000Hz ?

2. Une pompe à chaleur de 55KW est posée sur la terrasse d'un immeuble le niveau

sonore arrivant au point de réception R situé dans l'immeuble voisin est de 47dB(A). En supposant que l'énergie acoustique passant à travers l'écran est négligeable

Quel est le nouveau niveau sonore au point R en présence d'un écran de 3m de hauteur posé à 1m de la pompe à chaleur ?

Sachant que les pompes à chaleur émettent des bruits centrés sur **125Hz** (voir tableau atténuation acoustique apporté par un écran).



3. Un laboratoire de mesures est de dimensions (L×l×h) (5×4×3) m³. Le plancher est en bois ($\alpha=0.1$), les murs et le plafond en béton ($\alpha=0.02$); les vitres couvrent une surface de 6m² ($\alpha=0.05$)

1/Quel est le T_R dans ces conditions ?

2/On cherche à mesurer α Sabine d'un tissu que l'on dispose sur la demi- surface du plancher ; On mesure alors un T_r de 2 secondes. Quel est le α du tissu ?

3/ Cette mesure vous semble-t-elle très précise Pourquoi ?

4. Une municipalité décide d'équiper une salle polyvalence de dimensions 80×30×12 m. On mesure le T_r temps de réverbération de cette salle et l'on trouve **3 secondes**.

Quel est la surface équivalente de fenêtres ouverte

Quels sont les coefficients d'absorption si celui du plafond est le double de celui des murs, le sol étant parfaitement réfléchissant ?

Pour améliorer l'acoustique on prend 36 panneaux rectangulaires de 3×4m de coefficient d'absorption $\alpha=0.5$

Quel est nouveau T_r ?

A votre avis à quels usages cette salle sera t'elle adaptée ?

5. Déterminer le temps de réverbération d'une salle de cours sachant que :

Dimensions de la salle en mètres **9×7×3m**

Revêtements

Plafond = plâtre + peinture lisse

Murs = plâtre + peinture floquée

Vitrage = 15m² ; Sol= dalles plastiques

On néglige la présence d'une porte

Mobilier 16 tables d'écoliers + 32 chaises

1 bureau de professeur + une chaise

Calculer le temps de réverbération dans le médium ?

a) avant correction acoustique *Salle non occupée * Salle occupée par 28 écoliers et le professeur

b) après correction acoustique portant sur le mur long qui a été recouvert d'une moquette murale et le plafond qui a été garni de panneaux absorbants de coefficient $\alpha=0.6$ -déterminer le temps de réverbération salle non occupée et salle occupée comme ci-dessus

Coefficient d'absorption (plâtre sur mur + peinture floquée : 0.035 ; plâtre sur mur +peinture lisse : 0.15 ; vitres : 0.03 ; sol plastique : 0.01 ; chaise en bois 0.01 ; table d'écolier 0.25 ; table de professeur 0.05 enfant : 0.35 ; adulte : 0.45).

5. Studio de l'opéra de répétition

Hauteur : 5,30 m

Largeur moyenne 10,60 m

Profondeur : 12,40 m

Studio de répétition du chœur

Situé au niveau -4, ce studio permet aux chanteurs du chœur de préparer musicalement les partitions d'opéra avant leur participation aux répétitions de mise en scène. Un traitement acoustique absorbant revêt les murs et le plafond, permettant aux chanteurs de chanter à pleine voix, comme s'ils étaient dans le même volume que celui de la grande salle

Mesures de temps de réverbération dans la grande salle de l'Opéra pour différentes fréquences

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000
Temps de réverbération (s)	1,07	1,02	0,91	0,84	0,72

Coefficient d'absorption α_i de quelques

	α_i					usage
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Parquet lamé	0,02	0,03	0,08	0,12	0,11	Sol
Plâtre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	
Aggloméré de liège	0,15	0,26	0,22	0,22	0,20	
Fibres de bois compressées 20 mm	0,15	0,44	0,44	0,44	0,53	
Tissu tendu sur ..	0,10	0,38	0,42	0,85	0,82	
Contreplaqué 5 mm	0,07	0,12	0,28	0,11	0,08	
Verre 3,5 mm	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	

matériaux pour différentes fréquences :

NB : Tessiture de la voix humaine

La tessiture est l'ensemble des notes qui peuvent être émises par une voix de façon homogène (même qualité de timbre et d'harmoniques). Ces tessitures sont nommées « basse », « baryton », « ténor », etc. selon le domaine de fréquences couvert par le chanteur ou la chanteuse. On pourra se référer au schéma ci-dessous.



Le sol de la salle de répétition du chœur est en parquet lamé.

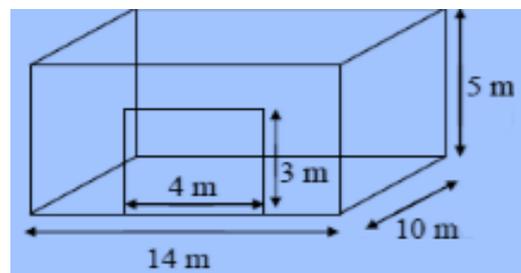
Quel(s) matériau(x) peut-on choisir, pour habiller les murs et le plafond, si l'on souhaite un temps de réverbération le plus proche possible de celui de la grande salle ? Le même matériau sera choisi pour recouvrir les murs et le plafond.

Donner les initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

V. Correction acoustique facteur d'absorption

1. L'étude d'aménagement de l'intérieur d'une cantine, pour l'ensemble de salles constituent la cantine. L'isolation vis-à-vis de l'extérieur est secondaire. Les contraintes proviennent essentiellement ici des émissions et propagations de bruits internes aux locaux. Selon la législation la durée de réverbération dans les locaux meublés non occupés doit être comprise entre 0.6 et 1.2 dans les intervalles d'octaves centrés sur 500, 1000, 2000Hz

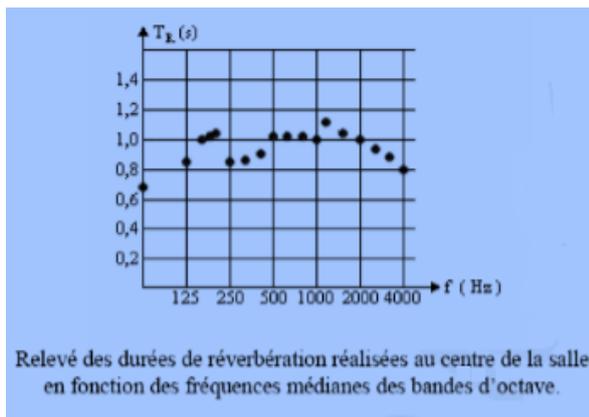
On s'intéresse à une des salles de restauration de grande volume .La porte d'entrée vitrée a une dimension de 3m par 4m . Les murs latéraux et le plafond sont en béton. Le sol est carrelé



Pour le cas où aucun aménagement acoustique n'a été réalisé calculer la durée de réverbération pour cette salle vide à 1KHz le cadre législatif est respecté ? On cherche à ramener le temps de réverbération à 1s à la fréquence de 1KHz pour ce faire, on décide de recouvrir une partie du plafond avec de la laine de roche Protisol

Matériau	Coefficient d'absorption
Béton	$\alpha_B = 0,03$
Carrelage	$\alpha_C = 0,04$
Vitre	$\alpha_V = 0,12$
Protisol	$\alpha_P = 1$

- a) Calculer la nouvelle valeur numérique de la surface d'absorption équivalente A'
- b) Exprimer A' en fonction des coefficients d'absorption et de différentes surfaces
- c) En déduire l'expression littérale S_p de la surface de plafond à traiter pour réaliser cette amélioration calculé sa valeur numérique
- d) L'entreprise chargée de la partie acoustique a réalisé des essais à la réception du chantier pour confirmer les calculs de bureau d'étude
- e) A l'aide du graphique ci-dessous peut-on dire que le cahier de charges législatives est respecté ?
- f) Les mesures ont été effectuées au sein d'un local vide. Que se passe-t-il une fois que l'on rajouté les tables et les chaises.



2. Après l'installation d'un système de climatisation, on réalise une étude acoustique d'un bureau. On considère que le bruit engendré par le soufflage de l'air est assimilable à une source sonore l'équipement aéraulique ne devra pas engendrer un niveau sonore global à l'intérieur du bureau supérieur à 35dB (A).

On mesure par Octave, la puissance acoustique de la source et le temps de réverbération au niveau du bureau

Fréquence f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau de puissance L_w (dB)	35	42	41	39	36	36
Temps de réverbération T_r (s)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4

Voici les données de départ, le volume du bureau est 30m³. L'expression du niveau de pression acoustique dans le cas d'un local clos avec réverbération est $L_p = L_w + 10 \log(4/A)$

L_p : niveau de pression en un point en dB

L_w : niveau de puissance en dB

A : aire d'absorption équivalente en m²

// Les valeurs des pondérations acoustiques par octave exprimées en dB (A) sont :

Fréquence f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération en A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+2	+1

- Donner la définition de la durée de réverbération utilisée dans la formule Sabine.
- Calculer le niveau global de puissance acoustique de la source en dB.
- Compléter le tableau ci-dessous puis calculer le niveau de pression acoustique global pondéré en dB(A) en un point du bureau.

F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_w (dB)	35	42	41	39	36	36
T_r (s)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
A (m ²)						
L_p (dB)						
Pondération en A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+2	+1
L_p (dB(A))						

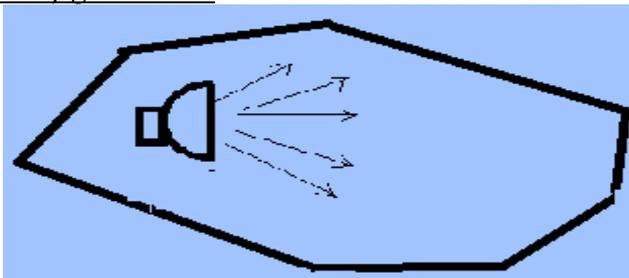
VI. Nature du matériau absorbant, Facteur de Transmission, l'isolation

1. La paroi de séparation d'une pièce avec l'extérieur est composée de 20% de vitrage et pour le reste d'un mur en briques. Le facteur de transmission acoustique des briques est $T = 4.3 \cdot 10^{-3}$. Le vitrage existant est composé de vitrages simples de 4.0 mm d'épaisseur et il conduit à un affaiblissement acoustique $R_v = 26$ dB(A).

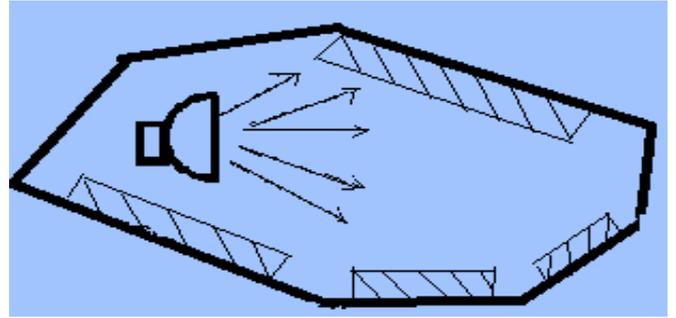
1. Quel est le facteur de transmission acoustique τ_v du vitrage ?
2. a) Exprimer le facteur de transmission acoustique total τ de la paroi composée en fonction des facteurs de transmission τ_v et τ_b de la surface S_b du mur en briques et de celle du vitrage S_v . b) Calculer τ ?
3. (a): Quel est l'affaiblissement acoustique total de la paroi? b) La réglementation indique pour l'isolation minimum aux bruits routiers extérieurs la valeur de 30dB(A). La pièce étudiée répond-elle à cette exigence ? c) Le changement du vitrage par en double vitrage feuillet de qualité maximum d'affaiblissement acoustique 38 dB(A) serait-il suffisant? Justifier la réponse par un calcul.
4. Mur de briques est recouvert d'un matériau dont les propriétés acoustiques permettront dans le cas d'un double vitrage d'atteindre l'isolation minimum réglementaire (30dB). Quel doit être le facteur de transmission τ_b de la partie non vitrée, On donne($R= 10\text{Log}1/\tau$).

2. A partir de mesures de temps de réverbération dans une chambre réverbérante dans deux configurations (1,2). On se propose de déterminer les coefficients d'absorption Sabine par bande 1/3 d'octave d'un panneau de laine de verre Ldv.

Configuration 1 : chambre réverbérante nue



Configuration 2: chambre réverbérante dont les parois sont recouvertes d'une surface S de panneaux de Ldv



Volume de la **chambre** réverbérante $V= 200\text{m}^3$ surface de parois de la chambre réverbérante $S= 200\text{m}^2$ surface de l'échantillon $S=12\text{m}^2$.

f(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
T_0	13.7	10.9	6.5	6.2	6.3	6.1	6	6.5	7.1
T_1	12.3	8.6	5	4.6	4.3	3.5	3.0	2.6	2.5
F(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
T_0	7.1	6.4	6.2	5.6	4.5	3.9	3.2	2.5	1.8
T_1	2.4	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.4	1.2

1. Déterminer le coefficient d'absorption du panneau de Ldv
2. Tracer la courbe de α en fonction de f.

3. 1) Dans un établissement scolaire, on dispose de deux salles neuves de dimensions $L=15\text{m}$; $l=10\text{m}$; $H=3.2\text{m}$. On procède à une mesure de réverbération T_r

1.1) On admet la formule de Sabine soit $T_r=0.16V/A$. Donner la signification de chacun des termes et préciser leur unité ?

1.2) la mesure donne $T_r = 2.2\text{s}$. En déduire la surface d'absorption équivalente de chacune de ces salles neuves.

2) On veut adopter une de ces salles en salle de concert et l'autre en salle de classe, on doit pour ce faire ramener le T_r à 0.5s pour l'une et 1.5 s pour l'autre.

2.1) Affecter les deux valeurs à chaque usage.

2.2) les murs sont recouvertes d'un matériau de coefficient d'absorption $\alpha_0 = 0.20$. Le plancher n'intervient pas dans le calcul. On recouvre le plafond avec un matériau de coefficient d'absorption α_1 pour amener le T_r d'une salle à la valeur 1.5 s. Calculer la valeur α_0 .

4. On étudie l'isolement acoustique entre deux locaux présentant un faux plafond commun (voir schéma)

1 /Calculer l'isolement global (en dB(A))entre les deux bureaux.

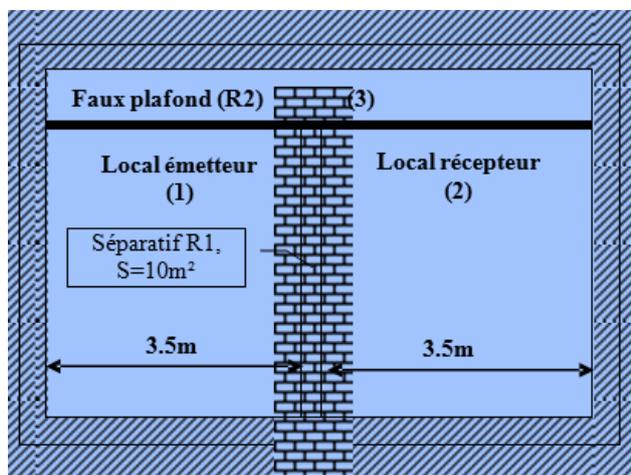
2 /un traitement acoustique de l'espace émetteur (1) ramène le T_r à 0,5 secondes, quelque soit la fréquence. Que devient l'isolement entre les deux bureaux ?

3 /Quelle solution constructive permettrait d'accroître de façon significative cet isolement.

Données

Local (1) et (2) identique, $V=35\text{m}^3$, $T_r=1\text{sec}$, $h=2,5\text{m}$ Volume au dessus du F.P. (3), aire d'absorption $A=2\text{m}^2$ Surface du séparatif, $S_{\text{sep}}=10\text{m}^2$

Indices d'affaiblissement et puissance de la source



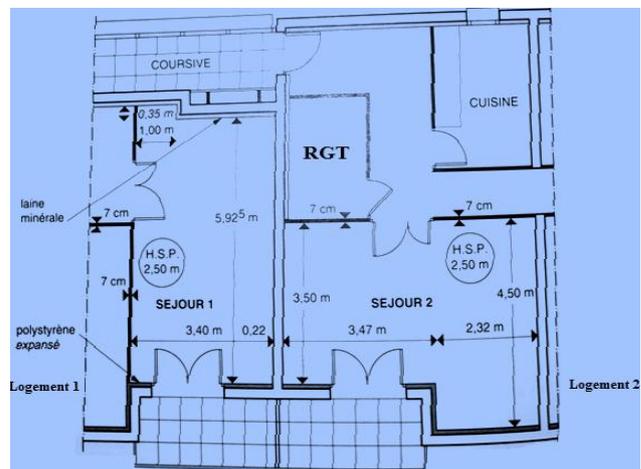
f	125	250	500	1000	2000	4000
Cloison R1	36	47	53	56	58	58
Faux plafond R2	10	13	12	15	17	20
Leq(dB)	70	65	60	60	55	48

VII. Indice d'affaiblissement des parois, loi de masse, Isolement

1. Supposons un mur en parpaings pleins de 20 cm d'épaisseur non enduits c'est-à-dire ayant d'après la loi de masse expérimentale, un indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} de 58 dB(A). Sa surface est de 10 m² et il présente un certain nombre de trous dus à un mauvais jointoiment d'une surface totale de 100 cm². Par définition l'indice R de ces

perçements est égal à 0dB(A). Quel est l'indice R résultant si on enduit ce mur en parpaing sur au moins une face. Les divers trous se trouvent bouchés et l'indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} suit à nouveau la loi de masse expérimentale c'est à dire qu'il est égal à 58dB(A) et se trouvent bouchés.

2. soit 2 pièces de séjour juxtaposées, les dimensions sont précisées sur la figure, le mur de façade est en parpaing creux de 20 cm enduit extérieurement, sur lequel est collé un complexe de doublage de 8 cm + 1 cm en polystyrène expansé et en plaques de plâtre. Le mur côté coursive est en parpaings creux doublé par un complexe de 8 cm + 1 cm en laine minérale et en plaque de plâtre les cloisons cotées 7 cm sont en plaques de plâtre sur une ossature métallique sans laine minérale. Quels sont les isolements entre les séjours?, si le bruit étant émis dans le séjour 2 et il est reçu dans le séjour 1 et puis le bruit étant émis dans le séjour 1 et il est reçu dans le séjour 2.



Figure

3. on considère les 2 pièces de séjour précédentes de la figure, comme étant superposées à des séjours identiques. Quel doit être l'épaisseur minimale du plancher en béton armé pour qu'entre séjours superposés, on respecte la réglementation

Matériaux	α à 1000 Hz
Isolnet	0,54
Baïsson	0,59
Acoustex	0,62
Absorbto	0,75
Anulson	0,80

C'est-à-dire un isolement minimal de 54 dB(A).

4. Sachant que la masse surfacique du verre est $\sigma_v = 7 \text{ kg/m}^2$, déterminer R_f l'indice d'affaiblissement acoustique de la fenêtre. En déduire τ_f le facteur de transmission de la fenêtre. Calculer l'isolement brut D_b de la chambre avec l'extérieur sachant que l'aire d'absorption équivalente de chambre a pour valeur $A = 14 \text{ m}^2$. Calculer le niveau acoustique dans la chambre.

Formules

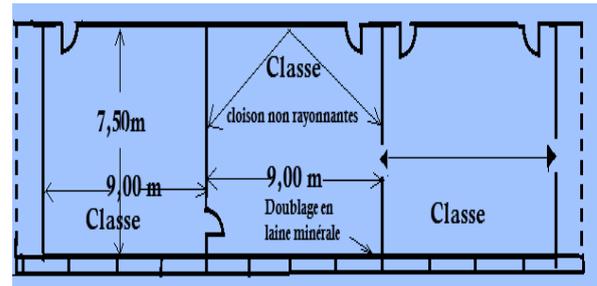
Loi de masse $R = 17 \text{Log} \sigma + 4$, si $\sigma < 150 \text{ kg/m}^2$

Loi de masse $R = 40 \text{Log} \sigma - 46$, si $\sigma > 150 \text{ kg/m}^2$

$N = 10 \text{Log} \frac{I}{I_0}$ avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

$R = 10 \text{Log} \frac{1}{\tau}$ $D_b = 10 \text{Log} \frac{A}{\sum_i \tau_i S_i}$

5. Soit trois classes juxtaposées de même dimensions $(9 \times 7,5 \times 3) \text{ m}^3$. La classe centrale est séparée d'une des classes voisines par une cloison sans porte et de l'autre classe voisine par une cloison ayant une porte de 2 m^2 (voir figure). En supposant les planchers haut et bas ainsi que les cloisons non rayonnants, en supposant également un doublage de façade réalisé avec un complexe en plaques de plâtre et en laine minimale de 8 cm d'épaisseur quel doit être l'indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} minimal de la paroi séparative pour respecter la réglementation? Valeur de l'isolement acoustique normalisé $D_{n,R,T}$ réglementaire sans porte de communication 44dB(A), avec porte de communication 42dB(A).



Figure

6. La paroi de séparation d'une pièce avec l'extérieur est composée de 20% de vitrage et pour le reste, d'un mur en briques. Le facteur de transmission acoustique des briques est $\tau_b = 4,3 \times 10^{-3}$. Le vitrage existant est composé de vitrages simples de 4mm d'épaisseur, et il conduit à un affaiblissement acoustique $R_v = 26 \text{ dB(A)}$

1. Quel est le facteur de transmission acoustique τ_v du vitrage ?

2. a) Exprimer le facteur de transmission acoustique total τ de la paroi composée, en fonction des facteurs de transmission τ_b et τ_v de la surface S_b du mur de briques et de celle du vitrage S

b) calculer τ

3. a) Quel est l'affaiblissement acoustique total de la paroi

b) la réglementation indique pour l'isolation minimum aux bruits routiers extérieurs la valeur de 30dB(A). La pièce étudiée répond-elle à cette exigence ?

c) le changement du vitrage par un double vitrage feuillet de qualité maximum d'affaiblissement acoustique 38dB(A) serait-il suffisant? Justifier la réponse par un calcul.

4. Mur de briques est recouvert d'un matériau dont les propriétés acoustiques permettront dans le cas d'un double vitrage, d'atteindre l'isolation minimum réglementaire (30dB(A)) ? quel doit être le facteur de transmission τ_b de la partie non vitrée ?

7. On désire corriger le niveau acoustique dans un local de dimensions suivantes : longueur $L = 10,00$ m ; largeur $l = 6,00$ m ; hauteur $h = 3,00$ m. Les ouvertures se composent de la façon suivante : 4 portes en bois de surface 3 m^2 chacune et 6 fenêtres de surface $3,50 \text{ m}^2$ chacune. Les sons sont étudiés à la fréquence de 1000 Hz . On donne les coefficients d'absorption α à la fréquence de 1000 Hz des matériaux revêtant les surfaces de ce local :

Revêtements	Mur en béton	Porte en bois	Plafond en plâtre	Sol en bois	Fenêtre en simple vitrage
Coefficient d'absorption α	0,03	0,09	0,04	0,07	0,12

1) Déterminer la surface d'absorption équivalente de la salle A pour le local étudié. Vérifier si l'on peut se placer dans l'hypothèse de Sabine. 2) Calculer le temps de réverbération du local RT_{60} .

Ce temps de réverbération est trop grand. On souhaite le corriger en le ramenant à : $RT_{60}' = 0,7 \text{ s}$. 3) Déterminer la nouvelle surface d'absorption équivalente A' . Peut-on toujours considérer que nous sommes dans l'hypothèse de Sabine ? 4) On effectue cette correction en recouvrant la totalité du plafond d'un matériau absorbant. Quel matériau, pris dans le tableau ci-dessous, faut-il choisir pour obtenir cette correction ?

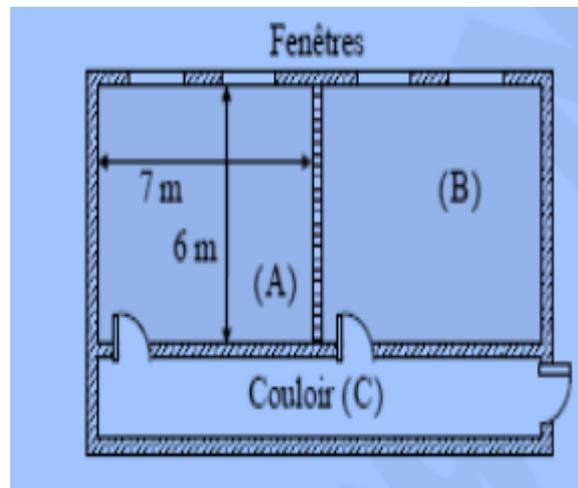
Les caractéristiques de la salle sont :
 Longueur $L = 10,00$ m ; Largeur $l = 6,00$ m
 Hauteur $H = 3,00$ m ; $S_{\text{totale}} = 216 \text{ m}^2$
 $V = 180 \text{ m}^3$

VIII. Examens

1) Deux salles de classe (A) et (B) identiques sont séparées par un mur homogène dont l'indice d'affaiblissement est de 48 dB à la fréquence de 500 Hz ; Ces deux salles ouvrent

sur un couloir de volume $V_c = 84 \text{ m}^3$. Les séparations entre (A) et (C) et entre (B) et (C) sont identiques et constituées de 26 m^2 de cloison d'indice d'affaiblissement 30 dB à 500 Hz et de 2 m^2 de porte d'indice d'affaiblissement 20 dB pour toutes les fréquences. Déterminer l'isolement brut entre les deux salles de classe à 500 Hz dans chacun des cas, quand les portes et fenêtres sont closes

1. Premier cas on ne s'intéresse qu'à la transmission directe du son de (A) vers (B) par exemple
2. Deuxième cas : on ne s'intéresse qu'à la transmission indirecte du son (A) -- (C) -- (B)



figure

Données :

Durées de réverbération

D'une salle de classe : $T_A = T_B = 1 \text{ s}$

Du couloir $T_c = 2 \text{ s}$, les trois locaux ont la même hauteur du plafond : 4 m

2) 1) Dans un établissement scolaire, on dispose de deux salles neuves de dimensions $L = 15 \text{ m}$; $l = 10 \text{ m}$; $H = 3,2 \text{ m}$.

On procède à une mesure du temps de réverbération T_R .

1.1) On admet la formule de Sabine soit $T_R = 0,16 \cdot V/A$

Donner la signification de chacun des termes et préciser leur unité.

1.2) La mesure donne $T_R = 2,2 \text{ s}$. En déduire la surface d'absorption équivalente de chacune de ces salles neuves.

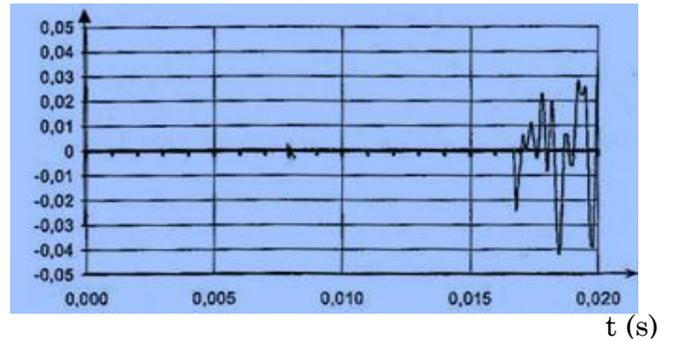
2) On veut adapter une de ces salles en salle de concert et l'autre en salle de classe. On

doit, pour ce faire, ramener le T_R à 0,5 s pour l'une, et 1,5 s pour l'autre.

2.1) Affecter les deux valeurs à chaque usage.

2.2) Les murs sont recouverts d'un matériau de coefficient d'absorption $\alpha_0 = 0,20$. Le plancher n'intervient pas dans le calcul. On recouvre le plafond avec un matériau de coefficient d'absorption α_1 pour amener le T_R d'une salle à la valeur 1,5 s. Calculer la valeur de α_1 .

3) Première méthode : Trois microphones M_1 , M_2 et M_3 sont alignés de telle manière que les distances M_1M_2 et M_2M_3 valent respectivement 2,00 m et 3,00 m. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Salim donne un coup de cymbale devant le premier micro M_1 puis lance immédiatement l'enregistrement. La température de la pièce est de 18°C. Les courbes obtenues sont représentées ci-après.



2.1. Comment peut-on déterminer la célérité de l'onde sonore à l'aide des courbes obtenues ?

2.2. Effectuer le calcul de la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2 puis pour la distance M_2M_3 .

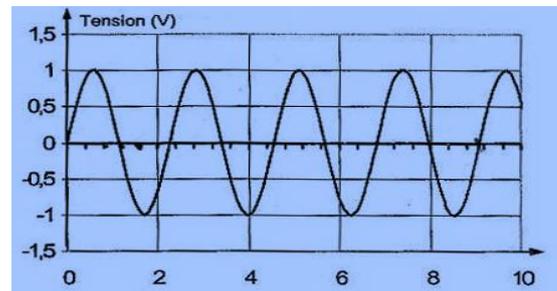
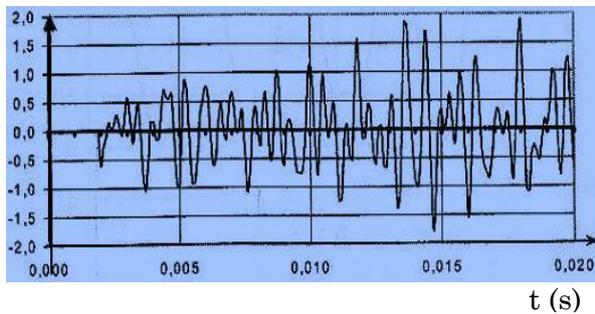
2.3. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ?

3. deuxième méthode.

Deux microphones M_1 et M_2 disposent à la même distance d d'un diapason. Il obtient les courbes représentées ci-dessous. On remarque que les signaux sont en phase.

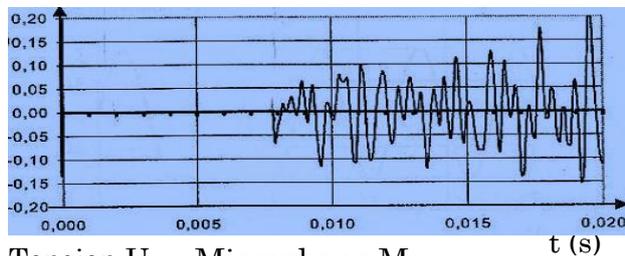
Tension U

Microphone M_1

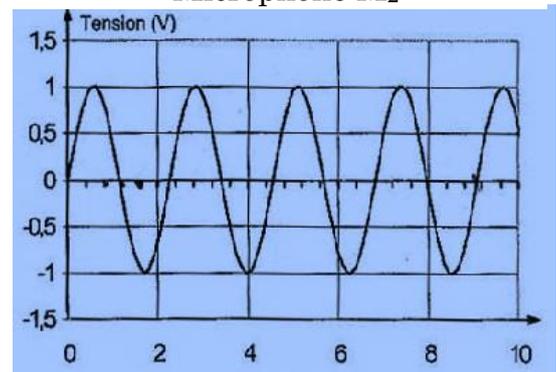


Microphone M_2

Tension U Microphone M_2



Tension U Microphone M_3



3.1. Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Salim éloigne le microphone M_2 peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à

nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

3.2. Pourquoi compte-t-on plusieurs retours de phase plutôt qu'un seul ?

3.3. Définir la longueur d'onde. Déduire sa valeur numérique de l'expérience précédente.

3.4. Calculer alors la célérité de l'onde.

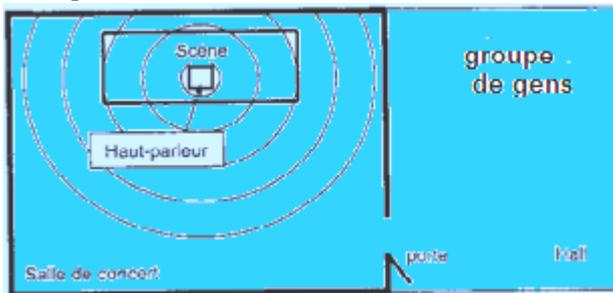
3.5. D'après les résultats expérimentaux obtenus aux questions 3.4. et 2.2, le milieu de propagation des ondes sonores est-il dispersif ?

4. (Autre propriété des ondes sonores).

Lors d'un concert donné dans une salle, des gens arrivés un peu retard s'étonnent d'entendre de la musique alors qu'ils sont encore dans le hall et donc séparés de la scène par un mur très bien isolé phoniquement. Ils remarquent cependant que la porte, d'une largeur de 1,00 m, est ouverte. La situation est représentée sur le schéma ci-dessous.

4.1. Quel phénomène physique permet d'expliquer l'observation faite par les gens ?

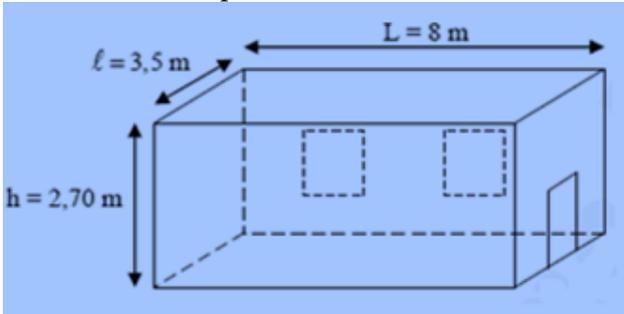
4.2. Les gens ont-ils entendu préférentiellement dans le hall des sons graves ($f = 100$ Hz) ou des sons très aigus ($f = 10000$ Hz) ? Justifier la réponse en calculant les longueurs d'onde correspondantes.



Figure

4) examen final ENP Oran 2019 Algérie

I. Données de la pièce



Murs : parpaing creux : épaisseur $e_1 = 0,20$ m
Isolation des murs polystyrène épaisseur $e_2 = 0,05$

Plafond et plancher : Béton plein sans isolation

Fenêtres Double vitrage sur menuiserie bois surface $S_2 : 5$ m²

Pour simplifier l'étude on négligera la présence de mobilier. On donne les coefficients d'absorption des divers éléments Plafond, sol, murs, porte fermée : $\alpha_1 = 0,5$

Fenêtres fermées $\alpha_2 = 0,4$

1. a) Calculer le temps de réverbération T_r pour cette salle de séjour, fenêtre fermées

b) que pensez-vous de ce temps de réverbération, sachant ce temps ne doit pas dépasser 0,5 s dans un local

c) lorsqu'on ouvre la fenêtre, la valeur de T augmente t'elle ou diminue t'elle.

2. On donne la courbe de l'isolement acoustique brut au sol en béton plein à $f = 400$ Hz, sur la figure.

a) Que vaut l'isolement acoustique brut du sol en béton d'épaisseur $e = 0,11$ m. On donne la masse volumique du béton $\rho = 2300$ kg.m⁻³

b) Sachant que la nouvelle réglementation impose un isolement acoustique brut de 51 dB(A), quel devrait être l'épaisseur de béton du sol ?

3. On donne ici que la relation s'écrit $R_b \approx 19 \log \sigma - 1$. La loi des masses théorique est elle vérifiée ? (choisir deux valeurs du graphe)

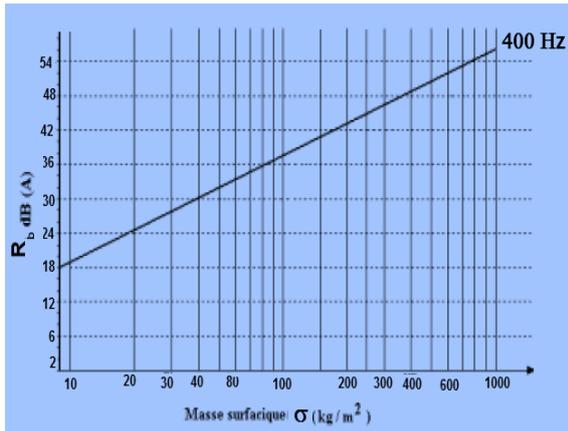
4. Après travaux, le sol en béton est désormais conforme aux normes, ceci pour une fréquence $f = 400$ Hz

a) En appliquant la loi des fréquences, quels seront les isolements acoustiques bruts pour les fréquences suivantes $f_1 = 800$ Hz $f_2 = 6400$ Hz $f_3 = 25$ Hz

La loi des fréquences se traduit par une relation linéaire particulière entre l'indice d'affaiblissement d'une paroi et la fréquence de l'onde sonore

$$R_b = 20 \log f + C_{te}$$

Utilisez $f = 400$ Hz comme paramètre intermédiaire dans ce calcul. Données : temps de réverbération $T = 0,16 \times \frac{V}{A}$



Figure

II. Une source sonore de puissance acoustique $5 \cdot 10^{-2}$ W émet dans un local un son de fréquence $f = 1000$ Hz.

1. Déterminer le niveau de puissance L_w de cette source.
2. En supposant cette source omnidirectionnelle et ponctuelle, déterminer le niveau d'intensité L_I en un point M situé à 5 mètres de cette source. On se placera dans l'hypothèse du champ direct.
3. A quelle distance de la source le niveau d'intensité est-il inférieur de 6 dB à celui déterminé au point M ?
4. Ce local présente un temps de réverbération $T_R = 1,5$ s. Ses dimensions sont longueur $L = 20$ m; largeur $l = 10$ m; hauteur $h = 3$ m.
 - 4.1. Déterminer l'aire équivalente d'absorption A_1 de ce local.
 - 4.2. En déduire le coefficient moyen d'absorption α_1 .
 - 4.3. Calculer l'aire d'absorption équivalente A_2 du sol.
 - 4.4. Calculer le niveau de pression L_P en un point du local situé assez loin de la source pour n'avoir à tenir compte que de la réverbération.
5. On recouvre le plafond et les murs du local d'un matériau acoustique de coefficient d'absorption α de façon à abaisser le niveau

de pression à la valeur $L_P = 90$ dB. Choisir, parmi les 3 matériaux suivants, le plus adapté en justifiant le choix par un calcul :

Plâtre : $\alpha = 0,03$; plâtre acoustique : $\alpha = 0,47$; laine de roche : $\alpha = 0,44$

Données : $W_0 = 10^{-12}$ W et $I_0 = 10^{-12}$ W.m⁻² (valeurs de référence à 1000 Hz), $L_w = 10 \log(W/W_0)$

Champ direct : $I_d = W / (4\pi r^2)$ champ réverbéré :
 $L_P = L_w + 6 - 10 \log A$

Formule de Sabine : $T_R = 0,16 V/A$ où V est le volume du local

5) Examen final ENP Oran 2020

I) Étude de cas: Analyse statistique de l'acoustique de la salle SP101.

École Nationale Polytechnique d'Oran, ENPO, dispose d'une salle SP101 pour cours de dimensions approximatives, $L = 15,13$ m ; $l = 9,74$ m ; $SP(H) = 2,7$ m. (Voir Annexe 2). Les sons sont étudiés à la fréquence de 1000 Hz.

On donne:

La vitesse de propagation du son dans l'air à 20°C, $V = 340$ m/s

Les seuils d'audibilité à 1000 Hz, $I_0 = 10^{-12}$ W/m², $P_0 = 2 \times 10^{-3}$ Pa, $W_0 = 10^{-12}$ Watt.

I.1) Déterminer et calculer la période T et la longueur d'onde λ des sons étudiés.

a) On mesure à l'aide d'un sonomètre différentes positions de réceptions. La source sonore est une sonnerie d'un téléphone portable de niveau sonore $L_p \sim 62$ dBA placée sur le bureau du professeur considéré comme position d'origine pour la source ($X=1, Y=1, Z=1$). Cette dernière est installée dans un angle dièdre, elle rayonne dans un quart de sphère, où $Q = 4$; l'expression du niveau de pression acoustique dans l'éventualité d'un local clos avec réverbération et dans le cas des lois de Sabine, est

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log(4/A)$$

L_p est le niveau de pression acoustique en un point en dB.

L_w est le niveau de puissance acoustique en dB/ $L_w = 10 \log_{10} W / W_0$

A est l'aire d'absorption équivalente en m².

On mesure L_p directement pour diverses positions à partir de la source pour avoir la réponse, le sonomètre courant est menu de deux options:

-Option A correspondant à la réponse de l'oreille

-Option C correspondant à la réponse du plâtre

Nous avons opté pour nos mesures l'option A, les données sont sur le tableau de l'annexe 1

On donne aussi les différentes surfaces en fonction du revêtement à 1000Hz:

I.2) Exprimez les expressions des aires de la salle et calculez les,

Revêtements	Mur en béton	Plafond en plâtre	Sol en Carrelages	Fenêtre en simple vitrage
Coefficient d'absorption α	0.03	0.04	0.01	0.12
Expressions et calculs des surfaces S_i (m ²)				
Calculs des aires A_i (m ²)				
Expression et Résultat de l'aire équivalent A de la salle	$S_T =$	$A_{eq} =$		

I.3) Complétez le tableau pour différentes positions.

Position	L_w (.....)	W (.....)	Position	L_w (.....)	W (.....)
1			8		
2			9		
3			10		
4			11		
5			12		
6			13		
7			14		

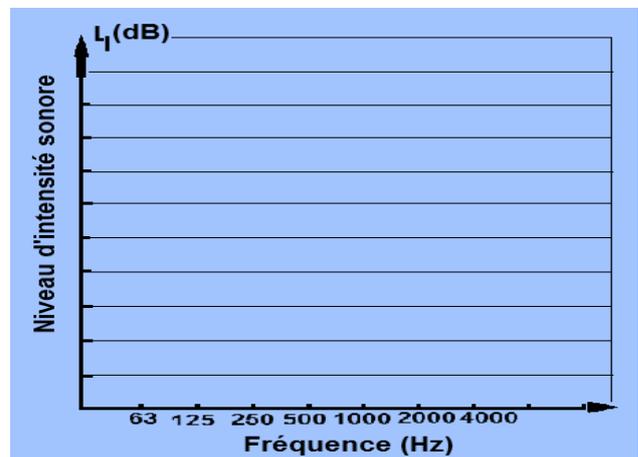
I.4) Sachant que le coefficient d'absorption moyen de la salle souhaité est: $\alpha = \frac{A}{S_{Total}}$, où,

les relations de Sabine peuvent s'appliquer à condition que le coefficient doit être strictement inférieure à 0.2 est -elle Vérifiable l'application de la loi de Sabine dans notre cas, justifier votre réponse?.

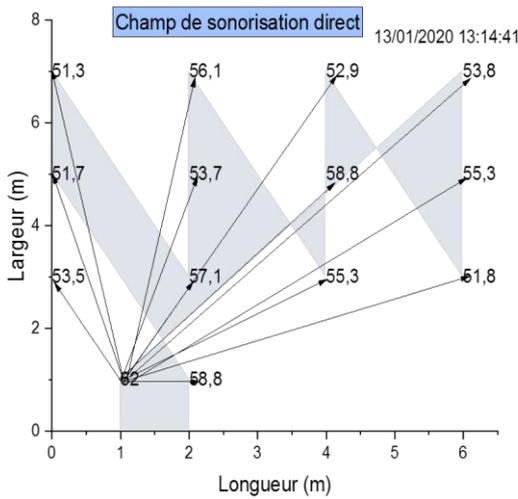
I.5) Calculer les différences $|L_{p3}-L_{p2}|$; $|L_{p6}-L_{p5}|$; $|L_{p7}-L_{p6}|$, sachant que la tolérance de notre sonomètre est ± 2 dB.

I.6) Théoriquement, le niveau d'intensité L_I pour un bruit blanc, croit à raison de 3dB par bande d'octave, complétez le tableau suivant et présentez le spectre d'octave puis, tracez l'allure du graphe

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau d'intensité (dB)							
Pondération en A	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1
Niveau pondéré dB(A)							



I.7) Calculez le niveau équivalent L_{Ieq} en dB et en dB(A) pour notre source



I.8) Déterminez respectivement sur le tableau suivant, les valeurs directes et réfléchies des intensités I_d , I_r ainsi que les puissances W sur différents points de réception R: 1,2,.....13, (voir tableau), on donne $I_d = \frac{QW}{4\pi R^2}$; $I_r = \frac{4W}{\hat{R}}$ où \hat{R} est la constante de local $\hat{R} = \frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ tels que: S_t surface totale des parois , $\bar{\alpha}$ Coefficient d'absorption moyen. La puissance absorbée est $W_{abs} = \bar{\alpha}W$, la puissance réfléchie est $W_r = (1 - \bar{\alpha})W$

Réception R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13
I_d												
I_r												
W_{abs}												
W_r												
$\hat{R} =$												

On admet que la formule de Sabine est :

$$T = 0,16 V/A$$

I.9) Que signifie ce temps et donner la sens de chacun des termes et préciser leur unité.

I.10) On procède à une mesure du temps de réverbération T_R dans les cas suivants , A) salle SP101 nue ; B) salle en présence des tables et des chaises , sachant que le coefficient d'absorption respectivement des chaises et tables est 0.01 , 0.25 ainsi que la

bureau d'enseignant est de 0.5; C) calculer ce temps de réverbération en présence des étudiants et leur enseignant sachant que le nombre des étudiants est de 90 et le coefficient d'absorption d'un adulte est de 0.45.

I.11) donnez l'évolution du temps de réverbération ?, donnez la catégorie de cette salle (sourde (sèche), réverbérant)

I.12) Déterminez, le niveau sonore L_p dans la salle SP02 (salle réception) sachant que le niveau sonore du mur adjacent à cette dernière est de 51.1 dB(A) (salle d'émission). Le facteur de transmission d'un mur en briques est de $t=4.3 \cdot 10^{-3}$.

I.13) Déterminez les niveaux de sonorisation de réception à l'extérieur des les trois murs et les vitres de cette salle d'émission, si on suppose que les murs des façades ont même nature que celui de la question (I.12), on a les niveaux de pression mesurés sont respectivement pour: les murs (53.6; 52.2 ; 56,1) dB(A), et les vitres: 58dB(A)

II) Correction et traitement acoustique

Le traitement acoustique d'une salle consiste à lui donner la forme et une durée de réverbération optimale , favorable pour une bonne diffusion et l'écoute source

A.1) Cas de durée de réverbération optimale: en mettant en œuvre sur les parois de la salle des matériaux de coefficient d'absorption appropriés

Pour la salle nue $T_{r1} = \frac{0,161V}{S_t \cdot \alpha_i}$

Pour la salle en partie recouverte du matériau étudié $T_{r1} = \frac{0,161V}{(S_t - S_m) \alpha_i + S_m \alpha_2}$

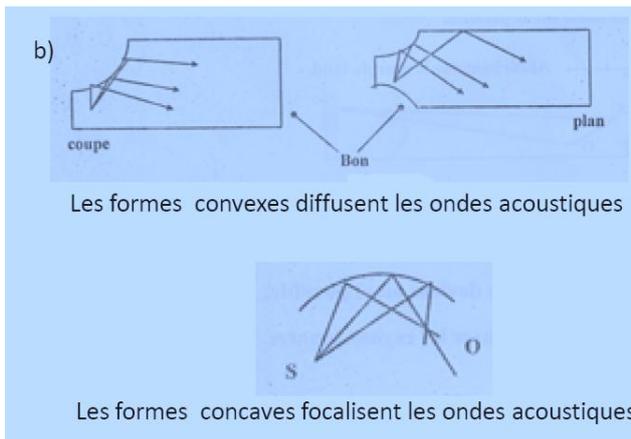
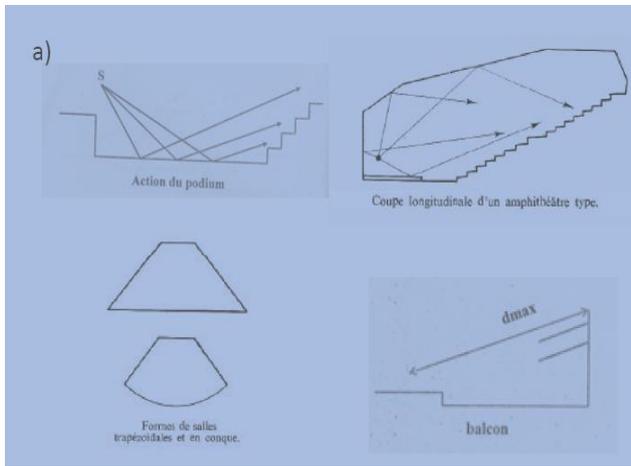
le coefficient de Sabine du matériau. $\alpha_s = \alpha_i + \frac{0,161V}{S_m} \left(\frac{1}{T_{r1}} - \frac{1}{T_{r2}} \right)$

II.1) Question: Déterminez le facteur d'absorption α_s et faire le choix sur le matériau et le mur approprié

a) Les matériaux fibreux sont constitués de pores ouverts : laines de verre, feutres, moquettes, mousses, Ils absorbent préférentiellement aux fréquences élevées (2000 à 4000 Hz)

b) Les panneaux fléchissant: absorbent essentiellement aux faibles fréquences (125 à 500 Hz)

A.2) Acoustique géométrique (forme de local): c'est d'obtenir une énergie suffisante en tout point d'écoute (distribution homogène que possible du champ acoustique).

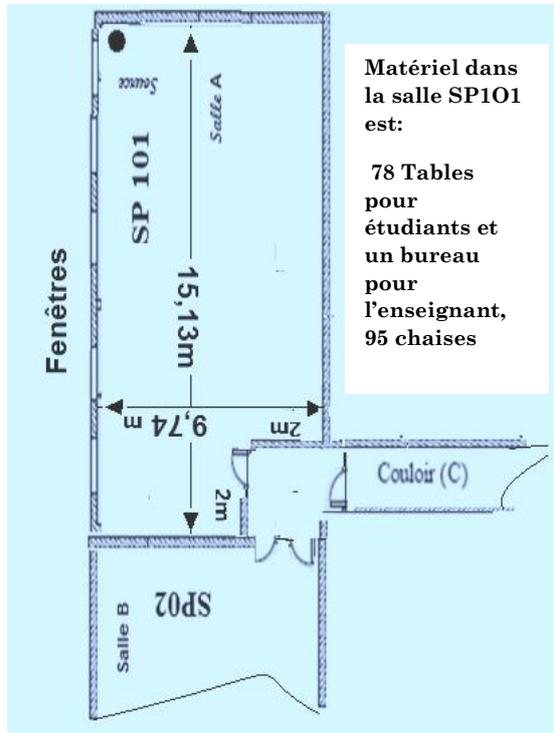


II.1) Quelle forme appropriée à aménager dans cette salle pour son acoustique, donnez la solution suggérée pour améliorer l'acoustique de cette salle, et pourquoi vous avez opté pour ce choix, en présentant ceci par un cahier de charges.

**Annexe 1 :
Tableau de valeurs enregistrées par le sonomètre dans la salle SP101**

Position	X(m)	y(m)	X-X0 (m)	Y-Y0 (m)	(X-X0) ² (m ²)	(Y-Y0) ² (m ²)	R ² (m ²)	Distance (m)	niveau Lp (dBA)
1	2	1	1	0	1	0	1	1	58.8
2	0	5	0	4	0	16	16	4	51.7
3	0	3	0	2	0	4	4	2	53.5
4	0	7	0	6	0	36	36	6	51.3
5	2	3	1	2	1	4	5	2,23606798	57.1
6	2	5	1	4	1	16	17	4,12310563	53.7
7	2	7	1	6	1	36	37	6,08276253	56.1
8	4	3	3	2	9	4	13	3,60555128	55.3
9	4	5	3	4	9	16	25	5	58.8
10	4	7	3	6	9	36	45	6,70820393	52.9
11	6	3	5	2	25	4	29	5,38516481	51.8
12	6	5	5	4	25	16	41	6,40312424	55.3
13	6	7	5	6	25	36	61	7,81024968	53.8
14	1	1	0	0	0	0	0	0	62

**Annexe 2 :
Plan de la salle SP101**



Solutions

I. Caractéristiques des ondes sonores

Exercice N°1

La vitesse du son, ou célérité du son, est la vitesse de propagation des ondes sonores dans tous les milieux gazeux, liquides ou solides. Elle peut donc être déterminée pour des matériaux autres que l'air, dans lesquels le son ne peut être perçu par l'oreille humaine. À 0 °C (32 °F), la vitesse de son dans l'air est autour de 331 m/s, d'où la vitesse du son à température 25°C s'écrit en fonction de la racine de la température donnée en degré kelvin, alors,

$$V = 331m/s \sqrt{1 + (T/273)} \quad (\text{I.1.1})$$

$$V = 331m/s \sqrt{1 + (25/273)} = 345.8m/s \quad (\text{I.1.2})$$

Exercice N°2

La longueur d'onde sonore est une vibration qui appartient à la catégorie des ondes mécaniques longitudinales. Elle se propage grâce aux particules de matière de son milieu en créant des zones de compression et de raréfaction, Calculons la longueur d'onde produite d'un diapason (tuning fork) de fréquence 500 Hz quand la température est de 20°C. Nous avons f=500Hz, T=20°C, déterminons d'abord la vitesse de son par la relation de l'exercice N°1,

$$V = 331m/s \sqrt{1 + (20/273)} = 342.9 m/s \quad (\text{I.2.1})$$

La relation liant la vitesse à la longueur d'onde s'écrit,

$$V = \lambda f$$

$$\lambda = V/f \quad (\text{I.2.2})$$

$$= 343/500 \approx 0.7m \quad \text{d'où la longueur d'onde } \lambda = 0.7m$$

Exercice N° 3

Une onde sphérique est une onde dont les fronts d'onde sont des sphères. Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la propagation de l'onde est donnée par l'équation d'onde en coordonnées sphériques

Soit dans notre exercice une onde sonore sphérique produite par un narrateur de puissance $P=200$ W, l'intensité I de sonorisation de ce narrateur à une distance de $r=5m$, la relation est donnée par l'expression suivante

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (\text{I.3.1})$$

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{200}{4 \times 3.14 \times 25}$$

$$I=0.64 \text{ W/m}^2$$

Exercice N° 4

L'intensité sonore est la puissance portée par les ondes mécaniques qui produisent le son dans l'air, le fluide ou tout autre milieu dans lequel le son est transmis. L'intensité est mesurée par unité de surface dans une direction perpendiculaire à cette surface avec des unités de watts par mètre carré. Alors l'intensité en deux de distances différentes n'est pas constante mais est une relation de la distance, en comparant deux points différents de distance, nous réalisons cette relation déduite de l'expression de l'exercice N°3 ,

Sachant que $r_1 = 4m, r_2 = 12m$ et $I_1 = 0.4 \text{ W/m}^2$

$$I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2 \quad (\text{I.4.1})$$

$$I_2 = \frac{I_1 r_1^2}{r_2^2}$$

$$I_2 = 0.4 \times \frac{4^2}{12^2} = 0.44 \text{ W/m}^2$$

Exercice N° 5

Une source sonore émet un son de Puissance $P=500$ Watt à une distance de 20m de l'orateur, l'onde sonore est sphérique

L'intensité de sonore se calcule par $I = \frac{P}{4\pi r^2}$ (I.5.1)

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{500}{4 \times 3.14 \times 20^2} = 0.1 \text{ W/m}^2$$

Le niveau d'intensité sonore $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{0.1}{10^{-12}} \right) \text{ dB} = 110 \text{ dB}$ (I.5.2)

Exercice N° 6

1. Relation entre l'intensité sonore I et la distance d :

L'intensité sonore I diminue en fonction de la distance d à la source. La formule qui relie ces deux grandeurs est donnée par :

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (\text{I.6.1})$$

2. Expression de I en fonction de P et d :

D'après la formule mentionnée, l'intensité sonore I peut être exprimée comme suit :

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (\text{I.6.2})$$

3. Unité de mesure de l'intensité sonore

L'unité de mesure de l'intensité sonore I est le Watt par mètre carré (W/m^2).

Exercice N° 7

L'intensité I d'un instrument de musique qui émet une note de niveau d'intensité $L=60\text{dB}$,

Sachant que $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = L = 10\log\left(\frac{I}{0,1 \times 10^{-12}}\right)$ (I.7.1)

$$10 \log\left(\frac{I}{0,1 \times 10^{-12}}\right) = 60\text{dB}$$

$$\text{Log}\left(\frac{I}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = \frac{60}{10} = 6,0$$

Il faut alors isoler I en le sortant du logarithme. On utilise la fonction réciproque 10^x qu'on applique à gauche et à droite du signe « = » afin de conserver l'égalité

$$10^{6,0} = 10^{\log\left(\frac{I}{1,0 \cdot 10^{-12}}\right)}$$

$$10^{6,0} = \frac{I}{1,0 \cdot 10^{-12}}$$

$$I = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}$$

Exercice N° 8

Un instrument de musique qui peut émettre un son « sol », cette note de niveau sonore $L=60\text{dB}$. On peut déduire la formule suivante de l'exercice précédent

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \quad (\text{I.8.1})$$

NB : $\log(A \times B) = \log(A) + \log(B)$ ET $\text{Log}(4) = 0,602$

Pour un seul instrument de musique, nous avons déjà calculé l'intensité sonore

$$I=1,0 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}$$

Pour maintenant 4 instruments ensemble vont produire une intensité sonore 4 fois plus importante

$$\text{donc } I=4,0 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}$$

On peut alors calculer le nouveau niveau d'intensité correspondant

$$L = 10 \text{Log} \left(\frac{I}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 10 \text{Log} \left(\frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 10 \log(4,0 \cdot 10^6) \quad (\text{I.8.2})$$

$$L = 10 \times 0,602 + 10 \times 6$$

$$L = 6,02 + 60 = 66,2 \text{ dB}$$

Avec deux chiffres significatifs **L=66dB**

Exercice N° 9

Le niveau sonore d'une conversation d'intensité est donné par $10^4 I_0$, on sait que le niveau d'intensité sonore est

$$L_I = 10 \text{Log} \left(\frac{I}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = \quad (\text{I.9.1})$$

$$10 \text{Log} \left(\frac{10^4 I_0}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = \\ = 40 \text{ dB}$$

→ Déterminez $\frac{I}{I_0}$ si, $L_I = 120 \text{ dB}$

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 120 \text{ dB} \iff \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 12$$

$$\text{D'où } \frac{I}{I_0} = 10^{12}$$

Exercice N° 10

1-On a une puissance $P=15\text{W}$, calculons l'intensité sonore à 20m

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{15}{4 \times 3,14 \times 20^2} = 2,9310^{-3} \approx 310^{-3} \text{ W/m}^2 \quad (\text{I.10.1})$$

2- le niveau d'intensité sonore

$$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{310^{-3}}{10^{-12}} \right) = 95 \text{ dB}$$

3- calculons la distance pour que $L_I=50\text{dB}$

$$50 = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) \rightarrow I = 10^5 10^{-12} \rightarrow I = 10^{-7} \text{W/m}^2$$

4- En utilisant la relation suivante

$$I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2 \rightarrow r_2^2 = \frac{I_1 r_1^2}{I_2} \quad (\text{I.10.2})$$

$$r_2^2 = \frac{310^{-3} 20^2}{10^{-7}} \rightarrow r_2 = \mathbf{3453m}$$

Exercice N° 11

Le Calcul L_{eq} (niveau sonore équivalent) ou $L(A)_{eq}$, pour caractériser une nuisance due à une exposition de durée importante à un bruit variable dans le temps est défini par

1. Calcul du niveau équivalent (L_{eq}) pour une durée de 40 secondes

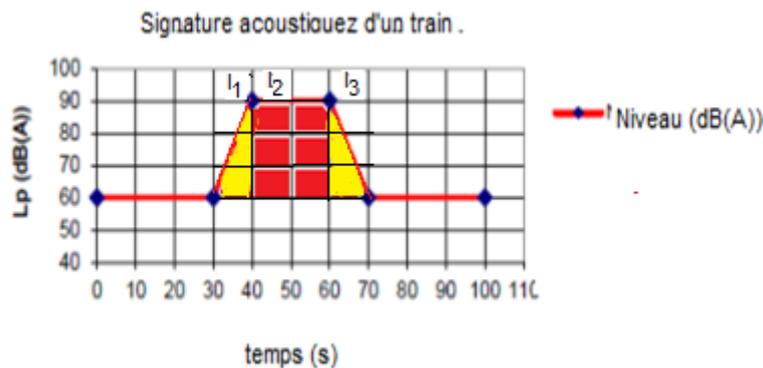
Le niveau équivalent (L_{eq}) est une mesure de l'énergie acoustique moyenne sur une période donnée. Pour le calculer, nous utilisons la formule suivante :

$$L_{eq} = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) \quad (\text{I.11.1})$$

où (T) est la durée d'observation (40 secondes dans ce cas) et ($L_p(t)$) est le niveau de pression sonore instantané en dB(A). La quantité se mesure directement avec un sonomètre adapté (difficile de connaître son équation), pour cela il est nécessaire de recomposer un niveau équivalent sur une période à partir des L_{eq} sur les intervalles successifs associés à la période

$$L_{eq}(dB) = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{T} \sum 10^{\frac{L_i}{10}} * \Delta T_i \right] \quad (\text{I.11.2})$$

Calculons le niveau équivalent (L_{eq}) pour une durée de 40s d'un passage de train (bruit routier)



$$L_{eq}(T) = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \left(\underbrace{\int_0^{t_1} 10^{\frac{L_{P1}(t)}{10}} dt}_{I_1} + \underbrace{\int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{P2}(t)}{10}} dt}_{I_2} + \underbrace{\int_{t_2}^T 10^{\frac{L_{P3}(t)}{10}} dt}_{I_3} \right) \right\} \quad (I.11.3)$$

Par symétrie $I_1 = I_3$ les deux signaux développent la même énergie

$$L_p(t) = at + b ; t = 0 \rightarrow L_p(t) = 60 = b$$

$$t = 10 \rightarrow L_p(t) = 90 = 10a + b \rightarrow a = 3$$

$$L_p(t) = 3t + 60 \text{ d'où}$$

$$I_1 = \int_0^{10} 10^{0,3t+6} dt = 10^6 \int_0^{10} e^{0,3Ln10t} dt \text{ soit}$$

$$I_1 = 10^6 \left[\frac{e^{0,3Ln10t}}{0,3Ln10t} \right]_0^{10} = 1,510^9 = I_3$$

$$\begin{aligned} L_{eq}(T) &= 10 \log \left\{ \frac{1}{T} (2I_1 + \int_{10}^{20} 10^{\frac{90}{10}} dt) \right\} = 10 \log \left\{ \frac{1}{40} (2 \times 1,510^9 + 10 \times 10^9) \right\} \\ &= 10 \log(0,3310^9) = 85,2 \text{ dB} \end{aligned}$$

2- Pour calculer le Leq sur une heure pour un seul passage de train, nous devons prendre en compte la durée du passage du train par rapport à l'heure entière. La formule est similaire, mais nous devons ajuster pour la période d'une heure :

$$L_{eq}(1h) = 10 \log \left(\frac{1}{3600} \left\{ T \times 10^{\frac{L_{eq}(40s)}{10}} + (3600 - T) \times 10^{\frac{L(\text{background})}{10}} \right\} \right) \quad (I.11.4)$$

où $L_{eq}(40s)$ est le niveau équivalent calculé pour les 40 secondes, et ($L_{\text{background}}$) est le niveau de bruit de fond pendant le reste de l'heure.

Le niveau équivalent $L_{eq}(1h)$ pour passage d'un seul convoi, soit le niveau de bruit de fond du train L_{p_i}

$$L_{eq}(1h) = 10 \log \left(\frac{1}{3600} \left\{ 40 \times 10^{\frac{L_{eq}(40s)}{10}} + 3560 \times 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right\} \right)$$

3- même réponse s'il y'a 10 passages de trains dans une heure

$$L_{eq}(1h) = 10 \log\left(\frac{1}{3600} \left\{ 400 \times 10^{\frac{L_{eq}(40s)}{10}} + 3200 \times 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right\}\right)$$

Exercice N° 12

L'intensité d'un marteau piqueur à 115dB, nous avons le niveau d'intensité L s'écrit

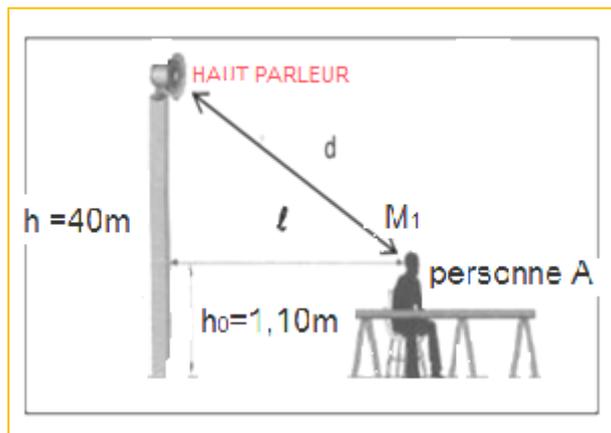
$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 115 \text{dB} \iff \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = 1,15 \quad (\text{I.12.1})$$

$$\text{D'où } \frac{I}{I_0} = 10^{1,15} \text{ sachant que } I_0 = 10^{-12}$$

$$\text{D'où } I = 0,32 \cdot 10^{-12}$$

Représente 1/3 du seuil donc on est proche du seuil de douleur

Exercice N° 13



La personne A reçoit des ondes sonores de haut parleur comme des ondes sphériques, alors on applique la loi suivante

$$I = \frac{P}{S}, \quad (\text{I.13.1})$$

tels que P puissance, S surface de la sphère onde, dans ce cas $S = 4\pi d^2$, d : distance qui sépare la source de la personne (émetteur-récepteur), on pose $H_p - M_1 = d$

$$\text{D'après le théorème de Pythagore } d^2 = (h - h^0)^2 + l^2 \quad (\text{I.13.2})$$

$$\text{D'où l'intensité de la source } I = \frac{P}{S} \rightarrow I = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{P}{4\pi (h - h^0)^2 + l^2} \dots \dots \dots (\text{I.13.3})$$

Pour que la musique devient imperceptible, Il faut que $L_{\text{musique}} < L_{\text{conv}} - 10\text{dB} = 60\text{dB}$

Calcul de l'intensité acoustique I_{max} correspondant à notre choix 60dB

$$L = 10 \text{ Log} \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ donc } \text{Log} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \frac{L}{10}$$

$$\rightarrow I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \dots \dots \dots \quad (I.13.4)$$

En comparaison $\frac{P}{4\pi(h-h^0)^2+l^2} = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$, on déduit $(h-h^0)^2+l^2 = \frac{P}{4\pi I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}} \rightarrow l^2 \sim 42$ (I.13.5)

$$l = \sqrt{42} \rightarrow l \geq 6,5m$$

Puisque $l_{\min} = 6,5m$ et le triangle faisant un angle de 60° donc on trouve d égale à $\cos 60^\circ = \frac{l}{d} \rightarrow$

$$d = \frac{l}{\cos 60^\circ} \quad (I.13.6)$$

L'intensité sonore sera alors $I = \frac{P}{4\pi\left(\frac{l}{\cos 60^\circ}\right)^2} = 65dB$

Donc l'atténuation est de 5dB si on réalise le récepteur et l'émetteur sont de fréquences très voisines

- 4) A l'aide du document, on observe que pour angle de 60° , le niveau sonore du haut-parleur est atténué de 5 dB. Donc les personnes peuvent se rapprocher du poteau c'est-à-dire que λ_{\min} peut diminuer. En effet, λ_{\min} sera calculé comme si le niveau sonore du haut-parleur était de $62 + 5 = 67$ dB.

II. Analyse du bruit

Exercice N°1

1. A) On procède à la répartition de deux bruits selon les deux tableaux en dessous

Niveau par bandes d'octave de bruit 1

f_1 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	60	65	65	80	70	90

Niveau par bandes d'octave de bruit 2

f_2 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	90	70	80	65	65	60

Pour obtenir le niveau global à partir des valeurs par bandes ; il consiste à effectuer une sommation logarithmique des valeurs lues sur un tableau ou un spectre

$$L_{Global}(dB) = 10 \log \left[\sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (II.1.1)$$

Pour le bruit 1,

$$L_{pg1}(dB) = 10 \log \left[10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{90}{10}} \right] =$$

$$L_{pg1}(dB) = 90,5dB$$

Pour le bruit 2,

$$L_{pg2}(dB) = 10\text{Log} \left[10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{60}{10}} \right] =$$

$$L_{pg2}(dB) = 90,5 \text{ dB}$$

B) Pour effectuer un niveau global d'intensité pondérée en A (dB(A)), d'abord rajouter algébriquement (+/-) la valeur obtenue sur le tableau de pondération (A) à celle du niveau par bande (octave ou tiers d'octave) pour calculer le niveau global dB(A). Nous donnons le tableau suivant de pondération en A, nous effectuons le calcul de nouveaux niveaux d'intensité de sonorisation

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A (dB)	-15.5	-8.6	-3.2	0	+1	+1

Pour le bruit 1 , on a

f ₁ (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L _p (dB)	60	65	65	80	70	90
Pondération A (dB)	-15.5	-8.6	-3.2	0	+1	+1
L _p (dB (A))	44.5	56.4	61.8	80	71	91

Pour le bruit 2 , on a

f ₂ (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L _p (dB)	90	70	80	65	65	60
Pondération A (dB)	-15.5	-8.6	-3.2	0	+1	+1
L _p (dB (A))	74.5	61.4	76.8	65	66	61

Le niveau global pour le bruit 1 s'écrit

$$L'_{pg1}(dB) = 10\text{Log} \left[10^{\frac{44.5}{10}} + 10^{\frac{56.4}{10}} + 10^{\frac{61.8}{10}} + 10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{71}{10}} + 10^{\frac{91}{10}} \right] =$$

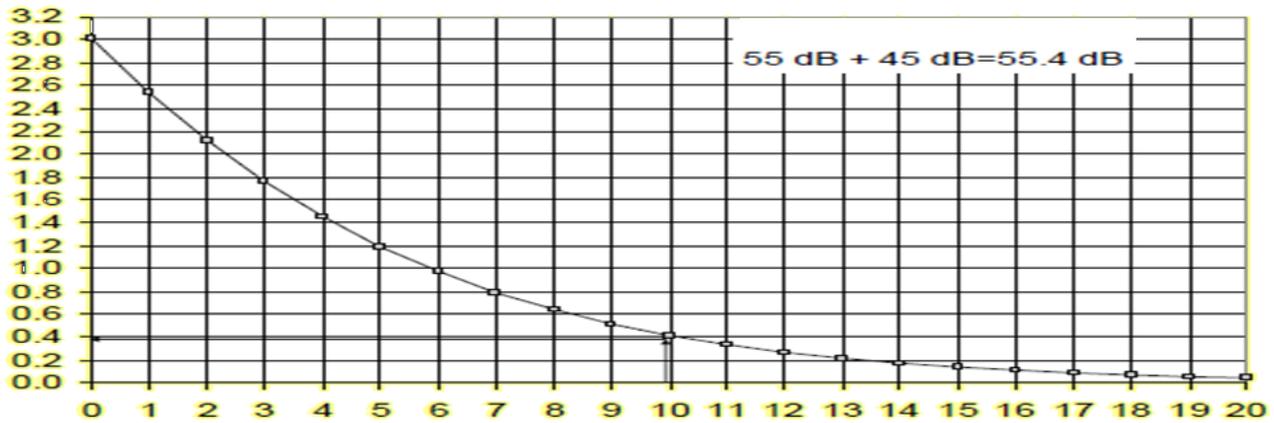
Le niveau global pour le bruit 2 s'écrit

$$L'_{pg2}(dB) = 10\text{Log} \left[10^{\frac{74.5}{10}} + 10^{\frac{61.4}{10}} + 10^{\frac{76.8}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{66}{10}} + 10^{\frac{61}{10}} \right] =$$

$$L'_{pg2}(dB) = 75.6 \text{ dB(A)}$$

Exercice 02

a) -à l'aide de l'abaque du niveau sonore, on réalise le niveau résultant (la somme) :



Abaque de courbe de pondération, si la différence entre les niveaux sonores dépasse 10 dB, le son le plus fort détermine pratiquement le niveau sonore total.

Local soumis à 3 différents bruits, 65,70 et 60 dB, pour procéder à la somme qui se fera par la somme de deux bruits en s'appuyant sur l'abaque de différence de niveau sonore, pour la somme des bruits 65dB et 70dB, la différence de bruit est de 5 dB, **donc la valeur à ajouté (dB) est de 1,25 dB** (II.2.1)

le niveau sonore résultant des deux premiers bruits 65dB et 70dB est: $1,25+70=71,25$ dB

le niveau sonore total est : **71,25 dB**

Ce résultat à comparaître avec le troisième bruit et puisque la différence de niveau sonore entre 71,25dB et 60dB est supérieure à 10dB donc on prend la valeur supérieur 71,25dB comme étant le niveau sonore total des trois bruits dans ce local.

b - il aura le même résultat en combinant les deux derniers niveaux, puisque nous obtiendrons 70dB c'est le niveau résultant et sa somme avec 65dB, nous aurons **71,25 dB**

c -le niveau sonore résultant de deux sources sonores de même niveau est donné par la relation

$$L_p = L_{pi} + 10 \times \log 2 \quad (\text{II.2.2})$$

de trois sources : $L_p = L_{pi} + 10 \times \log 3$ car le niveau sonore résultant de n sources sonores de même niveau est ; $L_p = L_{pi} + 10 \times \log n$ (II.2.3)

Exercice 03

On analyse, par bande d'octaves, le bruit d'un compresseur avec un sonomètre et on trouve les résultats suivants

F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
N(dB)	89.5	75.5	82.3	77	74.3	73

- a. En appelant $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ les différents niveaux d'intensité sonore dans chacune des bandes de fréquence, l'expression littérale du niveau d'intensité sonore global N peut se mettre sous la forme

$$N = 10 \log \left(10^{\frac{N_1}{10}} + 10^{\frac{N_2}{10}} + 10^{\frac{N_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{N_6}{10}} \right) \quad (\text{II.3.1})$$

a) Dans ce cas $N = 10 \log (10^{8.93} + 10^{7.55} + 10^{8.23} + 10^{7.7} + 10^{7.43} + 10^{7.3})$

F (en Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ni (en db)	89,3	75,5	82,3	77	74,3	73
N (en db)	90,61991407=91dB					

- b) La particularité de deux sons séparés d'une octave est le rapport de fréquence $f_2/f_1=2$

Et c'est de remarquer que $89.3-82.3=7\text{dB}$

$$82.3-74.3=8\text{dB}$$

Il y'a une augmentation d'un 1dB par rapport à la référence 7dB de la première séparation d'une octave

c)

La différence entre dB et dB(A) c'est que dB(A) , c'est la réduction de la sensation ou atténuation de ces niveaux et elle correspond à la sensibilité de l'oreille

- c) Calcul des niveaux de sensation sonore en dB (A)

F (en Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ni (en dB)	89,3	75,5	82,3	77	74,3	73
pondération (A)	-16	-9	-3	0	1	1

<i>N_i (A) (en dB)</i>	73,3	66,5	79,3	77	75,3	74
<i>N (en dB(A))</i>	83,42585045					

Exercice 04

Une chaudière est située dans un local ; dont les parois sont en béton ; On procède à la mesure le niveau de pression acoustique L_p pendant son fonctionnement à l'aide d'un sonomètre équipé d'un analyseur muni d'un filtres d'octaves de fréquences centrales sur f_0

Le tableau des mesures

f_0 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	36	50	52	52	60	61

Calculer le niveau de pression acoustique global ou total L_p .

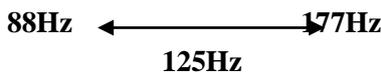
$$L_{pg}(dB) = 10 \log(10^{3.6} + 10^5 + 10^{5.2} + 10^{5.2} + 10^6 + 10^{6.1}) = \quad (II.4.1)$$

$$\mathbf{L_{pg}(dB) = 64,3dB}$$

Exercice 05

✚ 1/-les valeurs minimale et maximale des fréquences de la bande d'octave centrée sur **125Hz**

$$f_{\min} = \frac{125}{\sqrt{2}} = 88\text{Hz} ; f_{\max} = 125 \times \sqrt{2} = 177\text{Hz} \quad (II.5.1)$$



2/ le niveau d'intensité acoustique global L , du bruit extérieur d'après

L'analyse de bruit extérieur par bandes d'octaves c'est :

Valeur centrale par bandes d'octaves (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau (dB)	90	90	90	90	90	90

$$L_{pg}(dB) = 10 \log(10^9 + 10^9 + 10^9 + 10^9 + 10^9 + 10^9) = \quad (II.5.2)$$

$$\mathbf{L_{pg}(dB) = 98dB}$$

3/Pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille, on utilisera la pondération A suivante

Valeur centrale par bandes d'octaves(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
-------------------------------------------------	-----	-----	-----	------	------	------

Pondération A(dB)	-16	-9	-3	0	+1	+1
L_p(dB(A))	74	81	87	90	91	91

Exercice 06

1. Soit un bruit dont le spectre 1/3 d'octave est donné par :

f (Hz)	100	125	157	200	250	315	400	500	630
L _p (dB)	70	65	67	75	60	70	72	72	72
f (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L _p (dB)	77	75	70	65	62	57	55	55	55

-Donner son spectre par bande d'octave

Pour chaque bande d'octave, on utilisera la relation de l'abaque de composition

$$L_p(dB) = 10 \log \left[\sum 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right] \quad (\text{II.6.1})$$

Exemple pour la bande d'octave centrée sur 125Hz, Nous prendrons les valeurs à gauche et à droite (100, 125, 157)Hz

$$L_p(dB) = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} \right)$$

$$L_p(dB) = 10 \log \left(10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{67}{10}} \right) =$$

Pour f=125Hz, bande d'octave est **L_p(dB) = 72,6dB**, même calcul pour les autres valeurs dans ce tableau

Valeur centrale par bandes d'octaves(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p(dB)	72.6	76.3	76.8	79.6	67.2	58.6

2) le niveau de pression globale du bruit

$$L_{Pg}(dB) = 10 \log \left(10^{\frac{72.6}{10}} + 10^{\frac{76.3}{10}} + 10^{\frac{76.8}{10}} + 10^{\frac{79.6}{10}} + 10^{\frac{67.2}{10}} + 10^{\frac{58.6}{10}} \right)$$

$$L_{Pg}(dB) = 83,1dB$$

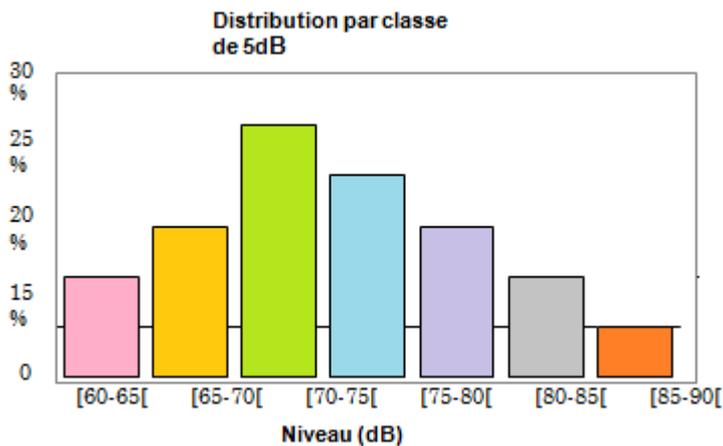
3) Calculer la sensation en **dB(A)**

F(Hz)	100	125	157	200	250	315	400	500	630
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Pondération	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6	-6.6	-4.8	-3.2	-1.9
	-0.8	0	0.6	1	1.2	1/3	1.2	1	0.5
Lp pondéré (A)	50.9	48.9	53.6	64.1	51.4	63.4	67.2	68.8	70.1
	76.2	75	70.6	66	63.2	58.3	56/2	36	50.5

Lp pondéré global dans les 1/3 Octaves et suivant la relation est de **L_{pg(A)}=80.8 dB(A)**

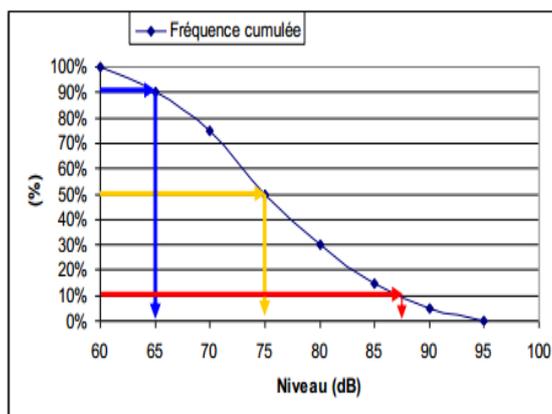
Exercice 07

Analyse temporelle d'un bruit a donné la distribution de fréquences suivantes en classe de **5dB** de la figure suivante



Niveau dB(A)	Pourcentage %	Niveau dB(A)	Pourcentage %
[60— 65[	10	[80 – 85[	15
[65 – 70[	15	[85 – 90[	10
[70 – 75[	25	[90 – 95[	5
[75 – 80[	20		

-nous déterminons les niveaux dépassés du temps du **10%, 50% et 90%** par **L₁₀ ; L₅₀ et L₉₀**



Niveau dB(A)	60	65	70	75	80	85	90	95
Fréquence cumulée	100	90	75	50	30	15	5	0

Calculons alors L_{eq}

$$L_{eq} = \left(0.1 \times 10^{\frac{62.5}{10}} + 0.15 \times 10^{\frac{67.5}{10}} + 0.25 \times 10^{\frac{72.5}{10}} + 0.2 \times 10^{\frac{77.5}{10}} + 0.15 \times 10^{\frac{82.5}{10}} + 0.1 \times 10^{\frac{87.5}{10}} + 0.05 \times 10^{\frac{92.5}{10}} \right)$$

$$L_{eq} = 82.75 \text{ dB}$$

(II.7.1)

III. Diffusion de la source du bruit

Exercice 01

On considère les spectres par bande d'octave des bruits types suivants

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	61	64	67	70	73	76
L_p (dB)	70	70	70	70	70	70
L_p (dB)	76	75	71	70	68	62

Définissons parmi ces bruits : le bruit blanc, rose et bruit routier et la sensation L_p global pour chaque type de bruit

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000		
Bruit blanc								
Lp (dB)	61	64	67	70	73	76	Lp global	79 dB(A)
Pondération	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1		
Lp pondéré	44.9	55.4	63.8	70	74.2	77	Lp pondéré	79.5 dB(A)
Bruit rose								
Lp (dB)	70	70	70	70	70	70	Lp global	77.8 dB(A)
Pondération	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1		
Lp pondéré	53.9	61.4	66.8	70	71.2	71	Lp pondéré	76.3 dB(A)
Bruit routier								
Lp (dB)	76	75	71	70	68	62	Lp global	80.1 dB(A)
Pondération	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1		
Lp pondéré	59.9	66.4	67.8	70	69.2	63	Lp pondéré	75 dB(A)

Exercice 02

Soit le niveau de pression acoustique L_p pour une source directive où G est un indice de directivité dépendant du facteur Q de directivité selon la formule $G = 10 \log_{10} Q$ (III.2.1)

$$L_p = L_w - 10 \log(4\pi r^2) + G \quad (\text{III. 2.2})$$

tel que L_w est le niveau de puissance. Une personne parle à voix normale émet une puissance acoustique de $P = 10^{-6}$ Watt.

Calculons la pression efficace (effective) à 1m sachant que la masse volumique de l'air est $\rho_0 = 118 \text{ Kg/m}^3$ et de célérité de l'air (vitesse de son) $C = 345 \text{ m/s}$. La pression efficace est donnée par la relation suivante P_{eff} est la valeur de $p(t)$ entre deux instants t_1 et t_2

$$P_{eff} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)^2 dt = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}} \quad (\text{III. 2.3})$$

La plus petite pression acoustique à laquelle l'oreille est sensible est $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

La sensation douloureuse est $P_{max} = 20 \text{ Pa}$, c'est 10^6 fois supérieure à P_0

Soit la relation de la pression avec la vitesse de son est donnée par

$$P^2 = \frac{P \rho_0 C}{4\pi r^2} = \frac{10^{-6} \times 118 \times 345}{4 \times 3.14 \times 1^2} = 3.210^{-4} \text{ Pa} \quad (\text{III. 2.4})$$

$$3.210^{-4} \text{ Pa} \rightarrow P_{eff} = 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$$

Au lieu de considérer la source comme étant omni-dimensionnelle, on considère qu'elle possède une directivité de $Q=4$ pour le public qui lui fait face à 1m est alors est égale à la pression acoustique $P=3.4 \cdot 10^{-2}$ Pa

Pour une directivité de $Q=4$ pour le public qui lui fait face à 1m est alors est égale à la pression acoustique $P=3.4 \cdot 10^{-2}$ Pa

$$\text{Le niveau de puissance } L_W = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{dB} \quad (\text{III. 2.5})$$

Calcul du facteur de directivité Q

Pour une source directive avec $Q=4Q$
Utilisons la formule :

$$G = 10 \log_{10} Q = 10 \log_{10} (4) = 10 \times 0,602 = 6,02 \text{dB} \quad (\text{III. 2.6})$$

Calcul du niveau de pression acoustique (L_p) pour $r=1, 2, 4, 8\text{m}$, on a la relation suivante :

$$L_p = L_w - 10 \log (4\pi r^2) + G \quad (\text{III. 2.7})$$

Pour $r=1$

$$L_p = 60 - 10 \log (4\pi 1^2) + 6,02$$

$$L_p = 60 - 10 \log (\pi 4) + 6,02$$

$$L_p = 60 - 10 \times 0,602 + 6,02$$

$$L_p \approx 60 \text{dB}$$

Pour $r=2$ $L_p = 60 - 10 \log (4\pi 2^2) + 6,02$

$$L_p = 60 - 10 \log (\pi 16) + 6,02$$

$$L_p = 60 - 10 \times 1,204 + 6,02$$

$$L_p \approx 53,98 \text{dB}$$

Pour $r=4$ $L_p = 60 - 10 \log (4\pi 4^2) + 6,02$

$$L_p = 60 - 10 \log (\pi 64) + 6,02$$

$$L_p = 60 - 10 \times 1,806 + 6,02$$

$$L_p \approx 47,96 \text{dB}$$

Pour $r=8$ $Lp = 60 - 10 \text{ Log} (4\pi 8^2) + 6,02$

$$Lp = 60 - 10 \text{ Log} (\pi 256) + 6,02$$

$$Lp = 60 - 10 \times 6,02 + 6,02$$

$$\mathbf{Lp \approx 41,94dB}$$

2/Calcul de la pression efficace à 1 m

La pression efficace (P_e) est liée au niveau de pression acoustique (Lp) par la relation :

$$Lp = 20 \log_{10} \left(\frac{P_e}{P_0} \right) \quad (\text{III.2.8})$$

où $P_0=20 \times 10^{-6}$ Pa est la pression de référence.

Pour $r=1$ m :

$$60 = 20 \log_{10} \left(\frac{P_e}{20 \times 10^{-6}} \right)$$

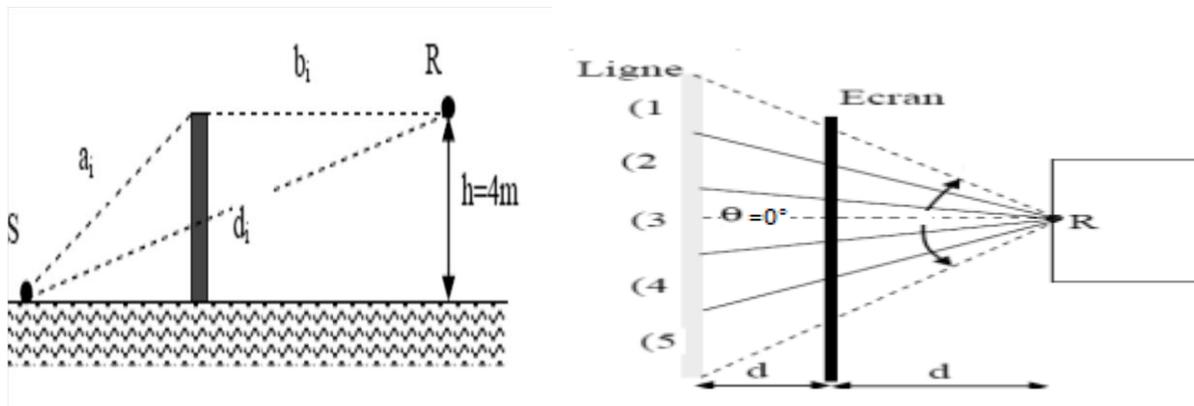
$$\frac{P_e}{20 \times 10^{-6}} = 10^{\frac{60}{20}} = 10^3$$

$$P_e = 20 \times 10^{-6} \times 10^3 = 0,02 Pa$$

Exercice03

Afin de réduire le niveau de bruit en façade d'un bâtiment, on dispose d'un écran parallèlement à la ligne de source sur le schéma suivant

On assimile la ligne source à N sources élémentaires vues du point R sous un même angle $\Delta\theta = 20^\circ$

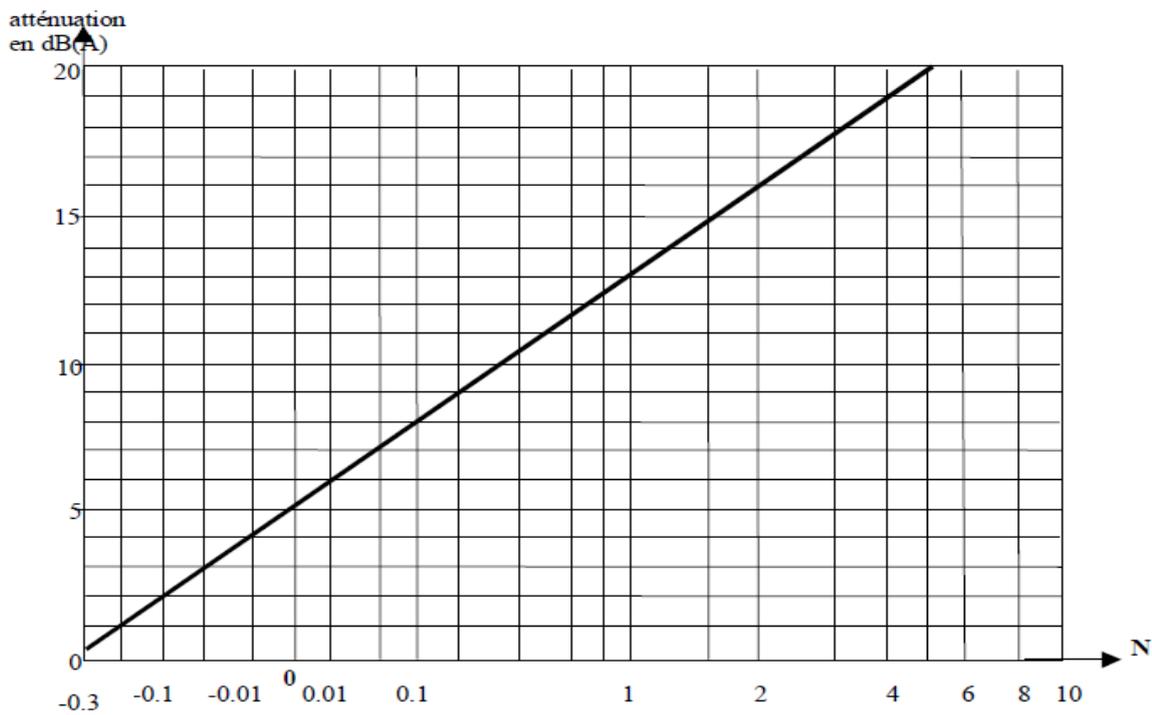
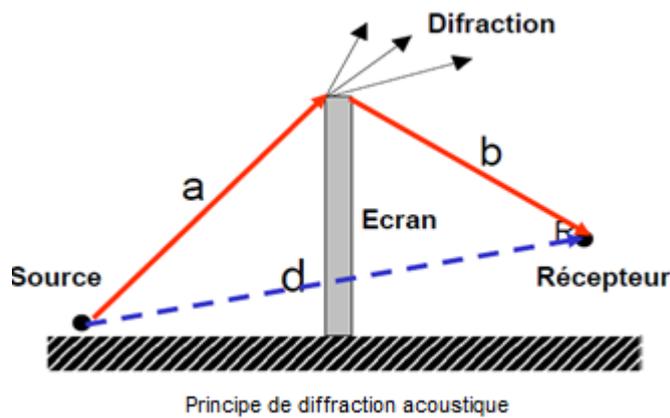


Sachant que l'écran masque complètement la ligne source, calculons l'atténuation globale de l'écran.

Données $W_u=0.07W/m$, $\theta=100^\circ$, $d_1=10m$, $d_2=50m$, $h=4m$ et $f=600Hz$

Fréquence (Hz)	600
Puissance unitaire	0.07
Angle d'ouverture écran 1	50
Angle d'ouverture écran 2	50
Nombre de tronçons + écran	5
Nombre de tronçons sans écran	0
Distance écran récepteur	50
Hauteur écran	4
Hauteur récepteur	4
Longueur d'onde (Vs/f)	$340/600 = 0.56$

On applique l'Abaque de Maekawa qui présente l'atténuation due aux écrans (concerne la diffraction) selon le principe de diffraction acoustique schématisé en dessous, nous allons procéder au calcul



Abaque d'atténuation de MAEKAWA . ($N = \frac{2}{\lambda} \delta$)

Soit le nombre de FRESNEL $N = \frac{2\delta}{\lambda}$ Avec $\delta = a_i + b_i + d_i$ (III.3.1)

1) Calculons l'énergie de la source vers le récepteur sachant que la puissance unitaire $W_u = 0.07$ W/m, et la distance entre les deux points S et R, c'est $d = d_1 + d_2 = 60$ m, l'énergie se résume à

$$0.07 \text{ W/m} \times 60 \text{ m} = 4.2 \text{ W}$$

L'Intensité sonore sans écran est $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{4.2}{4 \times 3.14 \times 60^2} = 9.3 \cdot 10^{-5}$ W/m (III.3.2)

En s'appuyant sur la relation $L_n = 10 \log_{10}(\frac{I}{I_0})$ (III.3.3)

$$L_I = 10 \log_{10}(\frac{9.3 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}}) = 79.68 \text{ dB}$$

$\theta = 100^\circ$, $d_1 = 10\text{m}$, $d_2 = 50\text{m}$, $h = 4\text{m}$, $f = 600\text{Hz}$

On assimile la ligne source à n sources élémentaires vues du point R sous un même angle $\Delta\theta = 20^\circ$

L'opération de conversion des angles de degré en radian, soit $10^\circ \rightarrow 0.17\text{rd}$

Pour l'écart de l'écran 2 et 4 c'est $30^\circ \rightarrow 0.52\text{rd}$ avec une réduction de 0.17rd , on obtient 0.35 rd

Pour l'écart de l'écran 1 et 5 c'est $50^\circ \rightarrow 0.87\text{rd}$ avec une réduction de 0.17 , on obtient 0.7 rd

tronçons avec écran	1	2	3	4	5
Angle (radian)	-0.7	-0.35	0	0.349	0.698
a_i	13.65	11.37	10.77	11.37	13.65
b_i	65.27	53.21	50.0	53.21	65.27
d_i	78.43	63.98	60.13	63.98	78.43
Nb de Fresnel	1.75	2.12	2.25	2.12	1.75
Atténuation	15.2	16.0	16.3	16.0	15.2

D'après les calculs l'atténuation globale

$$\frac{15,2 + 16 + 16,3 + 16 + 15,2}{5} = \mathbf{15.74\text{dB}}$$

Niveau sonore sans écran son intensité est de 79.68 dB retranche 15.74dB , on obtient le niveau sonore avec écran qui est de **63.94 dB**

IV. Temps de réverbération, coefficient d'absorption

Exercice N°1

Soit un local de $5\text{m} \times 4\text{m}$ et de hauteur 2.5m , dont le plafond a un coefficient d'absorption α de 0.4 à 1000Hz et dont toutes les autres parois ont un coefficient α de 0.05 à la même fréquence. Pour déterminer le temps de réverbération T_R du local à 1000Hz , rappelons la relation de Sabine pour calcul de temps, pour une salle réverbérante dont on connaît les caractéristiques V , S_i et α_i à chaque fréquence liés, par l'équation :

$$T_R = \frac{0.16 V}{\sum S_i \alpha_i} \quad (\text{IV.1.1})$$

T_R : temps de réverbération. En s.

V : volume de la salle. m^3 .

S_i : Surface d'une parois. m^2 .

0,16 : Coefficient. Inverse d'une vitesse, s.m⁻¹.

α_i : Coefficient d'absorption

Calcul du volume local V

$$V = 5 \times 4 \times 2.50 = 50m^3$$

Calcul de la surface S du plafond

$$S = 5 \times 4 = 20m^2$$

Calcul de la surface S des autres parois

$$S = (5 \times 4) + (2 \times 2.50 \times 4) + (2 \times 2.50 \times 5) = 65m^2$$

Calcul de l'aire d'absorption équivalente $A = \sum S_i \alpha_i$

(IV.1.2)

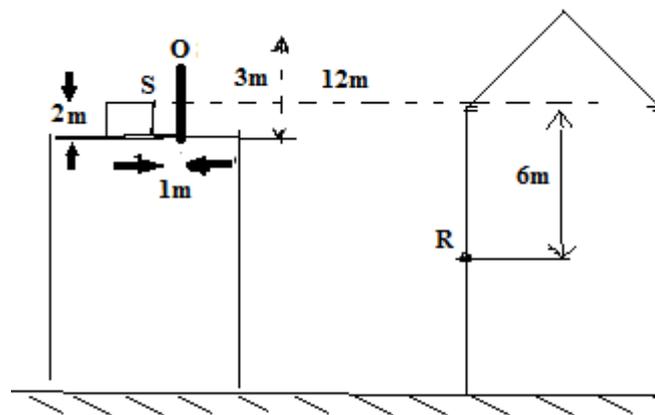
$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 = (20 \times 0.4) + (65 \times 0.05) = 11.25m^2$$

Le temps de réverbération T

$$T_R = \frac{0.16 V}{A} = \frac{0.16 \times 50}{11.25} = 0.7s$$

Exercice N°2

Une pompe à chaleur de 55KW est posée sur la terrasse d'un immeuble le niveau sonore arrivant au point de réception R situé dans l'immeuble voisin est de 47dB(A). L'énergie acoustique passant à travers l'écran est négligeable, le nouveau niveau sonore au point R en présence d'un écran de 3m de hauteur posé à 1m de la pompe à chaleur voir le schéma dessous



Le parcours **SR** se calcul en utilisant l'hypoténuse du triangle de Pythagore observé sur le croqué qu'est égale à

$$(6^2 + 12^2)^{\frac{1}{2}} = 13.40m \quad (IV.2.1)$$

Le parcours diffracté passant par le sommet de l'écran **SO+OR**, en utilisant l'hypoténuse des triangles, d'où

$$(1^2 + 2^2)^{\frac{1}{2}} + (7^2 + 11^2)^{\frac{1}{2}} = 1.40 + 13 = 14.40m \quad (IV.2.2)$$

La différence de parcours δ est de **1m** , sachant que les pompes à chaleur émettent des bruits centrés sur 125Hz sur le tableau d'atténuation acoustique apporté par un écran, on utilisera le tableau pour 110Hz alors l'atténuation apporté par l'écran pour différence de parcours de 1m est de 12dB, Le gain apporté par cette fréquence est proche de 120Hz .

$$47 - 12 = \mathbf{37dB}$$

Exercice N°3

1/ Le laboratoire est de dimensions (L×l×h) = (8×4×3) m³. Le plancher est en bois ($\alpha=0.1$), les murs et le plafond en béton ($\alpha=0.02$) ; les vitres couvrent une surface de **6m²** ($\alpha=0.05$)

le **Tr** temps de réverbération de la salle dans ces conditions citées

$$A = \sum S_i \alpha_i = (0.1 \times 20) + (0.02 \times 98) + (6 \times 0.05) = 4.26 m^2 \quad (\text{IV.3.1})$$

$$T_R = \frac{0.16 V}{A} = \frac{0.16 \times 60}{4.26} = \mathbf{2.25s} \gg \mathbf{0.7s} \quad (\text{IV.3.2})$$

2/ Pour mesurer α Sabine d'un tissu que l'on dispose sur la demi- surface du plancher ; On a mesuré son Tr est de 2 secondes. le « α » du tissu s'obtient par la relation déduite de la surface équivalente

$$A' = 0,16.V/T_R$$

$$A' = 0,16 \times 60 / 2 = \mathbf{4.8m^2}$$

Et l'expression de la surface équivalente est

$$A' = 10(\alpha - 0.1) + A, \text{ d'où } \alpha = \frac{A' - A}{10} + 0.1 \quad (\text{IV.3.3})$$

$$\rightarrow \alpha = \frac{0.54}{10} + 0.1 = 0.15$$

3/ Cette mesure vous semble-t-elle très précise Pourquoi ?

Non plus, on a mesuré le α correspond au bois et non plus celui de tissu

Exercice N°4

Une municipalité décide d'équiper une salle polyvalence de dimensions (80×30×12)m. On mesure le Tr temps de réverbération de cette salle qui est égale à **3 s**.

La surface équivalente avec fenêtres ouvertes, on a le volume de la salle $V=80 \times 30 \times 12 = 28800 m^3$

$$A = 0,16 \cdot V / T_R = \quad (IV.4.1)$$

$$A = 0,16 \times 28800 / 3 = 1536 m^2$$

2/ les coefficients d'absorption des murs, si celui du plafond est le double de celui des murs, le sol étant parfaitement réfléchissant (pas d'absorption)

$$\text{L'aire d'absorption équivalente } A = \sum S_i \alpha_i = \quad (IV.4.2)$$

$$\rightarrow A = \sum S_i \alpha_i = 80 \times 30(2\alpha_p) + (220 \times 12)\alpha_p + 0$$

$$\rightarrow \alpha_M = 0.4$$

3/ Pour améliorer l'acoustique on prend **36** panneaux rectangulaires de **3×4m** de coefficient d'absorption **$\alpha=0.5$** , le nouveau **T_R** avec la nouvelle aire équivalente

$$A' = A + 36 \times 4 \times 3 \times (0.5 - 0.2) = 1536 + 129.6 = \mathbf{1665.6 m^2}$$

$$T_R = \frac{0.16 V}{A} = \frac{0.16 \times 28800}{1665.6} = \mathbf{2.8s} \quad (IV.4.3)$$

4/ L'usage de cette salle sera adaptée pour une salle orchestre symphonique puisque le temps de réverbération est très élevé **$T_R \gg$**

Exercice N°5

. Déterminer le temps de réverbération d'une salle de cours sachant que :

Dimensions de la salle en mètres $(9 \times 7 \times 3) m^3$

Les Revêtements

Plafond = plâtre + peinture lisse

Murs = plâtre + peinture floquée

Vitrage = $15 m^2$; **Sol** = dalles plastiques

On néglige la présence d'une porte

Mobilier **16** tables d'écoliers + **32** chaises

1 bureau de professeur + une chaise

Le temps **T_R** de réverbération dans le médium

a) avant correction acoustique ***Salle non occupée**

On a les données des coefficients d'absorption (plâtre sur mur + peinture floquée : 0.035 ; plâtre sur mur + peinture lisse : 0.15 ; vitres : 0.03 ; sol plastique : 0.01 ; chaise en bois 0.01 ; table d'écolier 0.25 ; table de professeur 0.05 enfant : 0.35 ; adulte : 0.45), dressées sur le tableau.

Objets	plâtre sur mur + peinture floquée	plâtre sur mur + peinture lisse	vitres	sol plastique	chaise en bois	table d'écolier	table de professeur	enfant	adulte
Coef α_i	$\alpha_1 = 0.35$	$\alpha_2 = 0.15$	$\alpha_3 = 0.03$	$\alpha_4 = 0.01$	$\alpha_5 = 0.01$	$\alpha_6 = 0.25$	$\alpha_7 = 0.05$	$\alpha_8 = 0.35$	$\alpha_9 = 0.45$

En utilisant la relation de sabine T_R et calculons l'aire équivalente A_T

$$A_T = [2(7 \times 3) + 2(9 \times 3)\alpha_1 + (7 \times 9)\alpha_2 + (7 \times 9)\alpha_4 + 15 \times \alpha_3 + (32 \times 0.5)\alpha_5 + (16 \times 0.5)\alpha_6 + 1 \times \alpha_7 + 0.5 \times \alpha_8] = 44.2 m^2 \quad (IV.5.1)$$

$$T_R = \frac{0.16 V}{A_T} = \frac{0.16 \times 183}{44.2} = 0.66 s \quad (IV.5.2)$$

Salle occupée par 28 écoliers et le professeur, en utilisant la relation de sabine T_R et calculons le nouveau l'aire équivalente A'_T

$$A'_T = A_T + 32 \times 0.35 + 1 \times 0.45 = 56 m^2 \quad (IV.5.3)$$

$$T'_R = \frac{0.16 V}{A'_T} = \frac{0.16 \times 183}{56} = 0.52 s$$

En remarque que le temps de réverbération en présence des élèves et le professeur est inférieur au temps de réverbération sans leur présence

b) après la correction acoustique portant sur le mur long qui a été recouvert d'une moquette murale et le plafond qui a été garni de panneaux absorbants de coefficient $\alpha = 0.6$ la surface équivalente A''_T s'écrira en ajoutant des aires absorbées des 4 murs et du plafond

c) cas sans présence des élèves et du professeur

$$A''_T = A_T + [2(7 \times 3) + 2(9 \times 3) - 15]\alpha + (7 \times 9)\alpha = 44.2 + 70.2 = 114.4 m^2 \quad (IV.5.4)$$

$$\text{le temps de réverbération S'écrit } T''_R = \frac{0.16 V}{A''_T} = \frac{0.16 \times 183}{114.4} = 0.26 s$$

Cas en présence des élèves et du professeur

$$A'''_T = A''_T + 32 \times 0.35 + 1 \times 0.45 = 114.4 + 11.65 = 126.05 m^2 \quad (IV.5.5)$$

$$T'''_R = \frac{0.16 V}{A'''_T} = \frac{0.16 \times 183}{126.05} = 0.23 s \quad (IV.5.6)$$

Exercice N°6

Studio de répétition Chœur

Hauteur : 5,30 m

Largeur moyenne 10,60 m

Profondeur : 12,40 m

Un traitement acoustique absorbant revêt les murs et le plafond, permettant aux chanteurs de chanter à pleine voix, comme s'ils étaient dans le même volume que celui de la grande salle

Mesures de temps de réverbération dans la grande salle de l'Opéra pour différentes fréquences

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000
Temps de réverbération (s)	1,07	1,02	0,91	0,84	0,72

Coefficient d'absorption α_i de quelques matériaux pour différentes fréquences :

	α_i					usage
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Parquet lamé	0,02	0,03	0,08	0,12	0,11	Sol
Plâtre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	Murs ou plafond
Aggloméré de liège	0,15	0,26	0,22	0,22	0,20	
Fibres de bois compressées 20 mm	0,15	0,44	0,44	0,44	0,53	
Tissu tendu sur molleton	0,10	0,38	0,42	0,85	0,82	
Contre plaqué 5 mm à 25 mm du mur	0,07	0,12	0,28	0,11	0,08	
Verre 3,5 mm	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	

Quels matériaux peut-on choisir pour habiller les murs et le plafond afin d'obtenir un temps de réverbération aussi proche que possible de celui de la grande salle ? Il est conseillé d'utiliser le même matériau pour les murs et le plafond. Actuellement, le sol de la salle de répétition du chœur est en parquet lamé. Il est donc essentiel de sélectionner des matériaux adaptés pour garantir que les temps de réverbération soient harmonisés avec ceux de la grande salle.

D'après la formule de Sabine, on a $T_R = \frac{0,16V}{A}$. (IV.6.1)

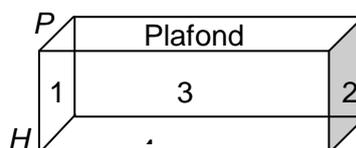
Ainsi $A = \frac{0,16.V}{TR}$. (IV.6.2)

Volume du studio :

$$V = H \times L \times P \quad (\text{IV.6.3})$$

$$V = 5,30 \times 10,60 \times 12,40 = 697 \text{ m}^3$$

Aire d'absorption équivalente du studio :



$$\text{On a } A = \sum S_i \cdot \alpha_i . \quad (\text{IV.6.4})$$

Les murs et le plafond doivent être revêtus d'un matériau adapté. Surface des murs et du plafond :

$$S_{MP} = S_{murs1-2} + S_{murs3-4} + S_{plafond} \quad (\text{IV.6.5})$$

$$S_{MP} = 2 \cdot P \cdot H + 2 \cdot H \cdot L + P \cdot L \quad (\text{IV.6.6})$$

$$S_{MP} = 2 \times 12,40 \times 5,30 + 2 \times 5,30 \times 10,60 + 12,40 \times 10,60 = 375 \text{ m}^2$$

Le parquet est recouvert de parquet lamé et il a une surface

$$S_{pa} = L \cdot P , \quad S_{pa} = 10,60 \times 12,40 = 131,4 \text{ m}^2 \quad (\text{IV.6.7})$$

$$A_{Studio} = A_{MP} + A_{pa}$$

Nommons α_{ok} le coefficient d'absorption du matériau qui conviendrait pour les murs et le plafond.

$$A_{Studio} = S_{MP} \cdot \alpha_{ok} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa} \quad (\text{IV.6.8})$$

$$\frac{0,16 \cdot V}{TR} = S_{MP} \cdot \alpha_{ok} + S_{pa} \cdot \alpha_{pa}$$

$$S_{MP} \cdot \alpha_{ok} = \frac{0,16 \cdot V}{TR} - S_{pa} \cdot \alpha_{pa}$$

$$\alpha_{ok} = \frac{0,16 \cdot V}{TR \cdot S_{MP}} - \frac{S_{pa} \cdot \alpha_{pa}}{S_{MP}}$$

Dans cette expression T_R et α_{pa} varient en fonction de la fréquence.

$$\alpha_{ok} = \frac{0,16 \times 696,63}{TR \times 375,24} - \frac{131,44 \times \alpha_{pa}}{375,24}$$

$$\alpha_{ok} = \frac{0,297}{TR} - 0,350 \cdot \alpha_{pa} \quad (\text{IV.6.9})$$

	α_i					usage
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Matériau idéal (α_{ok})	0,27	0,28	0,30	0,31		
Parquet lamé	0,02	0,03	0,08	0,12	0,11	Sol
Plâtre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	Murs ou plafond
Aggloméré de liège	0,15	0,26	0,22	0,22	0,20	
Fibres de bois compressées 20 mm	0,15	0,44	0,44	0,44	0,53	
Tissu tendu sur molleton	0,10	0,38	0,42	0,85	0,82	

Contre plaqué 5 mm à 25 mm du mur	0,07	0,12	0,28	0,11	0,08
Verre 3,5 mm	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02

Nous calculons les coefficients d'absorption théoriques et les comparons aux coefficients d'absorption des différents matériaux. Nous n'effectuons pas ces calculs pour la fréquence de 2000 Hz, car elle ne correspond à aucune tessiture. Ensuite, nous comparons α_{0k} avec ceux des autres matériaux. Nous rayons la case lorsque l'écart est trop important et identifions le ou les matériaux ayant le coefficient d'absorption le plus proche.

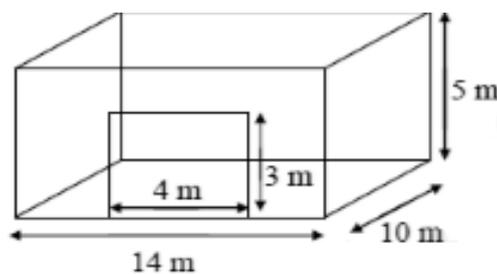
Aucun matériau n'est capable de satisfaire aux exigences pour toutes les tessitures (toutes les fréquences). Le choix est un compromis. L'aggloméré de liège est le matériau qui est le plus adapté.

V. Correction acoustique facteur d'absorption

Exercice N°1

L'ensemble de salles constitue la cantine. L'isolation vis-à-vis de l'extérieur est secondaire. Les contraintes proviennent essentiellement ici des émissions et propagations de bruits internes aux locaux. Selon la législation la durée de réverbération dans les locaux meublés non occupés doit être comprise entre 0,6 et 1,2 dans les intervalles d'octaves centrés sur 500, 1000, 2000Hz

On s'intéresse à une des salles de restauration de grande volume. La porte d'entrée vitrée a une dimension de 3m par 4m. Les murs latéraux et le plafond sont en béton. Le sol est carrelé



Pour le cas où aucun aménagement acoustique n'a été réalisé calculer la durée de réverbération pour cette salle vide à 1KHz le cadre législatif est respecté ? On cherche à ramener le temps de réverbération à 1s à la fréquence de 1KHz pour ce faire, on décide de recouvrir une partie du plafond avec de la laine de roche Protisol

Matériaux	Coefficient d'absorption
Béton	$\alpha_B=0.03$
Carrelage	$\alpha_C=0.04$
Vitre	$\alpha_V=0.12$
Protisol	$\alpha_P=1$

a) Calculer la nouvelle valeur numérique de la surface d'absorption équivalente A'

$$T_{R(vide)} = \frac{0,16V}{A} \quad (V.1.1)$$

$$V = 14m \times 10m \times 5m = 700m^3$$

$$S_{Total} = 14 \times 10 = 140m^2 \text{ carrelage}$$

$$S_V = 12m^2 \text{ (vitres)}$$

S_{Tot} = surface totale du local

$$S_{Tot} = 2 \times [14m \times 10m + 14m \times 5m + 10m \times 5m] = 520m^2 \quad (V.1.2)$$

$$S_B = S_{Tot} - S_V - S_{Sol} = 368m^2 \text{ (béton)} \quad (V.1.3)$$

$$A = \underbrace{368m^2 \times 0,03}_{\text{béton}} + \underbrace{140m^2 \times 0,04}_{\text{Sol}} + \underbrace{12m^2 \times 0,12}_{\text{vitres}} \quad (V.1.4)$$

$$T_{R(vide)} \cong 6,2s \quad A \cong 18m^2$$

Le cadre législatif n'est pas respecté

- b) L'expression de A' en fonction des coefficients d'absorption et de différentes surfaces

On désigne par $T_{R(vide)}=1,0s$ le temps de réverbération du local « corrigé », l'aire d'absorption équivalente A' s'écrit $A' = \frac{0,16 \times V}{T_{R(vide)}}$ $A' = 112m^2$

- c) En déduire l'expression littérale S_p de la surface de plafond à traiter pour réaliser cette amélioration calculé sa valeur numérique

- d) Faisons apparaître la surface traitée S_p dans l'expression de A'

$$A' = (S_B - S_p) \times \alpha_B + S_{sol} \times \alpha_c + S_V \times \alpha_V + S_p \times 1 \quad (V.1.5)$$

$$\text{La différence (b)-(a) s'écrit } A' - A = S_p [1 - \alpha_B] \quad (V.1.6)$$

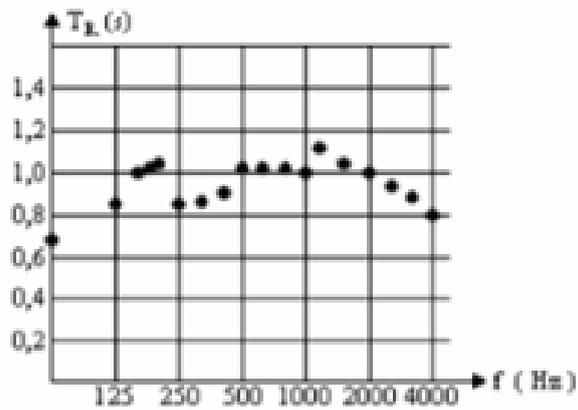
$$\text{Ce qui donne } S_p = \frac{A' - A}{[1 - \alpha_B]} \quad S_p = 97 m^2 \quad (V.1.7)$$

- d) L'entreprise chargée de la partie acoustique a réalisé des essais à la réception du chantier pour confirmer les calculs de bureau d'étude. A l'aide du graphique ci-dessous peut-on dire que le cahier de charges législatives est respecté ?

- e) Les mesures ont été effectuées au sein d'un local vide, une fois que l'on rajouté les tables et les chaises.

$T_{R(vide)}=1,0s$ pour les fréquences qui nous intéressent : le cahier des charges est respecté

Tables et chaises absorberont les sons et augmenteront la surface équivalente d'absorption. Le temps de réverbération de la cantine meublée sera donc inférieur à celui du local vide



Exercice N°2

Après l'installation d'un système de climatisation, on réalise une étude acoustique d'un bureau. On considère que le bruit engendré par le soufflage de l'air est assimilable à une source sonore l'équipement aéraulique ne devra pas engendrer un niveau sonore global à l'intérieur du bureau supérieur à **35dB (A)**.

La puissance acoustique de la source et le temps de réverbération au niveau du bureau

Fréquence f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau de puissance L_w (dB)	35	42	41	39	36	36
Temps de réverbération T_r (s)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4

le volume du bureau est 30m^3 . L'expression du niveau de pression acoustique dans le cas d'un local clos avec réverbération est

$$L_p = L_w + 10 \log_{10}(4/A) \quad (\text{V.2.1})$$

L_p : niveau de pression en un point en **dB**

L_w : niveau de puissance en **dB**

A : aire d'absorption équivalente en m^2

1) la définition de la durée de réverbération utilisée dans la formule Sabine c'est :

$$T_1 = \frac{0.16 V}{A_1} \rightarrow A_1 = \frac{0.16 V}{T_1} \quad (\text{V.2.2})$$

La durée de réverbération est le temps que met l'intensité sonore à décroître jusqu'à un millionième de sa valeur initiale.

2) Les valeurs des pondérations acoustiques par octave exprimées en **dB (A)** sont :

Fréquence f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération en A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+2	+1

le niveau global de puissance acoustique de la source en **dB** au niveau du bureau est dans cette formule les L_{wi} inscrites dans le tableau pour chaque fréquence (soit 35 puis 42 ..). Le calcul donne :

$$L_{Wg}(dB) = 10 \log \left(10^{\frac{35}{10}} + 10^{\frac{42}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{39}{10}} + 10^{\frac{36}{10}} + 10^{\frac{36}{10}} \right) \quad (V.2.3)$$

$$L_{Wg}(dB) = 46.8 \text{ dB}$$

Le tableau ci-dessous pour calculer le niveau de pression acoustique

3) On utilise la relation $A = 0,16V/Tr = 4,8/T$

En remplaçant Tr par sa valeur à chaque fréquence, on peut compléter la ligne A.

Puis, on calcule L_p pour chaque fréquence en utilisant la formule $L_p = L_w + 10 \cdot \log(4/A)$

Enfin pour chaque fréquence on tient compte de la pondération. Le tableau pourra donc être complété avec les données suivantes :

F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lw(dB)	35	42	41	39	36	36
Tr(s)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
A(m ²)	6.8	9	9	9.6	9.6	12
Lp(dB)	29,6	39	38	35,2	32,2	31,2
Pondération en A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+2	+1
Lp(dB(A))	13,5	30,4	34,8	35,2	34,2	32,2

Pression acoustique global pondéré en dB(A) en un point du bureau.

$$L_{Pg}(dB(A)) = 10 \cdot \log \left(10^{13,5/10} + 10^{30,4/10} + 10^{34,8/10} + 10^{35,2/10} + 10^{34,2/10} + 10^{32,2/10} \right)$$

$$L_{Pg}(dB(A)) \approx 40,7 \text{ dB(A)}$$

Pour que L diminue, il faut que A augmente.

VI. Nature du matériau absorbant, Facteur de Transmission, l'isolation

Exercice N°1

La paroi de séparation d'une pièce avec l'extérieur est composée de 20% de vitrage et pour le reste d'un mur en briques. Le facteur de transmission acoustique des briques est $T = 4.3 \cdot 10^{-3}$ (C'est le rapport de l'énergie transmise à l'énergie incidente. La somme de ces trois facteurs est égale à 1. Cela signifie que l'énergie incidente se transforme en trois énergies distinctes (énergie incidente, énergie réfléchie et énergie transmise).

On a un vitrage existant est composé de vitrages simples de 4.0 mm d'épaisseur et il conduit à un affaiblissement acoustique $R_v = 26 \text{ dB(A)}$.

1. le facteur de transmission acoustique τ_v du vitrage

$$\text{On a } R_v = 10 \text{ Log} \frac{1}{\tau_v} \rightarrow \tau_v = \frac{1}{10^{2.6}} = 2.5 \cdot 10^{-3} \quad (\text{VI.1.1})$$

2) Exprimer le facteur de transmission acoustique total τ de la paroi composée en fonction des facteurs de transmission τ_v et τ_b de la surface S_b du mur en briques et de celle du vitrage S_v .

L'expression du facteur de transmission acoustique total τ , on peut d'abord exprimer l'indice d'affaiblissement R en fonction de S_b , S_v , τ_v et τ_b puisque on a une paroi discontinue, le facteur s'écrit

$$R = 10 \text{ Log} \frac{S_v + S_b}{S_b 10^{-0.1 R_b} + S_v 10^{-0.1 R_v}} \quad (\text{VI.1.2})$$

Et puisque l'expression $R = 10 \text{ Log} \frac{1}{\tau}$ d'où l'indice d'affaiblissement du brique

$$R_b = 10 \text{ Log} \frac{1}{\tau_b} \quad (\text{VI.1.3})$$

$$R_b = 10 \text{ Log} \frac{1}{(4.3 \times 10^{-3})} \rightarrow R_b = 23.67$$

$$S = S_v + S_b \text{ avec } S_v = 0.2 S_b \rightarrow S = 1.2 S_b \quad (\text{VI.1.4})$$

$$R = 10 \text{ Log} \frac{1.2 S_b}{S_b 10^{-0.1 \times 23.67} + 0.2 S_b 10^{-0.1 \times 26}}$$

L'affaiblissement acoustique total de la paroi

$$R \approx 24 \text{ dB}$$

b) La réglementation indique pour l'isolation minimum aux bruits routiers extérieurs la valeur de 30dB(A). La pièce étudiée ne répond pas à cette exigence puisque l'affaiblissement est de l'ordre 24dB, il est insuffisant pour l'isolation aux bruits routiers.

-Le changement du vitrage par un double vitrage feuillet de qualité maximum d'affaiblissement acoustique 38 dB(A) donne

$$R = 10 \text{ Log} \frac{1.2 S_b}{S_b 10^{-0.1 \times 23.67} + 0.2 S_b 10^{-0.1 \times 38}} = 24,5 \text{ dB}$$

la présence d'un double vitrage n'améliore pas assez l'isolation

5. maintenant pour augmenter l'isolation, le mur de briques est recouvert d'un matériau dont les propriétés acoustiques permettront dans le cas d'un double vitrage d'atteindre l'isolation minimum réglementaire (30dB). Alors le facteur de transmission τ_b de la partie non vitrée, puisque

$$R = 10 \text{ Log} 1/\tau \quad (\text{VI.1.5})$$

Et on a

$$R = 10 \operatorname{Log} \frac{1.2}{10^{-0.1 \times R_b} + 0.2 \times 10^{-0.1 \times 38}} \quad (\text{VI.1.6})$$

$$\rightarrow \frac{1.2}{10^{-0.1 \times R_b} + 0.2 \times 10^{-0.1 \times 38}} = 10^{\frac{R}{10}} = 10^3$$

$$(10^{-0.1 \times R_b} + 0.2 \times 10^{-0.1 \times 38}) \times 10^3 = 1.2$$

$$10^{-0.1 \times R_b + 3} = 1.2 - 0.2 \times 10^{-3.8 + 3}$$

$$10^{-0.1 \times R_b + 3} = 1.17$$

$$\operatorname{Ln}(1.17) = (-0.1 \times R_b + 3) \operatorname{Ln} 10 \rightarrow \frac{\operatorname{Ln}(1.17)}{\operatorname{Ln} 10} = \operatorname{Log}(1.17) = -0.1 \times R_b + 3$$

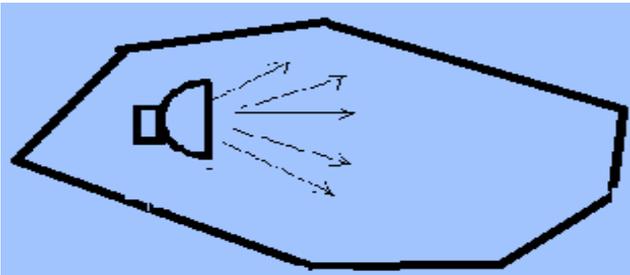
$$[-\operatorname{Log}(1.17) + 3] \times 10 = R_b \rightarrow R_b = 29 \text{ dB}$$

Bien que $R = 10 \operatorname{Log} 1/\tau \rightarrow \tau'_b = \frac{1}{10^{2.93}} = 1.2 \cdot 10^{-4}$

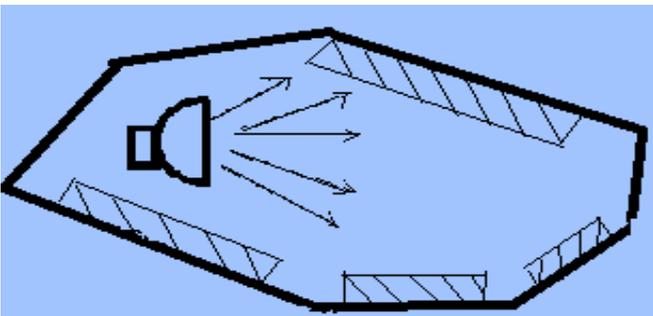
Exercice N°2

A partir de mesures de temps de réverbération dans une chambre réverbérante dans deux configurations (1,2). On se propose de déterminer les coefficients d'absorption Sabine par bande 1/3 d'octave d'un panneau de laine de verre Ldv.

Configuration 1 : chambre réverbérante nue



Configuration 2: chambre réverbérante dont les parois sont recouvertes d'une surface S de panneaux de Ldv



Données

Volume de la **chambre** réverbérante $V = 200 \text{ m}^3$, surface de parois de la chambre réverbérante $S = 200 \text{ m}^2$, surface de l'échantillon $S = 12 \text{ m}^2$.

- Déterminer le coefficient d'absorption du panneau de Ldv

Volume de la chambre réverbérante, $V = 200 \text{ m}^3$ Surface des parois de la chambre réverbérante, $S = 200 \text{ m}^2$, Surface de l'échantillon, $S = 12 \text{ m}^2$

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
T ₀	13.7	10.9	6.5	6.2	6.3	6.1	6	6.5	7.1
T ₁	12.3	8.6	5	4.6	4.3	3.5	3.0	2.6	2.5
f (Hz)	800	100	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
T ₀	7.1	6.4	6.2	5.6	4.5	3.9	3.2	2.5	1.8
T ₁	2.4	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.4	1.2

Le coefficient d'absorption du panneau de L_{dv}.

T_R : temps de réverbération. En s.

V : volume de la salle. m³.

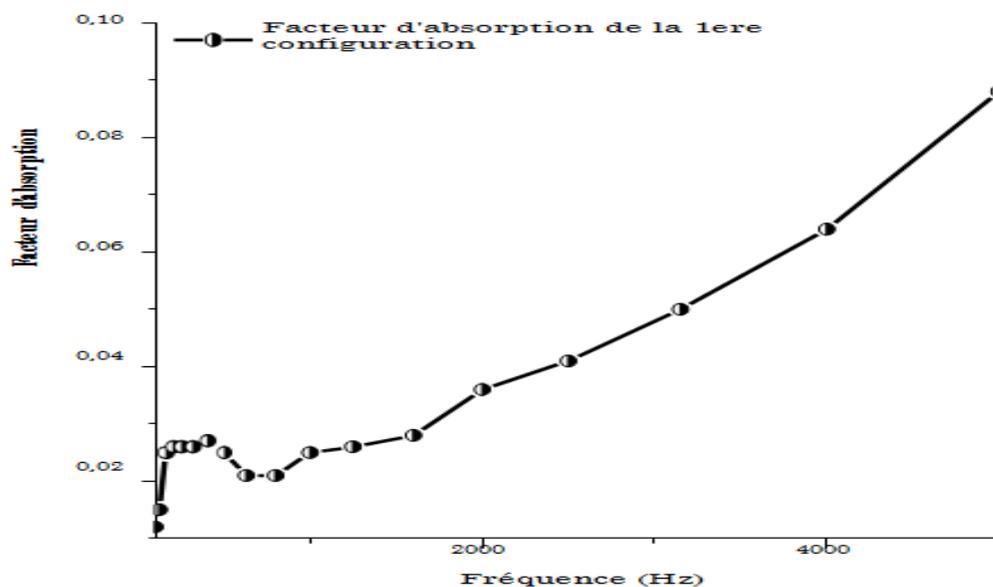
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
α ₀	0.0116	0.0147	0.0246	0.0258	0.0254	0.0262	0.0266	0.0246	0.0225
α ₁	0.0130	0.0186	0.032	0.034	0.0372	0.0457	0.0533	0.0615	0.064
f (Hz)	800	100	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
α ₀	0.0225	0.025	0.0258	0.0285	0.0355	0.0410	0.05	0.064	0.0888
α ₁	0.066	0.0762	0.08	0.08	0.0842	0.088	0.0941	0.1143	0.1333

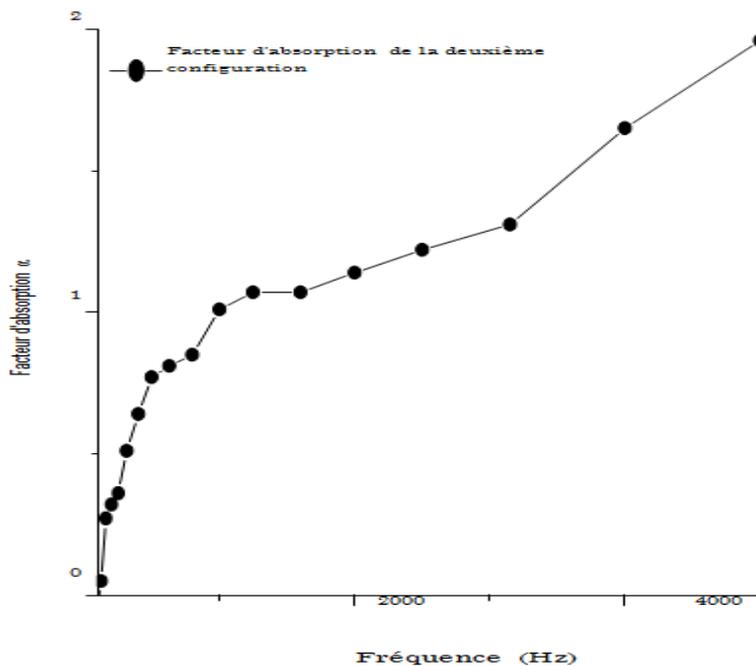
A : aire d'absorption équivalente. m².

0,16 : coefficient. Inverse d'une vitesse, s.m⁻¹.

$$A = 0,16.V/T_R, \rightarrow \text{sachant que } S=V = 200 \text{ alors } A=\alpha S \rightarrow \alpha = \frac{0.16}{T_i} \quad (\text{VI.2.1})$$

2. Nous traçons la courbe de α en fonction de f.





Exercice N°3

1) Dans un établissement scolaire, on dispose de deux salles neuves de dimensions $L=15\text{m}$; $l=10\text{m}$; $H=3.2\text{m}$.
On procède à une mesure de réverbération T_R

1.1) On admet la formule de Sabine soit $T_R = 0.16V/A$. la signification de chacun des termes en précisant leur unité

T_R : Temps de réverbération (en secondes, s) ; mesure du temps que met le son à s'atténuer dans une pièce.

V : Volume de la salle (en mètres cubes, m^3).

A : Aire d'absorption équivalente (en mètres carrés, m^2) ; mesure de la capacité d'absorption acoustique des matériaux présents dans la salle.

0,16 : Coefficient qui représente une constante dans la formule, exprimant l'inverse d'une vitesse ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$).

1.2 Calcul de l'Aire d'Absorption Équivalente

Pour les dimensions données de la salle :

- $L = 15\text{ m}$, $l = 10\text{ m}$, $H = 3.2\text{ m}$

Le volume V de la salle est : $V = L \times l \times H = 15 \times 10 \times 3.2 = 480\text{ m}^3$ (VI.3.1)

Avec la mesure du temps de réverbération $T_R = 2.2\text{ s}$, l'aire d'absorption équivalente A est calculée comme suit :

$$A = 0,16 V/T_R = 0.16 \times 480 / 2.2 \approx 34.9\text{ m}^2 \quad (\text{VI.3.2})$$

2. Adaptation des Salles

Nous devons maintenant adapter les salles pour qu'elles répondent aux exigences acoustiques spécifiques.

2.1 Temps de Réverbération Ciblé

- Salle de classe $T_r = 1.5$ s
- Salle de concert $T_r = 0.5$ s

Ces valeurs sont conformes aux normes d'utilisation de l'acoustique dans des environnements respectifs.

2.2 Calcul des Coefficients d'Absorption

Pour la salle de classe, nous utilisons les matériaux déjà présents.

- Données - Coefficient d'absorption des murs $\alpha_0 = 0.20$
 - Plafond recouvert d'un matériau avec coefficient d'absorption α_1

La surface d'absorption équivalente pour amener le temps de réverbération à 1.5 s est :

$$A' = 0,16 V/T_R = 0.16 \times 480/1.5 \approx 51.2 \text{ m}^2 \quad (\text{VI.3.3})$$

L'aire équivalente A' se décompose en contributions des murs et du plafond :

$$A' = \mathbf{A}' = 0,16 V/T_R = \alpha_1 \cdot S_{\text{plafond}} + \alpha_0 \cdot S_{\text{murs}} \quad (\text{VI.3.4})$$

Calcul de S_{plafond} et S_{murs} :

Surface du plafond, $S_{\text{plafond}} = L \times l = 15 \times 10 = 150 \text{ m}^2$

Surface des murs: Considérant 4 murs, on a :

$$S_{\text{murs}} = 2 \times (L \times H + l \times H) = 2 \times (15 \times 3.2 + 10 \times 3.2) = 2 \times (48 + 32) = 160 \text{ m}^2 \quad (\text{VI.3.5})$$

En substituant dans l'équation de A'

$$\alpha_1 \cdot S_{\text{plafond}} + \alpha_0 \cdot S_{\text{murs}} \quad (\text{VI.3.6})$$

$$51.2 = \alpha_1 \times 150 + 0.20 \times 160$$

$$\alpha_1 = (51.2 - 0.20 \times 160)/150$$

$$\text{D'où } \alpha_1 = 0,128$$

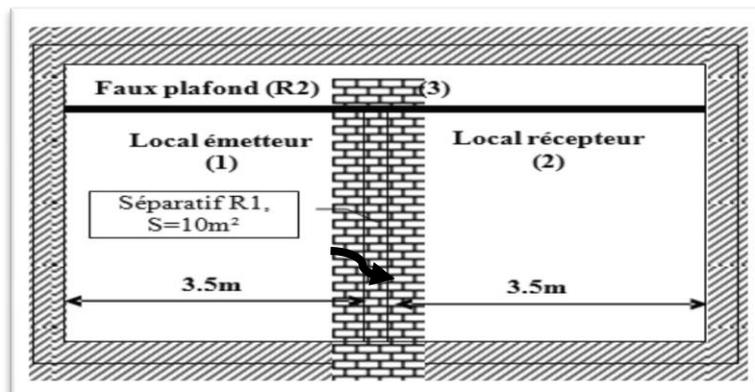
Exercice N°4

On étudie l'isolement acoustique entre deux locaux présentant un faux plafond commun (voir le schéma)

Calculer l'isolement global (en dB(A)) entre les deux bureaux. Les données sont : Local (1) et (2) identique,

$V=35\text{m}^3$, $T_r=1\text{s}$, $h=2,5\text{m}$ Volume au dessus du F.P. (3), aire d'absorption $A=2\text{m}^2$ Surface du séparatif,

$S_{\text{sep}}=10\text{m}^2$



On a deux chemins de transmission :

•Direct par le séparatif R_1 (cas de chemin 1), $R_1 = 40\text{dB}$ à 1000Hz

•Par le faux plafond R_2 (cas de chemin 2), $R_2 = 50\text{dB}$ à 1000Hz

l'équation de l'isolement global. En utilisant la relation suivante

$$D_{n,AT} = R + 10 \text{Log} \left(0.32 \frac{V}{S} \right) - a, \quad \text{avec } a = 5 + \frac{S_r}{10} - N \quad (\text{VI.4.1})$$

L'isolement brut du bruit est diffus sur la surface de la paroi , ces bruits proviennent en direct , soient par réflexion de la source

$$D_{b1} = L_1 - L_2 = R_1 + 10 \text{Log} \left(\frac{A_{L2}}{S} \right) \quad (\text{VI.4.1})$$

On néglige les transmissions latérales, donc $a = 0$, l'aire équivalent du bureau L_2

$$A_2 = \frac{0.16 V}{T}$$

$$D_{b1} = R_1 + 10 \text{Log} \left(\frac{0.16V}{T S} \right) = R_1 + 10 \text{Log} \left(\frac{0.16 V}{T S} \right) \rightarrow \quad (\text{VI.4.2})$$

$$D_{b1} = 40 + 10 \text{Log} \left(\frac{0.16 \times 35}{1 \times 10} \right) = 37.38 \text{ dB}$$

Transmission par faux plafond, le calcul se fait en deux étapes.

Etape 1 : on considère l'espace au dessus du F.P (Faux –Plafond) comme un local récepteur

$$L_1 - L_3 = R_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{A_{PF}}{S_{PF}} \right) \quad (\text{VI.4.3})$$

$$L_1 - L_3 = 50 + 10 \text{Log} \left(\frac{2}{3 \times 4} \right) = 42.12 \text{ dB}$$

Etape 2 : on considère l'espace au dessus du F.P. comme un local émetteur

$$L_3 - L'_2 = R_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{A_{L2}}{S_{PF}} \right) \rightarrow \quad (\text{VI.4.4})$$

$$L_3 - L'_2 = 50 + 10 \text{Log} \left(\frac{5.6}{12} \right) = 46.7 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow (L_1 - L_3) + (L_3 - L'_2) = L_1 - L'_2$$

$$L_1 - L'_2 = 2R_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{A_{L2} \times A_{PF}}{S_{PF}^2} \right) \quad (\text{VI.4.5})$$

1) un traitement acoustique de l'espace émetteur (1) ramène le T_r à 0,5 secondes, quelque soit la fréquence. l'isolement devient entre les deux bureaux

$$D_{b1} = R_1 + 10 \text{Log} \left(\frac{0.16 V}{T S} \right) = D_{b1} = 40 + 10 \text{Log} \left(\frac{0.16 \times 35}{0.5 \times 10} \right) \rightarrow 40.5 \text{ dB} \quad (\text{VI.4.6})$$

- 2) la solution constructive permettrait d'accroître de façon significative cet isolement, c'est de considérer un revêtement sur le mur séparatif peut augmenter l'isolement

VII. Indice d'affaiblissement des parois, loi de masse, Isolement

Exercice N°1

Supposons un mur en parpaings pleins de 20 cm d'épaisseur non enduits c'est-à-dire ayant d'après la loi de masse expérimentale, un indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} de 58 dB(A). Sa surface est de 10 m². Il présente un certain nombre de trous dus à un mauvais jointoiment d'une surface totale de 100 cm² il présente un certain nombre de trous dus à un mauvais jointoiment d'une surface totale de 100 cm²

La surface totale $S=S_1+S_2$ où $S_2=0.01\text{m}^2$

Sachant que l'indice R de ces percements est égal à 0dB(A). L'indice R résultant si on enduit ce mur en parpaing sur au moins une face. L'indice d'affaiblissement du mur réparé est de nouveau 58dB(A) d'après la

$$\text{loi de } R_{\text{résultant}} = 10 \log \frac{S_1 + S_2}{S_1 10^{R_1/10} + S_2 10^{R_2/10}} \quad (\text{VII.1.1})$$

Les divers trous se trouvent bouchés et l'indice d'affaiblissement de ces trous est de 0dB, alors l'indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} suit à nouveau la loi de masse expérimentale c'est à dire qu'il est égal à 58dB(A) et se trouvent bouchés.

Et S_1+S_2 est la surface de chaque composant (sur parpaings plein +trous)

$$S_1=9.99 \text{ m}^2 \quad \text{et } S_2=0.01 \text{ d'où}$$

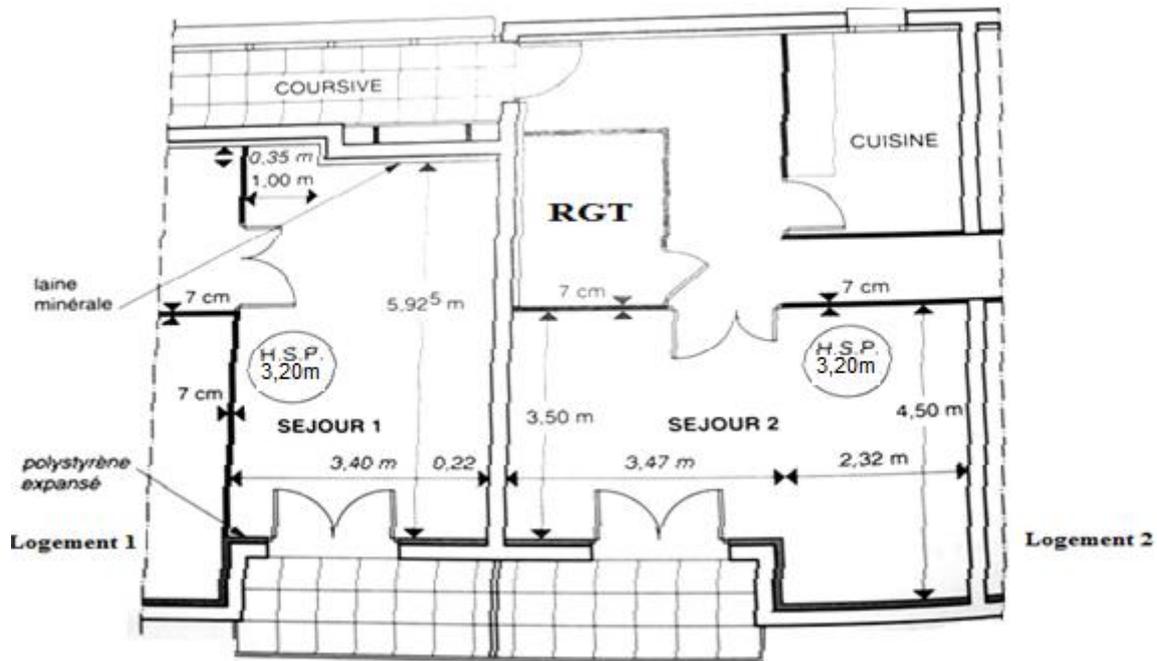
$$S_1+S_2=10 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{résultant}} = 10 \log \frac{10}{9.99 \times 10^{5.8} + 0.01 \times 10^0} = 30 \text{ dB(A)} \quad (\text{VII.1.2})$$

Exercice N°2

Soit 2 pièces de séjour juxtaposées, les dimensions sont précisées sur la figure 1, le mur de façade est en parpaing creux de 20 cm enduit extérieurement, sur lequel est collé un complexe de doublage de 8 cm + 1 cm en polystyrène expansé et en plaques de plâtre. Le mur côté coursive est en parpaings creux doublé par un complexe de 8 cm + 1 cm en laine minérale et en plaque de plâtre les cloisons cotées 7 cm sont en plaques de plâtre sur une ossature métallique sans laine minérale.

Calculons les isollements entre les séjours, si le bruit étant émis dans le séjour 2 et il est reçu dans le séjour 1 et puis le bruit étant émis dans le séjour 1 et il est reçu dans le séjour 2.



Voici les données extraites du plan fourni :

Dimensions et Matériaux

1. Séjour 1 :

- Longueur : 5,925 m
- Largeur : 3,50 m
- Hauteur sous plafond (H.S.P.) : 3,20 m

2. Séjour 2 :

- Longueur : 4,50 m
- Largeur : 3,47 m
- Hauteur sous plafond (H.S.P.) : 3,20 m

3. Mur de façade :

- Parpaing creux de 20 cm enduit extérieurement.
- Complexe de doublage : 8 cm de polystyrène expansé + 1 cm de plaques de plâtre.

4. Mur côté coursive :

- Parpaing creux.
- Complexe de doublage : 8 cm de laine minérale + 1 cm de plaques de plâtre.

5. Cloisons de 7 cm :

- Plaques de plâtre sur ossature métallique sans laine minérale.

Autres Détails

- Coursive : Largeur de 0,35 m

Cuisine : Dimensions non spécifiées dans l'extrait visible

Pour déterminer l'isolement acoustique entre les deux séjours, nous devons nous baser sur l'analyse des murs et des cloisons en utilisant les principes de l'acoustique des bâtiments, l'isolement est déterminé par la relation

$$D_{n,AT} = R + 10 \log_{10} \left(0,32 \frac{V}{S} \right) - a \quad (\text{VII.2.1})$$

Avec

$$a = 5 + \frac{S_r}{10} - N \quad (\text{VII.2.2})$$

D'après la littérature le béton de 220mm Rose est de 62dB(A)

Isolement Acoustique entre les Séjours

Le bruit émis dans le séjour 2 et reçu dans le séjour 1 est déterminé par la relation

$$D_{n,AT} = R + 10 \log_{10} \left(0,32 \frac{V}{S} \right) - a$$

1.1 Analyse des Matériaux

Mur de Façade :

- Parpaing Creux : 20 cm
- Enduit Extérieur : Non précisé, mais généralement environ 1 cm
- Complexe de Doublage :
 - Polystyrène Expansé : 8 cm
 - Plaques de Plâtre : 1 cm

Mur côté Coursive :

- Parpaing Creux (épaisseur non précisée, mais typiquement semblable aux autres murs)
- Complexe de Doublage :
 - Laine Minérale : 8 cm
 - Plaques de Plâtre : 1 cm

Cloisons (interne) :

- Plaques de Plâtre : 7 cm sur une ossature métallique sans laine minérale

Calcul de $10 \log_{10} \left(0,32 \frac{V}{S} \right)$ (VII.2.3)

La surface $S = 3,50 \times 3,20 \text{ m} = 11,2 \text{ m}^2$

Volume de séjour 1

$$[(3,40 \times 5,92) + (1 \times 0,35)] \times 3,20 = 65,53 \text{ m}^3$$

Le volume de séjour 2

$$[(3,50 \times 3,47) + (4,50 \times 2,32)] \times 3,20 = 72,27 \text{ m}^3$$

Pour le séjour 1

$$10 \log_{10} \left(0,32 \frac{V_1}{S} \right) = 1,289 \cong 1,3$$

Pour le séjour 2

$$10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V_2}{S}) = 3,148 \cong 3$$

- Le mur est principalement constitué de parpaing et d'un complexe de doublage avec polystyrène expansé à 6cm aucune paroi n'est considéré comme très rayonnante d'où $S_r = 0$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dans le séjour 1, } S_r=0 \text{ ET } N=1 \\ \text{Dans le séjour 2, } S_r=0 \text{ ET } N=0 \\ \text{Dans le séjour 1, } a=5+0-1=4 \\ \text{Dans le séjour 2, } a=5+0-0=5 \end{array} \right\} \quad (\text{VII.2.4})$$

Calcul des isolements entre les séjours

Quand le bruit est émis dans le séjour 2 et reçu dans le séjour 1

$$D_{n,AT} = R + 10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}) - a \quad (\text{VII.2.5})$$

$$D_{n,AT} = 62 + 1,3 - 4 = 59,3\text{dB}(A)$$

Quand le bruit est émis dans le séjour 1 et reçu dans le séjour 2

$$D_{n,AT} = R + 10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}) - a \quad (\text{VII.2.6})$$

$$D_{n,AT} = 62 + 3 - 5 = 60\text{dB}(A)$$

Ces deux isolements respectent largement la réglementation de 54dB(A) qu'est l'isolement minimale

Exercice N°3

On considère les 2 pièces de séjour précédentes de la figure 1, comme étant superposées à des séjours identiques. Quelle doit être l'épaisseur minimale du plancher en béton armé pour que entre séjours superposés, on respecte la réglementation c'est-à-dire un isolement minimal de 54 dB(A).

Pour respecter la réglementation avec un isolement minimal de 54 dB(A) entre les séjours superposés, nous devons calculer l'épaisseur minimale du plancher en béton armé.

Épaisseur Minimale du Plancher en Béton Armé

- Calcul de l'Indice d'Affaiblissement Acoustique du Plancher

L'indice d'affaiblissement acoustique du plancher en béton armé dépend de son épaisseur. Pour un béton armé, l'indice d'affaiblissement acoustique R est généralement en fonction de l'épaisseur.

En premier lieu, on cherche la valeur des indices d'affaiblissement acoustique R_{rose} des planchers séparant le séjour 1 entre eux et les séjours 2 entre eux

$$\text{Soit } D_{n,AT} = R + 10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}) - a \rightarrow R = D_{n,AT} - 10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}) + a \quad (\text{VII.3.1})$$

$$\text{Calculons } 10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S})=0,1$$

$\frac{V}{S}$ Correspond, dans les deux cas à la hauteur sous plafond des locaux, il est donc égale à 3,20m d'où

$$10\text{Log}_{10}(0,32\frac{V}{S}) \approx 10\text{Log}_{10}(0,32 \times 3,20) = 0,103 \quad (\text{VII.3.2})$$

Dans le séjour 1, $a=5+0-1=4\text{dB(A)}$

Dans le séjour 2, $a=5+0-0=5\text{dB(A)}$

Valeur de l'indice R_{rose} d'affaiblissement minimal des planchers séparant les séjours 1 entre eux doit être au minimum égale à

$$54+0,1+4 \approx 58\text{dB(A)}$$

L'indice R_{rose} des planchers séparant les séjours 2 entre eux doit au minimum être égale à

$$54+0,1+5 \approx 59\text{dB(A)}$$

- Épaisseur Minimale du Plancher en Béton Armé :
- On retient l'indice d'affaiblissement acoustique R le plus important pour calculer l'épaisseur du plancher parce que celui-ci doit avoir pour des raisons d'exécution, une épaisseur identique sur un niveau
- On définit d'abord la masse surfacique du plancher en utilisant soit l'abaque de la loi de masse expérimentale, les planchers ayant une masse surfacique généralement comprise entre 150-700 kg/m² on prendra

$$R=40\log m_s-46 \quad (\text{VII.3.3})$$

Ce qui donne $\log m_s = \frac{59+46}{40} = 2,6$ (VII.3.4)

$$\text{Et } m_s = 10^{2,6} = 447\text{kg/m}^2$$

Le béton du plancher ayant une masse volumique de 2400kg/m³, l'épaisseur du plancher doit être au minimum de $447/2400 \approx 0,19\text{m} = 19\text{cm}$

- Environ 20 cm pour atteindre un isolement de 54 dB(A) entre les séjours superposés.

Exercice N°4

Calculons l'Indice d'Affaiblissement Acoustique de la Fenêtre

Sachant que la masse surfacique du verre est $\sigma_v=7\text{kg/m}^2$, puis déterminez R_f l'indice d'affaiblissement acoustique de la fenêtre. En déduire τ_f le facteur de transmission de la fenêtre. Calculons l'isolement brut D_b de la chambre avec l'extérieur sachant que l'aire d'absorption équivalente de chambre a pour valeur $A= 14\text{m}^2$. Calculons le niveau acoustique dans la chambre.

Formule :

$$\text{Loi de masse} \quad R = 17 \text{Log} \sigma + 4 \quad (\text{VII.4.1})$$

si

$$\sigma < 150 \text{kg/m}^2$$

$$\text{Loi de masse} \quad R = 40 \text{Log} \sigma - 46, \quad (\text{VII.4. 2})$$

si

$$\sigma > 150 \text{kg/m}^2$$

$$L_i = 10 \text{Log} \frac{I}{I_0} \text{ avec } I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{W/m}^2 \quad (\text{VII.4. 3})$$

$$R = 10 \text{Log} \frac{1}{\tau} \quad D_b = 10 \text{Log} \frac{A}{\sum_i \tau_i S_i} \quad (\text{VII.4. 4})$$

1/Calculons l'Indice d'Affaiblissement Acoustique (R_f)

La masse surfacique du verre est $\sigma_v = 7 \text{ kg/m}^2$

Loi de Masse :

$$\text{Puisque, } \sigma_v < 150 \text{kg/m}^2, \text{ nous utiliserons } R = 17 \log_{10}(\sigma) + 4 = 17 \log_{10}(7) + 4 \quad (\text{VII.4. 5})$$

$$= 17 \times 0,845 + 4 \approx 18,36 \text{dB(A)}$$

2/ Calcul du Facteur de Transmission (τ)

$$\text{Le facteur de transmission } \tau \text{ est : } R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \tau = 10^{\frac{-R}{10}} \tau = 10^{\frac{-18,32}{10}} \tau \approx 0,0046 \quad (\text{VII.4. 6})$$

3/ Calcul de l'Isolement Brut (D_b)

Surface de la Fenêtre (S_f) : Non spécifiée dans l'extrait. Supposons que la surface est représentative par la surface de la chambre.

$$\text{Surface Totale des Absorbeurs } (\sum \tau_i S_i) : R = 10 \text{Log} \frac{1}{\tau}, \quad D_b = 10 \text{Log} \frac{A}{\sum_i \tau_i S_i}$$

Surface Totale des absorbeurs ($\sum \tau_i S_i$)

$A = 14 \text{m}^2$ (aire d'absorption équivalente de la chambre)

$$\text{Calcul de } D_b : D_b = 10 \text{Log} \frac{A}{\sum_i \tau_i S_i} \text{ sans spécifier } S_f \text{ le calcul direct est difficile, cependant si l'on suppose une surface typique de fenêtre disons de } 2 \text{m}^2 : D_b = 10 \text{Log} \left(\frac{14}{0,0046 \times 2} \right), \quad (\text{VII.4. 7})$$

$$D_b = 10 \times 3,182, D_b = 31,82 \text{dB}$$

4/Niveau Acoustique dans la Chambre

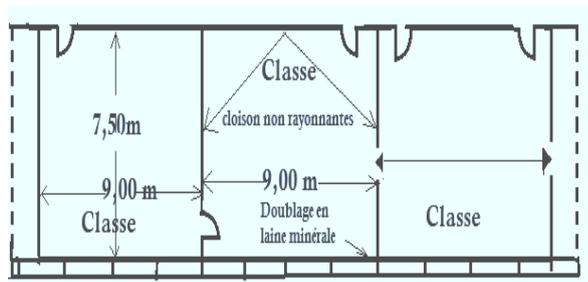
Niveau Acoustique (L) : $L = L_P + D_b$ où L_P est le niveau de pression acoustique dans la chambre sans précision sur le niveau de bruit externe (L_P), on peut conclure

- Indice d’Affaiblissement Acoustique de la Fenêtre (R_f) : Environ 18.32 dB
- Facteur de Transmission (τ) : Environ 0.0046
- Isolement Brut (D_b) : Environ 31.82 dB, mais il est nécessaire de connaître la surface de la fenêtre pour un calcul précis.

Pour des calculs plus précis, il est essentiel de connaître la surface exacte des fenêtres et d’autres détails spécifiques.

Exercice N°5

Soit trois classes juxtaposées de même dimensions ($9 \times 7.5 \times 3$)m³. La classe centrale est séparée d'une des classes voisines par une cloison sans porte et de l'autre classe voisine par une cloison ayant une porte de 2m² (voir figure 2). En supposant les planchers haut et bas ainsi que les cloisons non rayonnantes, en supposant également un doublage de façade réalisé avec un complexe en plaques de plâtre et en laine minimale de 8 cm d'épaisseur quel doit être l'indice d'affaiblissement acoustique R_{rose} minimal de la paroi séparative pour respecter la réglementation ? Valeur de l'isolement acoustique normalisé $D_{n,R,T}$ réglementaire sans porte de communication 44dB(A), avec porte de communication 42dB(A).



Pour résoudre cet exercice, nous devons déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique minimal Rose de la paroi séparative entre les trois classes juxtaposées, afin de respecter la réglementation acoustique.

Données:

- Dimensions des classes : 9 m × 7,5 m × 3 m
- Cloison séparative :
 - Entre la classe centrale et une classe voisine : Cloison sans porte

- Entre la classe centrale et l'autre classe voisine : Cloison avec une porte de 2 m²
- Doublage de façade : Complexe en plaques de plâtre et laine minérale de 8 cm d'épaisseur
- Isolement acoustique normalisé réglementaire :
 - Sans porte de communication : $D_{n,R,T} = 44 \text{ dB(A)}$
 - Avec porte de communication : $D_{n,R,T} = 42 \text{ dB(A)}$

Objectif :

Déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique minimal Rrose requis pour la paroi séparative afin de respecter les exigences réglementaires.

1. Détermination des Conditions Acoustiques

- Sans porte de communication :

La paroi séparative doit avoir un indice d'affaiblissement acoustique Rrose qui garantit un isolement d'au moins 44 dB(A) entre les deux pièces adjacentes.

- Avec porte de communication :

La présence de la porte diminue l'isolement acoustique global de la paroi séparative. Pour respecter un isolement d'au moins 42 dB(A) avec la porte, la paroi doit être conçue pour compenser la perte acoustique due à la porte.

2. Calcul de l'Indice d'Affaiblissement Acoustique Minimal Rrose

Nous savons que le niveau de réduction du bruit ($D_{n,R,T}$) se réfère à la performance de l'ensemble de la paroi, y compris la porte si présente.

L'affaiblissement acoustique total de la paroi (y compris la porte) est influencé par les caractéristiques de la porte.

Calculons la valeur $10 \log_{10}(0,32 \frac{V}{S})$, le rapport $\frac{V}{S}$ étant égale à la profondeur de la pièce soit 9m d'où

$$10 \log_{10}(0,32 \frac{V}{S}) = 10 \log_{10}(0,23 \times 9) = 4,5 \quad (\text{VII.5. 1})$$

La valeur de a

Il n'existe pas de parois très rayonnantes donc $S_r=0$

La façade est doublée par un complexe en laine minérale de 9cm (8+1)cm d'épaisseur donc $N=1$,
 $a=5-1=4$

Le valeur de $R = D_{n,AT} - 10 \log_{10}(0,32 \frac{V}{S}) + a \quad (\text{VII.5. 2})$

$R = 44 - 4,5 + 4 = 43,5 \text{ dB(A)}$ pour la cloison sans porte

$R = 42 - 4,5 + 4 = 41,5$ indice d'affaiblissement acoustique résultant R de la cloison avec porte

Pour garantir que l'isolement acoustique respecte les exigences réglementaires dans les deux configurations (avec et sans porte), la paroi séparative doit avoir un indice d'affaiblissement acoustique R minimal de plus de 41,5 dB(A)

Exercice N°6

La paroi de séparation d'une pièce avec l'extérieur est composée de 20% de vitrage et pour le reste, d'un mur en briques. Le facteur de transmission acoustique des briques est $\tau_b = 4,3 \times 10^{-3}$. Le vitrage existant est composé de vitrages simples de 4mm d'épaisseur, et il conduit à un affaiblissement acoustique $R_v = 26$ dB(A)

Matériaux	α à 1000 Hz
Isolnet	0,54
Baïsson	0,59
Acoustex	0,62
Absorbto	0,75
Anulson	0,80

Données de l'exercice :

- Facteur de transmission acoustique des briques : $\tau_b = 4,3 \times 10^{-3}$
- Affaiblissement acoustique du vitrage simple : $R_v = 26$ dB(A)
- Pourcentage de vitrage dans la paroi : 20%
- Facteur de transmission acoustique minimum réglementaire pour les bruits routiers extérieurs : 30 dB(A)

1. Déterminer le facteur de transmission acoustique du vitrage τ_v

Pour trouver le facteur de transmission acoustique τ_v du vitrage, nous utilisons l'affaiblissement acoustique R_v donné :

$$R_v = 10 \log_{10} (1/\tau_v) \quad (\text{VII.6. 1})$$

Réarrangeons cette formule pour τ_v

$$\tau_v = 10^{-R_v/10} \quad (\text{VII.6. 2})$$

Substituons $R_v = 26$ dB(A), $\tau_v = 10^{-26/10} = 10^{-10/26} = 10^{-2,6} \approx 2,51 \times 10^{-3}$

2. Calculons le facteur de transmission acoustique total τ de la paroi composée

a) Expression du facteur de transmission acoustique total τ

$$\tau = \frac{S_b \tau_b + S_v \tau_v}{S_b + S_v} \quad (\text{VII.6. 3})$$

Où S_b est la surface du mur de briques, et S_v est la surface du vitrage, étant donné que

$$S_v = 0,2 \times (S_b + S_v) \text{ et } S_b = 0,8 \times (S_b + S_v), \quad (\text{VII.6. 4})$$

On peut simplifier

$$\tau = \frac{0,8\tau_b + 0,2\tau_{bv}}{1}$$

Substituons $\tau = 3,44 \times 10^{-3} + 0,502 \times 10^{-3}$

$$\tau = 3,94 \times 10^{-3}$$

3. Calculer l'affaiblissement acoustique total de la paroi

L'affaiblissement acoustique total RRR est calculé à partir du facteur de transmission acoustique total τ

$$R_b = 10 \text{ Log} \frac{1}{\tau_b} \quad (\text{VII.6. 5})$$

Substituons

$$\tau = 3,94 \times 10^{-3}$$

$$R_b = 10 \text{ Log}_{10} \frac{1}{3,14 \times 10^{-3}}$$

$$R_b = 10 \text{ Log}_{10}(253,8) = 24,05 \text{ dB(A)}$$

b) Comparer à la réglementation

La réglementation exige un affaiblissement acoustique minimum de 30 dB(A). Comparons notre résultat :

$$R = 24,05 \text{ dB(A)}$$

La paroi ne répond pas à l'exigence réglementaire.

c) Changement pour un double vitrage feuillet

Pour un double vitrage feuillet avec un affaiblissement acoustique de 38 dB(A), calculons le facteur de transmission acoustique τ_v pour le double vitrage :

$$\tau_v = 10^{\frac{-R_v}{10}} \quad (\text{VII.6. 6})$$

$$\tau_v = 10^{\frac{-38}{10}} \cong 1,58 \times 10^{-4}$$

Recalculons τ avec 20% de double vitrage :

$$\tau = 0,8 \times 3,43 \times 10^{-3} + 0,2 \times 1,58 \times 10^{-4}$$

$$\tau = 3,473 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$$

Calculons le nouvel affaiblissement acoustique total :

$$R_v = 10 \log_{10} (1/\tau_v) \quad (\text{VII.6. 7})$$

$$R = 10 \text{Log}_{10}(287,9)$$

$$R \approx 24,6 \text{dB(A)}$$

Le double vitrage feuillet ne répond pas non plus à l'exigence réglementaire.

4. Détermination du facteur de transmission acoustique τ_b du mur de briques pour atteindre 30 dB(A) avec double vitrage

Nous voulons atteindre un affaiblissement de 30 dB(A). Calculons le facteur de transmission acoustique nécessaire τ_b :

$$R_{total} = 30 \text{dB(A)}$$

$$\tau_{total} = 10^{\frac{-R_{total}}{10}} = 10^{-3} \quad (\text{VII.6. 8})$$

Utilisons la formule de la transmission acoustique totale pour la paroi

$$\tau_{total} = 0,8\tau_b + 0,2\tau_v \quad (\text{VII.6. 9})$$

Réarrangeons pour τ_b :

$$\tau_b = \frac{\tau_{total} - 0,2\tau_v}{0,8}$$

$$\tau_b = \frac{0,9684 \times 10^{-3}}{0,8}$$

$$\tau_b \approx 1,21 \times 10^{-3}$$

1. Facteur de transmission acoustique du vitrage τ_v : $2,51 \times 10^{-3}$
2. Facteur de transmission acoustique total τ : $3,94 \times 10^{-3}$
3. Affaiblissement acoustique total de la paroi : 24,05 dB(A)
4. Pour atteindre 30 dB(A) avec un double vitrage, le facteur de transmission acoustique du mur de briques doit être : $1,21 \times 10^{-3}$

Ces calculs montrent que, même avec un double vitrage de haute qualité, des améliorations supplémentaires du mur de briques sont nécessaires pour satisfaire les exigences réglementaires d'isolement acoustique.

Exercice N°7

On désire corriger le niveau acoustique dans un local de dimensions suivantes : longueur $L = 10,00$ m ; largeur $l = 6,00$ m ; hauteur $h = 3,00$ m. Les ouvertures se composent de la façon suivante : 4 portes en bois de surface 3 m^2 chacune et 6 fenêtres de surface $3,50 \text{ m}^2$ chacune. Les sons sont étudiés à la fréquence de 1000 Hz. On donne les coefficients d'absorption a à la fréquence de 1000 Hz des matériaux revêtant les surfaces de ce local :

Revêtements	Mur en béton	Porte en bois	Plafond en plâtre	Sol en bois	Fenêtre en simple vitrage
Coefficient d'absorption α	0,03	0,09	0,04	0,07	0,12

Nous allons procéder en plusieurs étapes.

Données de la salle

Les caractéristiques de la salle sont :

Longueur $L = 10.00$ m; Largeur $l = 6.00$ m

Hauteur $H = 3.00$ m; $S_{\text{totale}} = 216$ Les caractéristiques de la salle sont :

Longueur $L = 10.00$ m; Largeur $l = 6.00$ m

Hauteur $H = 3.00$ m; $S_{\text{totale}} = 216$

- Coefficients d'absorption à 1000 Hz :

-

Revêtements	Mur en béton	Porte en bois	Plafond en plâtre	Sol en bois	Fenêtre en simple vitrage
Coefficient d'absorption α	0,03	0,09	0,04	0,07	0,12

1. Déterminer la surface d'absorption équivalente A de la salle et vérifier l'hypothèse de Sabine

L'hypothèse de Sabine suppose que le temps de réverbération R_{T60} est directement proportionnel à la surface d'absorption équivalente A et inversement proportionnel au volume V de la salle :

$$T_{R60} = \frac{0,161 \times V}{A} \quad (\text{VII.7. 1})$$

Pour cette salle :

- Volume de la salle :

$$V = L \times l \times h = 10,00 \times 6,00 \times 3,00 = 180 \text{ m}^3 \quad (\text{VII.7. 2})$$

- Calcul de l'aire d'absorption équivalente totale A :

- Calcul l'aire des surfaces du local
 - Surface des murs :
 - Deux murs de longueur L et de hauteur h

Surface, $S = 2 \times (L \times h) = 60 \text{ m}^2$

Deux murs de largeurs l et de hauteur h Surface, $S=2 \times (l \times h) = 36 \text{ m}^2$

Surface totale des murs

$$S_{\text{Tot murs}} = 60 + 36 = 96 \text{ m}^2$$

Surface de plafond

$$S_f = L \times l = 60 \text{ m}^2$$

Surface de sol

$$S_{\text{sol}} = L \times l = 60 \text{ m}^2$$

Totale des surfaces = surfaces des murs + Surface du plafond + surface du sol = $96 + 60 + 60 = 316 \text{ m}^2$

Surface des ouvertures

4 portes en bois surface des portes = $4 \times 3,00 = 12 \text{ m}^2$

6 fenêtres en simple vitrage

Surfaces des fenêtres = $6 \times 3,50 = 21 \text{ m}^2$

Calcul de l'aire totale d'absorption de chaque type de surface

- Pour les murs en béton

$Ab = \text{Surfaces des murs} \times \alpha_{\text{béton}} = 96 \times 0,03 = 2,88 \text{ m}^2$

- Pour les portes en bois

Aire d'absorption des portes = surfaces des portes $\times \alpha_{\text{bois}} = 12 \times 0,09 = 1,08 \text{ m}^2$

- Pour le plafond en plâtre

Aire d'absorption du plafond = surface de plafond $\times \alpha_{\text{plafond}} = 60 \times 0,04 = 2,40 \text{ m}^2$

- Pour le sol en bois

Aire d'absorption du sol = surface du sol $\times \alpha_{\text{bois}} = 60 \times 0,07 = 4,20 \text{ m}^2$

- Pour les fenêtres en simple vitrage :

Aire d'absorption des fenêtres = surface des fenêtres $\times \alpha_{\text{fenêtre}} = 21 \times 0,12 = 2,52 \text{ m}^2$

Calcul de l'aire d'absorption équivalente totale

Aire d'absorption totale = Aire d'absorption des murs + Aire d'absorption des portes + ..

Aire d'absorption totale = $2,88 + 1,08 + 2,40 + 4,20 + 2,52 = 13,08 \text{ m}^2$

- Vérification de l'hypothèse de Sabine :

L'hypothèse de Sabine est valide si le temps de réverbération calculé correspond au temps réel mesuré ou s'il est raisonnable par rapport à la valeur attendue pour la salle. Pour valider, nous utiliserons l'équation du temps de réverbération.

2. Calculer le temps de réverbération T_{R60}

$$T_{R60} = \frac{0,16 V}{A} \quad (\text{VII.7. 3})$$

Substituons les valeurs

$$T_{R60} = \frac{0.16 \times 180}{13,08} = \frac{28,98}{13,08} \approx 2,22s$$

3. Déterminer la nouvelle surface d'absorption équivalente A' pour un $T_{R60} = 0,7s$

$$A' = \frac{0.16 V}{T_{R60}} \quad (\text{VII.7. 4})$$

$$A' = \frac{0.16 \times 180}{0,7} = 41,4m^2$$

4. Recouvrir la totalité du plafond d'un matériau absorbant

Pour déterminer quel matériau utiliser pour corriger le temps de réverbération, nous devons calculer la surface absorbante nécessaire pour atteindre A' en recouvrant seulement le plafond.

Surface du plafond : $S_{\text{Plafond}} = 10,00 \times 6,00 = 60 m^2$

Nous devons choisir un matériau dont le coefficient d'absorption est suffisant absorber
 $41,4 - 13,08 = 28,32 m^2$ supplémentaires

Nous devons donc choisir un matériau dont le coefficient d'absorption est suffisant pour absorber

Utilisons les coefficients d'absorption fournis pour les matériaux absorbants :

Isolnet : $\alpha = 0,54$

- Baisson : $\alpha = 0,59$

- Acoustex : $\alpha = 0,62$

- Absorbto : $\alpha = 0,75$

- Anulson : $\alpha = 0,80$

Nous recherchons un matériau dont la surface absorbante est suffisante pour compenser la différence. Pour chaque matériau, calculons l'aire d'absorption nécessaire :

Surface absorbante nécessaire $S = \frac{28,32}{\alpha_{\text{Matériau}}} \quad (\text{VII.7. 5})$

Pour chaque matériau :

- Isolnet : $S = \frac{28,32}{0,54} = 52,4$

- Baisson : $= \frac{28,32}{0,59} = 47,9$

$$\text{- Acoustex :} \quad = \frac{28,32}{0,62} = 45,2$$

$$\text{- Absorbto :} \quad = \frac{28,32}{0,75} = 37,8$$

$$\text{- Anulson :} \quad = \frac{28,32}{0,80} = 35,4$$

Pour recouvrir la totalité du plafond et obtenir $T_{R60}'=0,7$ s, vous devez choisir un matériau dont la surface absorbante est supérieure ou égale à la surface absorbante nécessaire. Voici les options :

- Anulson est le matériau le plus efficace, nécessitant environ $35,4 \text{ m}^2$, ce qui est possible avec un plafond de 60 m^2 , Ainsi, Anulson serait un choix approprié pour atteindre la correction désirée du temps de réverbération.

-----VIII. Examens

Examen N°1

1. On appelle onde mécanique progressive, le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière.

Onde longitudinale : la direction de la perturbation est parallèle à sa direction de propagation.

Onde transversale : la direction de la perturbation est perpendiculaire à sa direction de propagation

Exemple

	Ondes à une dimension	Ondes à deux dimensions	Ondes à trois dimensions
Ondes longitudinales	Onde lors de la compression-dilatation d'un ressort		Onde sonore
Ondes transversales	Onde le long d'une corde	Onde à la surface de l'eau	

2. Calculons la Célérité de l'onde sonore par la première méthode.

2.1. Les courbes montrent que les micros 2 et 3 captent le son de la cymbale avec du retard par rapport au micro 1.

Plus le micro est loin de la cymbale, plus le son atteint le micro tardivement.

$v = \frac{d}{\tau}$ où v est la célérité, d la distance entre les deux micros considérés et τ le retard de perception du son

entre les 2 micros.

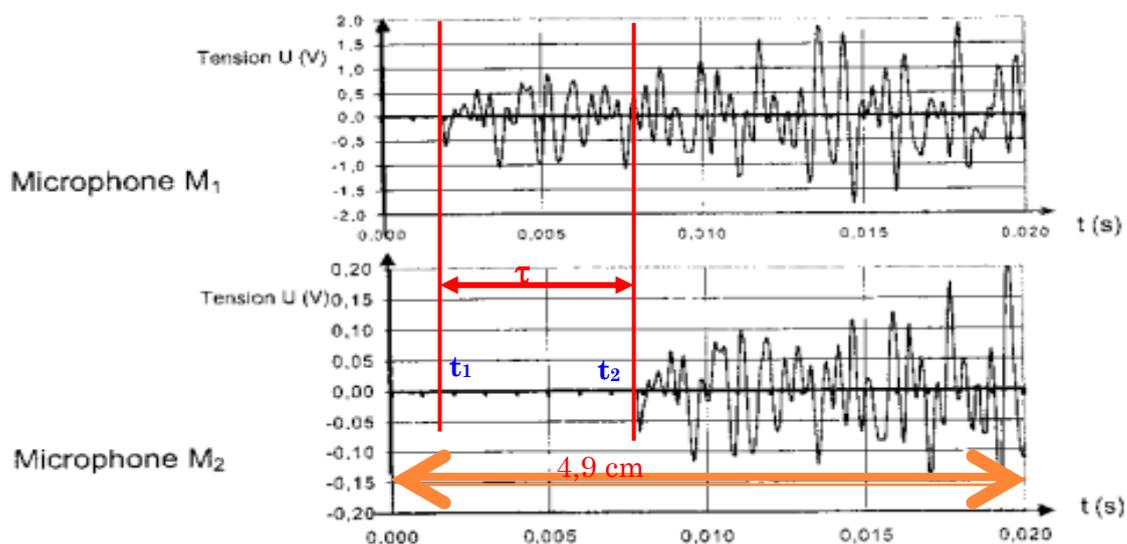
$$2.2. \quad v = \frac{M_1 M_2}{\tau} = \frac{M_1 M_2}{t_2 - t_1} \quad (\text{VIII.1.1})$$

2.3. 4,9 cm \rightarrow 0,020s

1,5 cm \rightarrow τ s, d'où

$$\tau = (1,5 \times 0,020) / 4,9 \rightarrow \tau = 6,2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$v = \frac{2,00}{6,2 \times 10^{-3}} = 326,66 \quad v = 3,3 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1} \text{ calcul effectué avec la valeur de } \tau \text{ non arrondie.}$$

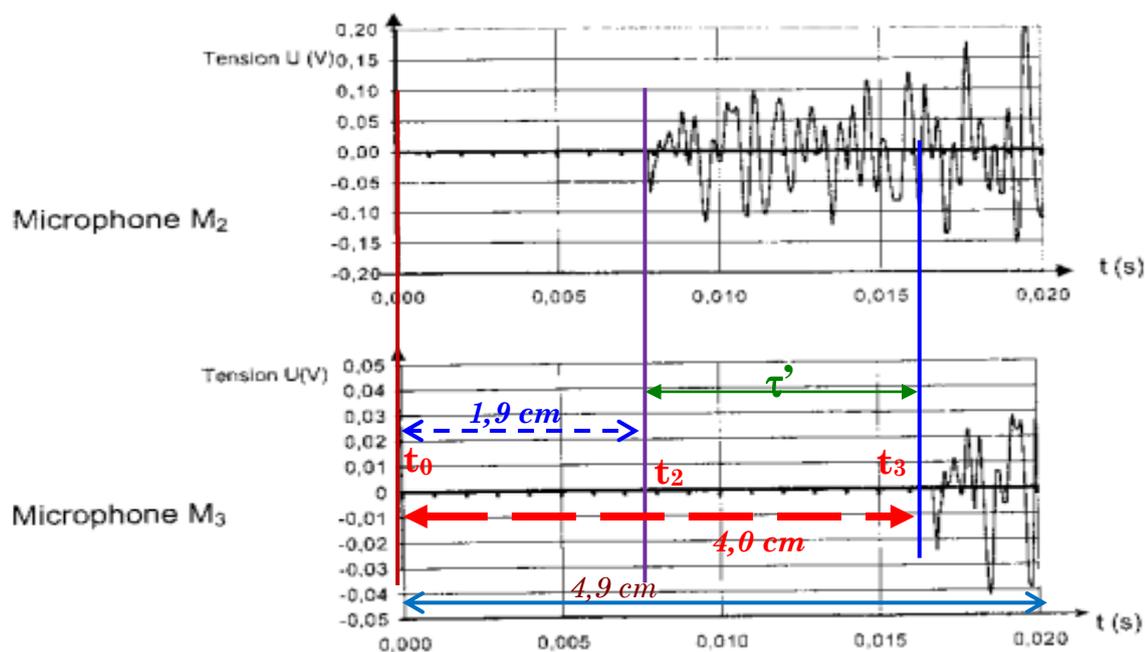


$v = \frac{M_2 M_3}{\tau'} = \frac{M_2 M_3}{t_3 - t_2}$ On ne peut pas mesurer directement τ' puisque les deux figures ne sont pas sur la même page.

$$\tau' \rightarrow (4,0 - 1,9) = 2,1 \text{ cm}, \quad 0,020 \text{ s} \rightarrow 4,9 \text{ cm} \text{ d'où } \tau' = (2,1 \times 0,020) / 4,9 = 8,6 \times 10^{-3} \text{ s}$$

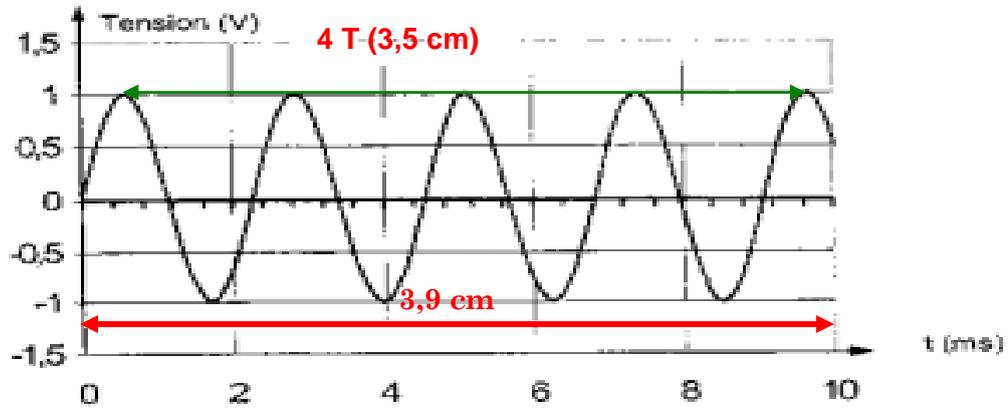
$$v = \frac{3,00}{8,6 \times 10^{-3}} = 3,5 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1} \text{ calcul effectué avec la valeur de } \tau \text{ non arrondie.}$$

2.3. Les résultats obtenus sont différents, mais l'écart entre les valeurs obtenues étant faible on peut considérer ces deux résultats comme étant cohérents. La détermination graphique de τ et τ' n'est pas assez précise pour affirmer l'incohérence de ces deux résultats proches.



3 Calculons la Célérité de l'onde sonore par la deuxième méthode.

3.1. $10 \text{ ms} \rightarrow 3,9 \text{ cm}$, $4T \rightarrow 3,5 \text{ cm}$ d'où $T = (10 \times 3,5) / (3,9 \times 4)$ alors, $T = 2,2435897 \text{ ms} = 2,2 \text{ ms} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ s}$ on a $f = 1/T$ d'où $f = (3,9 \times 4) / (10 \times 3,5) = 0,4457 \text{ kHz}$ $f = 4,5 \times 10^2 \text{ Hz}$



3.2. Pour plusieurs retours de phase, la distance mesurée est plus grande, alors l'erreur relative sur la mesure de la distance est plus faible.

3.3. La longueur d'onde est la plus faible distance entre deux points dans le même état vibratoire.

$$D = 5 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = D/5 \text{ d'où } \lambda = 3,86/5 = \mathbf{0,772 \text{ m}}$$

$$3.4. \quad \lambda = v \cdot T \quad \text{soit } v = (\lambda / T) \quad (\text{VIII.1.2})$$

$$v = \frac{0,772}{2,2 \times 10^{-3}} = 3,4 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1} \quad \text{Calcul effectué avec la valeur non arrondie de } T$$

3.5. On trouve des valeurs de la célérité du son très proches, pourtant les sons étudiés (diapason (3.4) et cymbale (2.2)) n'ont pas les mêmes fréquences.

Le milieu n'est pas dispersif pour les ondes sonores.

4. Autre propriété des ondes sonores.

4.1. Le son émis par le haut-parleur est diffracté par l'ouverture qu'est la porte.

La diffraction permet d'expliquer l'observation des amis de Salim.

$$4.2. \quad \lambda = \frac{v}{f}, \quad (\text{VIII.1.3})$$

En considérant que la célérité du son dans l'air vaut 340 m.s^{-1}

$$\text{Sons graves : } \lambda_1 = \frac{340}{100} = 3,40 \text{ m}$$

$$\text{Sons aigus : } \lambda_2 = \frac{340}{10000} = 3,40 \times 10^{-2} \text{ m} = 3,40 \text{ cm}$$

Le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la longueur d'onde λ est grande face à la taille de l'ouverture.

La porte de largeur 1,00 m diffracte mieux les sons graves, qui sont ainsi mieux perçus par les amis.

Examen N°2 (Année 2019)

Données de la pièce

Murs : parpaing creux : épaisseur $e_1=0.20\text{m}$

Isolation des murs polystyrène épaisseur $e_2= 0.05$

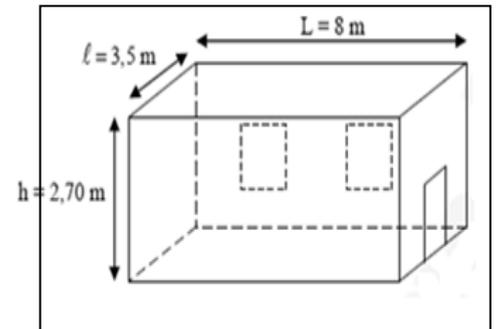
Plafond et plancher : Béton plein sans isolation

Fenêtres Double vitrage sur menuiserie bois surface $S_2 : 5 \text{ m}^2$, on négligera la présence de mobilier.

Les coefficients d'absorption des divers éléments

Plafond, sol, murs, porte fermée : $\alpha_1=0.5$

Fenêtres fermées $\alpha_2=0.4$



a) Calculer le temps de réverbération **T** pour cette salle de séjour, fenêtre fermées

$$\text{Calculons l'aire équivalente } A = \alpha_1 \times [(2 \times (L \times l + L \times h + l \times h) - S_2)] + \alpha_2 \times S_2 \quad (\text{VIII.2.1})$$

$$A = 0.5 \times [(2 \times (8 \times 3.5 + 8 \times 2.70 + 3.5 \times 2.70) - 5)] + 0.4 \times 5$$

$$A = 58.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Calculons le volume } V = L \times h \times l = 75.6 \text{ m}^3 \quad (\text{VIII.2.2})$$

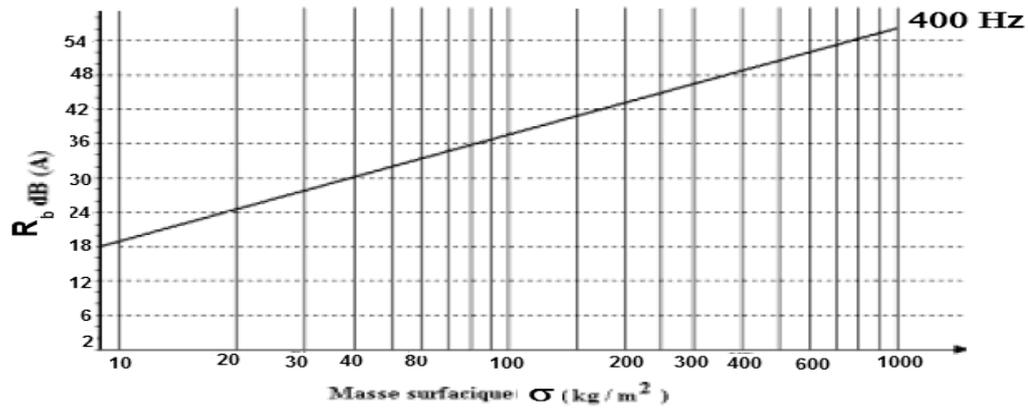
Le temps de réverbération est

$$T = 0.16 \times \frac{V}{A} = 0.16 \times \frac{75.6}{58.6} = 0.2 \text{ s} \quad (\text{VIII.2.3})$$

b) la réglementation indique 0.5s dans une salle de séjour, nous obtenons une valeur inférieure, cette salle est considérée sourde, donc elle est absorbante

c) lorsque nous ouvrons la fenêtre, il n'y'a plus de réverbération sur la surface à l'extérieur, on peut dire que cette surface est très absorbante donc $\alpha=1$, donc $\alpha > \alpha_1$, la valeur de **T** diminue parce que la surface d'équivalente est très grande

On a la courbe de l'isolement acoustique (affaiblissement) brut au sol en béton plein à $f=400\text{Hz}$



On demande que vaut l'isolement acoustique brut du sol en béton d'épaisseur $e=0.11$ m. C'est de déterminer R_b donné par la relation $R_b \approx 19\log\sigma - 1$. Sachant que la masse volumique du béton est $\rho=2300$ kg.m^{-3}

Nous calculons la masse surfacique σ du béton du sol d'où

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \times e} = \frac{\sigma}{e} \quad (\text{VIII.2.4})$$

$$\rho = \frac{\sigma}{e} \rightarrow \sigma = \rho \times e$$

$$\sigma = 2300 \times 0.11 = 253 \text{ Kg.m}^{-2}$$

Sur le graphe R_b de $\sigma = 253 \text{ kg.m}^{-2}$ correspond à $R_b=45,00$

b) Sachant que la nouvelle réglementation impose un isolement acoustique brut de 51 dB(A), l'épaisseur de béton du sol sera déterminée à partir du graphe pour une telle valeur, nous obtenons une masse surfacique $\sigma = 550 \text{ kg.m}^{-2}$, en s'appuyant sur la relation précédente

$$\rho = \frac{\sigma}{e} \rightarrow e = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{550}{2300} = 0.24 \text{ m} = 24 \text{ cm}$$

La relation s'écrit

$$R_b \approx 19\log\sigma - 1 \quad (\text{VIII.2.5})$$

On prend deux valeurs du graphe, pour vérifier la loi des masses théorique, les deux valeurs extrêmes sont :

$$1) \sigma_1 = 100 \rightarrow 37 \text{ dB(A)}, \text{ alors } R_{b1} = 19\log 100 - 1 \approx 37 \text{ dB(A)}$$

$$2) \sigma_2 = 1000 \rightarrow 56 \text{ dB(A)}, \text{ alors } R_{b2} = 19\log 1000 - 1 \approx 56 \text{ dB(A)}$$

Après travaux, le sol en béton est désormais conforme aux normes, ceci pour une fréquence $f=400 \text{ Hz}$

e) En appliquant la loi des fréquences, les isolements acoustiques bruts seront pour les fréquences suivantes

$$f_1=800 \text{ Hz} \quad f_2=6400 \text{ Hz} \quad f_3=25 \text{ Hz}$$

La loi des fréquences se traduit par une relation linéaire particulière entre l'indice d'affaiblissement d'une paroi et la fréquence de l'onde sonore

$$R_b = 20\log f + \text{Cte} \quad (\text{VIII.2.6})$$

Pour $f=400 \text{ Hz}$ ceci implique que

$$f_1=2 \times f, \quad f_2=16 \times f \text{ et } f_3=\frac{f}{16} \quad (\text{VIII.2.7})$$

Les isolements bruts pour ces fréquences sont

$$R_{b1}=20\log f_1 + Cte= R_b=20\log(2 \times f) + Cte \quad (\text{VIII.2.8})$$

$$R_{b1}=20[\log f + \log 2] + cte = R_b + 20\log 2 = 51 + 6 = 57\text{dB(A)}$$

Pour les autres fréquences f_2 et f_3

$$R_{b2}=20[\log f + \log 16] + cte = R_b + 20\log 16 = 51 + 24 = 75\text{dB(A)} \quad (\text{VIII.2.9})$$

$$R_{b3}=20[\log f - \log 16] + cte = R_b - 20\log 16 = 51 - 24 = 27\text{dB(A)} \quad (\text{VIII.2.10})$$

II. Une source sonore de puissance acoustique $5 \cdot 10^{-2}$ W émet dans un local un son de fréquence $f = 1000$ Hz.

1) On demande de déterminer le niveau de puissance L_w de cette source.

$$\begin{aligned} 2) \quad L_w &= 10 \log \frac{W}{W_0} & (\text{VIII.2.11}) \\ &= 10 \log \frac{5 \times 10^{-2}}{10^{-12}} = 107\text{dB} \end{aligned}$$

La source est considérée omnidirectionnelle et ponctuelle le niveau d'intensité L_I en point M situé à 5m de la source

2. Maintenant en supposant cette source omnidirectionnelle et ponctuelle, déterminer le niveau d'intensité L_I en un point M situé à 5 mètres de cette source. On se placera dans l'hypothèse du champ direct.

Calculons l'intensité émise au point M tel que

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi R^2} \rightarrow I = \frac{0.05}{4 \times 3.14 \times 25} = 2 \times 10^{-4}\text{W} \quad (\text{VIII.2.12})$$

Source omnidirectionnelle donc la surface est sphérique $S=4\pi R^2$

$$\text{Le niveau d'intensité} \quad L_{I1} = 10 \log \frac{2 \times 10^{-4}}{10^{-12}} = 83\text{dB}$$

3. La distance de la source le niveau d'intensité est-il inférieur de 6 dB à celui déterminé au point M ?

$$\text{Un niveau d'intensité inférieure de 6dB est} \quad L_{I1} - 6 \rightarrow L_{I2} = 83 - 6 = 77\text{dB}$$

$$L_{I2} = 10 \log \frac{I_2}{I_0} \rightarrow \log \frac{I_2}{I_0} = \frac{L_{I2}}{10} \quad (\text{VIII.2.13})$$

$$I_2 = I_0 10^{\frac{L_{I2}}{10}} \quad (\text{VIII.2.14})$$

$$I_2 = 10^{-12} 10^{7.7} = 5 \cdot 10^{-5}\text{W m}^{-2}$$

$$\text{Déterminons la distance par} \quad I = \frac{P}{S} \rightarrow S = \frac{P}{I} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-5}} = 1000\text{m}^2 \quad (\text{VIII.2.15})$$

Bien qu'il s'agit toujours de la source omnidirectionnelle

$$S = 4\pi R^2 \rightarrow R^2 = \frac{S}{4\pi} \rightarrow R = \sqrt{\frac{S}{4\pi}} = 79,62\text{m} \quad (\text{VIII.2.16})$$

4. Ce local présente un temps de réverbération $T_R = 1,5$ s. Ses dimensions sont longueur $L = 20$ m; largeur $l = 10$ m; hauteur $h = 3$ m.

4. 1. L'aire équivalente d'absorption A_1 de ce local est :

Le local présente un temps de réverbération $T_R = 1,5$ s les dimensions sont longueur $L=20$ m, hauteur $h=3$ m, largeur $l=10$ m et l'aire équivalent d'absorption A_1 de ce local, en utilisant la loi de Sabine $T_R=0.16 \cdot \frac{V}{A}$ en s'appuyant sur la loi, nous avons

$$A_1 = 0.16 \frac{(20 \times 10 \times 3)}{1,5} = 64 m^2$$

4.2. En déduire le coefficient moyen d'absorption α_1 .

Le coefficient moyen d'absorption α_1 s'écrit :

$$\alpha_1 [2 \times [(h \times L) + (h \times l)] + (L \times l)] = A \rightarrow \alpha_1 = \frac{A}{[2 \times [(h \times L) + (h \times l)] + (L \times l)]} \quad (\text{VIII.2.1.7})$$

$$\text{AN, } \alpha_1 \cong 0,1$$

4.3. Calculer l'aire d'absorption équivalente A_2 du sol.

L'aire d'absorption équivalente du sol est

$$A_2 = \alpha_1 \times S_{sol} \quad (\text{VIII.2.1.8})$$

$$\text{AN, } A_2 = 0,1 \times (10 \times 20) = 20 m^2$$

4.4. Calculer le niveau de pression L_P en un point du local situé assez loin de la source pour n'avoir à tenir compte que de la réverbération.

Le niveau de pression L_P en un point du local situé assez long de la source en tenant compte de la réverbération, nous avons

$$L_P = L_W + 6 - 10 \log A \quad (\text{VIII.2.1.9})$$

$$\text{AN, } L_P = 107 + 6 - 10 \log 64 = 95 \text{dB}$$

5. On recouvre le plafond et les murs du local d'un matériau acoustique de coefficient d'absorption α de façon à abaisser le niveau de pression à la valeur $L'_p = 90$ dB. Choisir, parmi les 3 matériaux suivants, le plus adapté en justifiant le choix par un calcul :

Plâtre : $\alpha = 0,03$; plâtre acoustique : $\alpha = 0,47$; laine de roche : $\alpha = 0,44$

On recouvre le plafond et les murs du local d'un matériau acoustique du coefficient α pour abaisser le niveau de pression à la valeur $L_p=90$ dB

Calculons l'aire équivalente du local

$$\alpha_2 [2 \times [(h \times L) + (h \times l)] + (L \times l)] + \alpha_1 (L \times l) \quad (\text{VIII.2.1.10})$$

$$0,74 \times 320 + 20 = 170 \text{ m}^2$$

Calculons le nouveau niveau de pression

$$L'_p = L_W + 6 - 10 \log A \quad (\text{VIII.2.1.11})$$

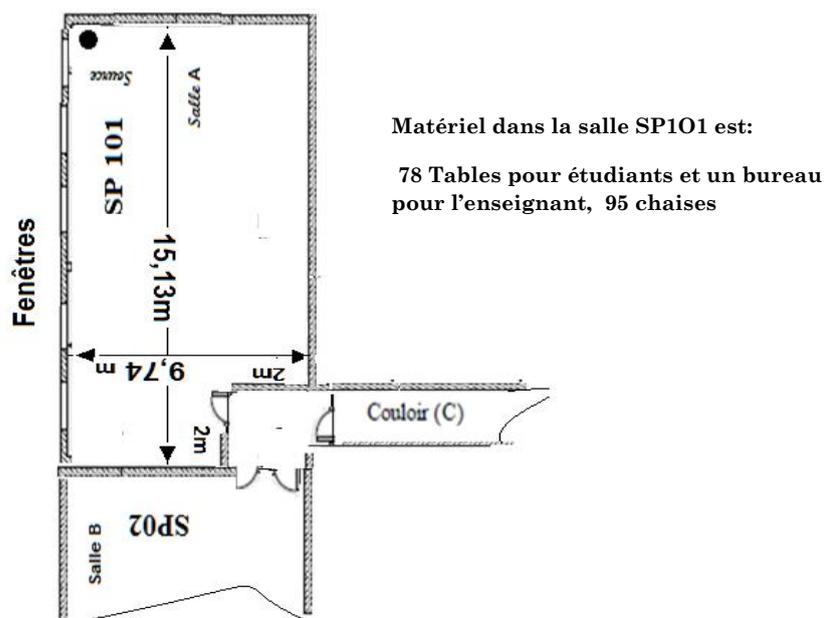
AN,

$$L'_p = 107 + 6 - 23 \cong 90 \text{ dB}$$

Notre choix est pris sur le matériau portant la plus haute valeur du facteur d'absorption qu'est le plâtre acoustique avec un coefficient d'absorption $\alpha=0,47$ pour augmenter la surface équivalente d'absorption afin de réduire de temps de réverbération

Examen N°3 (salle SP101; Année 2020)

École Nationale Polytechnique d'Oran, ENPO, dispose d'une salle **SP101** de cours de dimensions approximatives, $L = 15,13 \text{ m}$; $l = 9,74 \text{ m}$; $SP(H) = 2,7 \text{ m}$. (Voir schéma)



Les sons sont étudiés à la fréquence de 1000Hz.

On donne:

La vitesse de propagation du son dans l'air à 20°C, $V = 340 \text{ m/s}$

Les seuils d'audibilité à 1000Hz, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, $P_0 = 2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$.

I.1) Déterminer et calculer la période T et la longueur d'onde λ des sons étudiés.

La période
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ s} \quad (\text{VIII.3.1})$$

Longueur d'onde
$$\lambda = v \times T = 340 \times 10^{-3} = 0,34 \text{ m} \quad (\text{VIII.3.2})$$

$$\lambda=34\text{cm}$$

a) On mesure par un sonomètre placé à différentes positions de réceptions. La source sonore est une sonnerie d'un téléphone portable de niveau sonore $L_p \sim 62\text{dBA}$ placée sur le bureau du professeur considéré comme position d'origine pour la source ($X=1, Y=1, Z=1$). Cette dernière est installée dans un angle dièdre, elle rayonne dans un quart de sphère, où $Q = 4$; l'expression du niveau de pression acoustique dans l'éventualité d'un local clos avec réverbération et dans le cas des lois de Sabine, est

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log(4/A) \quad (\text{VIII.3.3})$$

L_p est le niveau de pression acoustique en un point en dB.

L_w est le niveau de puissance acoustique en dB/

$$L_w = 10 \log_{10} W / W_0 \quad (\text{VIII.3.4})$$

A est l'aire d'absorption équivalente en m^2 .

On mesure L_p directement pour diverses positions à partir de la source pour avoir la réponse, le sonomètre courant est menu de deux options:

-Option A correspondant à la réponse de l'oreille

-Option C correspondant à la réponse plâtre

Nous avons opté pour nos mesures l'option A, les données sont sur ce tableau, on donne aussi les différentes surfaces en fonction du revêtement à 1000Hz:

Position	X(m)	y(m)	X-X0 (m)	Y-Y0 (m)	(X-X0) ² (m ²)	(Y-Y0) ² (m ²)	R ² (m ²)	Distance (m)	niveau Lp (dBA)
1	2	1	1	0	1	0	1	1	58,8
2	0	5	0	4	0	16	16	4	51,7
3	0	3	0	2	0	4	4	2	53,5
4	0	7	0	6	0	36	36	6	51,3
5	2	3	1	2	1	4	5	2,23606798	57,1
6	2	5	1	4	1	16	17	4,12310563	53,7
7	2	7	1	6	1	36	37	6,08276253	56,1
8	4	3	3	2	9	4	13	3,60555128	55,3
9	4	5	3	4	9	16	25	5	58,8
10	4	7	3	6	9	36	45	6,70820393	52,9
11	6	3	5	2	25	4	29	5,38516481	51,8
12	6	5	5	4	25	16	41	6,40312424	55,3
13	6	7	5	6	25	36	61	7,81024968	53,8
14	1	1	0	0	0	0	0	0	62

I.2) Exprimez les expressions des aires de la salle et calculez les,

Revêtements	Mur en béton	Plafond en plâtre	Sol en Carrelages	Fenêtre en simple vitrage
Coefficient d'absorption α	0.03	0.04	0.01	0.12
Expressions et calculs des surfaces S_i (m^2)	113,87	143,37	143,37	20,43
Calculs des aires $A_i(m^2)$	3,12	5,73	1,43	2,45
Expression et Résultat de l'aire équivalent A de la salle	$S_T=421,27m^2$		$A_{eq}=13,04 m^2$	

I.3) les différentes positions.

Position	L_w (dB.)	W(Watt)	Position	L_w (dB.)	W(Watt)
1	63,93	$2,4710^{-6}$	8	60,43	$1,1010^{-6}$
2	56,83	$4,8210^{-7}$	9	63,93	$2,4710^{-6}$
3	58,63	$7,2910^{-7}$	10	58,03	$6,3510^{-7}$
4	56,43	$4,3410^{-7}$	11	56,03	$4,9310^{-7}$
5	62,23	$1,6710^{-6}$	12	60,43	$1,1210^{-6}$
6	58,83	$7,6410^{-7}$	13	58,93	$7,8110^{-6}$
7	61,23	$1,3310^{-6}$	14	67,13	$5,1610^{-6}$

I.4) Sachant que le coefficient d'absorption moyen de la salle souhaité est: $\alpha_{max} = \frac{A}{S_{total}}$, dont les relations de Sabine peuvent être appliquées à condition que le coefficient d'absorption doit être strictement inférieure à 0.2, on a :

$$\alpha_{max} = \frac{A}{S_{total}} = \frac{13,04}{421,03} = 0,03 < 0,2 \quad (\text{VIII.3.5})$$

Oui elle est vérifiable

I.5) Calculer les différences $|L_{p3}-L_{p2}|$; $|L_{p6}-L_{p5}|$; $|L_{p7}-L_{p6}|$, sachant que la tolérance de notre sonomètre est ± 2 dB.

$$L_{p3}=53,5\text{dB (A)}, L_{p2}=51,7\text{dB (A)} \rightarrow |L_{p3}-L_{p2}|=1,8\text{dB (A)}$$

$$L_{p6}= 53,7\text{dB (A)}, L_{p5}=57,1\text{dB (A)} \rightarrow |L_{p6}-L_{p5}|=3,4\text{dB (A)}$$

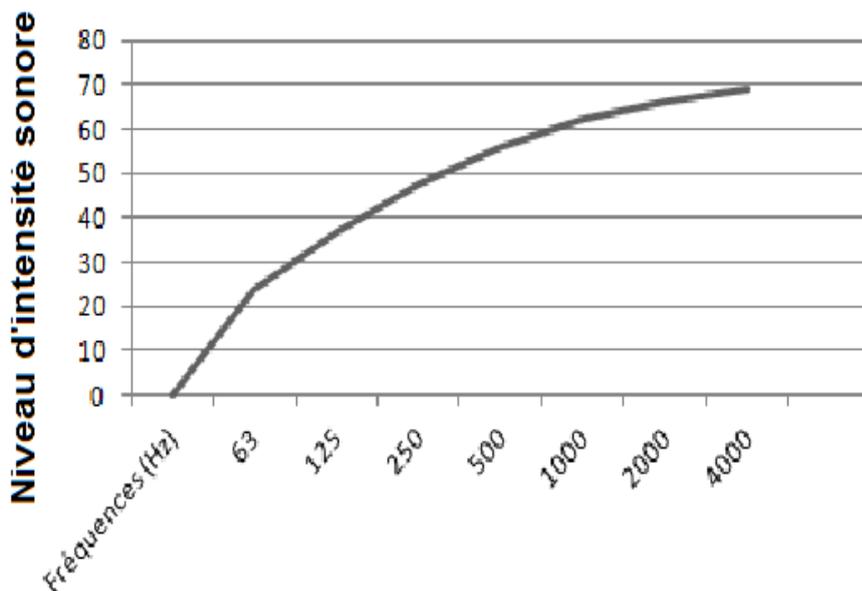
$$L_{p7}=56,1\text{dB (A)}, L_{p6}=53,7\text{dB (A)} \rightarrow |L_{p7}-L_{p6}|=2,4\text{dB (A)}$$

} (VIII.3.6)

I.6) Théoriquement, le niveau d'intensité L_I pour un bruit blanc, croit à raison de 3dB par bande d'octave, bien qu'on a pour 1000Hz, l'intensité L_I est de 62dB, donc

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau d'intensité (dB)	50	53	56	59	62	65	68
Pondération en A	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1
Niveau pondéré dB(A)	23,8	36,9	47,4	55,8	62	66,2	69

Le graphe de niveau d'intensité pondéré dB(A) en fonction de fréquence (Hz)



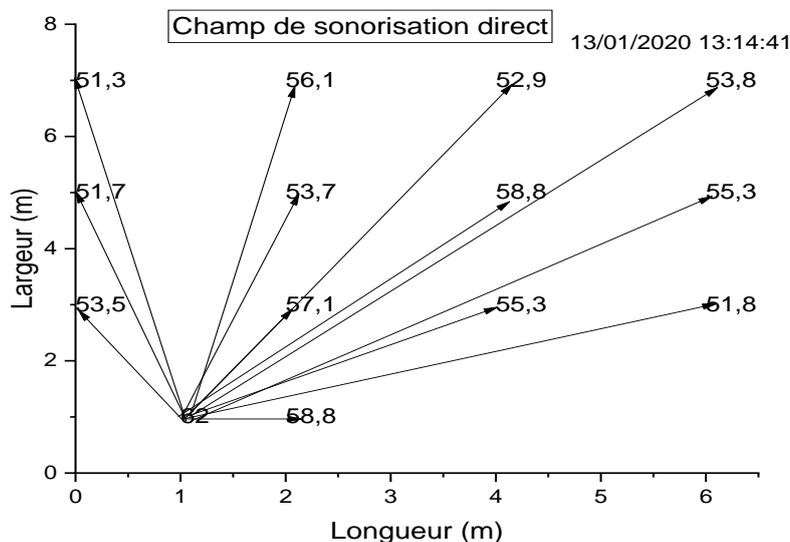
I.8) Calculez le niveau équivalent L_{Ieq} en dB et en dB(A) pour notre source

$$L_{Ieq}=10\log[\sum 10^{\frac{L_i}{10}}]$$

$$= 10\log[10^{5,03} + 10^{5,3} + 10^{5,6} + 10^{5,9} + 10^{6,2} + 10^{6,5} + 10^{6,8}] = 67,95\text{dB}$$

(VIII.3.7)

le niveau équivalent L_{leq} en dB(A) = $10\log[10^{2,38} + 10^{3,69} + 10^{4,74} + 10^{5,58} + 10^{6,2} + 10^{6,62} + 10^{6,9}] =$



I.8) le tableau suivant des valeurs directes et réfléchies des intensités I_d , I_r ainsi que les puissances W sur différents points de réception R: 1,2,.....13, (voir tableau), on a $I_d = \frac{QW}{4\pi R^2}$ (VIII.3.8)

$$I_r = \frac{4W}{\hat{R}} \quad (\text{VIII.3.9})$$

où \hat{R} est la constante de local

$$\hat{R} = \frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (\text{VIII.3.10})$$

tels que: S_t surface totale des parois, $\bar{\alpha}$ Coefficient d'absorption moyen.

La puissance absorbée est $W_{\text{abs}} = \bar{\alpha}W$ (VIII.3.11)

La puissance réfléchie est $W_r = (1 - \bar{\alpha})W$ (VIII.3.12)

Réception R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I_d	7,8 10^{-9}	9,84 10^{-9}	5,95 10^{-9}	3,92 10^{-9}	1,09 10^{-8}	1,72 10^{-8}	9,77 10^{-8}	9,23 10^{-8}	4,61 10^{-9}	5,55 10^{-9}	8,79 10^{-9}	4,18 10^{-9}
$I_r (10^{-8})$	7,53	1,44	2,24	1,33	5,27	2,34	2,08	3,37	2,58	1,95	1,51	3,38
$W_{\text{abs}} (10^{-7})$	7,41	1,94	2,13	1,03	5,01	2,29	3,99	3,31	1,04	1,90	1,48	3,31
$W_r (10^{-6})$	2,39	0,47	0,70	0,42	1,62	0,74	1,23	1,02	2,39	0,62	0,48	1,07

$$R = \frac{421 \times 0,03}{1 - 0,03} = 13,02$$

$W_{\text{abs}} = 0,03$ watt

$W_r = 0,97$ watt

I.9) On admet que la formule de Sabine est :

$$T = 0,16 V/A \quad (\text{VIII.3.13})$$

La signification de ce temps et le sens de chacun des termes avec leur unité.

T : temps de réverbération qui indique le temps nécessaire au bout de la quelle le niveau sonore diminue de 60dB après l'arrêt de la source, son unité est en seconde

V : indique le volume de local, unité en m^3

A : aire équivalente d'absorption m^2

0,16 Facteur inverse de la vitesse en s/m

I.10) On procède à une mesure du temps de réverbération T_R dans les cas suivants , A) salle SP101 nue ; B) salle en présence des tables et des chaises , sachant que le coefficient d'absorption respectivement des chaises et tables est 0.01 , 0.25 ainsi que la bureau d'enseignant est de 0.5; C) puis ce temps de réverbération en présence des étudiants et leur enseignant sachant que le nombre des étudiants est de 90 et le coefficient d'absorption d'un adulte est de 0.45, on le volume de la salle avec les dimensions suivants : $L = 15,13 \text{ m}$; $l = 9,74 \text{ m}$; $SP (H) = 2,7 \text{ m}$, $V=L \times l \times h = 397,88$

A) Salle nue,
$$T_R = 0,16 \frac{397,88}{13,04} = 4,88 \text{ s} \quad (\text{VIII.3.14})$$

B) Salle équipée du matériel : 78 Tables pour étudiants et un bureau pour l'enseignant, 95 chaises

$$A_1 = A_{eq} + 0,01 \times 95 + 0,25 \times 78 + 0,5 = 33,64 \text{ m}^2$$

$$T_R = 0,16 \frac{397,88}{33,64} = 1,89 \text{ s}$$

C) Salle en présence des étudiants, enseignant et matériels

$$A_2 = A_1 + 91 \times 0,45 = 74,59 \text{ m}^2$$

$$T_R = 0,16 \frac{397,88}{74,59} = 0,85 \text{ s}$$

11) donnez la catégorie de cette salle (sourde (sèche), réverbérant)

Selon les normes la salle de cours son temps de réverbération est autour de 1,5 s,

L'évolution du temps T_R de la salle SP101

Salle nue $T_R = 4,88 \text{ s}$

Salle avec matériels $T_R = 1,89 \text{ s}$

Salle avec étudiants et matériels $T_R = 0,85 \text{ s}$

Cette salle de temps de réverbération inférieur à 1,5 s, elle présente une salle sourde, elle n'est pas destinée pour une salle de cours, mais elle est préférable d'être une salle de TP

I.12) Déterminez, le niveau sonore L_p dans la salle SP02 (salle réception) sachant que le niveau sonore du mur adjacent à cette dernière est de 51.1 dB(A) (salle d'émission). Le facteur de transmission d'un mur en briques est de $t=4.3 \cdot 10^{-3}$.

Pour déterminer le niveau sonore L_p dans la salle de réception (salle réceptrice) en utilisant le niveau sonore du mur adjacent ($L_{p,ém}$) et le facteur de transmission (t) du mur, vous pouvez utiliser la formule suivante :

$$L_p = L_{p,ém} - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{t} \right) \quad (\text{VIII.3.14})$$

- Niveau sonore du mur adjacent ($L_{p,ém}$) = 51.1 dB(A)
- Facteur de transmission (t) = 4.3×10^{-3}

$$10 \log_{10} \left(\frac{1}{4,310^{-3}} \right) = 23,66$$

$$L_p = L_{p,ém} - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{t} \right) = 51,1 - 23,66 = 27,44 \text{ dB(A)} \quad (\text{VIII.3.15})$$

$$L_p = 27,44 \text{ dB(A)}$$

I.13) les niveaux de sonorisation de réception en d'hors des trois murs et les vitres de cette salle d'émission, si on suppose que les murs des façades ont même nature en briques, on a les niveaux de pression mesurés sont respectivement pour: les murs (53.6; 52.2 ; 56.1) dB(A), et les vitres: 58dB(A)

Calcul du niveau sonore de réception pour les murs

Les niveaux de pression mesurés à l'intérieur de la salle sont

$L_{p,murs} = [53,6 \text{ dB(A)}, 52,2 \text{ dB(A)}, 56,1 \text{ dB(A)}]$ Le niveau sonore transmis $L_{r,mur}$, à l'extérieur est donné par la formule suivante :

$$L_{r,mur} = L_{p,mur} - 10 \log(1/t) \quad (\text{VIII.3.16})$$

Où t est le facteur de transmission. En utilisant $t=4,3 \times 10^{-3}$, on peut d'abord calculer la perte d'atténuation due à la transmission sonore à travers les murs :

$$10 \log(1/t) = 23,66 \text{ dB}$$

Pour chaque mur, le niveau sonore reçu sera donc :

- Mur 1 : $L_{r,mur1} = 53,6 - 23,66 = 29,94 \text{ dB(A)}$
- Mur 2 : $L_{r,mur2} = 52,2 - 23,66 = 28,54 \text{ dB(A)}$
- Mur 3 : $L_{r,mur3} = 56,1 - 23,66 = 32,44 \text{ dB(A)}$

2. Calcul du niveau sonore de réception pour les vitres

Le niveau de pression mesuré pour les vitres est $L_{p,vitre}=58$ dB(A) En appliquant la même formule :

$$L_{r,vitre}=58-23,66= 34,34 \text{ dB(A)}$$

Références

1. "ACOUSTICS IN ARCHITECTURAL DESIGN" , Leslie L. Doelle, Eng., M. Arch Bibliography No. 29 of the Division of Building Research, Ottawa, CANADA January 1965
2. Properties of sound (contained in "Acoustical Designing in Architecture") by V.O. Knudsen and C.M. Harris. John Wiley and Sons, New York, 1950,
3. The behaviour of sound in rooms (contained in "Acoustics, Noise and Buildings") by P.M. Parkin and H.R. Humphreys. Frederick A. Praeger, New York, 1958,
4. Sound in small enclosures (contained in "Noise Reduction") by L.L. Beranek and R.H. Bolt. McGraw-Hill Book Co, New York, 1960.
5. Sound in large enclosures (contained in "Noise Reduction") by R.F. Lambert. McGraw-Hill Book Co, New York, 1960,
6. <https://etudiantgeniecivil.com/category/exercices-acoustique/>
7. "Architectural Acoustics: Principles and Practice" par William J. Cavanaugh et Joseph A. Wilkes (2ème édition, 2009) -
8. "Architectures of Sound: Acoustic Concepts and Parameters for Architectural Design" par Michael Fowler (2017)
9. "Acoustics, Noise and Buildings" par Peter Hubert Parkin et Henry Robert Humphreys (édition révisée, 1969) -
10. "Noise Reduction of Small Enclosures" dans le *Journal of the Acoustical Society of America* (2023) - 4.
11. "Sound Reduction Control in Acoustic Enclosure with Air Ventilation" dans *Science China Technological Sciences* (2023) –
12. <https://exocorriges.com/details-37801.html>