



Travaux dirigés de Psychoacoustique, bruit et nuisances sonores - Acoustique architecturale

2^{ème} année

Année 2024-2025

Arnaud LE PADELLEC

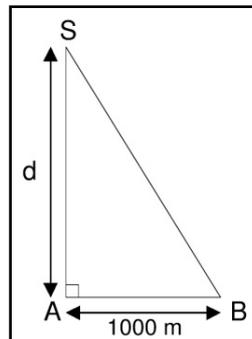
alepadellec@irap.omp.eu

P r é s e n t a t i o n

Tous les exercices d'acoustique qui seront abordés en Travaux Dirigés cette année sont regroupés dans ce fascicule. Ces exercices sont regroupés par thème. Il est demandé aux étudiants de préparer la séance de travaux dirigés.

Thème 0 : Généralités

1. Une explosion a lieu au point S. Le bruit est perçu en A puis en B, avec un décalage dans le temps $\Delta t = 600$ ms. En déduire la distance d, sachant que la vitesse du son dans l'air est $c = 340$ m s⁻¹.



2. Période et longueur d'onde. Compléter le tableau relatif à un son pur.

vitesse du son	Période du signal	Fréquence du signal (Hz)	Longueur d'onde
350 m.s ⁻¹		100 Hz	
	1 ms		1 m
330 m.s ⁻¹			1 cm

Thème 1 : Sonie

1. Maniement des définitions

- La plus faible puissance acoustique pour une source étant $P_0 = 10^{-12}$ W -puissance de référence-, calculer la distance r à la source d'un point M d'une onde sphérique, point où l'intensité acoustique est $I_0 = 10^{-12}$ W m⁻², I_0 étant l'intensité de référence.
- Une explosion de puissance sonore $P_a = 1$ kW se produit à 500 m d'altitude. Le son se propage dans toutes les directions -*source isotrope ou omnidirectionnelle*- avec la célérité $c = 340$ m s⁻¹.
 - Combien de temps le son mettra-t-il pour arriver au sol ?
 - Calculer l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore au niveau du sol.
- Une onde acoustique de surface $S = 25$ m² transporte une puissance $P_a = 1$ mW. Calculer:
 - l'intensité acoustique,
 - le niveau d'intensité,
 - la pression acoustique efficace.
- Un son possède une pression sonore $P_s = 6,3 \cdot 10^{-2}$ Pa.
 - Calculer le niveau sonore N correspondant.
 - Calculer l'intensité sonore I correspondante.

2. Niveaux sonores et pressions acoustiques

La pression acoustique minimale que peut détecter une oreille moyenne est la pression de référence de 20 μ Pa. La pression acoustique maximale que peut supporter une oreille humaine est, elle, de l'ordre de 20 Pa.

- Calculer les niveaux de pression correspondants et commenter le résultat obtenu.
- On appelle seuil différentiel, la plus petite variation de niveau que l'oreille humaine puisse percevoir ; elle est de 1 dB environ. Calculer la variation relative de la pression acoustique correspondant à ce seuil différentiel.

- c. Dans l'eau, la pression de référence n'est plus la même que dans l'air et vaut $1 \mu\text{Pa}$. Un niveau d'intensité de 100 dB dans l'eau correspondrait à quel niveau sonore dans l'air ?

3. Combinaison de niveaux sonores

- a. En un même point, arrivent 3 sons de niveaux sonores : 60 , 65 et 70 dB .
- Calculer l'intensité acoustique totale.
 - Quel est le niveau acoustique total ?
- b. En un même point, arrivent deux sons dont le niveau d'intensité résultant est égal à $85,7 \text{ dB}$. Le niveau d'un des 2 sons est 83 dB .
- Calculer l'intensité sonore totale, l'intensité de chaque son.
 - Quelle est le niveau sonore du son manquant ?

4. Utilisation raisonnée d'un abaque

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



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

- Calculer, à l'aide de l'abaque, le niveau sonore résultant des deux premiers bruits puis le niveau sonore total.
- Le résultat aurait-il été le même en combinant les deux derniers niveaux d'abord ?
- Quel est le niveau sonore résultant de deux sources sonores de même niveau ? de trois sources sonores de même niveau ?

5. Haut-parleur

Sur une enceinte de chaîne hi-fi est indiqué ' $90 \text{ dB W}^{-1} \text{ m}^{-1}$ '. Cela signifie que pour une puissance électrique de 1 W , le niveau sonore est de 90 dB à un mètre.

- Calculer l'intensité acoustique -en W m^{-2} - d'un son de 90 dB . Pour simplifier, on supposera que le haut-parleur émet un son de même intensité dans tout le demi-espace avant ; il est donc supposé ne rien émettre dans le demi-espace arrière.
- Calculer la puissance acoustique -en W - du haut-parleur pour une puissance électrique de 1 W . On rappelle que la surface d'une sphère est $4\pi r^2$, avec r le rayon.
- Le rendement acoustique du haut-parleur étant donné par $\eta = \text{puissance acoustique émise} / \text{électrique consommée}$, faire l'application numérique.

6. Source ponctuelle

Une source sonore ponctuelle émet uniformément dans toutes les directions. L'absorption par l'air est négligeable, la puissance acoustique de la source est $P_a = 10^{-2} \text{ W}$.

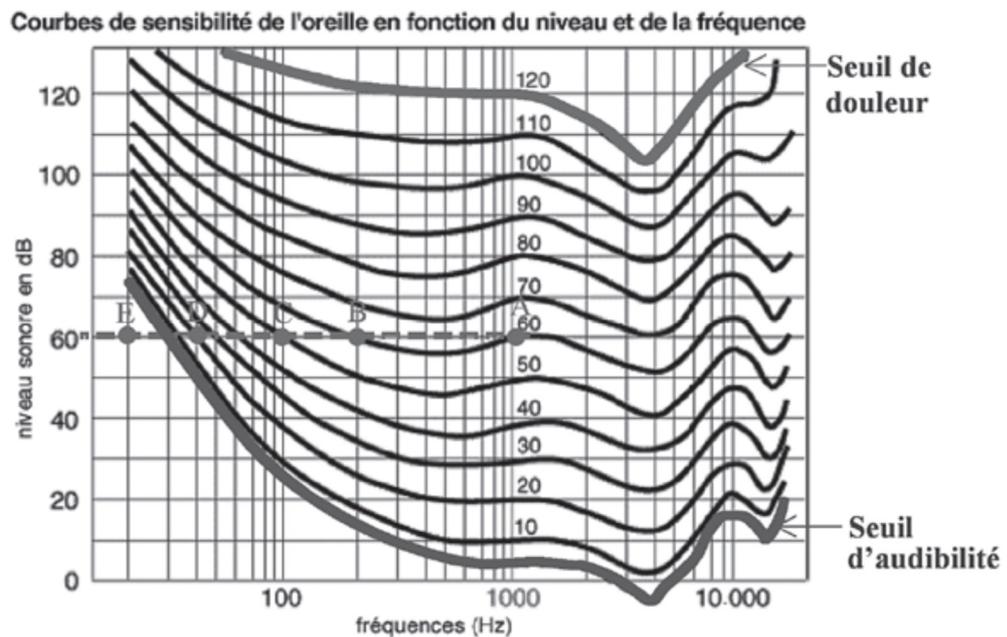
- Donner l'expression littérale de l'intensité acoustique I en un point en fonction de la puissance acoustique de la source et de la distance R du point à la source.
- Calculer I en un point situé à 5 m de la source.

- c. Calculer la pression acoustique efficace p_{eff} , sachant qu'à 20 °C, la masse volumique de l'air est $\rho = 1,15 \text{ kg m}^{-3}$ et la célérité du son dans l'air $c = 340 \text{ m s}^{-1}$.

7. Sensibilité de l'oreille humaine

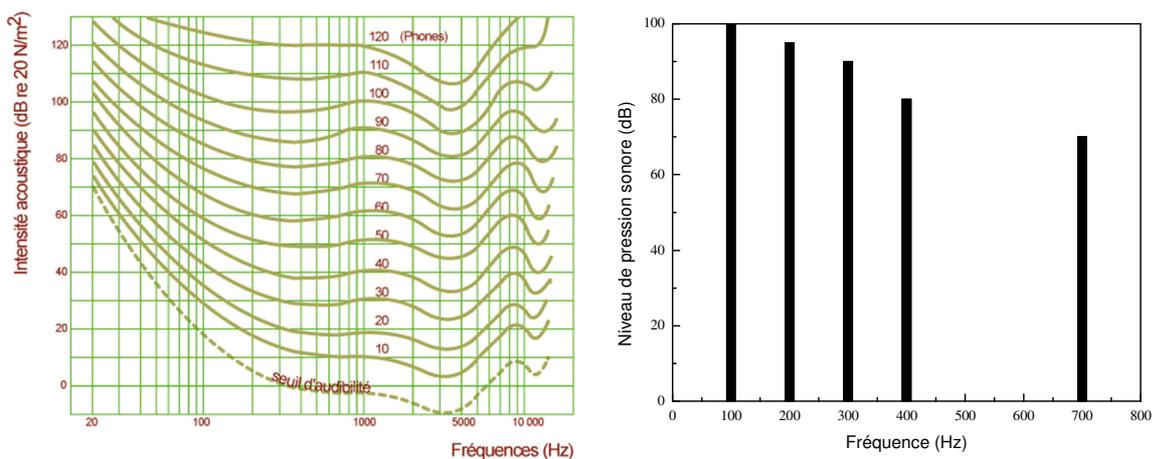
A partir du diagramme de Fletcher et Munson montrant les limites de la sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence du son perçu, répondre aux questions suivantes :

- Pour quelles fréquences la sensibilité de l'oreille humaine est-elle la plus grande ?
- Un son de fréquence 40 Hz et de niveau sonore 40 dB peut-il être entendu par une oreille humaine ?
- L'intensité sonore d'un chuchotement est $I = 10^{-10} \text{ W m}^{-2}$. Quel est le domaine de fréquences audibles par une oreille humaine d'un son de cette intensité ?
- Quelle est la valeur moyenne du niveau sonore correspondant au seuil de douleur ?



8. Perception de l'intensité en fonction du diagramme de Fletcher

Un son harmonique est défini par le spectre sur la figure ci-dessous :



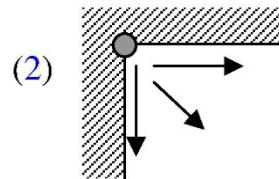
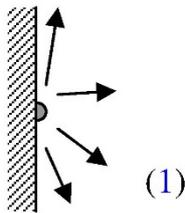
- A partir du diagramme de Fletcher donné ci-dessus, déterminer l'atténuation perçue pour chaque fréquence. Les résultats seront donnés dans un tableau.
- Calculer la sonie -le niveau sonore global apparent- du son.
- Que se passe-t-il si le niveau du spectre était globalement diminué de 40 dB ?

9. Extrait session2019 / Emission directive

I.

- a. Soit une source de puissance acoustique P émettant dans toutes les directions (omnidirectionnelle), dans un espace homogène. Etablir la relation ci-dessous donnant le niveau d'intensité L_I en fonction du niveau de puissance émis par la source L_W et de la distance d à laquelle on se trouve : $L_I = L_W - 10 \log(4\pi d^2)$.
- b. On place cette source dans des situations différentes :
- La source est située contre une paroi et émet dans le demi-espace libre (schéma 1).
 - La source est située dans un coin (formé par deux parois planes à angle droit) de sorte qu'elle émet dans un espace libre réduit au quart (schéma 2).

Que devient la relation précédente si l'on néglige tout phénomène de réverbération sur les parois et tout phénomène d'atténuation dû à l'air ou aux parois ?



II.

- a. Une source peut aussi être directionnelle ; dans ce cas, on caractérise celle-ci par la puissance P qu'elle émet et par un coefficient de directivité Q . Cela signifie que dans la direction où l'énergie délivrée est maximale, elle émet Q fois plus de puissance qu'une source omnidirectionnelle de même puissance P . On montre alors que l'on a dans la direction privilégiée : $L_I = L_W - 10 \log(4\pi d^2) + ID$, avec l'indice de directivité $ID = 10 \log(Q)$. Etablir cette relation.
- b. Indiquer le facteur de directivité Q que l'on peut attribuer à chaque situation de la question I.

Thème 2 : Tonie - timbre**1. Perception différentielle en fréquence**

Soient deux sons purs, identifier pour chaque cas de figure, la perception qui résulte de leur production simultanée.

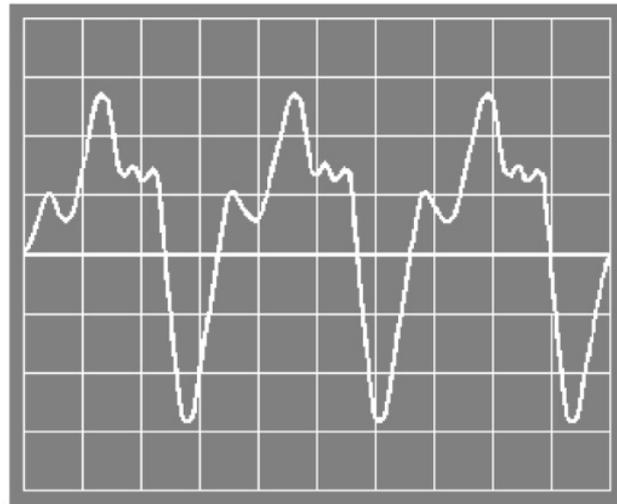
- | |
|-----------------------|
| a) 440 Hz et 440,3 Hz |
| b) 440 Hz et 441 Hz |
| c) 440 Hz et 445 Hz |
| d) 440 Hz et 500 Hz |

- | |
|---------------------|
| e) 440 Hz et 550 Hz |
| f) 440 Hz et 660 Hz |
| g) 440 Hz et 880 Hz |

2. Son complexe

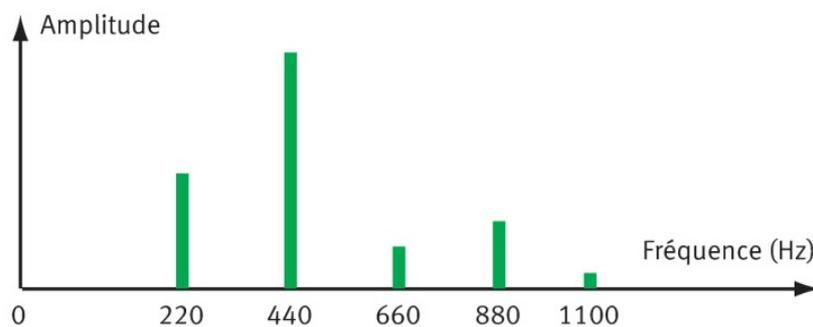
Un son complexe a pour fréquence fondamentale $f_0 = 220$ Hz.

- a. Qualifier sa hauteur.
- b. Donner la fréquence de son 5^{ème} harmonique.
- c. L'oscillogramme ci-dessous présente un autre son complexe, avec une base de temps est 2 ms div^{-1} . Déterminer la période ainsi que la fréquence du son. Quelle est la fréquence fondamentale du son émis ?



3. Analyse d'un son

On a obtenu le spectre d'un son émis par un tuyau d'orgue :



- Quelle est la fréquence f_1 du fondamental ?
- Quelle est la fréquence du troisième harmonique ?
- Quelle est la fréquence qui détermine la hauteur de ce son ?
- Quelle est la fréquence de l'harmonique de plus grande amplitude ?

4. Extrait session 2020 / Effet de masquage

Si deux sons purs sont écoutés simultanément, le plus intense, appelé son masquant, peut créer une gêne sur la perception du second, le son masqué. Il peut même le rendre inaudible. La comparaison des courbes des figures 1 et 2 ci-dessous, permet de mettre en évidence ce phénomène psychoacoustique appelé 'effet de masquage'.

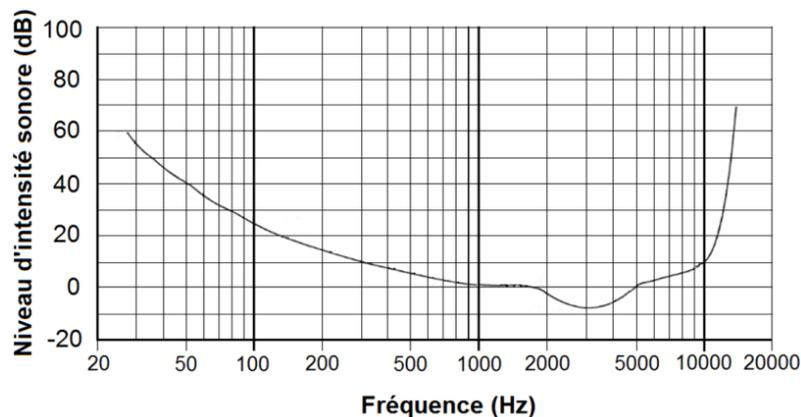


Figure 1 : seuil d'audibilité humaine en fonction de la fréquence. Le graphique suivant indique les valeurs minimales de niveau d'intensité sonore audible en fonction de la fréquence lorsque le son est écouté en environnement silencieux.

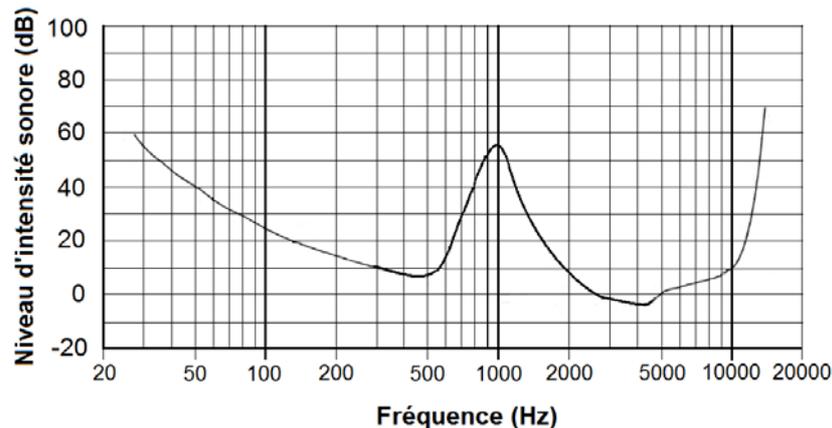


Figure 2 : seuil d'audibilité humaine d'un son en présence d'un son masquant de niveau d'intensité sonore 55 dB et de fréquence 1 kHz. Le graphique suivant indique les valeurs minimales de niveau d'intensité sonore audible en fonction de la fréquence lorsque le son est écouté simultanément avec un son pur de fréquence 1kHz et de niveau d'intensité sonore 55 dB.

- a. Déterminer le niveau d'intensité sonore minimal pour qu'un son de fréquence 800 Hz soit audible en présence d'un son masquant de fréquence 1 kHz et de niveau sonore 55 dB.

Le format MP3 exploite l'effet de masquage pour compresser l'enregistrement numérique d'un signal sonore. Cela consiste à réduire l'information à stocker sans trop dégrader la qualité sonore du signal. La compression de l'enregistrement permet donc de réduire le 'poids' numérique (ou la taille du fichier) d'un enregistrement musical.

Le spectre fréquentiel de la note La3 jouée par une flûte traversière dans un environnement silencieux est donné ci-dessous.

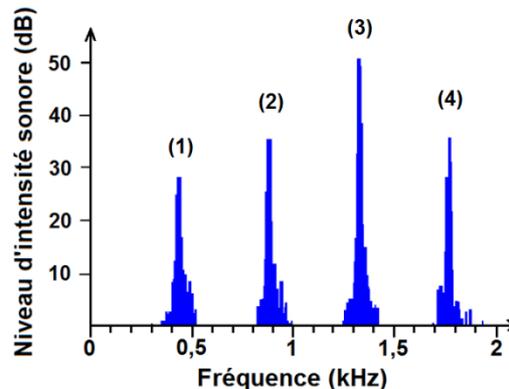


Figure 3 : spectre fréquentiel de la note La3 jouée par une flûte traversière.

La flûte joue la note La3 en présence d'un son masquant de fréquence 1 kHz et de niveau d'intensité sonore de 55 dB qui correspond au cas de la figure 2. L'enregistrement numérique du signal sonore est compressé au format MP3.

- b. En étudiant chaque pic du spectre de la figure 3, indiquer celui ou ceux qui seront éliminés par ce codage MP3. Justifier.
- c. Une chanson de 3 minutes est enregistrée sur un CD. Cet enregistrement est compressé au format MP3. Le « poids » numérique du fichier obtenu est alors égal à $2,88 \times 10^6$ octets. À l'aide des données, déterminer le facteur de compression du format MP3 après en avoir proposé une définition.

Données :

- débit binaire en lecture d'une musique enregistrée sur CD : $1,41 \times 10^6$ bits.s⁻¹ ;
- 1 octet correspond à 8 bits.

Thème 3 : Bruit

1. Perception d'un son complexe

On procède à la répartition fréquentielle de deux bruits.

Niveau par bandes d'octave du bruit 1						
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_1 (dB)	60	65	65	80	70	90
Niveau par bandes d'octave du bruit 2						
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_1 (dB)	90	70	80	65	65	60

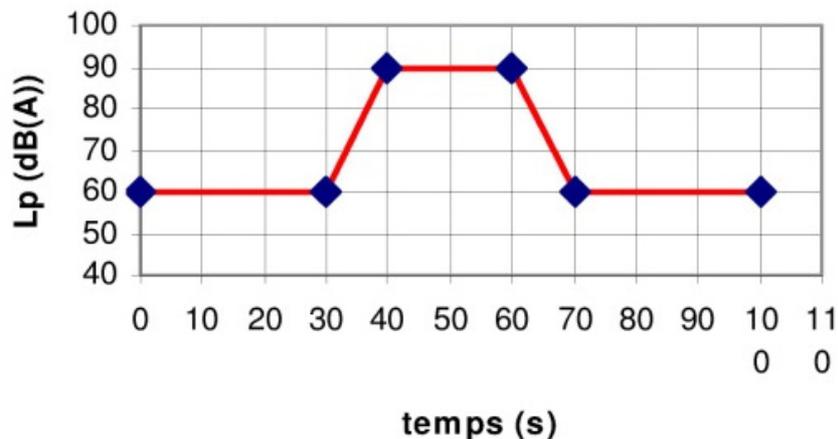
- Calculer le niveau global d'intensité de chaque bruit.
- Calculer le niveau global d'intensité pondérée (pondération A). Les deux bruits seront-ils perçus de la même façon par un même auditeur ? Commenter. Données :

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A (dB)	- 15,5	- 8,6	- 3,2	0	+ 1,0	+ 1,0

2. Bruit instationnaire

La signature acoustique d'un train à la forme suivante :

Signature acoustique d'un train



- Quel est le niveau équivalent L_{eq} de ce signal pour une durée d'observation de 40 s -temps de passage d'un train- ?
- Quel est le niveau équivalent sur une heure $L_{eq(1h)}$ pour le passage d'un seul convoi ?
- Même question s'il y a 10 passages de trains dans l'heure.

3. Machine à bois

Une machine à bois produit un niveau d'intensité acoustique de $L = 85$ dB à une distance $r = 1$ m.

- Calculer l'intensité acoustique I correspondante.
- Calculer la puissance acoustique P de cette source. En fait, l'utilisateur se trouve à $r' = 0,50$ m de la source sonore. Quel est le niveau d'intensité acoustique L' auquel il est soumis ?
- Dans ces conditions, le port d'un casque antibruit est-il inutile, conseillé ou obligatoire?

- d. Si deux machines identiques à la précédente fonctionnent simultanément, quel sera le niveau d'intensité acoustique produit à l'endroit où il valait 85 dB pendant le fonctionnement d'une seule machine ?

4. Niveau d'intensité acoustique

Partie A

Une source S émet un son dont la longueur d'onde dans l'air à 20 °C est λ . La célérité du son dans l'air à cette température étant v_0 ,

- Exprimer littéralement la fréquence f du son et calculer sa valeur avec $\lambda = 77,27$ cm et $v_0 = 340$ m s⁻¹.
- Quelle est la fréquence f du son situé une octave au-dessus du précédent ?
- La puissance de la source S est de $6,0 \cdot 10^{-3}$ W. Calculer, en décibels, le niveau d'intensité acoustique L_I en un point M situé à 4,9 m de S . On suppose que la source est ponctuelle, que l'espace est libre et isotrope, et que la propagation s'effectue sans dissipation d'énergie.
- On s'éloigne de la source suivant la direction SM et à une distance x de M , on enregistre une diminution du niveau d'intensité acoustique de 3 dB. Calculer la valeur de x .

Partie B

Dans un atelier, l'analyse du bruit d'une machine au sonomètre a donné les résultats suivants :

f (en Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
L_I (en dB)	65	70	75	68	57	53

En appelant L_{I1} , L_{I2} , L_{I3} , L_{I4} , L_{I5} et L_{I6} , les différentes valeurs du niveau d'intensité acoustique dans chacune des bandes de fréquences précédentes, donner l'expression littérale du niveau d'intensité sonore global L_I de ce bruit, puis calculer numériquement L_I . On donne $I_0 = 10^{-12}$ W m⁻².

5. Propagation en champ

- On a mesuré par octave le niveau sonore à 1m un moteur d'engin de chantier. Les résultats sont donnés ci-dessous :

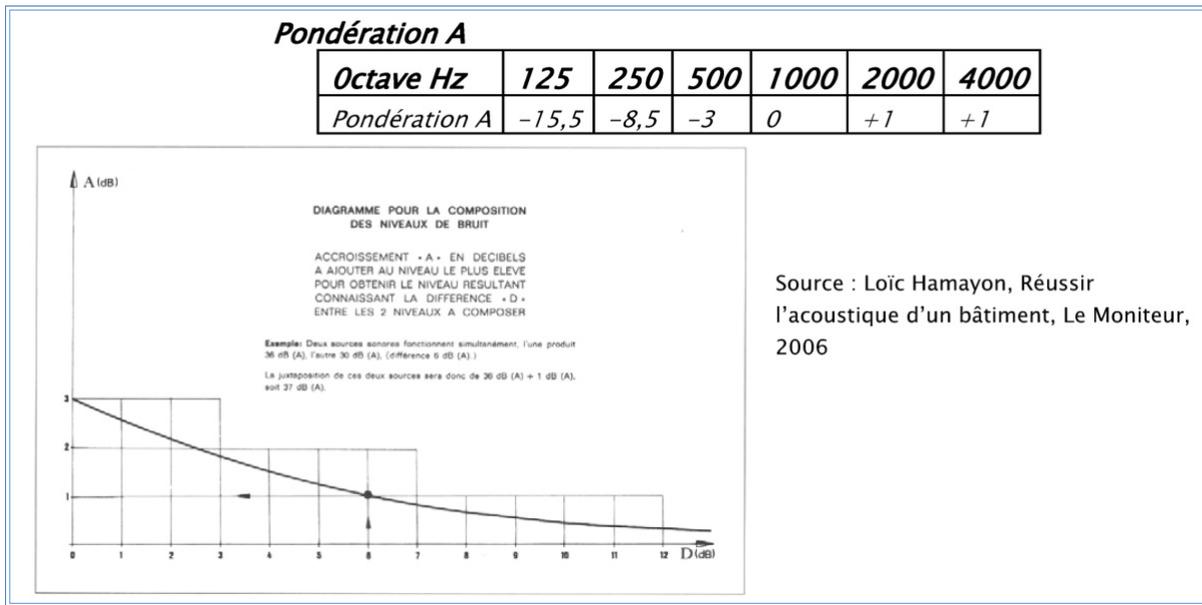
Octave en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau en dB	96	95	85	86	83	80

Quel est le niveau sonore global pondéré A de cet engin -voir les annexes- ?

- Par capotage on a gagné :

Octave en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Gagné en dB	12	15	15	15	20	20

- Quelle est l'amélioration globale obtenue en dB(A) ?
- Quelle distance de sécurité doit-on imposer autour de l'engin pour être sûr de respecter le code du travail et ses 85 dB(A) ?



6. Bruit

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

F (en Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
N (en dB)	89,3	75,5	82,3	77	74,3	73

- 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 $N = 10 \log (10^{N_1/10} + 10^{N_2/10} + \dots + 10^{N_6/10})$.
- Calculer numériquement le niveau sonore N .
- Quelle est la particularité de deux sons séparés d'une octave ?
- Quelle différence faites-vous entre dB et dB(A) ?
- 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 :

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
N en dB(A)	-16	-9	-3	0	+1	+1

En déduire le niveau global de sensation sonore L .

7. Extrait session 2017 / Etude de bruits (les quatre questions sont largement indépendantes)

Le tableau ci-dessous détaille les bandes de fréquences utilisées dans l'étude de bruits.

Numéro de la bande	1	2	3	4	5	6	7	8
Fréquence basse (Hz)	44	88	176	353	707	1414	2828	5656
Fréquence haute (Hz)	88	176	353	707	1414	2828	5656	11312
Valeur moyenne (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

- Quel rapport existe-t-il entre la fréquence basse et la fréquence haute dans chacune de ces bandes ? Comment nomme-t-on l'intervalle correspondant ?
- Un haut-parleur, supposé être une source isotrope, délivre une puissance acoustique $P_1 = 1 \times 10^{-3}$ W, identique dans chacune de ces huit bandes. Calculer la puissance acoustique globale P_{globale} pour l'ensemble des huit bandes. En déduire le niveau de puissance acoustique L_W de la source.

- c. Calculer le niveau sonore global en un point M situé à deux mètres de ce haut-parleur.
- d. Un fabricant de casque antibruit fournit les caractéristiques suivantes pour un de ses modèles. Le tableau ci-dessous présente l'atténuation -en dB- apporté par le casque lorsque l'on se trouve à deux mètres de la source.

Numéro de la bande	1	2	3	4	5	6	7	8
Atténuation (dB)	12	14	18	23	36	31	35	34

Le niveau sonore de la source non atténué pour chacune des bandes de fréquences est précisé dans le tableau ci-dessous.

Numéro de la bande	1	2	3	4	5	6	7	8
Niveau sonore non atténué (dB)	73	73	73	73	73	73	73	73

- i. Donner le niveau sonore atténué -en dB- dans chacune des bandes.
- ii. En déduire le niveau sonore global atténué.
- iii. Pour le bruit étudié à la question c., quelle est l'atténuation globale apportée par ce casque ?

Thème 4 : Réverbération

1. Durées de réverbération

- a. A l'aide de la formule de Sabine, calculer la durée de réverbération de chaque salle.

Dimensions (m)	Coefficient d'absorption moyen
Salle (1) : $8 \times 8 \times 2,7$	0,040
Salle (2) : $5 \times 5 \times 2,7$	0,040
Salle (3) : $15 \times 12 \times 2,7$	0,060

- b. On attribue, instinctivement, une durée de réverbération importante à une salle de grandes dimensions. Est-ce judicieux ?

2. Salle polyvalente

Une municipalité décide de s'équiper d'une salle polyvalente de dimensions $80 \times 30 \times 12$ m. On mesure le T_R , temps de réverbération de cette salle et l'on trouve 3 secondes.

- a. Quel est la surface équivalente ?
- b. Quels sont les coefficients d'absorption si celui du plafond est le double de celui des murs, le sol étant parfaitement réfléchissant ?
- c. Pour améliorer l'acoustique, on pend 36 panneaux rectangulaires de 4×3 m de coefficients d'absorption $\alpha = 0,5$. Quel est le nouveau T_R ?
- d. A votre avis, à quels usages cette salle sera-t-elle adaptée ?

3. Aire d'absorption équivalente

On désire calculer l'aire d'absorption équivalente A d'une pièce. Elle possède les dimensions suivantes $L = 6,0$ m, $\ell = 5,0$ m et $h = 3,0$ m. Elle comporte une baie vitrée de surface 10 m^2 et deux portes de surface 2 m^2 chacune. Les sons émis sont étudiés à la fréquence de 1000 Hz. Les coefficients d'absorption des matériaux revêtant les surfaces de cette pièce à la fréquence de 1000 Hz sont :

revêtement	porte isophane	baie vitrée	mur de béton	plancher parquet	plafond en plâtre
α	0,09	0,12	0,03	0,07	0,04

Dans la pièce il y a trois fauteuils en velours et trois personnes assises, avec une aire d'absorption équivalente *individuelle* de $0,46 \text{ m}^2$ à 1000 Hz.

Calculer l'aire totale d'absorption équivalente A .

4. Coefficient d'absorption moyen

On considère une salle de longueur $L = 8 \text{ m}$, de largeur $l = 8 \text{ m}$ et de hauteur $h = 2,7 \text{ m}$. Le sol est recouvert d'un parquet bois collé, les murs sont en béton recouverts de peinture blanche et le plafond est plâtré.

- Calculer, pour un son de fréquence 1000 Hz, le coefficient d'absorption moyen α de la salle.
- Refaire le calcul pour un son de fréquence de 250 Hz. A quelle fréquence les éléments de la salle absorbent-ils le mieux le son ?

	α_{Sabine} à 1000 Hz	α_{Sabine} à 250 Hz
Murs	0,03	0,02
Plafond	0,05	0,03
Sol	0,06	0,04

5. Extrait Session 2018 / Correction acoustique

Une salle rectangulaire prismatique de volume $V = 1200 \text{ m}^3$ possède un plafond et un plancher horizontal. Il y a 5 fenêtres de $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, ainsi que 6 portes de $2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$. Cette salle peut contenir 300 auditeurs. Elle est destinée à des conférences ainsi qu'à des concerts de musique symphonique.

- Calculer la valeur critique du temps de réverbération donnée par la relation $T_r = \frac{a}{10} V^{1/3}$.

Pour la valeur de a , on prendra la moyenne des coefficients prévus pour ces 2 types de manifestations, soit $a = 1,1$.

- Une expression plus réaliste du temps de réverbération est donnée par $T_r = 0,164 \frac{V}{A} \left(1 + \log \frac{N}{40} \right)$, avec $N = 40 \text{ dB}$ pour la parole et $N = 80 \text{ dB}$ pour la musique.

Quelle est l'aire d'absorption équivalente nécessaire – pour chacune des configurations – pour parvenir au T_r de la question précédente. En déduire la valeur moyenne A_{moy} de la surface absorbante nécessaire.

- Le projet de l'architecte est rappelé dans le tableau ci-dessous :

Surface	Matériau	α_i à 512 Hz	Aire S_i en m^2	$\Sigma \alpha_i S_i$
Sol	Linoléum	0,1	200	
Plafonds	Fibres molles	0,15	250	
Murs	Ribage fin	0,02	240	
Portes	Bois dur	0,03	30	
Fenêtres	Verre	0,03	40	
Avant-scène	Bois	0,03	10	
Podium	Bois sapin	0,06	50	
Mobilier	Chaises	0,008	$N = 300$	

TOTAL :
+ 10% :
TOTAL :

Remplir le tableau –incluant les cases TOTAL, 10% du TOTAL et TOTAL+10%-. Que vaut l'aire d'absorption équivalente *totale* A qui tient compte de l'ajout des 10% à la surface existante dû à l'absorption par d'autres éléments -radiateurs, luminaires, ...- ? Déduire alors l'aire d'absorption équivalente A_m qui manque entre A_{moy} et A .

- Etudier la variation du temps de réverbération en fonction du nombre d'auditeurs pour chaque type de manifestation (parole, musique). Chaque auditeur correspond à une aire d'absorption de $0,44 \text{ m}^2$. On reportera les résultats dans un tableau de 8 colonnes (N auditeurs / 0 / 50 / 100 / 150 / 200 / 250 / 300) et 5 lignes (N auditeurs / A_{aud} / A_{tot} / $T_r \text{ par}$ (en s) / $T_r \text{ mus}$ (en s)).
- Il est préférable de sonoriser la salle en la supposant à moitié pleine. Dans ces conditions, calculer la nouvelle aire d'absorption équivalente qui manque notée A'_m . L'architecte propose de disposer un absorbant au plafond ; on suppose que l'aire d'absorption équivalente vient s'ajouter au plafond déjà existant. Les 3 matériaux proposés ont les coefficients $\alpha_1 = 0,50$, $\alpha_2 = 0,25$ et $\alpha_3 = 0,20$. Lequel choisir ?
- Déterminer le nombre d'auditeurs qu'il faudrait dans la salle, AVANT et APRES ajout du plafond, pour avoir la meilleure acoustique, sachant que les temps de réverbération favorables sont : $1,0 < T_r < 1,1\text{s}$ (parole) et $1,2 < T_r < 1,3\text{s}$ (musique). On suggère de reprendre un tableau au même format que celui de la question d.

Thème 5 : Transmission

1. Paroi vitrée

- Déterminer l'épaisseur e du verre à employer dans la construction d'une paroi vitrée, sachant que celle-ci doit offrir un affaiblissement sonore de $28 \text{ dB}(A)$ à la fréquence $f = 520 \text{ Hz}$. On donne la masse volumique du verre $\rho_{\text{verre}} = 2500 \text{ kg m}^{-3}$ ainsi que l'affaiblissement sonore $R(\text{dB}) = 13,3 \log(f\sigma_p) - 22,5$.
- Que vaut l'affaiblissement acoustique d'un sol en béton plein de masse volumique $\rho = 2300 \text{ kg m}^{-3}$ et d'épaisseur $e = 11 \text{ cm}$ à la fréquence $f = 400 \text{ Hz}$.
- Sachant que la nouvelle réglementation impose un affaiblissement de $51 \text{ dB}(A)$, quel devrait être l'épaisseur de béton ?

2. Affaiblissement sonore

L'affaiblissement sonore R d'une cloison de masse surfacique σ est donné par les formules suivantes :

$$R = 13,3 \log \sigma_p \text{ pour } \sigma_p < 200 \text{ kg m}^{-2}$$

$$R = 15 \log (4\sigma_p) \text{ pour } \sigma_p > 200 \text{ kg m}^{-2}$$

- Calculer R pour chacune des parois suivantes :

matériau	ρ (kg.m^{-3})	e (mm)
plâtre	1100	15
béton	2500	150
brique	1400	70

- Quelle épaisseur devrait avoir une cloison de béton pour un affaiblissement sonore de $50 \text{ dB}(A)$? En comparant les deux résultats obtenus pour $R_{\text{béton}}$, que peut-on en conclure?
- Quelle amélioration de l'affaiblissement phonique apporte le doublement de l'épaisseur de la cloison ?

3. Affaiblissement sonore

Une cloison possède un indice d'affaiblissement sonore $R = 51 \text{ dB(A)}$ pour $f = 400 \text{ Hz}$.

Elle sépare deux locaux.

- a. En appliquant la loi des fréquences, quels seront les indices d'affaiblissements sonores pour les fréquences 800 Hz, 6400 Hz et 12800 Hz ?

Dans le local émetteur, une chaîne haute-fidélité possède des hauts parleurs qui ont des bandes passantes comprise entre 25 Hz et 13 kHz. Lors d'une soirée, le niveau sonore de la musique monte à 90 dB(A) dans toutes les fréquences.

- b. Quel sera le niveau sonore dans le local récepteur pour les fréquences limites de la bande passante ?

4. Isolation

L'isolement brut entre un local émetteur et un local récepteur est égal à $49,2 \text{ dB(A)}$. Calculer l'isolement normalisé quand le temps de réverbération du local récepteur est égal à $0,6 \text{ s}$.

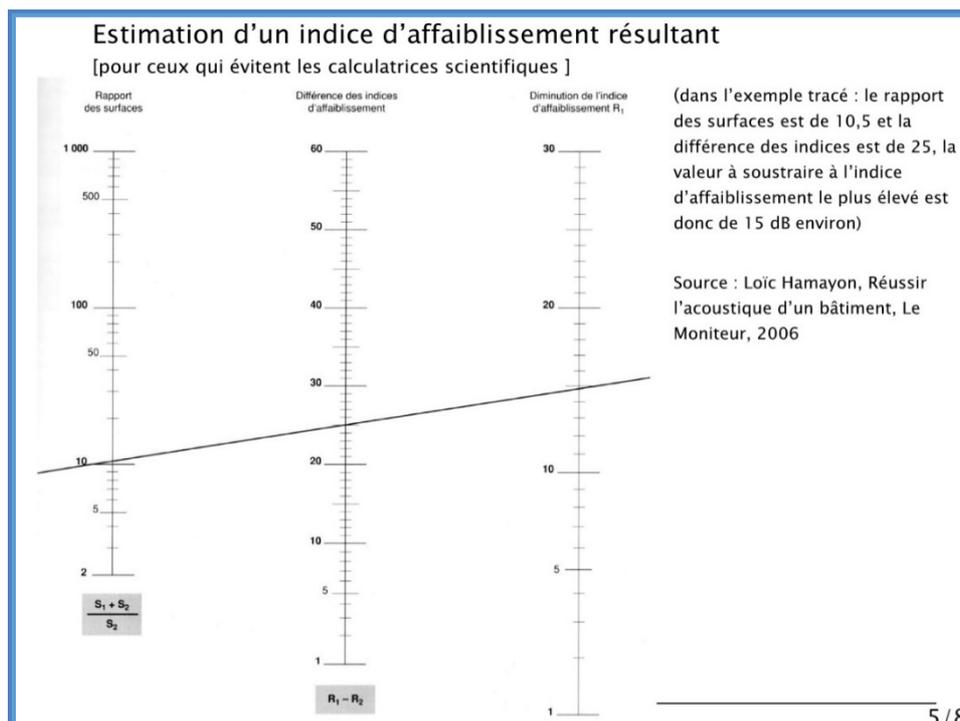
5. Isolement acoustique

- a. Deux locaux sont séparés par une paroi qui comprend une cloison de 18 m^2 avec un indice R de 40 dB et une porte de 2 m^2 avec un indice R de 20 dB . Quel est l'indice d'affaiblissement acoustique composite R de la paroi ?
- b. La porte est mal posée, il y a un joint de 8 mm dessous. Sachant que cette porte mesure 1 m de large, calculez l'indice d'affaiblissement acoustique R de la porte mal posée et commentez votre résultat.
- c. On ouvre la porte. Calculez l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi avec la porte ouverte.

6. Transmission

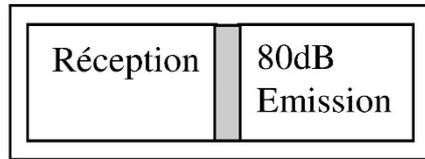
Soit une cloison discontinue, avec un mur $S_m = 20 \text{ m}^2$ d'isolement brut $R_{bm} = 40 \text{ dB}$, et une porte $S_p = 4 \text{ m}^2$ d'isolement brut $R_{bp} = 25 \text{ dB}$. D'un côté de la cloison, le niveau sonore vaut $N = 70 \text{ dB}$. Calculer :

- a. Le niveau sonore de l'autre côté si la cloison n'avait pas de porte.
- b. La diminution d'isolement due à la présence de la porte.
- c. Le niveau sonore réel de l'autre côté de la cloison.



7. Isolement acoustique d'une paroi

Pour mesurer l'isolement au bruit aérien d'une paroi, on génère dans une des pièces un bruit rose L_{p1i} de 80 dB par octave i .



On relève les *niveaux d'intensité acoustique* L_{p2i} par octave i dans le local de réception, à l'aide d'un sonomètre. On rappelle l'intensité acoustique de référence $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$.

Bande d'octave i (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_{p1i} (dB)	80	80	80	80	80	80
L_{p2i} (dB)	60	55	50	42	36	30

La mesure se fait en présence d'un bruit de fond, dont le niveau par bande d'octave i L_{p0i} est le suivant :

Bande d'octave i (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_{p0i} (dB)	55	50	40	37	30	22

- Déterminer le spectre du bruit effectivement transmis par la paroi L_{p3i} -en dB-, après soustraction du bruit de fond.
- Déterminer alors le spectre du bruit L_{p3i} en dB(A). On rappelle les valeurs de pondération A par bande d'octave :

Bande d'octave i (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0

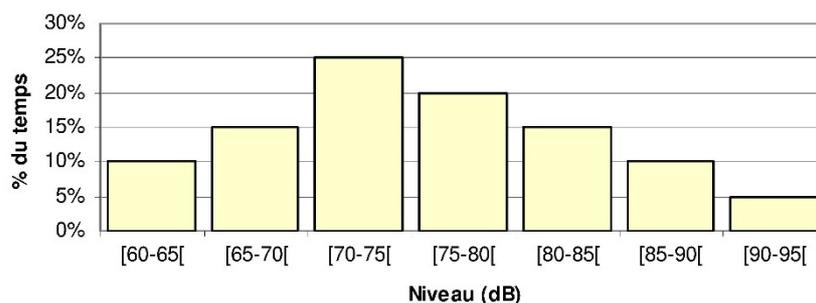
- En déduire le niveau pondéré *global* L_{p3} dans la pièce de réception puis celui pondéré *global* L_{p1} dans la pièce d'émission. On rappelle qu'un tel niveau global est donné par

$$L_p = 10 \log \left(\sum_i 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right)$$

- L'isolement brut d'une paroi au bruit aérien est défini par la relation $D_b = L_{p1} - L_{p3}$. Evaluer l'isolement brut de la paroi en dB(A). Conclusion.

8. Isolement acoustique d'une paroi

L'analyse temporelle d'un bruit a donné la distribution de fréquence suivante en classe de 5 dB :



- a. Déterminer les niveaux dépassés 10 %, 50 % et 90 % du temps, respectivement L_{10} , L_{50} et L_{90} .
- b. Calculer L_{eq} .

9. Eglise

Dans une église se tient un concert dont le niveau sonore moyen est $N_{int} = 85 \text{ dB}$ et de fréquence moyenne $f = 400 \text{ Hz}$. Les données architecturales sont les suivantes : hauteur des murs $H = 20 \text{ m}$, épaisseurs $e = 80 \text{ cm}$, une façade A de largeur $l = 20 \text{ m}$ de surface $S_p = 15 \text{ m}^2$ d'épaisseur $e_p = 10 \text{ cm}$ avec une porte en bois, une façade B de largeur $l = 20 \text{ m}$ et des façades latérales C de longueur $L = 40 \text{ m}$ avec des vitraux d'épaisseur $e_v = 8 \text{ mm}$ et de surface $S_v = 80 \text{ m}^2$ par façade. On donne les masses volumiques $\rho_{\text{pierre}} = 2300 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_{\text{bois}} = 800 \text{ kg m}^{-3}$ et $\rho_{\text{verre}} = 2500 \text{ kg m}^{-3}$.

- a. Faire un schéma -plan au sol-.
- b. Calculer les masses surfaciques des différents éléments constitutifs des parois -mur, vitrail, porte-.
- c. Déterminer l'isolement brut de chaque partie -mur, vitraux, porte- en utilisant la relation donnée en 1.a.
- d. Déterminer l'isolement réel (affaiblissement phonique) de chaque façade sur le même principe de calcul qu'à l'exercice précédent, et donner les niveaux sonores correspondants à l'extérieur N_A, N_B, N_C .