

Pour chaque question, indiquez la ou les bonnes réponses.

1 La puissance acoustique :

- a) d'une voix humaine est de l'ordre de 1,0 W.
- b) décroît quand on s'éloigne d'une source sonore.
- c) est l'une des caractéristiques d'une source sonore.

2 Le niveau de pression acoustique du champ direct d'une source de puissance 1,0 W :

- a) décroît de 6 dB si on multiplie par 2 la distance source-récepteur.
- b) décroît de 26 dB si on multiplie par 20 la distance source-récepteur.
- c) est égal au niveau d'intensité acoustique.

3 Une source émet une intensité acoustique $I = 1,0 \times 10^{-5} \text{ W.m}^{-2}$ à 1,0 m.

Donnée : seuil d'intensité acoustique à 1 000 Hz : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.

- a) Si cette source émet dans 4π sr, sa puissance acoustique vaut $P = 12,6 \text{ W}$.
- b) L'intensité acoustique est divisée par 4 si on se place à 2,0 m de la source.
- c) Son niveau d'intensité acoustique à 1,0 m vaut 70 dB.

4 L'aire équivalente d'absorption :

- a) permet de déterminer l'isolation acoustique d'une pièce.
- b) diminue quand on retire le mobilier d'une pièce.
- c) si elle augmente, le temps de réverbération augmente également.

5 Le champ réverbéré :

- a) vient toujours se superposer au champ direct dans un espace clos.
- b) reste identique en tout point de la pièce.
- c) est indépendant de la puissance acoustique de la source présente.

6 Une paroi est composée d'une surface $S_1 = 10,0 \text{ m}^2$ de béton, d'indice d'affaiblissement $R_1 = 59 \text{ dB}$ et d'une surface $S_2 = 2,0 \text{ m}^2$ de vitre d'indice d'affaiblissement $R_2 = 25 \text{ dB}$.

- a) Ces deux parois sont en série.
- b) L'affaiblissement total de la paroi vaut : $R_{\text{total}} = 33 \text{ dB}$.
- c) L'affaiblissement total de la paroi vaut : $R_{\text{total}} = 29 \text{ dB}$.

7 Le temps de réverbération pour une salle de dimensions : 10 m × 10 m × 2,5 m vaut $T_R = 0,5 \text{ s}$.

- a) Ce temps va diminuer si plusieurs personnes entrent dans la salle.
- b) L'aire équivalente d'absorption de toute la salle vaut $A = 80 \text{ m}^2$.
- c) Le coefficient moyen d'absorption des murs, plafond et du sol vaut $\alpha = 0,53$.

Exercice résolu

Marteau-piqueur et champ direct

Un marteau-piqueur constitue une source sonore de champ direct d'une puissance de 10 W émettant dans un angle solide $\Omega = 4\pi$ sr.

Intensité acoustique du seuil d'audibilité à 1 000 Hz : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.

1. Comment évolue la puissance acoustique quand on s'éloigne du marteau-piqueur ?
2. Calculer la valeur de l'intensité acoustique à une distance de 1,0 m de la source.
3. Calculer le niveau d'intensité acoustique à une distance de 1,0 m.
4. À quelle distance du marteau-piqueur doit-on se placer pour recevoir un niveau d'intensité acoustique de 80 dB ?
5. Quel doit être l'affaiblissement minimal d'une PICB pour qu'à 1,0 m le niveau d'intensité ne dépasse pas 80 dB ?

CORRECTION

1. La puissance acoustique caractérise la source sonore, elle reste donc égale à 10 W, même si on s'éloigne de la source.

2. Intensité acoustique à 1,0 m : $I_D = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{10}{4\pi \times 1,0^2} = 0,80 \text{ W.m}^{-2}$.

3. Niveau d'intensité acoustique à 1,0 m : $N_1 = 10 \log \frac{I_D}{I_0} = 10 \log \frac{0,7957}{1,0 \times 10^{-12}} = 119 \text{ dB}$.

4. Intensité acoustique correspondant à 80 dB : $I_D = I_0 \times 10^{\frac{N_1'}{10}} = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{80}{10}} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$.

Calcul de la distance correspondante : $R = \sqrt{\frac{P}{4\pi I_D'}} = \frac{10}{4\pi \times 1,0 \times 10^{-4}} = 89,2 \text{ m}$.

5. Calcul de l'affaiblissement : $A = N_1 - N_1' = 119 - 80 = 39 \text{ dB}$.

Applications directes du cours

Pour tous les exercices, on prendra :

Intensité de référence : $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.

8 Décroissance du champ direct d'une source ponctuelle

Différentes sources ponctuelles rayonnent dans un angle solide de $4\pi \text{ sr}$.

Données : $p_0 = 2,0 \times 10^{-5} \text{ Pa}$; $\rho_0 = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$; $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

1. Compléter le tableau suivant :

Puissance acoustique (W)	1,0	$1,0 \times 10^{-4}$			$1,0 \times 10^{-5}$
Distance source-récepteur (m)	10		1,0	1,0	
Intensité acoustique (W.m^{-2})					20×10^{-3}
Suppression acoustique (Pa)		1×10^{-5}			
Niveau d'intensité acoustique (dB)				120	
Niveau de pression acoustique (dB)			75		40

2. Quelles puissances acoustiques correspondent à des sources courantes dans un immeuble d'habitation ?

3. Citer des facteurs physiques qui pourraient modifier ces résultats.

9 Bruit linéique produit par une route

La partie non enterrée d'une autoroute urbaine de longueur $L = 200$ m se comporte comme une source de bruit linéique de puissance $P = 200$ mW. L'intensité du champ direct produit par une telle source est donnée par l'expression suivante.

$$I_D = \frac{P_{\text{acoustique}}}{\pi LR}$$

I_D : intensité acoustique du champ direct (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

$P_{\text{acoustique}}$: puissance acoustique de la source (en W).

L : longueur de la route (en m).

R : distance entre la source et le récepteur (en m).

1. Les surfaces d'ondes sonores générées par cette source linéique sont des demi-cylindres. Proposer un schéma montrant la route et les surfaces d'ondes.

2. Calculer l'intensité acoustique ainsi que les niveaux d'intensité des ondes produites par cette source aux distances suivantes :

R (m)	1,0	2,0	10	20	100
I_D ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)					
N_{Id}					

3. Comment évolue le niveau d'intensité acoustique si on multiplie la distance route-récepteur par 5 ?

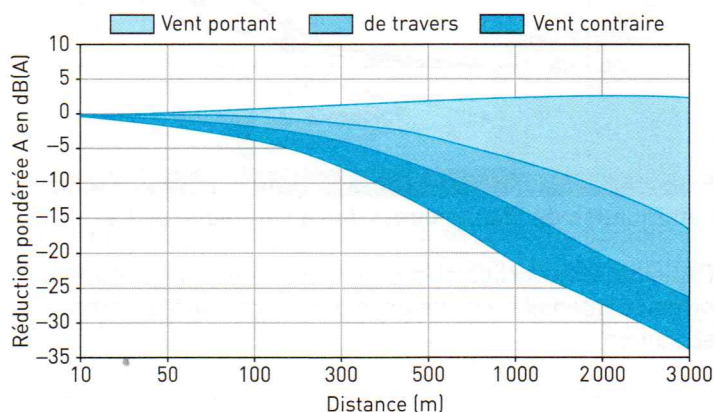
10 Effets du vent sur le champ direct

Une éolienne émet des ondes acoustiques sphériques dans tout l'espace (angle solide de 4π sr) avec un niveau d'intensité acoustique $N_1 = 60$ dB(A) à une distance $d_1 = 10$ m de la source d'émission.

1. Calculer l'intensité acoustique des ondes à 10 m de l'éolienne.

2. Montrer par un calcul que le niveau d'intensité acoustique à la distance $d_2 = 1,0$ km vaut $N_2 = 40$ dB(A).

Le graphe suivant donne les corrections à apporter en fonction du vent :



- Exploiter le graphe pour indiquer si l'effet du vent fait toujours diminuer le niveau d'intensité sonore.
- Quelles sont les corrections à apporter au niveau de l'intensité acoustique à une distance $d_1 = 10$ m de l'éolienne.
- En tenant compte des diverses conditions de vent possibles, donner un encadrement des valeurs des niveaux d'intensité acoustique effectivement perçues à une distance $d_2 = 1,0$ km de l'éolienne.

11 Effet de la température sur le champ direct

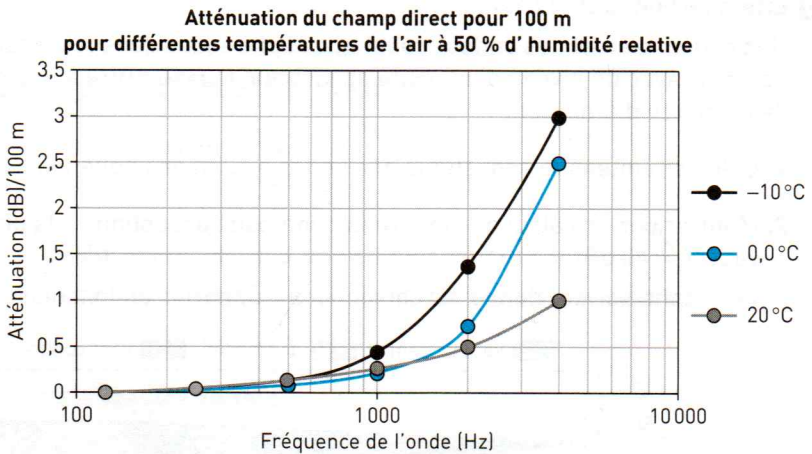
L'analyse d'un bruit par bandes d'octave à une distance $d = 1,0$ m d'une source sonore émettant des ondes sphériques dans un angle solide $\Omega = 4\pi$ sr a donné les résultats suivants :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_1 (dB) à 1,0 m	66	71	75	67	55	62

- Exploiter les données du tableau de mesure pour calculer l'intensité acoustique à la distance $d = 1,0$ m de chaque bande d'octave.
- Montrer par un calcul qu'à une distance $d' = 200$ m le niveau d'intensité acoustique par bandes d'octave donne les résultats suivants :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_1 (dB) à 200 m	10	25	29	21	9	16

Les effets de la température de l'air induisent une atténuation.



- Exploiter les courbes ci-dessus pour indiquer l'effet de la température sur l'atténuation du champ direct due à l'humidité de l'air.
- Exploiter les courbes ci-dessus pour montrer qu'à une température de -10 °C, le niveau d'intensité à la distance $d' = 200$ m aura la composition par bandes d'octave suivante :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_1 (dB) à 200 m	10	25	29	20	6	10

5. Calculer le niveau résultant correspondant au tableau de résultats ci-dessus.

12 Calcul d'un temps de réverbération

Un local présente un temps de réverbération $T_R = 1,5$ s.

Ses dimensions sont $L = 20$ m ; $l = 10$ m ; $h = 3$ m.

1. Donner la définition du temps de réverbération.
2. Déterminer l'aire équivalente d'absorption A_1 de ce local.
3. En déduire le coefficient moyen d'absorption α_1 .
4. Calculer l'aire d'absorption équivalente A_s du sol.
5. On recouvre le plafond et les murs du local d'un matériau acoustique de coefficient d'absorption $\alpha = 0,47$. Calculer le nouveau temps de réverbération.

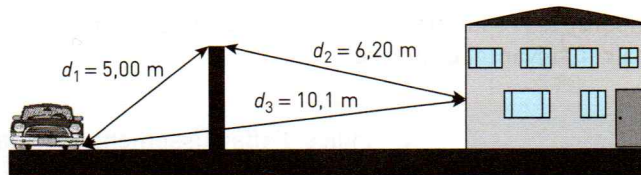
13 Champ direct et champ réverbéré

Une salle de concert présente un temps de réverbération $T_R = 1,0$ s. Ses dimensions sont $L = 25$ m ; $l = 10$ m ; $h = 3,0$ m. On place près de l'un des murs de largeur $l = 10$ m une source sonore dont la puissance acoustique vaut $P = 1,0$ W, et qui rayonne dans l'angle solide $\Omega = 4\pi$ sr.

1. Calculer l'aire équivalente d'absorption de cette salle.
2. Calculer l'intensité puis montrer que le niveau d'intensité dû au champ réverbéré vaut $N_r = 105$ dB.
3. Que vaut le niveau global à 1,0 m de la source en tenant compte du champ direct et du champ réverbéré ?
4. Que vaut le niveau global minimum d'intensité acoustique dans cette salle ?
5. Que vous suggèrent ces résultats pour les spectateurs ?

14 Mur antibruit

Un mur antibruit permet de réduire le niveau de pression acoustique issu d'une voie de circulation suivant le schéma suivant :



Avant pose du mur antibruit, le niveau de pression qui parvenait au niveau de l'immeuble à la distance $d_3 = 10,1$ m avait comme composition spectrale :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_p (dB)	63	67	70	73	70	65

On définit le nombre de Fresnel par la relation suivante :

$$N = \frac{2f}{c} (d_1 + d_2 - d_3)$$

f : fréquence centrale d'une bande d'octave (en Hz).
 $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$: célérité des ondes acoustiques dans l'air.
 d_i : distances repérées sur le schéma (en m).

1. Calculer le nombre de Fresnel pour chaque bande d'octave, puis présenter vos résultats sous forme d'un tableau.
2. Calculer l'affaiblissement acoustique de ce mur antibruit pour chaque bande d'octave à l'aide de la formule suivante : $A = 10 \log(20N)$.
3. Ce mur antibruit est-il plus efficace vis-à-vis des sons aigus ou des graves ?
4. Donner la composition par bandes d'octave du bruit arrivant au niveau de l'immeuble après pose du mur antibruit.
5. On souhaite que le niveau de pression global après pose du mur ne dépasse pas 58 dB. Est-ce le cas ?

15 Exploitation de résultats expérimentaux

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des résultats obtenus lors de la mesure du niveau de pression avant, puis après une paroi en BA 13 d'épaisseur 13 mm, et de masse surfacique $\sigma = 5,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_p avant paroi (dB(A))	67,4	86,4	117,8	108,9	102,3	106,9
N_p après paroi (dB(A))	59,5	85,2	111,6	93,1	83,6	80,8

1. Proposer un schéma du dispositif permettant de réaliser l'expérience.
2. À l'aide d'un tableur graphique, tracer l'évolution de l'indice d'affaiblissement de cette paroi en fonction de la fréquence.
3. Exploiter votre représentation graphique de points pour indiquer si l'évolution de l'affaiblissement vous paraît linéaire en fonction de la fréquence.
4. Comparer les résultats obtenus avec ceux que fournirait l'application de la relation de calcul suivante. Conclure.

$$R_A = 20 \log(10\sigma f) - 48$$

R_A : indice d'affaiblissement acoustique de la paroi (en dB).
 σ : masse surfacique de la paroi (en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).
 f : fréquence de l'onde sonore (en Hz).

16 Affaiblissement d'une paroi composite

Une paroi composite est réalisée par superposition de trois matériaux. L'indice d'affaiblissement de chaque matériau est donné dans le tableau suivant :

Matériau	Voile béton	Isolant thermique	Enduit de finition
R (dB)	55	5	3

1. Calculer le coefficient de transmission de chacun des matériaux composant cette paroi, puis en déduire le coefficient de transmission pour l'ensemble des matériaux accolés.
2. Calculer l'affaiblissement de la paroi composite.
3. Le résultat précédent dépend-il de l'ordre des matériaux dans la paroi ?
4. Après sa mise en place définitive, on mesure au sonomètre le niveau de pression issu d'une source sonore juste devant et derrière la paroi. Les résultats sont les suivants : $N_{\text{avant}} = 86 \text{ dB}$; $N_{\text{après}} = 26 \text{ dB}$. Exploiter ces valeurs expérimentales pour comparer au résultat obtenu à la question 2.

17 Choix d'une sirène de signal d'évacuation

Une sirène d'alarme se comporte comme une source qui émet des ondes sphériques dans un angle solide $\Omega = 4\pi \text{ sr}$.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de quatre sirènes émettant un signal sonore d'évacuation d'urgence (554/440 Hz) :

Modèle	A	B	C	D
N_p (dB) mesuré à 2,0 m de la sirène	85	95	110	120

Le niveau de pression acoustique issu de la sirène doit être supérieur de 10 dB à celui du bruit ambiant maximum que l'on fixe à 80 dB.

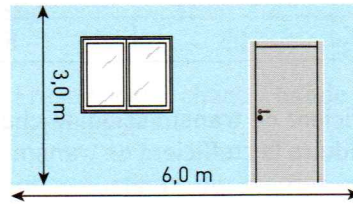
1. Les caractéristiques du tableau correspondent-elles au champ direct ou au champ réverbéré ?
2. Quelle valeur minimale du niveau de pression acoustique doit satisfaire le signal de la sirène pour satisfaire aux exigences.
3. Montrer par un calcul que la distance maximale à laquelle les exigences sont satisfaites pour chaque modèle correspond au tableau de résultats suivant :

Modèle	A	B	C	D
Distance maximale (m)	1,1	3,6	20	63

4. Comment évoluent les valeurs des distances maximales ci-dessus si les sirènes sont placées dans un hangar de dimensions $100 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 8,0 \text{ m}$?

18 Affaiblissement de parois en parallèle

Une façade comporte une fenêtre ainsi qu'une porte. La fenêtre a pour surface $S_F = 2,5 \text{ m}^2$, la porte a pour surface $S_p = 2,0 \text{ m}^2$. Les autres dimensions figurent sur le schéma ci-après.



Les indices d'affaiblissement sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Matériau	Mur	Fenêtre	Porte
R (dB)	55	40	42

1. Calculer la surface du mur au travers de laquelle peuvent se transmettre les ondes acoustiques.
2. Calculer le coefficient de transmission de chacun des matériaux composant cette paroi, puis en déduire le coefficient de transmission pour l'ensemble {mur + fenêtre + porte}.
3. Calculer l'indice d'affaiblissement pour l'ensemble {mur + fenêtre + porte}.
4. La mesure de l'isolement brut est inférieure de 3 dB à l'indice d'affaiblissement calculé à la question 3. Comment peut-on interpréter cette différence ?

19 Champ réverbéré

On place une source sonore de puissance acoustique $P_{\text{acoustique}} = 1,0 \text{ mW}$ dans une pièce de volume $V = 320 \text{ m}^3$. La mesure du temps de réverbération par bandes d'octave a donné les résultats suivants :

f_{centrale} (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
T_R (s)	1,1	1,0	0,90	0,90	0,85	0,80

1. Exploiter les résultats pour calculer l'aire équivalente d'absorption par bandes d'octave de cette salle.
2. L'intensité acoustique du champ réverbéré peut être calculée par la formule suivante :

$$L_{\text{IR}} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{acoustique}}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) + 6 \text{ dB} - 10 \log A.$$

Calculer le niveau d'intensité acoustique du champ réverbéré pour chaque bande d'octave.

3. En déduire le niveau global d'intensité acoustique du champ réverbéré.
4. En quels points de la pièce le résultat précédent est-il valable ?

20 Choix d'un matériau absorbant

La mesure du temps de réverbération d'une pièce de vie a donné $T_R = 1,0$ s. Les dimensions de la pièce sont : $6,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$.

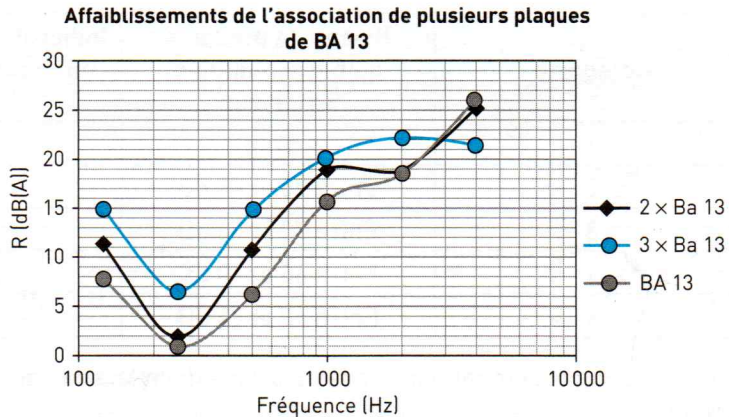
1. Montrer par un calcul que l'aire équivalente d'absorption vaut $A_{\text{tot}} = 11,5 \text{ m}^2$.
2. L'aire équivalente d'absorption des murs et du sol vaut $A_{\text{m+s}} = 8,4 \text{ m}^2$, en déduire l'aire équivalente d'absorption du plafond.
3. On souhaite, par ajout de dalles au plafond, ramener le temps de réverbération entre 0,5 et 0,6 s. Donner un encadrement de l'aire équivalente d'absorption du plafond qu'il faut obtenir.
4. Proposer parmi les matériaux suivants, celui ou ceux qui permettent de remplir les exigences souhaitées.

Matériau	Dalles en bois 1	Dalles en métal 1	Dalles minérales	Dalles en métal 2	Dalles en bois 2
α_w	0,10	0,95	0,70	0,55	0,65

Exercices d'entraînement

21 Loi de masse

La mesure de l'indice d'affaiblissement par bandes d'octave de l'association en série de 2 puis 3 parois en BA 13, en comparaison avec une seule paroi, a donné les résultats suivants :



La source utilisée avait comme niveau de pression acoustique par bandes d'octave les caractéristiques suivantes :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_p avant paroi (dB(A))	67,4	86,4	117,8	108,9	102,3	106,9

1. Exploiter les résultats pour indiquer si l'indice d'affaiblissement est croissant avec la fréquence dans les trois cas envisagés.
2. Exploiter les résultats pour indiquer si associer plusieurs parois identiques en série permet toujours d'améliorer l'isolation acoustique.
3. Exploiter les données de l'énoncé pour calculer par bandes d'octave le niveau de pression après trois parois accolées de BA 13.
4. Calculer le niveau de pression global après trois parois accolées de BA 13.
5. La loi de masse et de fréquence est donnée par la relation suivante :

$$R = 20 \log(10 \sigma f) - 48$$

R_A : indice d'affaiblissement acoustique de la paroi (en dB).

σ : masse surfacique de la paroi (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

f : fréquence de l'onde sonore (en Hz).

Une paroi simple en BA 13 a pour masse surfacique $\sigma = 5,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

La loi de masse et de fréquence est-elle vérifiée pour certaines bandes d'octave dans les cas de l'association en série de trois plaques de BA 13 ?

22 Réglementation acoustique

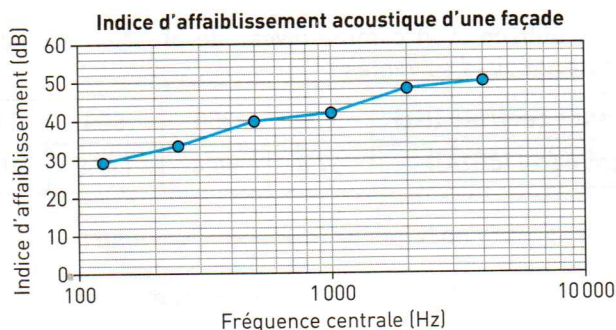
La façade d'un logement est soumise à un bruit routier dont la composition par bandes d'octave est donnée par le tableau suivant :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_p (dB)	66	69	69	67	60	52

La réglementation classe l'isolation minimale que doit procurer la façade d'une habitation.

Catégorie	Niveau de pression global acoustique extérieur	Indice d'affaiblissement minimum de la façade
1	> 81 dB	45 dB
2	Entre 76 et 81 dB	42 dB
3	Entre 70 et 76 dB	38 dB
4	Entre 65 et 70 dB	35 dB
5	Entre 60 et 65 dB	30 dB

L'indice d'affaiblissement par bandes d'octave de la façade est donné dans le graphe suivant :

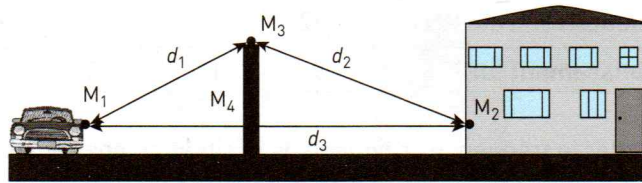


1. Quels types de fréquences sont les plus présentes dans le spectre par bandes d'octave du bruit présent en façade de l'habitation : *aigus, médiums, graves* ?
2. Quel matériel a permis de réaliser les mesures de niveau de pression ?
3. Exploiter les données de l'énoncé pour donner la catégorie de bruit extérieur à laquelle est soumise la façade de l'habitation.
4. Exploiter les données de l'énoncé pour donner la composition par bandes d'octave du bruit à l'intérieur du logement.
5. Calculer le niveau de pression global à l'intérieur du logement.
6. La façade répond-elle aux exigences de la réglementation ?

23 Comparaison de méthodes de calcul pour un mur antibruit

Le but de cette étude est de comparer les résultats donnés par deux méthodes de calcul de l'affaiblissement acoustique produit par un mur antibruit. La situation présentée correspond à un cas simplifié.

La source de bruit se situe en M_1 , le point de réception se situe en M_2 . La situation est envisagée dans le cas où la température de l'air vaut $\theta = 27\text{ °C}$.



Données géométriques :

- hauteur du mur antibruit : $h = 3,0\text{ m}$;
- distance $d_3 = 18\text{ m}$, le point M_4 est équidistant des points M_1 et M_2 ;
- altitude des points M_1 et M_2 et M_4 par rapport au sol : $0,50\text{ m}$;
- le mur antibruit se situe à égale distance entre les points M_1 et M_2 .

Avant pose du mur antibruit, le niveau de pression arrivant au point M_2 avait comme composition spectrale :

Fréquence centrale (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
N_p (dB)	76	75	71	70	68	62

■ Méthode de Maekawa :

On définit le nombre de Fresnel par la relation suivante :

$$N = \frac{2f}{c} (d_1 + d_2 - d_3)$$

f : fréquence centrale d'une bande d'octave (en Hz).
 $c = 347\text{ m.s}^{-1}$: célérité des ondes acoustiques dans l'air.
 d_i : distances repérées sur le schéma (en m).

1. Calculer le nombre de Fresnel pour chaque bande d'octave, puis présenter vos résultats sous forme d'un tableau.
2. Calculer l'affaiblissement acoustique de ce mur antibruit pour chaque bande d'octave à l'aide de la formule suivante : $A = 10 \log(20N)$.
3. En utilisant les données de l'énoncé et votre calcul précédent en déduire l'affaiblissement global du mur antibruit par la méthode de Maekawa.

■ **Méthode de Lauber :**

Pour appliquer la méthode de Lauber, il faut commencer par calculer une fréquence appelée fréquence critique définie par :

$$f_c = \frac{ac}{2b^2}$$

f_c : fréquence critique (en Hz).

$c = 347 \text{ m.s}^{-1}$: célérité des ondes acoustiques dans l'air.

b : distance entre les points M_3 et M_4 (en m).

a : est la distance M_1M_4 (en m).

On détermine ensuite l'affaiblissement acoustique par bandes d'octave du mur antibruit à l'aide du tableau suivant :

Fréquence centrale (Hz)	$f_c/2$	f_c	$2f_c$	$4f_c$	$8f_c$	$16f_c$
Affaiblissement (dB)	9	11	13	16	19	22

4. Calculer la fréquence critique dans la situation envisagée.
5. Exploiter les données de l'énoncé pour donner le tableau d'affaiblissement par bandes d'octave par la méthode de Lauber.
6. En utilisant les données de l'énoncé et votre calcul précédent en déduire l'affaiblissement global du mur antibruit par la méthode de Lauber.
7. On retiendra les résultats de la méthode qui correspond au cas le moins favorable. Proposer une valeur de l'affaiblissement acoustique pour ce mur antibruit.