

## TEST ACOUSTIQUE

Durée: 2 h

Il sera accordé une grande importance à la qualité et à la clarté de la présentation et au **raisonnement**. Tous les **calculs intermédiaires** ou la **démarche** (si vous n'avez pas le temps de mener les calculs) doivent être spécifiés. Le choix des formules utilisées pour le calcul devra être clairement **justifié**. Le test comporte des questions préliminaires suivies de deux parties indépendantes. Les exercices dans chaque partie sont indépendants, et comportent également des questions indépendantes.

Seule une feuille A4 manuscrite recto-verso de notes de cours est autorisée. Tout smartphone est interdit pendant la durée de l'épreuve. Seule une calculatrice est autorisée.

Le temps à consacrer sur chaque exercice est donné à titre **indicatif**.

### I-Questions préliminaires (cours): (5 points - 30 minutes)

- Quelle est la différence entre un bruit blanc et un bruit rose ?
- Qu'est-ce que l'analyse tonotopique de l'oreille ?
- Est-ce que le son se propage plus rapidement dans les solides ou dans l'air ? Pourquoi ?
- Une source omnidirectionnelle émet un niveau de puissance acoustique de 93 dB en champ libre (salle anéchoïque). Quel sera son niveau de puissance en champ diffus ( $V=10m^3$ ,  $T=6s$ ) et dans une salle quelconque ( $T_{moy}=0.7s$ ) ?
- Comment différenciez-vous isolation, isolement et indice d'affaiblissement ?

### II-Partie: correction acoustique

#### Exercice 1: (4 points - 20 minutes)

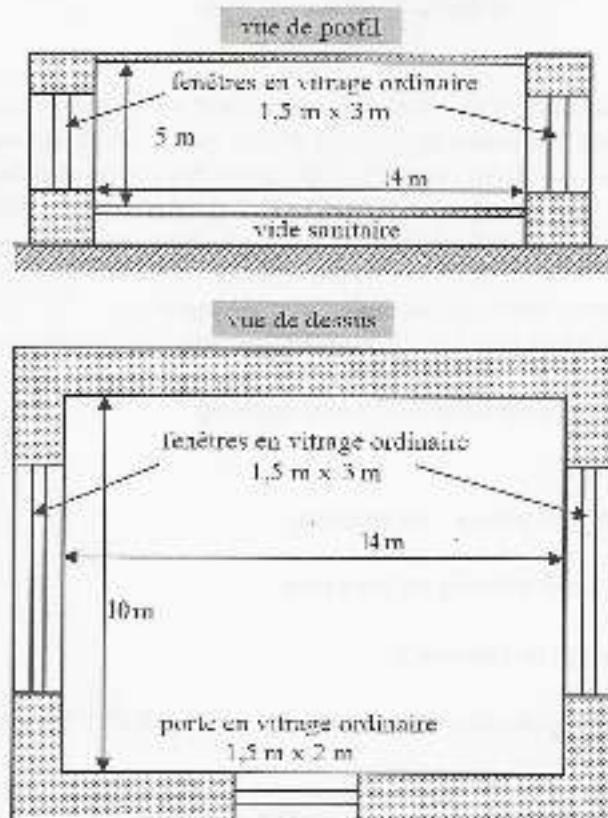
On s'intéresse à l'aménagement intérieur d'une cantine. Pour l'ensemble des salles constituant la cantine, l'isolation vis-à-vis de l'extérieur est secondaire. Les contraintes proviennent essentiellement ici des émissions et propagations de bruits internes aux locaux.

Selon la législation, la durée de réverbération dans les locaux meublés non occupés doit être comprise entre 0,6 s et 1,2 s dans les intervalles d'octaves centrés sur 500, 1000 et 2000 Hz.

On se placera sous les hypothèses de la théorie Sabine.

On s'intéresse à une des salles de restauration de grand volume dont les plans sont donnés sur la page suivante. Les murs latéraux et le plafond sont en béton. Le sol est carrelé.

Pour les différents matériaux, les valeurs numériques (à 1000 Hz) des coefficients d'absorption de Sabine  $\alpha_s$  sont données ci-dessous:



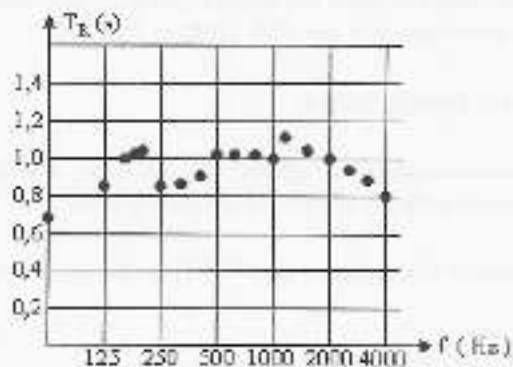
Q1-Pour le cas où aucun aménagement acoustique n'a été réalisé, calculer la durée de réverbération pour cette salle vide à 1000 Hz. Le cadre législatif est-il respecté?

Q2-On cherche à ramener le temps de réverbération à 1 s à la fréquence de 1000 Hz. Pour ce faire, on décide de recouvrir une partie du plafond avec de la laine de roche Protisol ( $\alpha_{\text{Protisol}} = 1$  à 1000Hz).

Donner l'expression littérale  $S_p$  de la surface de plafond à traiter pour réaliser cette amélioration? Calculer sa valeur numérique.

Q3-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) A l'aide du graphique ci-dessous, peut-on dire que le cahier des charges législatif est respecté?

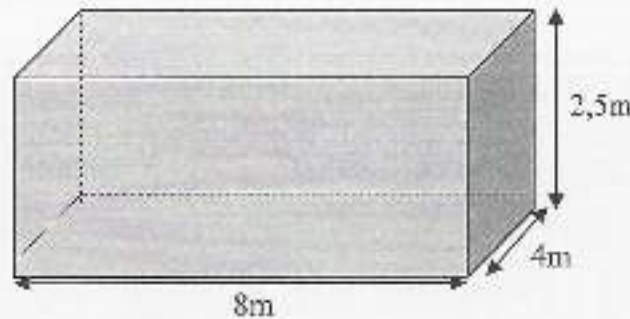


Relevé des durées de réverbération réalisées au centre de la salle en fonction des fréquences centrales des bandes d'octave.

b) Les mesures ont été effectuées au sein d'un local vide. Que se passe-t-il une fois que l'on a rajouté les tables et les chaises concernant l'absorption et les durées de réverbération?

**Exercice 2: (3 points – 15 minutes)**

On veut caractériser une source (une machine dans un atelier par exemple) et notamment obtenir sa directivité et son niveau de puissance. La géométrie de l'atelier est la suivante



Pour cela, on mesure par bande d'octaves les niveaux de pression à l'aide d'un sonomètre en se tenant à deux positions très proches de la machine:  $r=0,4m$  et  $r=0,6m$ :

Octaves	500	2000
$L_p$ (dB) à 0,4m	76	72

Octaves	500	2000
$L_p$ (dB) à 0,6m	74	69

Le plancher et le plafond sont en béton de coefficient d'absorption de Sabine  $\alpha_{S1}$  :

Octaves	500	2000
$\alpha_{S1}$	0,02	0,05

Les murs (parois latérales) sont légèrement absorbants de coefficient d'absorption de Sabine  $\alpha_{S2}$  :

Octaves	500	2000
$\alpha_{S2}$	0,15	0,16

(on prendra pour hypothèse que la composante du champ réverbéré est égale à  $4/\Lambda$  avec  $\Lambda$  l'aire d'absorption équivalente).

Q4-Calculer le facteur de directivité de la source par bande d'octaves.

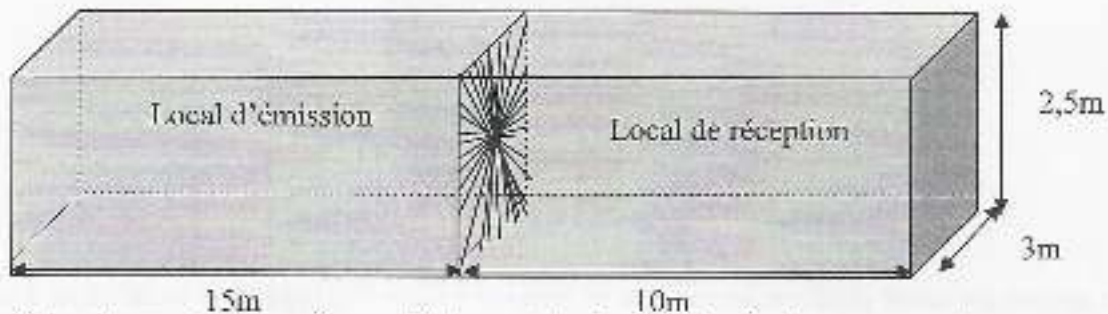
Q5-En déduire le niveau de puissance sonore  $L_w$  de la source par bande d'octaves.



### III-Partie: isolation acoustique

#### Exercice 3: (2 points – 15 minutes)

On considère deux pièces voisines avec un local d'émission et un local de réception séparées par une paroi:



D'après des documents retrouvés, on a l'isolement standardisé  $D_n$ , qui est connu par octaves:

Octaves	500	2000
$D_n$ (dB)	44	64

On se rend alors sur place pour mesurer l'isolement brut en mesurant le niveau de pression à l'émission  $L_{p_{\text{émission}}}$  et le niveau de pression à la réception  $L_{p_{\text{réception}}}$ .

Octaves	500	2000
$L_{p_{\text{émission}}}$ (dB)	90	100

Octaves	500	2000
$L_{p_{\text{réception}}}$ (dB)	53	40

Q6-Quelle est alors l'aire d'absorption équivalente du local de réception (de volume  $V$ ) par octave (sachant que le temps de réverbération de référence est égal à 0.5sec) ?

#### Exercice 4: (6 points – 40 minutes)

On rappelle que: le log est le logarithme népérien en base 10:  $\log(x) = \ln(x)/\ln(10)$

-Le niveau d'intensité acoustique ou niveau sonore  $L$  s'exprime par :  $L = 10 \log(I/I_0)$

$I$  étant l'intensité sonore (puissance sonore reçue par unité de surface du récepteur) et  $I_0$  l'intensité sonore de référence:  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

-Le niveau de puissance acoustique  $L_w$  d'une source s'exprime par :  $L_w = 10 \log(W/W_0)$

$W$  étant la puissance acoustique de la source et  $W_0$ , la puissance acoustique de référence;  $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

-La fonction réciproque de la fonction  $y = \log x$  est la fonction  $x = 10^y$

-La surface  $S$  d'une sphère de rayon  $R$  est donnée par:  $S = 4\pi R^2$

-En l'absence de transmissions latérales, l'indice d'affaiblissement acoustique  $R(f)$  vérifie la relation suivante:

- si on est en présence de champ diffus de chaque côté de la paroi alors  $R(f) = D_s(f) - 10 \log(A^a/S)$  où  $A^a$  désigne l'aire d'absorption équivalente du local de réception à la fréquence  $f$ ,  $D_s$  l'isolement brut et  $S$  la surface du composant considéré.
- Si on est en présence de champ libre d'un côté et de champ diffus de l'autre alors  $R(f) = D_s(f) + 10 \log(S \cos(\theta) / A^a) + 6$  où  $A^a$  désigne l'aire d'absorption équivalente du local de réception à la fréquence  $f$ ,  $D_s$  l'isolement brut et  $S$  la surface du composant considéré.  $\theta$  représente l'angle entre la direction de l'onde et la normale à la paroi.

Un compresseur est assimilé, pour simplifier, à une source sonore ponctuelle émettant des ondes sonores sphériques, de niveau de puissance  $L_{wp} = 100$  dB. On suppose pour simplifier que le son émis se propage de manière identique dans toutes les directions de l'espace.

Une habitation est située à une distance  $d = 20$  m du compresseur.

Q7-Exprimer l'intensité sonore  $I$  à une distance  $d$  de la source en fonction de  $W$  et de  $d$ ; en déduire la valeur numérique de  $I$  au niveau de l'habitation.

Si l'habitation était située à une distance  $2d$ , quelle serait la nouvelle valeur de l'intensité à son voisinage?

Q8-En déduire le niveau sonore d'intensité  $L_1$  à proximité directe de l'habitation. Que pouvez-vous dire des niveaux de pression devant l'habitation? Est-ce tolérable? Comparer à des niveaux sonores connus.

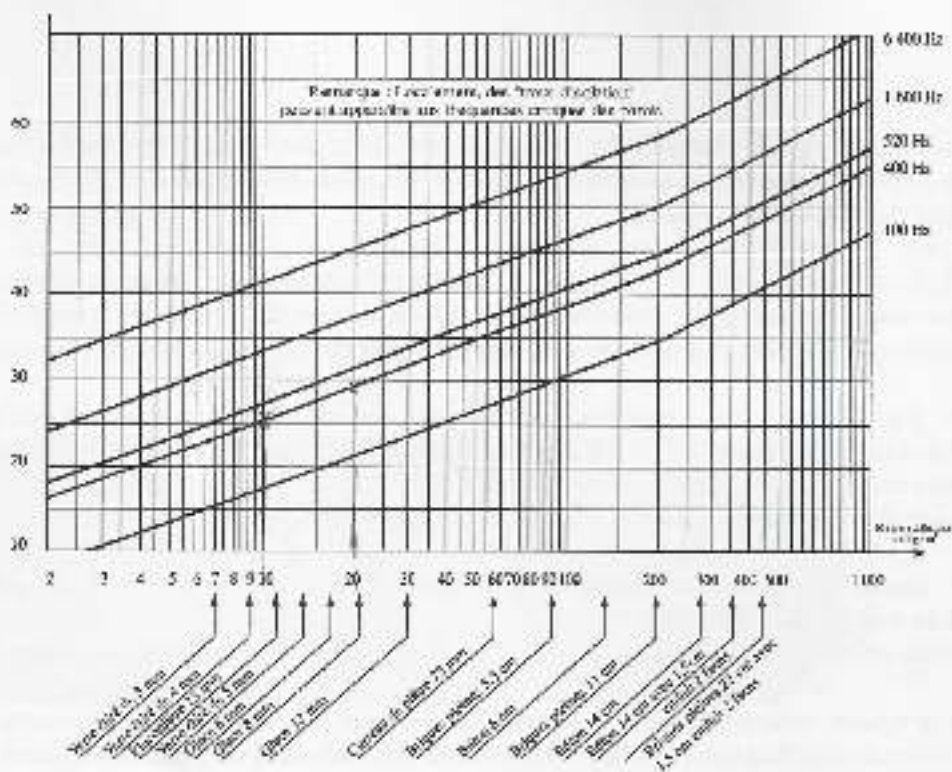
On s'intéresse ensuite au phénomène de transmission du son par les ouvertures de l'habitation. On admet que le bruit généré par le compresseur pénètre dans l'habitation uniquement par la baie vitrée (absence de transmissions latérales) de grandes dimensions ( $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ ) faisant face au compresseur et qui reçoit les ondes sonores émises et que le temps de réverbération à l'intérieur de la pièce qui possède la baie vitrée est de  $1,33\text{ s}$  (volume de cette pièce :  $50\text{ m}^3$ ); on néglige l'influence des autres parois dans la transmission du son de l'extérieur vers l'intérieur. Il n'y a pas d'autre source de bruit.

Premièrement, la fenêtre est équipée d'un simple vitrage.

L'indice d'affaiblissement d'une paroi simple est, en première approximation, donné par la loi de masse pour des fréquences inférieures à la fréquence critique de la paroi. Cet indice dépend du matériau constituant la paroi et de la fréquence des sons transmis. Cette loi de masse est représentée graphiquement ci-dessous pour 5 valeurs de la fréquence dans le domaine audible (la masse surfacique étant en abscisse).





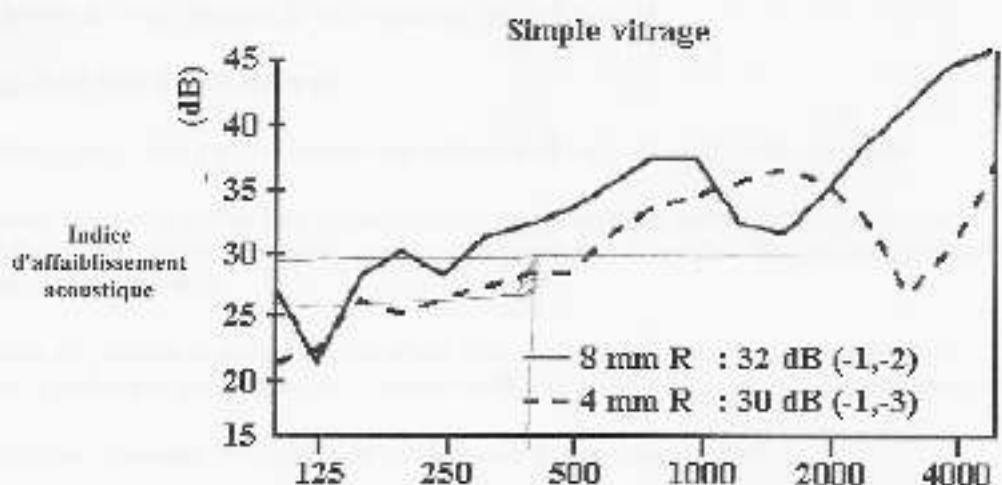


Q9-Si les dimensions de la fenêtre étaient plus petites et que la fenêtre était ouverte (de l'ordre de 0,80m x 0,80m par exemple), quel autre phénomène lié à la nature ondulatoire du son serait susceptible d'intervenir? Pourquoi?

Q10- Calculer la masse surfacique  $m_s$  (masse par unité de surface) d'un vitrage d'épaisseur 4 mm et celle d'un vitrage d'épaisseur 8mm. On donne la masse volumique du verre:  $2500 \text{ kg.m}^{-3}$

Q11-Déterminer à l'aide du graphique représentatif de la loi de masse donné plus haut, l'indice d'affaiblissement à la fréquence 400 Hz pour des simples vitrages d'épaisseurs 4 mm et 8 mm.

Q12-En considérant que la nuisance sonore peut être assimilée à un son pur de fréquence 400 Hz (en incidence normale) entraînant un niveau de pression sonore 63 dB, au voisinage proche de la maison, déduire les valeurs des niveaux de pression à l'intérieur de l'habitation pour les deux épaisseurs de verre considérées. Comparer les deux valeurs de l'indice d'affaiblissement de la question 11 à celles de la documentation (courbes ci-dessous) pour un simple vitrage de 4 mm et 8 mm. Y-a-t-il concordance?



En réalité, il existe deux fréquences, caractéristiques importantes pour une simple paroi, pour lesquelles le son est beaucoup mieux transmis par le vitrage:  
 -la première fréquence propre de la paroi, située en général vers les basses fréquences,  
 -la fréquence critique  $f_c$  située vers les hautes fréquences. Ce « trou » dans l'isolation phonique dû à la

fréquence critique peut se révéler très gênant. Cette fréquence critique est donnée par la formule:

$$f_c = \frac{v^2}{2 \cdot \pi \sqrt{B}} \sqrt{m_s}$$

Dans cette formule:

- $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$  est la célérité du son dans l'air à température ambiante.
- $m_s$  est la masse surfacique de la paroi (ici le vitrage).
- $B$  est un coefficient qui dépend de l'épaisseur  $e$  de la paroi. Il est proportionnel au cube de l'épaisseur du matériau:  $B = k e^3$  avec  $k = 5,28 \times 10^9 \text{ S.I.}$  pour le verre et  $e$  étant l'épaisseur de la paroi en mètre.

Q13-Si, dans cette formule, les différentes grandeurs sont exprimées selon les unités S.I., quelle sera l'unité du coefficient  $k$ ?

Q14- Calculer la fréquence critique pour un vitrage simple de 4 mm et 8 mm. Comparer ces valeurs à celles de la documentation pour un vitrage simple de 4 mm et 8 mm.

Q15-Si l'on augmente l'épaisseur de la vitre, on peut espérer augmenter l'indice d'affaiblissement; comment évolue alors la fréquence critique? Commenter.

Deuxièmement, la fenêtre est équipée d'un double vitrage.

En première analyse, l'indice d'affaiblissement devrait être augmenté, mais ce n'est pas le cas à toutes les fréquences, car les deux vitres se comportent comme des oscillateurs couplés à basses fréquences.

Les fréquences de résonance du double vitrage sont généralement situées à des fréquences plus élevées que celles d'un simple vitrage; elles peuvent donc devenir gênantes.

Q16-Si la nuisance sonore peut être assimilée à un son pur de fréquence 400 Hz (en incidence normale) entraînant un niveau de pression sonore de 63 dB au voisinage extérieur de l'habitation, déterminer les valeurs des affaiblissements produits par un simple vitrage de 4 mm et par un double vitrage [4-12-4] en utilisant la documentation.

Quel phénomène est notable pour le double vitrage 4-12-4 sur cette documentation?

Q17-En déduire les niveaux à l'intérieur dans ces deux cas. Conclusions?

