

# Chapitre 3 : Eléments d'isolation phonique

## Introduction :

L'isolation acoustique regroupe l'ensemble des procédés mis en oeuvre pour obtenir un isolement sonore. Les techniques mises en oeuvre dépendront du mode de transmission des sons.

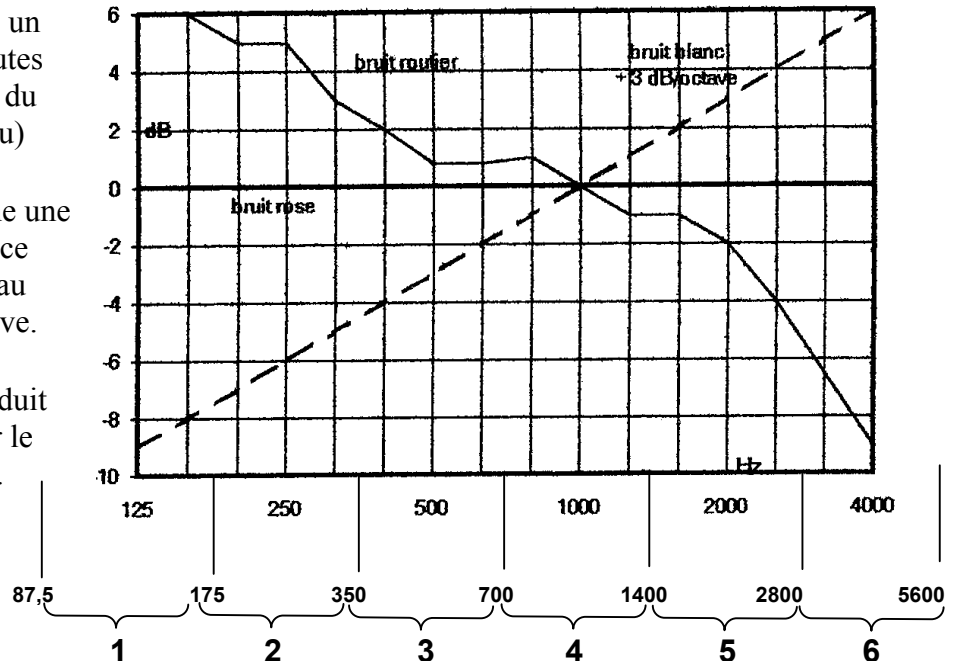
Transmission par voie aérienne → Isolement aux bruits aériens.

Transmission par voie matérielle (cloisons canalisations) → Isolement aux bruits de chocs.

## - I - Etude d'un bruit :

### A - Les sources de bruit normalisées

- Une source de bruit rose donne un niveau sonore constant pour toutes les bandes d'octaves. (Exemple du bruit produit par une chute d'eau)
- Une source de bruit blanc donne une énergie fréquentielle constante ce qui revient à augmenter le niveau sonore de 3dB par bande d'octave.
- Une source de bruit routier produit beaucoup de graves pour imiter le bruit des voitures sur une route.



### B - Spectre d'un bruit

Rappel :  $f_1 = 125$  Hz et  $f_2 = 250$  Hz sont deux fréquences à l'octave, car  $f_2 = 2 \cdot f_1$

Pour s'affranchir de la courbe ci-dessus, on découpe l'ensemble des fréquences audibles en 6 "bandes d'octave" ou en 18 bandes de "tiers d'octave" Chaque bande est repérée par sa fréquence centrale.

Exemple :

La bande d'octave de 125 Hz correspond à l'ensemble des fréquences centrées sur 125 Hz

La bande d'octave de 250 Hz correspond à l'ensemble des fréquences centrées sur 250 Hz

... La dernière étant de 4000 Hz

Le spectre du bruit est un tableau qui donne les valeurs du niveau d'intensité acoustique (égal au niveau de pression acoustique) par bandes d'octaves (6 valeurs) ou de tiers d'octaves (18 valeurs).

Exemple d'un bruit rose de niveau d'intensité sonore global de 80 dB

Fréquences en Hz	Niveau de pression non pondéré en dB
125	80
250	80
500	80
1000	80
2000	80
4000	80

**C - Mesures**

Les mesures physiques ne tiennent pas compte des caractéristiques de l'oreille humaine donc on doit apporter une correction pour en tenir compte : **une pondération**.

La pondération est un facteur de correction attribué à chaque bande d'octave (ou à chaque bande de tiers d'octave) ce qui permet de calculer un niveau d'intensité (ou de pression) sonore pondéré qui prend en compte les caractéristiques de l'oreille humaine.

Il y a plusieurs pondérations possibles, A, B et C.

La réglementation prend en compte les valeurs pondérées A

*Pour obtenir une pondération A il suffit d'utiliser un sonomètre muni d'un filtre A, le résultat s'exprime en dB(A).*

**D - Calcul d'un niveau de pression acoustique pondéré à partir d'un spectre :**

Le niveau de pression pondéré se calcule à partir de l'intensité pondérée pour chaque bande d'octave (ou de tiers d'octave) :

$$L_I(A) = 10 \cdot \log\left(\sum \frac{I}{I_0}\right)$$

Il faut connaître les valeurs de pondération du filtre A pour chaque bande d'octave du spectre pour pouvoir calculer l'intensité acoustique pondérée I.

*Exemple sous forme d'exercice :*

Soit un bruit rose de niveau de pression acoustique  $L_I = 70$  dB, calculez le niveau de pression acoustique pondéré A de ce bruit à partir du tableau de pondération du filtre A :

Fréquences médianes des bandes d'octaves en Hz	Pondération du filtre A en dB
125	-15,5
250	-8,5
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1

*Solution :*

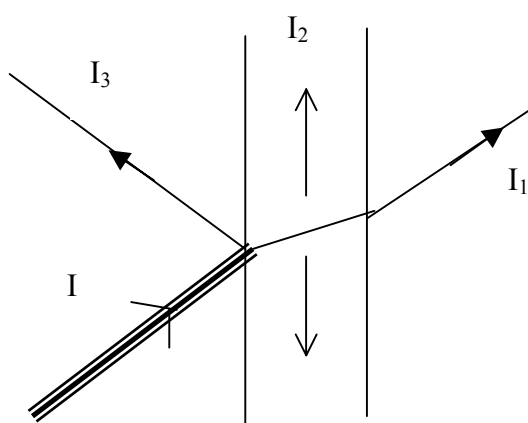
Fréquences en Hz	Niveau d'intensité ou de pression non pondéré en dB	pondération en dB	Niveau d'intensité ou de pression pondéré en dB(A)	$I/I_0$ $p^2/p_0^2$
f	$L_I$	P	$L_{Ip} = 10 \log(I/I_0)$	$I/I_0 = 10^{L_{Ip}/10}$
125	70	-15,5	54,5	$0,028 \cdot 10^7$
250	70	-8,5	61,5	$0,141 \cdot 10^7$
500	70	-3	67	$0,501 \cdot 10^7$
1000	70	0	70	$1,000 \cdot 10^7$
2000	70	+1	71	$1,259 \cdot 10^7$
4000	70	+1	71	$1,259 \cdot 10^7$
Somme				$4,18 \cdot 10^7$

$$\sum \frac{I}{I_0} = 4,18 \cdot 10^7 \text{ et } L_I(A) = 10 \cdot \log\left(\sum \frac{I}{I_0}\right) = 10 \cdot \log(4,18 \cdot 10^7) = 76,3 \text{ dB(A)}$$

$$\text{Soit : } L_I(A) = 10 \cdot \log\left(\sum 10^{\frac{L_{Ip}}{10}}\right)$$

$$L_I(A) = 76,3 \text{ dB(A)}$$

## - II - Comportement d'un bruit qui rencontre une paroi :



Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi séparant deux milieux, l'énergie incidente se trouve en partie :

- réfléchi et absorbé : ces phénomènes concernent ce qu'on appelle la **correction acoustique** (amélioration de la qualité d'écoute dans la pièce)
- absorbé et transmis : ces phénomènes concernent ce qu'on appelle l'**isolation acoustique** (lutte contre les bruits extérieurs).

Au moment de l'absorption, l'énergie est transformée en chaleur.

Conservation de l'énergie :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I$$

I : Intensité incidente

I<sub>1</sub> : Intensité transmise.

I<sub>2</sub> : Intensité absorbée par la paroi.

I<sub>3</sub> : Intensité réfléchi par la paroi.

Coefficient de transmission :  $\tau = I_1/I = I_{\text{transmis}} / I_{\text{incident}}$

Coefficient d'absorption :  $\alpha = I_2/I = I_{\text{absorbé}} / I_{\text{incident}}$  avec  $\alpha + \rho + \tau = 1$

Coefficient de réflexion :  $\rho = I_3/I = I_{\text{réfléchi}} / I_{\text{incident}}$

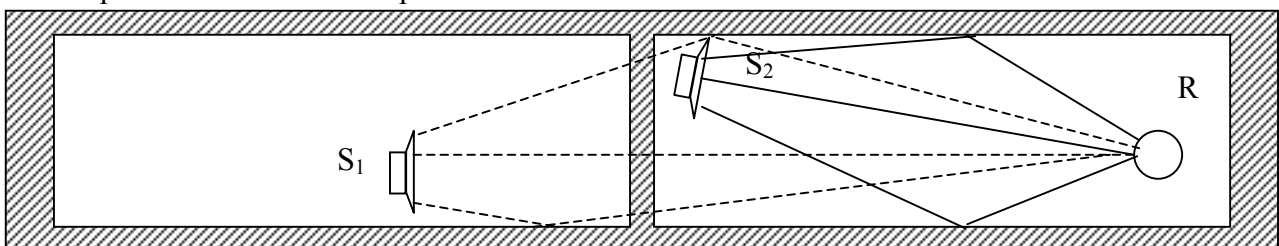
Ces coefficients dépendent du matériau constituant la paroi.

Bon isolant peu absorbant	$\tau = 10^{-7}$	$\alpha = 0,2$	$\rho = 0,799$
Bon absorbant peu isolant	$\tau = 0,2$	$\alpha = 0,5$	$\rho = 0,3$
Bon isolant et bon absorbant	$\tau = 10^{-7}$	$\alpha = 0,5$	$\rho = 0,499$

*Remarque* : un bon isolant ( $\tau$  petit) n'est pas forcément un bon absorbant ( $\alpha$  petit) car l'absorption se fait souvent au détriment de la réflexion.

## - III - Mesure d'un bruit dans une pièce

On produit un bruit normalisé (rose, blanc ou routier) dans une pièce et on mesure le niveau sonore dans la pièce même ou dans la pièce voisine.



### A - Temps de réverbération (bruits aériens)

Le son, comme toutes les ondes, se réfléchit sur les parois de la pièce. L'ensemble des réflexions successives forme la **réverbération**.

La réverbération fait qu'un son coupé net s'entend encore pendant une certaine durée  $T_r$ .

Le temps de réverbération correspond à une décroissance de 60 dB du niveau d'intensité acoustique, ce qui correspond à une intensité sonore un million de fois plus faible.

Le temps de réverbération  $T_r$  est donné par la relation de Sabine :  

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

$V$  : volume de la pièce en  $m^3$

$A$  : Aire équivalente d'absorption des surfaces.

Elle se calcule selon la formule :  $A = \sum \alpha_i S_i$

avec :

$\alpha_i$  : coefficient d'absorption du matériau  $i$

$S_i$  : surface géométrique recouverte par ce matériau  $i$  ( $m^2$ )

*Remarque :*

Toute mesure réelle de niveau d'intensité sonore inclut le phénomène de réverbération car celui-ci ne peut pas être éliminé.

Citons quelques valeurs de coefficients d'absorption (ou coefficients de Sabine) :

$F_{centrale}(Hz)$	125	250	500	1000	2000	4000
Béton brut	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
Verre (12mm)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Moquette	0,14	0,32	0,45	0,45	0,41	0,36
Personne assise	0,15	0,23	0,56	0,78	0,88	0,89

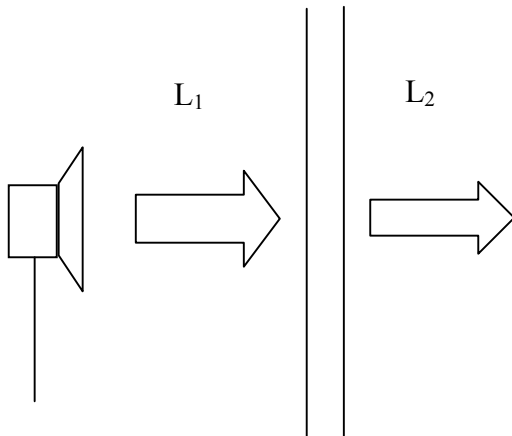
Donnons une classification approximative des valeurs de coefficients d'absorption :

Matériau	Très absorbant	Absorbant	Moyen	Réfléchissant	Très réfléchissant
$\alpha$	supérieur à 0,4	0,25	0,15	0,10	inférieur à 0,05

## B - Transmission d'une paroi (bruits de choc), isolement brut entre deux locaux

Une paroi qui vibre se comporte comme une source sonore générant un son qui va se propager dans l'espace autour de la paroi.

*Principe de la mesure de l'isolement brut d'une paroi :*



On réalise des bruits à l'aide d'une source de bruit normalisée dans une pièce et on mesure le niveau d'intensité acoustique dans l'autre pièce de l'autre côté de la paroi.

Dans la pièce n°1, la source sonore produit un son de niveau  $L_1$  (niveau d'émission).

Dans la pièce n°2, le sonomètre mesure le niveau sonore  $L_2$  (niveau de réception).

Par définition, **l'isolement brut** de la paroi entre les deux pièces est  $D = L_1 - L_2$

*Remarque :*

La paroi est un solide qui peut vibrer plus ou moins en fonction de la fréquence (Cf. : phénomène de résonance) donc l'isolement d'une paroi ne sera pas le même pour toutes les fréquences. L'idéal serait de tracer une courbe donnant l'isolement en fonction de la fréquence du son pour toutes les fréquences comprises entre 100 Hz et 5000 Hz. En pratique, on trouve les résultats sous plusieurs formes dont :

- Le spectre d'isolement.
- L'isolement global pondéré A :

Voir -I-C "mesure d'un bruit"

**C - Isolement normalisé :**

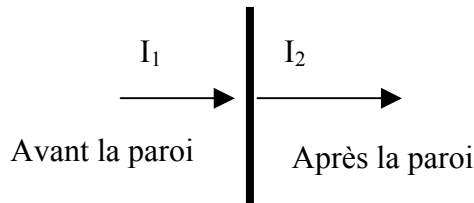
L'isolement brut étant calculé à partir d'une mesure réelle dépend de la réverbération. Pour éliminer ce facteur, on définit une nouvelle valeur, l'isolement normalisé  $D_n$  qui introduit un facteur correctif.

Soit  $T_r$  le temps de réverbération de la pièce.

$T_{r0} = 0,5$  s le temps de réverbération de référence.

$$D_n = L_2 - L_1 + 10 \log(T_r / T_{r0})$$

**D - Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi :**



Facteur de transmission :  $\tau = I_{transmis} / I_{incident} = I_2 / I_1$

Indice d'affaiblissement de la paroi :

$$R = 10 \cdot \log(I_1 / I_2) = 10 \log(1 / \tau)$$

Remarque :

Comme pour toutes les autres mesures :

L'indice R global s'exprime en dB(A) et tient compte de la pondération A.

L'indice R pour une bande de fréquence s'exprime en dB

R dépend de la fréquence du son et de la masse surfacique de la paroi.

Pour une paroi homogène et non encastrée, on peut démontrer la **loi de masse** :

$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{(\omega \sigma)^2}{\rho c}\right) = 20 \cdot \log(\omega \sigma) - 10 \log(\rho c)$$

f : fréquence du son en Hz

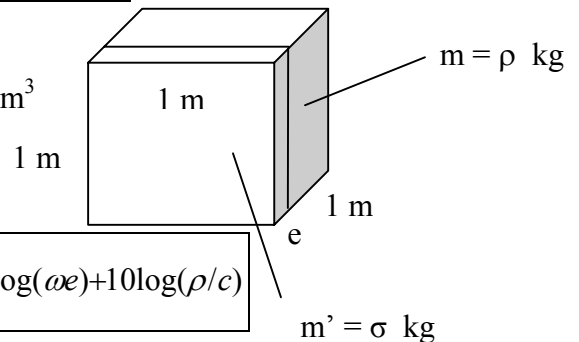
$\sigma$  : Masse surfacique de la paroi en  $kg/m^2$

$\rho$  : Masse volumique du matériau constituant la paroi en  $kg/m^3$

$\omega$  : Pulsation de l'onde sonore en rad/s. ( $\omega = 2\pi f$ )

c : célérité de l'onde sonore

Remarque :  $\sigma = \rho \cdot e$  avec e : épaisseur de la paroi en mètres



$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{(\omega \rho e)^2}{\rho c}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{(\omega e)^2 \rho}{c}\right) = 20 \cdot \log(\omega e) + 10 \log(\rho / c)$$

Exemple :

Pour un mur de briques de 20 cm d'épaisseur pour une fréquence de 500 Hz ;

$c = 4000$  m/s

$\rho = 1000$   $kg/m^3$

$\omega = 2\pi f = 1000\pi$  rad/s       $R = 20 \cdot \log(3141.0,2) + 10 \log(1000/4000) = 50$  dB

➤ Pour un mur de briques de 40 cm d'épaisseur pour une fréquence de 500 Hz ;

$R = 20 \cdot \log(3141.0,4) + 10 \log(1000/4000) = 56$  dB

➤ Pour un mur de briques de 40 cm d'épaisseur pour une fréquence de 1000 Hz ;

$R = 20 \cdot \log(6283.0,4) + 10 \log(1000/4000) = 62$  dB

➤ Pour un mur de briques de 40 cm d'épaisseur pour une fréquence de 250 Hz ;

$R = 20 \cdot \log(1571.0,4) + 10 \log(1000/4000) = 50$  dB

Si on double la fréquence ou l'épaisseur (ce qui revient au même que la masse surfacique), R augmente de 6 dB. Les sons graves traversent mieux les murs que les sons aigus et sont moins affaiblis. Les murs épais et de grande masse surfacique affaiblissent mieux les bruits.

Cependant, la loi de masse est très rarement vérifiée expérimentalement. D'un point de vue pratique, on lui préfère des lois empiriques, plus en adéquation avec la réalité (exception faite des éléments complexes tels portes et fenêtres) :

$$R = 17 \log \sigma + 4 \text{ dB pour } \sigma < 150 \text{ kg/m}^2$$

$$R = 40 \log \sigma - 46 \text{ dB pour } \sigma > 150 \text{ kg/m}^2$$

Le tableau ci-contre montre que ces formules empiriques sont assez bien vérifiées pour des parois simples.

Paroi	$\sigma$ (kg/m <sup>2</sup> )	R(dB) mesuré par rapport à un bruit routier
Béton	385	59
Carreau de plâtre	108	39
Parpaing creux	145	41
Béton (1cm) + laine de roche (5cm) + béton (1cm)	34	49
Vitrage simple (8 mm)	20	31
Vitrage double (4-6-4)	20	31
Vitrage double (8-16-8)	20	35

*Cas des parois doubles :*

Les parois doubles sont constituées de deux parois simples séparées par une lame d'air ou un isolant (généralement élastique). Dans le cas d'une lame d'air, deux parois : simple et double de même masse surfacique, ont des indices d'affaiblissement comparables (voir tableau ci-dessus). En revanche, dans le cas d'un milieu élastique, les indices d'affaiblissement croissent beaucoup plus rapidement que ne l'indique la loi de masse. C'est évidemment cette solution qui est adoptée lorsqu'elle est possible techniquement.

### E- Relation entre l'isolement brut D et l'indice d'affaiblissement R :

D et D<sub>n</sub> sont des mesures faites sur place alors que R est mesuré en laboratoire.

Si on ne tient pas compte que de la transmission de la paroi, l'intensité mesurée est égale à l'intensité transmise et

$$D = L_1 - L_2 = 10 \cdot \log(I_1/I_0) - 10 \cdot \log(I_2/I_0) = 10 \cdot \log((I_1/I_0) \cdot (I_0/I_2)) = 10 \cdot \log(I_1/I_2) = 10 \log(1/\tau) = R$$

Donc si on néglige la réverbération ainsi que les transmissions latérales ; on a :

$$\boxed{D = R}$$

En tenant compte de l'absorption par les parois de la pièce, l'intensité transmise est égale à l'intensité transmise moins l'intensité absorbée. Soit  $\alpha = A/S$  ; coefficient moyen d'absorption des parois de la pièce :

$$\boxed{D = R + 10 \log(A/S)}$$

Avec la réverbération, cela donne :

$$\boxed{D = R + 10 \log(A/S) + 10 \log(T_r/T_{ro})}$$

Enfin, si l'on tient compte des transmissions latérales de la pièce, on obtient l'isolement normalisé :

$$\boxed{D_n = R + 10 \log(A/S) + 10 \log(T_r/T_{ro}) + T_{lat}}$$

*Remarque :*

Compte-tenu de la relation de Sabine :  $T_r = 0,16V/A$  et  $T_{ro} = 0,5s$ , on a :

$$D_n = R + 10 \log(A/S) + 10 \log(T_r/T_{ro}) + T_{lat} = R + T_{lat} + 10 \cdot \log\left(\frac{A \cdot T_r}{S T_{ro}}\right) = R + T_{lat} + 10 \cdot \log\left(\frac{0,16V}{0,5S}\right)$$

$$\boxed{D_n = R + T_{lat} + 10 \cdot \log\left(\frac{0,32V}{S}\right)}$$

## Enveloppe du bâtiment 97 : Etude acoustique (8 points)

La façade d'une habitation doit être isolée thermiquement et phoniquement de l'extérieur. L'analyse spectrale par bande d'octave du bruit émis du dehors fait apparaître 4 fréquences prépondérantes de même niveau acoustique égal à 90 dB.

1. De ces quatre affirmations, quelle est celle qui vous paraît exacte ?

La pondération de type A est une correction destinée à

- refléter la puissance exacte de la source,
- refléter la sensibilité de l'oreille,
- atténuer l'effet du milieu de propagation,
- limiter le niveau d'intensité maximale audible.

2. A l'aide du tableau ci-dessous,

Fréquence	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Niveau	90 dB	90 dB	90 dB	90 dB
Pondération (A)	-3 dB	0	+1 dB	+1 dB

- a. Calculer le niveau pondéré pour chaque fréquence.
- b. Calculer les intensités pour les fréquences considérées. On donne :  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .
- c. Calculer le niveau d'intensité global.

3. On mesure à l'intérieur de l'habitation un niveau global de 60 dB(A) avec un temps de réverbération de 0,20 seconde

- a. Exprimer littéralement l'isolement, brut,  $D_b$ , entre le niveau acoustique extérieur  $L_e$  et entre le niveau acoustique extérieur  $L_i$ .
- b. La relation permettant de déterminer l'isolement normalisé est  $D_n = D_b + 10 \log(T_r/0,5)$

- Que représente le terme T ?
- Calculer  $D_n$ .

## BTS EC 98 : ACOUSTIQUE (8 points)

Les valeurs des différents niveaux de puissance, d'intensité et de pression seront toujours arrondies à l'unité la plus proche. Les données à utiliser sont fournies en fin d'exercice.

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

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  $T_R = 1,5 \text{ s}$ . Ses dimensions sont longueur  $L = 20 \text{ m}$  ; largeur  $l = 10 \text{ m}$  ; hauteur  $h = 3 \text{ m}$ .

- 4.1. Déterminer l'aire équivalente d'absorption  $A_i$  de ce local.
- 4.2. En déduire le coefficient moyen d'absorption  $\alpha_1$ .
- 4.3. Calculer l'aire d'absorption équivalente  $A_S$  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  $\alpha$  de façon à abaisser le niveau de pression à la valeur  $L'_P = 90 \text{ dB}$ . 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 :  $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$  et  $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  (valeurs de référence à 1000 Hz)

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.