

# Optimisation de l'isolation acoustique par l'étude des matériaux

POC Martin



# Mise en contexte



> 105 dB(A) : Risques immédiats/ court terme pour l'audition : surdité, acouphènes...

85-105 dB(A) : Risques à moyen/long terme pour l'audition si exposition chronique : pertes auditives

**Comment optimiser l'isolation  
sonore d'une paroi ?**

—



# Sommaire



- Conditions d'étude et modélisation théorique de l'affaiblissement acoustique
- Expériences de mesure de différents type de parois et détermination de lois concernant R
- Mise en cascade des parois
- Etude des résonateurs
- Conclusion

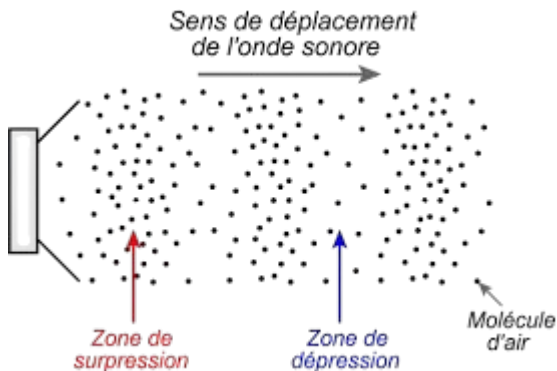


---

# **I. Conditions d'étude et modélisation théorique de l'affaiblissement acoustique**

# Conditions d'étude et modélisation du son

- Fréquences sensibles (100 - 4000 Hz)
- Onde sonore générée par haut parleur :

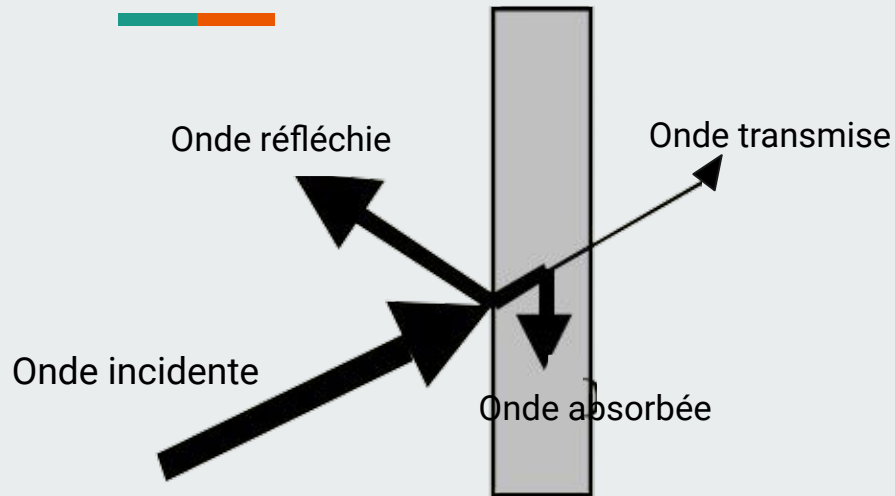


**Pour mesurer l'intensité sonore :**

$$I = \langle p_1 v_1 \rangle$$

$$I_{dB} = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

## Interface entre l'air et la paroi



$$I_i = I_r + I_a + I_t$$

$$\alpha + r + \tau = 1$$

$\alpha$  coeff d'absorption

$r$  coeff de réflexion

$\tau$  coeff de transmission

## Indice d'affaiblissement acoustique R

R = niveau sonore incident -  
niveau sonore transmis

$$R = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right)$$

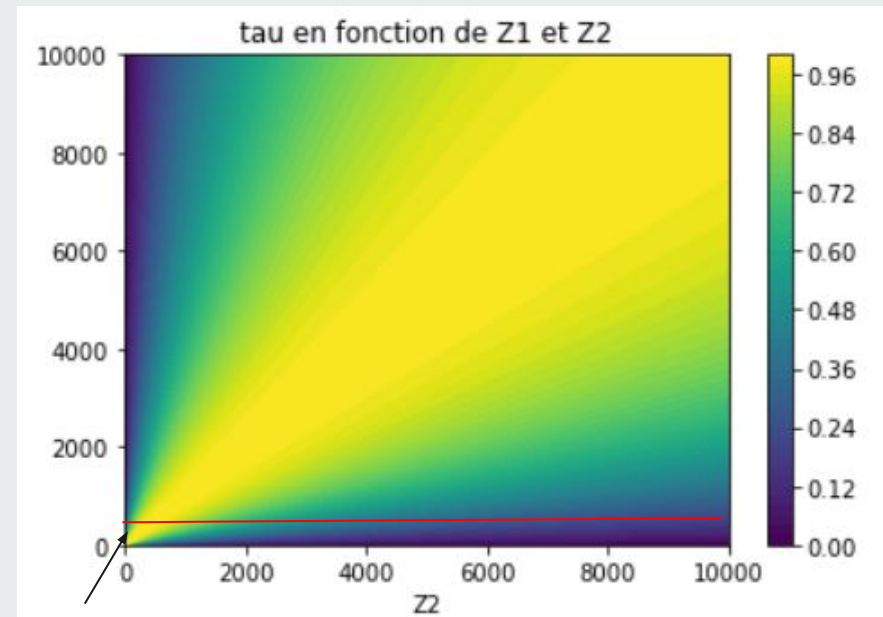
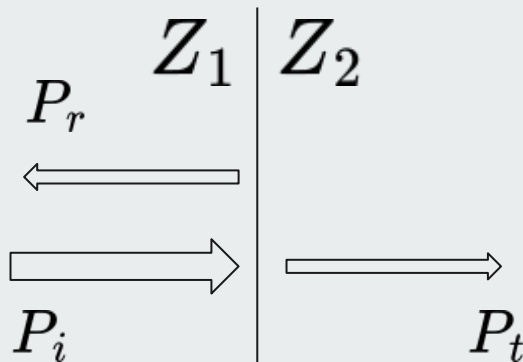
# Impédance acoustique

Homogène à une masse  
surfactive multipliée par une  
fréquence

$$Z = \frac{p}{v} = \rho c$$

$$\tau = \frac{\langle p_t v_t \rangle}{\langle p_i v_i \rangle} = 4 \frac{Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Perte de pression lors du passage  
entre 2 milieux



Impédance de l'air



---

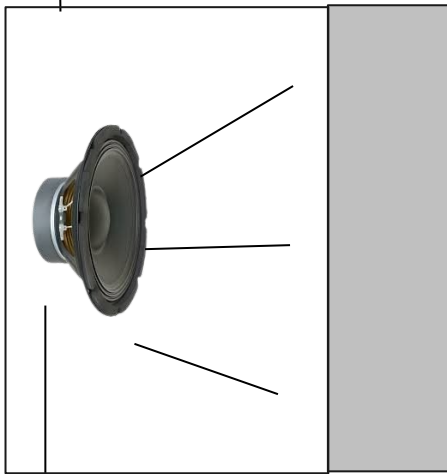
## II. Détermination de lois expérimentales concernant R

# Montage utilisé

Boîte insonorisée



Paroi étudiée

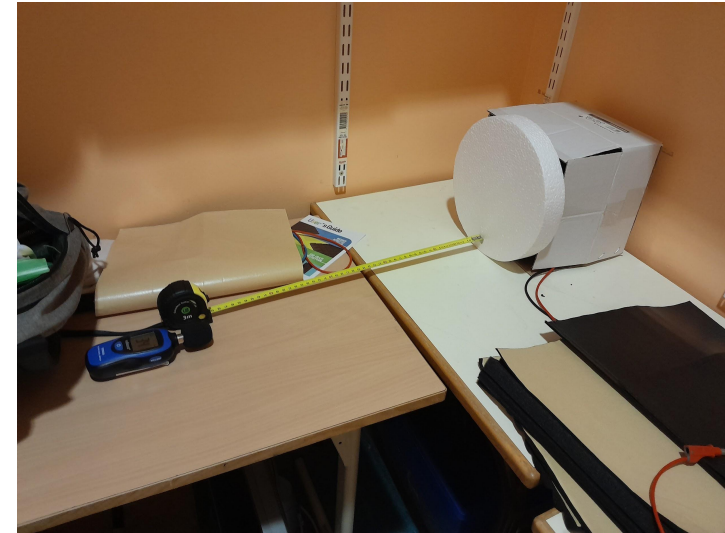
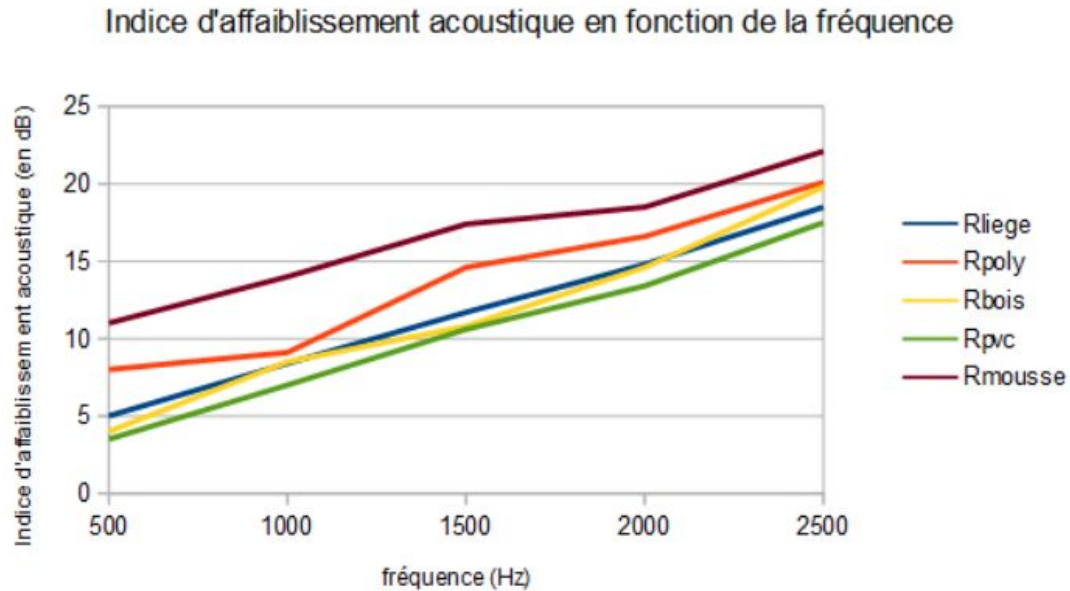


sonomètre

GBF



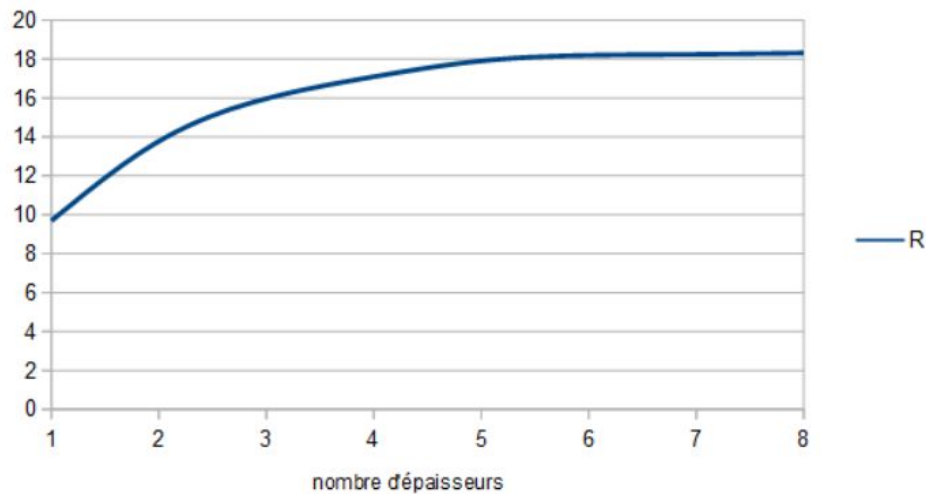
# Mesure sur différents isolants et influence de la fréquence



Expérimentalement, on trouve qu'en moyenne lorsque l'on double la fréquence, l'indice d'affaiblissement R augmente de 4,6 dB.

# Influence de l'épaisseur

Indice d'affaiblissement acoustique en fonction du nombre d'épaisseurs



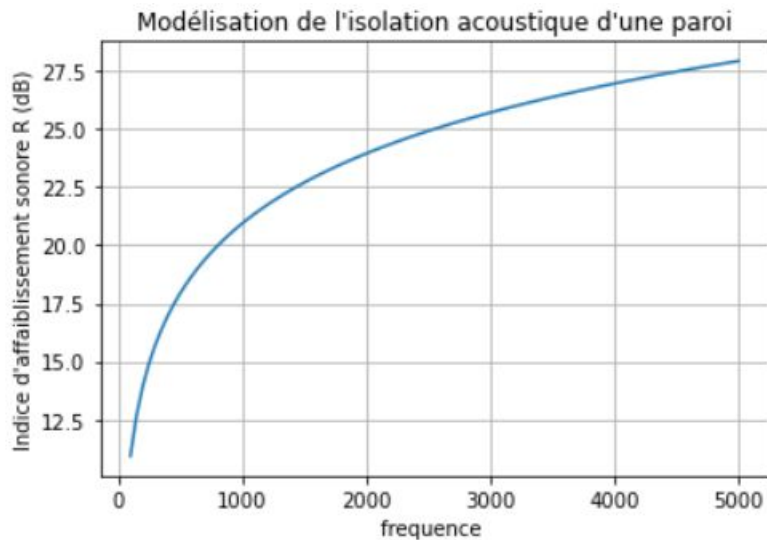
En moyenne lorsqu'on double l'épaisseur de la paroi, on constate une augmentation de  $R$  de 3.7 dB.

$$masse_{surf} = e_{paroi} \cdot densité$$

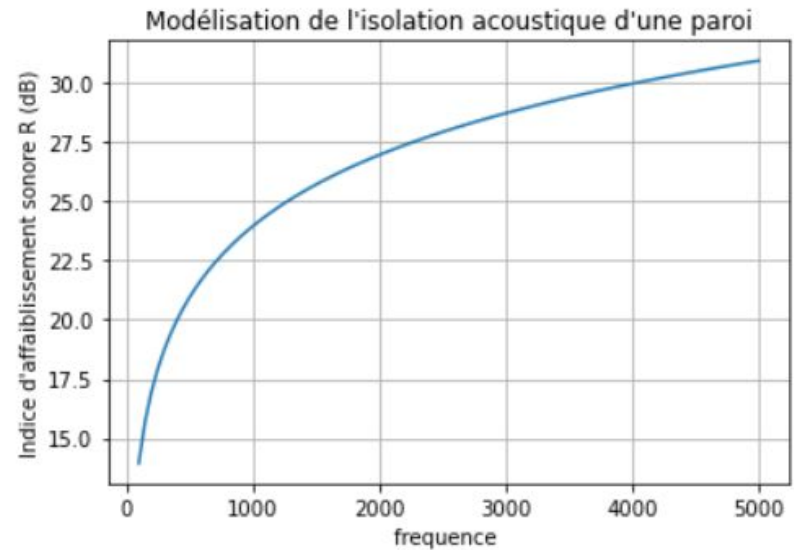


# Modélisation informatique de ces lois

*densité de  $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$*



*densité de  $1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$*

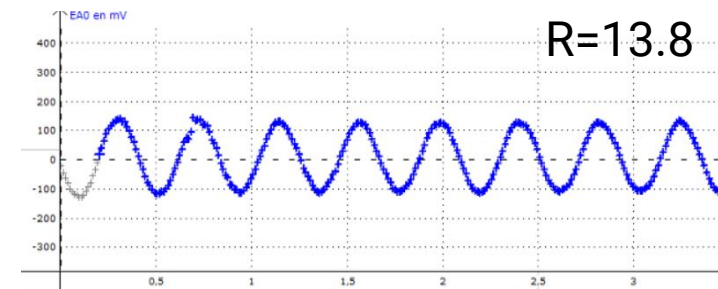
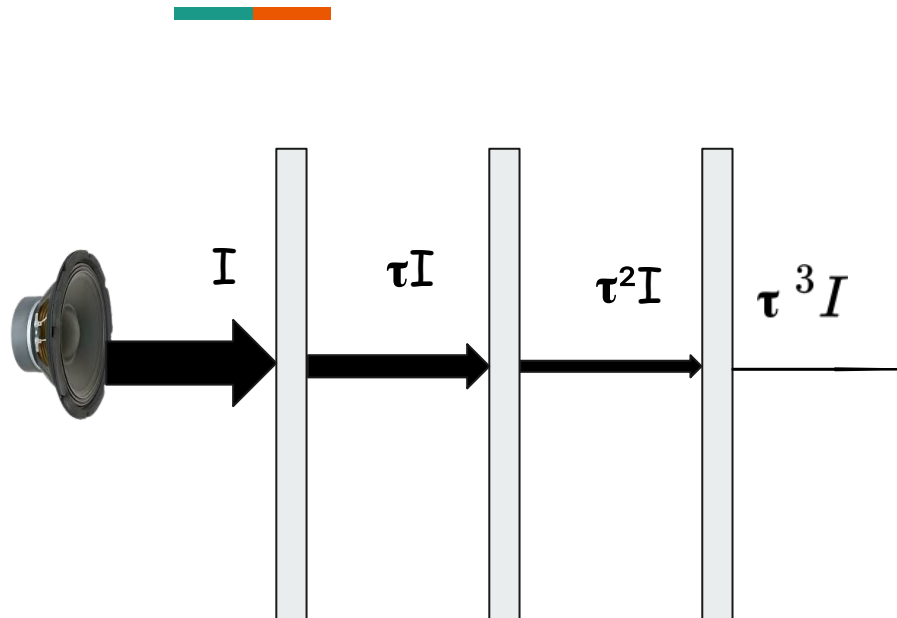




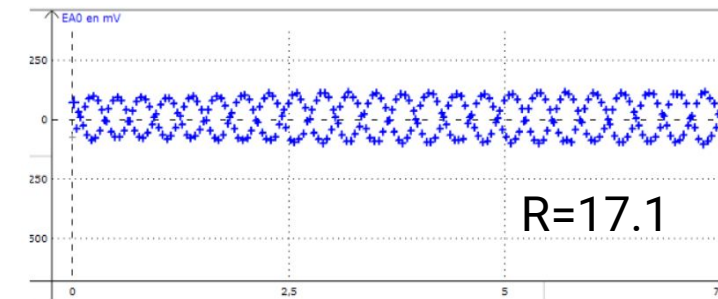
---

## III. Mise en cascade des parois

# Mise en cascade des parois



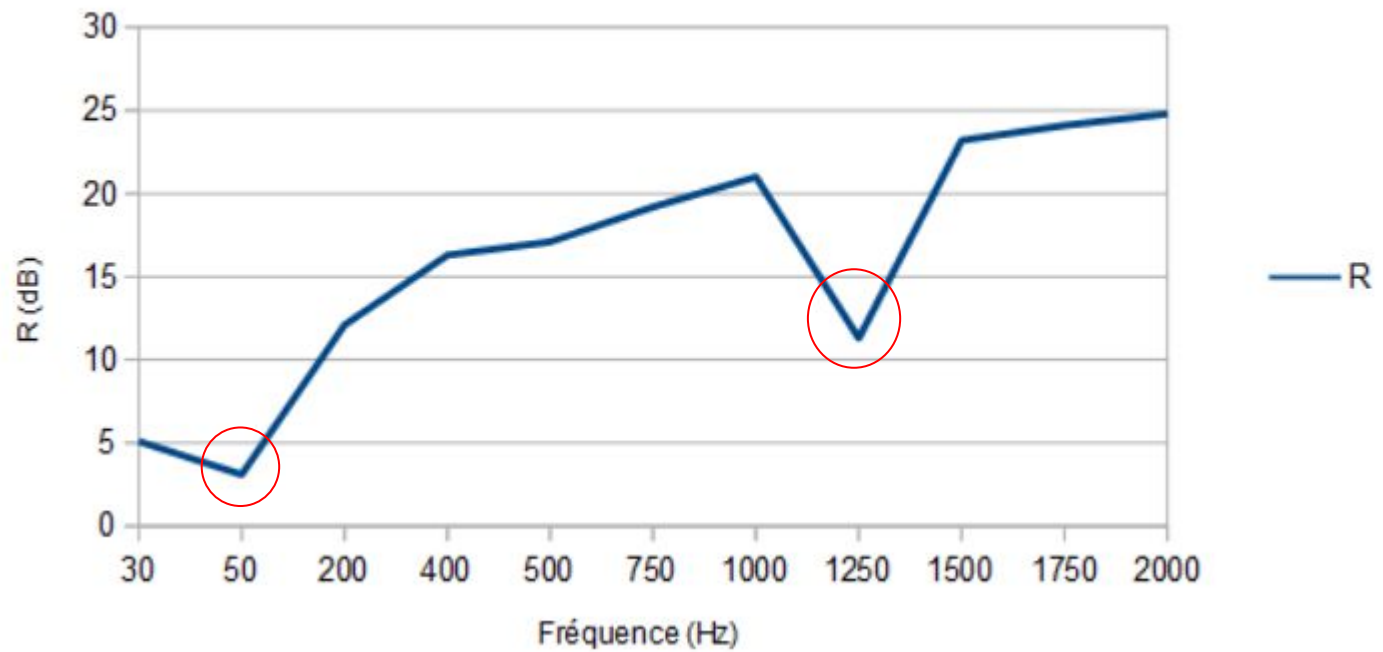
Spectre à 500 Hz pour deux épaisseurs de mousse



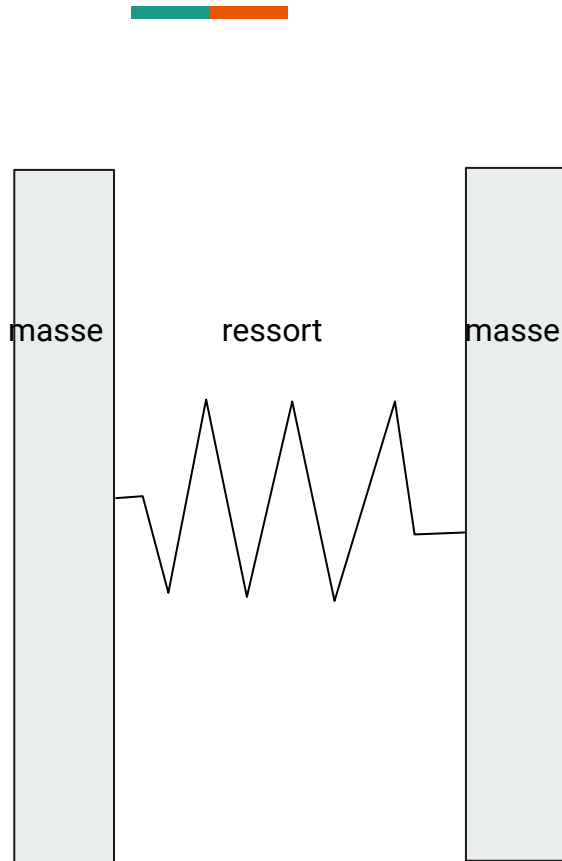
Spectre à 500 Hz pour la paroi double avec la mousse

Les parois en cascade offrent une meilleure acoustique globale, mais elles nécessitent plus d'espace et de matériaux

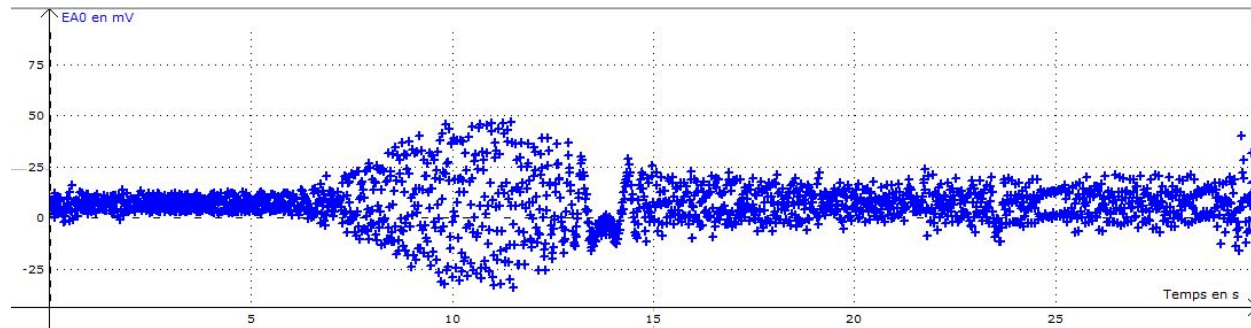
### Indice d'affaiblissement acoustique dans le cas d'une paroi double



# Fréquence de Résonance

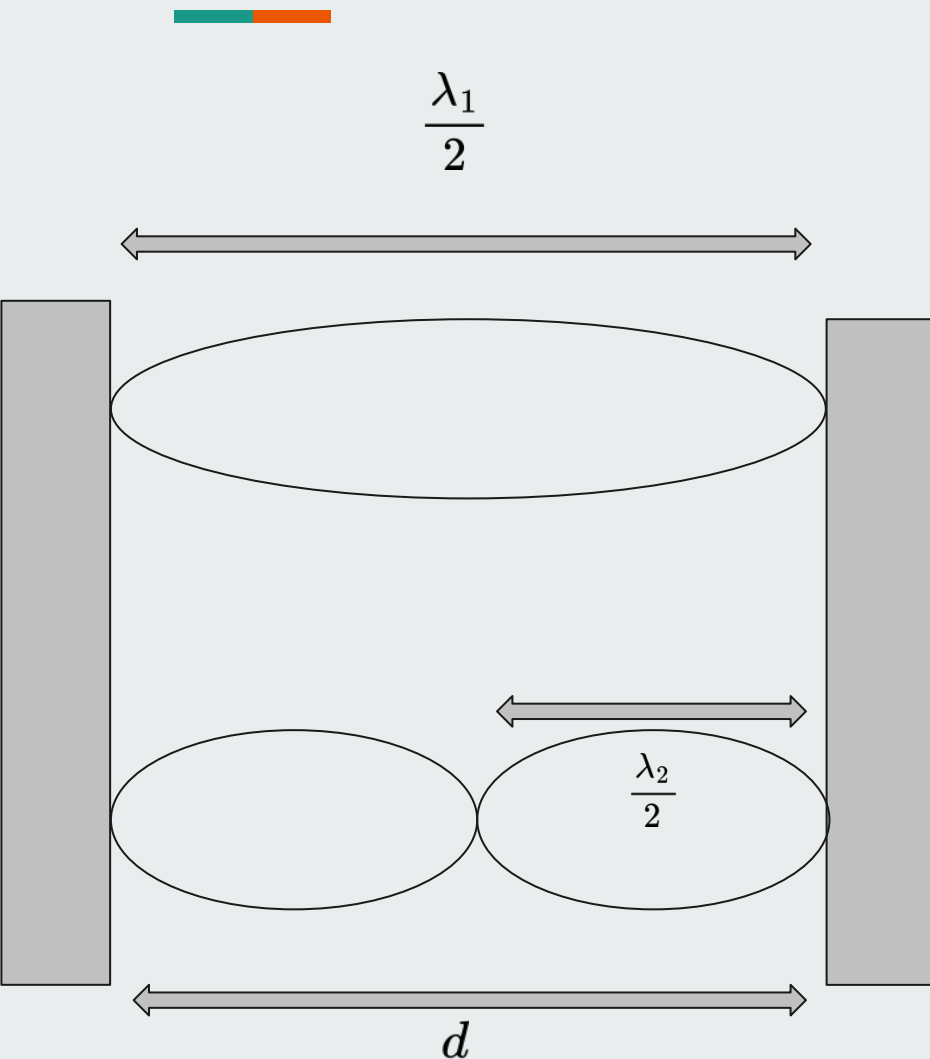


$$f_r = 84 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{2}{m} \right)}$$

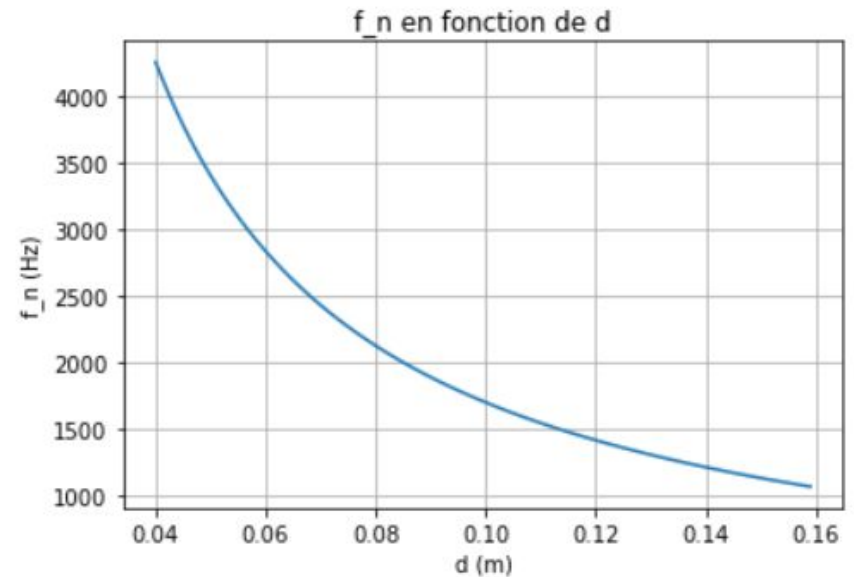


Théoriquement, on trouve une valeur de  $f_r$  estimée à 61.2 Hz  
Expérimentalement on trouve une résonance à 58 Hz.

# Ondes stationnaires créées dans la lame d'air

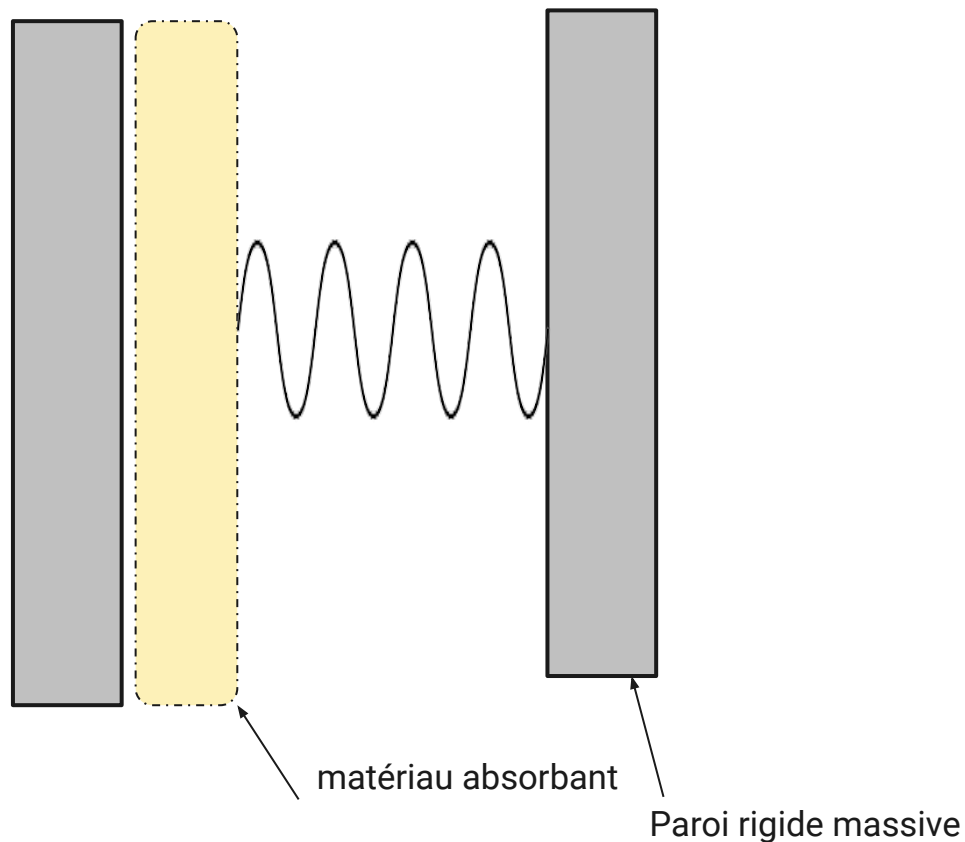


$$\lambda_n = \frac{2d}{n} \text{ donc } f_n = \frac{nc}{2d}$$

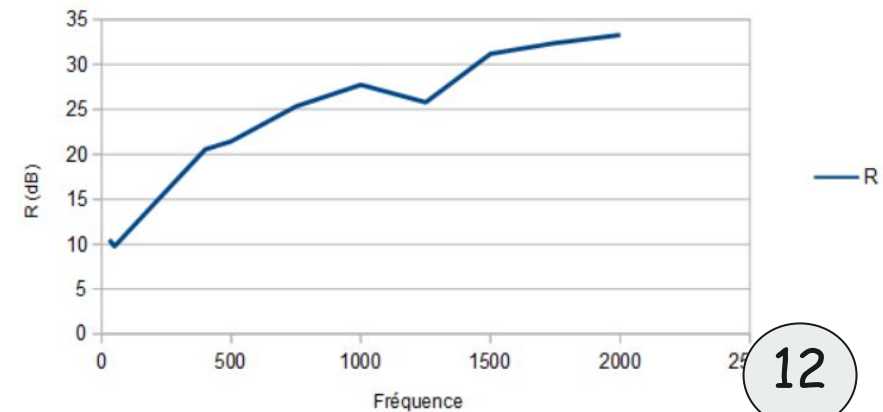




Pour répondre à ces exigences contradictoires, on utilise un matériau absorbant qui permettra d'empêcher les ondes stationnaires de se former



Indice d'affaiblissement acoustique dans le cas du bois doublé de mousse

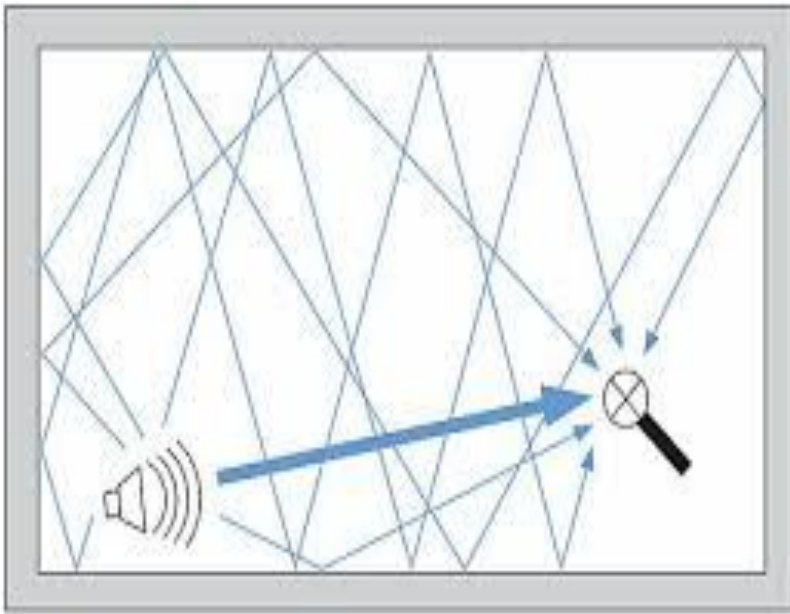


---

## IV. Réverbération et résonance

# Réverbération

Détermination du coefficient d'absorption à l'aide de la réverbération :

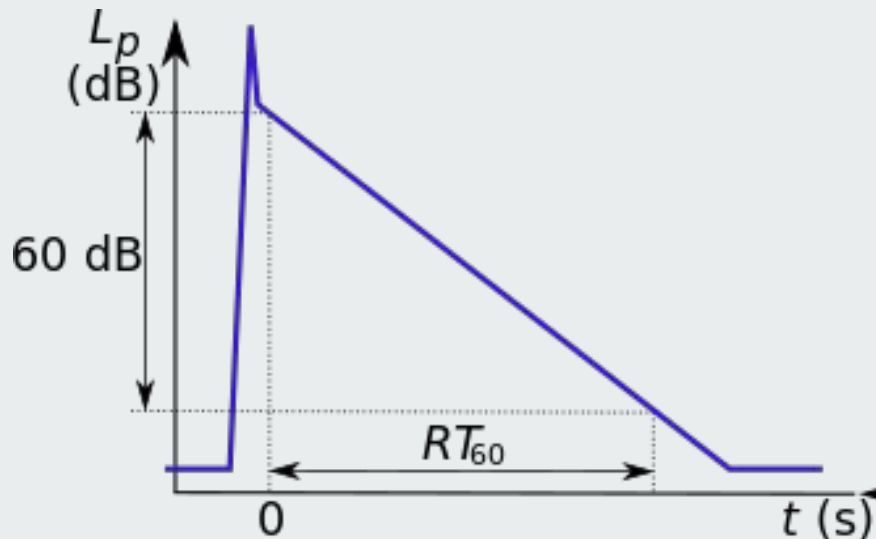


$$T_{60} = 0.161 \cdot \frac{V}{A} \quad \alpha = 0.161 \cdot \frac{V}{T_{60} \cdot S}$$

# Alternatives écologiques

Alternatives écologiques plus efficaces à la  
mousse acoustique

$$\alpha > 0.83 \text{ pour } f > 100 \text{ Hz}$$



Expérimentalement, on trouve un  $\alpha$  proche de 0,10, ce qui paraît fortement incohérent puisque très faible

## Les isolants biosourcés

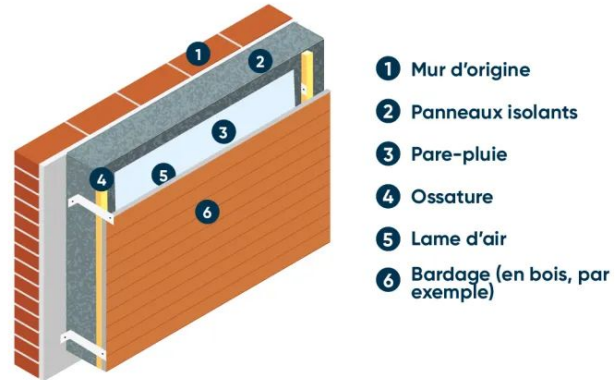
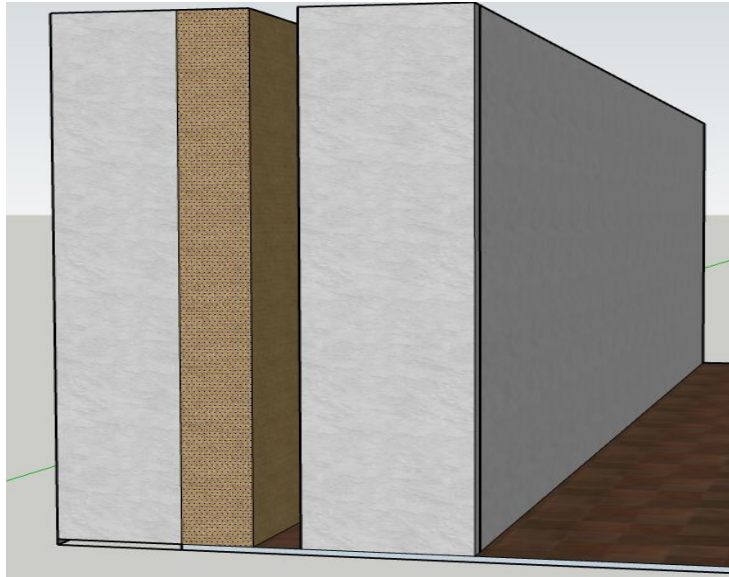
Fibre de bois	Chanvre	Laine de coton	Ouate de cellulose
			
Issue de sciure	Issu du chanvre	A base de vêtements recyclés	Issue de papier recyclé
Confort d'hiver ***	Confort d'hiver ***	Confort d'hiver ***	Confort d'hiver ***
Confort d'été ***	Confort d'été ***	Confort d'été ***	Confort d'été ***
Performance acoustique ***)	Performance acoustique ***)	Performance acoustique ***)	Performance acoustique ***)
Hygrométrie ***	Hygrométrie ***	Hygrométrie ***	Hygrométrie ***

# Résonateurs





# Avantages / Inconvénients et conclusion



- Performance
- Impact écologique



- Coût plus élevé
- Nécessite beaucoup d'espace

# ANNEXE 1

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Paramètres
epaisseur_paroie = 0.2 # m
densite_materiau = 1400
frequence = np.linspace(100, 5000, 100) #gamme de fréquences à modéliser
vitesse_son_air = 343 # m/s
masse_surf=epaisseur_paroie*densite_materiau

#Calcul de R
T=(8*masse_surf*frequence*1.2E-3*(vitesse_son_air)**2)/((masse_surf*frequence+vitesse_son_air*1.2E-3)**2)
R = 10*np.log10(1/T)

# Visualisation
plt.figure()
plt.plot(frequence, R)
plt.xlabel('frequence ')
plt.ylabel('Indice d\'affaiblissement sonore R (dB)')
plt.title('Modélisation de l\'isolation acoustique d\'une paroi')
plt.grid(True)
plt.show()
```

## ANNEXE 2

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

def f_n(n, c, d):
    return (n * c) / (2 * d)
# Valeurs
d_values = np.arange(0.04, 0.16, 0.001)
n = 1
c = 340 # Vitesse du son
f_n_values = f_n(n, c, d_values)

# Création du graphique
plt.plot(d_values, f_n_values)
plt.xlabel("d (m)")
plt.ylabel("f_n (Hz)")
plt.title("f_n en fonction de d".format(n))
plt.grid(True)
plt.show()
```

## ANNEXE 3

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def f(x, y):
    return (4*x*y) / ((x+y)**2)

x = np.linspace(0, 10000, 400)
y = np.linspace(0, 10000, 400)
X, Y = np.meshgrid(x, y)

Z = f(X, Y)

plt.contourf(X, Y, Z, 50)
plt.colorbar()
plt.xlabel('Z1')
plt.xlabel('Z2')
plt.title("tau en fonction de Z1 et Z2")
plt.show()
```