

Matériaux acoustiques : applications usuelles et mesure des performances

J-C LE ROUX

Département Acoustique et Vibrations - CTTM

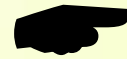
**CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS**

Actualité du CTTM
CTTM news

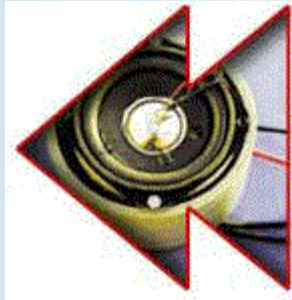
Solutions technologiques
pour vos défis industriels

Technological solutions
for your industrial challenges

www.cttm-lemans.com

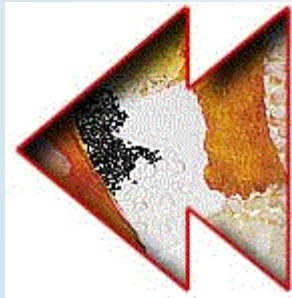


Valoriser la recherche de l'Université du Maine



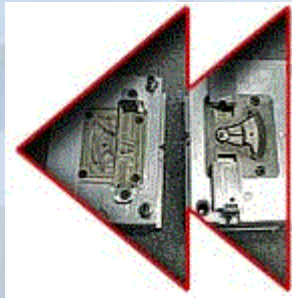
ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

- Electro-acoustique, Mesures acoustiques
- Matériaux acoustiques, Vibro-acoustique



MATERIAUX

- Plus de 25 ans d'expertise dans les polymères
- Analyse, Traitement de surface, Elastomères



PRODUCTIQUE

- Prototypage rapide, Rhéologie, Numérisation
- Digitalisation



CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Plan de l'exposé

I. Introduction - problématique

II. Les matériaux acoustiques

III. Applications usuelles

- Absorption acoustique
- Isolation acoustique

IV. Caractérisation intrinsèque

V. Mesure des performances globales

VI. Conclusion

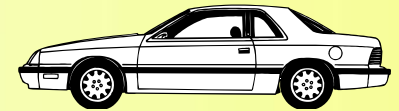




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Introduction

■ Confort acoustique = Argument commercial



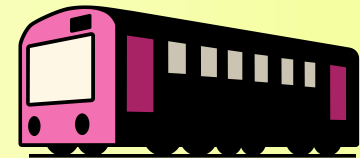
■ Existence de contraintes

- Masse (secteur des transport)
- Encombrement



■ Besoin de maîtriser l'utilisation des matériaux acoustiques pour optimiser les produits

- Simulations des performances
- Compréhension des phénomènes



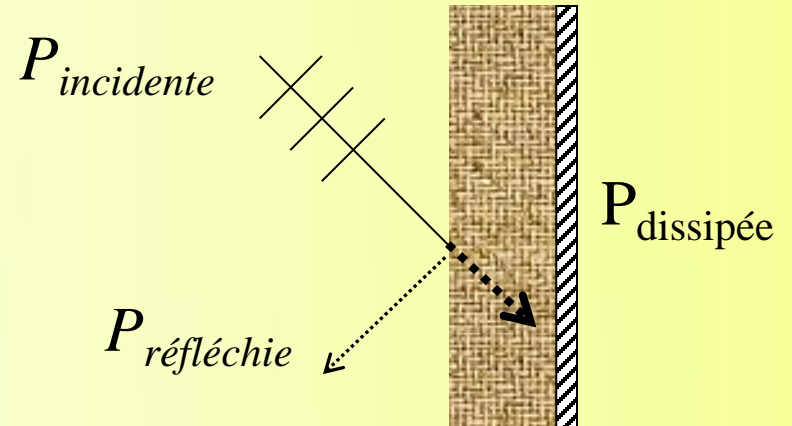


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Problèmes usuels

- Absorption acoustique

$$\alpha = P_{\text{dissipée}} / P_{\text{incidente}}$$

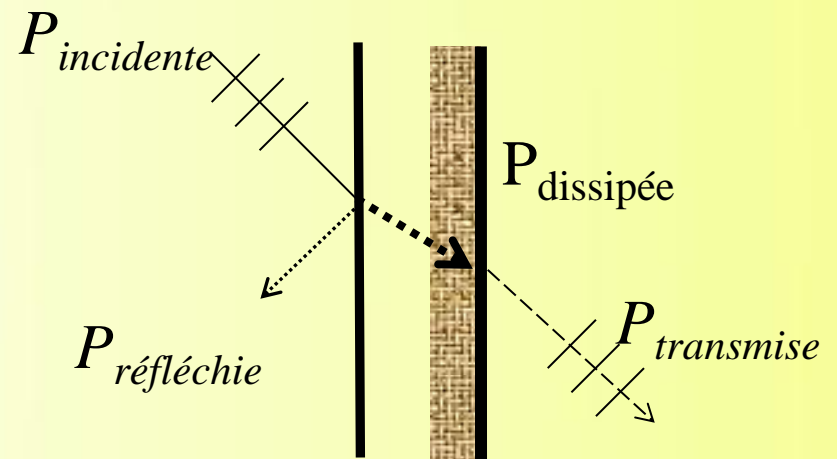


- Isolation acoustique

$$\tau = P_{\text{transmise}} / P_{\text{incidente}}$$

$$R = 10 \log(1 / \tau)$$

(Indice d'affaiblissement)



Plan de l'exposé

- I. Introduction - problématique**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Applications usuelles**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Caractérisation intrinsèque**
- V. Mesure des performances globales**
- VI. Conclusion**

Les matériaux acoustiques

■ Matériau ayant une fonction acoustique :

- poreux (mousses, laines, feutres,..)
- solides
- viscoélastiques

(existe également : résonateurs de Helmholtz, résonateurs quart d'onde, systèmes à membrane, ...)

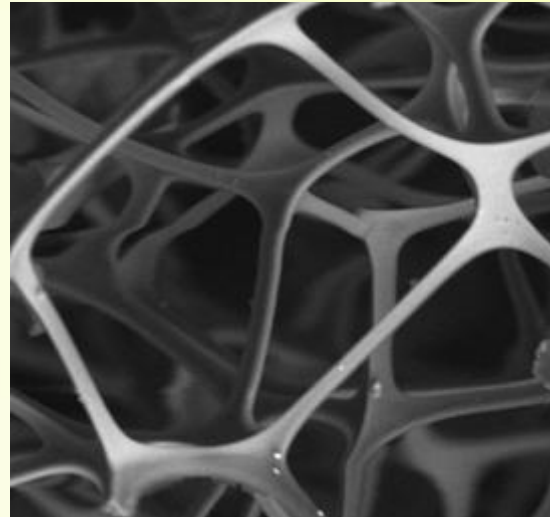
Les matériaux acoustiques

■ Matériaux poreux

- Milieu biphasique

milieu élastique
(squelette)

1 onde de cisaillement
1 onde de compression
Volume : 1 à 10 %



+ milieu fluide
(air)

1 onde de compression

90 à 99 % (= porosité)

⇒ Théorie de Biot adaptée à l'acoustique (Allard, 1993)

Les matériaux acoustiques

- Dissipation dans le matériau : transformation de l'énergie en chaleur
 - ⇒ Frottement visqueux entre l'air et le squelette fonction de :
 - résistivité au passage de l'air (paramètre intrinsèque)
 - mouvement relatif fluide / squelette
 - efficacité maximale si le matériau est placé dans une zone de vitesse acoustique importante
 - ⇒ Viscoélasticité du squelette



CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Les matériaux acoustiques

■ Matériaux viscoélastiques :

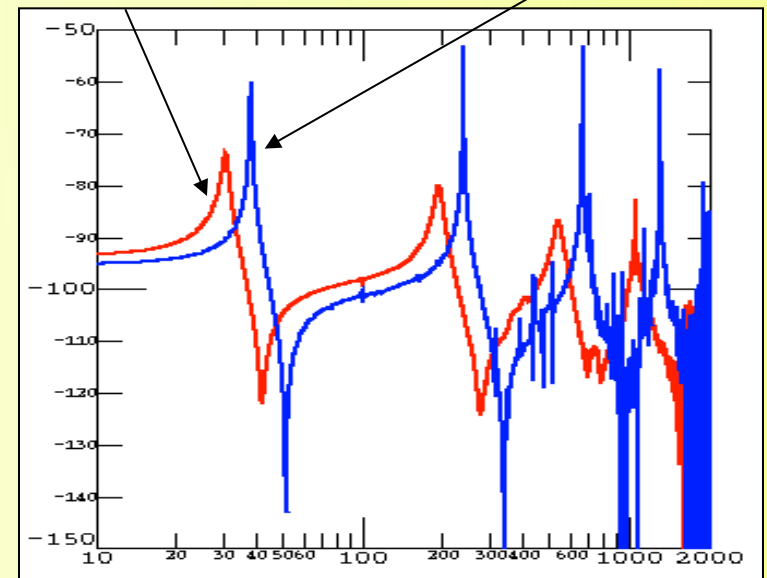
⇒ amortissement des structures (matériau collé sur la structure)

☞ La dissipation dépend de :

-facteur de perte, rigidité du matériau

-solicitation du matériau

Structure + viscoélastique Structure nue



Plan de l'exposé

I. Introduction - problématique

II. Les matériaux acoustiques

III. Applications usuelles

- Absorption acoustique
- Isolation acoustique

IV. Caractérisation intrinsèque

V. Mesure des performances globales

VI. Conclusion



CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

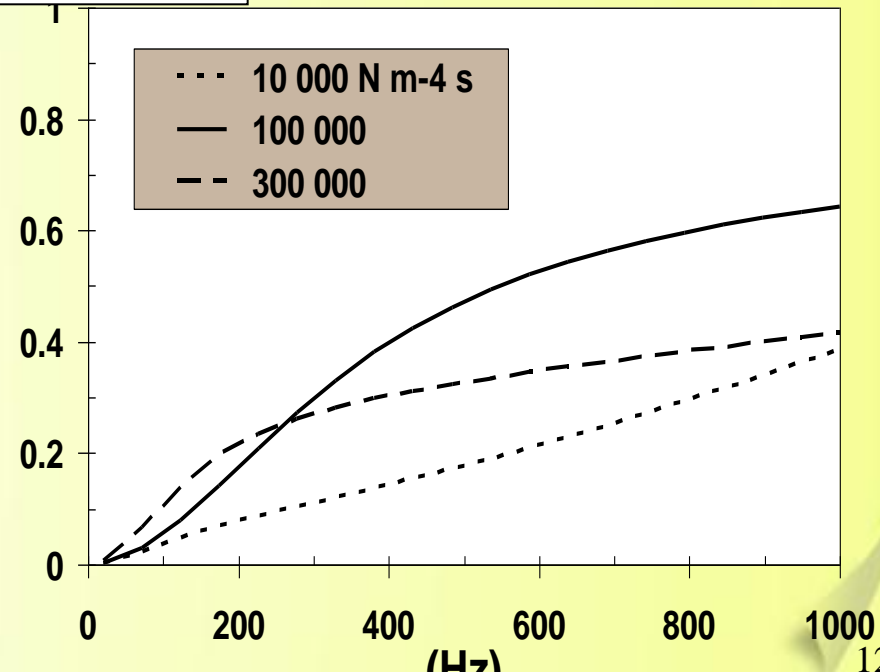
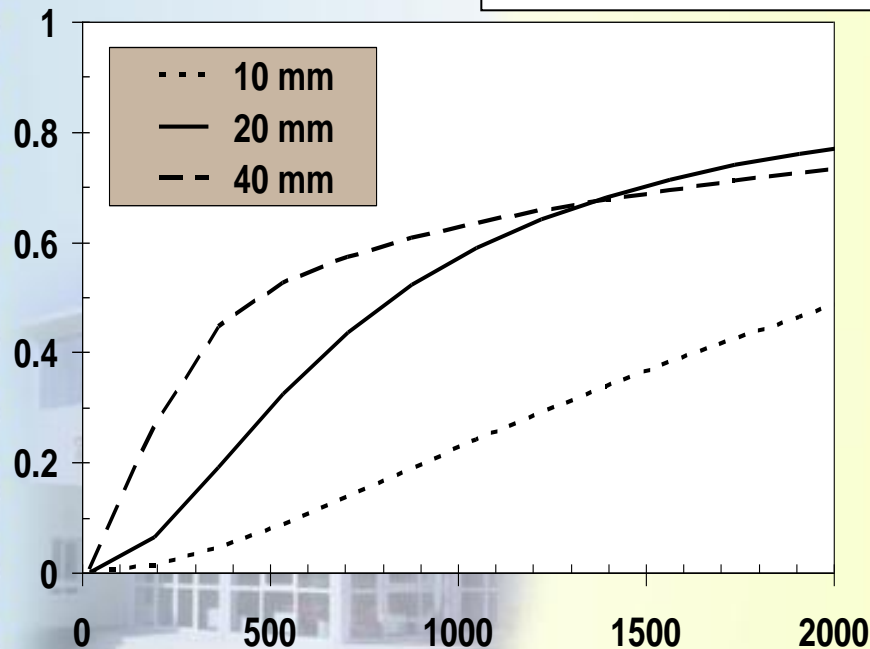
absorption : principes de bases

● Absorbant sur paroi

- ◆ Epaisseur $\geq \sim 1/10$ longueur d'onde
- ◆ Résistance au passage de l'air optimale



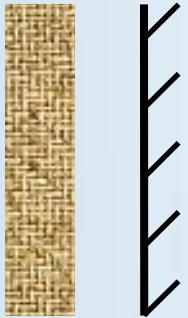
Coefficient d'absorption



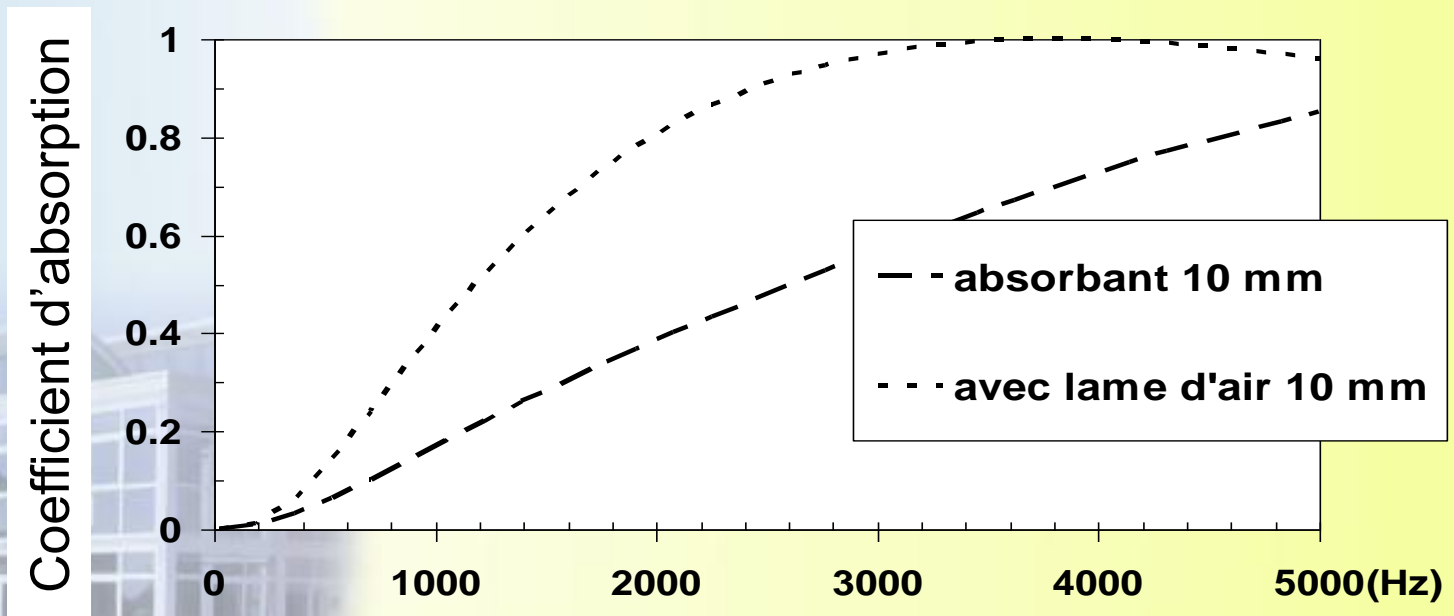


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

absorption : principes de bases



- Absorbant + lame d'air = Gain en BF
- ➔ Matériau est situé dans une zone de plus grande vitesse acoustique



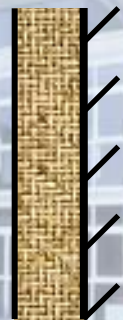
absorption : principes de bases



- Absorbant + film résistif
 - Gain aux basses fréquences (le matériau le plus efficace est placé loin de la paroi)



- Absorbant + écran perforé
 - Résonateur « type Helmholtz » amorti par le poreux



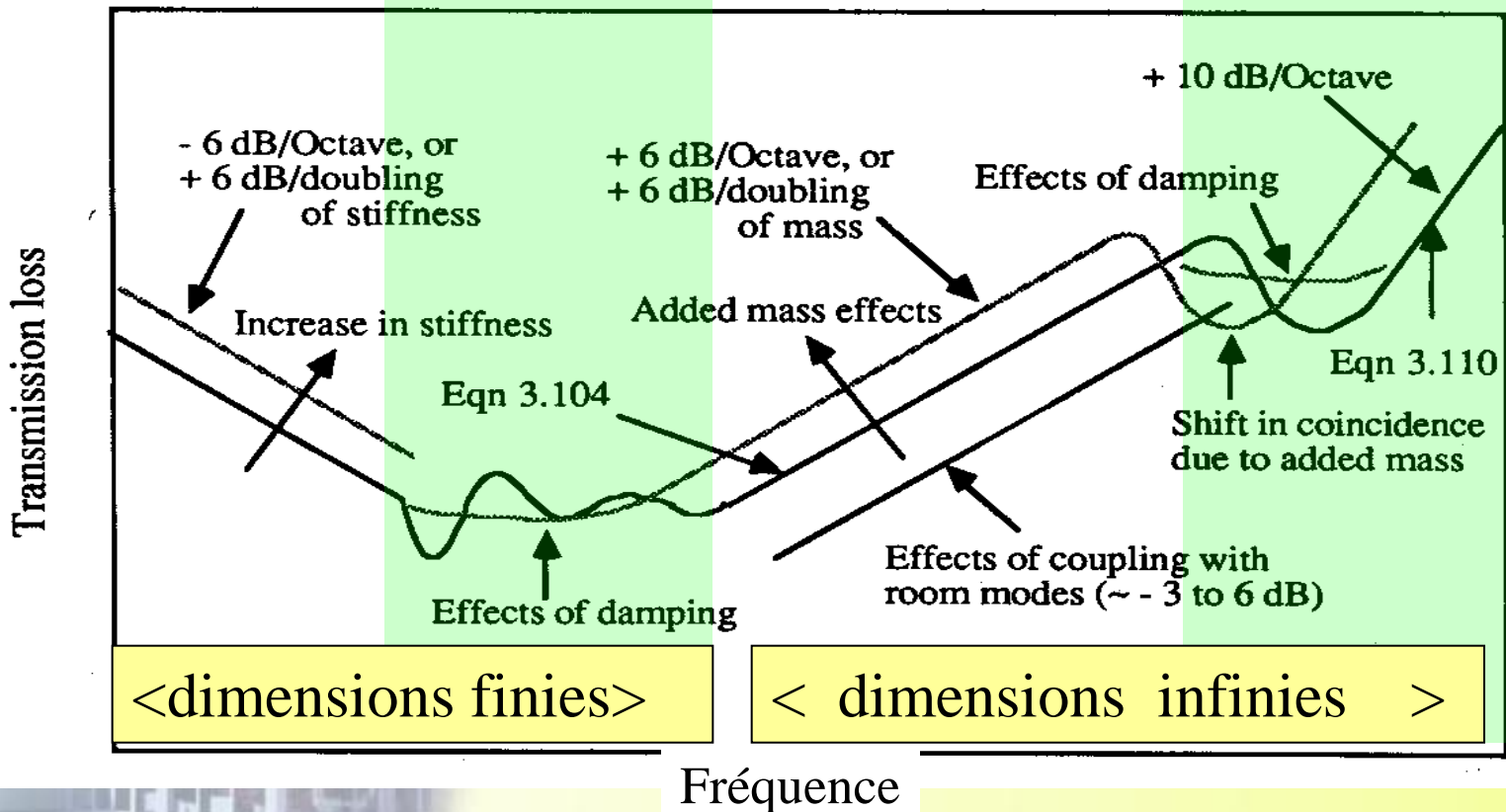
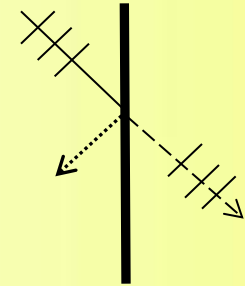
- Absorbant + film étanche (ou solide)
 - Gain localisé : système « masse-ressort » (ressort=matériau)



CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Isolation : principes de bases

■ Indice d'affaiblissement d'une paroi simple





CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Isolation : principes de bases

■ Comportement d'une paroi simple

● Basses fréquences :

rôle important des dimensions

⇒ comportement en raideur

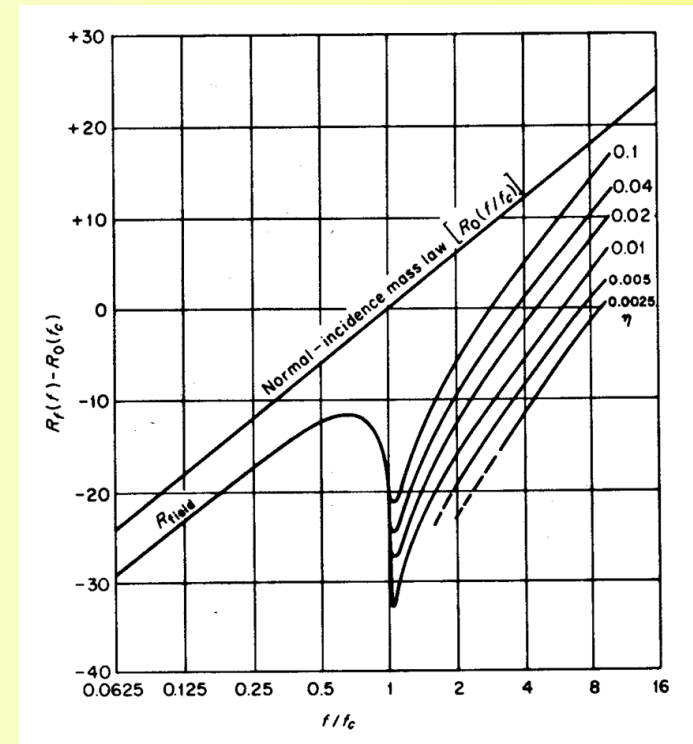
⇒ amortissant efficace aux résonances

● Hautes fréquences :

⇒ comportement en masse

$$R \approx 20 \log \left(\frac{\pi \rho h f}{\rho_0 c_0} \right)$$

⇒ Amortissant efficace à la coïncidence

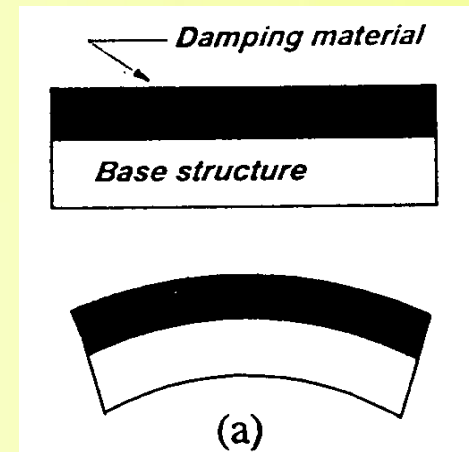


Isolation : principes de bases

■ Amortissement de structure : paroi simple + viscoélastique

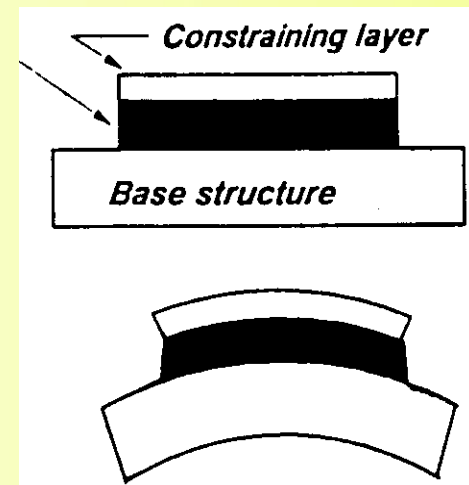
● Viscoélastique seul :

- travail en extension
- épaisseur importante donc ajout de masse : remonte la coïncidence



● Viscoélastique contraint

- travail en cisaillement
- ajout de masse plus réduit

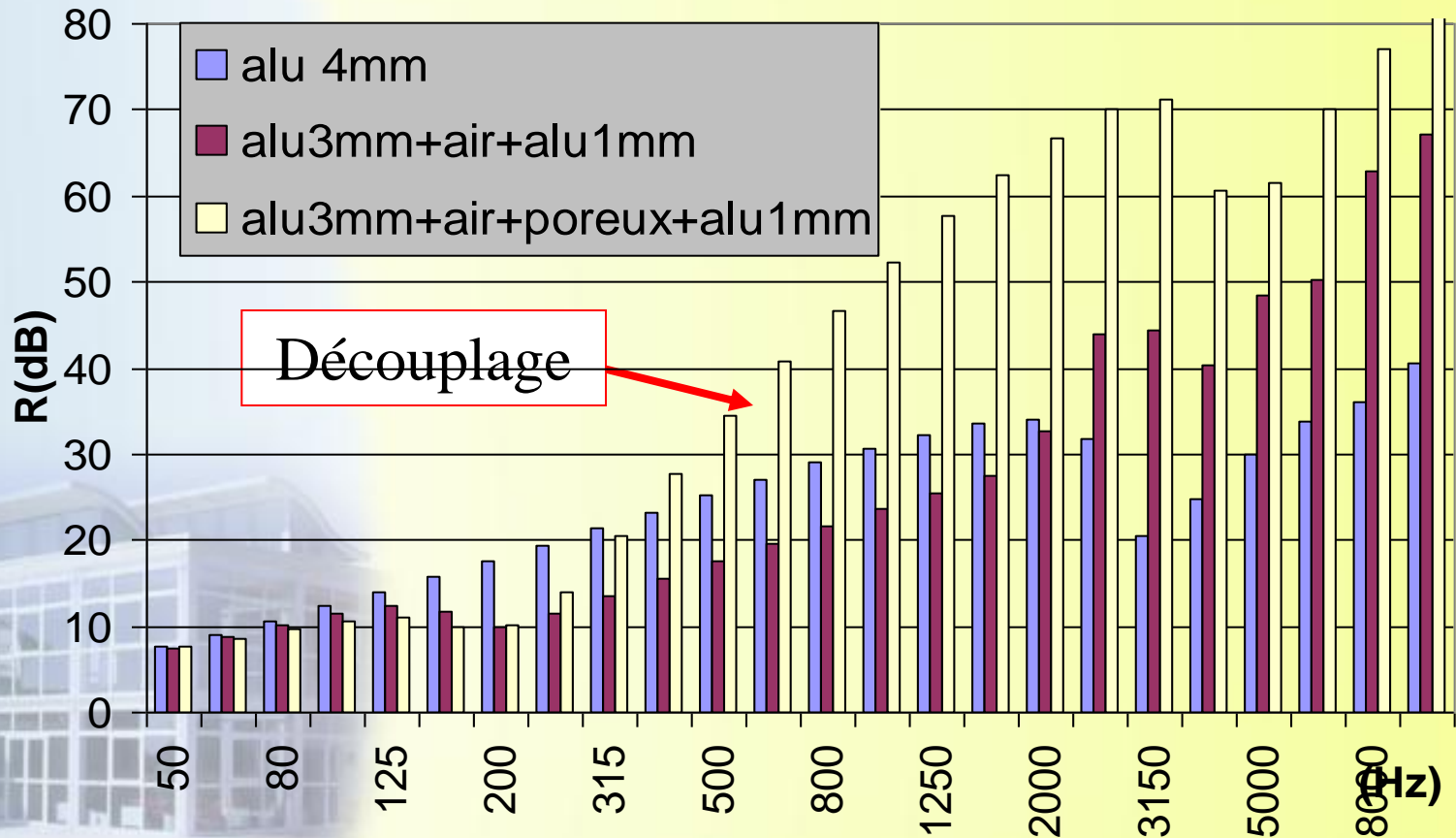
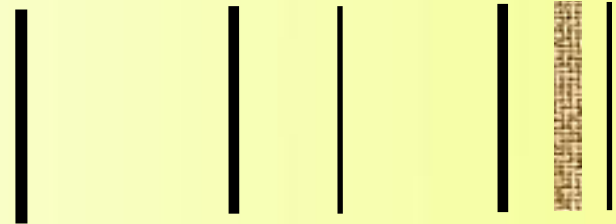




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Isolation : principes de bases

- Paroi simple/paroi double



Plan de l'exposé

- I. Introduction - problématique**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Applications usuelles**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Caractérisation intrinsèque**
- V. Mesure des performances globales**
- VI. Conclusion**

Caractérisation intrinsèque

- But : simuler des performances de systèmes mono/multi couches en utilisant des modèles physiques
- Mesurer des paramètres caractérisant un matériau
 - Poreux : paramètres « acoustiques » et « mécaniques »
 - ◆ résistivité au passage de l'air, porosité, tortuosité, longueurs caractéristiques visqueuse et thermique
 - ◆ densité, module d'Young, facteur de pertes
 - Solides, viscoélastiques : densité, module d'Young, facteur de pertes, coefficient de Poisson

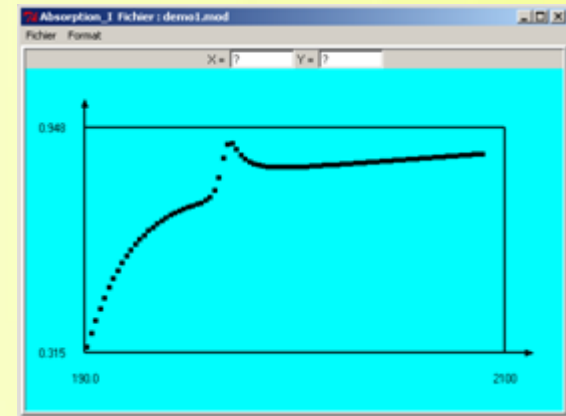
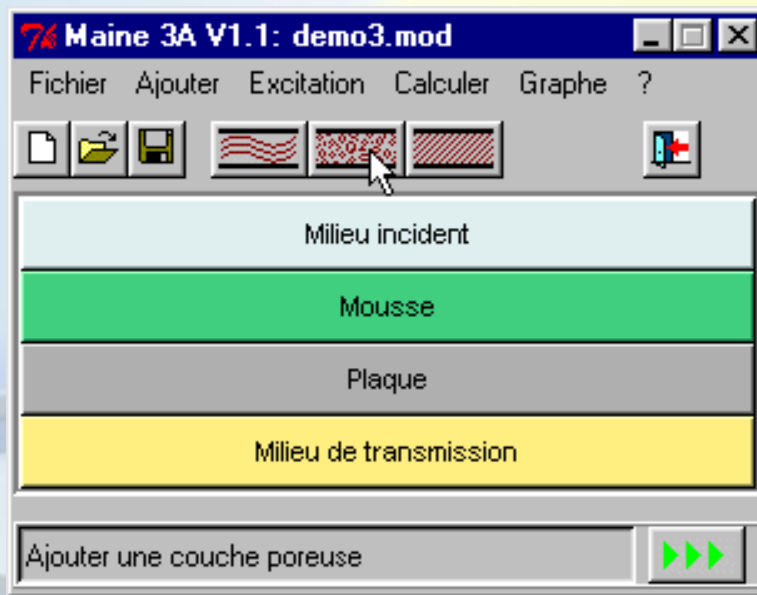


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

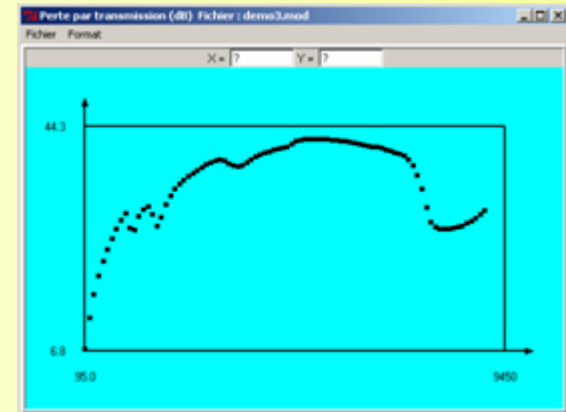
Simulation : Logiciel MAINE 3A

☛ Simulation de multicouche
avec matériau absorbant
(dimensions latérales infinies)

- Coefficient d'absorption

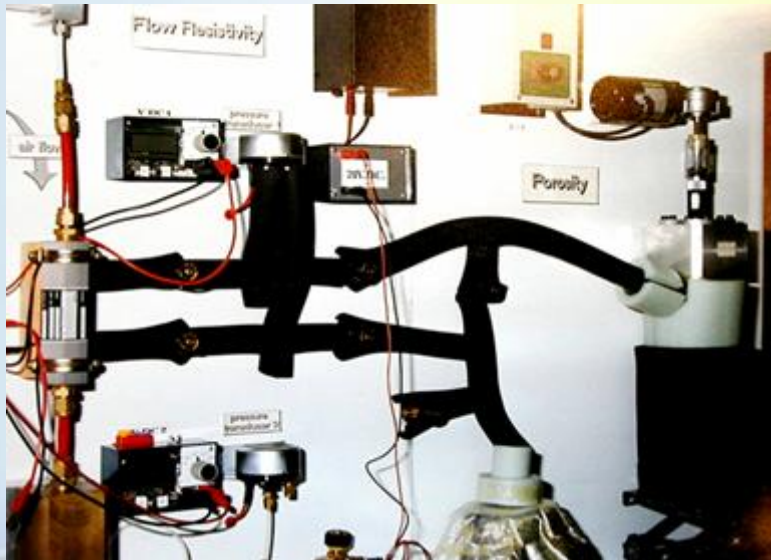


- Indice d'affaiblissement

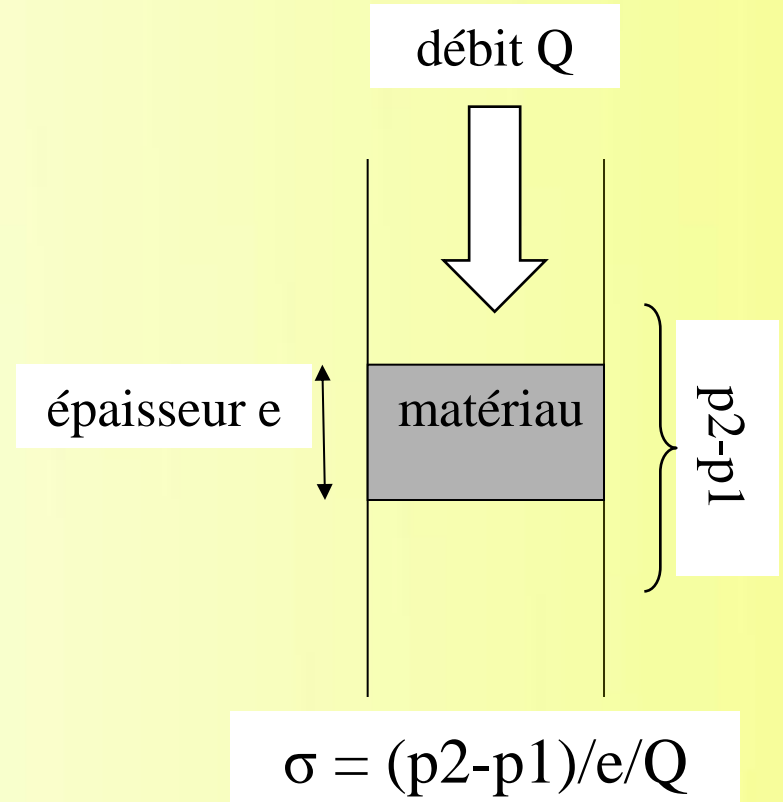


Mesure des paramètres physiques

- Résistance au passage de l'air



banc de mesures



Mesure par comparaison avec échantillon référence

Mesure des paramètres physiques

- Porosité

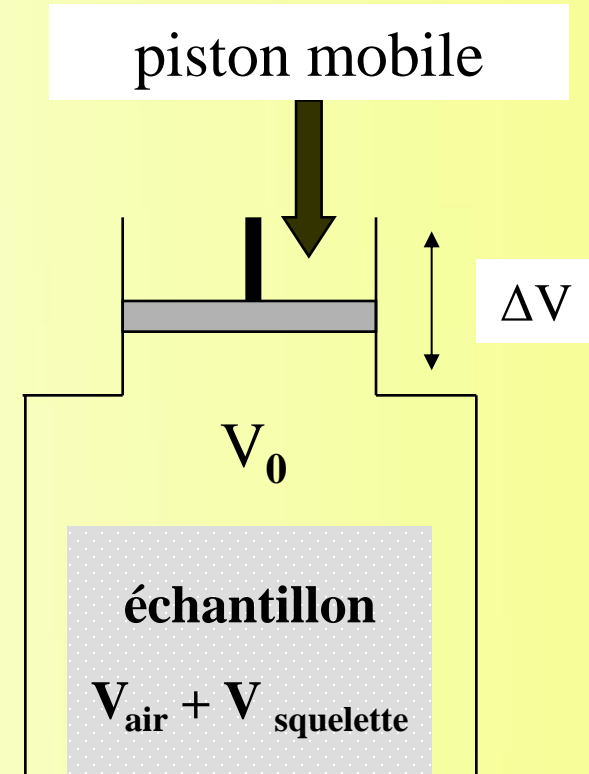
$$\Phi = V_{\text{air}} / V_{\text{échantillon}}$$

$$(V_{\text{échantillon}} = V_{\text{air}} + V_{\text{squelette}})$$

Mouvement du piston $\Rightarrow \Delta V$

$$P_o(V_o + V_{\text{air}}) = (P_o + \Delta P)(V_o + V_{\text{air}} + \Delta V)$$

ΔP , ΔV et V_o étant connus, on en déduit V_{air}

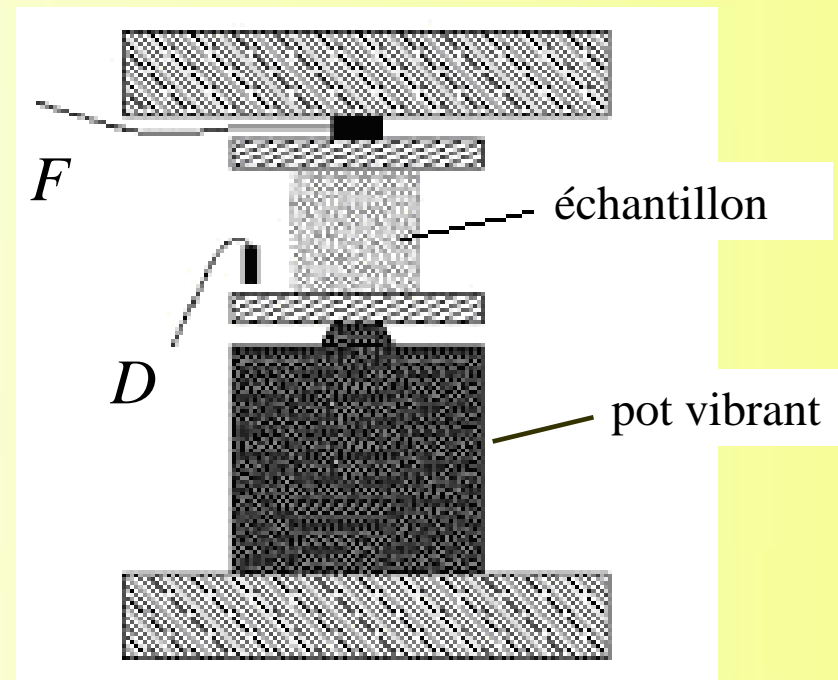


Mesure des paramètres physiques

- Module d'Young et Facteur d'amortissement

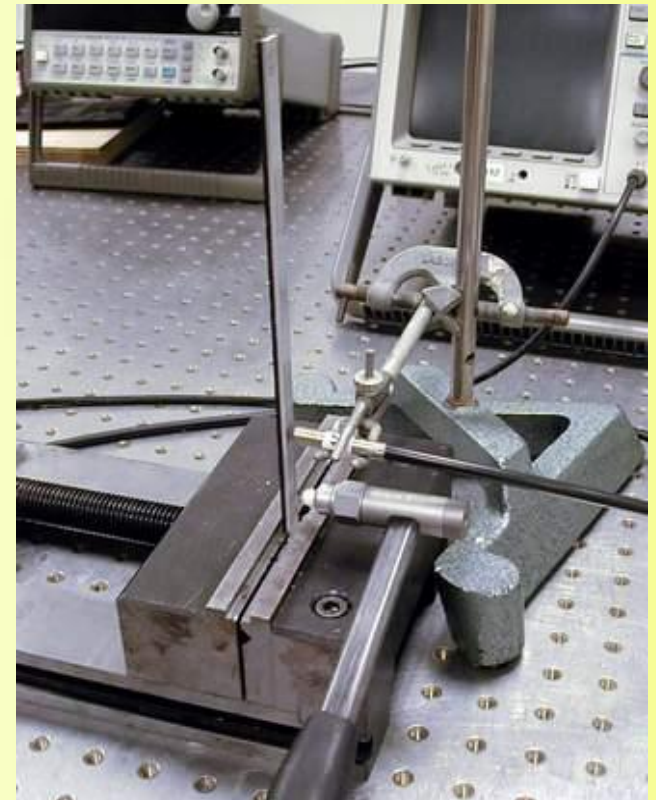
Relevé de la force F et du déplacement D

mesure quasistatique de 1 à 100 Hz



Mesure des paramètres physiques

- Caractérisation des viscoélastiques : module d'Young, facteur de perte
 - ✓ Méthode de mesure Oberst (ASTM E756-98)
 - ✓ Déformation réelle
 - ✓ Analyse modale d'une poutre avec/sans viscoélastique
 - ✓ mesure aux résonances
 - ✓ fréquences : 50 Hz à 3 kHz



Plan de l'exposé

- I. Introduction - problématique**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Applications usuelles**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Caractérisation intrinsèque**
- V. Mesure des performances globales**
- VI. Conclusion**

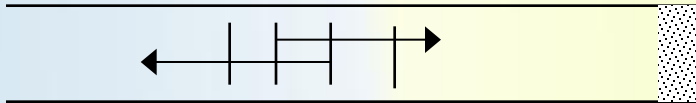


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

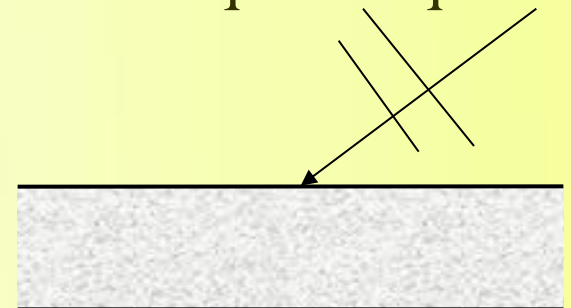
Mesure d'absorption

- Absorption acoustique en onde plane

« tube de Kundt »
incidence normale



Méthode « holographique »
incidence quelconque



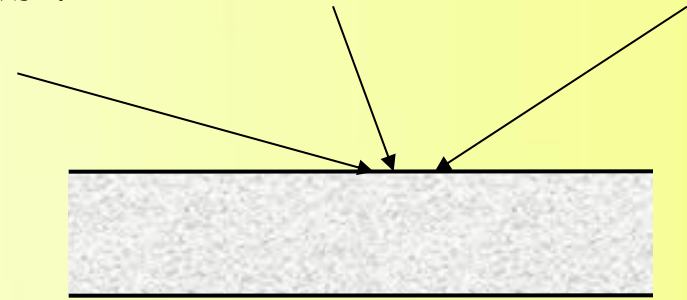


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'absorption

- Absorption acoustique en champ diffus :
coefficient alpha sabine

✓ Mesure du temps de réverbération en
salle réverbérante, avec (Tr_2) et sans (Tr_1)
échantillon



$$\alpha_s = 0.16 V_{\text{salle}}/S_{\text{éch}} (1/Tr_2 - 1/Tr_1)$$



CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'absorption

Salle réverbérante

- applications bâtiment
- grands échantillons (15m²)
- 100Hz – 5kHz



Cabine alpha

- applications automobiles
- petits échantillons (1m²)
- 400Hz – 10kHz

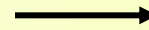




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'isolation

Salles réverbérantes couplées
(performances globales)



Salle réverbérante +
salle semi-anéchoïque
(méthode intensimétrique)





CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Conclusion

- Existence de modèles et de moyens de prédiction validés permettant l'optimisation de solutions
- Nécessité de la caractérisation des matériaux (caractérisation plus ou moins complète selon le problème posé)

