

Matériaux acoustiques et confort acoustique

J-C LE ROUX

jcleroux@cttm-lemans.com

Département Acoustique et Vibrations - CTTM

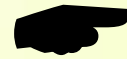
**CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS**

Actualité du CTTM
CTTM news

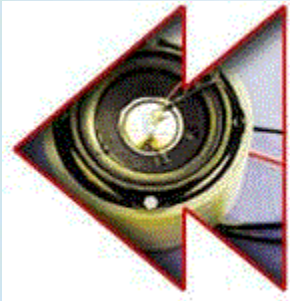
Solutions technologiques
pour vos défis industriels

Technological solutions
for your industrial challenges

www.cttm-lemans.com

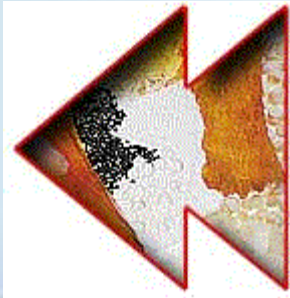


Valoriser la recherche de l'Université du Maine



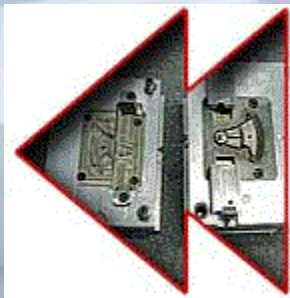
ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

- 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

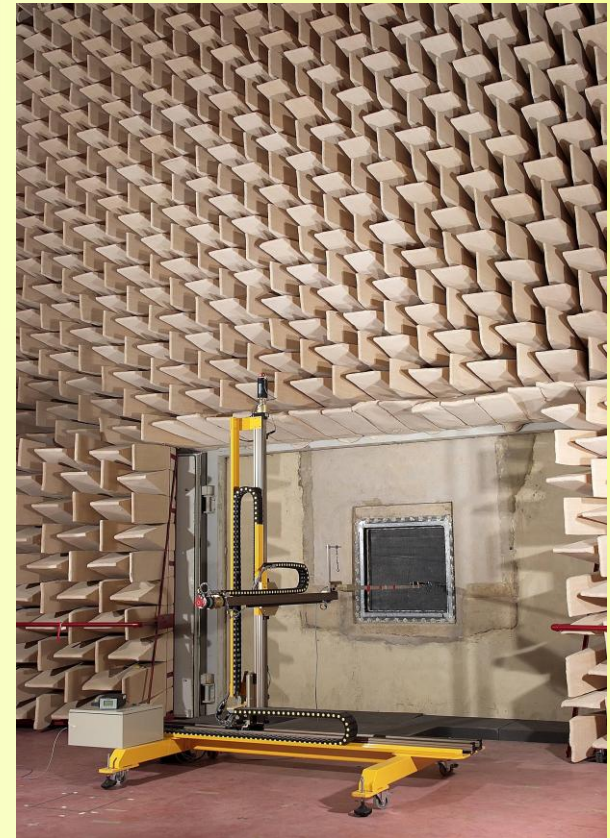
ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

■ Des moyens d'essais performants

- Salle semi-anéchoïque de 1000m³
- Salle réverbérante couplée à la salle semi-anéchoïque
- Cabine Alpha
- Banc de caractérisation de matériaux

■ Des moyens de simulations

- MAINE3A



Plan de l'exposé

- I. Introduction**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Absorption/isolation : principes de base**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Prédiction des performances**
- V. Mesure des performances**
- VI. Conclusion**



Introduction

- Confort acoustique = Argument commercial
- Existence de contraintes
 - Masse (secteur des transport)
 - Encombrement
- Besoin de maîtriser l'utilisation des matériaux acoustiques pour optimiser la conception des produits
 - Simulations des performances
 - Compréhension des phénomènes

- Absorption acoustique

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

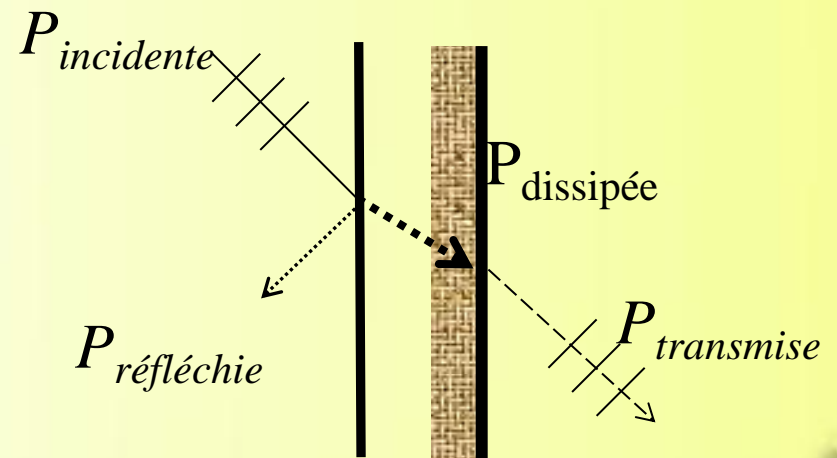
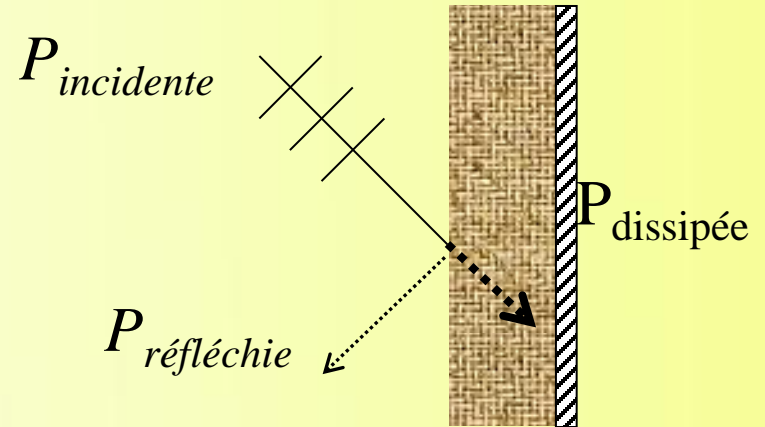
- Isolation acoustique

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

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

(Indice d'affaiblissement)

Introduction



Plan de l'exposé

- I. Introduction**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Absorption/isolation : principes de base**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Prédiction des performances**
- V. Mesure des performances**
- VI. Conclusion**





CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Les matériaux acoustiques

- Matériau ayant une fonction acoustique : poreux (mousses, laines, feutres,..), solides, viscoélastiques
- Viscoélastiques : amortissement des structures

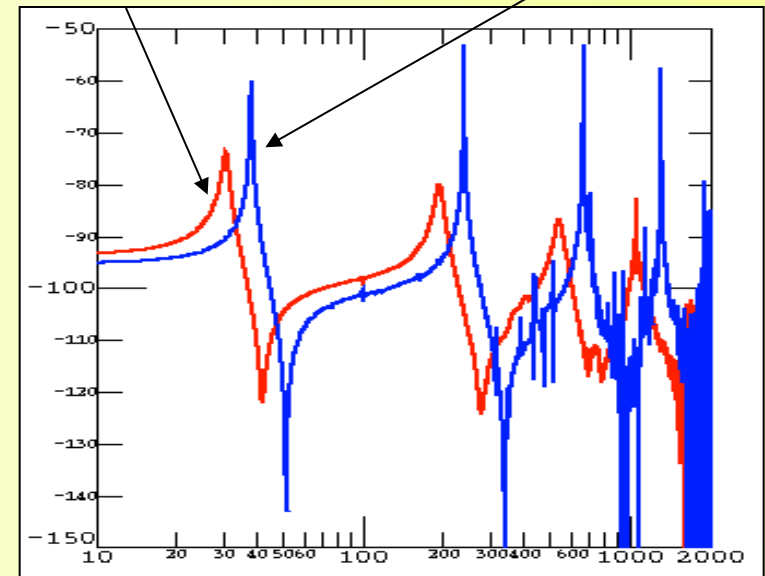
☞ Phénomène de dissipation :
transformation de l'énergie de
déformation en chaleur

☞ Dépend

- facteur de perte, rigidité
- solicitation du matériau

Structure + viscoélastique

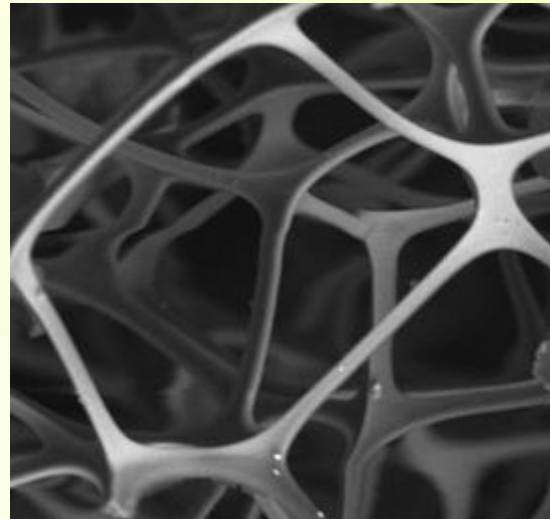
Structure nue



Les matériaux acoustiques

- Matériaux poreux
 - Milieu biphasique

milieu élastique
(squelette)



+ milieu fluide
(air)

1 onde de cisaillement
1 onde de compression

1 onde de compression

Volume : 1 à 10 %

90 à 99 % (= porosité)

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

Les matériaux acoustiques

- Dissipation dans le matériau

⇒ Frottement visqueux entre l'air et le squelette

fonction de : - résistivité au passage de l'air

- mouvement relatif fluide / squelette

Dissipation maximale si le matériau est placé dans une zone de vitesse acoustique importante

⇒ Viscoélasticité du squelette



Plan de l'exposé

- I. Introduction**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Absorption/isolation : principes de base**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Prédiction des performances**
- V. Mesure des performances**
- VI. Conclusion**



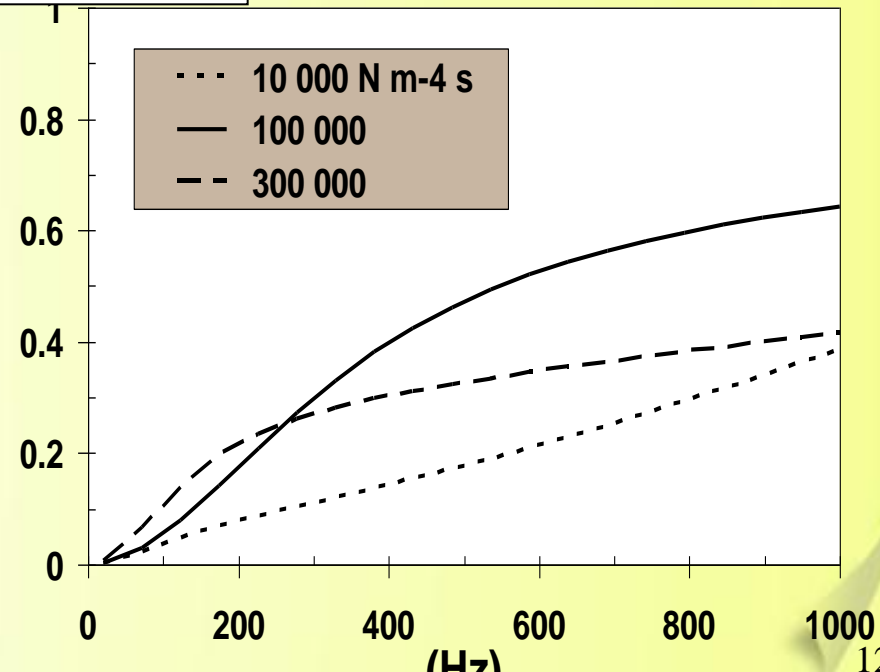
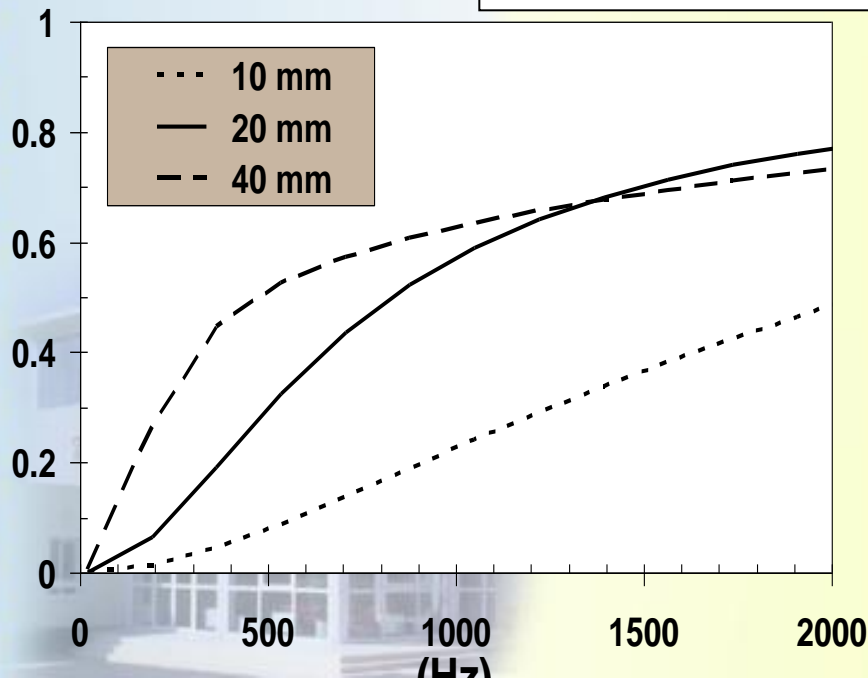
absorption : principes de bases

● Absorbant sur paroi

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



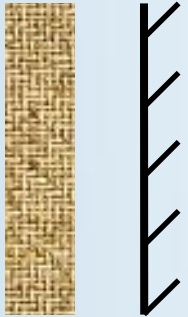
Coefficient d'absorption



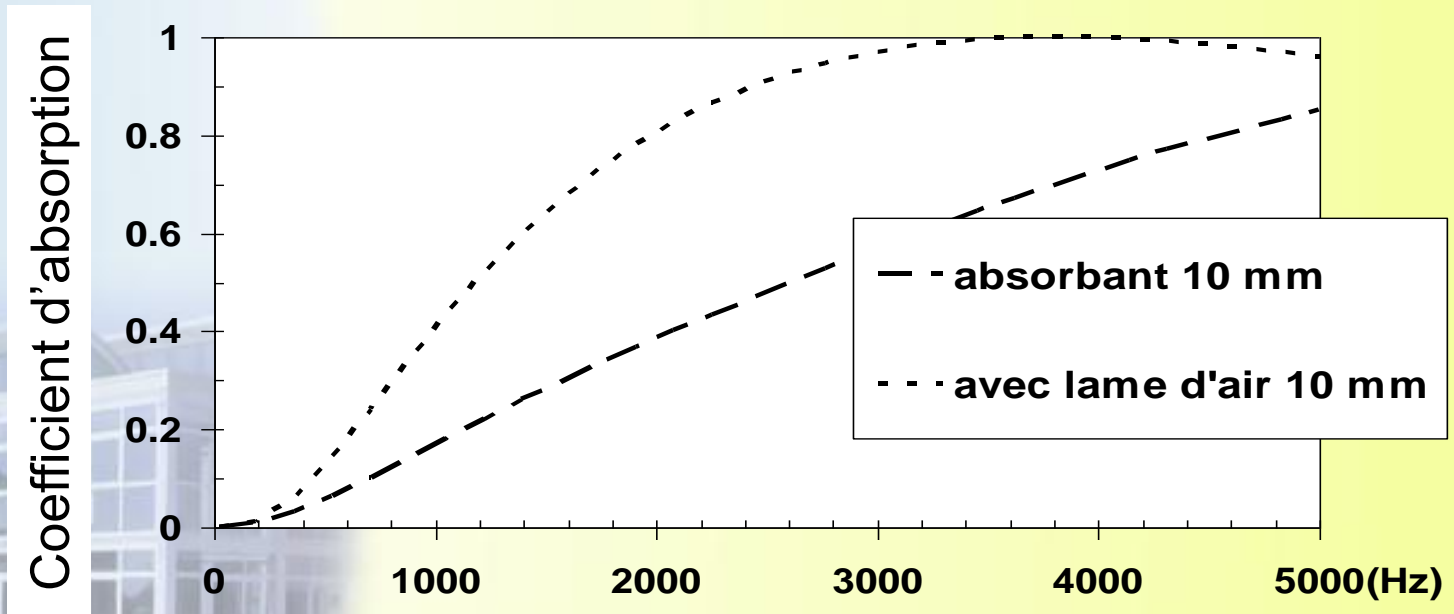


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

absorption : principes de bases



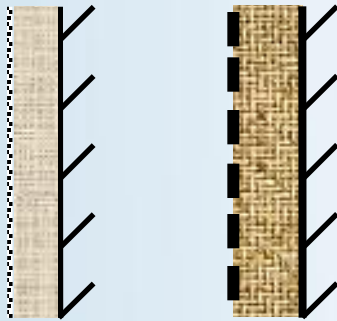
- Absorbant + lame d'air = Gain en BF
- ➔ Matériau est situé dans une zone de plus grande vitesse acoustique



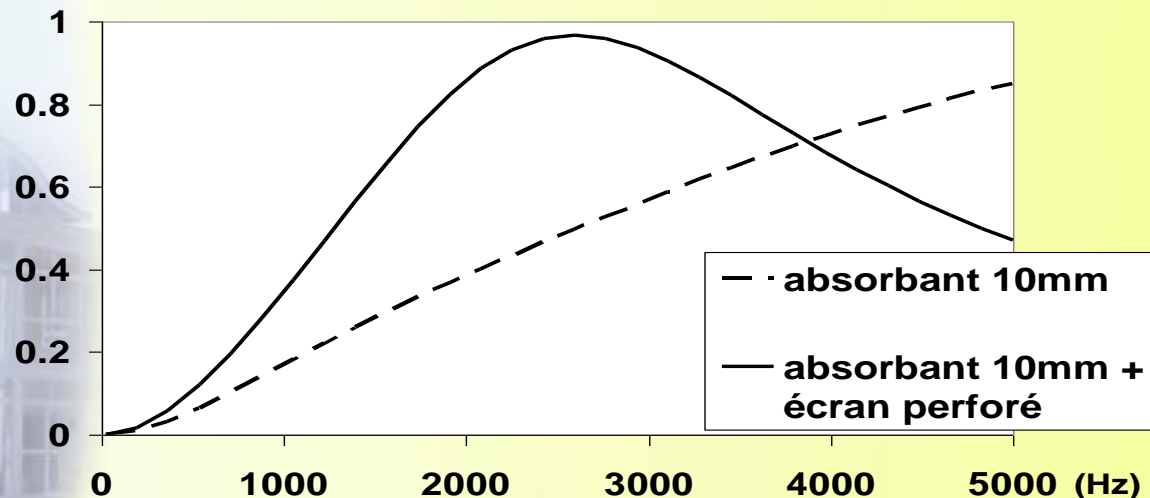


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

absorption : principes de bases



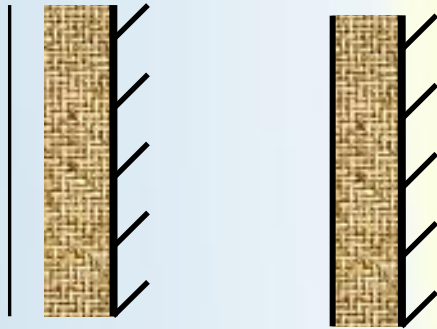
- Absorbant + film résistif
 - Gain aux basses fréquences (le matériau le plus efficace est placé loin de la paroi)
- Absorbant + écran perforé
 - Résonateur « type Helmholtz » amorti par le poreux



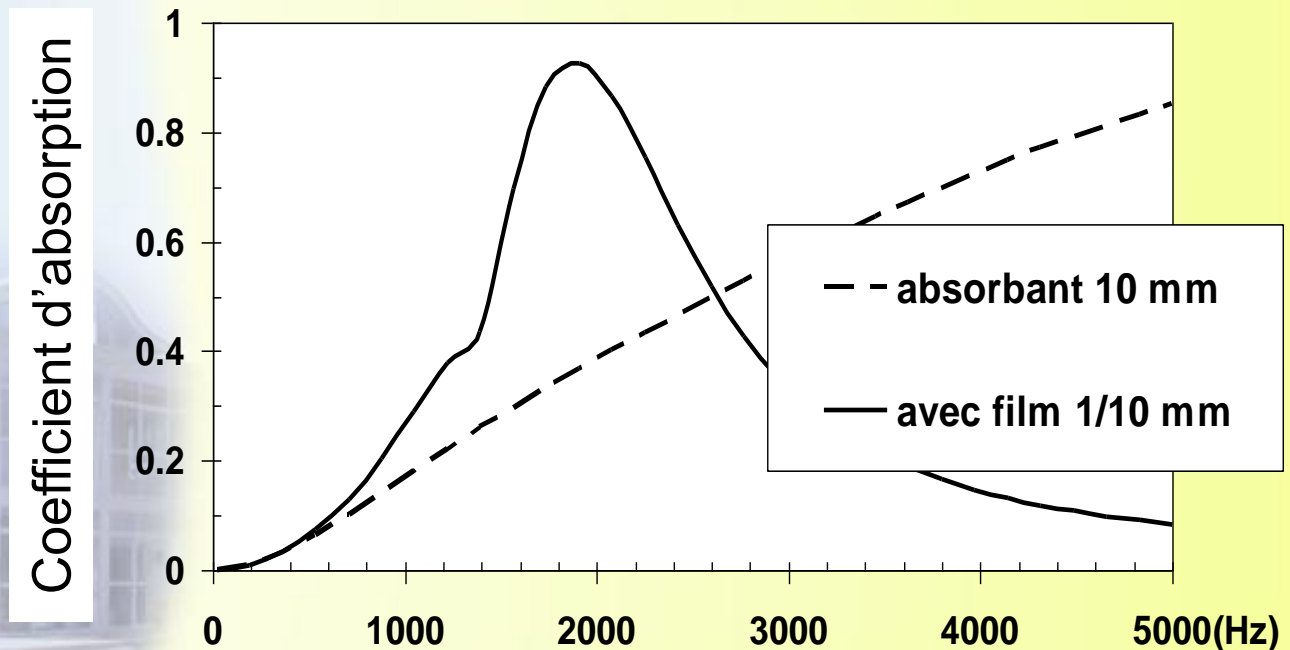


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

absorption : principes de bases



- Absorbant + lame d'air + film
- ➡ BF : film transparent
- ➡ Dégradation en hautes fréquences
- Absorbant + film = Gain localisé
- ◆ Système « masse ressort »
- ◆ Ressort = matériau

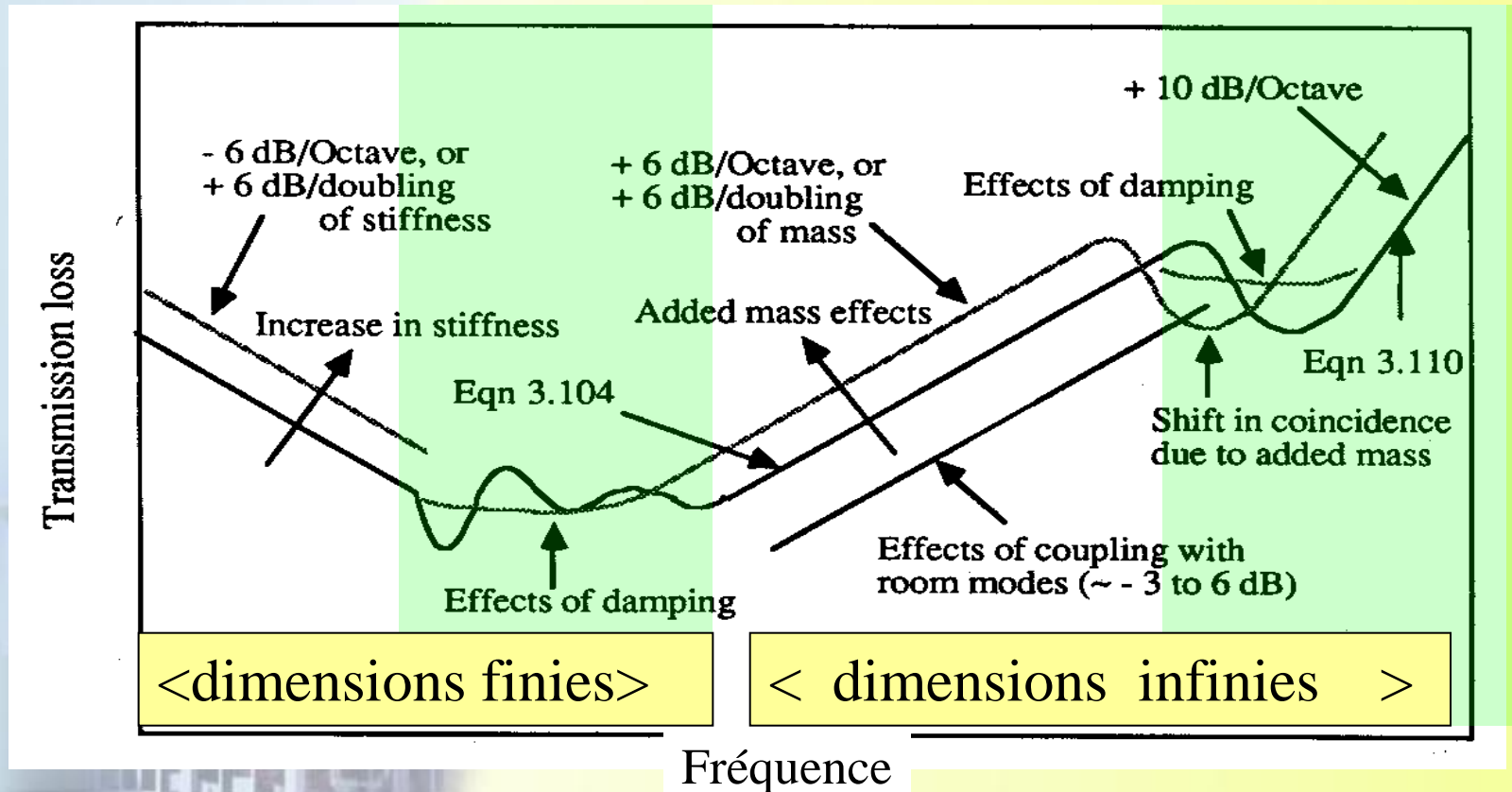
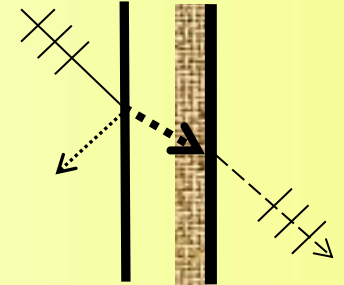




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

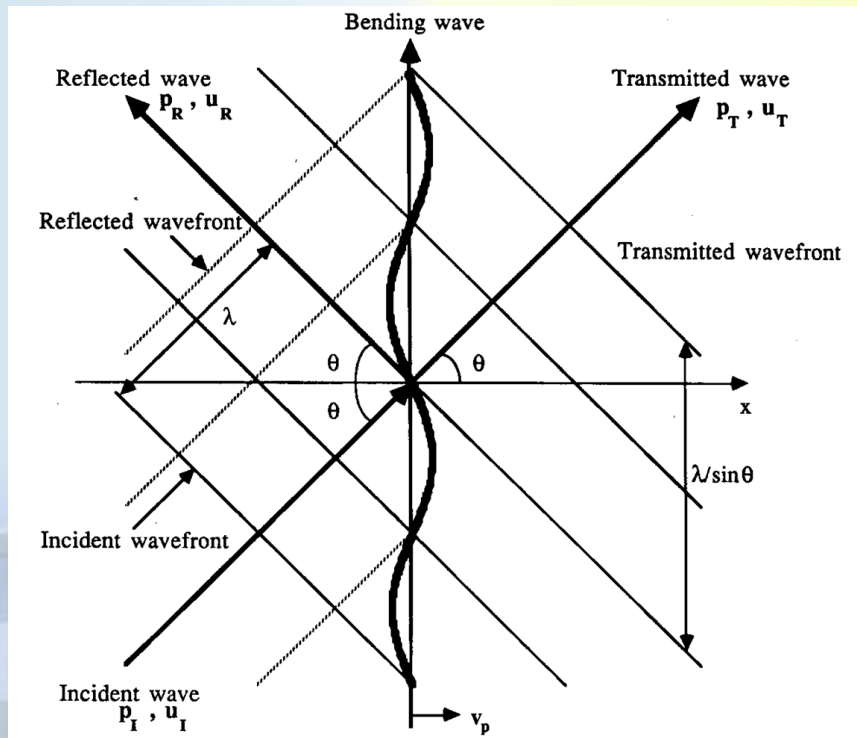
Isolation : principes de bases

■ Indice d'affaiblissement d'une paroi simple



Isolation : principes de bases

■ Effet de coïncidence et angle d'incidence



Coïncidence si égalité entre la longueur de l'onde de flexion libre de la plaque (λ_{fl}) et la longueur d'onde projetée de l'onde acoustique excitatrice ($\lambda \sin(\theta)$)

⇒ Perte d'affaiblissement



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

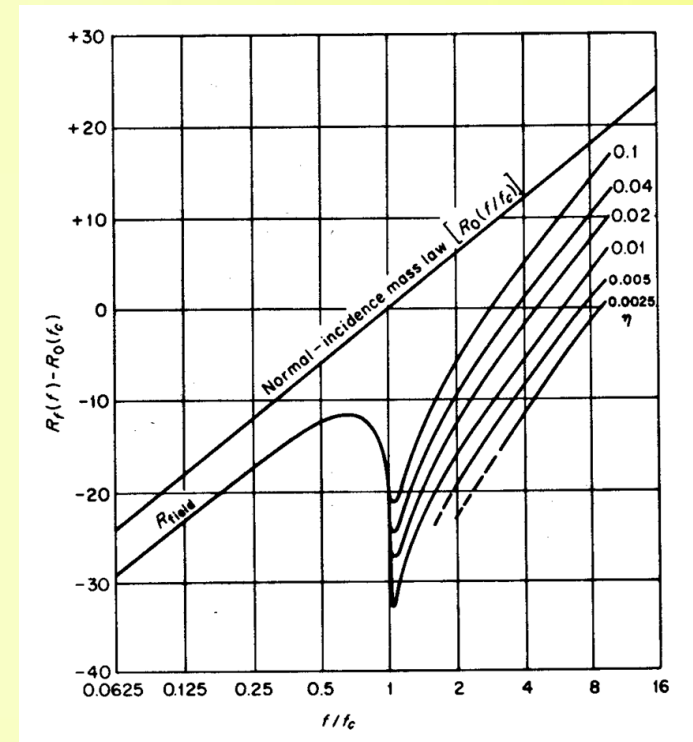
⇒ amortissant efficace aux résonances

● 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

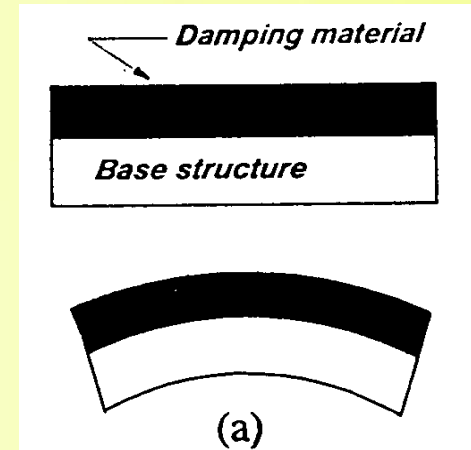


Isolation : principes de bases

■ Amortissement de structure : paroi simple + viscoélastique

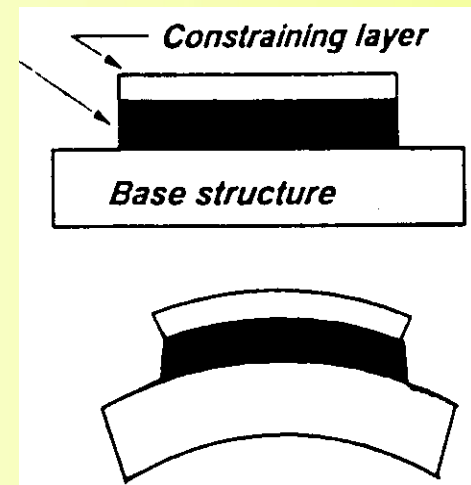
• Viscoélastique seul :

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



• Viscoélastique contraint

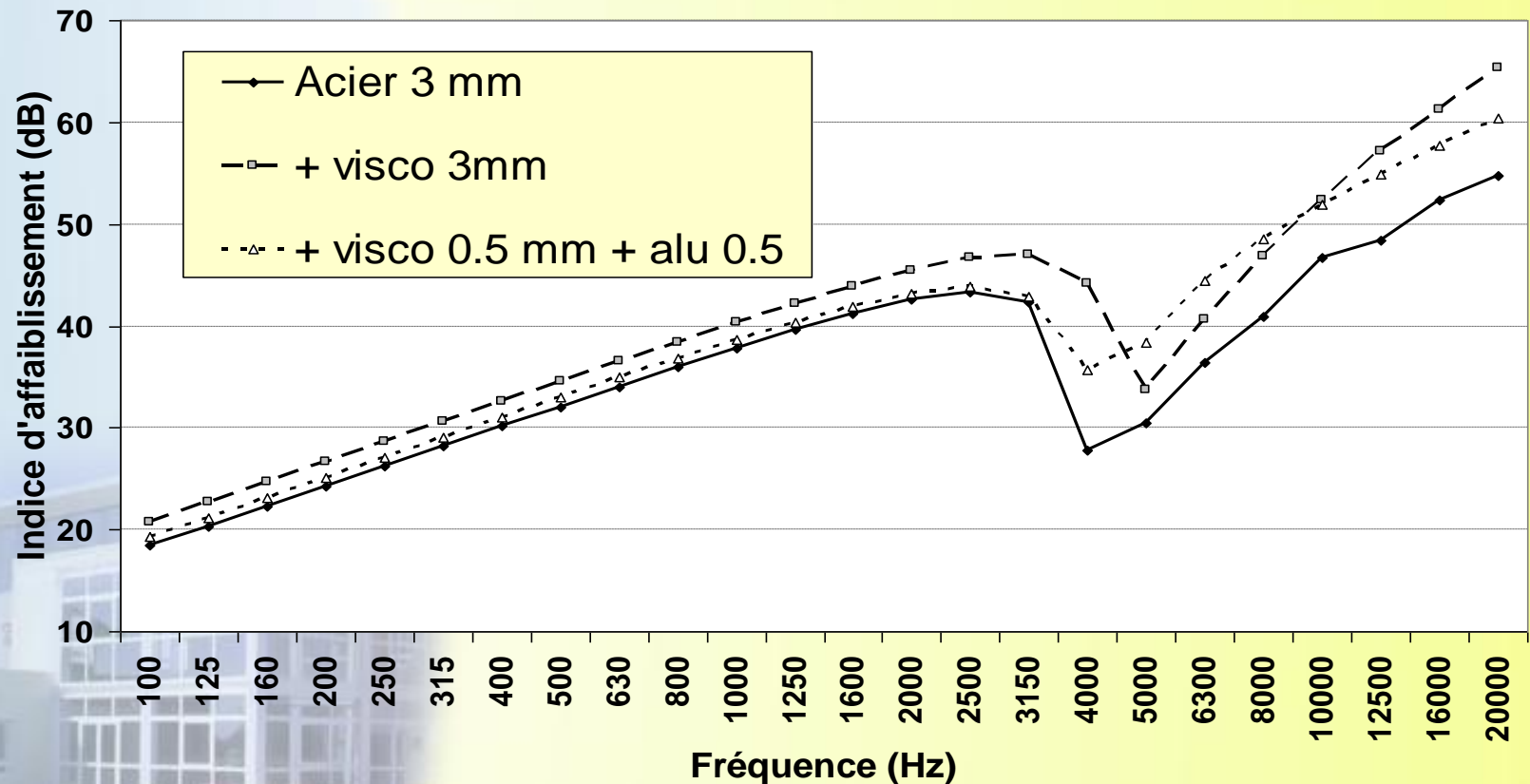
- travail en cisaillement
- ajout de masse plus réduit





Isolation : principes de bases

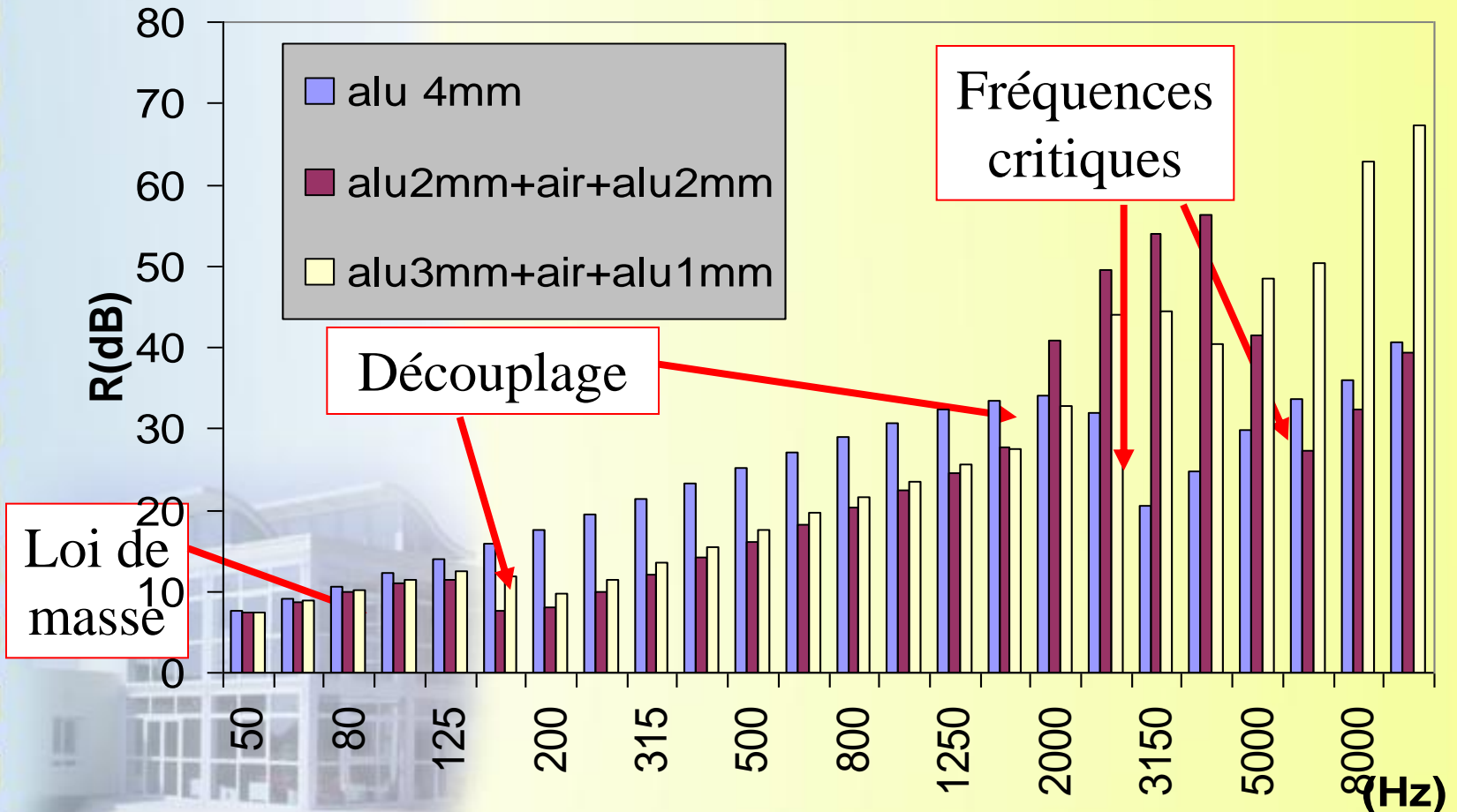
■ Exemple : plaque d'acier 3 mm avec traitement amortissant





Isolation : principes de bases

- Paroi simple/paroi double

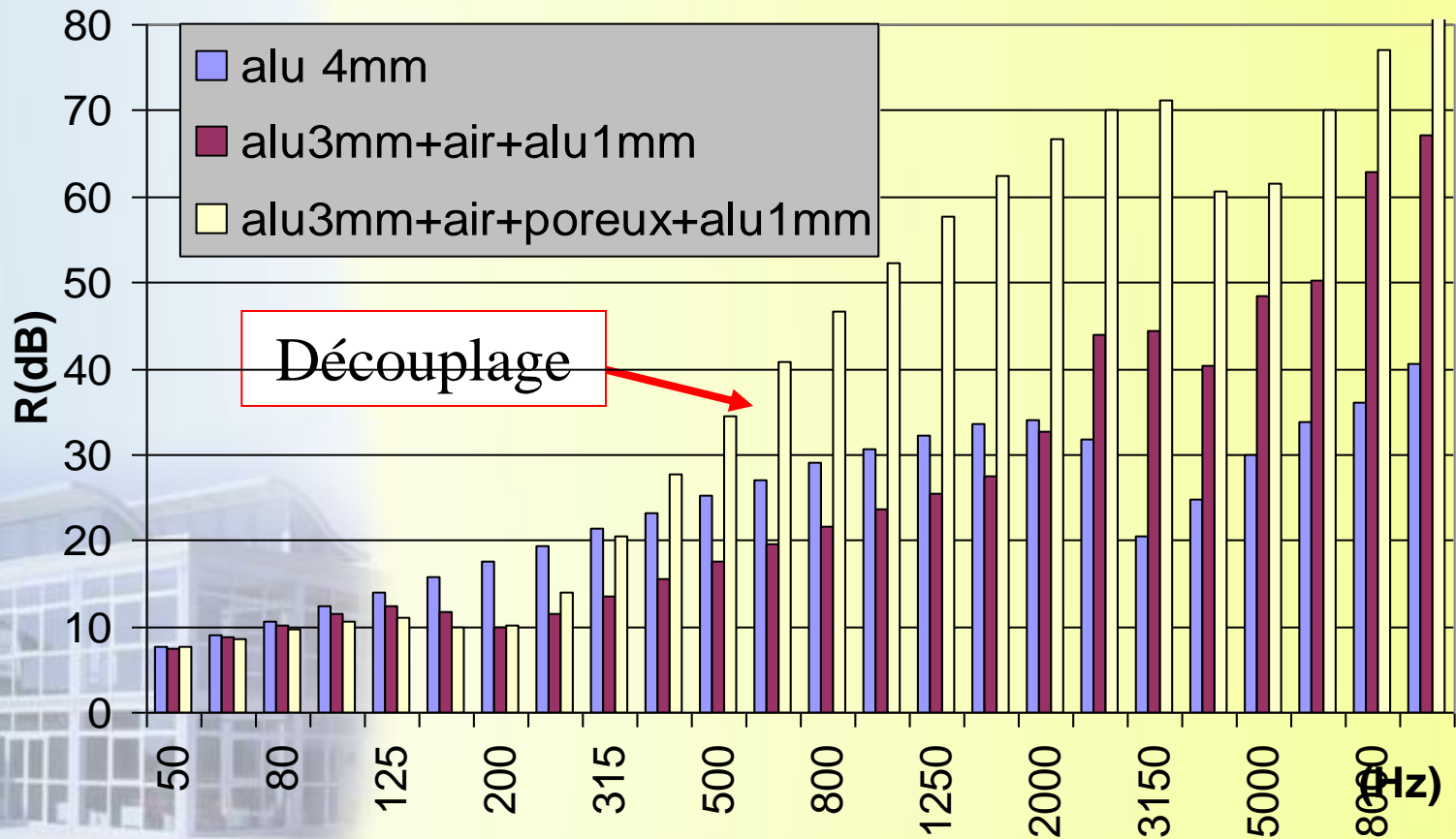
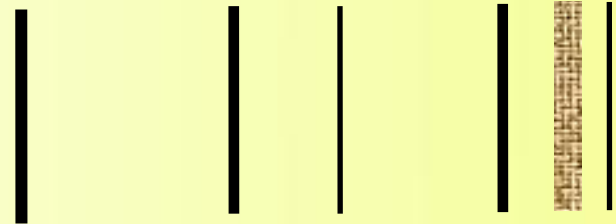




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Isolation : principes de bases

- Paroi simple/paroi double



Plan de l'exposé

- I. Introduction**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Absorption/isolation : principes de base**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Prédiction des performances**
- V. Mesure des performances**
- VI. Conclusion**



Modèles de matériaux poreux

■ Outils de prédiction

● Éléments finis

- ◆ Adaptée aux BF (résonances)
- ◆ Géométrie réelle

● Analytiques

- ◆ Modèle simplifié (par ex : modèle 2D)
- ◆ Calculs plus rapides

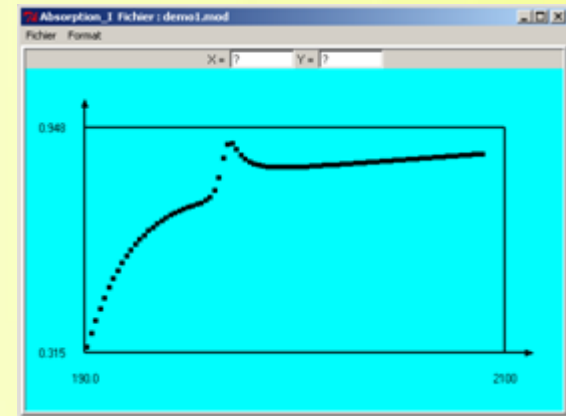
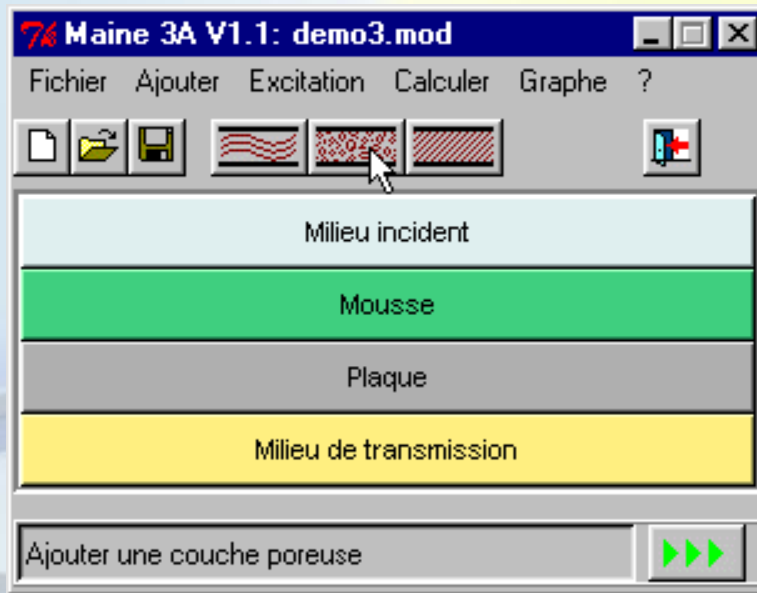


CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

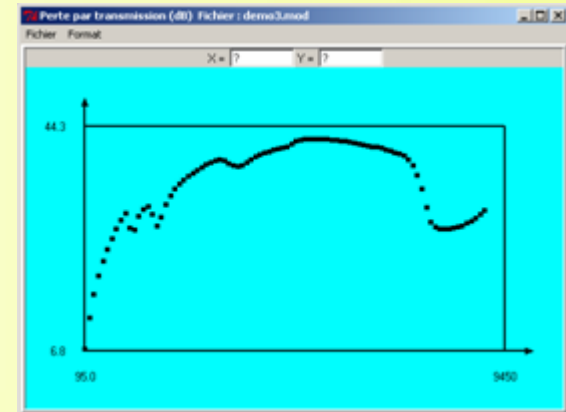
Simulation : Logiciel MAINE 3A

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

- Coefficient d'absorption



- Indice d'affaiblissement

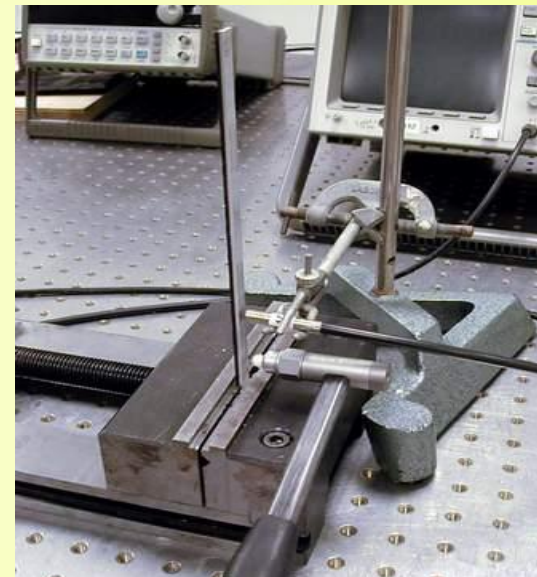
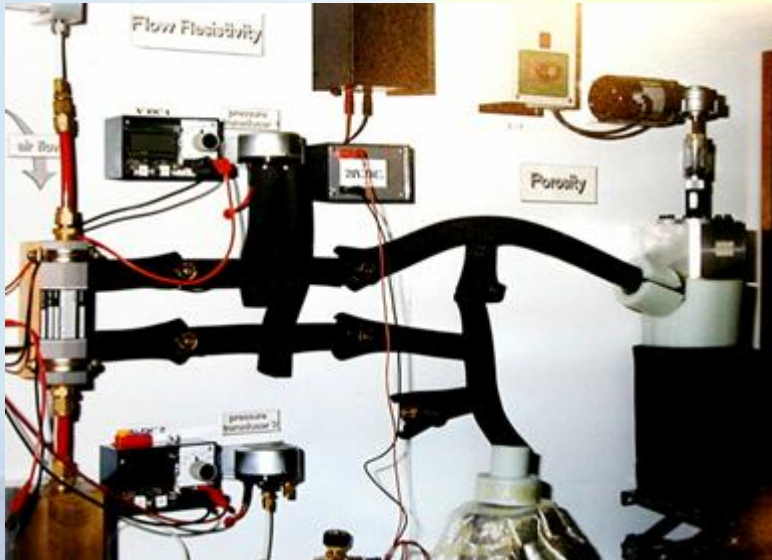




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure des paramètres physiques

- Résistance au passage de l'air
- Porosité
- Module d'Young et Facteur d'amortissement :
 - Quasistatique de 1 à 100 Hz : viscoélasticimètre
 - Dynamique : Oberst



Plan de l'exposé

- I. Introduction**
- II. Les matériaux acoustiques**
- III. Absorption/isolation : principes de base**
 - Absorption acoustique
 - Isolation acoustique
- IV. Prédiction des performances**
- V. Mesures des performances**
- VI. Conclusion**

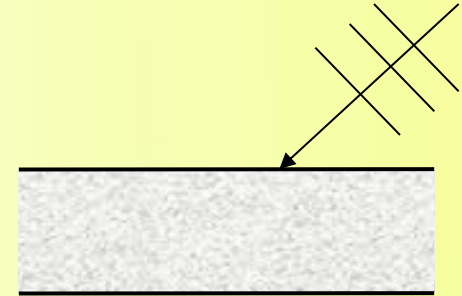




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'absorption

- Absorption acoustique en onde plane



« tube de Kundt »
incidence normale



Méthode holographique
incidence quelconque

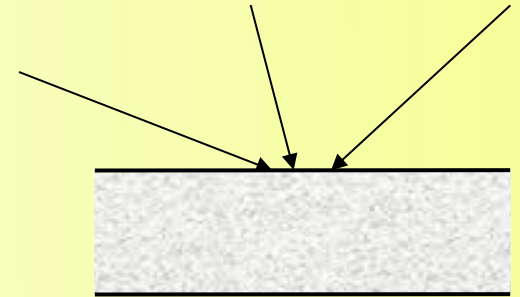




CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'absorption

- Absorption acoustique en champ diffus
coefficient alpha sabine



Salle réverbérante
grands échantillons (15m²) / BF



Cabine alpha
petits échantillons (1m²)





CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Mesure d'isolation

1. Salles réverbérantes couplées →



2. Salle réverbérante +
salle semi-anéchoïque
(méthode intensimétrique)





CENTRE DE
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
DU MANS

Conclusion

- Importance du choix des matériaux et de leur mise en œuvre
- Existence de moyens de prédiction validés
- Nécessité de la caractérisation des matériaux
- Ensemble d'outils au service du design sonore

