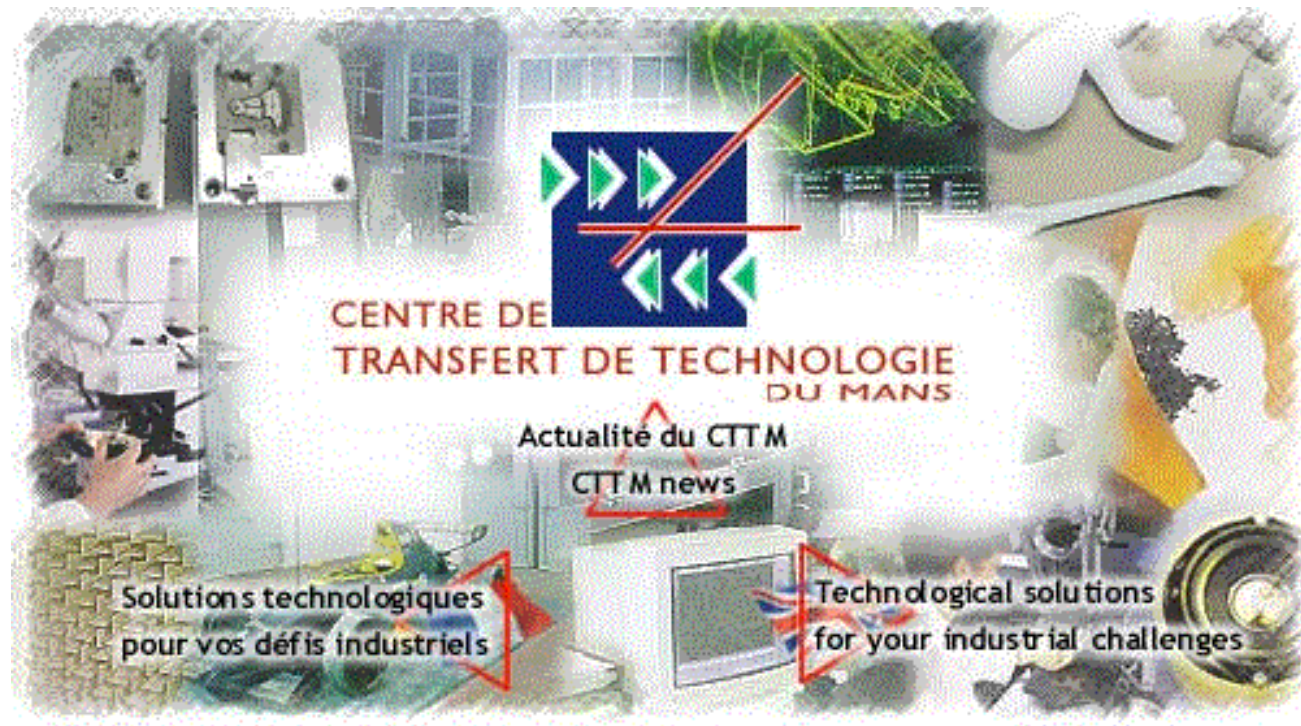


# Matériaux acoustiques :

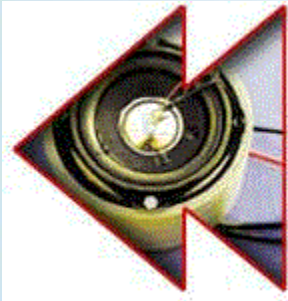
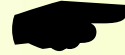
## la simulation comme aide à la conception

Jean Christophe LE ROUX

Département Acoustique et Vibrations - CTTM

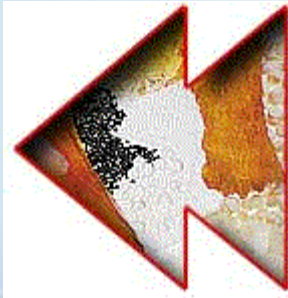


[www.cttm-lemans.com](http://www.cttm-lemans.com)



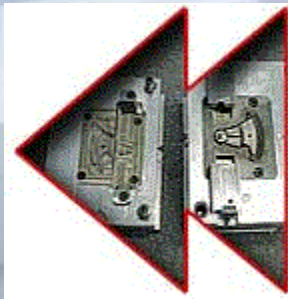
## ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

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



## MATERIAUX

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



## PRODUCTIQUE

- Prototypage rapide, Rhéologie, Numérisation

# Plan de l'exposé

## **I. Contexte**

## **II. Les matériaux absorbants**

- Description
- Modélisation
- Logiciel MAINE 3A

## **III. Validation expérimentale**

- Absorption
- Isolation

## **IV. Conclusion**



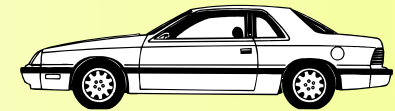


CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

# Problématique

## ■ Confort acoustique dans les transports

➔ Argument commercial



## ■ Contraintes

➔ Masse

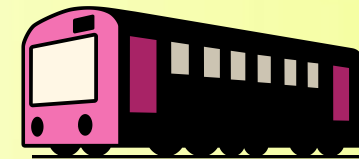
➔ Performances

➔ Encombrement



## ■ Besoin

➔ Maîtriser la conception acoustique



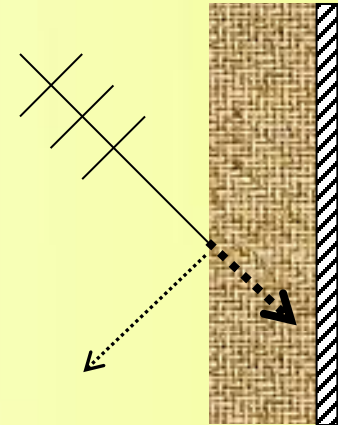


CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

## Problèmes usuels

- Absorption acoustique

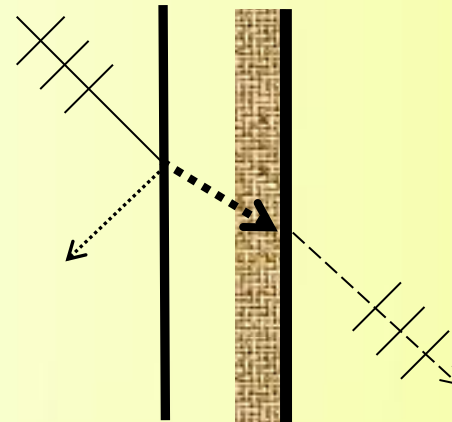
*Incident*



*Réfléchi*

- Isolation acoustique

*Incident*



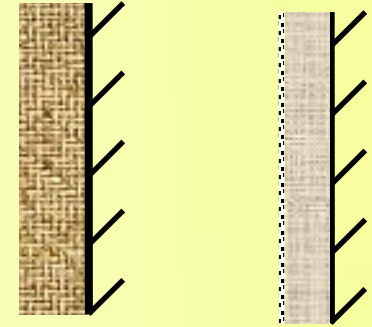
*Transmis*



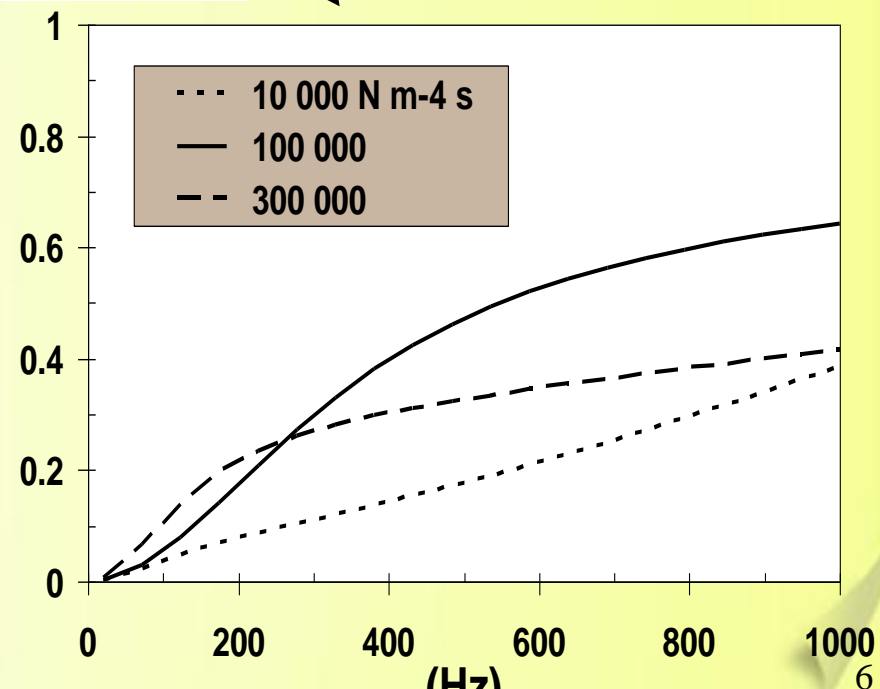
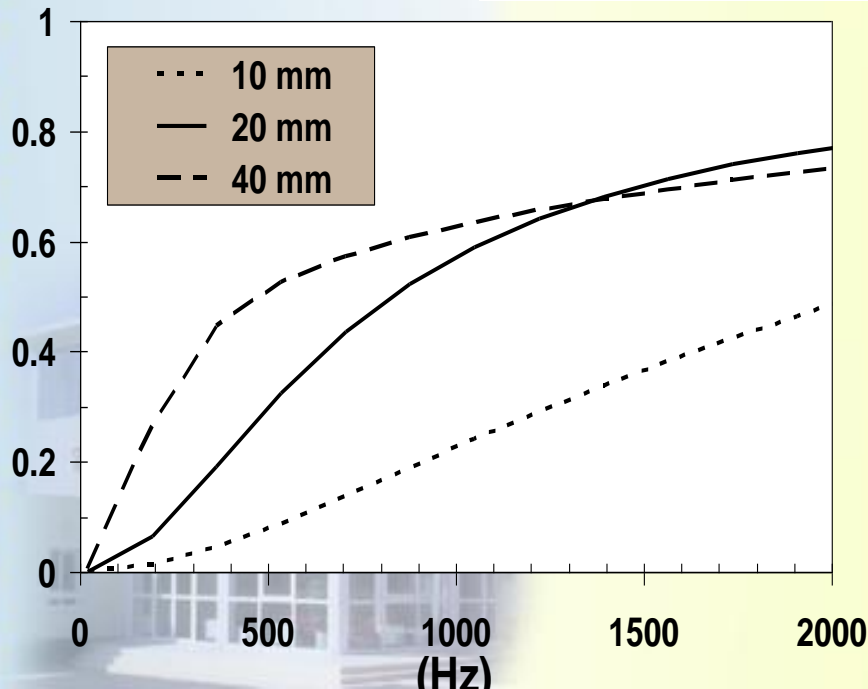
# Absorption acoustique : exemples

## ● Absorbant sur paroi

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



Coefficient d'absorption

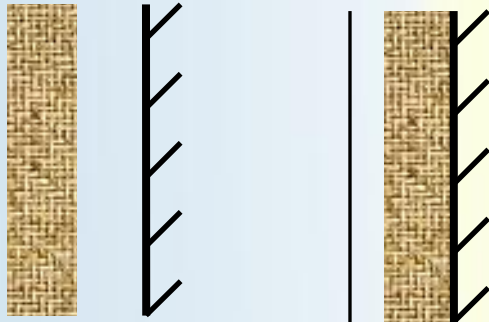




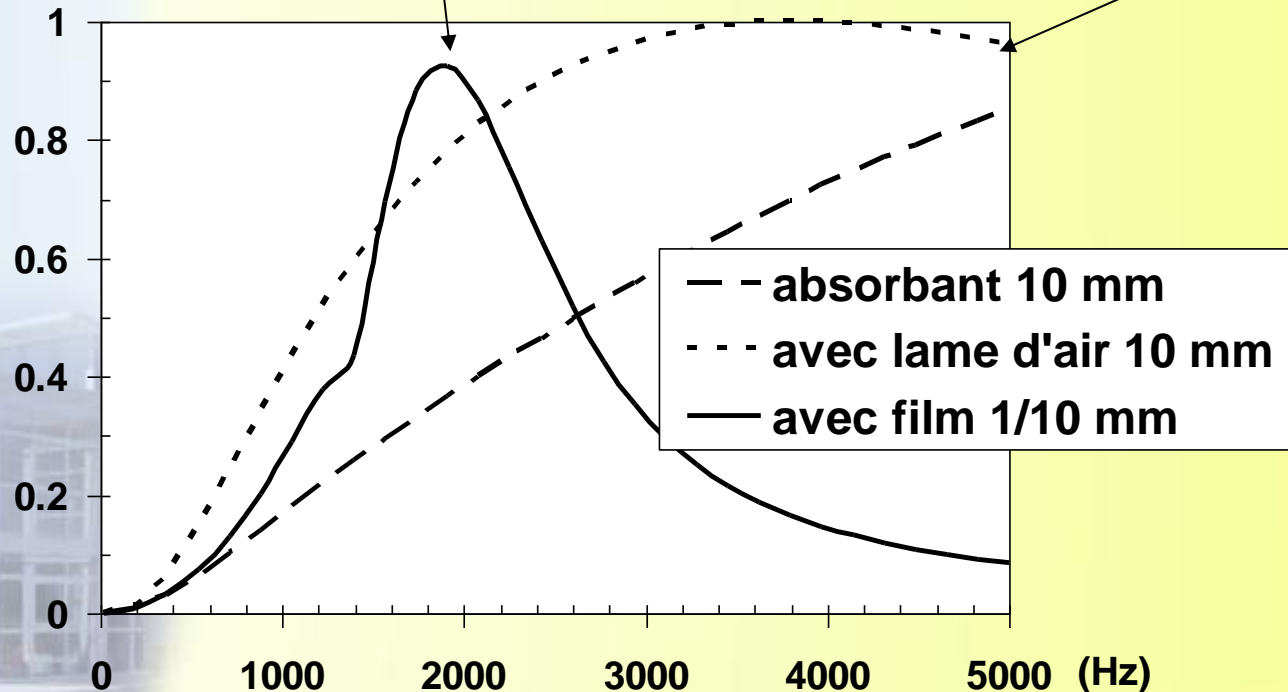
CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

# Absorption acoustique : exemples

- Absorbant + lame d'air = Gain en BF
  - Absorbant + film = Gain localisé
- ➡ Dégradation en hautes fréquences



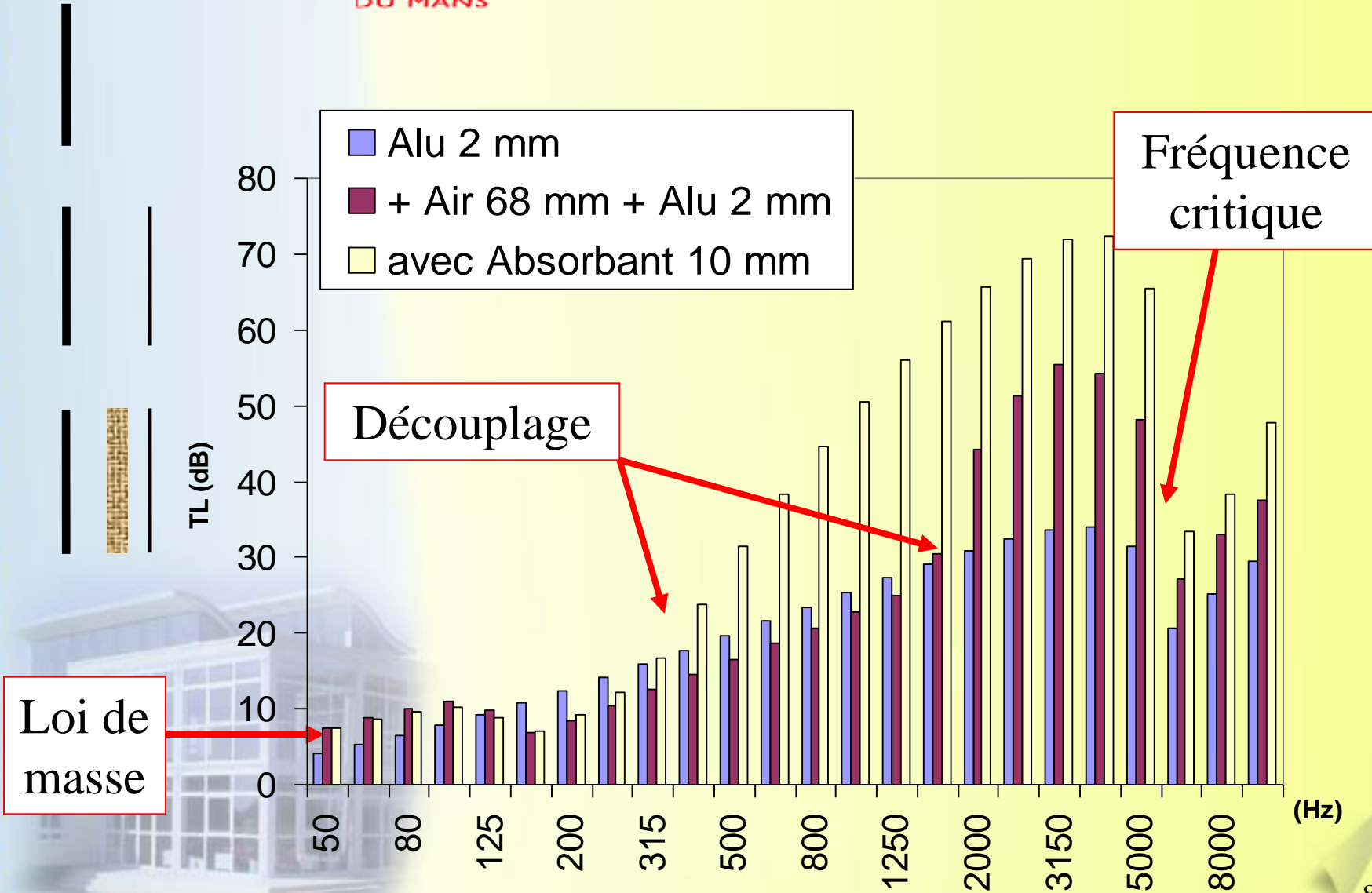
Coefficient d'absorption





CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

# Isolation acoustique : exemples



# Besoins pour la conception

- ☞ Rôle important des matériaux absorbants face à la problématique
- ☞ Nécessité d'employer des outils de simulation incluant les matériaux absorbants
  - ◆ Dégager les paramètres influant
  - ◆ Dimensionner les structures
- ☞ Implique :
  - ◆ Caractérisation des matériaux pour fournir les données d'entrée aux logiciels
  - ◆ Mesures de validation des solutions retenues

# Plan de l'exposé

## **I. Contexte**

## **II. Les matériaux absorbants**

- Description
- Modélisation
- Logiciel MAINE 3A

## **III. Validation expérimentale**

- Absorption
- Isolation

## **IV. Conclusion**



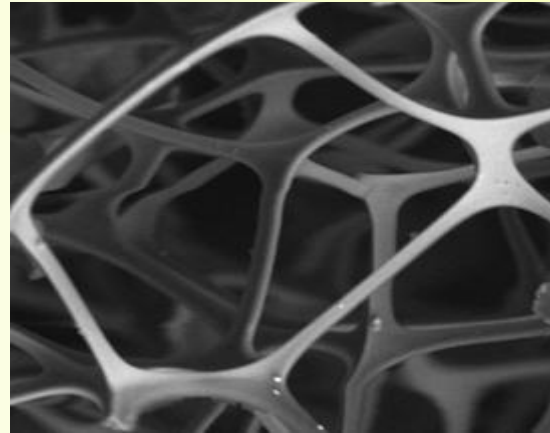


# Matériau poreux acoustique

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)

## Phénomènes de dissipation

- ➡ Frottement visqueux entre l'air et le squelette
- ➡ Absorption de la chaleur excédentaire du fluide par le squelette
- ➡ Viscoélasticité du squelette

# Modèles de matériaux poreux

- Impédance de surface, mesurée ou simulée
  - inclue uniquement l'effet sur les ondes acoustiques
  - comportement à réaction localisée
- ⇒ codes vibro-acoustiques généralistes (Lesueur Hamdi, 1988)
  
- Paramètre : impédance de surface



# Modèles de matériaux poreux

- Fluide équivalent : squelette supposé immobile
  - influence du squelette sur la propagation acoustique
    - ◆ Modèle empirique de Delany-Bazley (1970) (fibreux)
    - ◆ Modèle physique de Johnson-Allard (Allard, 1993)
- ⇒ codes analytiques (Brouard, 1994), codes MEF (Craggs, 1978)
  
- Paramètres
  - ☞ Résistivité au passage de l'air
  - ☞ Porosité
  - ☞ Tortuosité
  - ☞ Longueurs caractéristiques visqueuses et thermiques

# Modèles de matériaux poreux

- Modèle poroélastique : squelette déformable
  - ◆ Modèle physique de Biot-Allard (Biot, 1956; Allard, 1993)
    - ⇒ codes analytiques (Brouard, 1994) et codes MEF (Atalla, 1998)
  
- Paramètres
  - ☞ paramètres fluide équivalent + module d'Young et facteur d'amortissement

# Logiciels de simulation

## ■ Calculs analytiques

- ⇒ Système 2-D – dimensions latérales infinies
- ⇒ Matrices de transfert et d'interface
- ⇒ Rapidité
- ⇒ Valide pour les moyennes et hautes fréquences

## ■ Calculs par éléments finis

- ⇒ Géométrie réelle
- ⇒ Plus adaptés pour les basses et moyennes fréquences

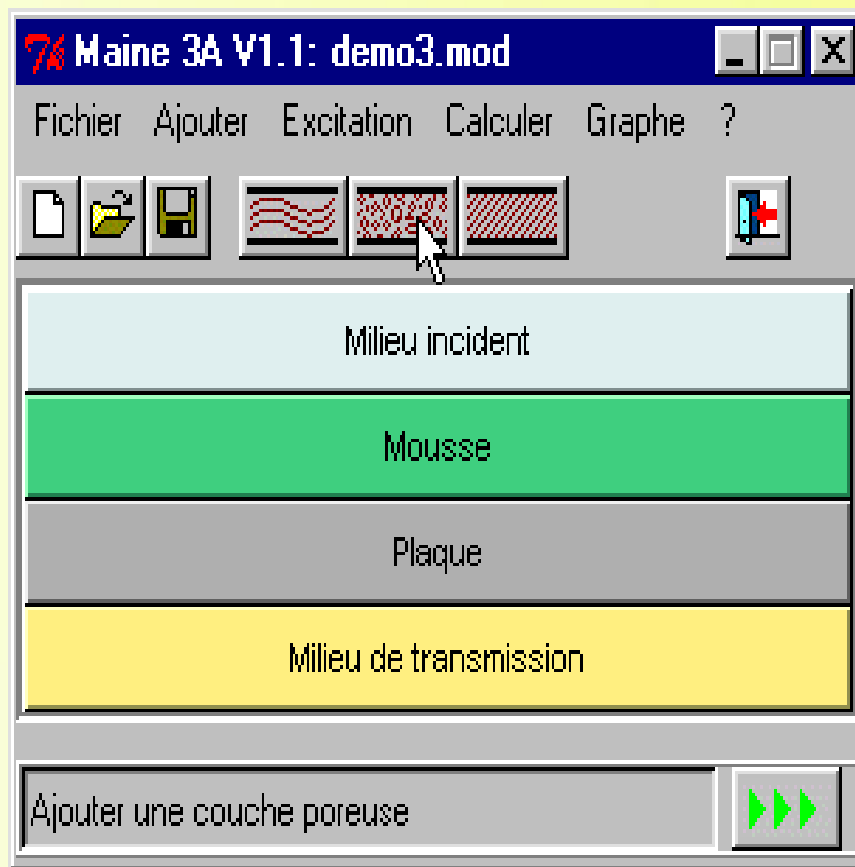
- Action de transfert de technologie
- Permet de simuler les performances acoustiques de matériaux multicouches incluant :
  - des matériaux poreux ou fibreux
  - des solides, plaques ou film
  - des lames d'air
- Simulation en absorption et/ou transmission
- Calculs analytiques/dimensions latérales infinies



CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

# Logiciel MAINE 3A

## Fenêtre de définition du multicouche





CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

## Fenêtre de définition du matériau

Lecture des paramètres :

- manuelle
- à partir d'une base de donnée interne

## Logiciel MAINE 3A

**76 Couche poreuse**

Modèle empirique de Delany & Bazley **Base de données**

Modèle physique simplifié

**Modèle physique**

---

**Épaisseur** 25.4 mm

**Porosité** 0.98

**Résistivité au passage de l'air** 6600 N.m-4.s

---

**Tortuosité** 1.03

**Longueur caractéristique visqueuse** 200  $\mu$  m

**Longueur caractéristique thermique** 380  $\mu$  m

---

**Masse volumique du squelette** 11.2 kg/m<sup>3</sup>

**Module d'Young** 50833 Pa

**Facteur de perte** 0.06

**Coefficient de Poisson** 0.2

---

**Enregistrer dans la base** database.db

**Nom du matériau :** Mousse

**Ok** **Annuler**

# Plan de l'exposé

## I. Contexte

## II. Les matériaux absorbants

- Description
- Modélisation
- Logiciel MAINE 3A

## III. Validation expérimentale

- Absorption
- Isolation

## IV. Conclusion



# Validation expérimentale

## ■ Coefficient d'absorption

### 1. Laine minérale

⇒ Mesure au tube d'impédance :  $\alpha_{\perp}$

⇒ 70 Hz à 4300 Hz

⇒ Echantillon de 44 mm de diamètre

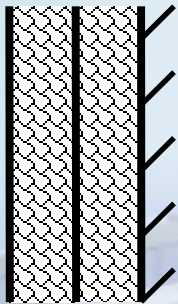


### 2. Multicouche avec film

⇒ Mesure en salle réverbérante:  $\alpha_{\text{Sabine}}$

⇒ 100 Hz à 5000 Hz

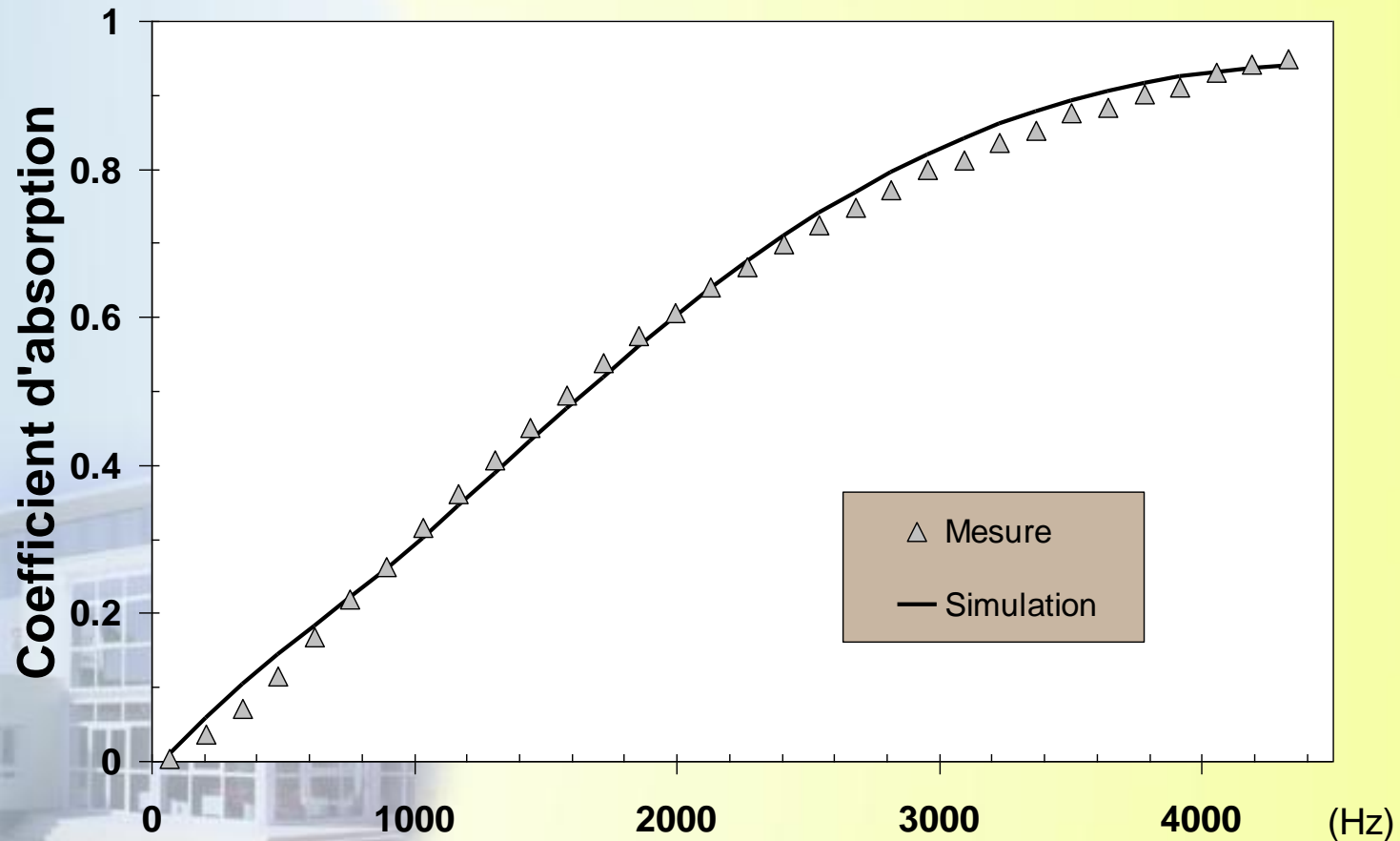
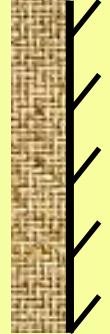
⇒ Echantillon de 12 m<sup>2</sup>



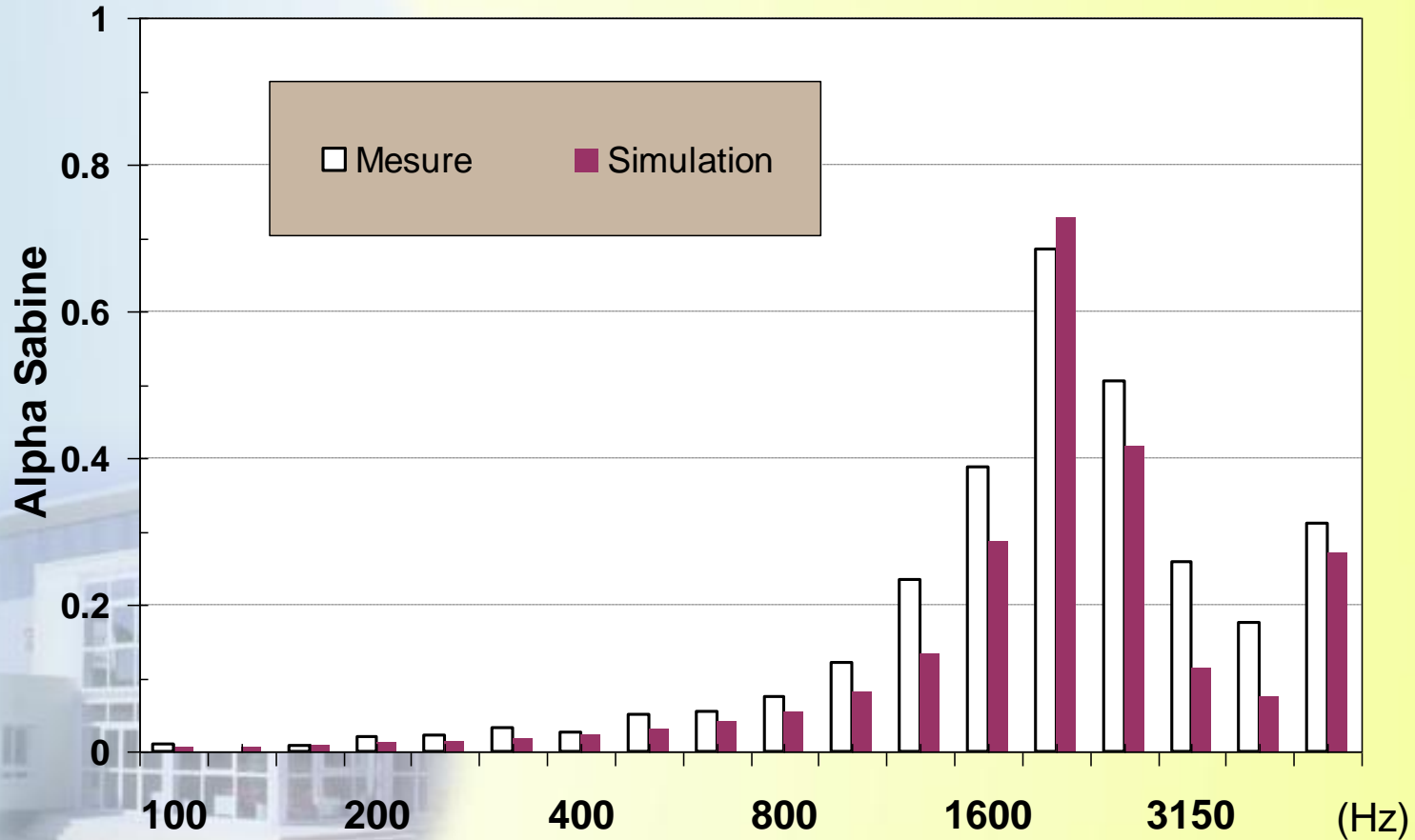
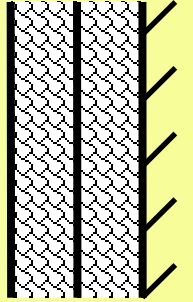
## ■ Prédiction avec MAINE 3A

# Validation expérimentale

Laine minérale 25 mm



## Multicouche avec film

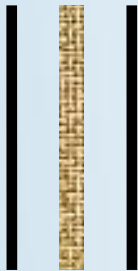




CENTRE DE  
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE  
DU MANS

# Validation expérimentale

- Indice d'affaiblissement de paroi
  1. Plaque d'acier
  2. Plaque acier + Absorbant + Plaque acier



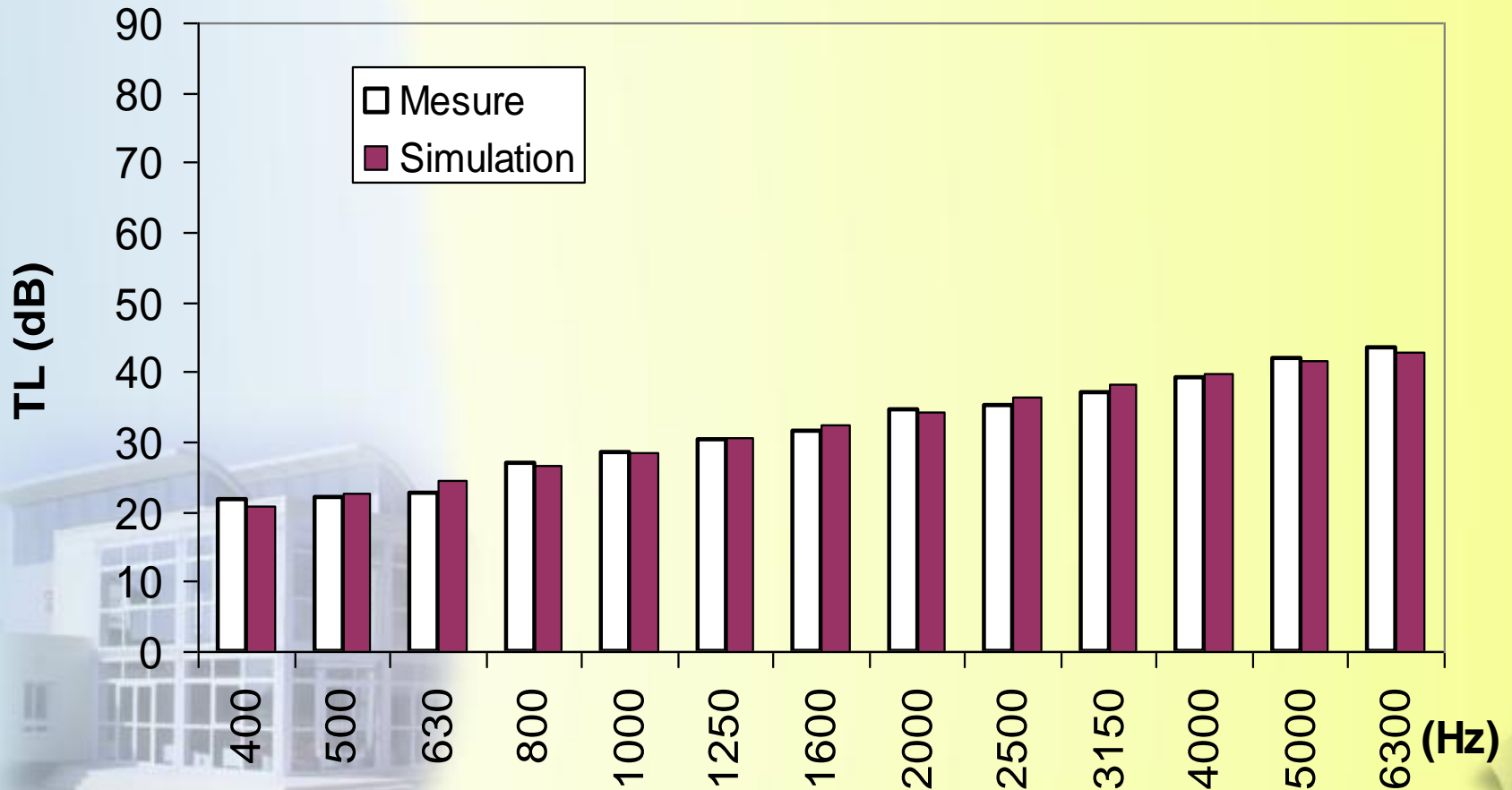
- Mesure sur échantillons de 750 mm x 850 mm
  - ⇒ Petite salle réverbérante
  - ⇒ 400 Hz à 6300 Hz
  - ⇒ Intensimétrie 1-D par balayage

- Prédiction avec MAINE 3A



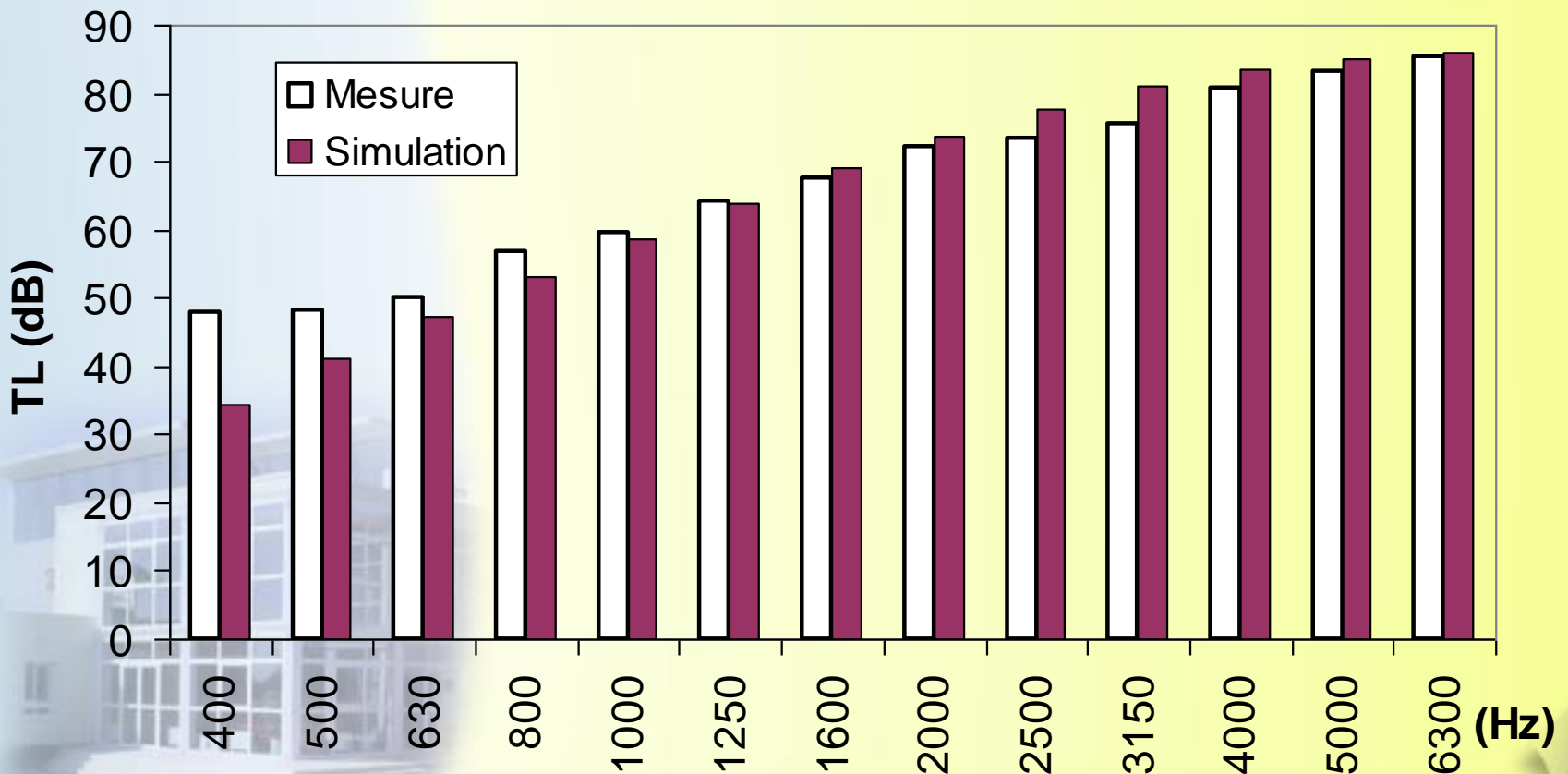
# Validation expérimentale

Plaque Acier 1 mm



# Validation expérimentale

2 Plaques Acier 1 mm avec Absorbant 15 mm



## Conclusion

- **Importance des matériaux absorbants** dans les solutions des problèmes vibro-acoustiques
- **Moyens** de prédiction et de mesure des performances **validés**
- Manque de données sur les matériaux absorbants
  - ⇒ existence de bases de données « internes » pour certains fournisseurs
  - ⇒ pour des contrats R&D : caractérisation systématique