



Autour du découplage thermo-méca dans les modèles de matériaux poreux

Olivier Dazel

olivier.dazel@univ-lemans.fr

<http://perso.univ-lemans.fr/~odazel/>

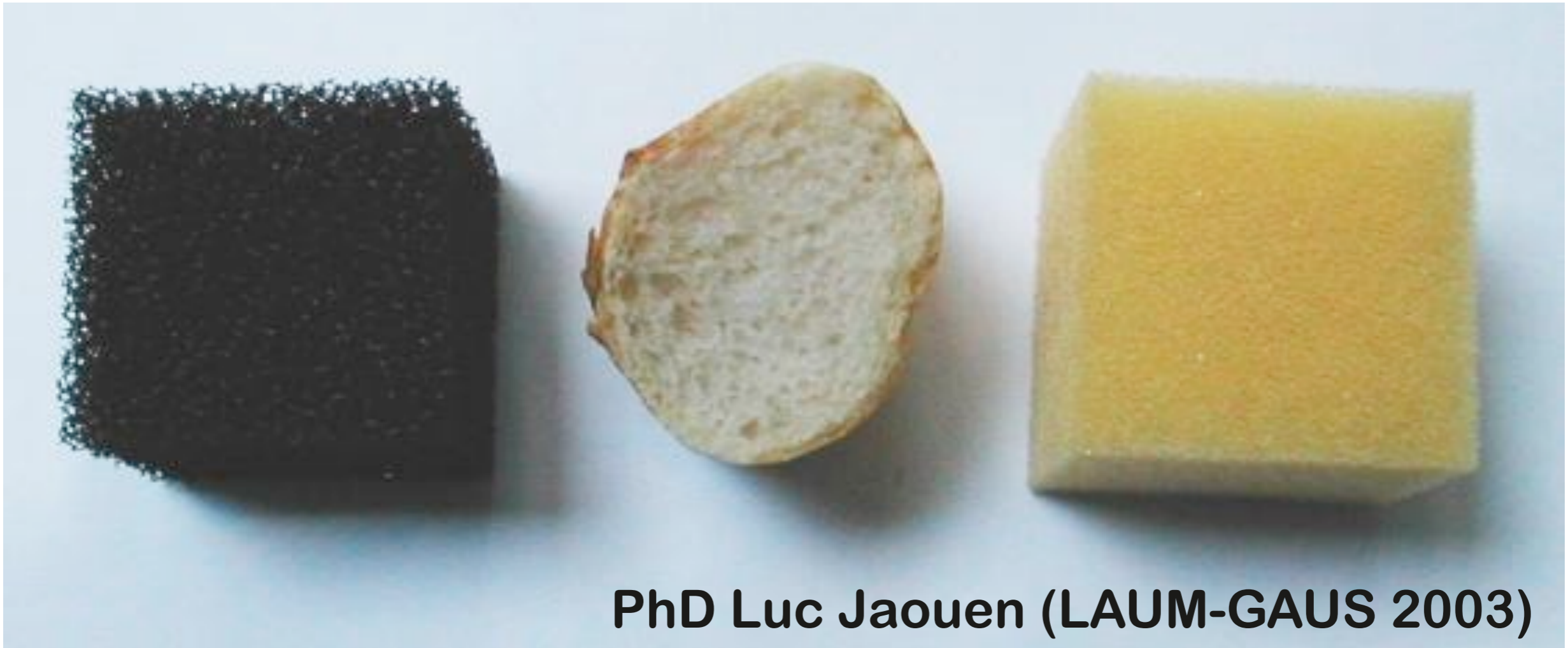
Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine
UMR CNRS 6613, France

coll. OR Acoustique des Milieux Poreux (resp. J.-P. Groby)

- ➔ **Présentation générale**

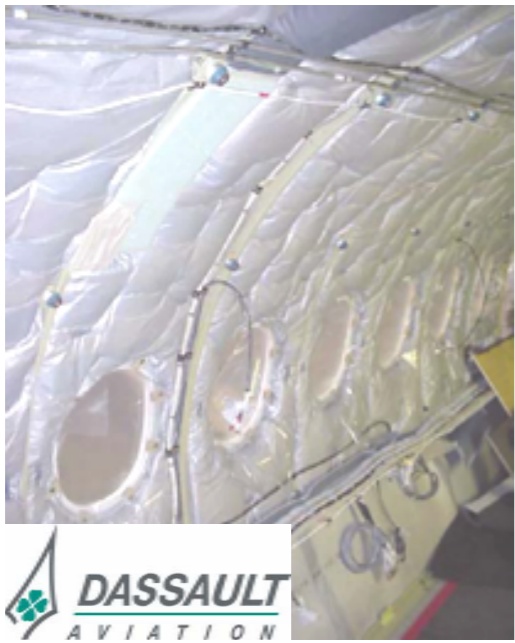
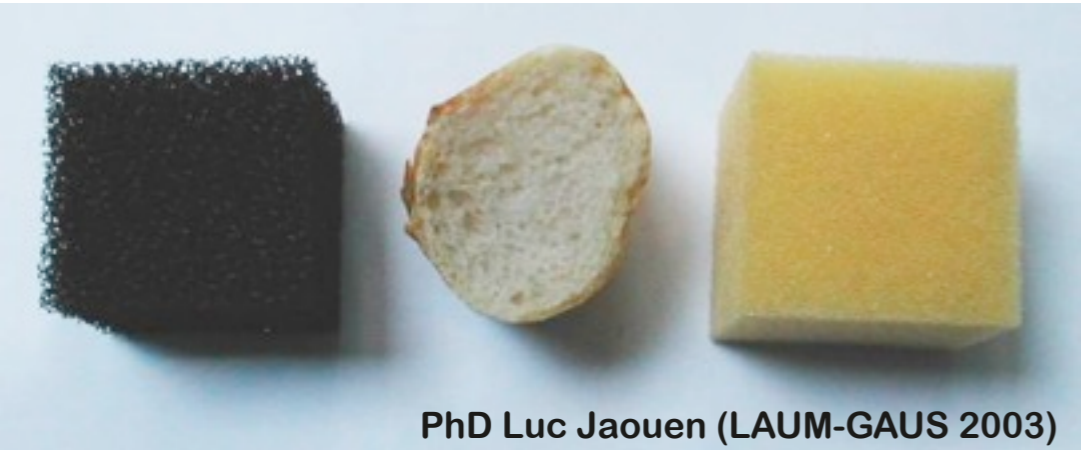
- ➔ **Modèles de propagation acoustique**
 - ➔ **Des modèles purement mécaniques**
 - ➔ **Découplage thermo/méca**
 - ➔ **Un fort gout de physique (de thermique ?)**
 - ➔ **Fluide équivalent / Solide déformable**

- ➔ **Conclusion**

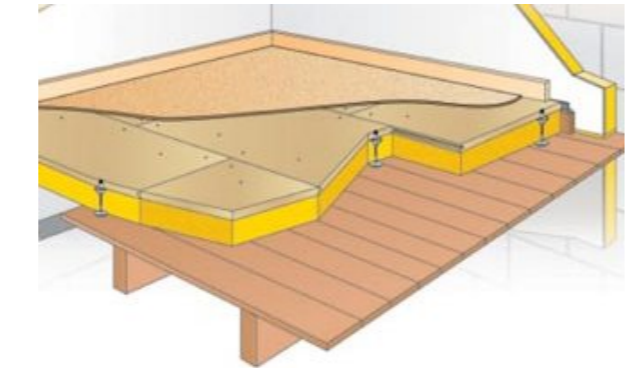


PhD Luc Jaouen (LAUM-GAUS 2003)

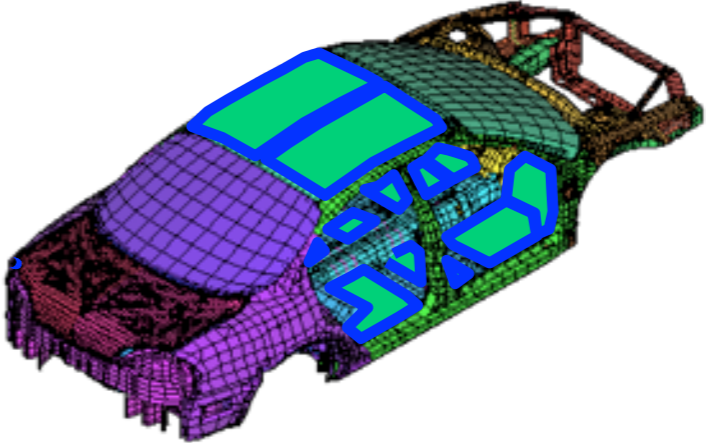
- **Matériaux légers**
- **Très bons absorbants acoustiques**
- **Une physique complexe due à la microstructure**



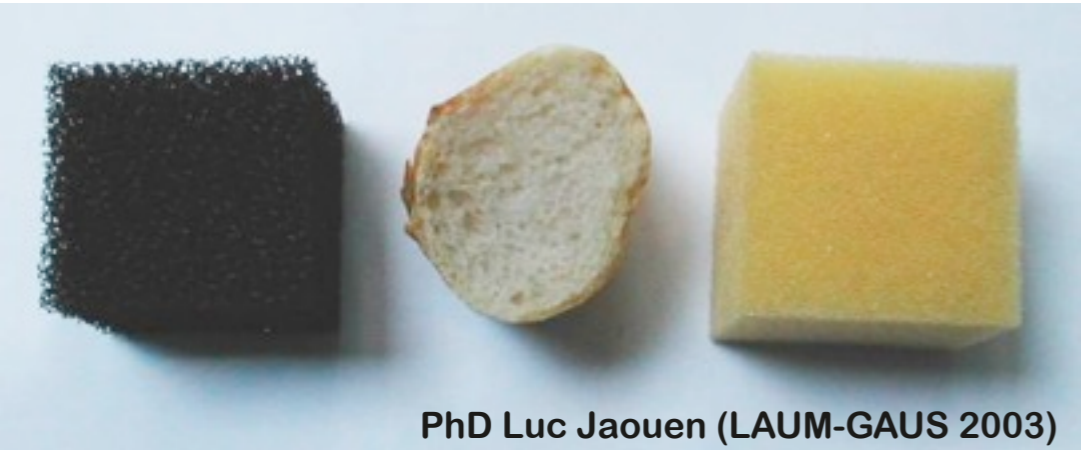
Aéronautique



Automobile

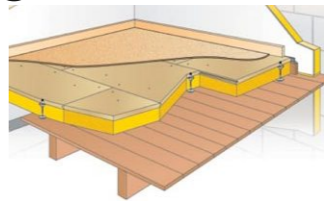
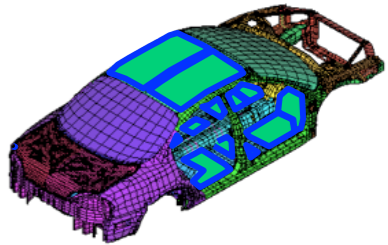


Batiment



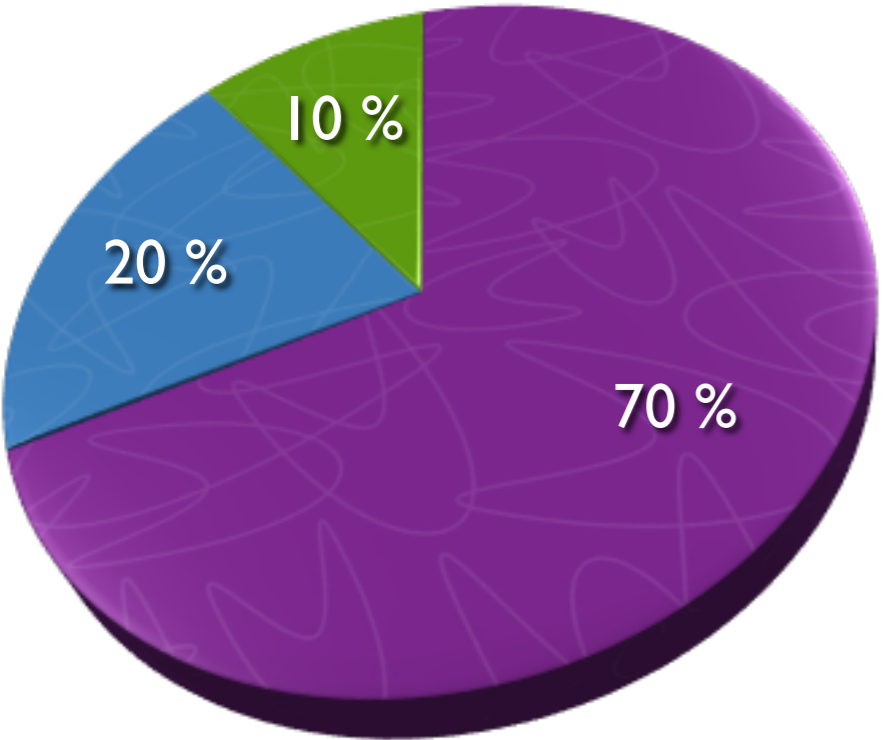
Aéronautique

Automobile



Batiment

Mecanismes de dissipation



- Viscosité (air)
- Thermique (air)
- Structurale (solide)

Prise en compte de la thermique dans les modèles de propagation ?

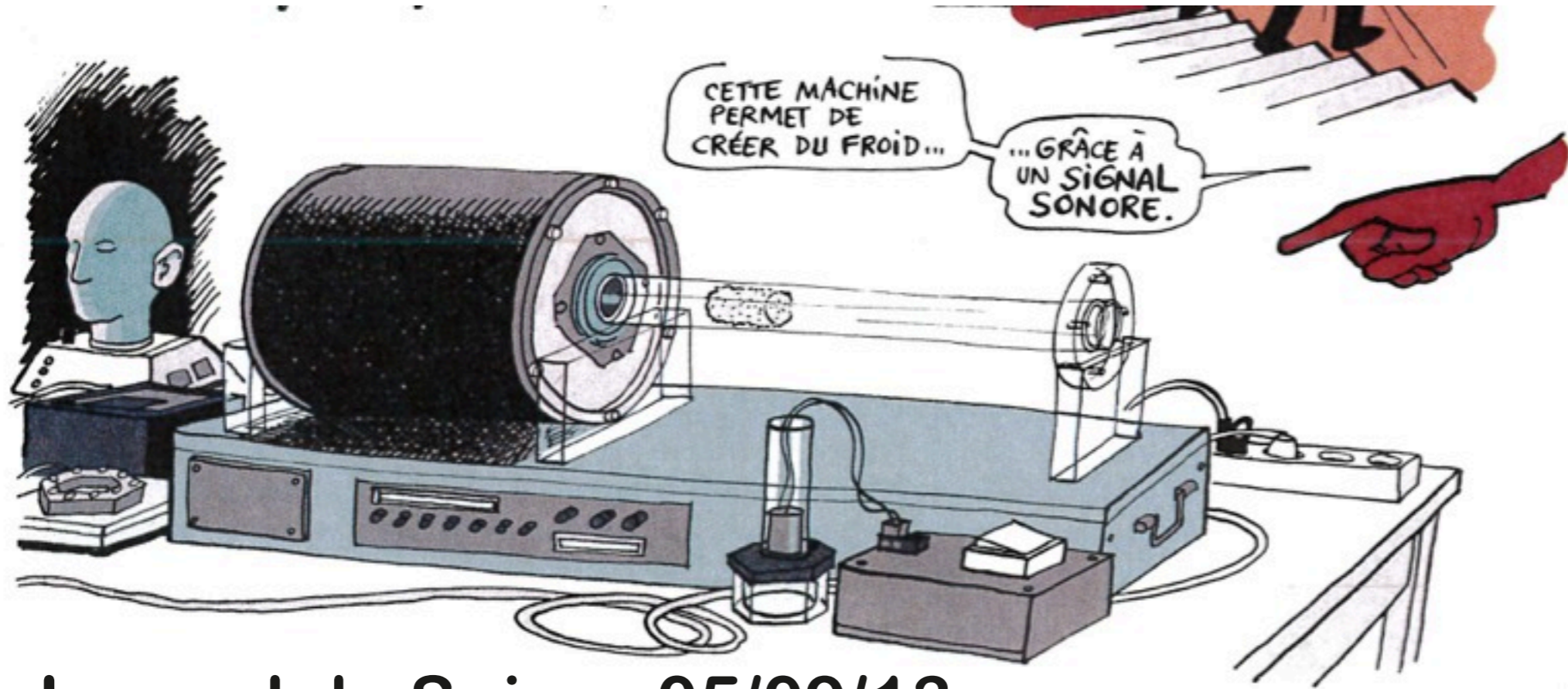
Prise en compte de la thermique dans les modèles de propagation ?



Attention à ne pas tout mélanger

- ➡ Production de chaleur
- ➡ Viscosité
- ➡ Effets thermiques
- ➡ Effets structuraux

Prise en compte de la thermique dans les modèles de propagation ?



Journal de Spirou 05/09/13

Prise en compte de la thermique dans les modèles de propagation ?



Attention à ne pas tout mélanger

→ Production de chaleur

→ Viscosité

→ Effets thermiques

→ Effets structuraux

Pris en compte dans les modèles "classiques"

Prise en compte de la thermique dans les modèles de propagation ?



Attention à ne pas tout mélanger

→ Production de chaleur

→ Viscosité

→ Effets thermiques

→ Effets structuraux

→ Effets de l'environnement extérieur

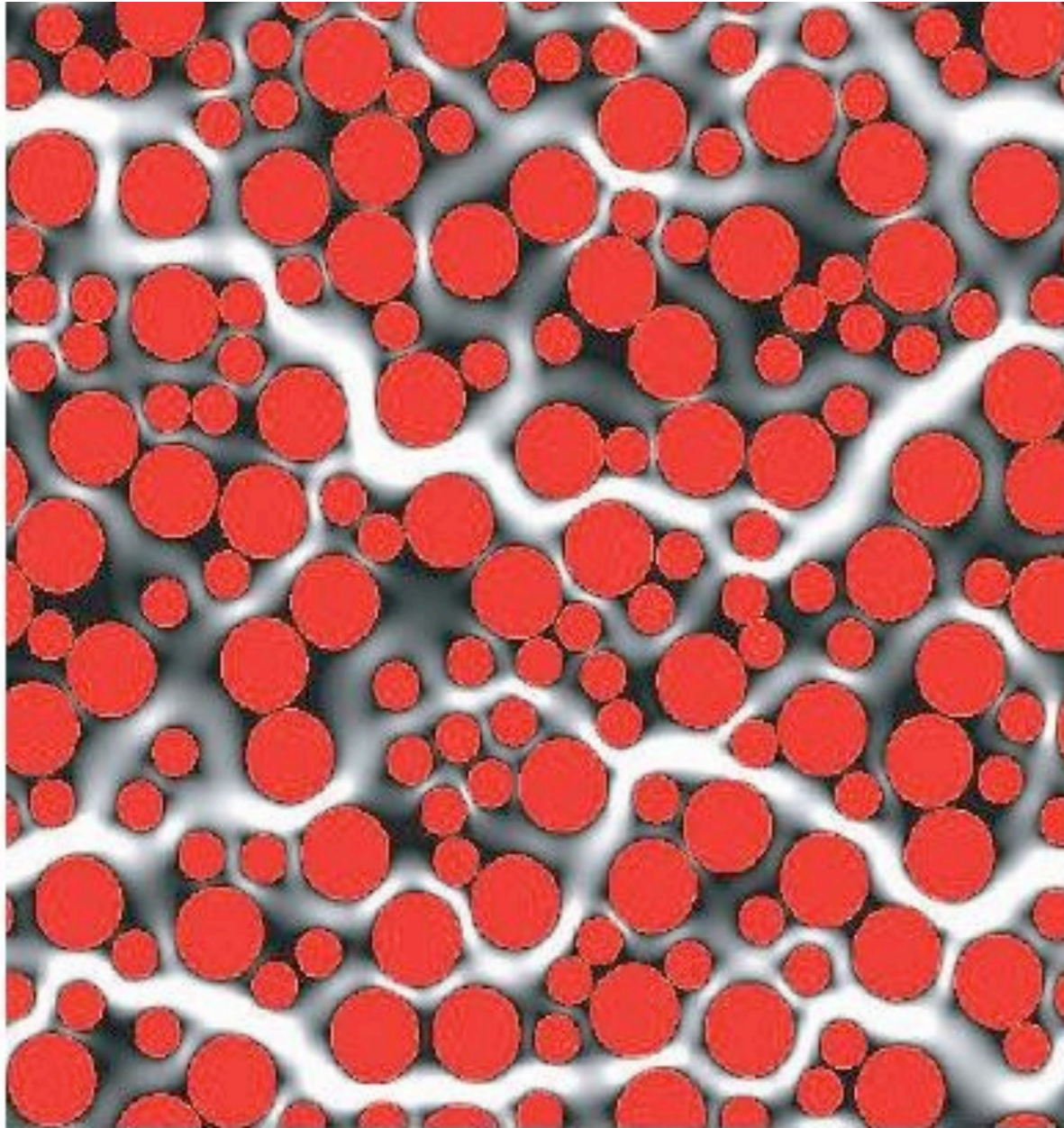
→ Température

→ Pression

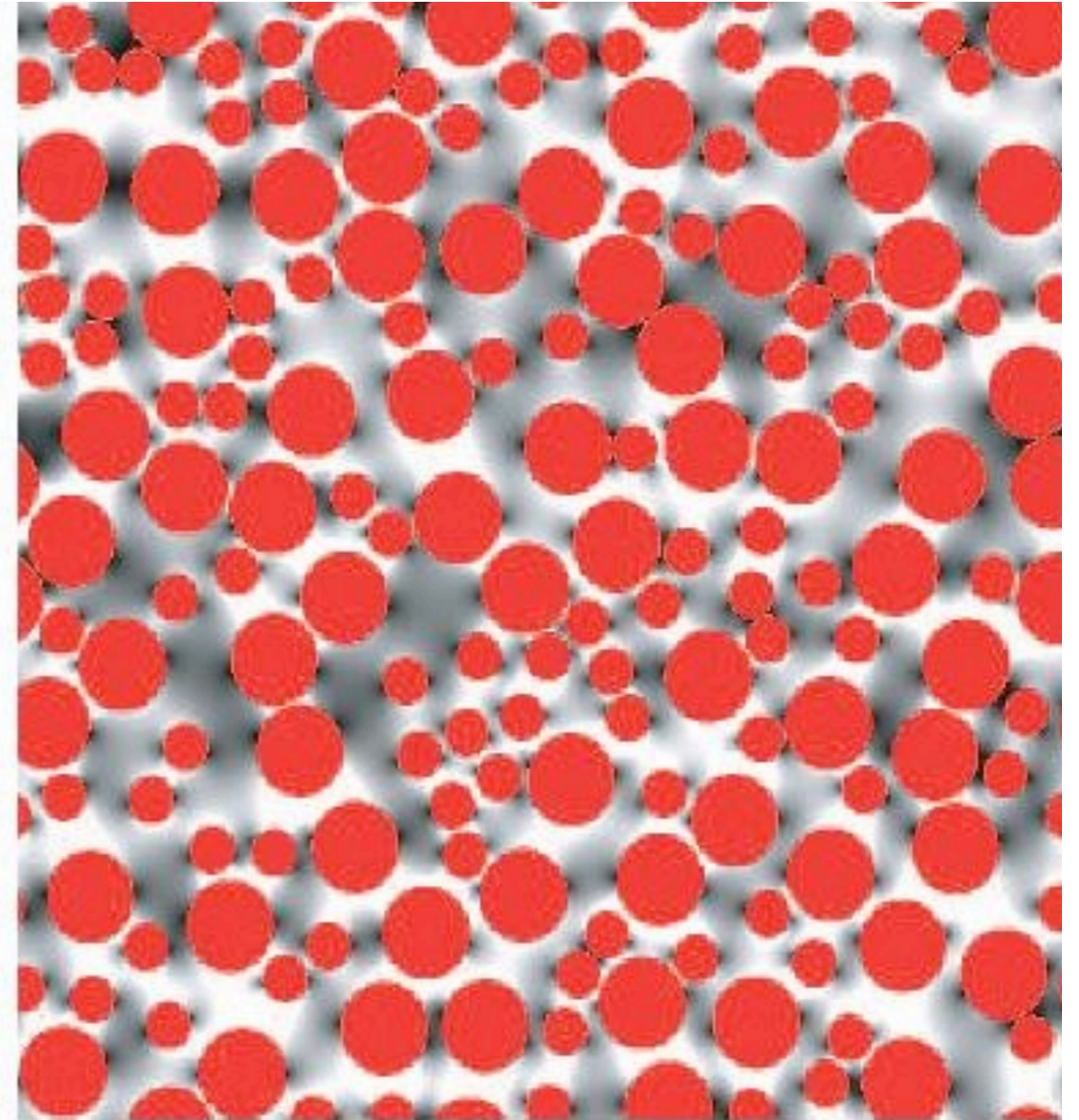
→ Humidité

Pris en compte dans les modèles "classiques"

Oui et Non

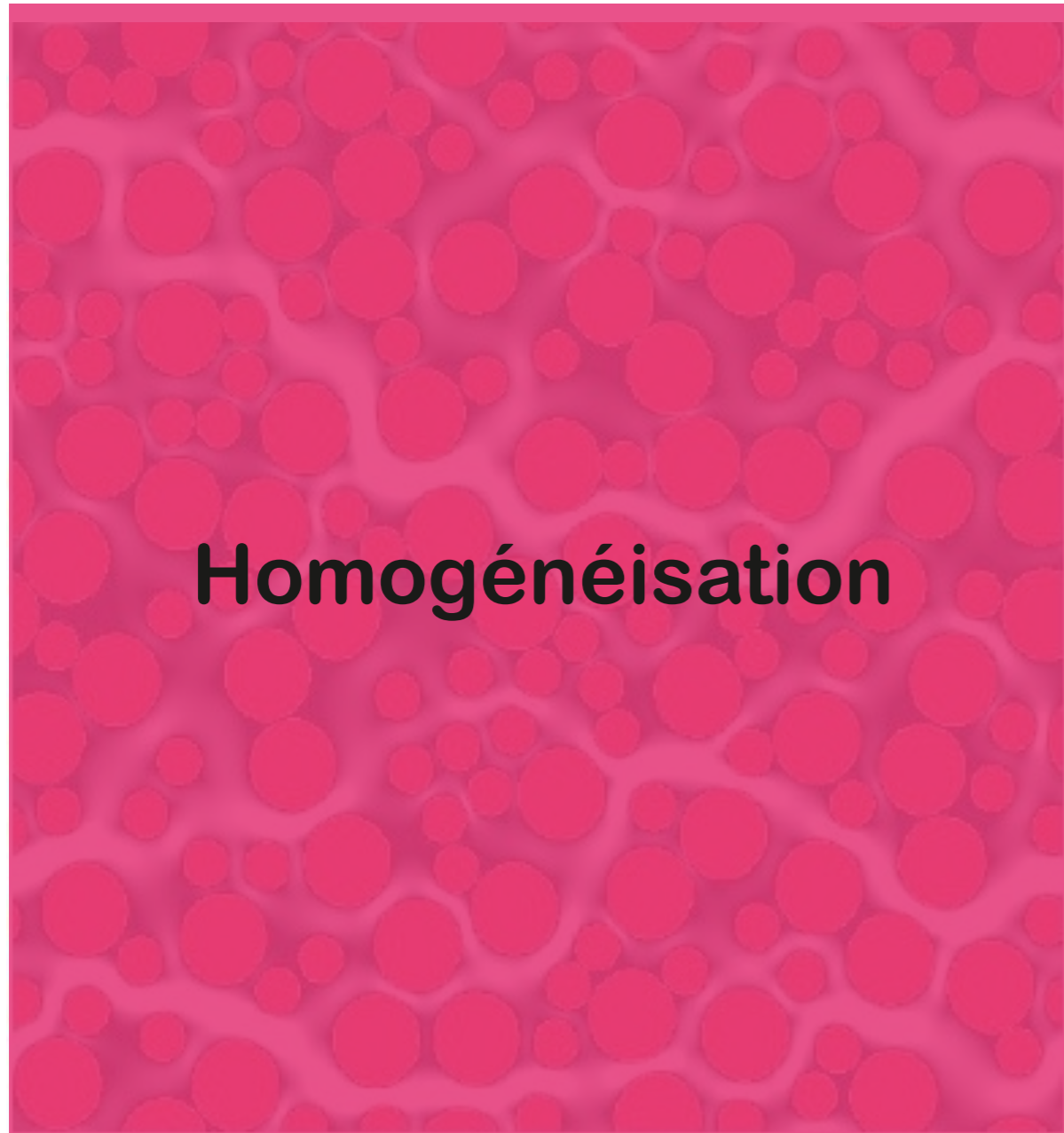


Basses fréquences

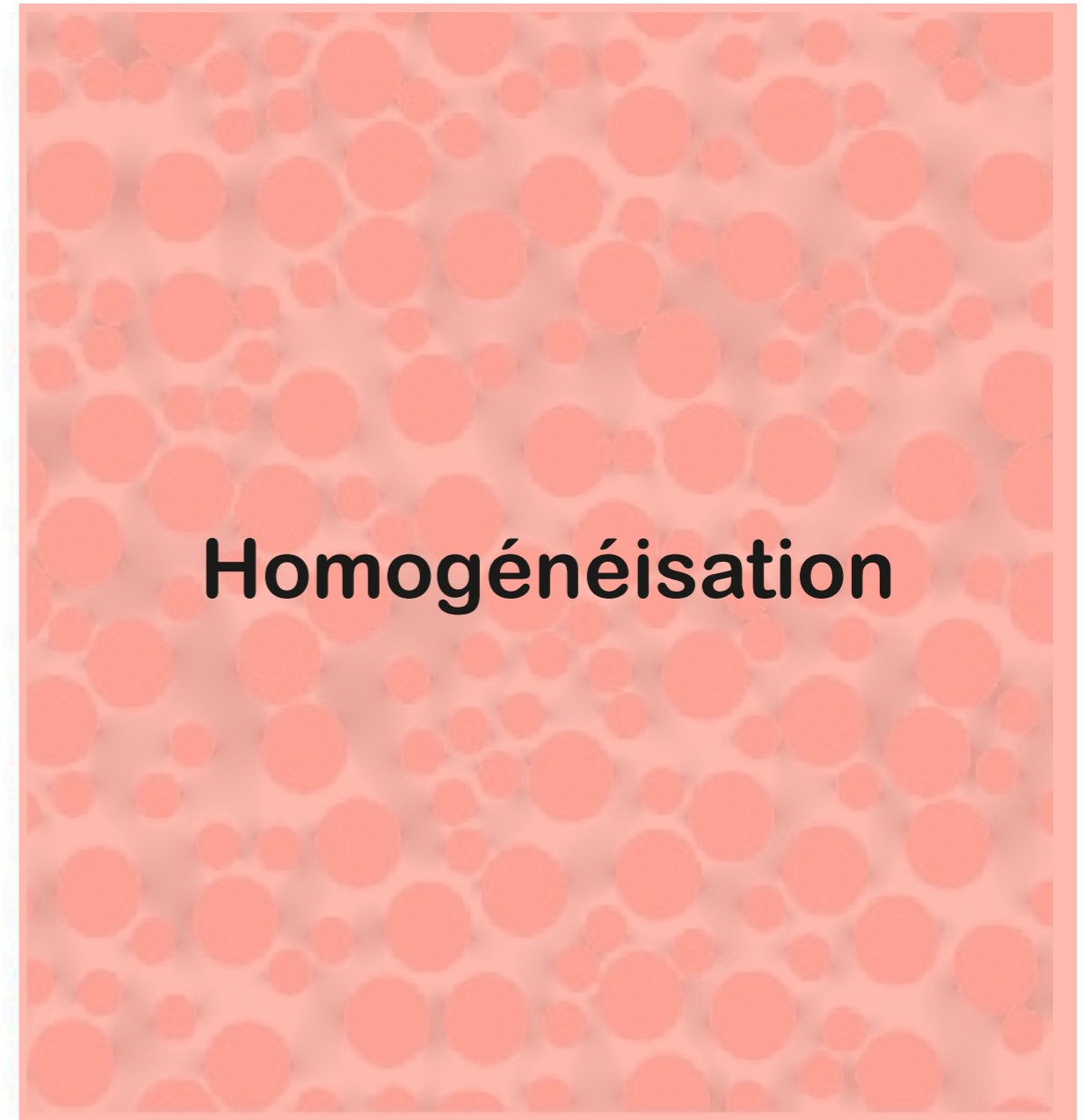


Hautes fréquences

<http://ciks.cbt.nist.gov/~garbocz/paper32/>



Basses fréquences

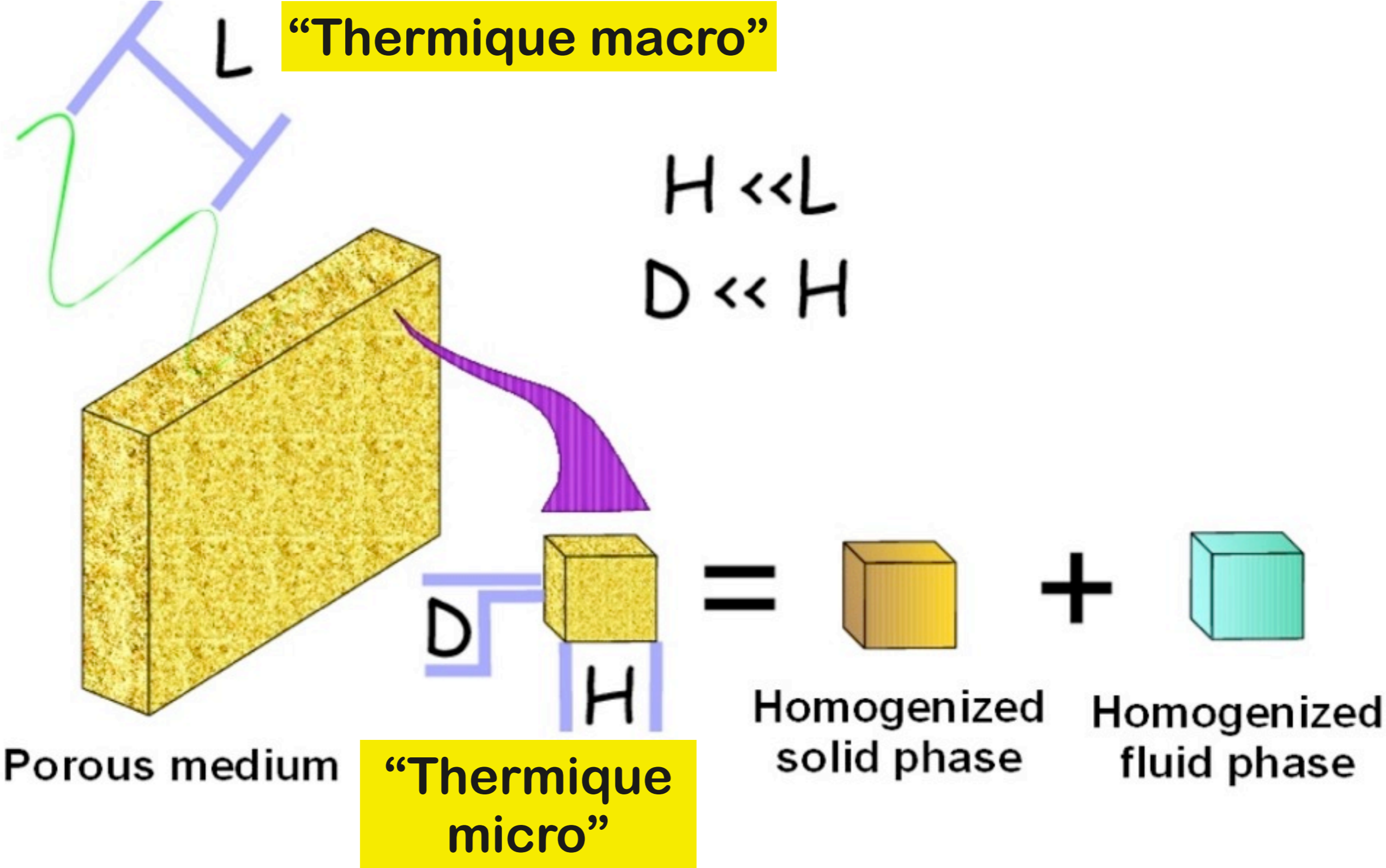


Hautes fréquences

<http://ciks.cbt.nist.gov/~garbocz/paper32/>

“Thermique macro”

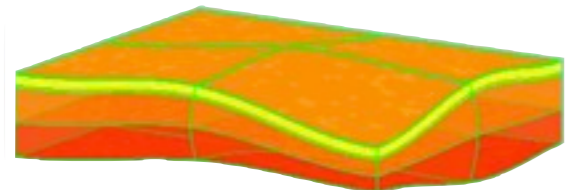
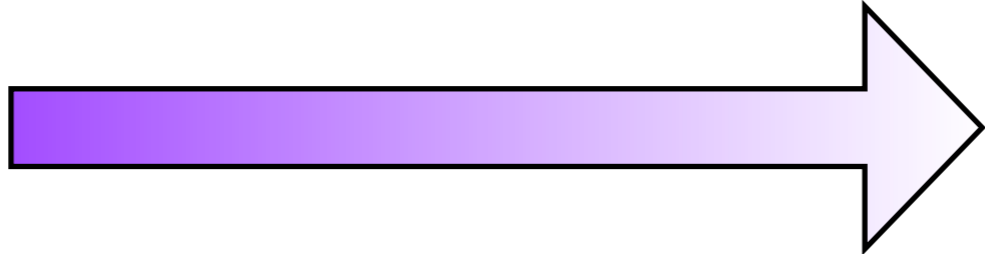
$$H \ll L$$
$$D \ll H$$



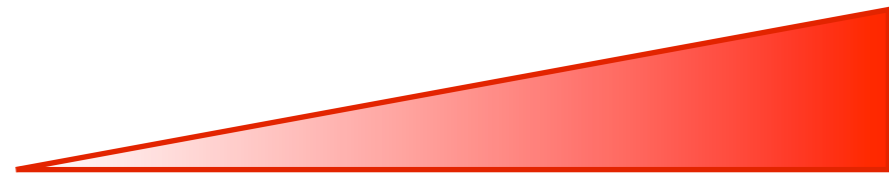
Type de modèles	Phase solide	Phase fluide
In-vacuo		
Fluide équivalent		
Modèle limp	Mouvement sans NRJ de déformation	
Modèle de Biot		

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \sigma^s &= -\omega^2 \tilde{\rho}_{11} u^s - \omega^2 \tilde{\rho}_{12} u^f, & \sigma_{ij}^s(u^s, u^f) &= \tilde{A} \nabla \cdot u^s \delta_{ij} + 2N \epsilon_{ij}^s(u^s) + \tilde{Q} \nabla \cdot u^f \delta_{ij}, \\ \nabla \cdot \sigma^f &= -\omega^2 \tilde{\rho}_{12} u^s - \omega^2 \tilde{\rho}_{22} u^f, & \sigma_{ij}^f(u^s, u^f) &= \tilde{Q} \nabla \cdot u^s \delta_{ij} + \tilde{R} \nabla \cdot u^f \delta_{ij}. \end{aligned}$$

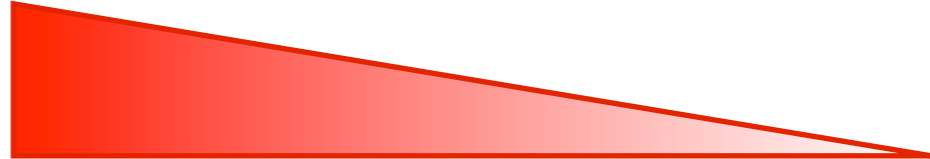
Schéma numérique



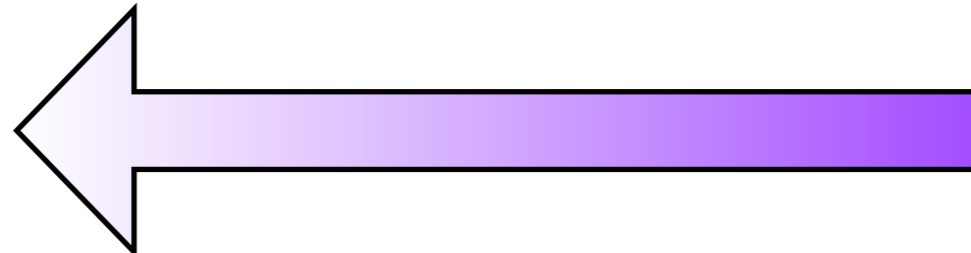
FEM



Coût de calcul



Effets de taille finie



Panneaux plans



TMM

Kirchhoff theory - 1868
Stinson JASA 89(2) - 1981

- Equation de Navier-Stokes:

$$j\omega\rho_0\vec{v} = -\nabla p + \left(\frac{4}{3}\eta + \zeta\right) \nabla \nabla \cdot \vec{v} - \eta \nabla \wedge \nabla \wedge \vec{v}.$$

- Conservation de la masse:

$$j\omega\rho = -\rho_0 \nabla \cdot \vec{v}.$$

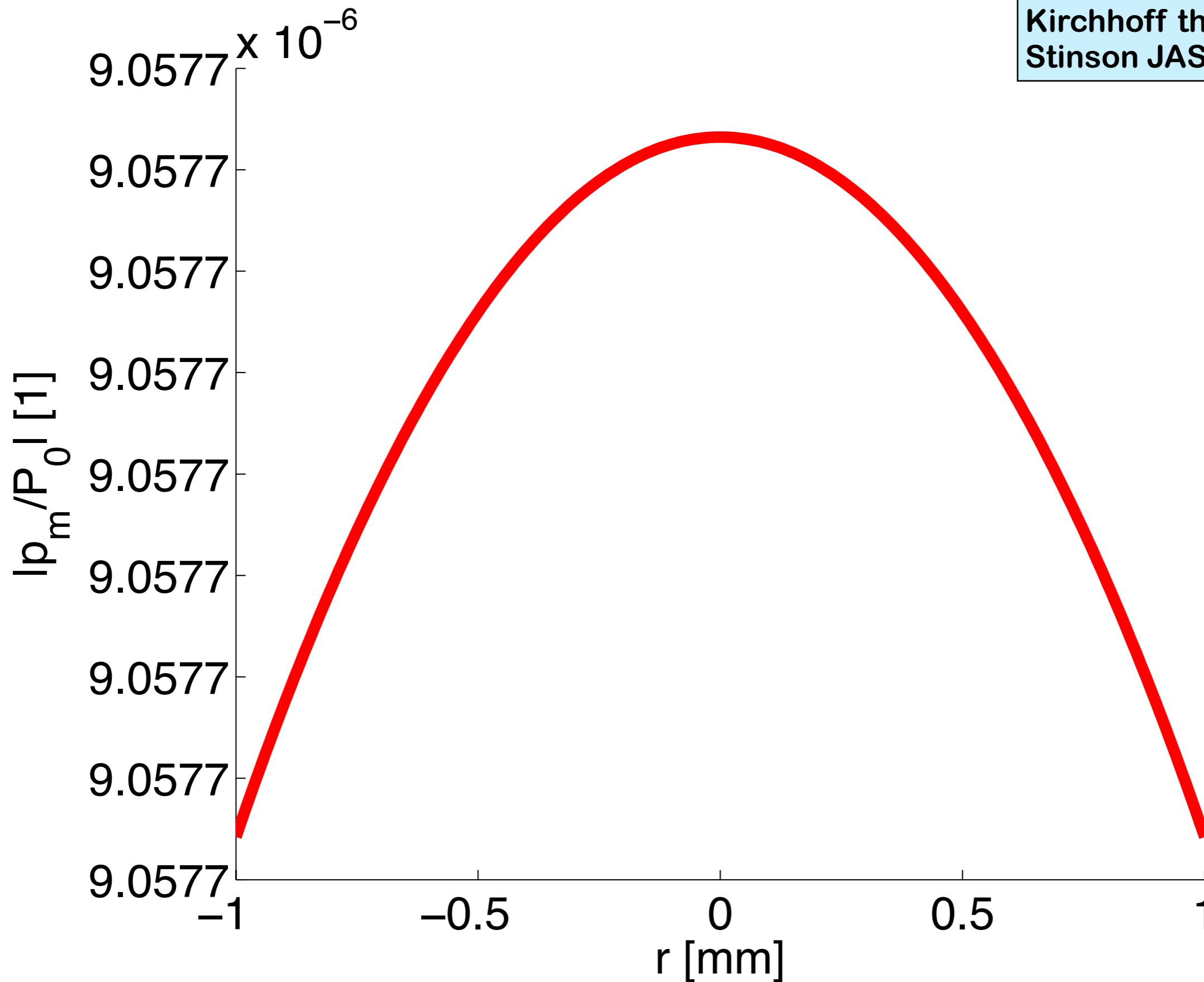
- Equation de la chaleur:

$$\kappa \nabla^2 \tau = j\omega \frac{T_0}{P_0} (\rho_0 C_v p - P_0 C_p \rho).$$

- Equation d'Etat

$$p = \frac{P_0}{\rho_0 T_0} (\rho_0 \tau + T_0 \rho).$$

Fluide équivalent: la base



Kirchhoff theory - 1868
Stinson JASA 89(2) - 1981

$$-\omega^2 \tilde{\rho}_{eq} \mathbf{u}_{eq} = -\nabla p \quad p = -\tilde{K}_{eq} \nabla \cdot \mathbf{u}_{eq}$$

Deux équations en apparence purement mécaniques

$$-\omega^2 \tilde{\rho}_{eq} \mathbf{u}_{eq} = -\nabla p \quad p = -\tilde{K}_{eq} \nabla \cdot \mathbf{u}_{eq}$$

Deux équations en apparence purement mécaniques



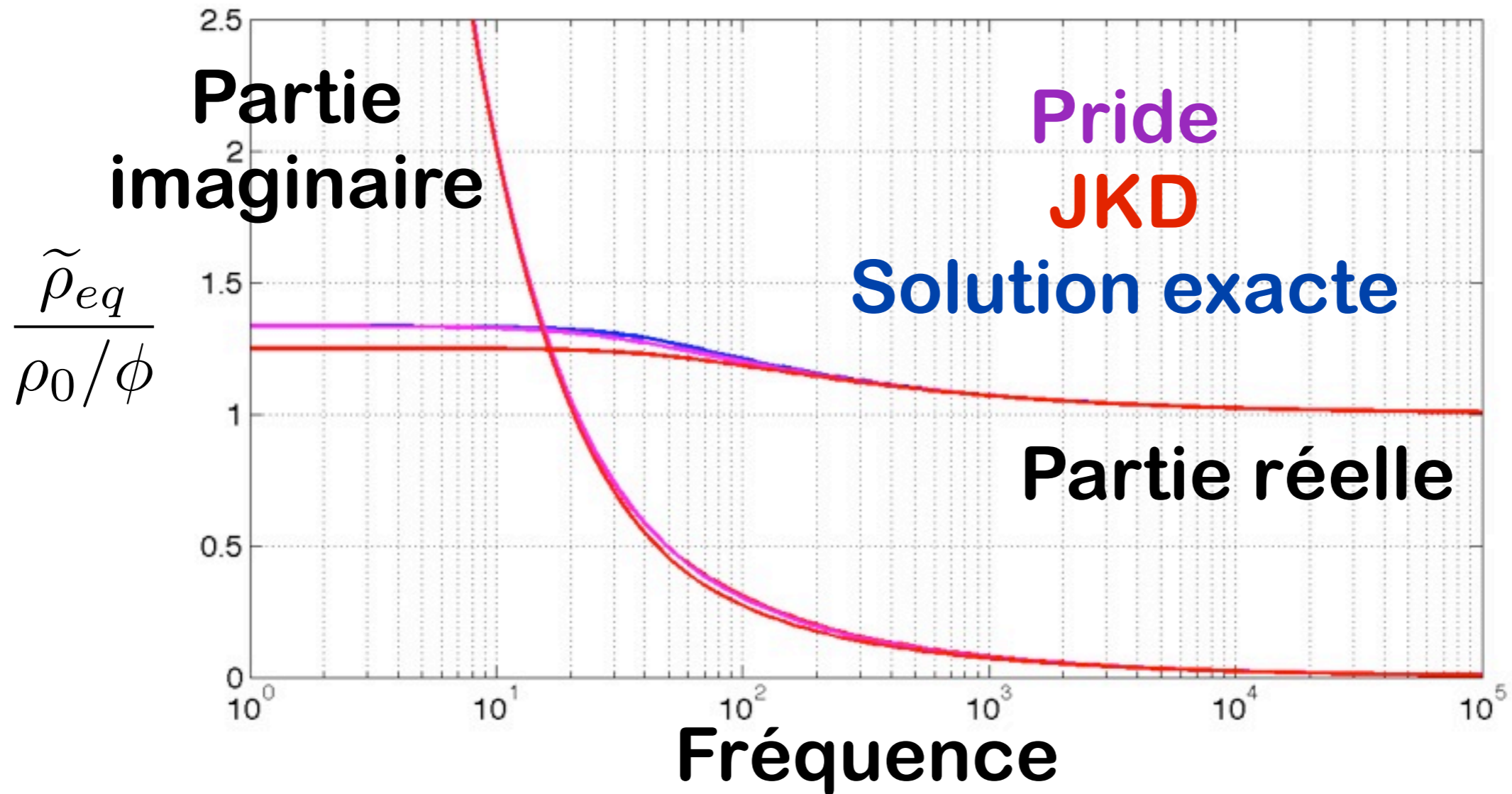
Fluide équivalent

- ➔ Densité et compressibilité équivalentes
- ➔ Dépendantes de la fréquence
- ➔ Complexes (Dissipation)

$$\tilde{\rho}_{eq}(\omega) = \frac{\rho_0 \alpha_\infty}{\phi} \left[1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega_\infty}} \right]$$

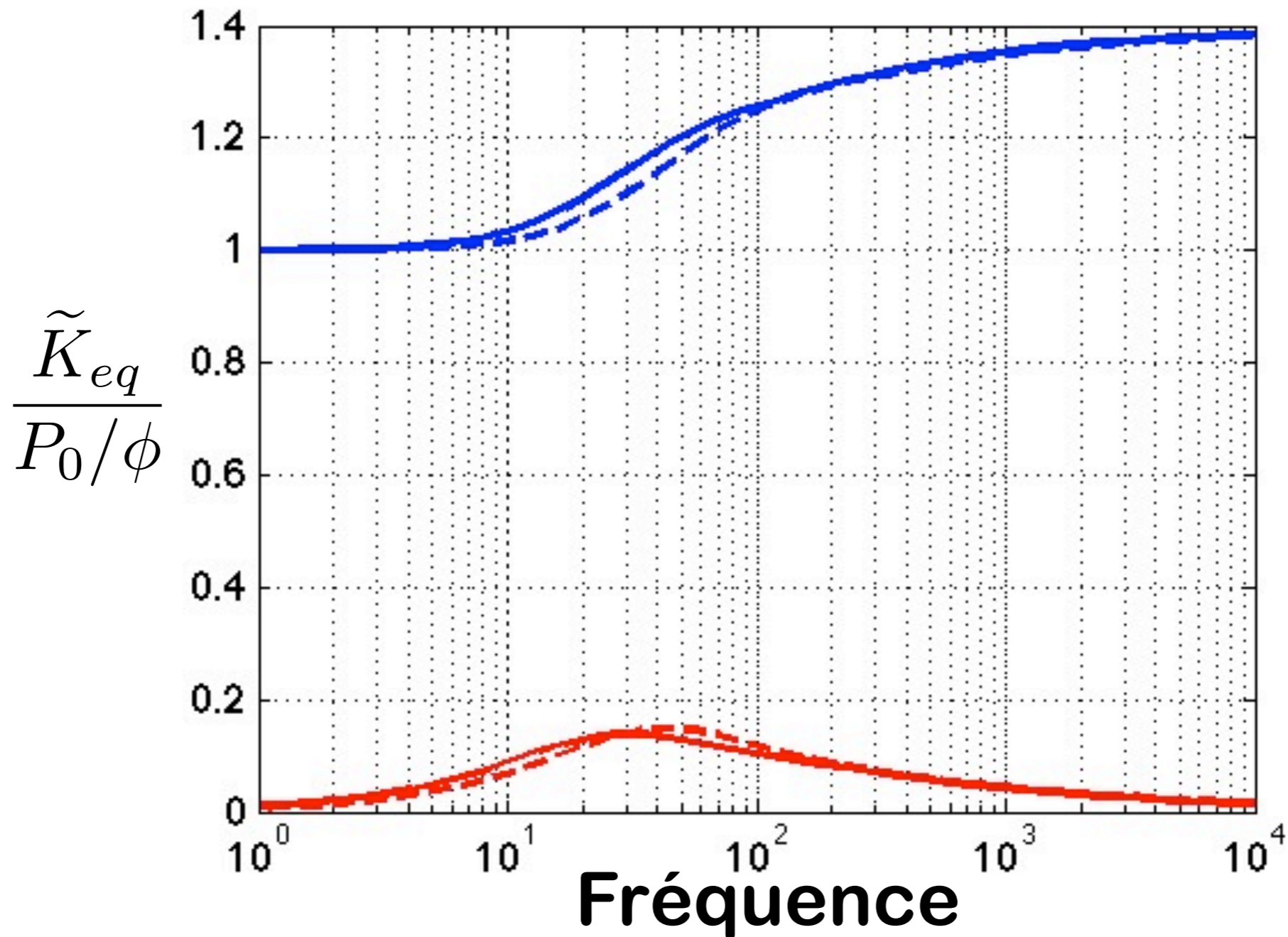
$$\omega_0 = \frac{\eta \phi}{\rho_0 \alpha_\infty k_0}$$

$$\omega_\infty = \frac{\sigma^2 \phi^2 \Lambda^2}{4 \eta \rho_0 \alpha_\infty^2}$$

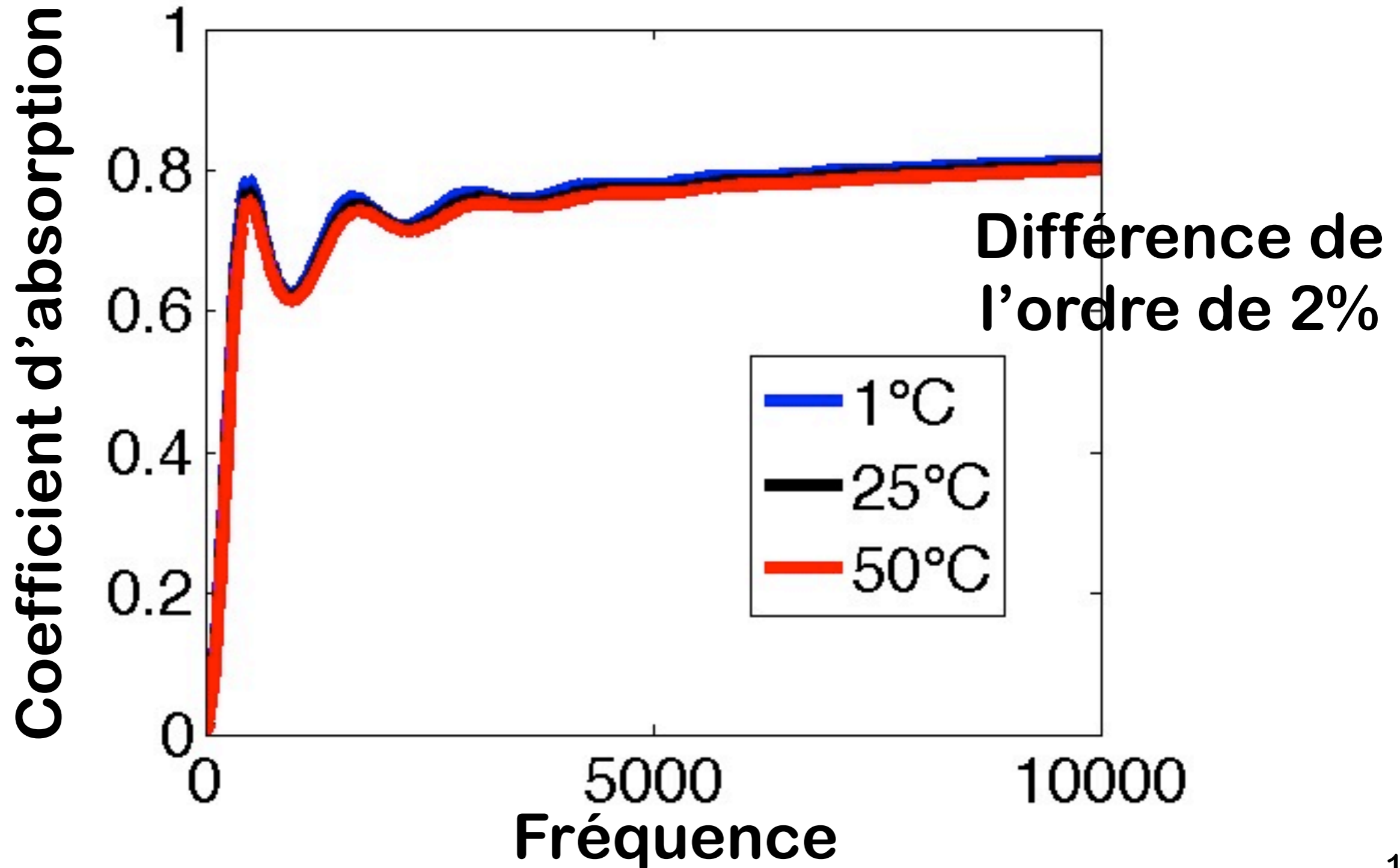


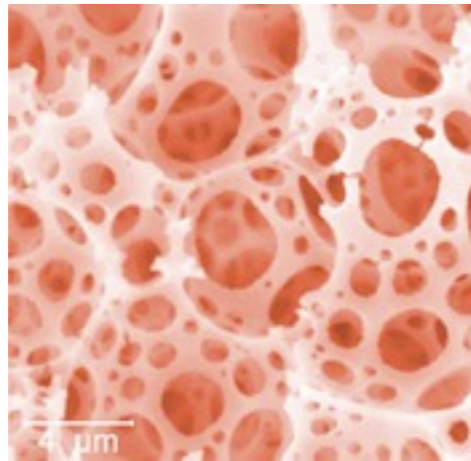
$$\tilde{K}_{eq}(\omega) = \frac{\gamma P_0 / \phi}{\gamma - 1} \frac{\gamma}{1 + \frac{\omega'_\infty}{2j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega'_\infty}}}$$

$$\omega'_\infty = \frac{16\nu'}{\Lambda'^2}$$



Mousse acoustique 8 cm, incidence normale





=



+



Biot (1956)
 $\{u^s, u^f\}$

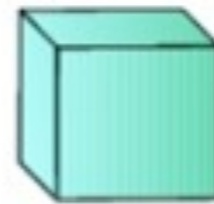
Biot (1962)
 $\{u^s, w\}$

Atalla et al. (1998)
 $\{u^s, p\}$

Dazel et al. (2007)
 $\{u^s, u^t\}$

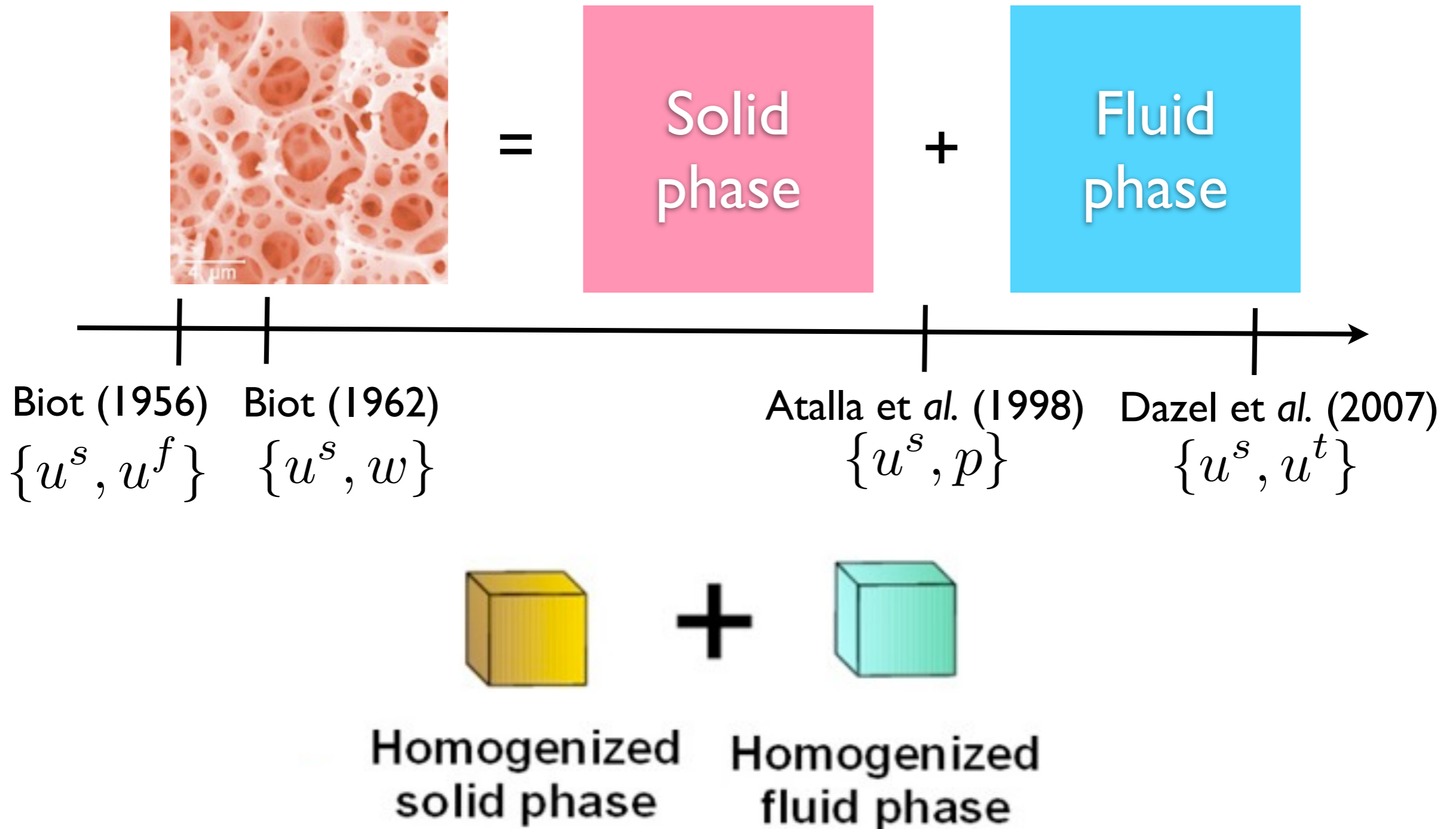


+



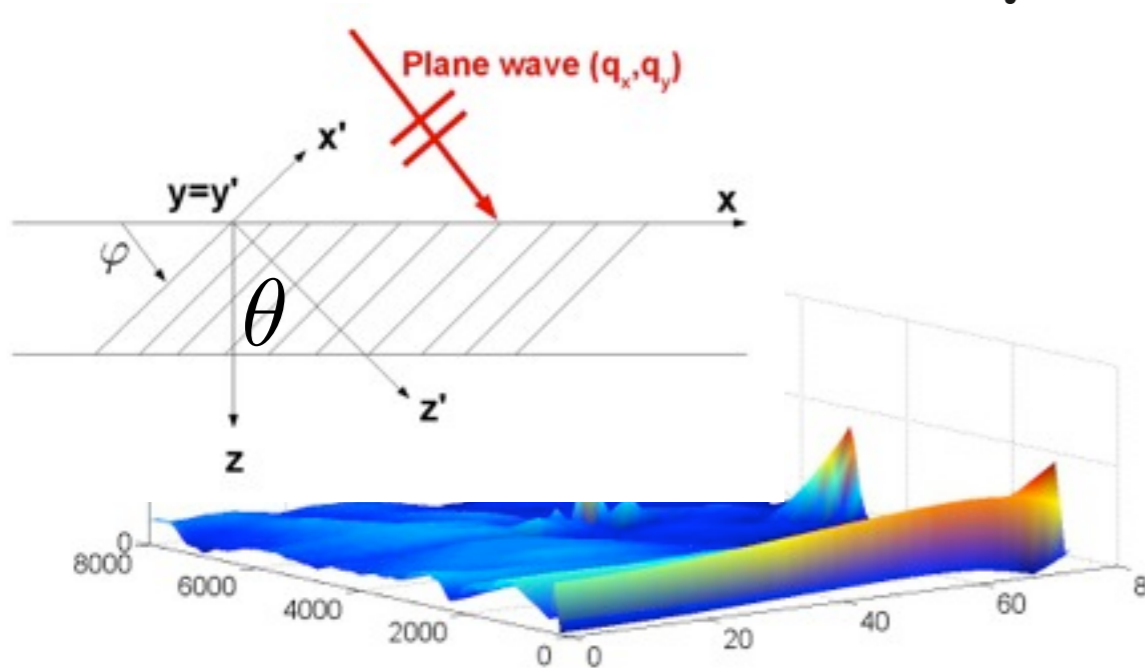
Homogenized
solid phase

Homogenized
fluid phase

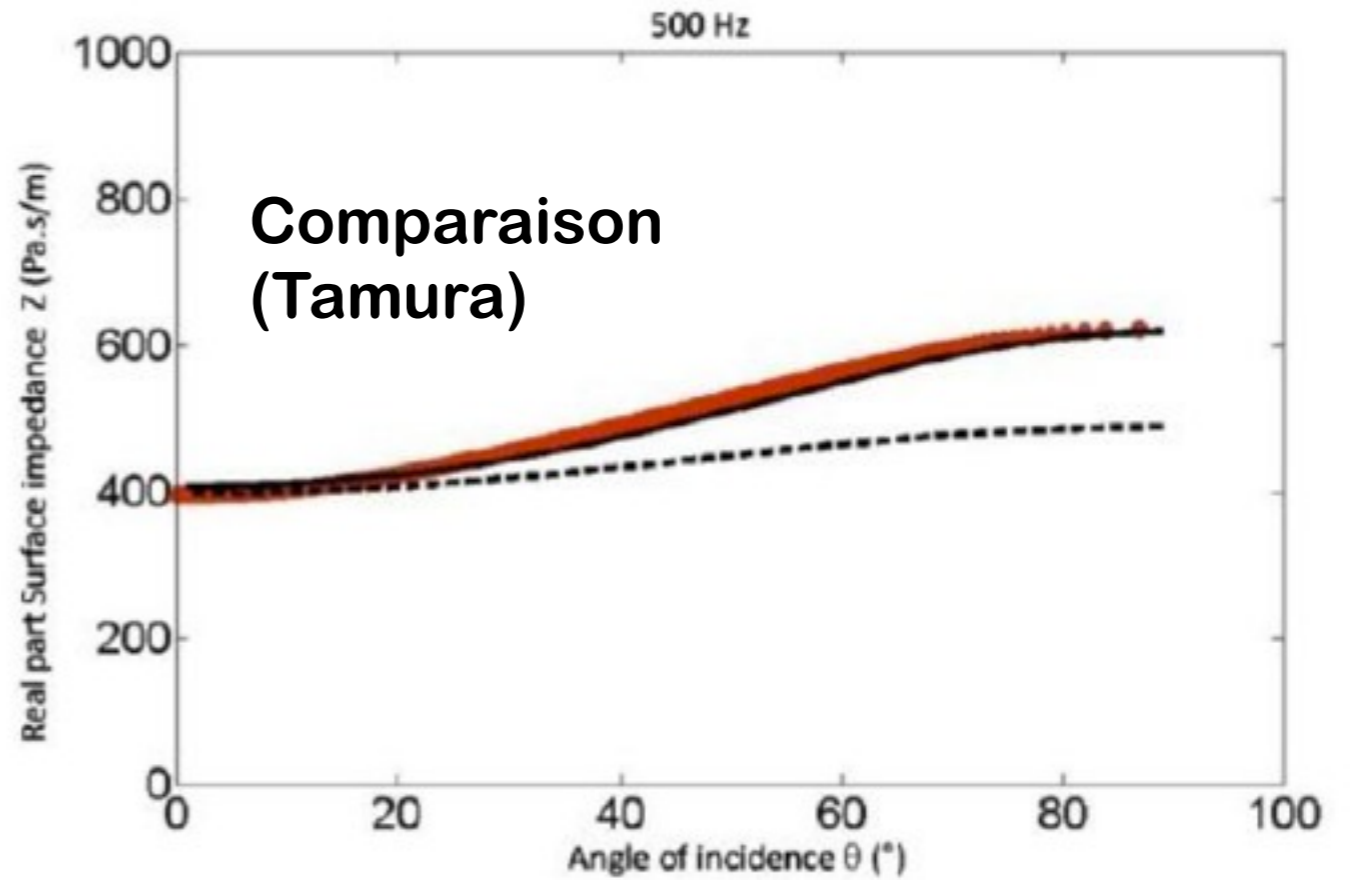


Densités et constantes élastiques à déterminer

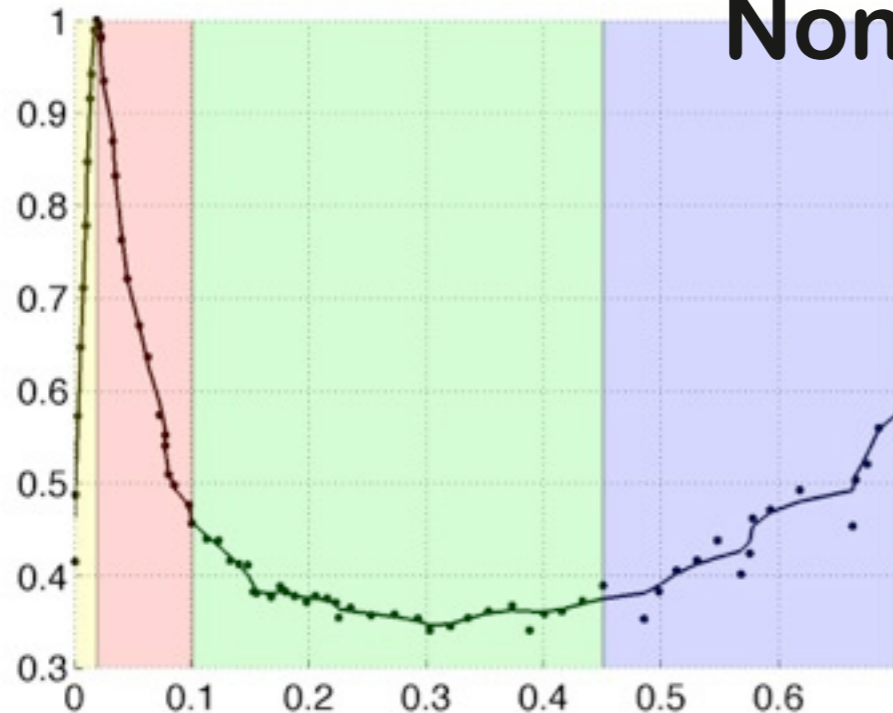
Anisotropie



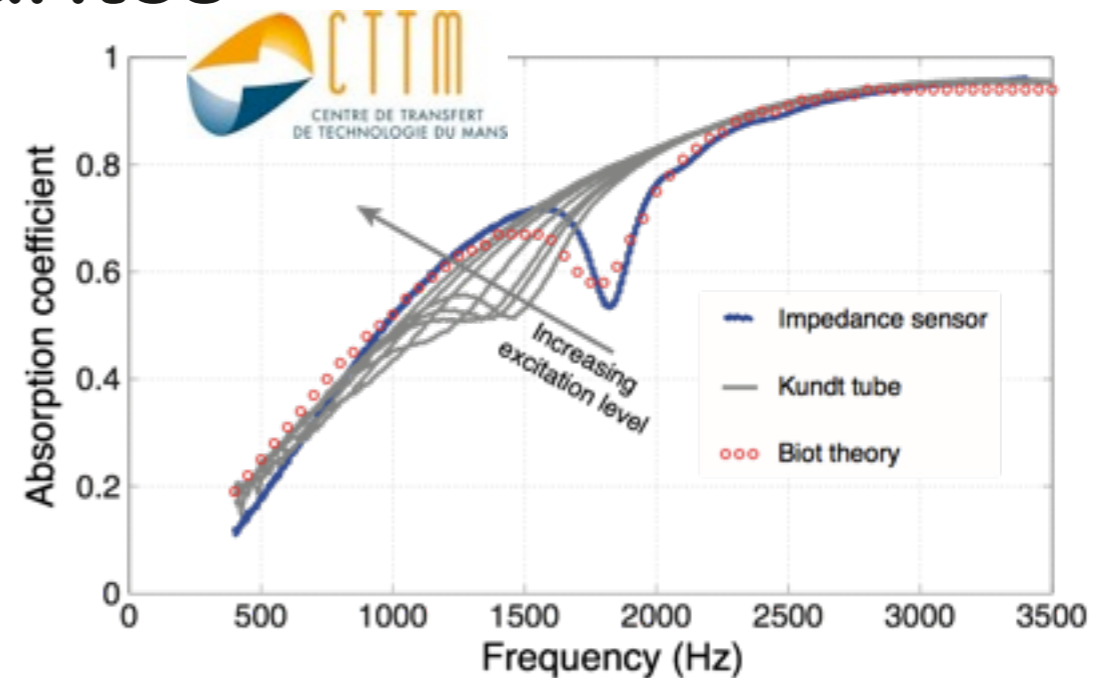
Khurana et al. JASA 2009



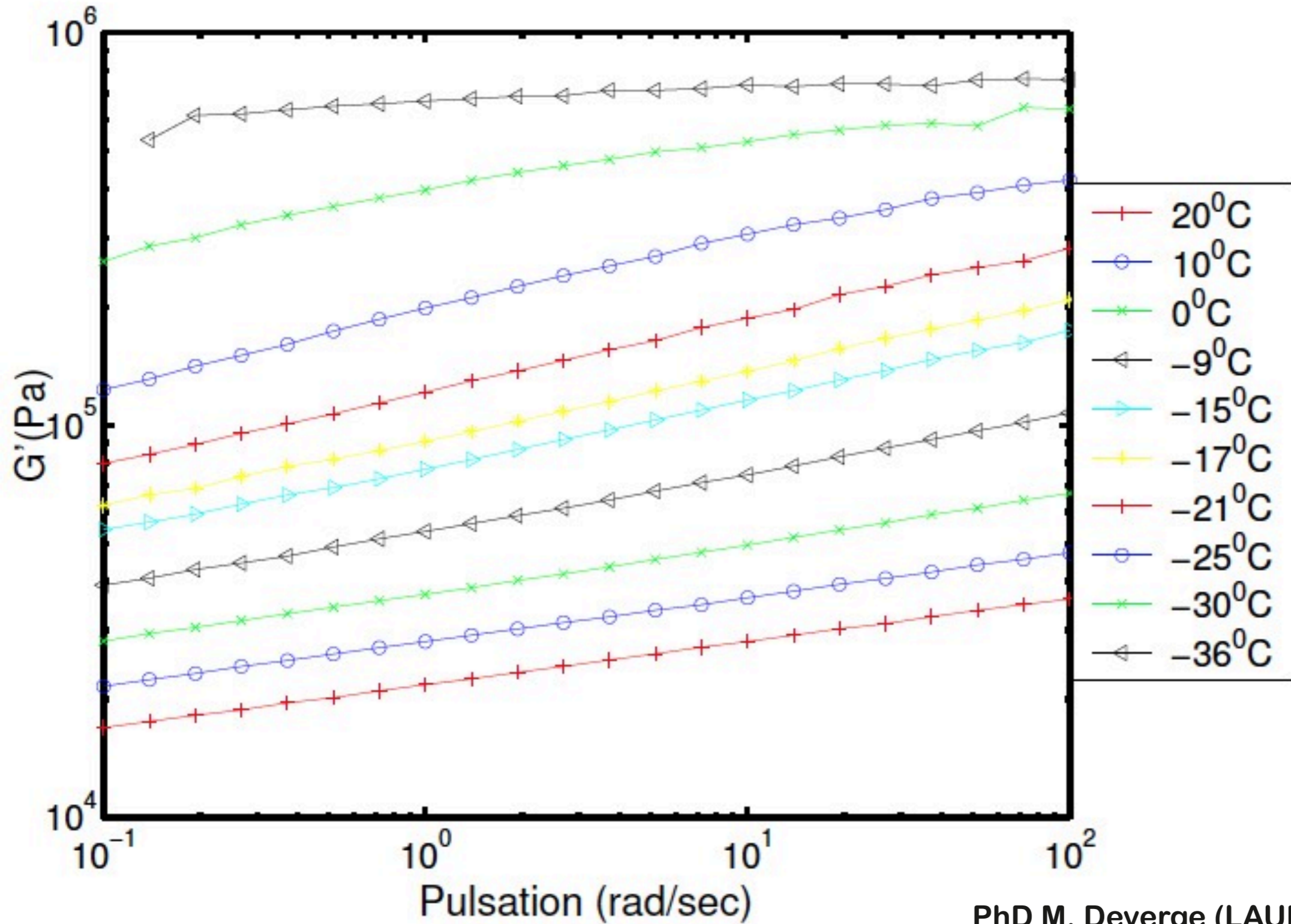
Non linéarités



Geslain et al. JASA 2011

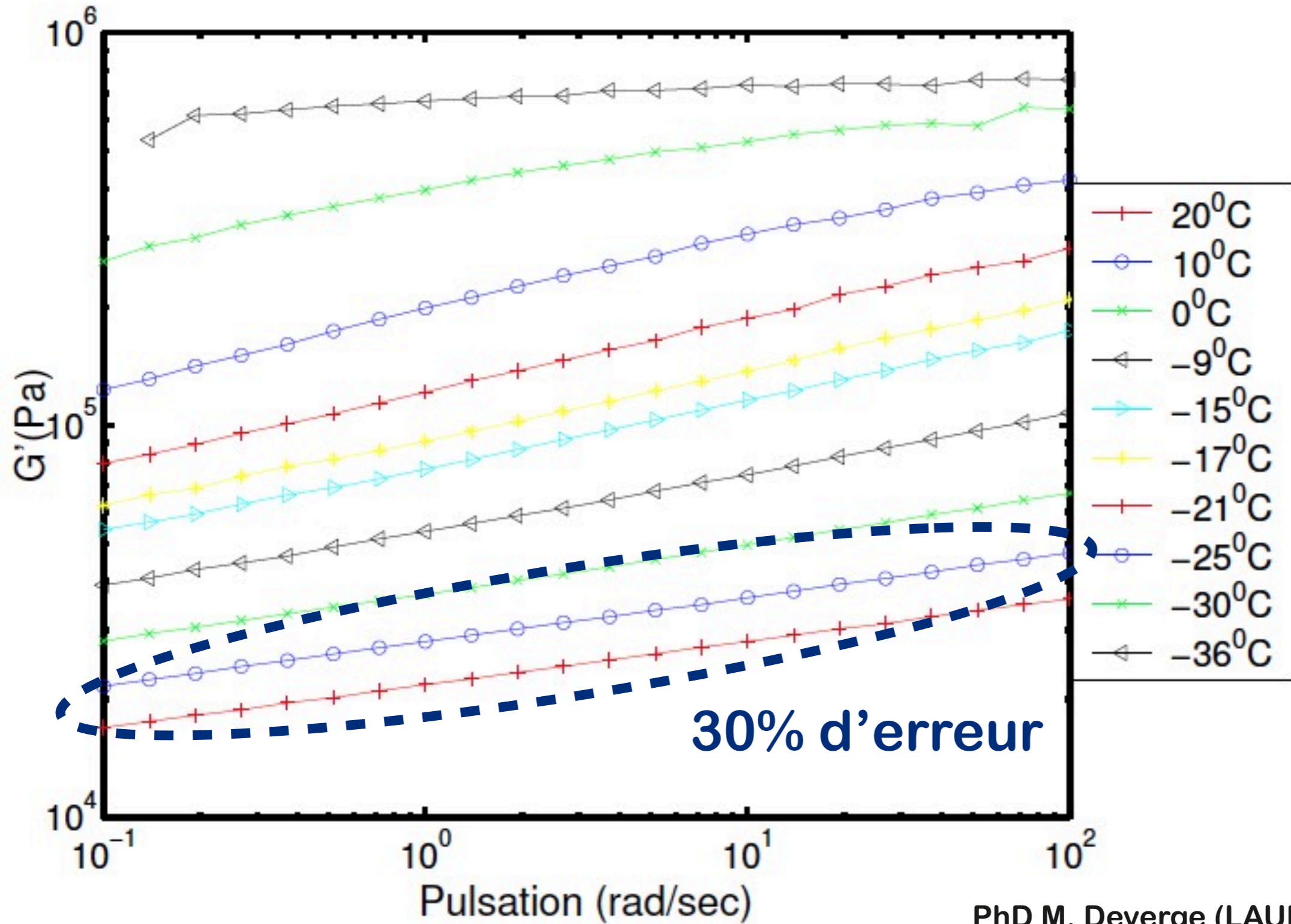


Dépendance vis-à-vis de T



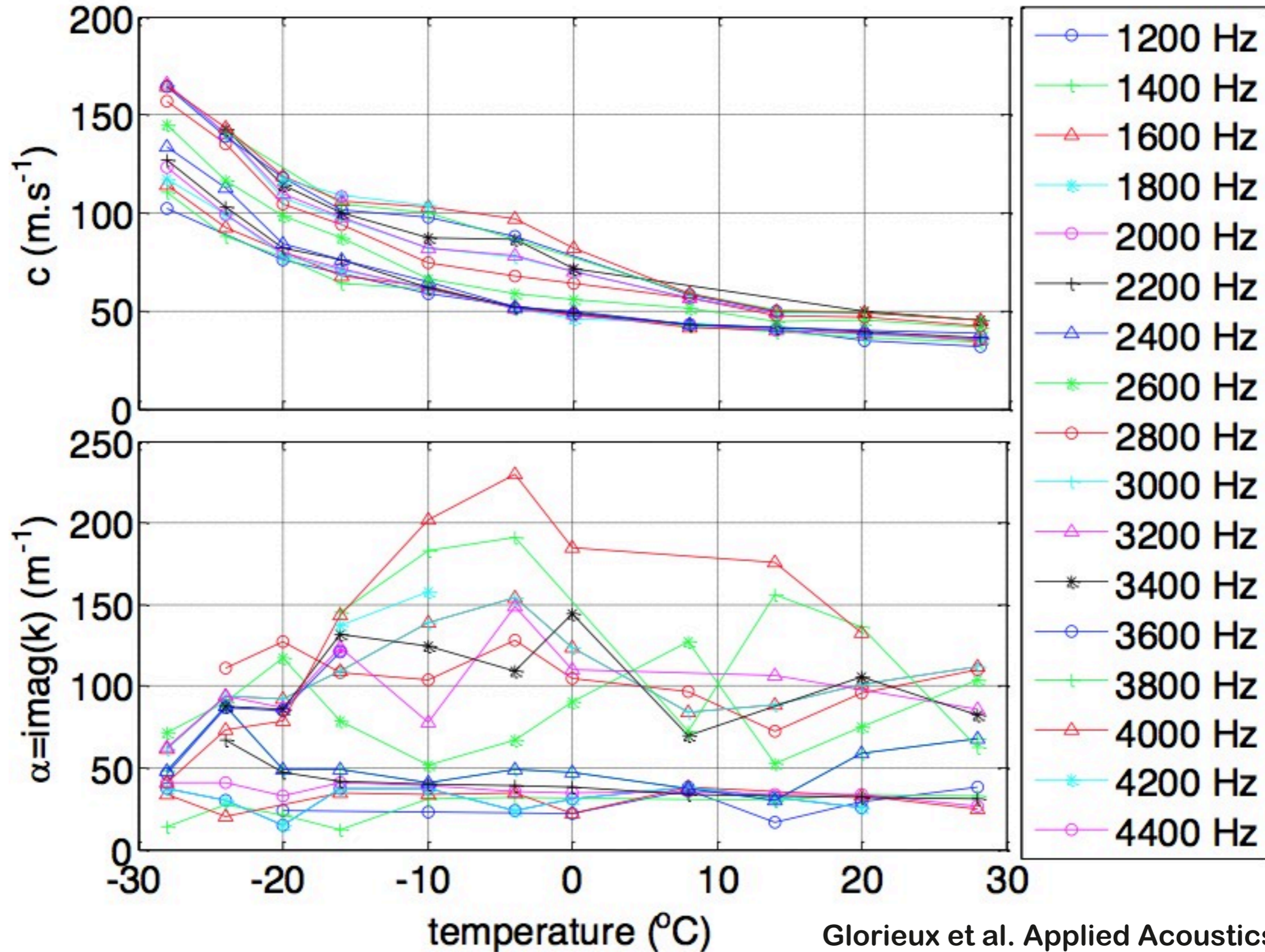
PhD M. Deverge (LAUM 2006)

Dépendance vis-à-vis de T

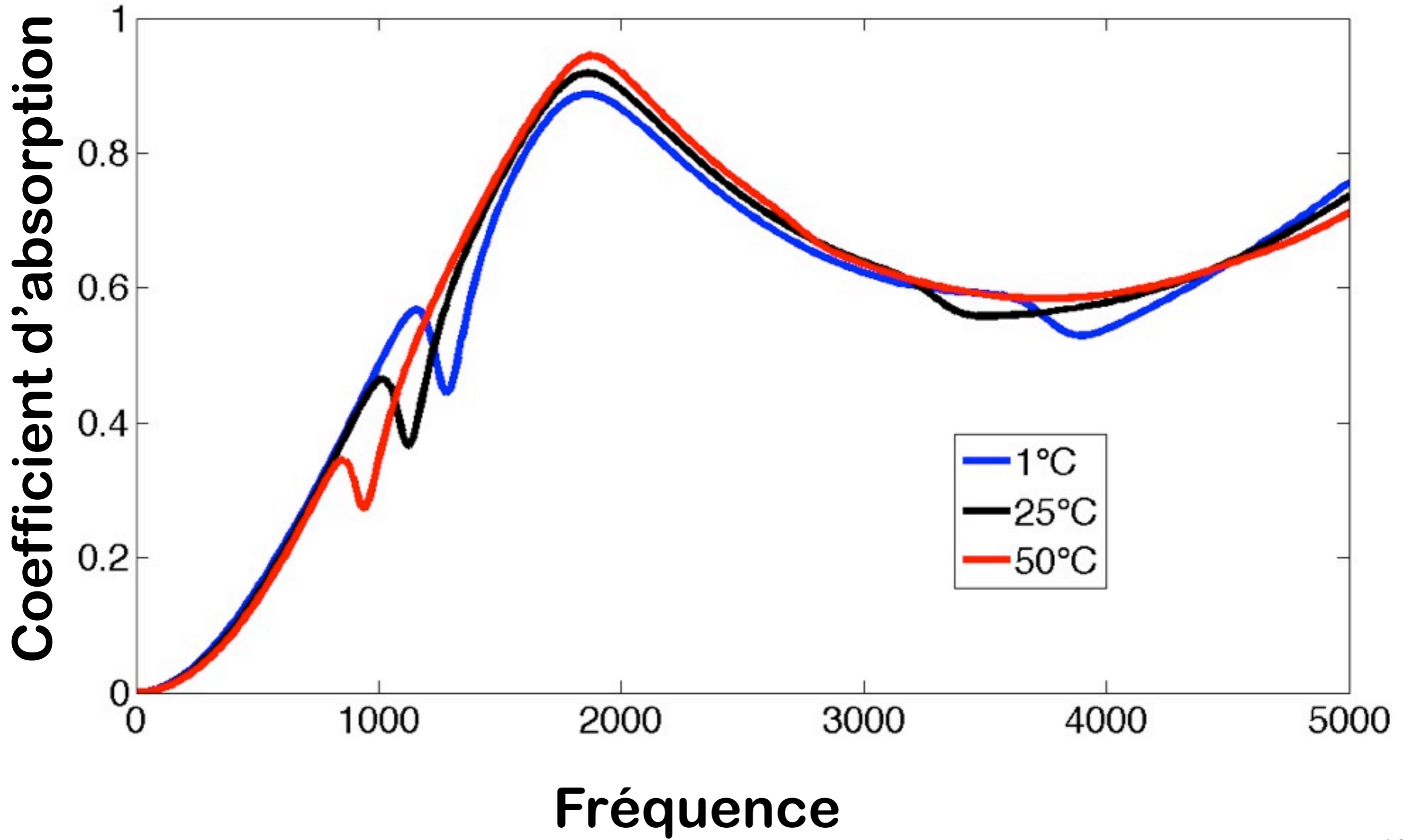


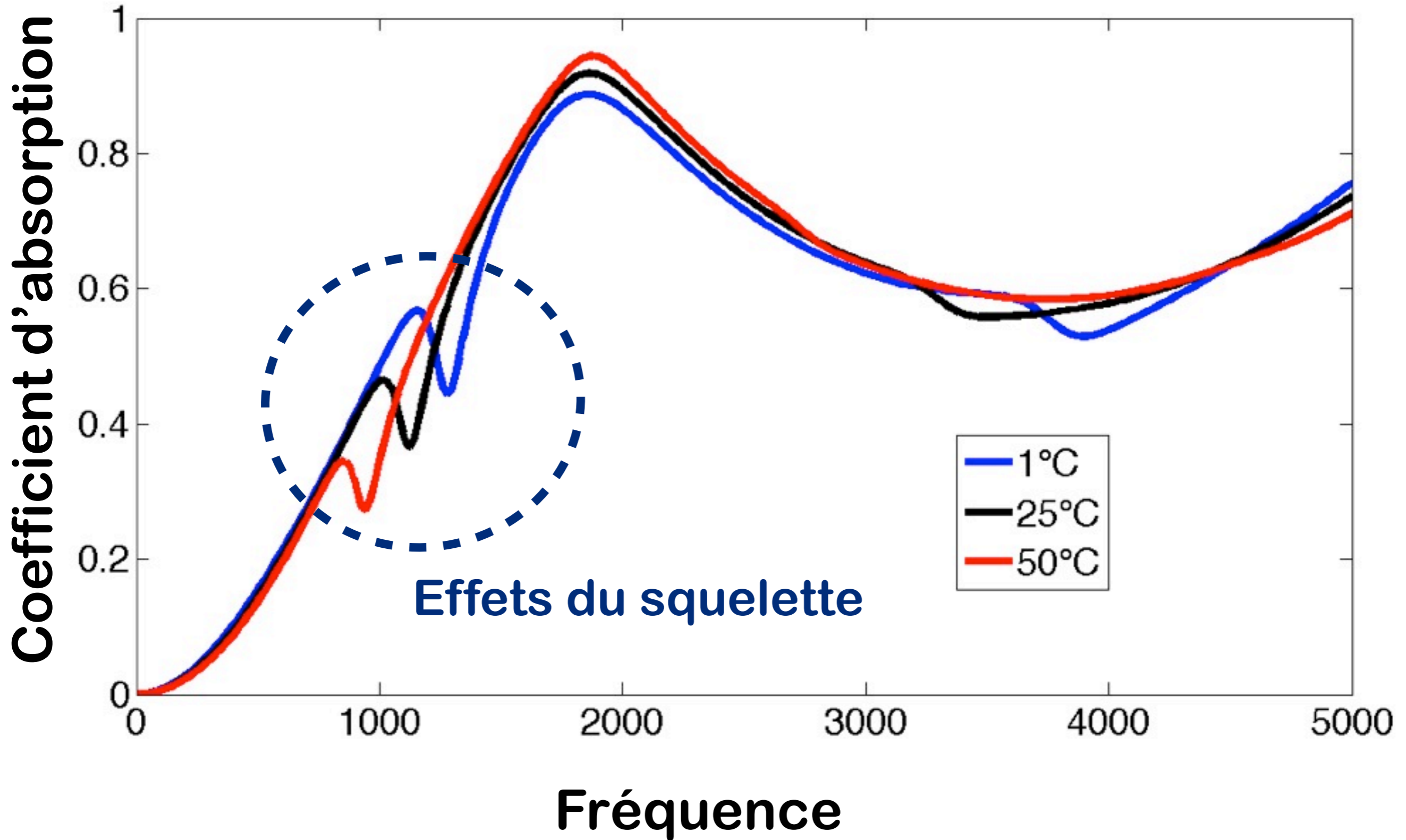
PhD M. Deverge (LAUM 2006)

Un autre exemple



Glorieux et al. Applied Acoustics 2013





- ➔ Des modèles au formalisme purement mécanique
 - ➔ Au delà de leur utilisation acoustique usuelle
- ➔ Fluide équivalent
 - ➔ Paramètres géométriques / thermodynamiques
 - ➔ Prêts à l'usage
- ➔ Solide déformable
 - ➔ Effet microstructure/matériau notable
 - ➔ Nécessité de méthode de caractérisation
 - ➔ Des modèles émergent
- ➔ Ingénierie, bâtiment ?
 - ➔ Effets à relativiser
 - ➔ Convection
 - ➔ Gradient de température

- ➔ Des modèles au formalisme purement mécanique
 - ➔ Au delà de leur utilisation acoustique usuelle
- ➔ Fluide équivalent
 - ➔ Paramètres géométriques / thermodynamiques
 - ➔ Prêts à l'usage
- ➔ Solide déformable
 - ➔ Effet microstructure/matériau notable
 - ➔ Nécessité de méthode de caractérisation
 - ➔ Des modèles émergent
- ➔ Ingénierie, bâtiment ?
 - ➔ Effets à relativiser
 - ➔ Convection
 - ➔ Gradient de température

Merci de votre attention
olivier.dazel@univ-lemans.fr