ONERA

Design des Matériaux Cellulaires pour la Réduction du Bruit à Haute Température

S. Gasser, F. Paun

ONERA

Département Matériaux Métalliques et Procédés (DMMP)

ONERA

Plan de l'exposé

- Besoins aéronautiques
- Matériaux développés au DMMP
- Propriétés acoustiques
- Propriétés mécaniques

S. Gasser

- Elaboration des matériaux
- Perspectives

F. Paun

ONERA

Introduction

- Objectif : réduction du bruit des aéronefs
  - Réduction de la production de bruit
  - Orientation du bruit
  - Absorption *in situ*
- Projet : revêtements acoustiques chauds
  - Hautes températures
  - Environnement chimique
  - Chocs thermiques, vibrations
  - Tenue mécanique

ONERA

Revêtements acoustiques en zone chaude

Position du revêtement envisagé

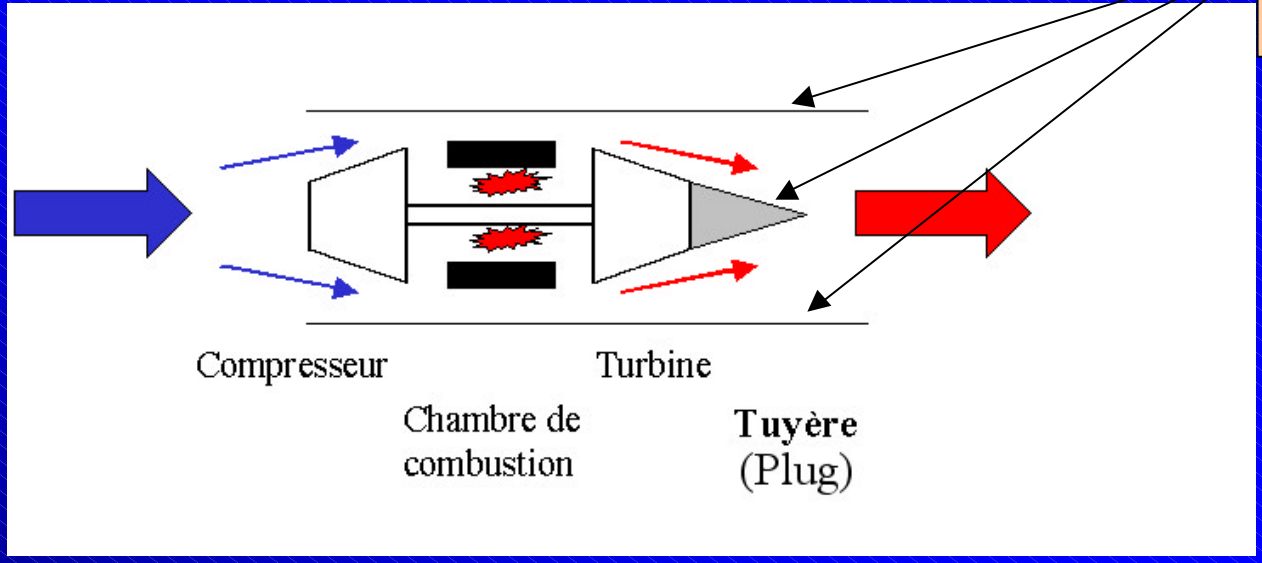


Schéma simplifié d'une turbomachine

Choix des matériaux

- Classe de matériaux
  - Hautes températures → ~~Polymères~~ | Céramiques | Métaux
  - Chocs thermiques, Vibrations → ~~Polymères~~ | ~~Céramiques~~ | Métaux
- Alliage métallique
  - Oxydation, corrosion : alliage adapté (superalliage base Ni…)

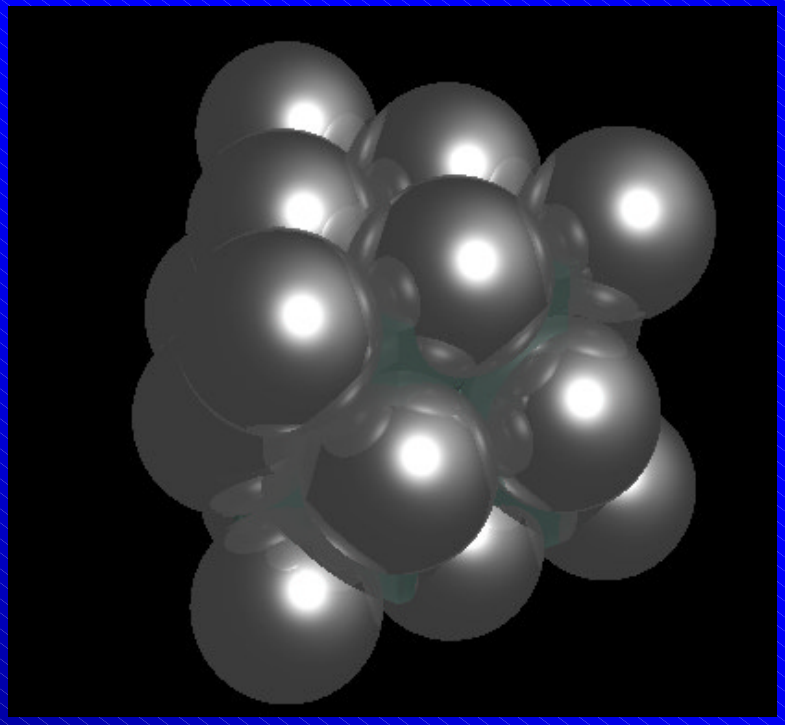
ONERA

Choix de la structure

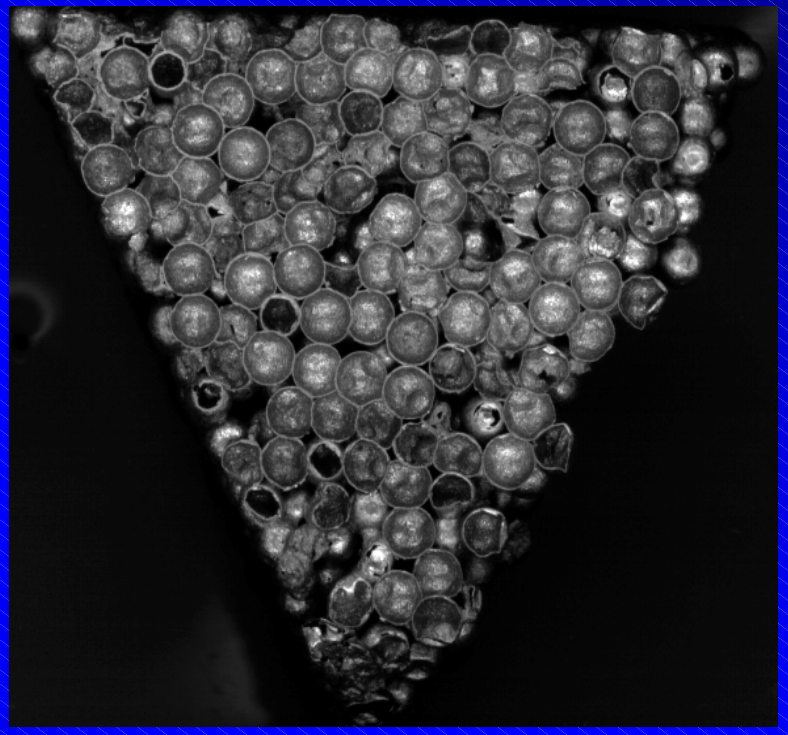
- Structure poreuse
  - Légèreté
  - Porosité ouverte nécessaire à l'absorption acoustique
- Exigences mécaniques
  - Maximisation de E^x/r (critères aéronautiques)
  - Modèle d'Ashby : suggère une porosité fermée
  - Contrainte de plasticité élevée
  - Reproductibilité (faible dispersion) : structure régulière
- Structure retenue : structure périodique, poreuse semi-ouverte

ONERA

Matériaux étudiés au DMMP



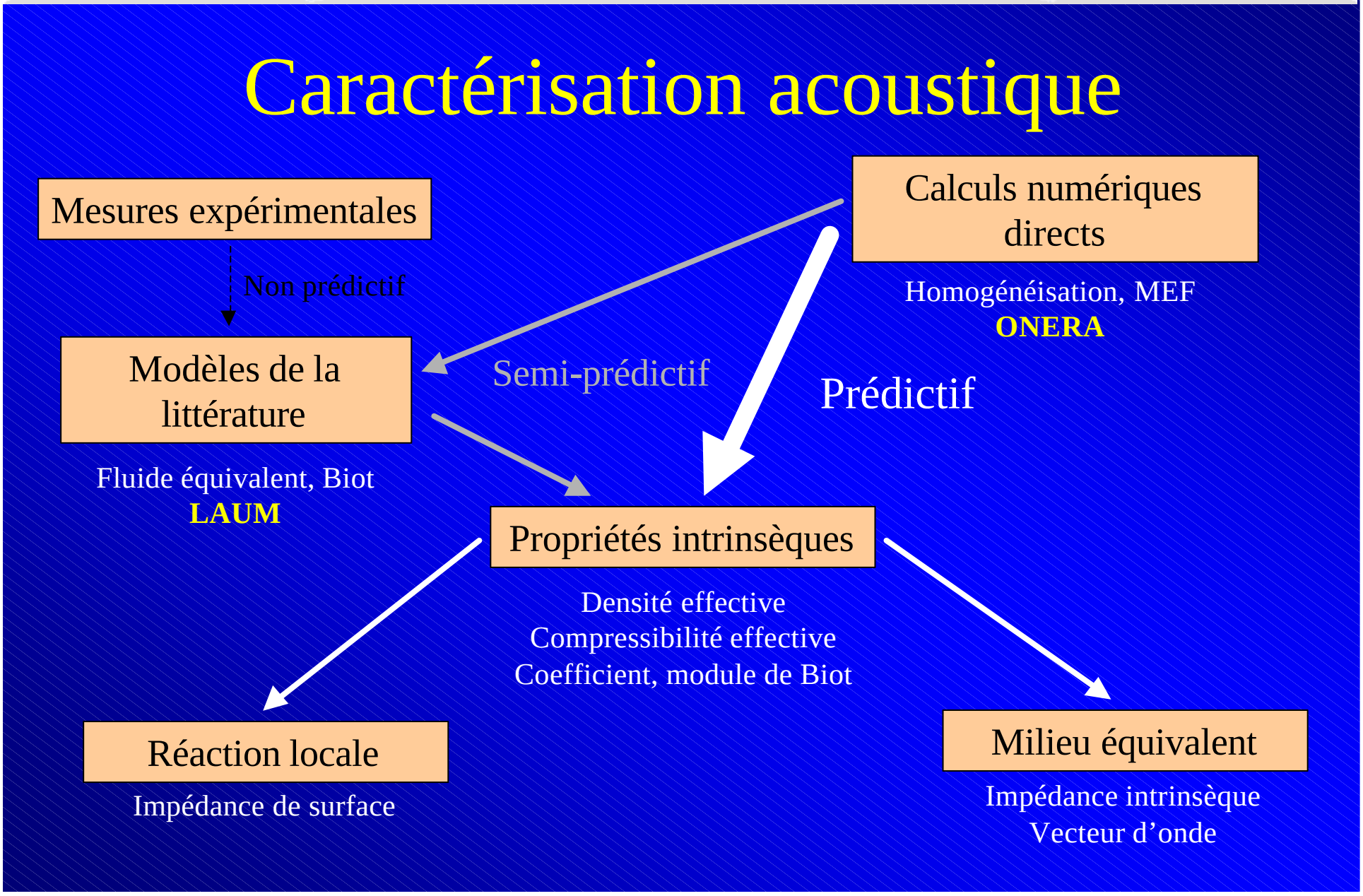
- Assemblage régulier CFC (objectif)



- Échantillon réel actuel (assemblage aléatoire)

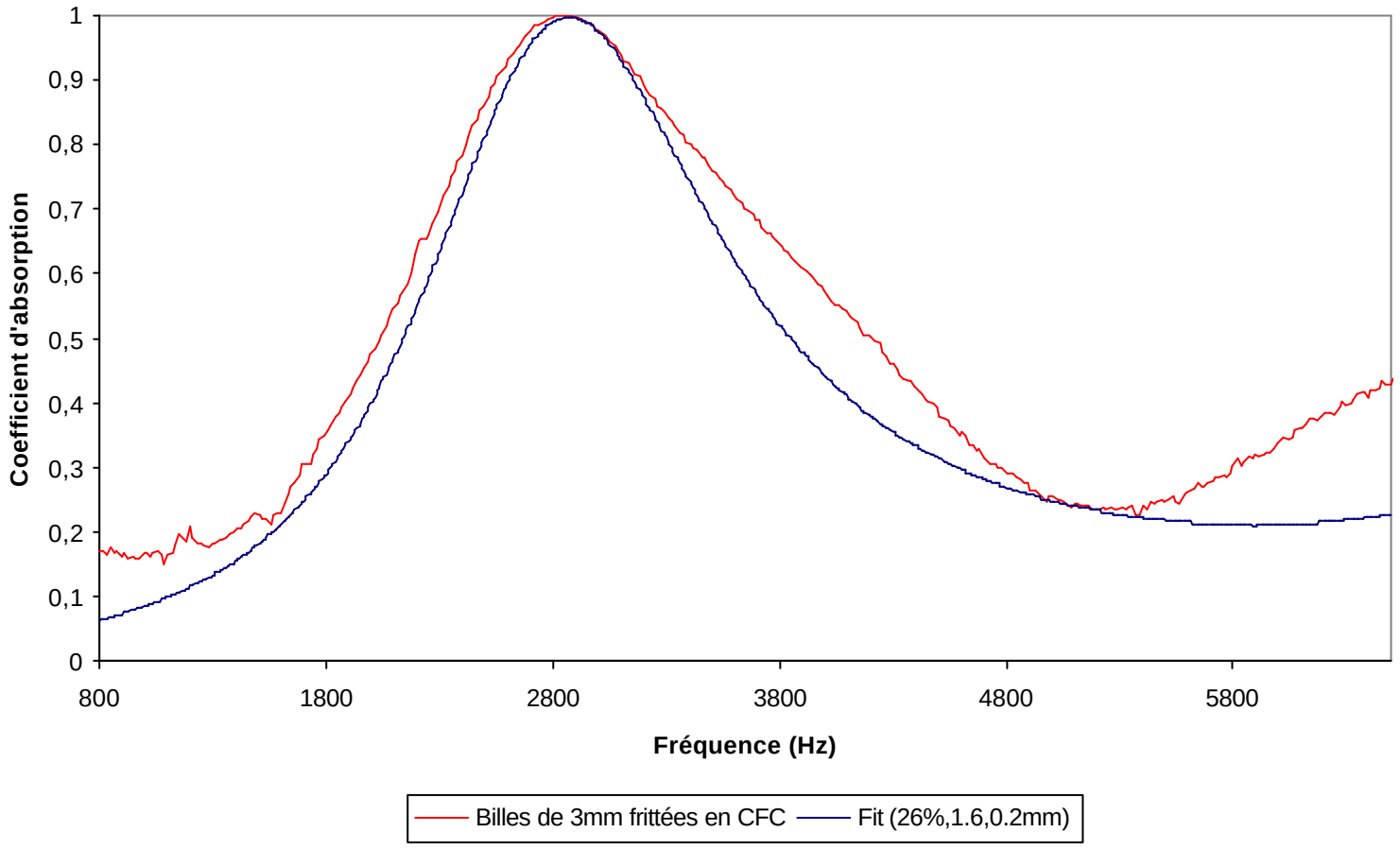
ONERA

Caractérisation acoustique



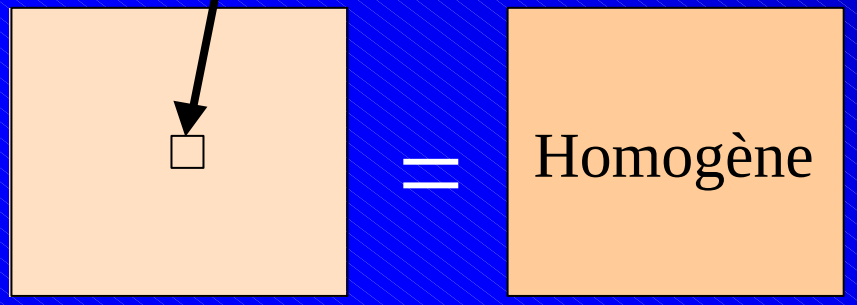
ONERA

Approche semi-prédictive



Approche prédictive

- Approche basée sur l'homogénéisation
  - Longueur d'onde l >> taille des pores R
  - Calcul numérique sur une cellule élémentaire périodique
  - Moyennage : paramètres intrinsèques

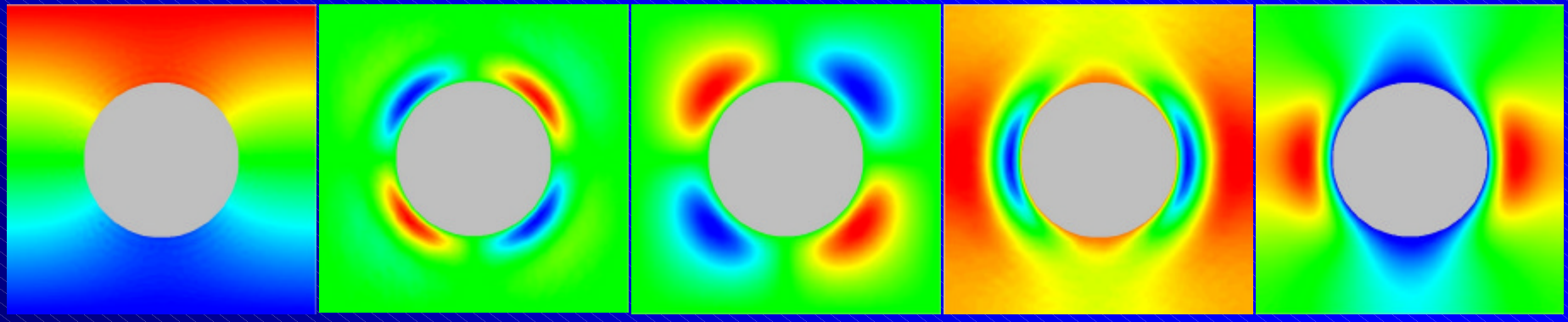


- Développement d'un code de calcul
  - Résolution par éléments finis
  - Valeur ajoutée ONERA

ONERA

Résolution par éléments finis

- Code de calcul EF
  - Résolution du problème à l'échelle locale
  - Moyennage : prédiction des propriétés intrinsèques (densité, compressibilité)
  - Ex: réseau de cylindres, R=1 mm (100 Hz)

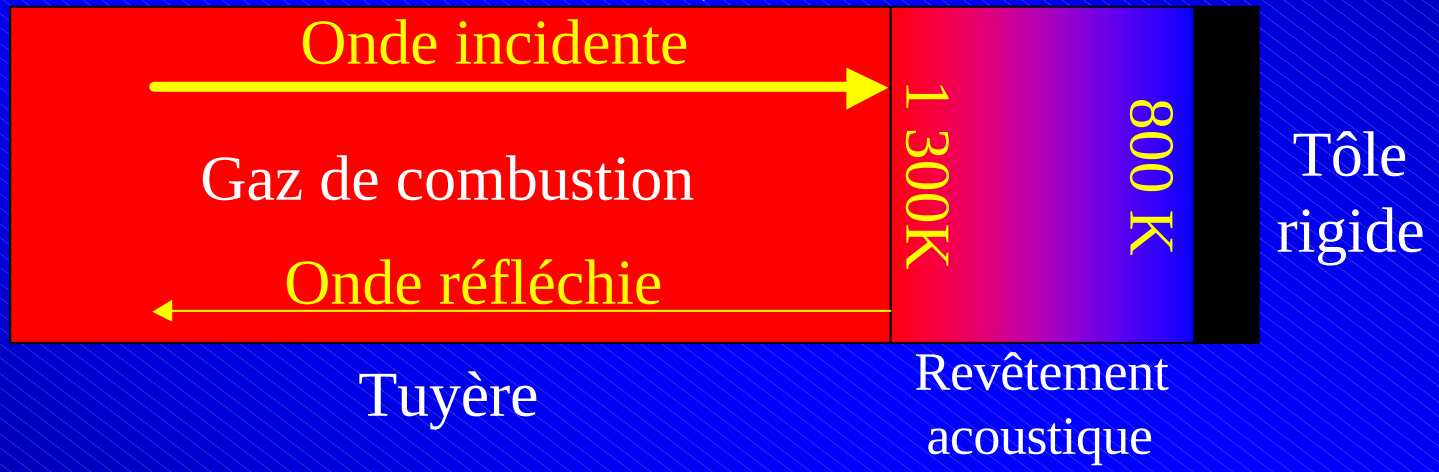


Re(P) Re(U_x) Im(U_x) Re(U_z) Im(U_z)

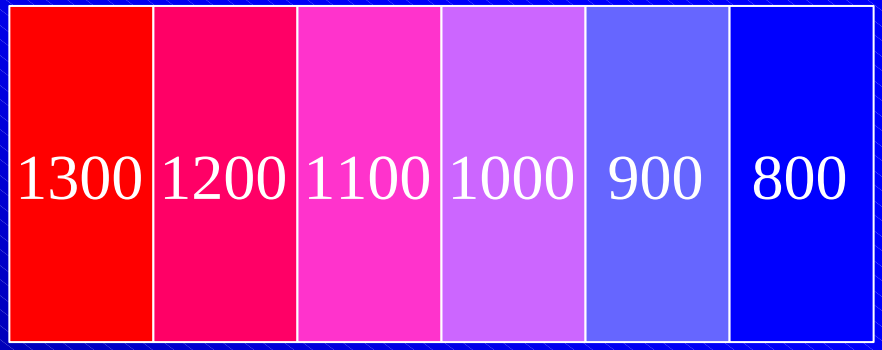
ONERA

Gradient thermique

- Gaz chauds : 1 300 K ; structure : 800 K



- Modèle multicouches ?



Effet thermoacoustique

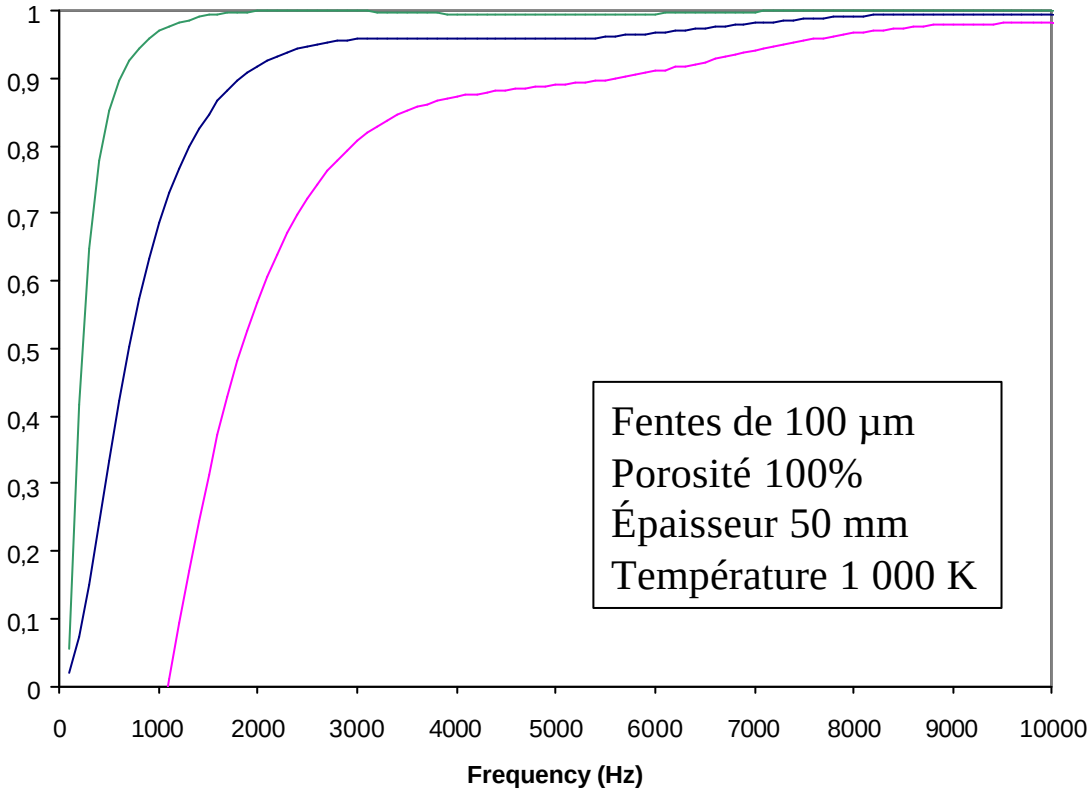
- Impact mathématique du ∇T : $\frac{dT}{dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla T \cdot \mathbf{u}$
- Équation de dispersion modifiée

$$-k^2 + ikk + \frac{w^2}{c^2} = 0, \quad k \propto \frac{\nabla T}{T}$$

- Caractérisation acoustique sous gradient
  - Deux vecteurs d'ondes k_+ et k_-
  - Deux impédances Z_+ et Z_-
  - Fréquence typique : 1 kHz à 1 000 K

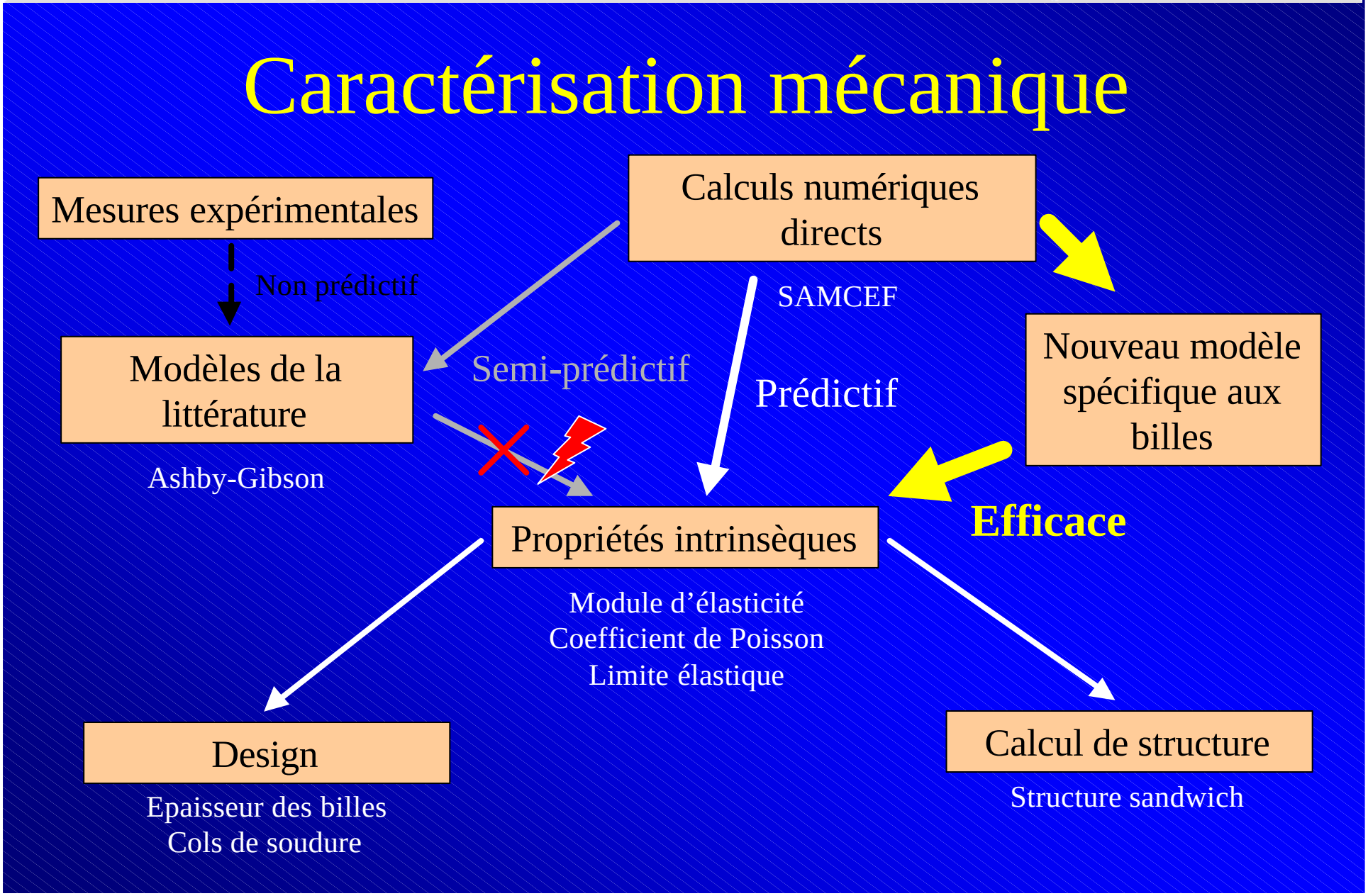
ONERA

Conséquences sur l'absorption



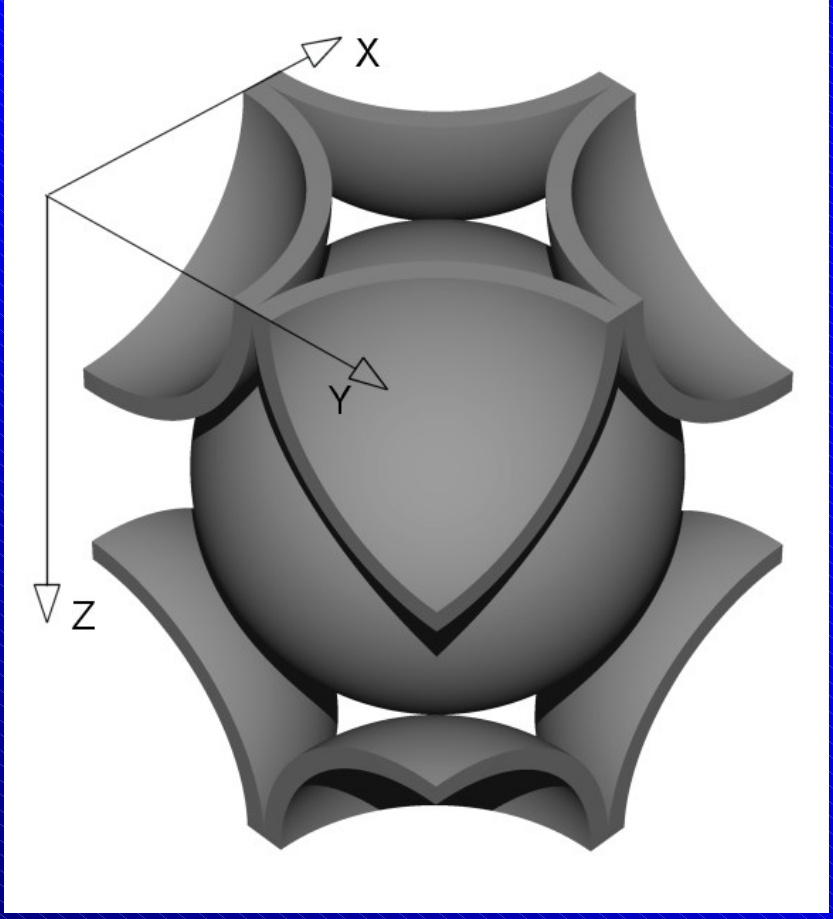
ONERA

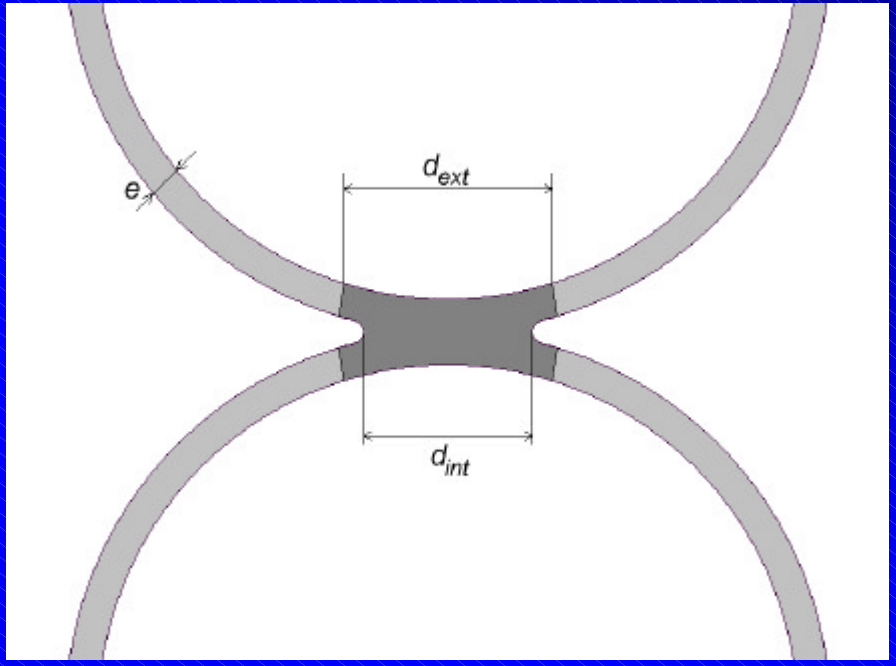
Caractérisation mécanique



ONERA

Géométrie étudiée

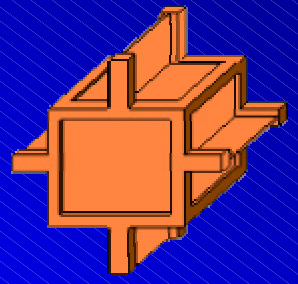




- Paramètres
  - Épaisseur (*e*)
  - Diamètre des billes (*db*)
  - Diamètre du ménisque de soudure (*dm*)

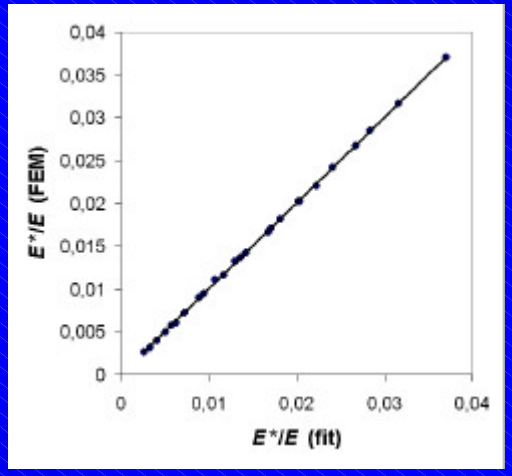
Modèle élastique dérivé

- Topologie différente de Ashby-Gibson
- Modèle obtenu
  - Modèle quadratique en densité



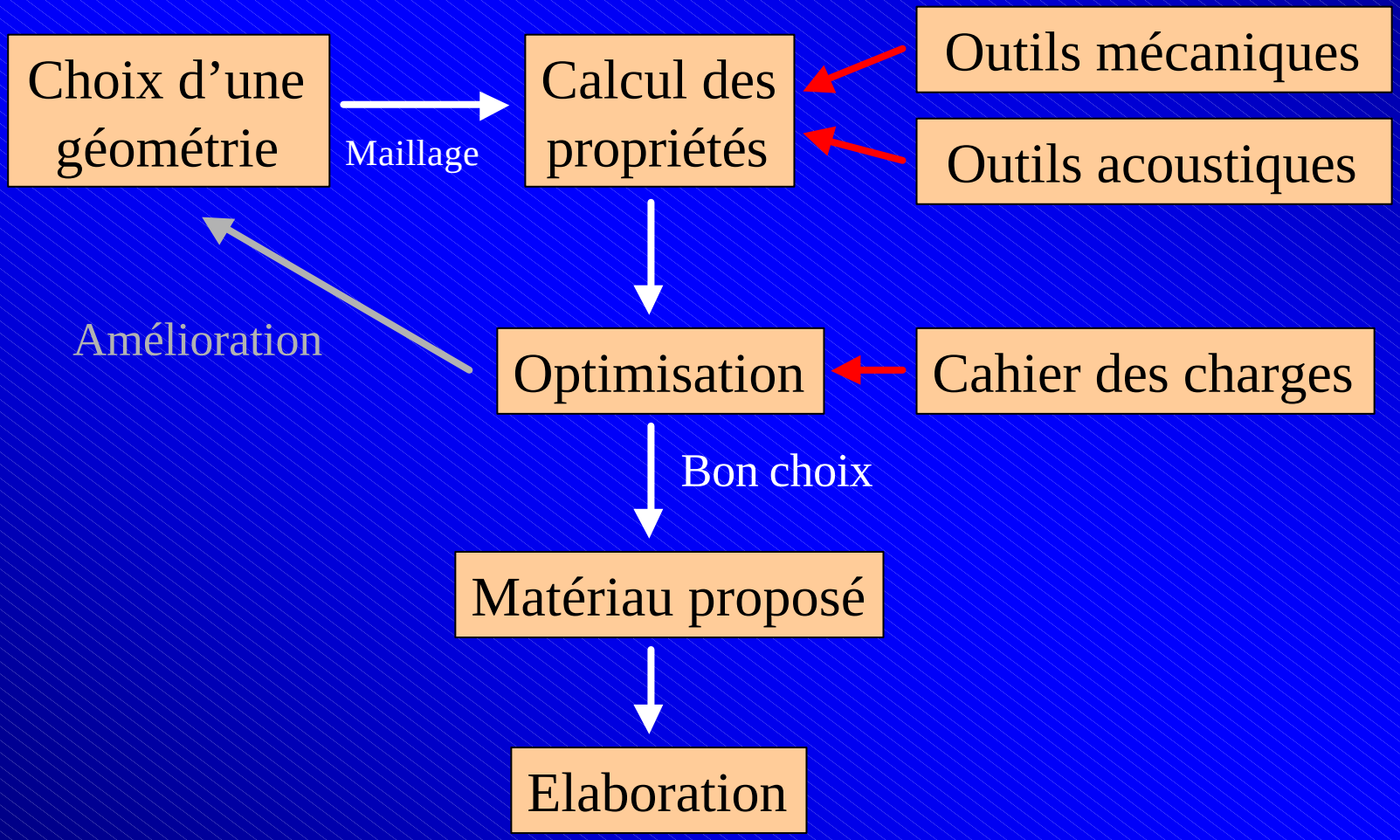
$$\frac{E^*}{E} = \left(1{,}5\frac{dm}{db} + 0{,}287\right)\left(\frac{r^*}{r}\right)^2 + \left(1{,}0\left(\frac{dm}{db}\right)^2 + 0{,}5\frac{dm}{db} + 0{,}04\right)\left(\frac{r^*}{r}\right)$$

- Comparaison calculs – modèle
  - Courbe $E^*_{\text{FEM}} = f(E^*_{\text{modèle}})$
  - Corrélation excellente



ONERA

Design du matériau



ONERA

Travaux sur l'élaboration

- Aspects concernant concepts, modèles – contrat DARPA-ONERA
  - Mise au point des outils permettant le design
- Aspects concernant le développement technologique – contrat SPAé (DGA)
  - Arriver au stade du pré-industrialisation d'une solution viable
  - Développer le matériau répondant au cahier de charges « zones chaudes »
  - Corrosion, oxydation, fluage, fatigue

ONERA

Directions de recherche

- Billes
  - Ni
    - Mandrin polystyrène – élimination
    - Reprise dépôt après préparation surface
  - Superalliage
    - Mécanosynthèse
    - Résultats sur billes pleines acier IN798
    - Dépôts composites
    - MCrAlY ? – superalliage ?
- Assemblage – Brasure + Traitements thermiques + Protection surface
- Vérification
  - Échelle de la bille
    - Propriétés mécaniques
    - Assemblage de 2 billes
  - Échelle macro
    - Endommagement

ONERA

Perspectives

Acoustique - Non-linéaire, couplage gradient, validation gradT

Mécanique - non-régulier, endommagement, vibrations

Technologie - valider l'assemblage, intégration structurale
- démonstrateur technologique ?

Note – Contrat MRT – comportement vibroacoustique

ONERA

Perspectives

- Acoustique
  - Non-linéaire
  - Couplage écoulement
  - Validation ∇T
- Mécanique
  - Non-régulier
  - Endommagement
  - Vibrations
- Technologie
  - Valider l'assemblage, intégration structurale
  - Démonstrateur technologique ?

Note – Contrat MRT – comportement vibroacoustique