

# Optimisation thermique-mécanique des matériaux et composants/ Modélisation multi-physique multi-échelle

Dominique Baillis<sup>EC</sup>, Alain Combescure<sup>EC</sup>, Salvatore Cunsolo<sup>Doc.</sup>, Guillaume Gimenez<sup>Doc.</sup>, Wenqi Zhu<sup>Doc.</sup>



## Contexte global

■ **Enjeux scientifiques** : comprendre et modéliser les phénomènes multi-physiques (aérothermique, thermique-mécanique) dans les matériaux complexes ou à l'interface fluide structure

■ **Retombées industrielles et sociétales** :

- ⇒ Optimisation des performances des isolants thermiques et réduction de la consommation énergétique
- ⇒ Optimisation des performances et durée de vie des composants de systèmes
- ⇒ Optimisation des turbomachines en termes de fiabilité, masse et rendement énergétique.

### Partenariats

Université de Naples  
Simap

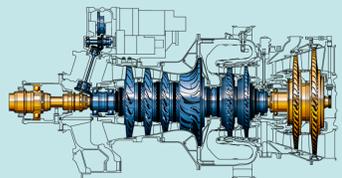


Turbomeca/Safran

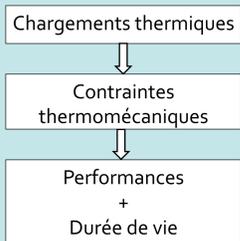


## Modélisation du Couplage thermique fluide/solide transitoire

### Contexte / Modélisation multiphysique



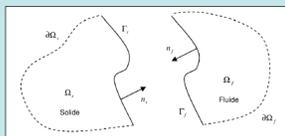
Moteur d'hélicoptère RTM-322



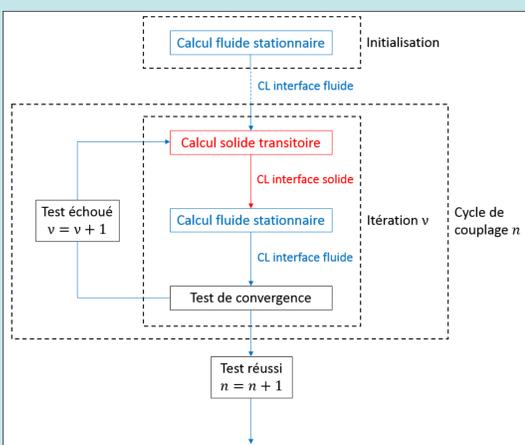
Evolution de la vitesse de rotation au cours d'un cycle moteur

**Objectif**: développement de méthodes de couplage performantes en terme de stabilité, précision et temps de calcul.

### Méthode de couplage quasi-stationnaire

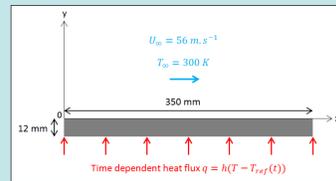


**Stratégie partitionnée**:  
- un code pour chaque domaine fluide et solide  
- échange de conditions à l'interface

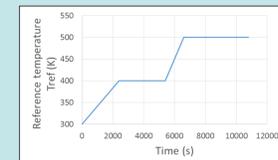


Logigramme de la méthode quasi-stationnaire

### Influence des conditions à l'interface



Plaque plane refroidie par convection



Conditions limites sur la paroi inférieure

$$\varphi_s^{\nu+1} = -\varphi_f^{\nu} + \alpha(T_f^{\nu} - T_s^{\nu+1})$$

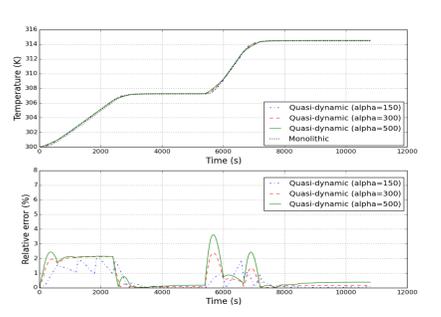
$$T_f^{\nu+1} = T_s^{\nu+1}$$

$\alpha$ : coefficient de relaxation

Conditions limites sur la paroi supérieure (interface de couplage)

### Influence du coefficient de relaxation $\alpha$

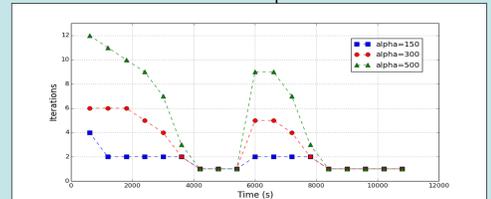
#### Influence sur la précision



Evolution de la température sur la paroi supérieure (x=17cm)

Influence sur la stabilité: instable si  $\alpha < 150$   
- oscillations de plus en plus importantes  
- arrêt du calcul quand températures négatives

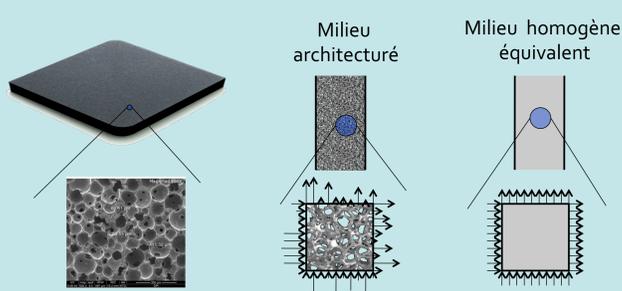
#### Influence sur le temps de calcul



Nombre d'itérations à chaque cycle de couplage

## Modélisation multi-échelle des propriétés thermiques et mécaniques des isolants et super isolants architecturés

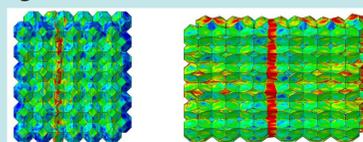
### Contexte / Modélisation multi échelle



À l'échelle d'application, on considère le matériau équivalent à un « matériau homogène »  
On cherche à identifier les propriétés non linéaires mécaniques et thermiques (conductives, radiatives) du matériau équivalent à partir de l'échelle micro.

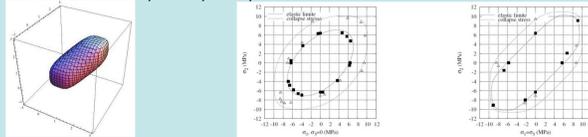
### Cellules Régulières

uniaxial



(a) Compression 10% (b) traction 25%  
déformation de la structure au moment de la rupture (déformation plastique équivalente)

multiaxial

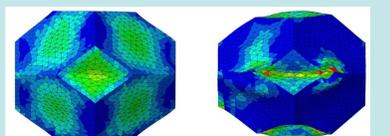


Surface de Wang and Pan (a) Plan  $\sigma_3 = 0$  (b) Plan  $\sigma_1 = \sigma_3$   
surface de Wang et Pan pour une ruine par traction

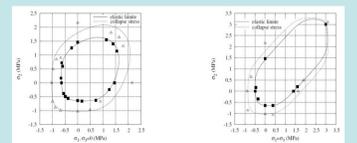
### Nouvelles lois pour les propriétés mécaniques

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_{ys}} = a \frac{\rho^*}{\rho_s} - b \varepsilon_y + c \frac{1}{\varepsilon_y}$$

$\sigma^*$ :  $\sigma_{el}^{*tens}$ ,  $\sigma_{el}^{*shear}$ ,  $\sigma_{pl}^{*tens}$ ,  $\sigma_{comp}^*$

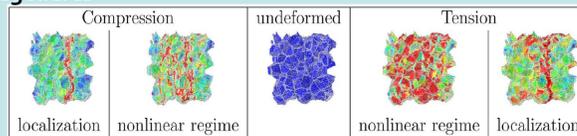


(a) rupture plastique (b) rupture par flambage déformées caractéristiques



(a) Plan  $\sigma_3 = 0$  (b) Plan  $\sigma_1 = \sigma_3$   
surface de Wang et Pan pour une ruine par flambage

### Cellules irrégulières



Déformation sous compression et traction uni-axiale

$$\frac{E_{tens}^*}{E_s} = \frac{E_{comp}^*}{E_s} \approx 0.3528 \left( \frac{\rho^*}{\rho_s} \right)$$

$$\frac{\sigma_{el}^{*tens}}{\sigma_{ys}} \approx 0.3444 \left( \frac{\rho^*}{\rho_s} \right)$$

$$\frac{\sigma_{pl}^{*comp}}{\sigma_{ys}} \approx -(0.0095 + 0.0039 \cdot \alpha) + 0.4703 \left( \frac{\rho^*}{\rho_s} \right)$$

### Caractérisation géométrique

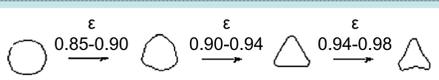
Expérimentale

Numérique

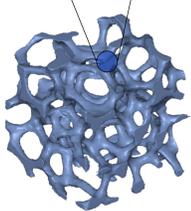
Micro échelle



SEM



Échelle d'un VER

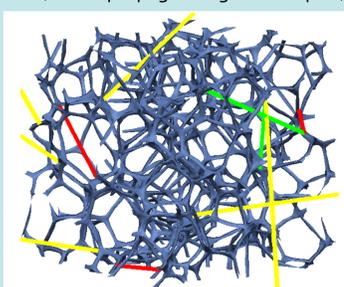


Micro tomographie

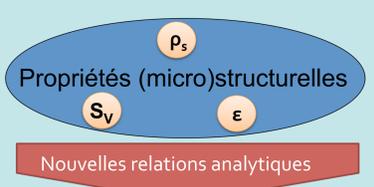
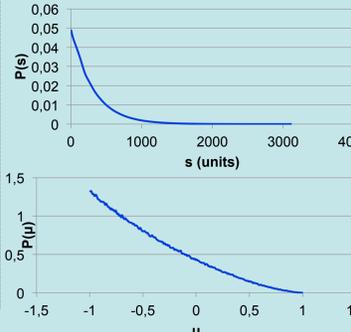
	Régulières	Irrégulières
Pores ouverts		
Pores fermés		

### Méthode Monte Carlo pour la détermination des propriétés radiatives

Simulation directe des rayons (lois de propagation géométriques)



Distributions de probabilités du destin des rayons



Propriétés radiatives

$\beta$	Coefficient d'extinction
$\omega$	Albédo de diffusion
$\kappa$	Coefficient d'absorption
$\sigma$	Coefficient de diffusion
$\Phi(\mu)$	Fonction de phase de la diffusion

Évaluation HCRES LaMCoS, 28-29 janvier 2015

<Alain.Combescure, Dominique.Baillis>@insa-lyon.fr

LaMCoS, Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon UMR5259, 18-20 rue des Sciences - F69621 Villeurbanne Cedex