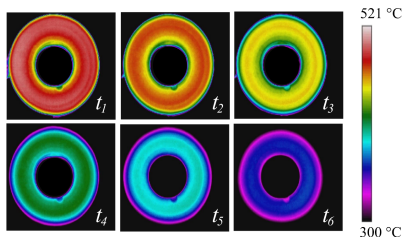
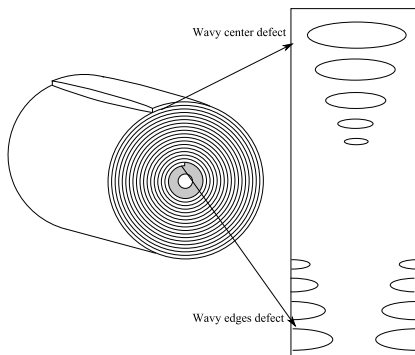


# Premiers sujets de recherche

## Problèmes non-linéaires couplés

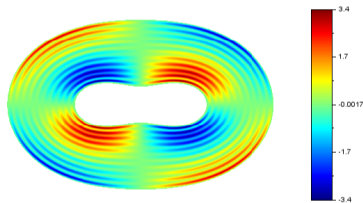
- Non-linéarités : contacts, transformations finies, elasto-plastique
- Couplage : conduction thermique - transitions de phase
- Déformations libres



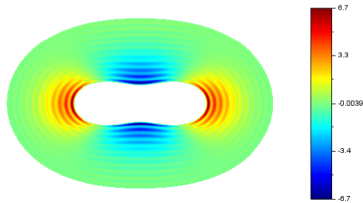
# Premiers sujets de recherche



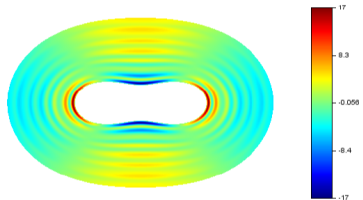
# Premiers sujets de recherche



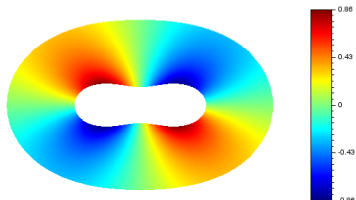
(a)  $\sigma_{r\theta}$  (MPa)



(b)  $\sigma_{rr}$  (MPa)



(c)  $\sigma_{\theta\theta}$  (MPa)



(d)  $\gamma^p$

# Plan

- 1 Parcours
- 2 Premiers sujets de recherche
- 3 Sujets récents**

# Sujets récents

- Fabrication additive métallique
- Dynamique
- **Homogénéisation des transformations structurelles des polycristaux**

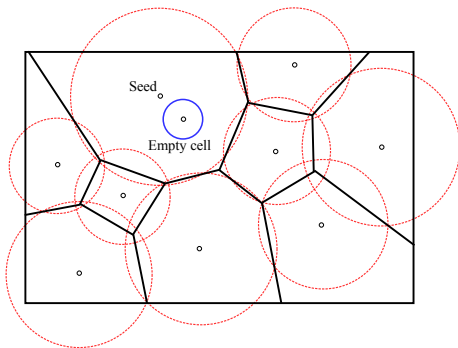
## Ambition

- Modèle macroscopique

$$\boldsymbol{\sigma} : \mathbf{d} - \left( \dot{\mathcal{E}} + \rho \dot{T}s \right) - \frac{\mathbf{q} \cdot \nabla T}{T} = \mathcal{D}$$

- Variables d'état macroscopique
  - ▶ Descripteurs statistiques microstructure
  - ▶ Evolution
- Fondé sur modèle mésoscopique rapide
  - ▶ Echelle du polycristal
  - ▶ Orientated Tessellation Updating Method
- Fondé sur mécanismes microscopiques
  - ▶ Energie de joint de grain
  - ▶ Puissance dissipée par plasticité cristalline

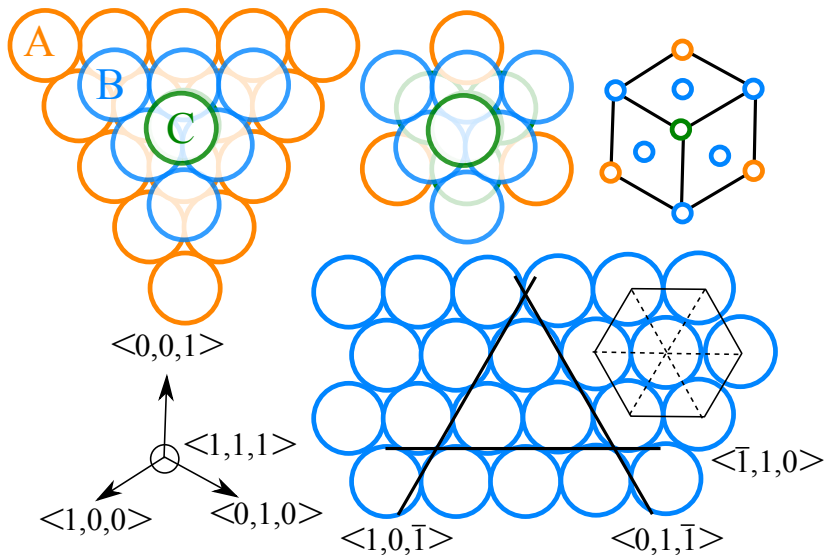
# Orientated Tessellation Updating Method



Objectif de loi d'évolution

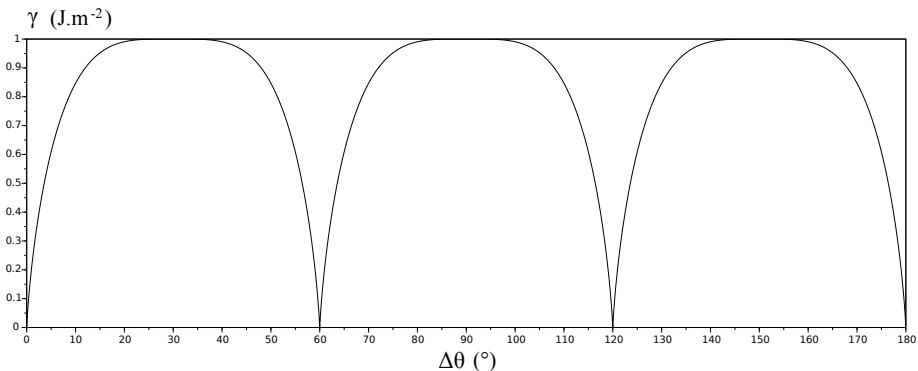
$$\dot{\alpha} = -M(T, \alpha) \cdot \frac{\partial \mathcal{E}(T, \alpha)}{\partial \alpha}$$

# Echelle atomique





# Echelle du joint



# Echelle du joint

## Puissance dissipée dans un champ de vitesse virtuel

$$D(T, \Delta\theta, v^*) = \tau_c X(\Delta\theta) |v^*|$$

$$X(\Delta\theta) = \frac{6}{\pi} \left( \frac{\pi}{3} + 2\sqrt{3} \ln \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right) \min \left\{ \Delta\theta, \frac{\pi}{3} - \Delta\theta \right\}$$

$$\tau_c = \frac{|v^*|}{m(T)}$$

$m(T)$  homogène à une mobilité de joint ( $\text{m}^4 \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$$D(T, \Delta\theta, v^*) = \frac{X(\Delta\theta)}{m(T)} [v^*]^2$$

# Echelle mésoscopique

## Energie et puissance dissipée

$$\begin{cases} \mathcal{E}(T, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{(i,j) \in I_{GB}} l_{ij} E_{ij} \\ \mathcal{D}(T, \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{v}^*) = \sum_{(i,j) \in I_{GB}} l_{ij} D_{ij}^* \end{cases}$$

## Lien géométrique

$$v_{ij}^* = \frac{\dot{w}_i^* - \dot{w}_j^*}{2d_{ij}}$$

$$\mathbf{v}^* = \mathbf{K}(\boldsymbol{\alpha}) \cdot \dot{\mathbf{w}}^*$$

$$\mathcal{D}(T, \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{v}^*) = [\dot{\mathbf{w}}^*]^T \cdot \frac{\mathbf{R}(\boldsymbol{\alpha})}{m(T)} \cdot \dot{\mathbf{w}}^*$$

# Echelle mésoscopique

## Equation des bilans thermodynamique

$$\boldsymbol{\sigma} : \mathbf{d} - \left( \dot{\mathcal{E}} + \rho \dot{T} s \right) - \frac{\mathbf{q} \cdot \nabla T}{T} = \mathcal{D}$$

$$\dot{\mathcal{E}} + \mathcal{D} = 0$$

## Solution

$$\forall \dot{\mathbf{w}}^* \quad [\dot{\mathbf{w}}^*]^T \cdot \left( \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \mathbf{w}^*} + \frac{\mathbf{R}(\boldsymbol{\alpha})}{m(T)} \cdot \dot{\mathbf{w}}^* \right) = 0$$

$$\dot{\mathbf{w}} = -m(T) \mathbf{R}^{-1}(\boldsymbol{\alpha}) \cdot \frac{\partial \mathcal{E}(T, \boldsymbol{\alpha})}{\partial \mathbf{w}}$$

# Echelle mésoscopique

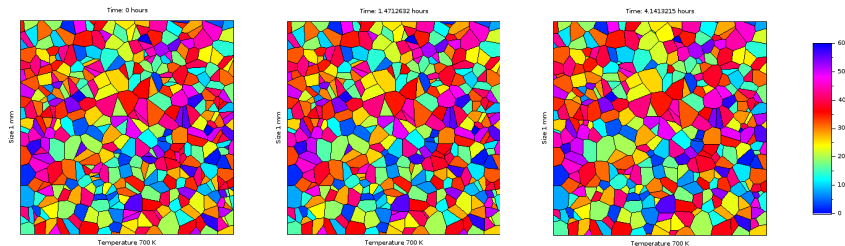


FIGURE: Grain growth of the OT1 at 700 K during approximately 4 hours

# Echelle mésoscopique

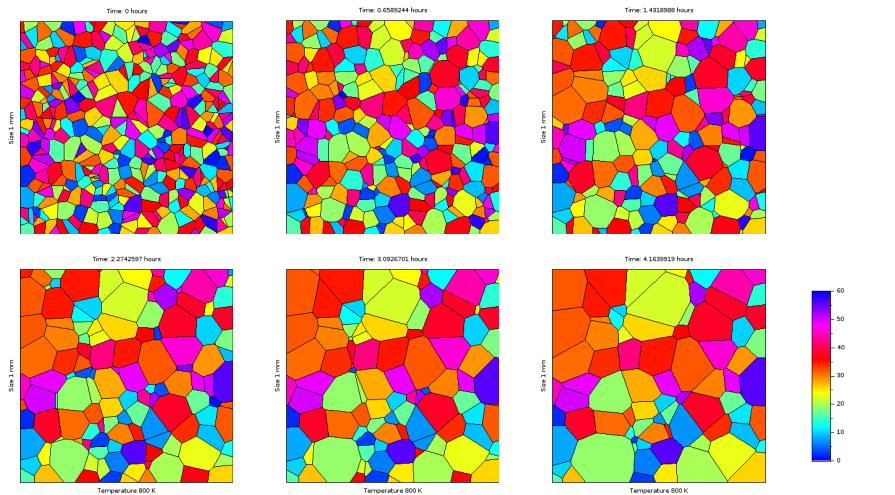


FIGURE: Grain growth of the OT1 at 800 K during approximately 4 hours

# Echelle mésoscopique



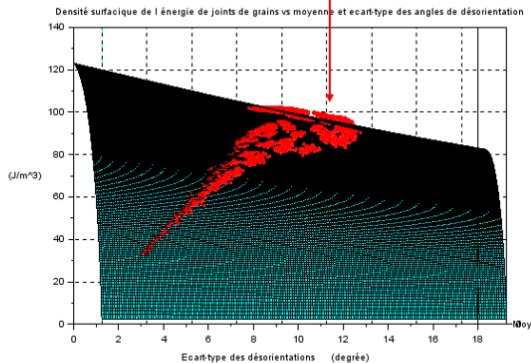
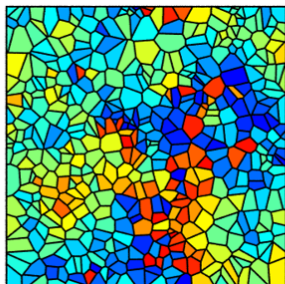
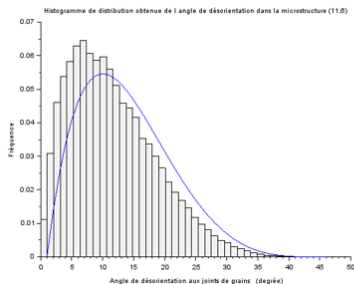
# Echelle macroscopique

- Energie
- Puissance dissipée
- Variables d'état  $\mu$
- Descripteurs statistique de la microstructure
  - ▶ Longueur totale des joints de grain
  - ▶ Moyenne des désorientations
  - ▶ Ecart-type des désorientations
  - ▶ Ecart-type des distributions de taille de grain
- Loi macroscopique du type

$$\dot{\mu} = -m(T)\mathbf{\Gamma}^{-1} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}(T, \mu)}{\partial \mu}$$



# Echelle macroscopique



$$\frac{E_{GB}}{S_{GB}} = A(T) \mu_{\Delta\theta} (B \sigma_{\Delta\theta} + C - \ln(\mu_{\Delta\theta}))$$

# Remerciements

- Alain Ehlacher (Navier)
- Nicolas Legrand (ArcelorMittal)
- Sofia Sakout (LMS, Doctorante)