

# Acteurs académiques sur le site de Rouen, Campus d'Ingénierie Rouen-Normandie

## Focus GPM-INSA Fabrication Additive

Comité RTI NAE, atelier Fabrication Additive  
Caen, 30 juin 2015

Orateur : Fabrice Barbe, INSA Rouen, GPM, [Fabrice.Barbe@insa-rouen.fr](mailto:Fabrice.Barbe@insa-rouen.fr)



- **Intérêt stratégique de la Fabrication Additive**

Rupture technologique ; Usine du Futur ; Plan stratégique de l'Etat

- Aéronautique, Automobile

- **Compétition des territoires**

- **Le Madrillet, lieu d'excellence**

Campus d'ingénierie Rouen-Normandie



Nouveaux acteurs potentiels :



- **Un environnement économique à fort potentiel**



# Projet : Création d'un continuum de réponses aux besoins industriels sur le Madrillet

P  
M  
E  
  
C  
R  
E  
A  
T  
I  
O  
N  
  
M  
E  
C  
A

Apprentissage CESI, Perfil INSA

CESI  
FabLab

**CIEMME  
OpenFab**

CPER



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



métropole  
ROUEN NORMANDIE



**CCU  
INSA de Rouen**

Usinage



**INSA** INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
ROUEN

**LabCom**



**R&D FA  
Métaux  
polymères**



métropole  
ROUEN NORMANDIE

**INSA** INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
ROUEN

**UNIVERSITE  
DE ROUEN**



**Laboratoires  
de recherche**



Polymères  
Biopolymères  
Surfaces  
UMR 8270



**LOFIMS**



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**UNIVERSITE  
DE ROUEN**



**INSA** INSTITUT NA  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
ROUEN



Normandie Université

## Moyens humains

- 2 enseignants
- 5 techniciens
- Des étudiants

## Techniques et équipements

- Tour et fraiseuse conventionnels / numériques
- Tour et Centre d'usinage UGV
- Centre d'usinage UGV 5 axes
- Electro-érosion à fil et à enfonçage
- Machine de scanning par contact
- Scanner 3D sans contact
- Machine de prototypage (résine)

## Domaines de recherche

- Trajectographie : pilotage de l'outil dans l'espace
- Optimisation de la géométrie outil en fonction de la pièce à usiner

## Partenaires - clients



# Centre d'Usinage 5 axes

Usinage de surfaces complexes

## Caractéristiques Techniques



### Zone de travail

Zone de travail sur 5 axes

X = 600 mm, Y = 450 mm, Z = 450 mm

Axe C 360°, axe B +45/-120°

### Avance rapide maximale

X-,Y-, and Z-axis 22/22/22 m/min

B-, C-axe 50 / 140 min<sup>-1</sup>

### Accélération maximale:

X-,Y-,Z-axe 5 / 5 / 5 m/s<sup>2</sup>

B-, C-axe 12 / 70 rad/s<sup>2</sup>

**Broche UGV 20000 tr/min HSK-A63**



# Domaines de recherche - Applications

- **Trajectographie**

- Pilotage de l'outil dans l'espace
- Trajectoires pour pignons



- **Optimisation de la géométrie outil** en fonction de la pièce à usiner  
Logiciel pour calcul de trajectoires dédiées à une famille de pièces



- **Usinage de pièces complexes**



- **Couple outil matière**

- **Formation...**

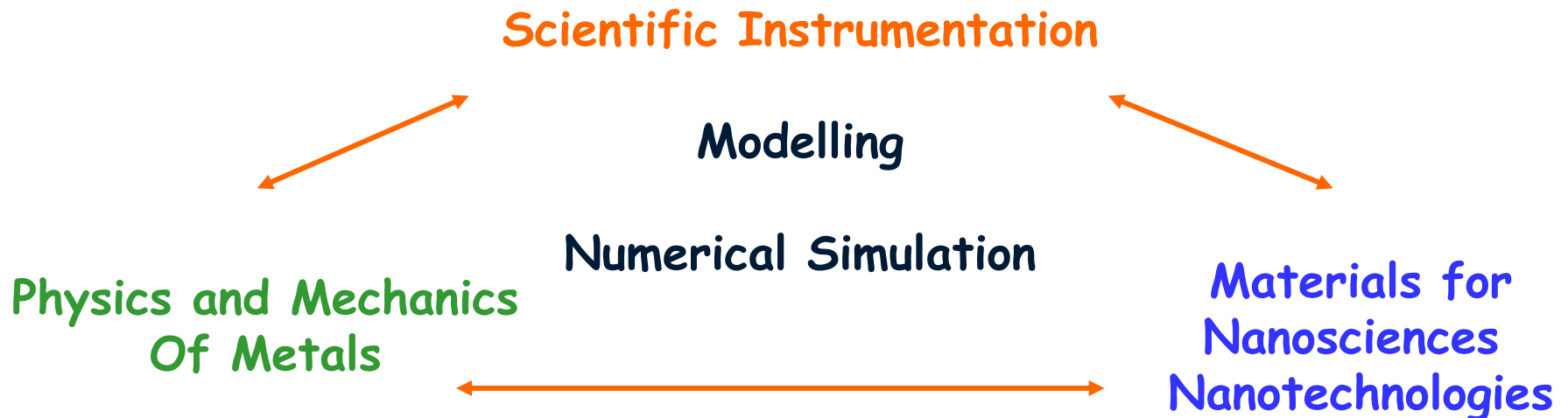
- Ingénieur (5eme année INSA de Rouen)
- Continue : entreprises, rectorat

Director: Pr. P. Pareige

Administration : CNRS, Rouen University, INSA Rouen

~130 people :

~75 permanents / 40 PhD / 15 Post Doc, Invited Pr., Under Graduates





# 3 Research Axes / 8 Research Teams + Technical Service

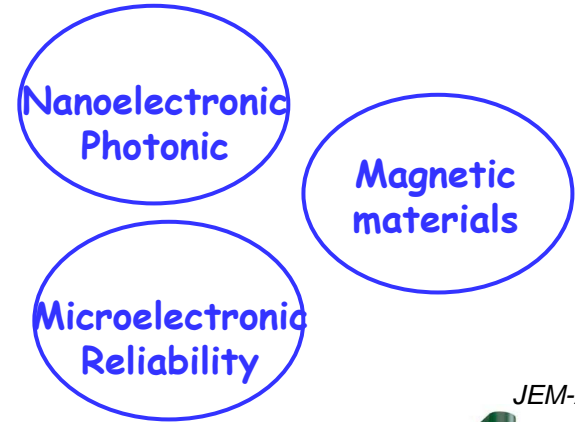
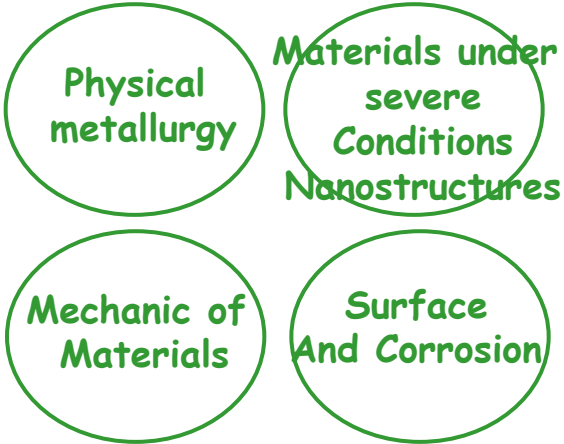


## Management / Administration

**From atoms to metallurgical properties**

**Analyses at Atomic scale  
From concept to tools**

**From atom to nanotechnologies**

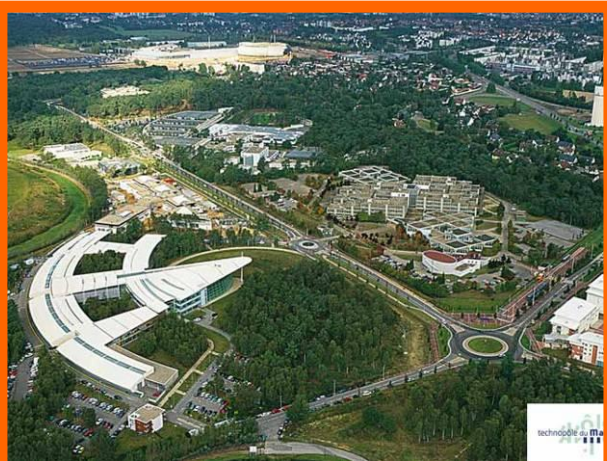


- Platform for scientific instrumentation
- 6 Atom Probes for material sciences
- 3 TEM / 3 FEGSEM-FIB (dual beam)
- 1 DRX , 6 Mössbauer Spect. Spectroscopies UV, IR... Raman
- SQUID, VSM (magnetic measurements)
- Drawing bench / Mechanical testing



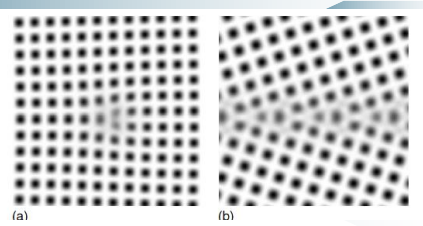
FESEM-FIB  
Zeiss NVision 40

Atom Probe



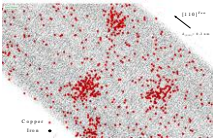


$$\frac{\partial \psi}{\partial \tau} = -\nabla^2 \left( \frac{\delta F}{\delta \psi} \right) + \zeta(r, t)$$



Study matter at atomic scale to understand fundamentals and properties

**From atoms to metallurgical properties**



*Steels*

*Aluminum alloys*

*Magnesium alloys*

*Nickel based alloys*

*Nanostructured alloys*

*Nuclear materials*

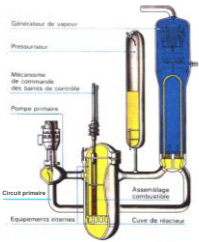
*(vessel, internals, primary circuit, Iter, GEN IV Platform for radioactive materials)*

*Electric cables*

*Steel cord*

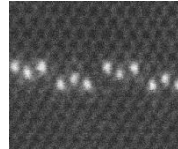
*Aeronautic*

...



**Analyses at Atomic scale From concept to tools**

*Development of Atom Probe Transfer to CAMECA*



*Data treatment*

*New concept of Atom Probe*

*New concept of analyses tools*

*Laser / Matter interaction*



**From atom to Nanotechnologies**

*Nanoelectronic*

*Photovoltaic*

*LED*

*Battery*

*Nanowires/Quantum dots*

*Reliability of Electronic*

*Components*

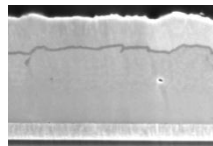
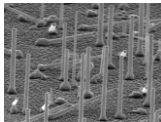
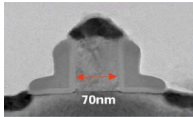
*Magnets*

*(without Rare Earth)*

*Spintronic*

*Multiferroic*

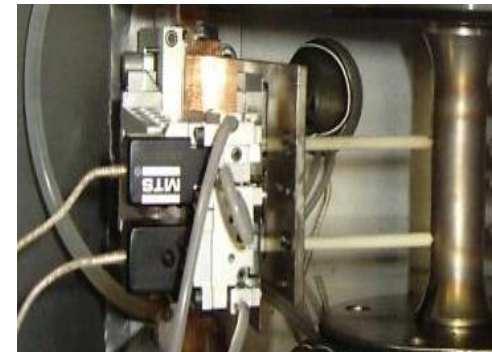
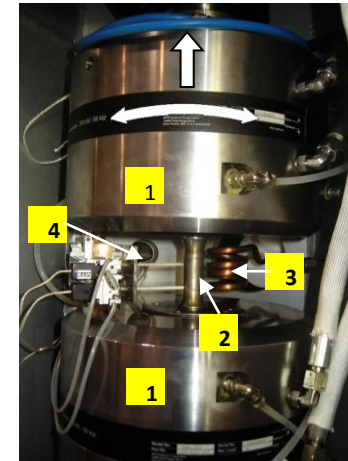
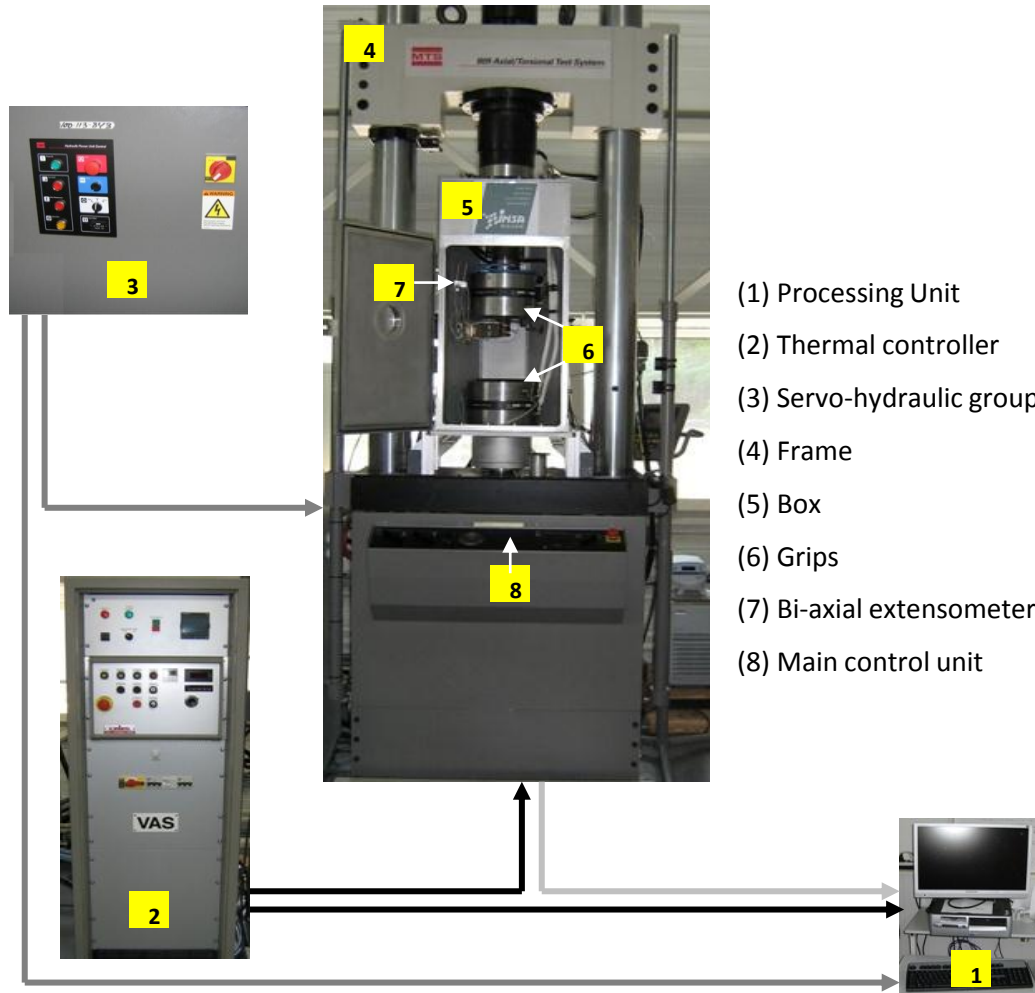
*Magnetostrictif*



# GPM : Equipe Mécanique des Matériaux INSA

- **6 enseignant-chercheurs permanents**
- **5 à 7 doctorants chaque année**
- **Elasto-visco-plasticité cyclique métaux et composites stratifiés tissés**
  - Transformations de phase, fatigue, nano-cristallins, comportement au feu
- **Domaines d'expertise et moyens :**
  - Essais cycliques multiaxiaux sous chauffage et refroidissement contrôlés
  - Microscopie optique, EBSD, MEB, ...
  - Loi de comportement en élastoplasticité cyclique
  - Modélisation basée sur la microstructure (polycristaux, stratifiés tissés)
  - Corrélation d'image numérique
  - Emission acoustique
- **Collaborations, partenariats (projets récents ou en cours) :**
  - EDF, FAVI, Aircelle (projets Toupie, RITA), Technip
  - ENSICAEN (CRISMAT), Mines Paristech, Ecole des Mines de Saint Etienne, LECAP, CORIA
  - Projet Labex nanocristallins, Carnot Comportement au feu, PEPS CNRS

## Multiaxial testing under rapidly heating/cooling conditions : Cyclic behavior at varying temperatures, mechanical consequences of phase transformations in steels



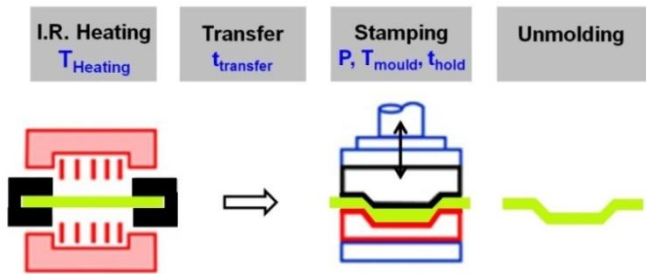
# GPM-ERMECA : Composites Stratifiés Tissés

Choix des matériaux et procédés appropriés pour pièces de nacelles du futur

## Matériaux :

- Thermoplastiques
- Thermodurcissables

## Procédé : estampage



## Approches :

- multi-échelle et multi-physique
- expérimentale et numérique

## Moyens :

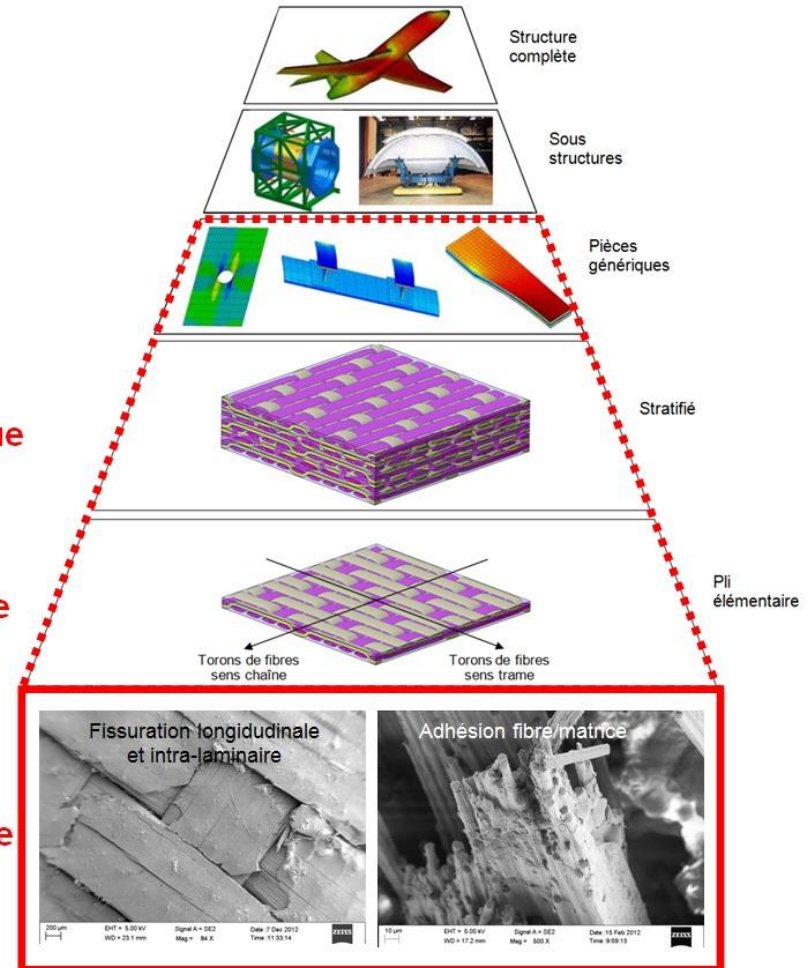
- Plateforme expérimentale thermomécanique
- Plateforme d'analyses microstructurales
- 2 Thèses (Région et Industrie)

Niveau  
structural

Niveau  
macroscopique

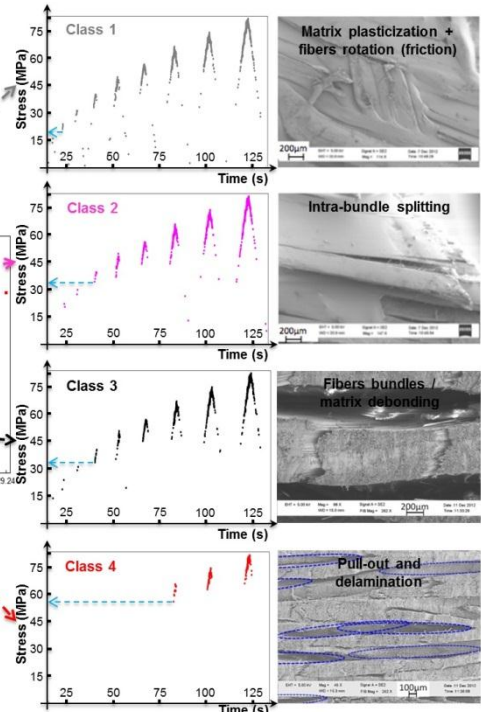
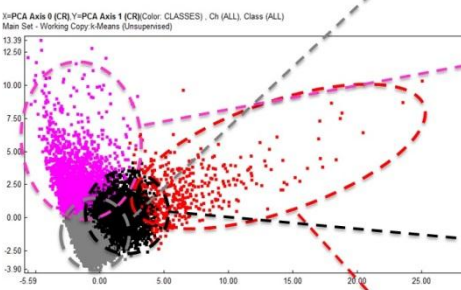
Niveau  
mésoscopique

Niveau  
microscopique



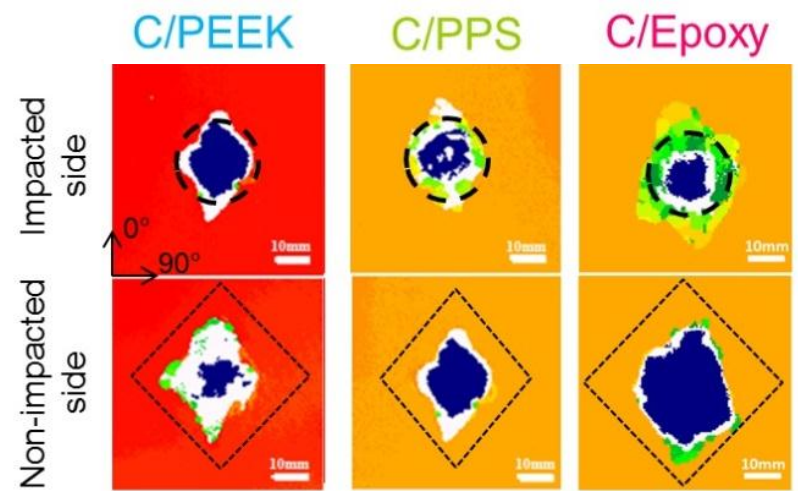


# Suivi endommagement en fatigue par Emission Acoustique

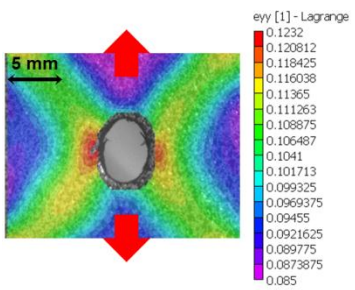


# Comportement à l'impact et tolérance au dommage

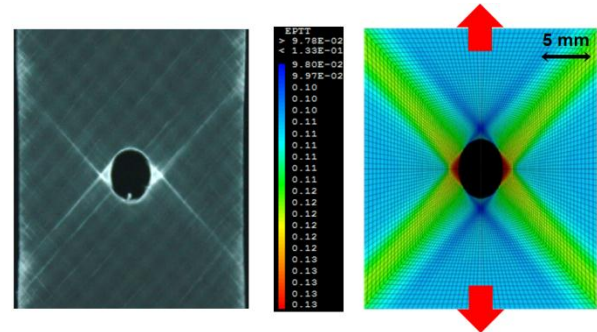
- Cartographies C-scan
- Compression après impact



# Mesures de champs à haute température



# Simulation numérique comportement haute température

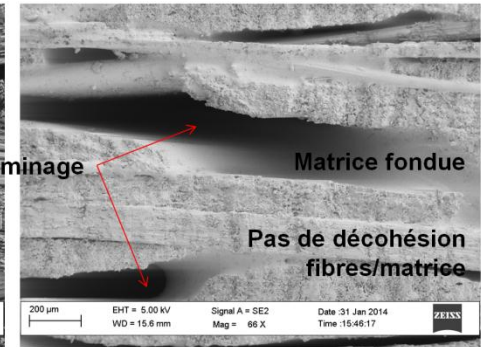
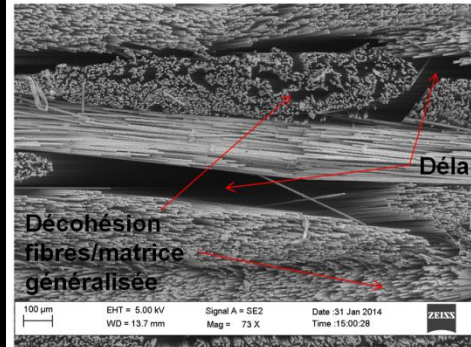


# Observation endommagement RX

# Comportement au feu et tenue mécanique résiduelle

Observations MEB x 73  
C/Epoxy – 40 kW/m<sup>2</sup>

Observations MEB x 66  
C/PPS – 40 kW/m<sup>2</sup>



- Aciers (316L, 35NiCrMo16, 100Cr6), Cu, Al
- Propriétés cycliques : effet de mémoire de pré-écrouissage, fatigue
- Effets de tailles, de transformation de phase
- MO, EBSD, MEB, MET,

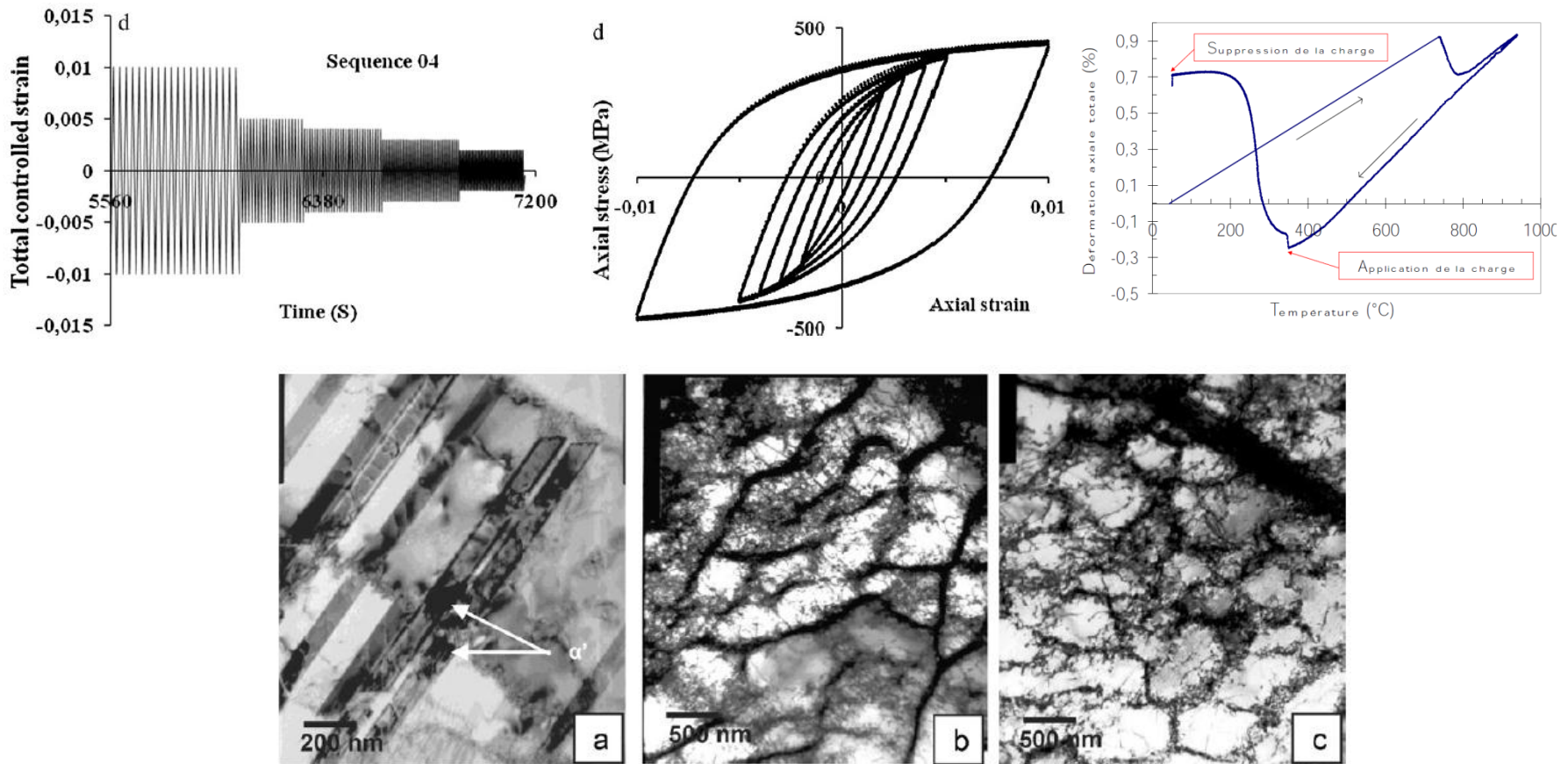
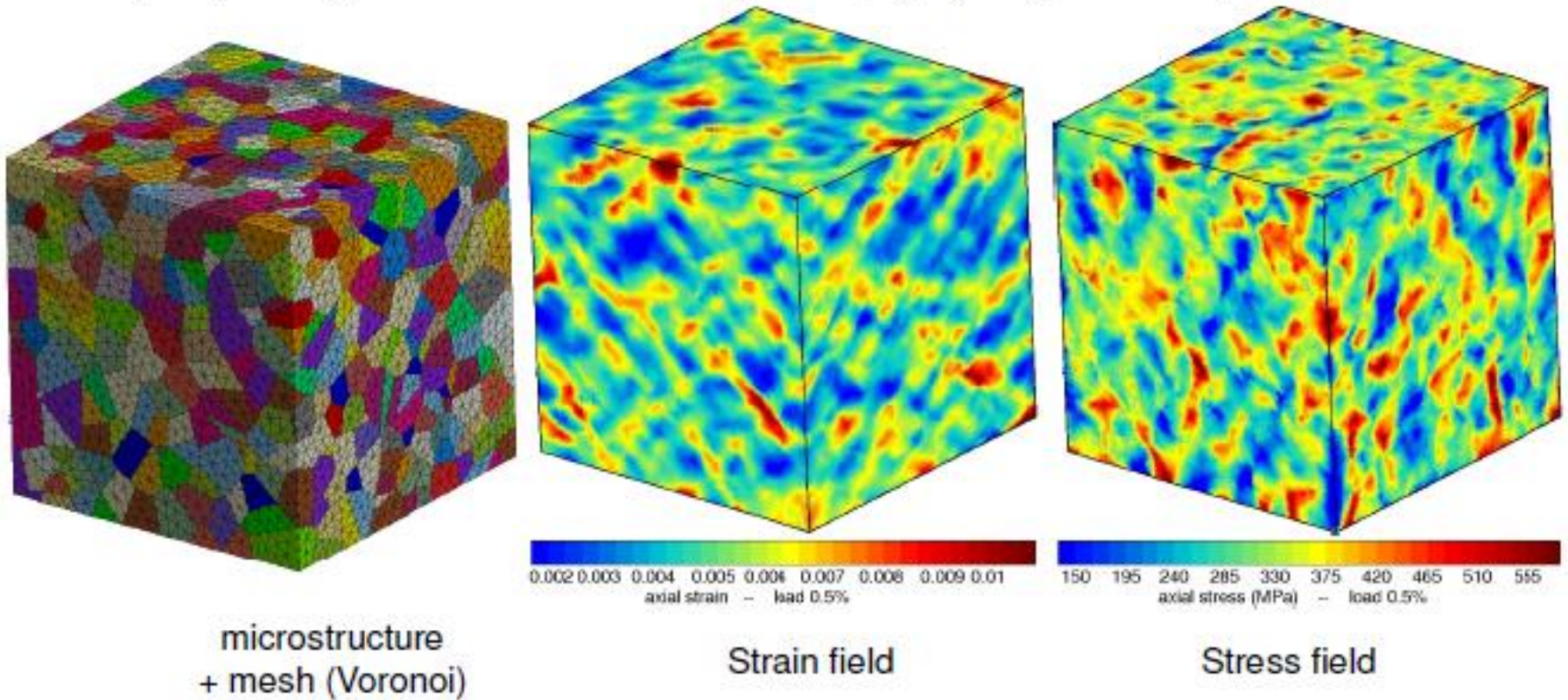


Fig. 13. Microstructures of the fatigued specimen prehardened at 1.5%: (a) twins and martensite (see arrows), (b) labyrinths and cells and (c) refined cells.



**Plasticité cristalline, modélisation à champs complets – éléments finis**

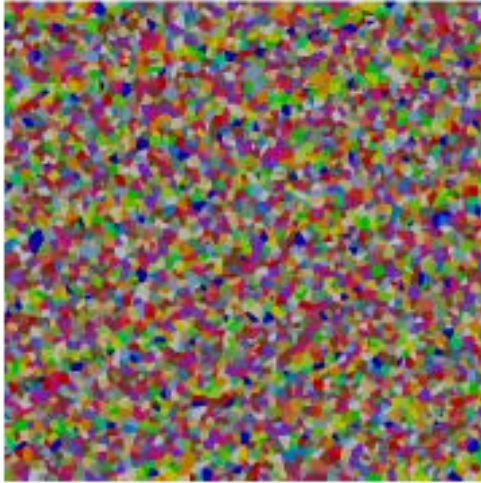
Crystal plasticity Finite Element Modelling of fcc polycrystal (Barbe *et al*, 2009) :



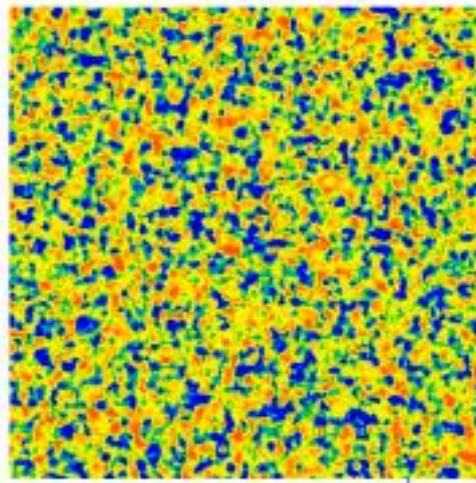


## Polycrystal : standart vs bimodal microstructure (Zinc axially strained to 0.1%)

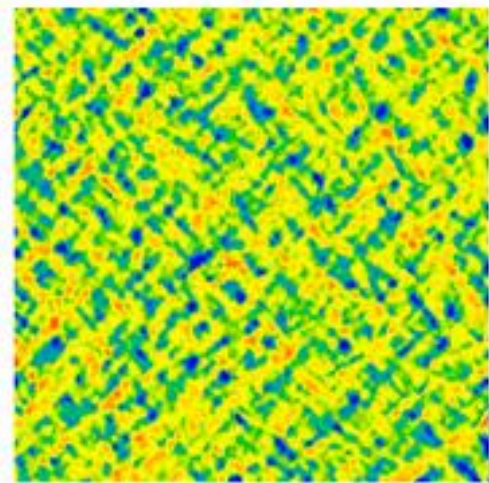
Standart Poisson-Voronoi mosaic : 4225 grains, 120000 nodes, 485000 elements



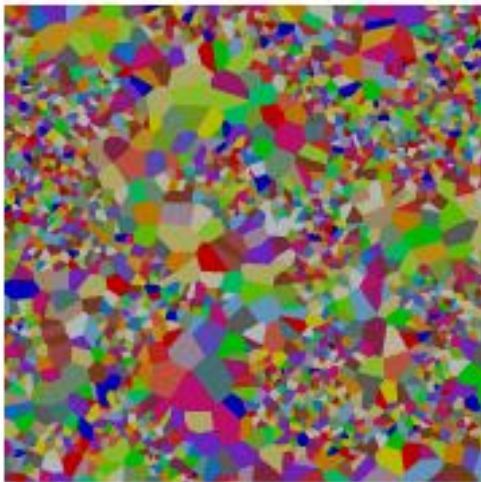
Microstructure



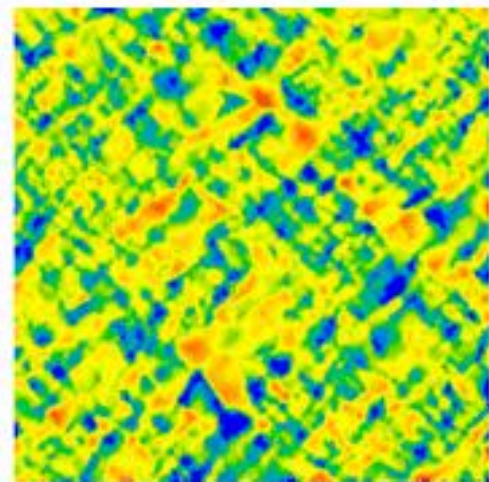
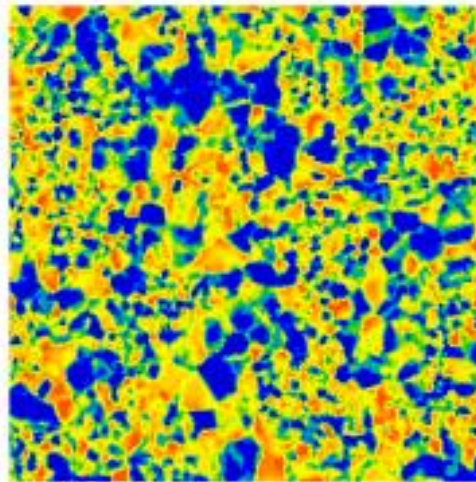
Von Mises stress



Axial strain



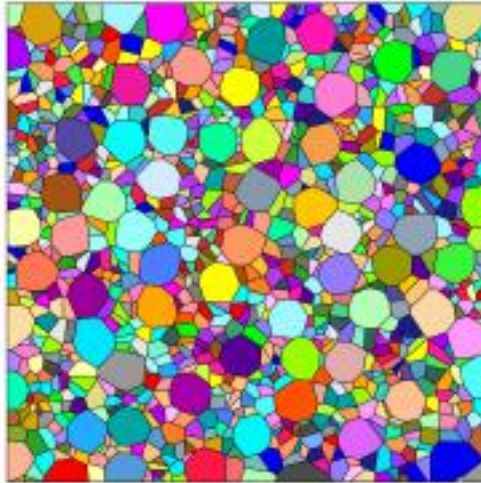
Bimodal Voronoi mosaic : 2198 grains, 65000 nodes, 245000 elements



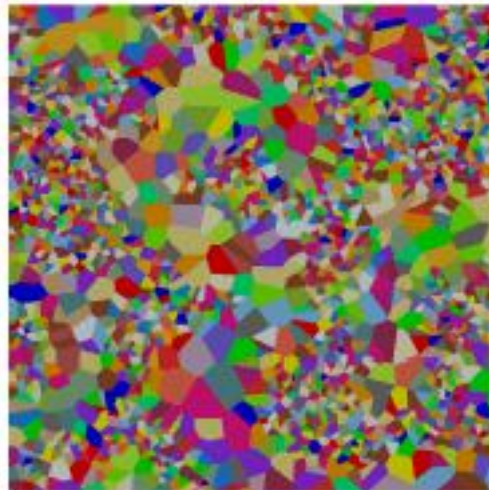


## Microstructures with high grain size contrast

### New microstructures



Laguerre

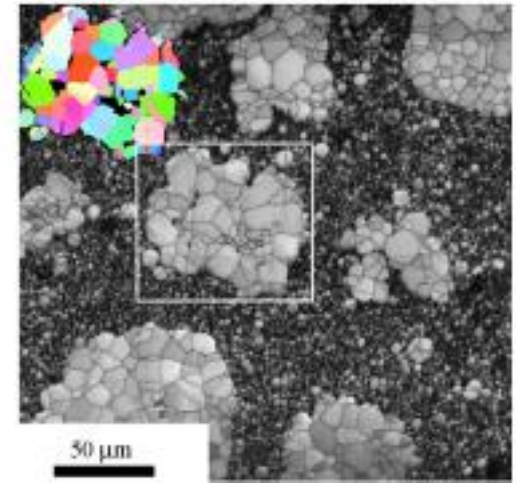


Voronoi Bimodal

Software : Neper 2013

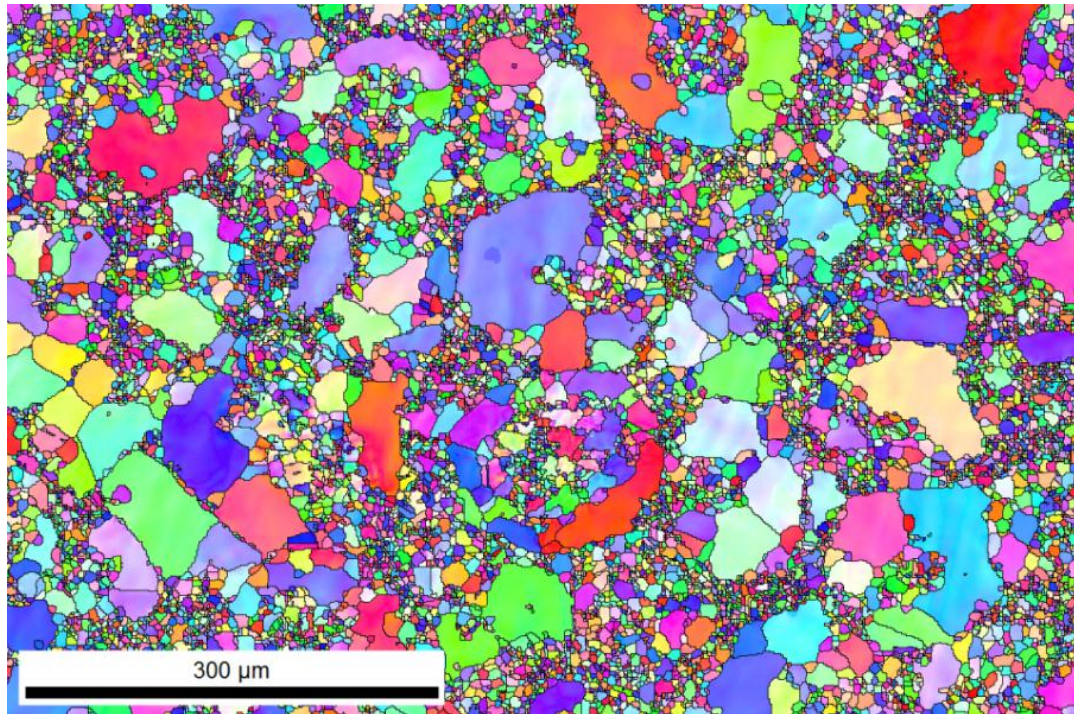
(Quey, Barbe, Forest)

### Experimental under progress

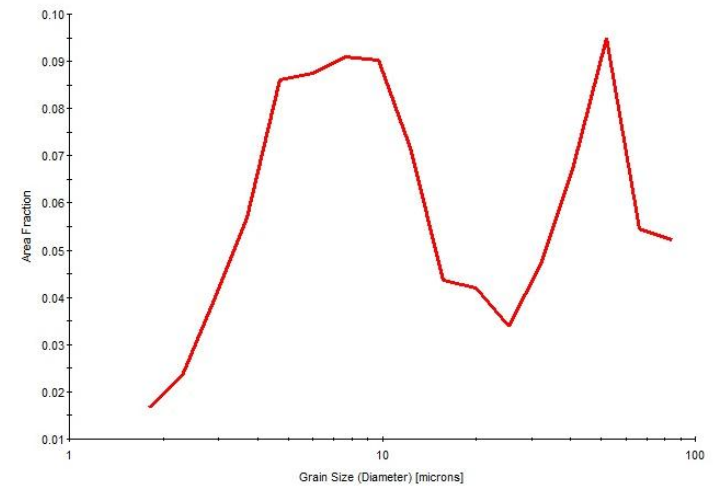


Ni nano- and  
micro-powders  
[Dirras et al, 2010]  
Spark Plasma  
Sintering  
(Hug, Garnier, Keller)

Échantillon mélange 75/25 (FG/CG)

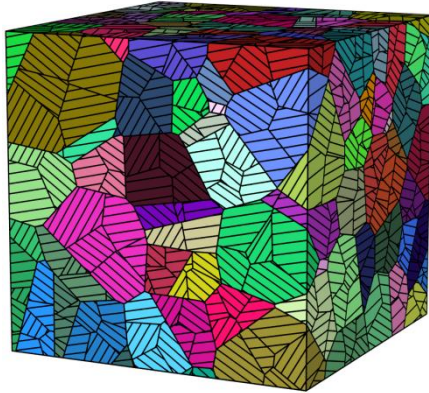


Histogramme

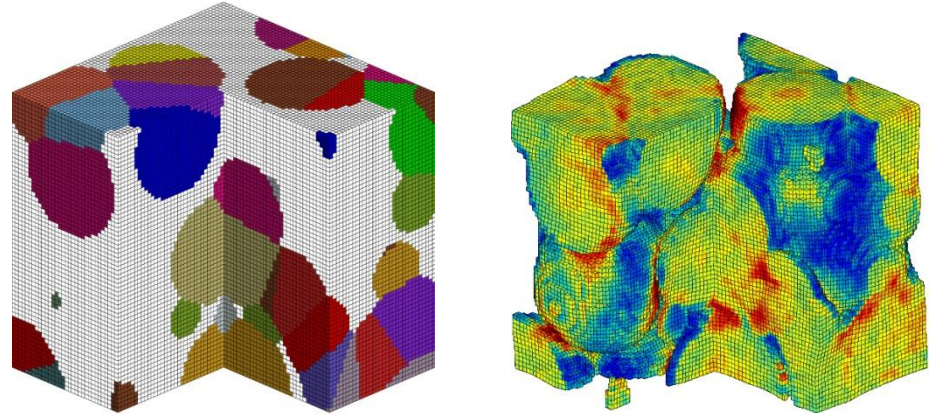




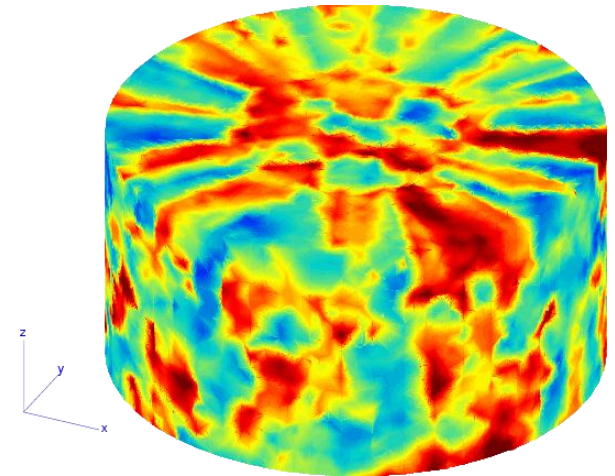
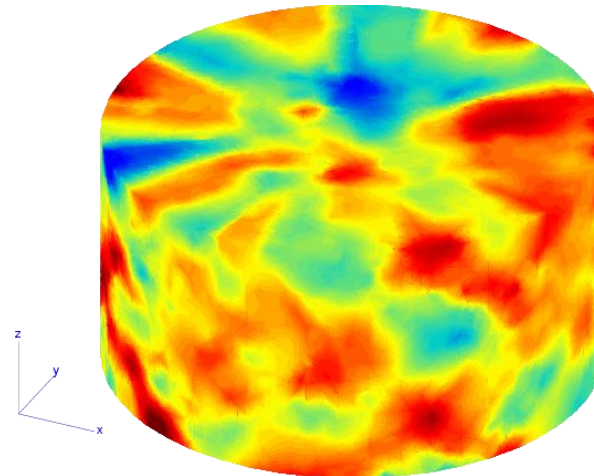
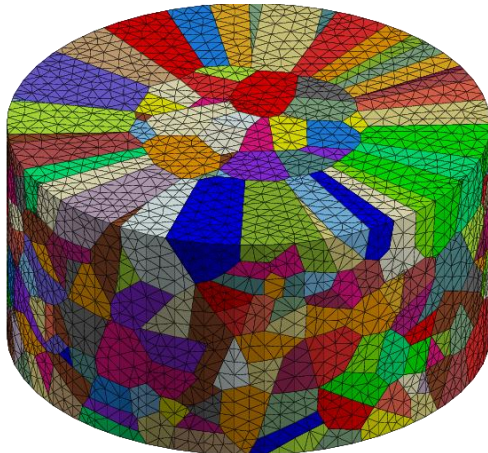
Multi-level tessellation for ferritic steels



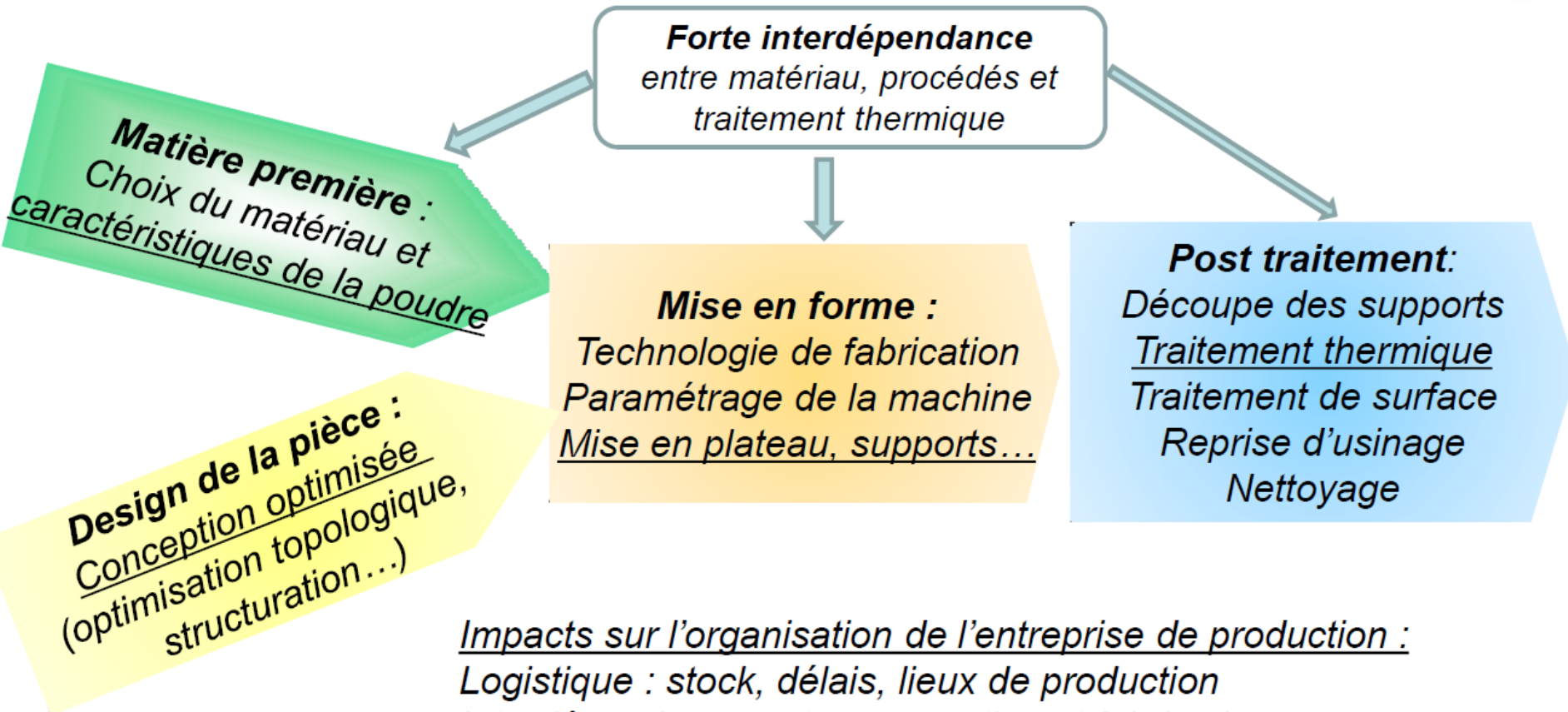
Diffusive phase transformation



Combination of columnar and equiaxed grains



## FA → Interactions de domaines de compétences



### Impacts sur l'organisation de l'entreprise de production :

Logistique : stock, délais, lieux de production

Interdépendance entre conception et fabrication

Nouvelles frontières entre MO, concepteur, fabricant

Numérisation totale de la chaîne d'informations

Nouveaux profils et compétences du personnel



# Quelles compétences GPM, INSA et CNRT au service de la FAM ?

**Compétences types** : caractérisation de propriétés mécaniques

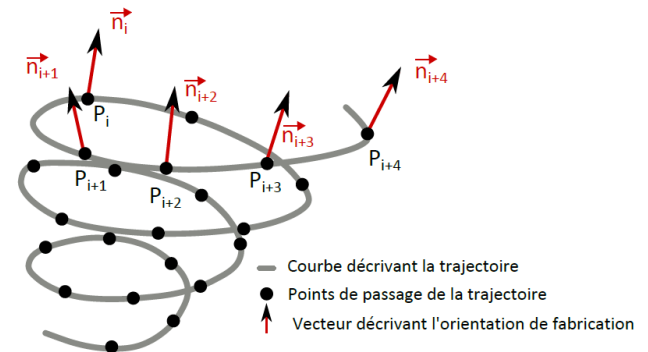
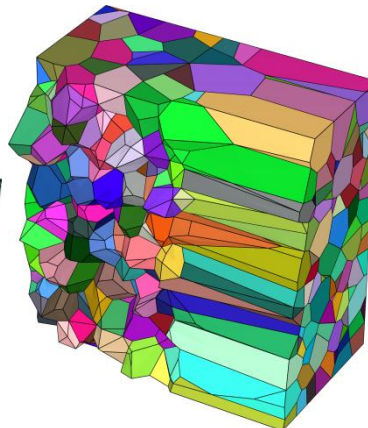
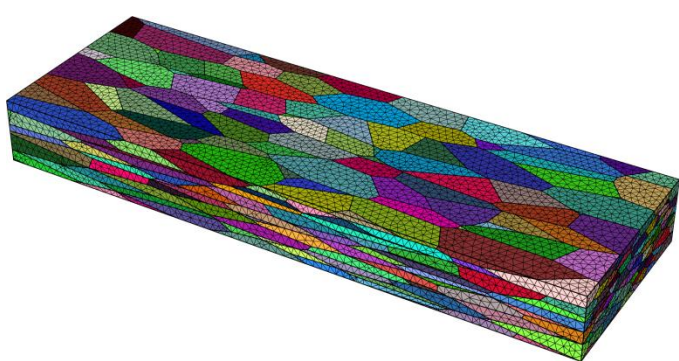
- Effet d'anisotropie sur propriétés uni-, multi-axiales, fatigue, endommagement

**Compétences originales expérimentales** : relation microstructures-propriétés

- Analyses MO, EBSD, EDS, MET : microstr, mécanismes déf., endommagement
- Micro et nano-indentation instrumentée (à venir)
- Essais sur micro-piliers et identification de paramètres (à venir)

**Compétences originales et complémentarité** :

- modélisation basée sur les microstructures
  - Dialogue Analyses expérimentales – Calculs
  - Ingénierie matériaux par descripteurs de microstructures
- Usinage 5 axes, trajectographie
- Optimisation topologie de renforcement (LOFIMS, calcul de structures)



Anisotropie de comportement selon technos FAM

- Monotone ? OK
- Cyclique ? A voir
- Multiaxial ? A voir

Relation procédé – microstructure produit :

Peu de données dans la littérature

Tomographie RX

Relation Poudre – microstructure produit

Peu de données dans la littérature

Tomographie RX

Relation paramètres procédé – propriétés :

Savoir-faire

Relation poudre - procédé – post-traitement (TTH)

Savoir-faire