



CODOR n°4 chaire BIGMECA, 16 décembre 2022 ■■

## ■ Mécanique des matériaux et des procédés de fabrication via l'apprentissage statistique

Henry Proudhon, David Ryckelynck

*MINES ParisTech, université PSL, Centre des Matériaux, Evry*



**SAFRAN**

# Ordre du jour

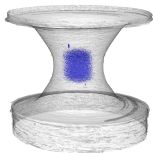
- 1 Point sur les études en cours
- 2 Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)

# Plan

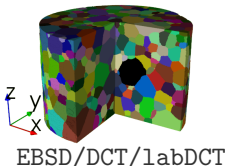
- 1 Point sur les études en cours
- 2 Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)

# Développements de la plateforme de données BIGMECA

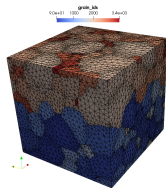
Avec la contribution d'Aldo Marano (maintenant à l'ONERA)



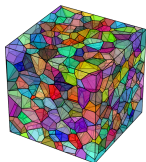
tomography



EBSD/DCT/labDCT



segmentation, meshing  
(F. N'Guyen)



neper



FFT simulations



FE simulations

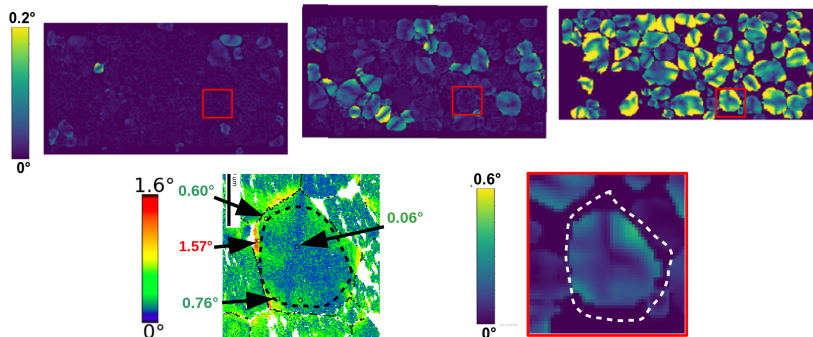
- Continuous development, paper in progress
- Deployment at ID11 (ESRF)



# Statistical 4D tomography of polycrystalline materials

PhD thesis Clément Ribart oct 2019 – mar 2023

- develop **4D tomography** at the Psiché beamline (paper submitted) + collaboration with Lund university and Xnovotech
- **simulation** at the scale of the microstructure ( $10^4 - 10^5$  grains)
- **statistical** analysis of deformation and failure mechanisms.



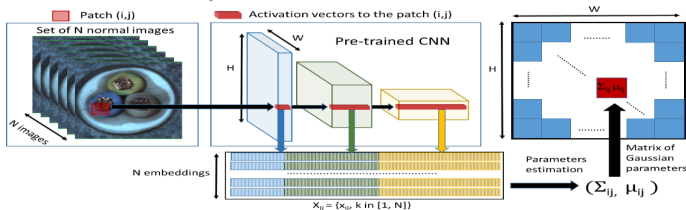
[Ribart et al., 2022] accepted in J. Synchr. Rad.

# Automated segmentation of DCT using anomalib

Work of Joao Bertoldo, collaboration with E. Decenière CMM

- João is now a PhD student at CMM with E. Decenière working on anomaly detections
- Application of his method (using anomalib) to test **automatic segmentation for DCT**

Fig. 2. For each image patch corresponding to position  $(i, j)$  in the largest CNN feature map, PaDiM learns the Gaussian parameters  $(\mu_{ij}, \Sigma_{ij})$  from the set of  $N$  training embedding vectors  $X_{ij} = \{x_{ij}^k, k \in [1, N]\}$ , computed from  $N$  different training images and three different pretrained CNN layers.

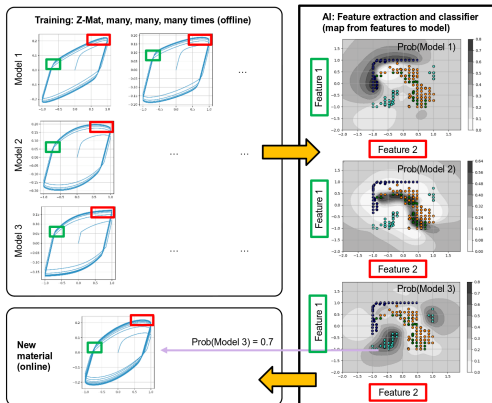


Defard, T., Setkov, A., Loesch, A., Audigier, R., 2021. PaDiM : A Patch Distribution Modeling Framework for Anomaly Detection and Localization, in : Del Bimbo, A., Cucchiara, R., Sclaroff, S., Farinella, G.M., Mei, T., Bertini, M., Escalante, H.J., Vezzani, R. (Eds.), Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges. Springer International Publishing, Cham, pp. 475–489.

# DMS project of Jordan Ngucho Mbeutchou

Machine learning pour la sélection des lois de comportement en mécanique non linéaire des structures

- Standardised feature extraction (SSM, CNNs) ?
- Generation of representative numerical datasets using Z-mat ?
- Heterogeneous database (multiple experiments with different number of cycles, available metadata) ?



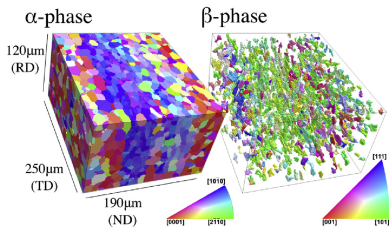
## Advising team

P. Kerfriden (CDM), F. Casenave & Christian Rey (SafranTech)

# DMS project of Hamza Jelidi

Modélisation microstructurale du phénomène Cold-Dwell dans le TA6V

Analyze microstructure effect using Finite Elements simulations for cold-dwell applications



- EBSD data analysis
- 3D microstructure generation
- FEM simulations

[Chatterjee et al., 2018]

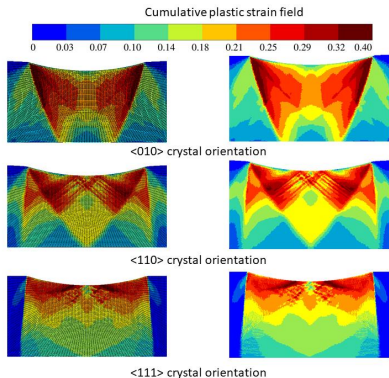
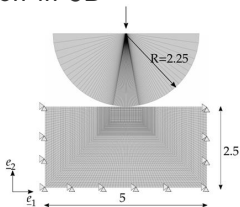
## Advising team

H. Proudhon, F. Azzouz & F. N'Guyen (CDM), A. Longuet & L. Marcin (Safran AE)

# M2 training of Émilie Despinoy (started 01/09/2022)

Numerical simulation of the nanoindentation in Ni-based and Ti-based alloys at the sub-grain level

- Strain gradient plasticity
- FE simulation in 3D
- Contact



## Advising team

H. Proudhon, V. Yastrebov & S. Forest (CDM), D. Texier (Mines Albi)  
& F. Coudon (SafranTech)

# Nouveaux projets DMS pour 2022-2023

2 sujets ont été sélectionnés par Safran :

- Sélection automatique de lois de comportement par apprentissage statistique (F. Casenave SafranTech – P. Kerfriden CDM)
- Etude et automatisation du contrôle non destructif surfacique de la qualité cristalline des aubes de turbine par diffraction des rayons X (A. Barbeau PFX – H. Proudhon CDM)

Marwa Ben Bettaieb a été recrutée sur le sujet PFX, bonne candidate très motivée. Pas de recrutement sur le sujet SafranTech (profil particulier difficile à trouver).

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2** Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)

# Option IDSC 2022

- Effectif : 33 élèves ingénieurs
- Exposé de Fabien Casenave (méthode des EF à Safran)
- Voyage d'étude :
  - EPFL
  - Neural Concept
  - SafranTech
  - Synchrotron Soleil
  - Safran Analytics
  - FieldBox
  - Thales
  - Axa Climate
  - Owkin
  - Arcelor Mittal Digital lab



# CVML 2022 (3<sup>e</sup> édition)

- Comme en 2021 le cours s'est tenu en **mode hybride** sur Zoom. 89 inscrits (~ 70 doctorants, 4 industriels dont 1 Safran).
- **Notes et vidéos de cours** disponibles au fur et à mesure via Moodle sur <https://moodle.minesparis.psl.eu/enrol/index.php?id=993>
- Tutoriels sous **Google colab**
- **Channel Slack** pour poser des questions/poster du code durant les TPs.
- **Examen** en ligne pour tout le monde avec Moodle (note de 10/20 nécessaire pour l'attestation de suivi).
- **Nouveautés** : Conférence de Sam Daly, cours sur les GANs, cours sur la detection d'objets.



# Retour sur le workshop *mechanics of polycrystal*

- May 23-25 2022, hybride mode, sponsored by BIGMECA, CDM and Mecamat
- **2** days, **4** topics, **18** invited international speakers
- 50 participants + 30 on zoom
- Wine and Cheese in the honor of Georges Cailletaud



# Articles

**deep learning** J. Bertoldo et al., *Frontiers in Materials* *A modular U-Net for automated segmentation of X-ray tomography images in composite materials*, published

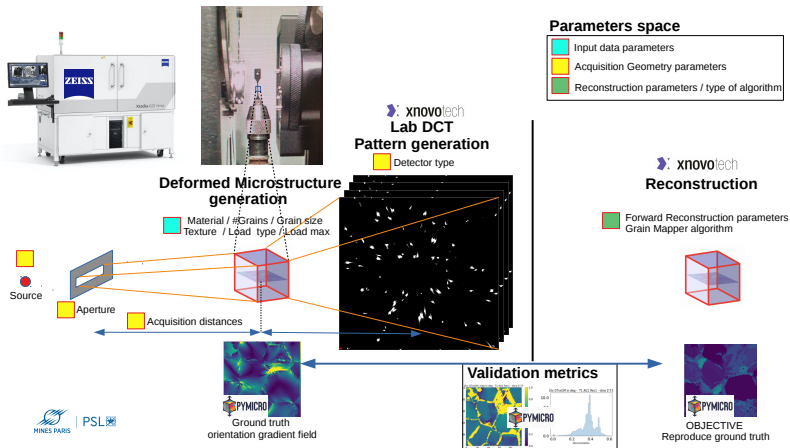
**4D testing** C. Ribart et al., *J. synchrotron radiation* *Advancement in the understanding of plasticity via in situ synchrotron methods*, published

**data augmentation** A. Aublet et al., *Frontiers in Materials* *Multimodal data augmentation for digital twinning assisted by artificial intelligence in mechanics of materials*, published

**data platform** A. Marano et al., *current opinion in solid state material science* *A new mechanics of material data platform*

# Séjour de 3 mois de C. Ribart chez XnovoTech (Danemark)

Collaboration sur la technique labDCT



# Samantha Daly, PSL Visiting fellow in 2022 2023

The screenshot shows a Zoom meeting interface. The main content is a presentation slide with the following text:

**ADVANCED MECHANICS OF MATERIALS GROUP**

*Experimental, Theoretical, and Computational Studies  
of the Multi-Scale Mechanics of Advanced Materials*

*"Machine Learning for Materials Discovery"*

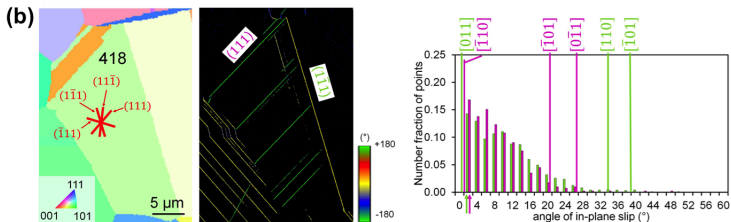
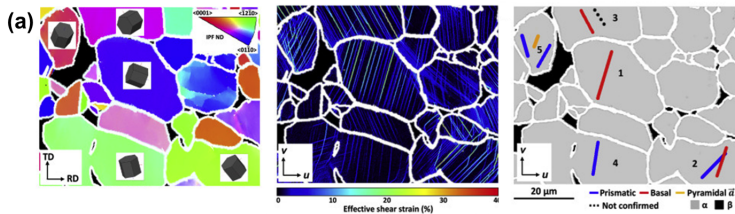
Research in the Daly group lies at the intersection of experimental solid mechanics, materials science, and data science. We develop new methods for multi-scale materials characterization and integrate physics-informed ML to understand how materials deform and fail.

Below the text is a group photo of the research team and a row of logos for funding and partner organizations: NSF, GE, Mines Paris, RR, University of Queensland, INRS, NASA, GM, and another NSF logo.

On the right side of the Zoom window, there is a video feed of Samantha Daly, with her name 'Samantha Daly' displayed below the video. The Zoom interface includes a top bar with 'Gallery View' and 'Exit Full Screen' buttons, and a bottom bar with 'Mute', 'Stop Video', 'Participants', 'Chat', 'Share Screen', 'Record', and a red 'Leave' button.

- S. Daly visiting fellowship with BIGMECA and PSL
- funding : PSL 1/3, BIGMECA 1/3, Mines Paris 1/3
- Research collaboration and teaching (already started)
- **Postponed to 2023 due to COVID, arrival 12 march**

# Collaboration with Jean-Charles Stinville, Univ Illinois



Automated slip trace analysis [Stinville et al., 2023]

- nano-speckle for  $\mu$ -DIC experiments
- detection and quantification of slip localization
- several publications in common

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier**
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)

## 2e sujet de thèse chaire BIGMECA : détection d'anomalie en nano-indentation

Machine learning approaches using multi-modal data combination to identify crystal elastoplasticity properties at the sub-grain level



- 50%chaire BIGMECA 50% ERC Damien Texier
- doctorant inscrit à ISMME
- salaire payé par CNRS (ERC D. Texier)
- Budget validé par Jérôme Crépin



# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023**
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)

# Validation de l'activité contractuelle confiée au CDM

- L'exécution des mastères DMS 2022-2023 seront confiées à ARMINES.
- Le montant est 20 keuros TTC / mastère DMS soit 20 keuros au total
- Vote du CODOR pour valider les actions/travaux confiés à ARMINES via le Centre des Matériaux

# Éléments budgétaires 2022

**réalisé en 2022 : total 116 keuros**

Montant (keuro)	Nature
8	frais de gestion fondation
6	actions pédagogiques (option IDSC, dont stage)
1	4 mois aide logement E. Despinoy
10	missions, conférences, achats
10	échanges internationaux
20	1 mastères DMS 2022-2023
61	12 mois thèse C. Ribart

NB : prolongement de la thèse de C. Ribart de 6 mois (18 k€, 3 mois payés sur la collaboration avec XnovoTech, 3 mois sur l'école pour prolongation Covid).

## Bilan financier (keuros)

	2020 réel	2021 réel	2022 prévu	2022 réel	2023	Total
Salaire thèse 1	44	35	26	35	9	123
Envir. thèse 1	44	35	26	26	-	105
Salaire thèse 2			18	-	53	53
Envir. thèse 2			18	-	33	33
Salaire postdoc	45	34	-	-	-	79
Envir. postdoc	40	30	-	-	-	70
Mastères DMS	80	40	40	20	60	200
Enseignement	8	7	10	7	13	35
International	-	5	20	10	25	40
Missions	11	10	10	10	9	40
Frais fondation	11	8	8	8	13	40
<b>Total</b>	283	204	140	116	215	<b>818</b>

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Dissémination et collaborations internationales
- 3 Thèse en collaboration avec Damien Texier
- 4 Bilan financier de l'année 2022 et proposition de budget pour 2023
- 5 Présentation du projet de chaire DANI (Données, Apprentissage et modèles Numériques pour l'Ingénieur)**



Chatterjee, K., Echlin, M. P., Kasemer, M., Callahan, P. G., Pollock, T. M., and Dawson, P. (2018). Prediction of tensile stiffness and strength of ti-6al-4v using instantiated volume elements and crystal plasticity.  
*Acta Materialia*, 157 :21–32.



Stinville, J.-C., Charpagne, M.-A., Maaß, R., Proudhon, H., Ludwig, W., Callahan, P. G., Wang, F., J., B. I., Echlin, M. P., and Pollock, T. M. (2023). Insights into plastic localization by crystallographic slip from emerging experimental and numerical approaches.  
*Annual Review of Materials Research*, Accepted for publication.