



CODOR n°3 chaire BIGMECA, 08 décembre 2021 ■■

## ■ 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 Extension des actions de la chaire BIGMECA
- 3 Dissémination
- 4 International collaborations
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Extension des actions de la chaire BIGMECA
- 3 Dissémination
- 4 International collaborations
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022

# Développements de la plateforme de données BIGMECA

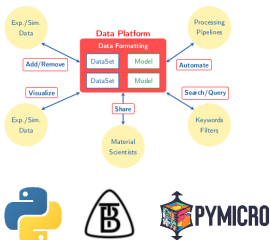
Postdoc Aldo Marano (maintenant à l'ONERA)

## Features

- XDMF/HDF5 – Paraview
- Data management, compression
- High-level user friendly API
- Flexible and rich data model
- GitHub – Full Documentation

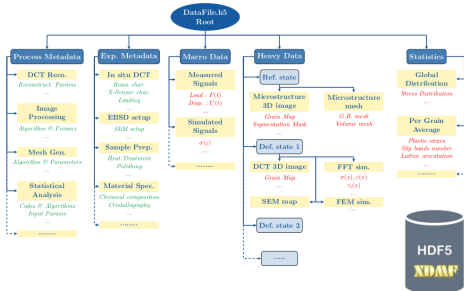
## Interfaces

- Generic classes to create interfaces
- F. Nguyen Automatic mesher
- Zset and Amitex\_FFTP
- Subclass dedicated for polycrystalline datasets (sim, DCT, EBSD outputs)



README

PyMicro is an open source Python package to work with material microstructures and 3d data sets.

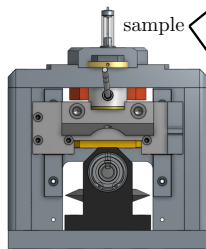
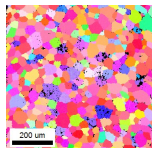
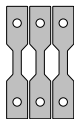


# Statistical 4D tomography of polycrystalline materials

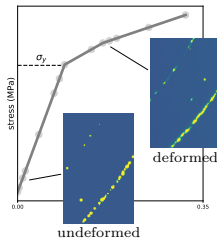
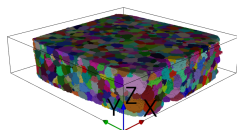
PhD thesis Clément Ribart 2019-2022

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

small Ti samples  
(50  $\mu\text{m}$  grain size)



in situ tensile rig  
for the synchrotron



local grain measurements

# Automated tomographic segmentation using CNN

Work of Joao Bertoldo, collaboration with E. Decencière CMM





- Automated tomographic segmentation using CNN (paper published [Bertoldo et al., 2021])
- Rewriting the DCT pipeline (co-author of Clément experimental paper)

ORIGINAL RESEARCH article

Front. Mater., 25 November 2021 | <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.761229> 



## A Modular U-Net for Automated Segmentation of X-Ray Tomography Images in Composite Materials

 João P. C. Bertoldo<sup>1\*</sup>,  Etienne Decencière<sup>2</sup>,  David Rycckelynck<sup>1</sup> and  Henry Proudhon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre des Matériaux, MINES ParisTech, PSL University, Paris, France

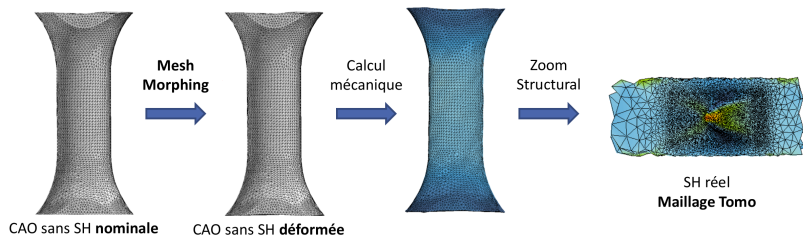
<sup>2</sup>Centre de Morphologie Mathématique, MINES ParisTech, PSL University, Paris, France

X-Ray Computed Tomography (XCT) techniques have evolved to a point that high-resolution data can be acquired so fast that classic segmentation methods are prohibitively cumbersome, demanding automated data pipelines capable of dealing with non-trivial 3D images. Meanwhile, deep learning has demonstrated success in many image processing tasks, including materials science applications, showing a promising alternative for a human-free segmentation pipeline. However, the rapidly increasing number of available architectures can be a serious drag to the wide adoption of this type of models by the end user. In this paper a modular interpretation of U-Net (Modular U-Net) is proposed with a parametrized architecture that can be easily tuned to optimize it. As an example, the model is trained to segment 3D tomography images of a three-phased glass fiber-reinforced Polyamide 66. We compare 2D and 3D versions of our model, finding that the former is slightly better than the latter. We observe that human-comparable results can be achieved even with only 13 annotated slices and using a shallow U-Net yields better results than a deeper one. As a consequence, neural networks show indeed a promising venue to automate XCT data processing pipelines needing no human, adhoc intervention.

# DMS project of Daria Mesbah 2020-2021

Etude de modes géométriques pour des jumeaux numériques d'éprouvettes en superalliage monocristallin

Characterize morphological variations of fundry parts from tomographic images

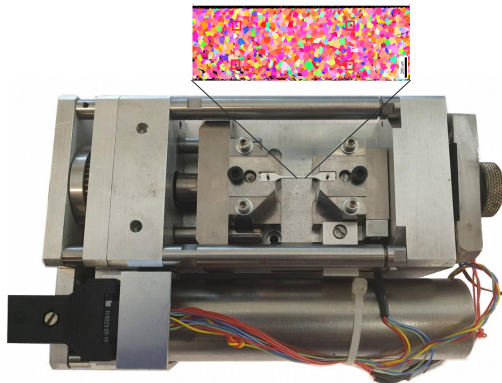


## Advising team

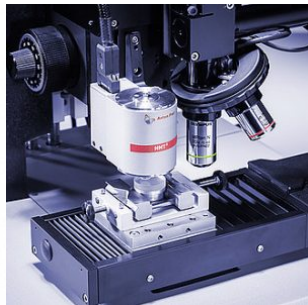
D. Ryckelynck & A. Aublet (CDM), C. Remacha & R. Cariou (Safran PFX)

# Projet DMS de Kenza Zougagh 2020-2021

Identification of crystal plasticity constitutive behaviour using local characterization methods



SEM in situ tension  
at Centre des Matériaux



Nano-indentation  
at SafranTech

## Advising team

H. Proudhon & C. Ribart (CDM), S. Gourdin & F. Coudon (SafranTech)

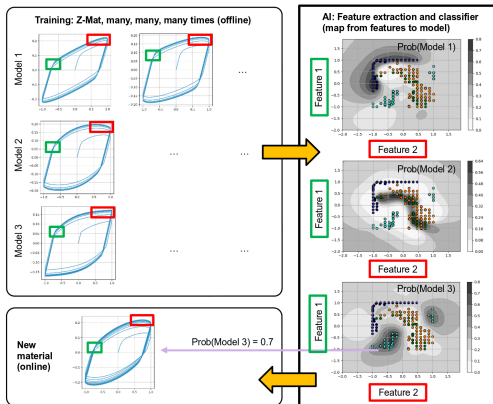


# DMS project of Jordan Ngucho Mbeutchou

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

## Dis moi qui je suis ?

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



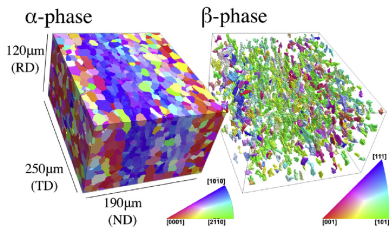
## Advising team

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



[Chatterjee et al., 2018]

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

## Advising team

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

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Extension des actions de la chaire BIGMECA**
- 3 Dissémination
- 4 International collaborations
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022

## Environnement étendu de la chaire

De nombreuses initiatives sont en cours pour poursuivre les thèmes explorés avec la chaire BIGMECA, certaines bénéficient à Safran directement.

- Thèse CIFRE SafranTech (PFX) Axel Aublet
- These CEA FOCUS collab Lionel Gelebart
- Thèse CIFRE SAE apprentissage pour l'influence des défauts sur la fatigue des alliages de fonderie
- Thèse open MINES Paris collab Thilo Morgeneyer et XnovoTech (Danemark)
- Thèse CMM-CDM projet ANR-DFG *Data-driven Stochastic 3D Microstructure modeling for learning mechanical properties*
- Stage M2 2022 simulation de la nano-indentation, collab Damien Texier MINES Albi et SafranTech
- Dépôt d'un projet européen DITARI sur le jumeau numérique et les grands instruments

# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Extension des actions de la chaire BIGMECA
- 3 Dissémination**
- 4 International collaborations
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022

# Séminaire BIGMECA du 18 novembre 2021

- Présenter les travaux de la chaire à une audience Safran élargie
- Organisation David Ryckelynck, Henry Proudhon et Fabien Casenave
- Mode hybride :  $\sim 30$  participants à SafranTech +  $\sim 30$  en ligne
- Les présentations non safran ont été enregistrées et mises en ligne sur le site de la chaire



## Conférences / Séminaires 2021

- 28 janvier 2021 H. Proudhon, GT Mecamat *Combining 3D experiments and crystal plasticity simulations with machine learning to predict short fatigue crack growth*
- 01 février 2021 H. Proudhon, 5<sup>th</sup> Annual Workshop on Advances in X-ray imaging *Advancement in the understanding of plasticity via in situ synchrotron methods*
- 04 février 2021 J. Bertoldo ISIS, workshop *Deep learning for automated segmentation of tomographic images*
- 06 avril 2021 C. Ribart, colloque plasticité *In situ multimodal experimental testing and simulations in volume for statistical analysis of crystal plasticity*
- 08 avril 2021 H. Proudhon, Séminaire I2M Ensam Bordeaux *Structural materials in 4 dimensions : the data challenge*

## Conférences / Séminaires 2021

- 31 mai 2021 J. Bertoldo ISIS, workshop *Challenges in image segmentation for ultra-fast diffraction contrast tomography*
- 30 juin 2021 C. Ribart, 3DMS conference *Statistical Analysis of Crystal Plasticity on Commercially Pure Titanium by Coupling 4D Testing and Finite Element Simulations*
- septembre 2021 A. Marano, David Ryckelynck, Complas 2021 *Microstructural uncertainty propagation in experimentally driven crystal plasticity simulations via model reduction and machine learning*
- septembre 2021 D. Ryckelynck, Mechanistic Machine Learning and Digital Twins for Computational Science, Engineering & Technology *Transfer learning via Rom-nets in mechanical engineering*



## Articles en cours de rédaction

**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*

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

**elastic constants** P. Reischig et al., *journal TBD* *Elastic constants estimation from 3D maps of complete elastic strain tensor fields obtained from DCT*

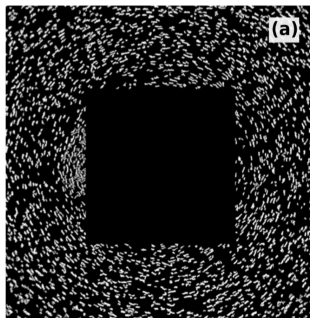
# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Extension des actions de la chaire BIGMECA
- 3 Dissémination
- 4 International collaborations**
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022

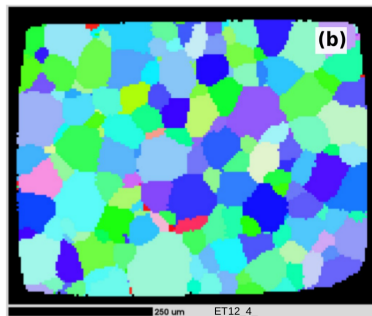
# S. Hall, University of Lund (Sweden)

Collaboration within the Ph. D. thesis of Clement Ribart

- New sample sent for 3D LabDCT at **Lund University**
- Polychromatic conical beam
- Consistent reconstruction



(a) Lab DCT detector  
1 image/201 - resolution 4 $\mu$ m



(b) Reconstructed grain map slice with  
GrainMapper (Xnovotech)

# Samantha Daly, PSL Visiting fellow in 2022

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.

Logos at the bottom of the slide include: NSF, GE, a university crest, RR, a circular logo with 'MATERIALS CHARACTERIZATION', a logo with 'INTEGRATED QUALITY', NASA, GM, and another circular logo.

On the right side of the Zoom window, there is a video feed of Samantha Daly, with her name 'Samantha Daly' displayed below it. The Zoom control bar at the bottom shows options for Mute, Stop Video, Participants, Chat, Share Screen, Record, and a red Leave button.

- S. Daly application with BIGMECA for PSL visiting fellowship accepted
- funding : PSL 1/3, BIGMECA 1/3, MPT 1/3
- Research collaboration and teaching (already started)

# International workshop on the mechanics of polycrystal

May 23-25 2022, hybride mode, co-organisation with  
S. Daly, sponsored by BIGMECA and Mecamat  
**2** days, **4** topics, **18** invited international speakers



- Tresa Pollock (UCSB)
- Fion Dunne (Imperial College)
- Albrecht Bertram (TU Berlin)
- Matti Lindroos (VTT)
- Stéphane Berbenni (Univ Lorraine)
- Fabrice Barbe (INSA Rouen)
- Jonathan Cormier (ENSMA)
- Aldo Marano (Onera)
- Romain Quey (EMSE)
- Thomas Antretter (Univ Leoben)
- Wolfgang Ludwig (ESRF)
- Darren Pagan (Pennsylvania State University)
- David Ryckelynck (MINES PT)
- Ludovic Thilly (Institut P')
- Arjen Roos (Safran)
- Cecile Miller (EDF)
- Samantha Daly (UCSB)
- Henry Proudhon (MINES PT)

# International workshop on the mechanics of polycrystal

- Site web en construction :  
<https://polycrystal.sciencesconf.org>
- Localisation : MINES Paris (amphi V107)
- Mode hybride
- Participation gratuite sous réserve d'inscription
- budget : BIGMECA (5 k€) + MECAMAT + CDM
- Ouverture des inscription début janvier 2022



# Plan

- 1 Point sur les études en cours
- 2 Extension des actions de la chaire BIGMECA
- 3 Dissémination
- 4 International collaborations
- 5 bilan financier de l'année 2021 et proposition de budget pour 2022**

# Validation de l'activité contractuelle confiée au CDM

- L'exécution des mastères DMS 2021-2022 seront confiées à ARMINES.
- Le montant est 20 keuros TTC / mastère DMS soit 40 keuros au total
- Vote du CODOR pour valider les actions/travaux confiés à ARMINES via le Centre des Matériaux



# Budget rectificatif

- Suite aux discussions en cours entre Safran et Mines Paris, nous avons décidé de revoir nos coûts d'encadrement des projets de mécénat :
  - Pour une thèse : 35 k€/an (au lieu des 42 k€/an prévu initialement)
  - Pour un post-doc : 40 k€ (au lieu des 50 k€/an prévu initialement)

# Budget rectificatif

- Suite aux discussions en cours entre Safran et Mines Paris, nous avons décidé de revoir nos coûts d'encadrement des projets de mécénat :
  - Pour une thèse : 35 k€/an (au lieu des 42 k€/an prévu initialement)
  - Pour un post-doc : 40 k€ (au lieu des 50 k€/an prévu initialement)
- Par ailleurs, nous avons regardé les coûts réels des salaires qui sont de :
  - Pour la thèse : 35 k€/an (au lieu des 42 k€/an annoncé)
  - Pour un post-doc : 45 k€/an (au lieu des 50 k€/an annoncé)

# Budget rectificatif

- Suite aux discussions en cours entre Safran et Mines Paris, nous avons décidé de revoir nos coûts d'encadrement des projets de mécénat :
  - Pour une thèse : 35 k€/an (au lieu des 42 k€/an prévu initialement)
  - Pour un post-doc : 40 k€ (au lieu des 50 k€/an prévu initialement)
- Par ailleurs, nous avons regardé les coûts réels des salaires qui sont de :
  - Pour la thèse : 35 k€/an (au lieu des 42 k€/an annoncé)
  - Pour un post-doc : 45 k€/an (au lieu des 50 k€/an annoncé)
- Au total, nous avons un reliquat de 86 k€ que nous proposons de consacrer à un nouveau projet de thèse
  - Pour lequel il nous faudra trouver le financement complémentaire de 124 k€

# Éléments budgétaires 2021

**réalisé en 2021 : total 203.75 keuros**

Montant (keuro)	Nature
8	frais de gestion fondation
4	actions pédagogiques (option IDSC, dont stage)
0	2 élèves IC trimestre recherche DIMA
3	3 mois CDD João Bertoldo
10	missions, conférences, achats
5	échanges internationaux
40	2 mastères DMS 2021-2022
64	9 mois post-doc Aldo Marano
70	12 mois thèse C. Ribart

## Bilan financier optimisé (keuros)

	2019 réel	2020 réel	2021 prévu	2021 réel	2022	2023	Total
Salaire thèse 1	9	35	35	35	26	-	105
Envir. thèse 1	9	35	35	35	26	-	105
Salaire postdoc	-	45	45	34	-	-	79
Envir. postdoc	-	40	40	30	-	-	70
Mastères DMS	40	40	40	40	40	40	200
Enseignement	3	5	7	7	10	10	35
International	-	-	15	5	20	15	40
Missions	5	6	10	10	10	9	40
Frais fondation	3	8	8	8	8	13	40
<b>Total (initial)</b>	69	214	230	204	140	87	<b>714</b>
Reliquat							86
Salaire thèse 2					18	35	53
Envir. thèse 2					18	15	33
<b>Total (nouveau)</b>							<b>800</b>

# Propositions de thèses pour le 2<sup>e</sup> sujet BIGMECA

- 1 suite DMS Jordan N'Gucho *Machine learning pour la sélection des lois de comportement en mécanique non linéaire des structures* (Pierre Kerfriden, 1/2 BIGMECA + Safra, Onera ?)
- 2 sujet en partenariat avec EDF R&D (Pierre Kerfriden and David Ryckelynck, 1/2 BIGMECA 1/2 EDF)
- 3 *Machine learning for structural material applications* (Henry Proudhon and Sam Daly, 1/2 BIGMECA, 1/2 NSF grant *Data-Driven Frameworks for Materials Discovery*)



Bertoldo, J. P. C., Decencière, E., Ryckelynck, D., and Proudhon, H. (2021).

A modular u-net for automated segmentation of x-ray tomography images in composite materials.

*Frontiers in Materials*, 8.



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.