



---

## Chaire BIGMECA

*Compte rendu du comité de pilotage #3*

---

Henry Proudhon  
henry.proudhon@mines-paristech.fr

CENTRE DES MATÉRIAUX MINES PARISTECH,  
UNIVERSITÉ PSL

9 octobre 2020

## Agenda

**Date et lieu** réunion en distanciel sur Jitsi le 07 octobre 2020

**Rédaction** Aldo Marano et Henry Proudhon

**09h00** Connexion à la réunion

**09h05** Tour d'écran

**09h15** Introduction, dernières nouvelles de la chaire BIGMECA (HP)

**09h40** Plateforme de données BIGMECA (Aldo Marano)

**10h15** 4D experiments and simulations to study the deformation and fracture of structural materials (Clément Ribart)

**11h00** discussion

**12h00** fin de la réunion

## Présentation Henry Proudhon

- Dernier COPIL : le compte rendu de la dernière réunion (09 juin) a été perdu. Henry présente ses excuses.
- Site web en ligne et fonctionnel, des brèves y sont postées régulièrement, le site reprend également le fil twitter avec le hashtag #BIGMECA. La partie privée (accès par login/mot de passe) regroupe tous les documents et les présentations des diverses réunions d'avancement. Le rapport sur le développement de la plateforme est disponible au téléchargement. Le rapport a été envoyé à Christian et Martine pour diffusion. Quelques copies papier ont été éditées, ne pas hésiter à en demander une.
- 2 DMS BIGMECA (parmi 13) ont commencé au 1er octobre, un chez M&P, un chez PFX. Coté M&S, le stage sur la *Sélection automatisée de modèle matériau par machine learning* est reporté

**Kenza Zougagh** va travailler sur l'*identification de lois de comportement en plasticité cristalline à l'aide de méthodes de caractérisation locales avancées* (collaboration Clément Ribart) - identification locale, traction in situ MEB, nano indentation dans les grains - T40, AD730 (base Nickel, maillage) - pourra contribuer à l'amélioration du code DCT pour le maillage

**Daria Mesbah** va travailler sur le *Suivi expérimental et numérique d'essais de fluage sur éprouvettes en superalliage monocristallin* (collaboration Axel Auble) - modélisation de défauts géométriques dans les données tomographiques - représentation de la zone du défaut par le morphing d'une géométrie CAO

- Tenue du colloque international mécanique du polycristal : incertitudes sur la tenue en présentiel. Solutions possibles : hybride, 100% distanciel. Sondage en cours auprès des orateurs.

## Présentation Joao Casagrande Bertoldo

Joao est étudiant des Mines de Paris et a rejoint la chaire pour son projet de fin d'études du 18 septembre 2020 au 15 mars 2021. Le sujet porte sur l'*implémentation d'un réseau de neurone convolutif pour la segmentation automatique d'images de tomographie*. Utilisation d'un réseau basé sur U-net pour application à l'observation de la

rupture / fatigue dans les matériaux, collaboration avec Etienne Decencière du CMM.  
- première étape : mise en place de l'architecture CNN pour la segmentation (tomographies de matériaux composites) - seconde étape : segmentation de fissures de fatigue (tomographiques d'éprouvettes inconel, essais de fatigue interrompus)

## Présentation Aldo Marano

Mise en place de la plateforme de données qui va permettre d'analyser les essais 4D / simulations conjointes. Accéder à des statistiques auxquelles on avait pas accès avant. possibilité aussi de faire de la propagation d'incertitudes. But de la plateforme : organiser les données (grande variété), visualiser, automatiser les traitements, permettre la science ouverte, interface de haut niveau, accès distant (qui reste une idée à ce stade).

Le rapport détaillant la bibliographie et la définition de la plateforme a été publié (dispo sur le site internet de la chaire). les premiers développements sont permis de faire fonctionner deux use cases : DCT de Clément Ribart et éprouvette de Axel Aublet. La plateforme permet de compresser les données facilement avec un facteur moyen de 10 selon la précision souhaitée (pour la compression avec pertes).

L'intégration des développements de la plateforme avec Pymicro a démarré dans une nouvelle branche du code sur <http://github.com/heprom/pymicro>. L'intégration fonctionne partiellement et est en cours (première version stable attendue pour le mois de novembre. Les développements seront alors déployés pour les études en cours (Clément, Axel et Joao).

Application sur la propagation d'incertitudes. Calcul de plasticité cristalline haute fidélité par un solveur FFT à partir de la microstructure expérimentale ( $5.10^8$  voxels,  $\sim 10$  k grains). calculs de la réponse locale par zoom structural éléments finis (maillages automatiques de subsets). Évaluation de l'influence de la position précise des joints de grains en les faisant varier d'un calcul à l'autre. Pour cela, on va construire une représentation paramétrique aléatoire de la position des joints de grains  $\rightarrow$  méthodes de MC pour générer des centaines de microstructures et évaluer les incertitudes.

## Présentation Clément Ribart

Clément présente les avancées récentes depuis le dernier copil. Sur le volet expérimental, beaucoup de points ont avancé :

- récupération des données de la campagne PSICHE qui étaient restées à soleil (tomographie contraste de phase, diffraction en champs lointain)
- essais de traction monotones avec Bulky et suivi de marqueurs pour obtenir courbes de comportement du matériau utilisé en DCT in-situ.
- Observation microscopique (MEB) des essais passés en traction : pas de localisation plastique intragranulaire constatée (matériau trop pur, plasticité homogène à faible déformation)

- Solution envisagée :  $\mu$ -DIC avec dépôt de nano-particules d'or pour voir les très fines bandes. Collaboration avec Santa Barbara (S. Daly)
- DCT laboratoire : voyage de Clément à Lund pour passer en LabDCT de nouveaux échantillons similaires (T40) pour enrichir la base de donnée. Technique moins précise qu'en Synchrotron mais plus facilement accessible, des échantillons ont déjà été envoyés et les résultats semblent prometteurs. De nouveaux échantillons de 600 microns de coté sont en train d'être préparés à cet effet.

Du coté de la simulation, le travail vient de commencer :

- identification de loi de comportement (plasticité : systèmes prismatiques et basals, auto-écrouissage)
- difficultés sur le maillage : éléments distordus, grand nombre d'éléments, facettes rugueuses des grains. Mise en place d'une procédure de maillage (avec F. Nguyen) pour lisser le maillage des joints de grains et réduire la densité du maillage.
- autre problème de l'analyse morphologique DCT pour le maillage. Reconstruction DCT  $\rightarrow$  convention connexité faible pour les grains. Algorithme de maillage  $\rightarrow$  convention connexité forte. Il faut un traitement supplémentaire pour supprimer les grains identifiés morphologiquement du fait de la connexité forte.
- premiers résultats de simulation sur petit agrégat test
- Adaptation de la routine informatique de loi de comportement pour simulation FFT (utilisation du générateur d'UMAT MFRONT) à venir, pour premiers tests simulation FFT

Enfin, Clément présente les travaux à venir :

- Adaptation algorithme 6D à la ligne PSICHE pour reconstruction des scans d'échantillons déformés, traitement des données Far-field ;
- nano-mouchetis pour micro-DIC sous MEB avec l'équipe de Santa Barbara ;
- simulation de volumes complets, avec loi de comportement enrichie ;
- regroupement des données exp/simu dans des jeux de données multi-modaux ;
- in fine : apprentissage statistique sur les jeux de données ainsi constitués (modélisation de la courbure de réseau, glissement plastique).

Précisions de Henry et Clément sur la limite principale de la technique DCT : superposition des grains sur le détecteur  $\rightarrow$  limite = nombre de grains illuminés Il y a un compromis taille de grain/ taille d'éprouvette pour assurer un nombre de grains raisonnable pour permettre la reconstruction (en pratique, de l'ordre du millier par scan)

Discussion sur la comparaison des microstructures imagées & reconstruites par différentes techniques : comparaison EBSD / DCT prévue  $\rightarrow$  Clément à imagé certains échantillons avec ces 2 techniques, il reste à réaliser la comparaison au point de vue technique.

Question sur le type d'écrouissage dans la loi de comportement : à priori matériau pur donc plutôt comportement d'écrouissage isotrope  $\rightarrow$  pour un alliage on privilégiera plutôt un écrouissage cinématique surtout pour les faibles déformations plastiques.

## Discussion

- David : projet PRC CALIF, monter réunion sur la plateforme de données ? Christian souligne le projet Arize, problématiques similaires (plateforme de donnée, bibliothèque matériau).
- BasicTools : utiliser le code comme coeur de manipulation des maillages ? Christian très favorable → Basile Marchand déjà contributeur, connaît le code. Fabien Casenave interlocuteur privilégié pour les questions techniques liées à l'implémentation.
- Sollicitation de la part de Hutchinson sur l'étude des matériaux composites et leurs défauts, pourrait nourrir la chaire Bigmeca.
- Thématique du couplage électromagnétique-composites (blindages électromagnétiques, machines électriques, IOT). Question : Le CdM a-t-il intérêt à investir sur ce sujet ? Safran est-il intéressé ? C.R. : il y a des travaux à Safran sur le sujet, discussion à avoir, échanger les contacts pertinents.
- Futures partenaires ? EDF, contacté par H. Proudhon et J. Besson → pas de retour.

## Cloture de la réunion

**Prochain COPIL** proposition de Henry, début Janvier → Mercredi 13 janvier Matin.

A confirmer

**Prochain CODOR** prévu le 8 décembre après-midi.