



Chaire BIGMECA

Compte rendu du comité de pilotage #6

Henry Proudhon
henry.proudhon@mines-paristech.fr

CENTRE DES MATÉRIAUX MINES PARISTECH,
UNIVERSITÉ PSL

30 août 2021

Présents

Henry Proudhon, Clément Ribart, Aldo Marano, Axel Aublet, Daria Mesbah, David Ryckelynck, Florent Coudon, Kenza Zougagh, Christian Rey, Lionel Marcin, Clement Remacha, Franck N’Guyen, Fabien Casenave, Arjen Roos, Arjun Matpadi Raghavendra.

Agenda

Date et lieu réunion en distanciel sur Jitsi le 26 août 2021

Rédaction partagée entre les intervenants, synthèse Henry Proudhon

09h00 Connexion à la reunion

09h10 Dernières nouvelles de la chaire BIGMECA (Henry Proudhon et David Ryckelynck)

09h30 Plateforme de donnees BIGMECA (Aldo Marano)

10h00 Prédiction rapide de la durée de vie de pièces de fonderie (Axel Aublet)

10h25 4D experiments and simulations (Clement Ribart)

10h50 DMS Kenza Zougagh

11h10 Étude de modes géométriques pour des jumeaux numériques d’éprouvettes en superalliage monocristallin (Daria Mesbah)

11h30 Rewriting the DCT pre-processing pipeline (Joao Bertoldo)

11h50 Points divers

12h20 Fin de la réunion

Présentation Henry Proudhon

Henry présente quelques nouvelles générales à propos de la chaire. De nouvelles expériences de DCT ont eu lieu à Psiché début juillet 2021 avec quelques nouveautés : un plus grand capteur (champs angulaire plus large, meilleure résolution spatiale), un nouveau système de beam stop et une première tentative d’installation du code de reconstruction (cf présentation de Joao). En parallèle, des essais préliminaires de labDCT sur un échantillon plat ont été fait chez Xnovotech et s’avère très concluants. Cette technique sera utilisée dans une thèse qui va commencée à la rentrée et qui sera proche des techniques utilisée dans la chaire (essais 4D, jumeau numérique).

La plateforme de donnée continue son développement avec l’ajout de nombreuses nouvelles fonctionnalités et le déploiement au centre des matériaux. Henry a été contacté pour participer à un projet Européen autour de la thématique du digital twin pour les grandes infrastructures de recherche. Si cela passe, ce sera un pont très intéressant pour un éventuel changement d’échelle de la plateforme.

Du coté des relations international, Henry annonce que Samantha Daly (professeure à University of California Santa Barbara) va venir au labo de fin mars à fin juin 2022. Elle a été sélectionné pour le PSL visiting fellow pour lequel nous avons déposé un dossier. Elle donnera à ce titre 33h de cours y compris dans CVML, DIMA, IDSC, etc. Elle travaille sur des thème de recherche proches de ceux de la chaire (mécanique et machine learning) ce

qui sera une excellent opportunité pour collaborer. Elle participera au colloque polycristal qui à été reporté au printemps 2022.

David Ryckelynck rappelle que nous avons désormais dans le cycle IC les trimestres recherche et en particulier DIMA (données images modèles et analyse) au cours desquels les élèves de l'école viennent passer 2 mois dans les labos. La première édition au printemps a donné de très bons résultats, en particulier ceux de Arnaud Mondon qui seront présentés cet automne à San Diego. L'option accueillera cet année 28 élèves ce qui en fait une des plus grosses de l'école. 18 élèves ont été diplômés cette année.

Le séminaire BIGMECA sera organisé à SafranTech le 18 novembre pour présenter les travaux de la chaire à une audience Safran élargie. Fabien Casenave a établi un programme avec David. La journée se déroulera en mode hybride.

Cette année nous avons commencé à présenter les résultats de la chaire dans de nombreux séminaires et conférences. Des articles sont en cours de rédaction et il faut intensifier ce point qui est clé pour notre visibilité.

Présentation Aldo Marano

Les dernières avancées sur le développement de la plateforme de données ont été présentées. L'outil est finalisé sous forme d'une version beta, incorporant de nouvelles fonctionnalités de nature (séries temporelles de champs, nouveaux types de tableaux), compression (compression avec perte et normalisation) et exploration des données. Son déploiement au Centre des Matériaux est en cours, réalisé par Basile Marchand. Ceci permettra sa diffusion et utilisation aux différentes équipes du centre, et la pérennité de son développement et son support.

Une publication destinée à présenter et mettre en valeur la plateforme est en cours d'élaboration. Elle s'appuiera sur la revue biblio du rapport produit l'an passé, et un cas d'application de jeu de donnée polycristallin massif et multimodal. Ce jeu de donnée s'appuie sur un échantillon étudié par Clément RIBART dans le cadre de sa thèse, et comprendra des données issus d'imagerie DCT, MEB/EBSD in-situ, et de simulation numérique. La chaîne de simulation numérique FFT est en place, validée par un calcul élastique test sur le volume DCT complet sur le cluster Jean Zay. Des difficultés subsistent quand à la validation de la loi de comportement et ses coefficients.

Présentation Axel Aublet

Le résumé de la présentation ne fait pas partie du compte rendu.

Présentation Clément Ribart

Clément rappelle l'objectif principal de ses travaux : coupler scans en volume (DCT) et surface (MEB) → Jeux de données in situ multimodaux hybrides. Etudier l'évolution

de la rotation et/ou courbure de réseau cristallin (DCT, EBSD, Simulations FFT). Clément rappelle ensuite les éléments importants à retenir du statut précédent : (i) Essai préliminaire EBSD in situ concluant (ii) Préparation rigoureuse d'un jumeau numérique pour les simulations (iii) Premiers résultats prometteurs de reconstruction DCT de laboratoire.

La présentation de la partie expérimentale explicite la 2^{ème} campagne DCT in situ qui lieu en Juillet 2021 sur la ligne Psiché : (i) Acquisition multimodale en volume (DCT, FF, PCT), (ii) Nouveau détecteur : champ de vue élargi + taille de pixel réduite → Résolution améliorée et reconstruction facilitée en théorie mais taille de donnée accrue (150Go/scan DCT) → Gestion plus lourde des données (iii) Conditions d'acquisition optimisées (nouvelles éprouvettes, réglages détecteurs).

Clement présente alors les différents datasets obtenus au cours de la thèse. Un essai in situ au MEB sur une éprouvette caractérisée en DCT est prévu la semaine prochaine. A ce stade on considère que la partie expérimentale de la thèse est terminée.

- Exemple 1 multimodal - 1er essai multimodal avec EBSD in situ composé de (i) Scan de référence MEB + DCT (ii) EBSD in situ (iii) DCT post mortem.
- Exemple 2 multimodal - Détail d'un essai Synchrotron in situ par paliers (i) Scans de référence au MEB (ii) Nouveaux scans de référence en DCT, PCT et FF (iii) Charge par incréments jusqu'au niveau de charge cible + repositionnement (grâce à la PCT + indents de référence), (iv) Scans sous charge à 0.7% et 1.1% de déformation, (v) Scan MEB post mortem
- Exemple 3 multimodal - 2eme essai multimodal EBSD in situ - protocole optimisé : (i) Etude fine par imagerie de l'activité de glissement plastique aux premiers stades de la déformation (ii) EBSD déchargés à partir de 0.5% : Champ large + scans locaux haute résolution en présence d'activité plastique

La dernière partie concerne la simulation. Clément présente le formalisme de Mandel pour la plasticité cristalline en grandes déformations : la cinématique $F = EP$ découle d'un découplage des contributions plastique P et élastique E → Accès rotation de réseau + courbure de réseau (à comparer à l'EBSD et la DCT). Au niveau de la loi de comportement mécanique : Formalisme de type Meric & Cailletaud → Accès au champ des contraintes + glissement cumulé par système. Pour l'identification de paramètres : (i) Mise en donnée : Elastoviscoplastique (`gen_evp` Z-set + déclaration des systèmes de glissement) + homogénéisation Breveiller-Zaoui pour fit avec donnée de référence macroscopique (ii) Optimisation Z-opt pour obtenir des paramètres avec un sens physique. Plusieurs hypothèses ont été testées : Négliger contribution écrouissage en petites déformations → Valeurs de CRSS réalistes et cohérentes + Fit parfait. Malgré cela on a observé un écart significatif de la prédiction sur un calcul champ complet (FFT) avec la courbe référence → Besoin de réévaluer l'identification.

Présentation Kenza Zougagh

Dans le but d'étudier deux matériaux à l'échelle locale, le titane T40 et l'alliage à base nickel AD730, deux méthodes de caractérisation locale font l'objet de cette étude.

Dans un premier temps, les résultats de nanoindentation du superalliage AD730 ont été présentés, permettant le calcul du module d'Young directionnel de chaque grain à l'aide de la méthode d'analyse d'Oliver & Pharr. Dans un second temps, des premières simulations numériques ont été réalisées dans le but de valider cette méthode d'analyse. Enfin, le programme des essais de traction in situ a été établi et les résultats issus de ces essais seront présentés dans le rapport final du projet.

Présentation Daria Mesbah

Daria présente l'avancement du projet DMS *Etude de modes géométriques pour des jumeaux numériques d'éprouvettes en superalliage monocristallin* (changement de titre par rapport à *Suivi expérimental et numérique d'essais de fluage sur éprouvette en superalliage monocristallin*). Le projet a pour objectif de proposer une méthode de déformation de maillage permettant à des maillages CAO de pièces de capter les variations géométriques induites par l'élaboration des pièces à partir de modes géométriques, les "Laplacian Eigenmaps". Cette méthode permet de mesurer des écarts géométriques entre les versions maillées de la pièce scannée par tomographie aux rayons X et de la pièce issue de conception. L'algorithme de "Mesh Morphing" par Laplacian Eigenmaps, dont les étapes sont présentées dans une première partie, est appliquée aux éprouvettes utilisées dans le cadre de la thèse d'Axel Aublet. La qualité du morphing est évaluée en s'intéressant d'une part au résidu géométrique entre le maillage CAO déformé et le maillage de la pièce réelle, et d'autre part, d'un point de vue mécanique, au moyen d'un calcul élastique de traction. Cet aspect mécanique vise à étudier l'impact des variations géométriques captées par les modes sur l'état de contraintes de la pièce produite par rapport au nominal mais aussi à garantir que le transfert d'un champ (déplacement, contraintes) calculé sur le maillage CAO déformé, vers une zone d'intérêt sur la pièce réelle, permet d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus à l'issue d'un calcul analogue réalisé sur le maillage de la pièce complète.

Joao Bertoldo

Rappel du contexte : la reconstruction DCT au ESRF commence par une étape de preprocessing et d'une étape de segmentation des tâches de diffraction. Le preprocessus vise à corriger des artefacts présents dans les images d'acquisition et consiste à soustraire l'offset des images, supprimer le fond (partie constante dans les frames), compenser la variation du faisceau et réduire les hotspots. La segmentation vise à isoler les régions de l'image contenant les tâches de diffraction ; l'algorithme consiste à appliquer deux seuillages, le premier étant global et servant à trouver des régions connexes qui servent de base pour appliquer le deuxième seuil, qui est un ratio par rapport au point le plus intense de chacune des régions.

Ces deux étapes de calcul étaient précédemment écrites en MATLAB et maintenant son écrites en Python. Le nouveau logiciel imite les mêmes algorithmes que précédemment, mais avec une nouvel ré-implémentation complète. Les caractéristique principales du nouveau code sont : basé sur ipython et jupyter lab, le code s'organise en jupyter notebooks,

les paramètres sont sauvegardés dans un fichier YAML, des interfaces interactives sont générées avec ipython widgets, la parallélisation du code est faite utilisant multiprocessing avec mémoire partagée et les données, ainsi que ses métadonnées, sont sauvegardés en fichiers HDF5. Pour un jeu de données de référence, cette étape de calcul prenait précédemment 30 minutes en occupant 8 machines en parallèle. Le temps de calcul a été réduit à 10 minutes sur une seule machine avec 30 coeurs. Le code a été installé sur la machine bigmeca de la ligne Psiché et utilisé pour (partiellement) analyser les images du matériau de Kenza (AD730).

Discussion

Les 2 sujets de mastère DMS ont été validés :

- Modélisation microstructurale du phénomène Cold-Dwell dans le TA6V – interlocuteur Safran Lionel Marcin - Safran aircraft Engines
- Machine learning pour la sélection des lois de comportement en mécanique non linéaire des structures – interlocuteur Fabien Casenave - Safran Tech

Les candidats ont été recrutés, il s'agit respectivement de Hamza JELIDI et de Yvan Jordan NGUCHO MBEUTCHOU.

Un troisième sujet sur autour des thèmes de la chaire est également au programme de l'an prochain :

- Simulation des contraintes résiduelles par la méthode hybride et par la data appliquée à l'usinage – interlocuteur Habib Karaouni - Safran Tech

Le candidat à également été recruté, il s'agit de Mohamed-Vadil BEYAH.

Cloture de la réunion

Prochain COPIL le 18 novembre aura lieu le workshop BIGMECA à SafranTech, en décembre ce sera le CODOR. Sur proposition de Henry le Jeudi 27 janvier 2022 matin est retenu.