



Chaire BIGMECA

Compte rendu du comité de pilotage #4

Henry Proudhon
henry.proudhon@mines-paristech.fr

CENTRE DES MATÉRIAUX MINES PARISTECH,
UNIVERSITÉ PSL

15 janvier 2021

Présents

Henry Proudhon, David Ryckelynck, Clément Ribart, Joao Casagrande Bertoldo, Aldo Marano, Axel Aublet, Franck N'Guyen, Christian Rey, Lorenzo Battara, Habib Karouni, Lionel Marcin, Clément Remacha, Fabien Casenave, Florent Coudon, Ciobanu Oana Alexandra.

Agenda

Date et lieu réunion en distanciel sur Jitsi le 13 janvier 2021

Rédaction Joao Bertoldo, Clément Ribart, Aldo Marano et Henry Proudhon

09h00 Connexion à la réunion

09h10 Introduction, dernières nouvelles de la chaire BIGMECA (Henry Proudhon)

09h40 4D experiments and simulations (Clement Ribart)

10h10 Prédiction rapide de la qualité de pièces de fonderie par imagerie 3D et calculs mécaniques (Axel Aublet)

10h40 Segmentation automatique par deep learning (Joao Bertoldo Casagrande)

11h10 Plateforme de données BIGMECA (Aldo Marano)

11h40 discussion

12h00 fin de la réunion

Présentation Henry Proudhon

Henry présente les dernières nouveautés de la chaire, la semaine CVML à venir (22-26 février 2021), l'évolution des collaborations internationales (principalement en pause à cause de la crise sanitaire) et les conférences à venir où les travaux de la chaire seront abordés. Les mastères DMS rédigent leur rapport bibliographique. Ils seront présents au prochain copil.

Présentation Clément Ribart

Rappel COPIL3 sur l'étude du matériau T40 : le faible nombre de bandes de glissement observées en surface (déformation hors plan uniquement = glissement aux joints de grain ?) nous a incité à poursuivre sur des essais MEB in-situ par EBSD pour se concentrer sur l'évolution de la courbure de réseau.

Un premier essai concluant en traction in situ au MEB (EBSD) à été réalisé au CDM :

- Conditions d'essai : Chargement interrompu jusqu'à $\varepsilon^p = 2.3\%$, EBSD à chaque étape après décharge (résolution 1 μm , 8 h/scan, surface 0.8 x 1.2 mm)
- Observation de gradient d'orientation intra-granulaire
- Observation post mortem : Quelques bandes glissement. Attribué à une meilleure préparation de surface \rightarrow analyse de l'activité plastique avec la théorie du facteur de Schmid (Pymicro). Bonne prédiction pour les bandes de glissement observées (exclusivement prismatique).

Analyse des facteurs influençant la plasticité du T40 :

- Bibliographie : Influence de la métallurgie (O, Fe, taille de grains)
- Travaux récents ANR CDM/LMS (Barkia). Essais MEB in-situ : Mécanisme de plasticité dominant observé dans toutes les direction de chargement à 2% = Glissement prismatique
- Métallurgie lot matière : Phases riches en Fe aux joints de grain
- Histoire matériau, direction de chargement, taux de déformation, préparation de surface, géométrie → Usinage de nouvelles éprouvettes adaptées

Essai MEB in-situ DIC :

- Objectif initial : Réaliser un DIC en champ large en s'inspirant des travaux de l'UCSB
- Préparation : Dépôt de nano-particules homogène sur une surface 0.8x1.2mm
- Conditions d'essai : Chargement interrompu jusqu'à $\epsilon_p = 2.3\%$, Mosaïque de 44 imagettes à chaque étape après décharge (res 50 nm, 1 h/scan, surface 0.8 x 1.2 mm)
- Résultat : On distingue de l'activité de bandes de glissement. Mais la qualité de dépôt et conditions d'acquisition doivent être améliorées

Statut des données en volume :

- Décembre 2020 : DCT 3D à l'ESRF avec la nouvelle source EBS. En cours de reconstruction pour projet GENCI (incertitude aux joints de grain)
- 1 éprouvette à scanner en 3D LabDCT (Lund)
- campagne PSICHE à préparer pour Juillet
- S'entraîner à exploiter la donnée 3DXRD : Utiliser l'outil FABLE - GrainSpotter*Statut donnée de simulation :
- Maillage amélioré (élimination d'artefacts dans la grain map DCT)
- Alignement des systèmes de coordonnées jumeau numérique/maillage
- Modèle Zset sélectionné : Mandel Crystal

Questions au sujet de la présentation :

Christian Rey : quel critère pour la densité de maillage? Celui-ci doit être choisi pour que la simulation donne un bon résultat. Réponse de Henry : Il y a 2 niveaux, le premier vise à bien décrire la géométrie ce qui n'est pas une chose aisée dans le cas d'une image multiphasée, qui plus est expérimentale. On a pour l'instant surtout travaillé sur le premier point grâce aux outils de Franck qui ont bien progressés. Une

Florent Coudon : comment identifier les paramètres de la loi de comportement? CR et HP : l'idée est de partir des lois de la littérature (en particulier issues du projet ANR TiTwip avec la thèse de Arina Marchenko) et de les raffiner par des essais locaux (essai de traction sur éprouvette tomographiée et nano-indentation dans le stage de Kenza Zougagh).

Présentation Axel Aublet

Objectif : Fabrication d'éprouvettes creuses en superalliage CMSX4+ par fonderie à cire perdue. par tomographie X puis maillage automatique de la géométrie. Benchmark sur les outils de maillage (VGStudiomax et outils de Franck N'Guyen). Essais expérimentaux de fatigue fluage avec gradient thermique pour identifier un modèle de fatigue TM (modèle fatflu). Au final, on cherche à mettre en place un hyper réduction de modèle pour faire des prédictions ultra-rapides de la DDV.

La fabrication a pris du retard mais fonctionne désormais grâce à l'introduction d'une masselotte pour limiter la formation de porosité dans la zone utile. Présentation de la première éprouvette terminée, de sa tomographie et du maillage automatique qui en est déduit. Les cartes de distance entre 2 maillages sont présentés.

Question de Lionel Marcin : pourquoi ne pas comparer les segmentations plutôt que les maillages ? AA : ça a été fait mais seule la comparaison des maillages est présentée. L'outil VGStudiomax est en développement rapide (le module de maillage n'est pas encore commercialisé) et semble très prometteur. En l'état actuel compte tenu de la résolution de l'image près du shaped hole, cet outil répond bien au besoin. La qualité des éléments est à surveiller.

Mise en place des essais de fatigue fluage au CDM : éprouvette installée dans un four à lampes avec extensomètre et fenêtre pour observation optique et/ou thermique. Un flux d'air contrôlé par un débitmètre passe au travers de l'éprouvette pour créer le gradient thermique. La calibration thermique du système est délicate mais progresse. Un modèle thermique a été mis en place et validé par comparaison de déformations mesurées par l'extensomètre. Une réduction de modèle pour capter les modes sera mis en place. Conception et fabrication d'un barillet en céramique imprimée 3D pour réaliser les TT des éprouvettes au CDM.

Le stage BIGMECA de Daria Mesbah : développement d'une méthodologie de morphing pour capter les variations géométriques d'une pièce par rapport à la CAO. La méthodologie se construit autour d'un calcul des modes d'un champ de déplacement entre les deux maillages par une méthode de Laplacian Eigen Map. Cette méthode est utilisée car la base de données de maillage de tomographie n'est pas disponible, on calcule les modes de manière indépendante pour le moment. Le travail n'ayant pas encore commencé, l'estimation du nombre de modes et leur interprétation n'est pas disponible à l'heure actuelle.

Question de Christian Rey : quel est l'ordre de grandeur du nombre de mode pour le morphing de maillage ? AA : on ne sait pas encore mais on va essayer de limiter le nombre de modes pour décrire l'écart de la pièce au nominal. DR : tout dépend du nombre d'éprouvettes observées par tomographie. Si on a un grand nombre d'observation, on pourra faire une analyse en composantes principales. Pour le moment on a pas ce gros volume de données et c'est pour ça qu'on utilise le laplacian eigenmap. CRey : on peut même aller plus loin que la prédiction d'une éprouvette en particulier et utiliser le modèle pour capturer l'impact des modes sur le phénomène observé.

Présentation Joao Casagrande Bertoldo

Mise en place d'un réseau CNN pour segmenter automatiquement des images de tomographie. images de matériau composite PA66 renforcé par fibre de verre et contenant de l'endommagement (porosités). résolution 1,3 micron, taille 2048 au cube. Architecture U-Net, modèle spécifique à la segmentation d'image. Succésion d'opérations de convolution, de down et up-sampling. comparaison avec le modèle 3D U-Net qui utilise des convolution 3x3x3.

Annotation manuelle (seeded region growing + suppression manuelle d'artefacts sous avizo) pour créer une vérité terrain pour avoir une image de référence de la segmentation que l'on veut obtenir. Séparation du volume en 3 : train, val, test. Le modèle est basé sur Keras + tensorflow. Le problème de classification est naturellement déséquilibré car la porosité ne représente que 0.5% des voxels. utilisation d'augmentation de données pour l'entraînement (random 3D crops, transformations géométriques, ajout d'une valeur constante aux niveaux de gris). utilisation de la batch normalisation et des connexions résiduelles.

3 variations de l'architecture ont été étudiées : (a) 2d, qui analyse les coupes indépendamment et utilise des convolutions 2d, (b) 2.5d, qui est comme le 2d mais qui prend des coupes adjacentes supplémentaire comme des canaux, et (c) 3d, qui analyse le volume avec des convolutions 3d. Optimisation : descente de gradient avec adam (keras), fonction de perte inspiré par l'index de jaccard, learning rate cyclique avec une forme triangulaire. Phénomène observé sur l'apprentissage : la perte sur l'ensemble d'entraînement descend très rapidement, mais la validation arrive en retard. Possiblement (i) un bias dans le split de données, (ii) dû à l'augmentation de données. Résultats qualitatifs : segmentation de référence très bien reproduite, quelques erreurs aux interface des différentes phases mais la segmentation est aussi bonne que la référence. Analyse d'un volume complètement inconnu bien réussie, une classe non définie (fracture) a été interprétée comme porosité donnant des bons résultats. Résultats quantitatifs : la porosité est effectivement la classe moins bien apprise au sens de l'indice de Jacard. Avec les métriques utilisées on note que les performances sont 2d $\hat{}$ 2.5d $\hat{}$ 3d, contrairement à ce qu'on s'attendait. On soupçonne un souci d'optimization car le modèle 2d est en fait inclu dans le 2.5d. La courbe d'apprentissage montre que une petite dizaine de coupes annotées suffisent pour arriver aux résultats observés.

Présentation Aldo Marano

Mise en place d'une infrastructure pour supporter les différentes chaines expérimentales et numériques. Intégration avec le package pymicro : le developpement de SampleData a été inclu dans le package dans un sous-package appelé core. La classe Microstructure de pymicro hérite désormais de SampleData. Le code inclue désormais des capacités de compression, un mécanisme générique de modèle de données, une gestion des accès aux données par des chemins des aliases, des noms. Introduction de tableaux structurées pour une gestion optimisée des données autres que les champs, par exemple les données associées chaque grain d'une microstructure. Intégration avec BasicTools, bénéficier des

I/O sur les maillages et de faciliter la collaboration avec Safran. La convention pour stocker les champs aux points d'intégration et la visualisation des champs aux points d'intégration reste à faire. Le package meshio est aussi regardé. FC : support de meshio dans BasicTools, format cgn à l'étude pour les points d'intégration.

Démonstrateur basé sur la fusion de 2 scans DCT de Clément. Cet exemple inclut la donnée brute de reconstruction, l'image dilatée et nettoyée, le maillage et le résultat de 3 calculs FFT fait avec des conditions limites différentes. La plateforme permet de construire et de manipuler très facilement ces jeux de données.

Le développement intensif de ces derniers mois a permis de produire une première version fonctionnelle de la plateforme (publiée sur le site github <http://github.com/heprom/pymicro>). Le travail va désormais se concentrer sur l'utilisation scientifique de la plateforme. HP travaille sur une chaîne de modélisation des polycristaux utilisant neper et Amitex, Joao va utiliser la plateforme pour ses développements, Hugo Launay (doctorant David) va également faire de même ce qui nécessite d'inclure la réduction de modèle dans la plateforme.

Lors de la reconstruction de volumes polycristallins imagés par DCT, la position des joints de grains reconstruits ne peut être connue parfaitement. Une chaîne de calcul dédiée à la quantification et la propagation des incertitudes de modélisation associée est en cours de développement, et s'appuiera sur la plateforme de données BigMeca. Elle reposera sur : (i) la construction d'un modèle paramétrique de la position incertaine des joints de grains permettant d'explorer l'espace des microstructure possibles ; (ii) une méthode multi-échelle associant calcul de référence complet FFT et exploration locale des déviations par la technique du Zoom structural (FEM) ; (iii) la sélection pertinente de calcul sur la base de critères mécaniques simples à court terme, assistée par machine learning à moyen terme. Le cas de l'élasticité polycristalline sera traité en premier, puis la méthode sera appliquée à la plasticité polycristalline.

Cloture de la réunion

Prochain COPIL proposition de Henry, mi Avril → Jeudi 15 avril matin.