

Calculs cycliques d'agrégats appliqués à la fatigue

J.-M. Stephan (EDF / R&D / MMC), J.-M. Proix, N. Sellenet (EDF / R&D / AMA)

Contexte

La fatigue est usuellement traitée de manière macroscopique. Pourtant la fatigue est, à l'origine, un endommagement local affectant un ou des grains de matériau, par l'apparition de micro-fissures au niveau des bandes persistantes de glissement ou des joints de grains.

Les critères globaux de fatigue ne peuvent pas aider à la définition de critères de fabrication (état de surface par exemple) améliorant la tenue à la fatigue. Il en est de même si on veut optimiser un plan d'essai en fatigue soit pour le limiter à des essais purement nécessaires, soit pour transposer les résultats d'un matériau à un nouveau matériau proche.

Obtenir une meilleure compréhension des phénomènes physiques relatifs à la fatigue permettrait, par exemple, d'optimiser les matériaux à leur utilisation future et à restreindre le nombre d'essais sur éprouvettes, aujourd'hui pratiqué en grand nombre.

C'est sur ces objectifs industriels partagés par EDF avec AREVA, ARCELORMITTAL et le CEA que le projet ANR AFGRAP (Amorçage en Fatigue de GRains d'Agrégats polycristallins et Propagation dans les grains adjacents) a été monté en 2008 en y associant 5 laboratoires universitaires (ARMINES, LMSSMat, PPRIMME, SIMAP et SYMME). Les moyens mis en œuvre sont des essais sur éprouvettes classiques de laboratoire ou de taille réduite pouvant être observées in-situ sous MEB, des analyses en microscopie en cours d'essais ou en fin d'essais, des développements en calculs de dynamique de dislocations et en calculs d'agrégats et un couplage entre ces deux moyens numériques.

EDF y contribue en réalisant des analyses microscopiques et des calculs d'agrégats. L'exposé porte sur la mise en place de ces calculs et les premiers résultats obtenus.

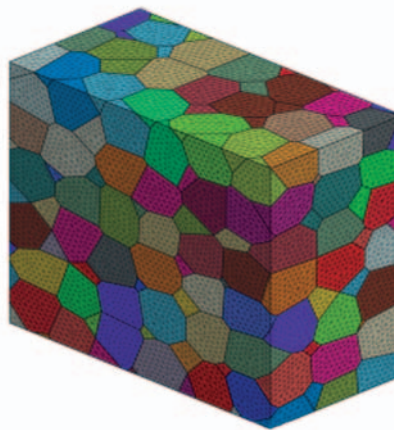


Figure 1 : Maillage.

Méthodologie

Les premiers calculs réalisés avaient pour objectif de se caler avec ARMINES, avec lequel nous allons réaliser en commun en 2011 une étude paramétrique sur les influences de la taille, la morphologie, les orientations des grains, le type de sollicitation, etc.

Le maillage utilisé est un maillage "synthétique" réalisé par la technologie de tessellation de Voronoi (figure 1). Le maillage d'un cube de $500 \times 500 \times 250 \mu\text{m}^3$ comporte 291 grains et la distribution des orientations des grains a été établie pour avoir un comportement global isotrope.

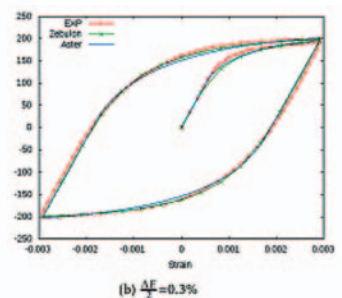


Figure 2 : Identification des paramètres du modèle de comportement.

Le nombre de nœuds est de 23 499 et le nombre de variables internes au modèle est de 39 (variables "globales" et variables liées aux 12 plans de glissement d'un matériau cubique à faces centrées).

Le modèle de comportement est un modèle empirique de type Cailletaud-Méric à un écrouissage isotrope et un écrouissage cinématique. Les paramètres ont été identifiés sur un ensemble de résultats d'essais cycliques (figure 2). Vu la taille du calcul, il n'est pas possible de réaliser plus d'une dizaine de cycles numériques.

Calculs cycliques d'agrégats appliqués à la fatigue

J.-M. Stephan (EDF / R&D / MMC), J.-M. Proix, N. Sellenet (EDF / R&D / AMA)

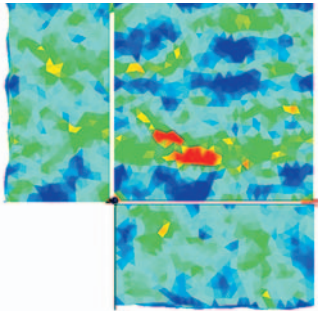


Figure 3 : Bandes de localisation.

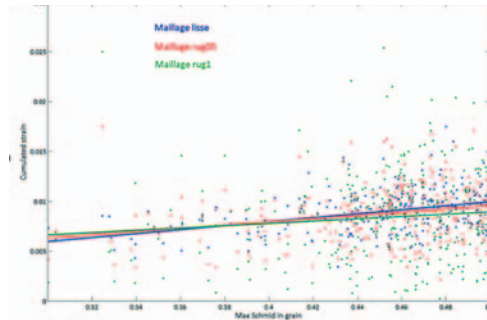


Figure 4 : Influence du facteur de Schmid.

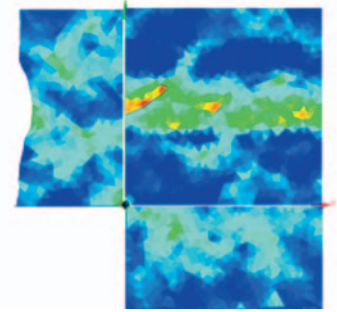


Figure 5 : Influence de la rugosité.

Les jeux de paramètres identifiés sont relatifs soit aux 4 premiers cycles soit aux cycles stabilisés, la stabilisation étant obtenue après 10 cycles numériques.

Le chargement du cube est constitué par un déplacement imposé cyclique sur une face, trois faces maintenues dans leurs plans d'origine et deux faces devant se déplacer parallèlement à leur plan d'origine. Les résultats sont dépouillés sur la sixième face, laissée libre.

Les calculs sont réalisés avec la version 10 de *Code_Aster*. Les dépouillements sont effectués par Salome et des programmes de post-traitement destinés à être intégrés à terme dans la plateforme MAP.

Résultats

Les calculs se font par étapes, l'une des plus délicates étant celle relative à la reprise de la plasticité après la première traction. Le premier résultat est la très bonne concordance des résultats entre le logiciel ZeBuLoN d'ARMINES et *Code_Aster*, que ce soit en utilisant le modèle de comportement interne à *Code_Aster* ou externe par Zmat. Ceci autorise la réalisation de l'étude paramétrique par deux équipes travaillant sur deux codes différents.

Les conditions aux limites influencent une partie importante des résultats, notamment sur les grains liés aux surfaces extérieures.

L'application de conditions aux limites "périodiques" devrait augmenter la taille des résultats utilisables.

Les résultats propres du calcul retrouvent qualitativement les constats effectués en essai, à savoir :

- l'influence du facteur de Schmid sur la valeur de la déformation plastique cumulée (que l'on assimile ici à la formation de bandes persistantes de glissement) (figure 3) ;
- la localisation des bandes de déformation plastique sur des plans à 45° (figure 4) ;
- des champs mécaniques plus importants à la surface libre.

Un autre calcul a été réalisé en prenant une surface libre rugueuse. La rugosité a un effet prépondérant sur la localisation des champs mécaniques (figure 5).

Perspectives

La possibilité d'appliquer des conditions aux limites périodiques pour étendre le champ des résultats utilisables a déjà été évoquée.

Outre l'étude statistique sur l'influence de divers paramètres, un calcul est programmé fin 2011 ou début 2012 sur un agrégat mesuré dans une éprouvette ayant été testée. L'agrégat sera choisi dans une zone comportant une microfissure. Le calcul portera sur l'agrégat non fissuré pour tenter de retrouver la localisation de l'amorçage en fissure. Ceci constituera une validation des calculs d'agrégat en fatigue.