

Calculs d'Agrégats appliqués à la Fatigue

J.M. STEPHAN (MMC)

J.M. PROIX, N. SELLENET (AMA)

Journée Code ASTER

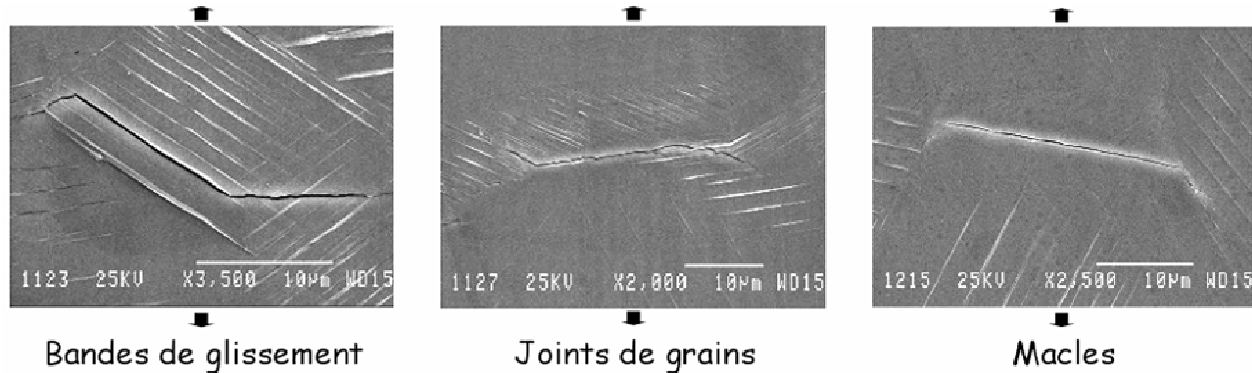
17 mars 2011



CHANGER L'ÉNERGIE ENSEMBLE

Besoin

- ◆ La fatigue est habituellement traitée sur le plan macroscopique.
- ◆ La fatigue est tout d'abord un phénomène local, mésoscopique/microscopique :
 - Fissures localisées au niveau des bandes persistantes de glissement
 - Fissures localisées aux joints de grains ou de macles



acier inoxydable austénitique 316L - $\Delta\varepsilon_p/2 = \pm 2.10^{-3}$ - 5 000 cycles - Air - 20°C

■ Thèse M. MINEUR, ENSMA, 2000

- ◆ L'amélioration des connaissances des mécanismes de la fatigue passe par des études à l'échelle locale
- ◆ → **Pour EDF** : Pouvoir optimiser l'état de surface, les plans d'essais ...

Cadre des études

- ▶ Ce besoin est partagé par d'autres industriels : AREVA, ARCELORMITTAL, CEA
- ▶ → Projet ANR AFGRAP : « Amorçage d'une Fissure de fatigue dans un Grain d'Agrégat et Propagation aux grains adjacents »
- ▶ 9 partenaires :
 - 4 industriels
 - 5 académiques : ARMINES, LMSSMat, PPRIMME, SIMAP, SYMME
- ▶ 2009-2012 - ~4 M€

Étendue des études AFGRAP

► Expérimentales et Numériques

► Expérimentales :

- Essais sur éprouvettes avec méplats et suivi de la surface (EBSD, détection des BPG et des microfissures)
- Essais in-situ MEB sur micro-éprouvettes
- Mesure, par couches successives EBSD et tomographie, d 'agrégats réels micro-fissurés
- Expertises après essais

► Numériques :

- Calculs DDD
- Calculs couplés DDD – EF agrégats (ZéBuLoN – NUMODIS)
- Calculs Agrégats : réels, paramétriques...non fissurés, fissurés
- Modèles de comportement empiriques ou issus de la DDD

► Confrontation Numérique Expérimental

Études numériques EDF

▶ Partage des études numériques paramétriques sur les agrégats avec ARMINES

- Effet de taille, forme et orientation des grains
- Effet du voisinage (désorientation entre grains)
- Effet de surface (rugosité)

▶ Préalable :

- Effet de « Codes » → Comparaison

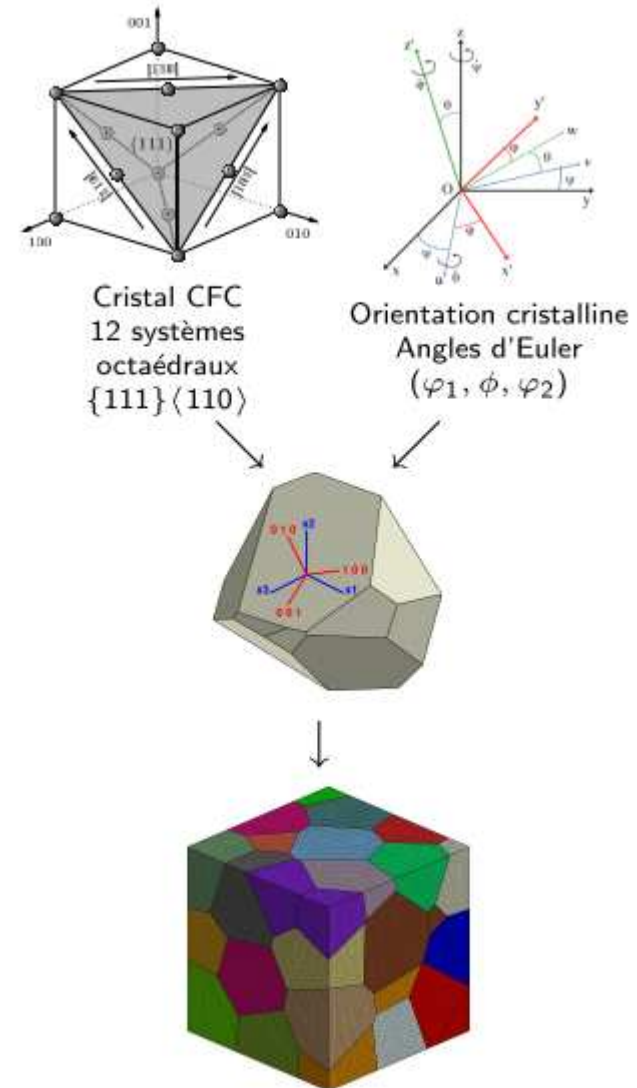
Premiers Calculs

► Objectifs :

- Comparaison de codes
- Effet de rugosité de surface

► Matériau

- AISI 316LN
- Structure CFC



Modélisation

► Modèle de comportement :

- Modèle de glissement par plan
- Modèle empirique Cailletaud-Méric
- Identification des paramètres sur un maillage isotrope de 40 grains – Utilisation d'une homogénéisation de type β (Cailletaud-Pilvin)
- Utilisation :
 - ASTER en propre
 - ASTER avec Zmat

Cission résolue : $\tau^s = \underline{\sigma} : \underline{m}^s$

$$\underline{m}^s = \frac{1}{2} \{ (\underline{l}^s \otimes \underline{n}^s) + (\underline{n}^s \otimes \underline{l}^s) \}$$

Loi d'écoulement : $\dot{\underline{\epsilon}}^p = \sum_s \dot{\gamma}^s \underline{m}^s$

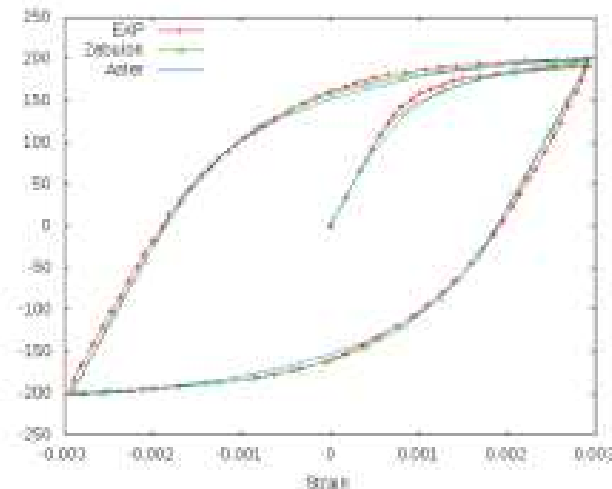
$$\dot{\gamma}^s = \text{sign}(\tau^s - x^s) \dot{v}^s$$

$$\dot{v}^s = \left\langle \frac{|\tau^s - x^s| - r^s - \tau_0}{K} \right\rangle^n$$

Évolution des termes d'écrouissages :

$$x^s = c\alpha^s \quad \dot{\alpha}^s = \dot{\gamma}^s - d\alpha^s \dot{v}^s$$

$$r^s = bQ \sum_r h_{sr} \rho^r \quad \dot{\rho}^s = (1 - b\rho^s) \dot{v}^s$$



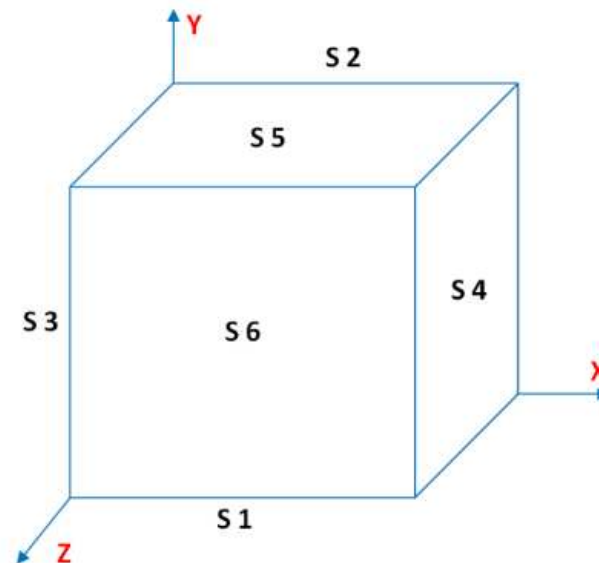
(b) $\dot{\gamma}^s = 0.3\%$

Paramètres de l'étude

► Chargement

■ Parallélépipède rectangle

- Principe : Traction cyclique sur 1 ou 2 faces (S5 et/ou S4) – Résultats sur la face libre perpendiculaire S6



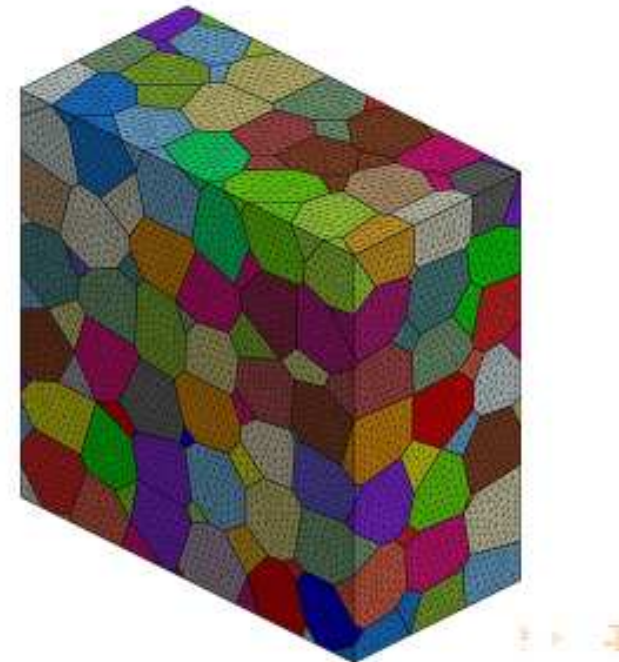
- S1, S2, S3 bloquées.

- Uniaxial X :
 - $x = 1$ (S4) : $\Delta E/2 = \pm 0.2\%$,
 - $y = 1$ (S5) : déplacement uniforme,
 - $z = 0.5$ (S6) : libre.
- Uniaxial Y :
 - $x = 1$ (S4) : déplacement uniforme,
 - $y = 1$ (S5) : $\Delta E/2 = \pm 0.2\%$,
 - $z = 0.5$ (S6) : libre.
- Biaxial
 - $x = 1$ (S4) : $\Delta E/2 = \pm 0.2\%$,
 - $y = 1$ (S5) : $\Delta E/2 = \pm 0.2\%$,
 - $z = 0.5$ (S6) : libre.

Maillage

▶ Maillage synthétique – Tessellation de Voronoi – 291 grains

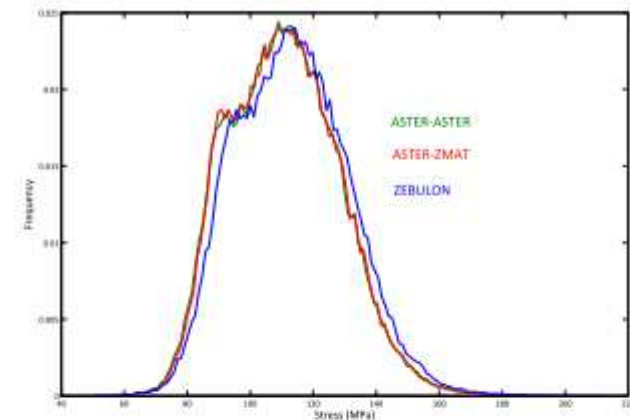
- Différentes densités d'éléments testés
 - Grossier (23 499 nœuds), médian (92 341 nœuds), fin(626 899 noeuds)
- → Calculs très lourds en temps → Limitations



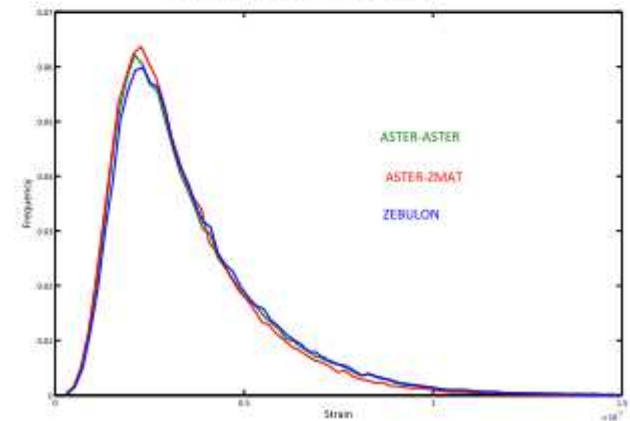
Résultats

► Comparaison avec ZeBuLoN

- Bonne comparaison
- Suite :
 - Calculs par ASTER-ASTER
 - Possibilité de réaliser les calculs paramétriques par les 2 équipes



Contrainte de VM



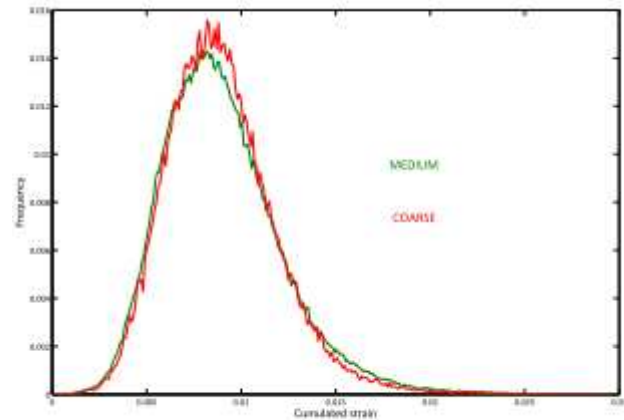
Déformation de VM

Cycles $\pm 0,2\%$ - 2 cycles

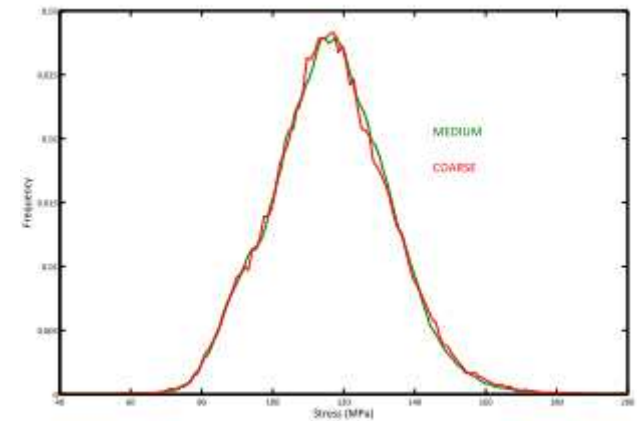
Résultats

► Influence du raffinement du maillage

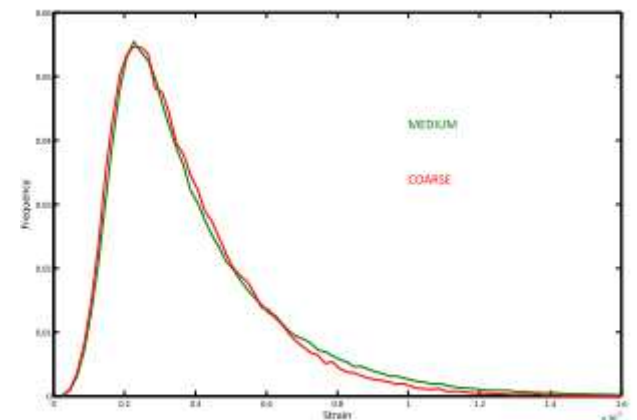
- Deux maillages : Grossier et médian
- Plus le maillage est fin, plus les valeurs maximales de déformations sont élevées
- Suite : Calculs sur maillage grossier



Déformation plastique cumulée équivalente



Contrainte de VM



Déformation de VM

Exemple : Influence de la bi-axialité

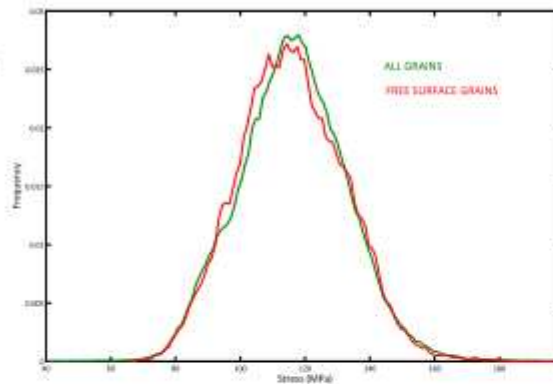
- Uniaxial :

- Même forme et module de distribution entre grains de surface et grains au cœur de l'agrégat

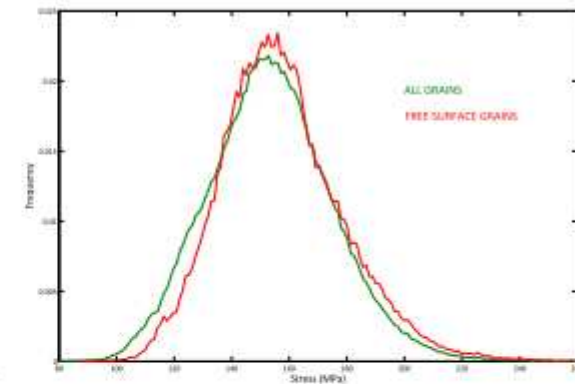
- Bi-axial :

- La distribution de la déformation plastique est différente. Elle est plus importante en surface que dans le cœur

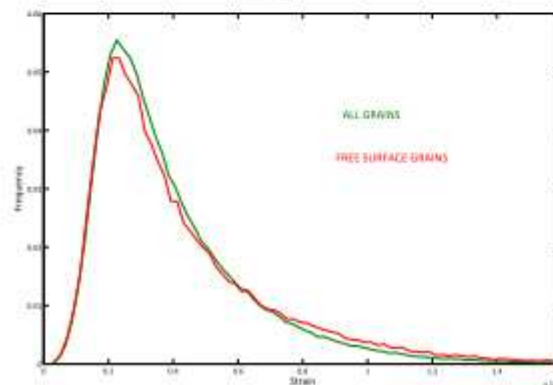
Chargement uniaxial Y



Chargement biaxial

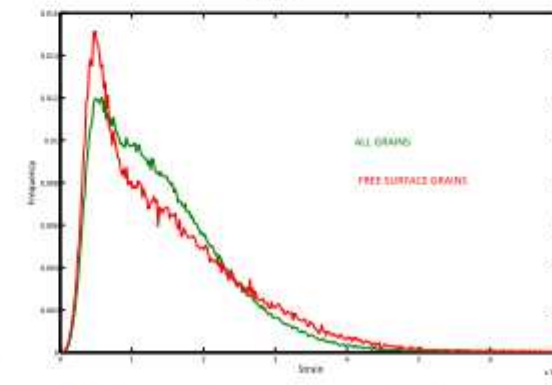


σ_{VM}



ϵ_{VM}

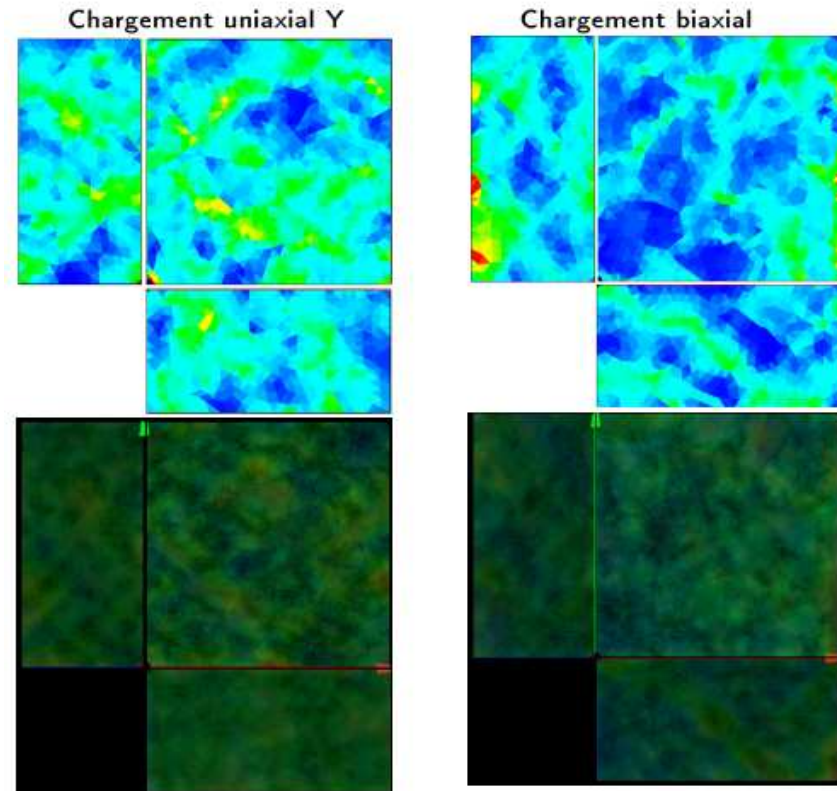
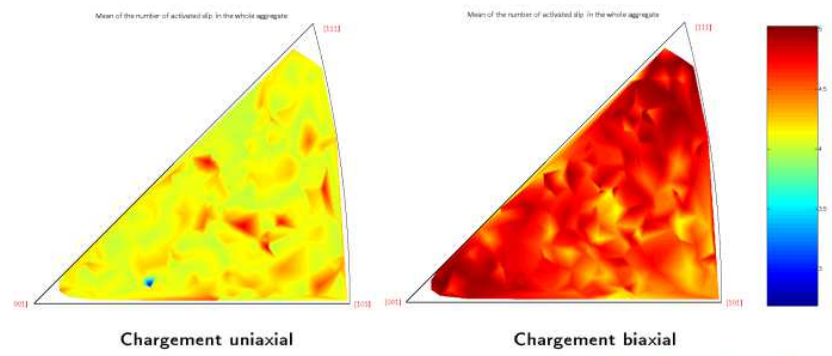
σ_{VM}



ϵ_{VM}

Exemple : Influence de la bi-axialité

- Uniaxial :
 - Les bandes de localisation de la plasticité à $\pm 45^\circ$ sont visibles sur la surface libre et sur les cotés
- Biaxial :
 - Les bandes sont moins visibles mais elles existent.
- Comparaison :
 - A déformation équivalente, la bi-axialité provoque davantage de plastification.
 - La bi-axialité active un nombre plus important de systèmes de glissement

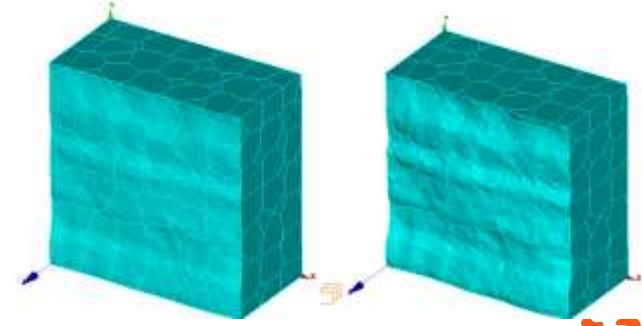
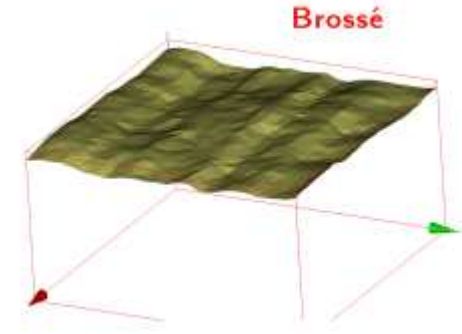
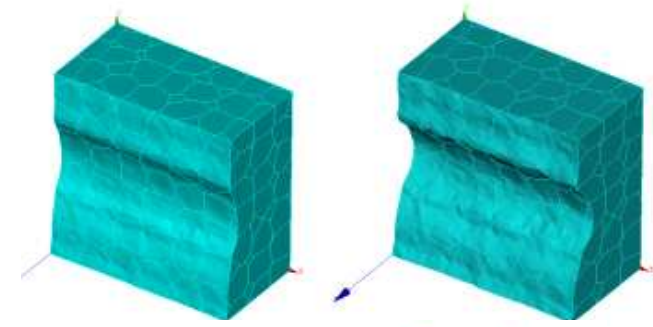
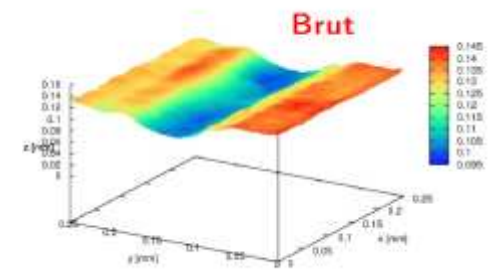


Influence de la rugosité

► 4 rugosités étudiées :

- État de surface « Brut » :
 - 2 profondeurs : 30 et 60 μm

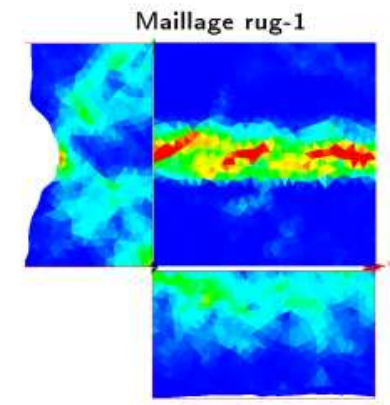
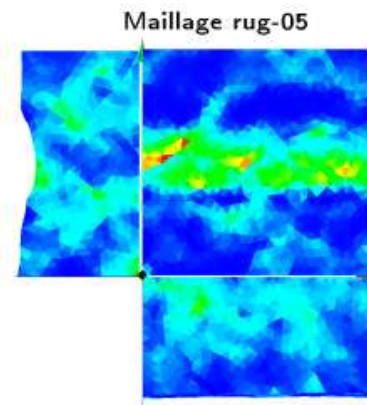
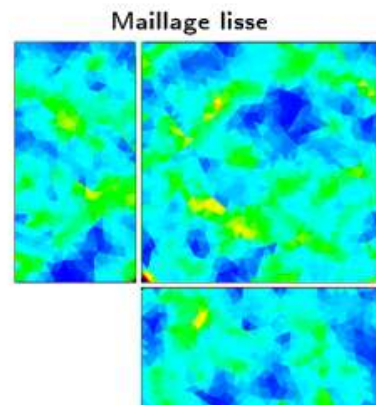
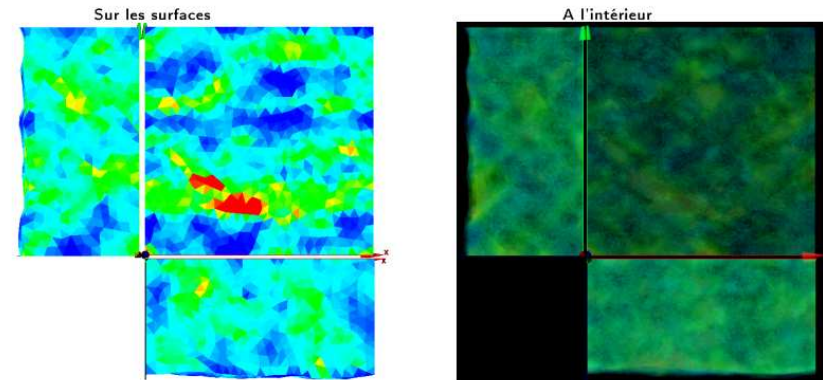
- Etat de surface « Brossé » :
 - 2 profondeurs : 6 et 12 μm



Influence de la rugosité

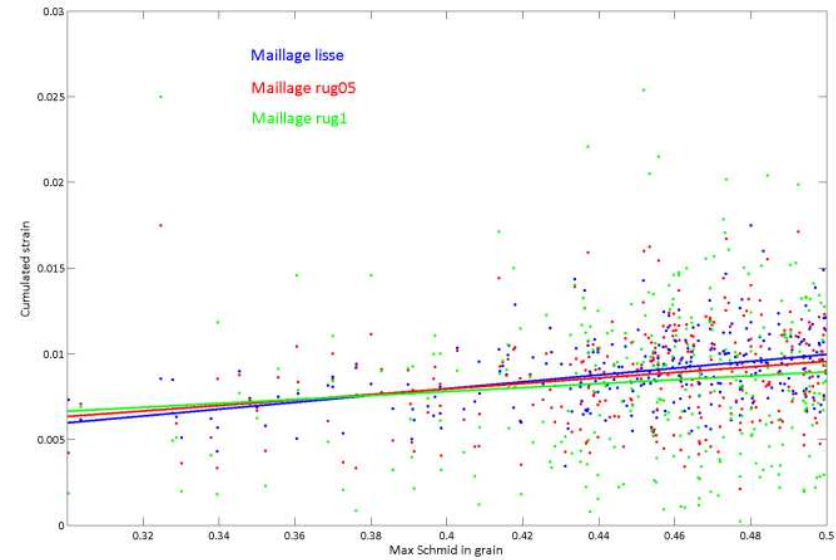
- La rugosité est un concentrateur de la plasticité, dans la zone de striction du maillage
- Le niveau de déformation plastique augmente avec la profondeur de la rugosité
- Les bandes de localisation à 45° sont conservées

Brossé



Influence de la rugosité

- L'influence du facteur de Schmid est conservée en moyenne.
- La rugosité en augmente la dispersion



Global : facteur de Schmid ↗ : ϵ_{cum}^{eq} ↗

Perspectives

▶ Étude paramétrique :

- Influence de la morphologie des grains (Taille, Forme)
- Influence de l'orientation / sollicitation
- Influence de la désorientation entre grains adjacents
- Influence de la rugosité

▶ Besoins :

- Génération automatique de maillage d'agrégats d'après des données statistiques !