

Modélisation de la prédiction de trajets de fissures sur la base de descripteurs morphologiques locaux : application à la génération de microstructures équivalentes dans les études du vieillissement des matériaux cimentaires.

Pele Kathleen^{1,3,4} (kathleen.pele@centrale-marseille.fr)

Perales Frédéric^{1,4}, Baccou Jean^{1,4}, Le Gouic Thibaut³, Liandrat Jacques³, Monerie Yann^{2,4}, Daridon Loïc^{2,4}

1 : IRSN/PSN/SEMIA, 2 : LMGc , UNIVERSITÉ MONTPELLIER, CNRS (UMR 5508),

3 ÉCOLE CENTRALE DE MARSEILLE, 4 MIST (IRSN-CNRS-UM)

Mots-clés : microstructure mécanique, fissuration, descripteurs morphologiques, Machine Learning

Ce travail s'inscrit dans le cadre des études du vieillissement du béton des enceintes de confinement des centrales nucléaires. Les propriétés thermo-chimio-mécaniques du béton peuvent évoluer au cours du temps, en particulier avec le développement de pathologies telles que les réactions de gonflement (Réaction de Gonflement Interne). Il est ainsi important d'analyser les conséquences de ces modifications, notamment en termes de fissuration qui peuvent dégrader le confinement de l'enceinte. Le béton est un matériau très hétérogène (granulats de tailles et d'orientations diverses, mortier poreux) ce qui rend son étude complexe. Afin d'en tenir compte, plusieurs simulations sont nécessaires sur des microstructures numériques représentatives de la microstructure réelle. La génération de ces microstructures numériques dites équivalentes s'appuie sur l'utilisation de descripteurs morphologiques [2]. Il existe, dans la littérature, plusieurs descripteurs tels que le covariogramme [2] issu des approches géostatistiques et qui donne des informations sur la répartition des phases au sein du matériau. Toutefois, cette "équivalence" n'est pas conservée lors de l'étude de comportements à l'échelle microscopique comme la fissuration par exemple. En effet, la figure 3 montre deux microstructures ayant le même covariogramme (figure 2) mais présentant des trajets de fissuration différents en terme de longueur ou de tortuosité (rapport entre la longueur de la fissure et la longueur de sa projetée). Ces différences peuvent avoir une influence sur la perméabilité des enceintes, d'où l'importance d'avoir un "estimateur" du trajet de fissuration rapide et efficace permettant d'appréhender l'influence de la variabilité à l'échelle du Volume Élémentaire Représentatif sur les trajets de fissuration.

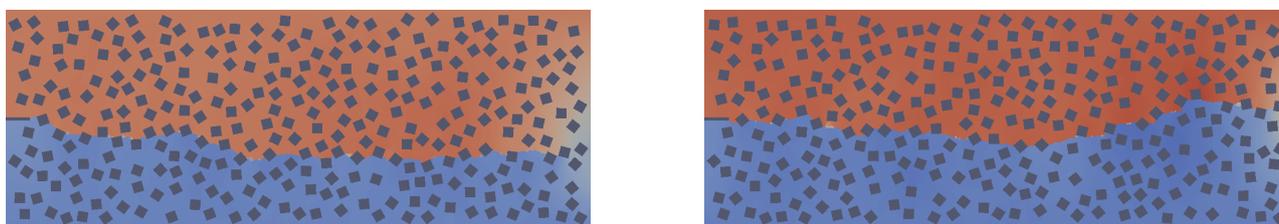


FIGURE 1 – Deux faciès de rupture d'un béton numérique équivalent généré par XPER (temps de réalisation d'un faciès : 28h /24 processeurs)

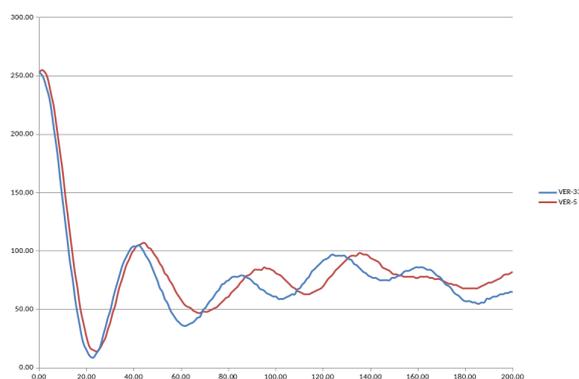


FIGURE 2 – Similarité des covariogrammes des deux microstructures (dans la direction horizontale)

Pour contourner cette limitation, la génération de microstructures numériques équivalentes requiert d'avoir un outil de comparaison adapté à la caractérisation de la fissuration. Sa construction a été réalisé en plusieurs étapes :

1. introduction de nouveaux descripteurs morphologiques intégrant des informations locales sur la répartition des granulats au sein d'une microstructure (distance, angle) qui influencent la propagation de la fissure,
2. développement d'un modèle statistique sur la base des nouveaux descripteurs dont les paramètres doivent être déterminés,
3. apprentissage des paramètres du modèle par un algorithme génétique,
4. confrontation des prédictions des trajets de fissure obtenus par rapport à la réalité (tortuosité),
5. analyse de l'influence de la variabilité des différents trajets de fissure par rapport à la tortuosité.

Concernant le premier point, une série de descripteurs de nature géométrique, relatifs à la distance entre la pointe de fissure et les granulats voisins ainsi que l'angle formé avec la direction principale de propagation, sont analysées. On distinguera les descripteurs récupérés sur la frontière des granulats des autres zones de la microstructure. En effet, cette partie est très poreuse et constitue une zone propice à la propagation de la fissure. Les descripteurs, récoltés sur un ensemble d'apprentissage de microstructures numériques déjà fissurées à l'aide du logiciel XPER [1](voir figure 1), permettent de bien décrire le comportement d'une fissure. Plus précisément, ils retranscrivent bien que la fissure privilégie de se déplacer vers les granulats les plus proches (pour parcourir le moins de matrice possible) et favorise le contournement de granulats (zone d'interface granulat-pâte de ciment faiblement résistante). Ces nouveaux descripteurs sont ensuite intégrés dans un modèle statistique de prédiction. Ce modèle est élaboré à partir une chaîne de Markov construite sur la base de la loi exponentielle. Plusieurs tirages aléatoires sont réalisés par notre loi afin d'obtenir une série de réalisation de prédictions de trajets de fissures par microstructures. Ainsi, il est possible de tracer l'intervalle de confiance de notre critère d'intérêt la tortuosité .

Les premiers résultats de validation ont été effectués sur des microstructures avec des granulats représentés en carrés et des granulats pentagones. Les intervalles de confiances résultant (courbe rouge et bleu sur la figure 3) montrent que le modèle encadre bien la tortuosité donnée par les simulations XPER. Ces développements offrent donc un outil de comparaison de microstructures permettant un gain significatif en termes de temps de calcul.

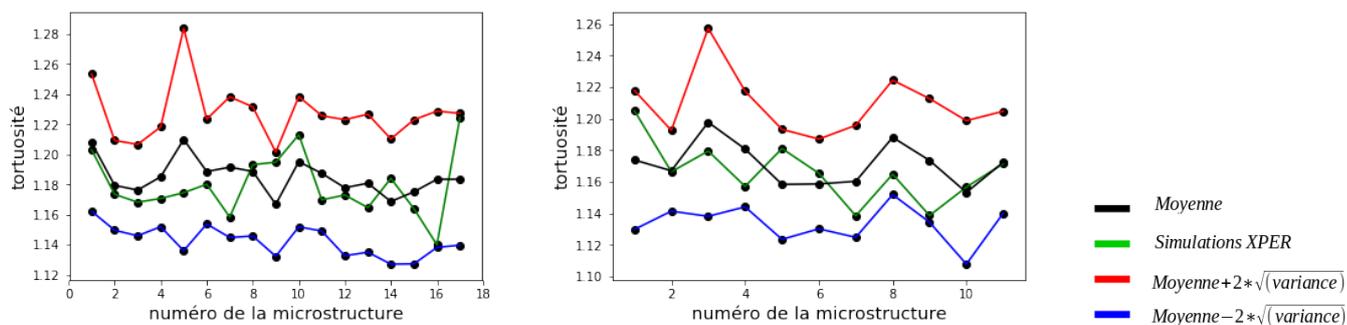


FIGURE 3 – Intervalle de confiance pour les microstructures avec granulat carré (à droite) et granulats pentagone (à gauche), (temps de réalisation d'une prédiction d'un trajet de fissure : 5 min/1 processeur).

Les perspectives de ce travail concernent l'enrichissement de la base d'apprentissage pour affiner le calcul des intervalles de confiance. Ils s'agira également de tester la robustesse de l'algorithme de prédiction sur des microstructures encore plus complexes avec des granules de tailles et de formes différentes.

Références

- [1] Y. Monerie, B. Piar, L. Stainier, F. Perales, F. Dubois. A nonsmooth contact dynamics-based multi-domain solver. code coupling (xper) and application to fracture. *Eur.J. Comp. Mech*, 2010
- [2] D. Jeulin Caractérisation morphologique et modèles de structures aléatoire *Hermes Science*, 2015
- [3] R. Affes. Relations microstructure-fissuration-perméabilité dans les milieux granulaires cimentés(Ch.3). Thèse, Université de Montpellier, 2012.