

# 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<sup>1,3,4</sup> (kathleen.pele@centrale-marseille.fr)

Perales Frédéric<sup>1,4</sup>, Baccou Jean<sup>1,4</sup>, Le Gouic Thibaut<sup>3</sup>, Liandrat Jacques<sup>3</sup>, Monerie Yann<sup>2,4</sup>, Daridon Loïc<sup>2,4</sup>

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 thermochimiomécaniques 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 1 montre deux microstructures ayant le même covariogramme (figure 2) mais présentant des trajets de fissuration différents en terme de longueur ou de tortuosité. 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.

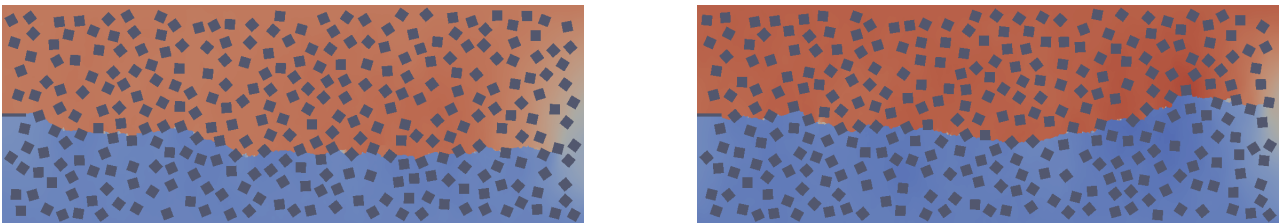


FIGURE 1 – Deux faciès de rupture d'un béton numérique équivalent

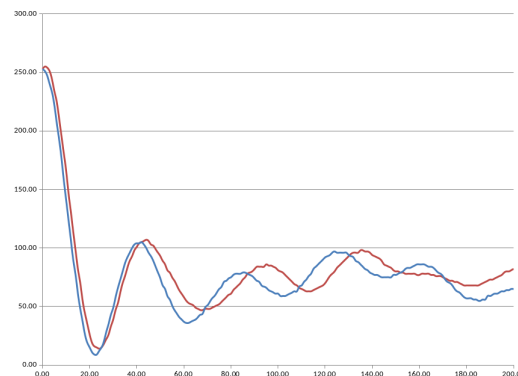


FIGURE 2 – Similarité des covariogrammes des deux microstructures (dans la direction horizontale)

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 se fait 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 restent à déterminer,
3. apprentissage des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance (ou SVM (Support Vector Machine)),
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, 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. Par ailleurs, un autre descripteur prenant en compte la différence entre la frontière des granulats et les autres zones de la microstructure est également présentée. En effet, cette partie est très poreuse et constitue une zone propice à la propagation de la fissure. Les premiers résultats obtenus sur un ensemble d'apprentissage de microstructures numériques déjà fissurées à l'aide du logiciel XPER [1] montrent que ces descripteurs permettent de bien décrire le comportement d'une fissure. Plus précisément, 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 dont les paramètres sont estimés à partir d'un ensemble d'apprentissage. Deux directions de recherche sont suivies pour construire ce modèle. La première s'appuie sur une modélisation probabiliste du trajet de la fissure, la seconde exploite une méthode de classification de type SVM. [4]. Les premiers résultats de validation montrent que ces modèles conduisent à des chemins de fissure mais également à des tortuosités prédites (rapport entre la longueur de la fissure et la longueur de sa projetée), proches de ceux obtenus par simulation XPER. Ces développements offrent donc un outil de comparaison de microstructures permettant un gain significatif en termes de temps de calcul.

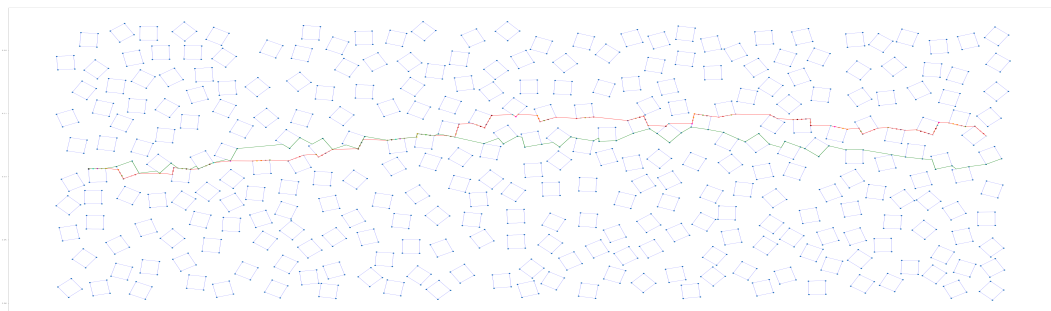


FIGURE 3 – Résultats de l'algorithme de prédiction avec en vert le chemin réel et en rouge la prédiction.

Les perspectives de ce travail concernent l'enrichissement du modèle de prédiction via une modélisation plus fine à base de chaîne de Markov et l'intégration de paramètres mécaniques supplémentaires tels que des contraintes mécaniques locales. Ils s'agira également de tester la robustesse des algorithmes de prédiction sur des microstructures plus complexes avec des granulats 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.
- [4] J. Friedman T. Hasti, R. Tibshirani. The Elements of Statistical Learning Data Mining, Inference, and Prediction *Springer Series in Statistics*, 2013