

Une stratégie X-FEM globale-locale stabilisée avec contact-frottement dédiée à la fissuration 3D.

A. Gravouil¹, E. Pierres¹, M.-C Baietto¹

¹ LaMCoS, INSA Lyon, France, {anthony.gravouil}@insa-lyon.fr

La fissuration par fatigue est un problème fréquent qui impose des contrôles à intervalles réguliers et des étapes de maintenance coûteuses. L'importance de cette problématique a favorisé le développement de méthodes innovantes afin de prédire le comportement de fissures. La méthode des éléments finis (MEF) est la méthode la plus utilisée en mécanique de la rupture. Toutefois, elle pose un certain nombre de difficultés associées à la construction d'un maillage très fin d'éléments singuliers en pointe de fissure et aux étapes de remaillage et d'interpolation des champs lorsque la fissure se propage. La prise en compte de fissures tridimensionnelles non planes et la modélisation des problèmes de grandes tailles sont longtemps restées inenvisageables.

Récemment des méthodes innovantes, comme la méthode des éléments finis étendus X-FEM [5], ont permis de lever certains verrous de la simulation numérique de la propagation des fissures. Cette méthode permet de modéliser les fissures de façon implicite (indépendamment du maillage éléments finis) et ainsi de lever les difficultés liées au remaillage et à la projection de champs lors de la propagation des fissures. De plus, grâce aux enrichissements asymptotiques en pointe de fissure, la solution du problème à précision donnée est obtenue pour des maillages environ 10 fois plus grossiers que ceux utilisés pour la MEF [4, 3, 2]. D'autre part, des modèles multi-échelles basés sur des techniques multi-grilles [6, 9] ou de décomposition de domaine ont été proposés afin de prendre en compte de façon optimale les différentes échelles mises en jeu (structure, fissure). L'aptitude de la X-FEM à représenter des géométries complexes en 3D à l'aide de fonctions de niveau [3, 1] et la possibilité de pouvoir y intégrer des lois de comportement matériaux complexes [2] en font un outil privilégié pour la simulation de la propagation des fissures.

La prise en compte du contact avec frottement entre les faces de fissures est une étape importante qui permet une évaluation plus précise des facteurs d'intensité de contraintes sous sollicitations en mode mixte. Cela pose un certain nombre de difficultés.

Les phénomènes physiques mis en jeu font intervenir des échelles spatiales qui diffèrent de plusieurs ordres de grandeur, celle de la structure, celle de la fissure et celle des non-linéarités à l'interface. Une solution de contact précise requiert une discrétisation spatiale de l'interface adaptée à la dimension caractéristique du problème local [10]. Cette discrétisation spatiale de l'interface est généralement dépendante du maillage éléments finis sous-jacent et sa finesse implique un raffinement local du maillage en volume. Le maillage initial n'est pas forcément adapté et peut nécessiter un raffinement local. Cette étape peut s'avérer délicate, voire prohibitive pour les problèmes tridimensionnel et au regard du problème de la structure, le maillage n'est pas optimal et entraîne un surcoût numérique.

D'autre part, plusieurs travaux ont mis en évidence des problèmes d'instabilité de la solution de contact liés à un non respect de la condition inf-sup LBB (Ladyzhenskaya-Babuška-Brezzi). Ces instabilités se caractérisent par des oscillations des efforts d'interface.

À partir de l'étude des différentes formulations utilisées, un modèle X-FEM à deux échelles globale-locale, avec contact et frottement interfacial a été proposé afin de répondre aux exigences listées ci-dessus. Il est basé sur une formulation faible mixte à trois champs. Il autorise des maillages incompatibles [7] et permet une description pertinente aux échelles globale de la structure et locale des fissures. L'interface est considérée comme une structure autonome avec ses propres variables, sa propre discrétisation indépendante du maillage de la structure. Cette stratégie permet d'optimiser la finesse de la discrétisation de l'interface en augmentant le nombre de points d'intégration par sous-découpage des éléments d'interface, indépendamment du maillage éléments finis sous-jacent et d'obtenir une description adaptée à l'échelle des non linéarités de contact et frottement locales. Une méthode de stabilisation de la formulation du problème a été proposée dans le cadre du solveur non linéaire LATIN [8]. Le solveur stabilisé

NLLA (Non Locking LAtin) permet de s'affranchir des éventuelles oscillations numériques de la solution de contact et améliore grandement le taux de convergence de la méthode itérative. Des exemples bidimensionnels et tridimensionnels ont mis en évidence les bonnes propriétés de convergence, la précision élevée et les gains en temps CPU (jusqu'à 75%). Le cas d'une fissure tridimensionnelle plane soumise à un chargement en mode mixte illustre les capacités du modèle. L'ensemble de ces outils numériques a été mis en oeuvre au sein du code de calcul ELFE_3D développé au LaMCoS. La comparaison avec le code industriel ANSYS a permis de valider quantitativement les résultats en 3D.

Références

- [1] M. Duflo. *A study on the representation of cracks with level sets*, Int. J. Numer. Methods Eng, 1261–1302, 2007.
- [2] T. Elguedj, A. Gravouil, A. Combescure. *A mixed augmented Lagrangian-extended finite element method for modelling elastic-plastic fatigue crack growth with unilateral contact*, Int. J. Numer. Methods Eng, 1569–1597, 2007.
- [3] A. Gravouil, N. Moes, T. Belytschko. *Non-planar 3D crack growth with the extended finite element and level sets - Part 2 : Level set update*. Int. J. Numer. Methods Eng, 2569–2586, 2002.
- [4] N. Moes, A. Gravouil, T. Belytschko. *Non-planar 3D crack growth with the extended finite element and level sets - Part I : Mechanical model*. Int. J. Numer. Methods Eng., 2549–2568, 2002.
- [5] N. Moes, J. Dolbow, T. Belytschko. *A Finite Element method for crack growth without remeshing*. Int. J. Numer. Methods Eng, 131–150, 1999.
- [6] J.-C Passieux, A. Gravouil, J. Réthoré, M.-C. Baietto. *Direct estimation of generalized SIF using a three-scale concurrent multigrid X-FEM*. Int. J. Numer. Methods Eng., DOI : 10.1002/nme.3037, 2010.
- [7] E. Pierres, M.-C. Baietto, A. Gravouil. *A two-scale eXtended Finite Element Method for modeling 3D crack growth with interfacial contact*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1165–1177, 2010.
- [8] E. Pierres, M.-C. Baietto, A. Gravouil. *3D experimental and X-FEM frictional contact fatigue crack model. Prediction of fretting problems*. Comptes Rendus Mécaniques, submitted for review. 2011.
- [9] J. Rannou, A. Gravouil, M.-C. Baietto Dubourg. *A local multigrid X-FEM strategy for 3-D crack propagation*. Int. J. Numer. Methods Eng., 1641–1669, 2008.
- [10] R. Ribeaucourt, M.-C Baietto Dubourg, A. Gravouil. *A new fatigue frictional contact crack propagation model with the coupled XFEM/LATIN method*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3230–3247, 2007.