

# Développement d'une approche variationnelle non linéaire des fissures, des dislocations et de leurs interactions

Godefroy Engrand\*, Antoine Ruffini, Yann Le Bouar, Alphonse Finel

*Université Paris-Saclay, ONERA, CNRS, Laboratoire d'Etude des Microstructures, 92320 Châtillon, France.*

*\*[godefroy.engrand@gmail.com](mailto:godefroy.engrand@gmail.com)*

## Résumé pour : oral

Dans les matériaux cristallins, la fissuration est généralement couplée à une forte activité plastique. Une approche mésoscopique qui intègre l'ensemble des phénomènes en jeu doit donc rendre compte de la propagation des fissures et de leurs couplages avec la multiplication et le glissement des dislocations.

Fondamentalement, les fissures et les dislocations sont des défauts qui peuvent être décrits comme des discontinuités du champ de déplacement. Il doit donc être possible de construire un modèle qui intègre plasticité et endommagement avec comme unique paramètre d'ordre le champ de déplacement. Cela nécessite toutefois l'identification d'une fonctionnelle d'énergie élastique non linéaire, invariante à la fois par l'action du groupe ponctuel du réseau cristallin considéré et par tout cisaillement préservant l'invariance du réseau, tout en étant saturante pour de grands allongements.

Dans ce travail, nous montrons comment construire un tel potentiel d'énergie élastique infiniment dégénéré à partir de l'action du groupe  $GL(2, Z)$ . Par rapport aux formulations précédentes, nous proposons une expression minimale de la densité d'énergie élastique ne faisant intervenir que trois paramètres matériaux : (i) les coefficients élastiques du réseau cristallin, (ii) un paramètre d'adoucissement du potentiel qui permet de contrôler la contrainte seuil de glissement des dislocations et (iii) un paramètre de saturation associé à la ténacité en mode I. Cette formulation permet ainsi une calibration simple du modèle pour décrire dislocations et fissures dans différents cristaux. Enfin, une méthode simple pour l'implémentation numérique, basée sur un schéma de discrétisation stable et cohérent avec la symétrie sous-jacente, est proposée dans le cas d'un réseau triangulaire.

Les simulations réalisées montrent que la seule cinétique du champ de déplacement permet de reproduire spontanément la dynamique collective des dislocations, incluant les réactions locales entre dislocations et la formation de microstructures, ainsi que la propagation de fissures. Plus important encore, le modèle capture les interactions complexes entre fissuration et plasticité, notamment la nucléation de dislocations en pointe de fissure et la nucléation de fissures à partir de localisations de contrainte induites par le glissement des dislocations. Le modèle proposé permet ainsi d'aborder, dans un cadre minimal mais complet, des mécanismes complexes d'endommagement fragile ou ductile sans recours à aucune variable auxiliaire et loi phénoménologique associée.