

Simulation de la fissuration par champ de phase: Analyse technique de l'initiation et la propagation de fissure

CFM2025, Metz, France, 25 au 29 août

Flavien Loiseau Edgar Zembra Hervé Henry
Véronique Lazarus

La mécanique de la rupture, initiée par les travaux de Griffith, est un outil établi pour l'étude de la propagation de fissure. Griffith a proposé un principe de minimisation d'énergie tenant compte de l'énergie nécessaire pour propager une fissure et a ainsi pu proposer un critère de propagation (ici en quasi-statique) : l'énergie élastique restituée par la propagation doit être égale à l'énergie de fissuration. Ce principe a été formalisé, dans un cadre variationnel par Francfort & Marigo (1998), puis régularisé, facilitant ainsi sa mise en œuvre numérique. Bien que des résultats théoriques de convergence du problème régularisé vers l'approche variationnelle existent, l'implémentation numérique peut induire d'autres biais. Ainsi, cette étude s'intéresse aux conditions de propagation d'une fissure pré-existante dans le cadre de la simulation par éléments finis de la fissuration par champ de phase.

Dans un premier temps, on propose une analyse systématique de la propagation d'une fissure pour différentes techniques d'implémentation de la fissure initiale. Pour ce faire, on se base sur le problème classique *Single Edge Notched Tension*. Les simulations sont réalisées avec un suivi du chemin d'équilibre (Rastiello et al., 2022) afin de garantir la stabilité de la propagation de la fissure. Différentes techniques d'initialisation de fissure sont employées : fissures explicitement intégrées dans le maillage ou dans le champ de phase, différentes épaisseurs, différentes conditions aux limites. Les résultats issus du modèle variationnel par champ de phase sont comparés à ceux de la mécanique linéaire élastique de la rupture (critère de Griffith) obtenus par propagation incrémentale de la fissure. Cette comparaison montre un très bon accord entre les deux modèles quand la fissure est correctement initialisée dans le modèle régularisé. Pour une initialisation correcte, la fissure doit avoir une largeur d'un élément (avec la phase égale à 1 sur tout son bord). Sans cette condition, le chargement nécessaire à la propagation est surestimé et un sur-pic est observé sur la réponse force-déplacement. Ce surpic provient de la nécessité de transiter vers une bande de phase large d'un élément pour représenter adéquatement un saut de déplacement le long d'une fissure.

Dans un deuxième temps, un *benchmark* numérique, basé sur l'essai de *Pure Shear* avec une fissure initiale excentrée, est étudié pour explorer l'impact du maillage (taille, structure, etc.) sur la trajectoire de la fissure. Pour ce cas test, les simulations obtenues par propagation d'une fissure montre qu'elle se recentre vers la mi-hauteur de l'échantillon de manière exponentielle durant la propagation. Des simulations par champ de phase sont réalisées sur différents maillages (tailles, structuré ou non) et pour différents chargements (propagation stable ou instable). Les trajectoires de fissures issues des simulations par champ de phase sont comparées à celles issues de la mécanique linéaire élastique de la rupture (critère de Griffith). Un biais fort est observé sur la trajectoire de fissure pour les maillages structurés, ce qui n'est pas le cas pour maillage non-structuré. De plus, ce biais est d'autant plus marqué lors des cas de propagation stables : la fissure se propage alors de manière rectiligne et s'éloigne donc de la trajectoire théorique.

References

- Francfort, G. A., & Marigo, J.-J. (1998). Revisiting brittle fracture as an energy minimization problem. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 46(8), 1319–1342. [https://doi.org/10.1016/S0022-5096\(98\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5096(98)00034-9)
- Rastiello, G., Oliveira, H. L., & Millard, A. (2022). Path-following methods for unstable structural responses induced by strain softening: A critical review. *Comptes Rendus. Mécanique*, 350(G2), 205–236. <https://doi.org/10.5802/crmeca.112>