

Titre : Approche variationnelle pour modéliser la rupture dans des matériaux viscoélastiques de type bitumineux

Mots clés : Endommagement, Viscoélasticité, Lip-field, Matériaux bitumineux, Approche variationnelle

Résumé : La détérioration des chaussées due à la fissuration des couches de matériaux bitumineux représente un défi majeur, nécessitant une compréhension plus approfondie des mécanismes et des facteurs associés. Aborder cette problématique implique le développement de modèles théoriques dédiés et leur implémentation dans des outils numériques. Les matériaux bitumineux sont largement reconnus pour leurs caractéristiques viscoélastiques. Dans ce contexte, la présente thèse se concentre sur la fissuration des matériaux viscoélastiques dans un cadre quasi-statique. Une nouvelle approche variationnelle thermodynamiquement cohérente est introduite pour modéliser l'endommagement dans les solides viscoélastiques. Cette approche permet l'intégration des équations constitutives locales dans un potentiel global incrémental, dont la minimisation conduit à la résolution du problème mécanique. Afin de surmonter les problèmes de dépendance au maillage

associés aux modèles d'endommagement adoucissants, l'approche du lip-field a été utilisée pour régulariser le problème. Une mise en œuvre numérique dans des codes à éléments finis (FE) basés sur Python est présentée pour des scénarios à une dimension (1D) et à deux dimensions (2D). Les résultats de simulation pour le cas en 2D démontrent la capacité du modèle à reproduire les courbes force-déplacement expérimentales (pour la rupture en mode I) et à prédire les trajectoires de fissuration (pour la rupture en mode mixte). Ce travail fournit non seulement une base théorique et numérique solide pour d'éventuelles applications futures en mécanique des chaussées, mais étend également sa pertinence au-delà des matériaux bitumineux. La méthodologie développée ici peut être efficacement utilisée pour modéliser la fissuration dans divers matériaux viscoélastiques.

Title : Variational approach to model fracture in viscoelastic materials of bituminous type

Keywords : Damage, Viscoelasticity, Lip-field approach, Bituminous materials, Variational approach

Abstract : The deterioration of pavement due to the fracturing of layers made of bituminous materials is a significant challenge, necessitating a deeper understanding of the associated mechanisms and factors. Addressing this issue involves the development of essential theoretical models and numerical tools. Bituminous materials are widely acknowledged for their viscoelastic characteristics. In this context, the present thesis focuses on the cracking of viscoelastic materials in a quasi-static setting. A novel, thermodynamically consistent variational approach is introduced to model damage within viscoelastic solids. This approach enables the integration of local constitutive equations into a global incremental potential, the minimization of which yields the solution to the mechanical problem. To overcome the spurious mesh-dependent

results associated with softening damage models, the lip-field approach has been used to regularize the problem. A detailed numerical implementation for both one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) scenarios is presented, complemented by Python-based finite element (FE) codes. The simulation results for the 2D case show the ability of the model to fit experimental force-displacement curves (for mode-I fracture) and to predict the crack paths (for mixed mode fracture). This work not only provides a robust theoretical and numerical foundation for potential future applications in pavement mechanics but also extends its relevance beyond bituminous materials. The methodology developed here can be applied effectively to model cracking in various viscoelastic materials.