

**Titre :** Étude expérimentale et modélisation multi-échelles des effets combinés du vieillissement et de la microfissuration sur le comportement viscoélastique des enrobés bitumineux

**Mots clés :** Vieillissement oxydatif, microfissuration, homogénéisation multi-échelles, fluage-recouvrance, viscoélasticité.

**Résumé :** Une fois mises en service, les chaussées subissent diverses sollicitations mécaniques et climatiques qui entraînent une évolution progressive de leurs propriétés mécaniques et une détérioration continue au fil du temps. Cette dégradation est principalement influencée par deux phénomènes majeurs : l'endommagement par microfissuration et le vieillissement des enrobés bitumineux. Ce travail de recherche se concentre sur l'analyse approfondie de ces deux phénomènes en intégrant à la fois des études expérimentales sur les enrobés bitumineux et les bitumes, ainsi qu'une approche numérique basée sur le développement d'un modèle d'homogénéisation multi-échelles. Le volet expérimental s'est basé sur l'évaluation de l'effet du vieillissement sur les propriétés viscoélastiques linéaires des

enrobés bitumineux, à partir d'une caractérisation dans les domaines temporel et fréquentiel, ainsi que physico-chimique des enrobés bitumineux et des bitumes. En parallèle, des corrélations ont été établies entre les différentes approches utilisées. Diverses méthodes pour induire la microfissuration dans les enrobés bitumineux ont été expérimentées, et leur effet a été évalué à l'aide d'essais de fluage-recouvrance. L'approche numérique a d'abord impliqué la modélisation des essais de fluage-recouvrance pour enrobés vieillis à partir de leurs modules complexes. Ensuite, le modèle multi-échelles développé a été utilisé pour prédire les propriétés viscoélastiques des enrobés bitumineux pour différents niveaux de vieillissement et de microfissuration.

**Title :** Experimental study and multi-scale modelling of the combined effects of ageing and microcracking on the viscoelastic behaviour of bituminous mixes

**Keywords :** Oxidative ageing, microcracks, multi-scale homogenisation, creep-recovery, viscoelasticity.

**Abstract :** Once in service, pavements are subjected to various mechanical and environmental effects, which results in a gradual evolution of their mechanical properties and continuous deterioration over time. This degradation is primarily influenced by two major phenomena: damage from microcracking and the ageing of bituminous mixtures. This research focuses on a comprehensive analysis of these two phenomena, including both experimental studies on bituminous mixtures and binders, as well as a numerical approach based on the development of a multi-scale homogenisation model. The experimental component involved assessing the effect of aging on the linear viscoelastic properties of bituminous mixtures

through temporal, frequency, and physicochemical characterisation of the mixtures and binders, as well as the establishment of correlations between different methods employed. A variety of techniques for inducing microcracking in bituminous mixtures were tested, and their effects were evaluated using creep-recovery tests. The numerical approach initially involved modeling the creep-recovery tests for aging mixtures based on their complex moduli. Subsequently, the developed multi-scale model was used to predict the viscoelastic properties of bituminous mixtures for different levels of aging and microcracking.