

Proposition de projet de thèse dans le domaine de la mécanique des matériaux et modélisation multi-échelle

“CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE ET MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLE DES PROPRIÉTÉS VISCOÉLASTIQUES ET DE DURABILITÉ DES ENROBÉS TIÈDES FORTEMENT RECYCLÉS”

Contrat doctoral de 3 ans (CDD)

Date limite de candidature : 1^{er} avril 2023

Prise d'effet du contrat : automne 2023

1. Description du projet de thèse

La réduction de l'impact environnemental de la conception des infrastructures est devenue un enjeu majeur pour les acteurs de l'industrie routière. Dans le domaine chaussées, cela se traduit par une volonté d'abaisser les températures de fabrication pour 80 % des chantiers à l'horizon 2030 contre 14 % actuellement et d'augmenter le taux de recyclage, actuellement limités à 40 % dans les enrobés bitumineux (EB) à chaud (Guide Recyclage 2021), (cf. Pacte d'engagement volontaire IDRRIM 2021 suite à la COP21, note IDRRIM n°46). Les raisons de cette limitation sont principalement la méconnaissance du degré de remobilisation et de miscibilité du bitume des agrégats d'enrobés (AE) dans le bitume d'apport (bitume neuf) lors de la fabrication des EB et la durabilité de ces matériaux recyclés dans le temps. La problématique de remobilisation du liant des AE est d'autant plus fondamentale que les températures de fabrication sont abaissées comme dans le cas des EB dits « tièdes ». À ce jour il n'existe aucun cadre réglementaire permettant le recyclage dans ce type de matériaux.

La plupart des travaux sur le recyclage des EB portent sur la caractérisation des propriétés viscoélastiques, la fragilité à froid et la fatigue des EB à chaud. À titre d'exemple, les travaux menés dans le Projet National MURE (Multi Recyclage) et dans différentes thèses, montrent que l'incorporation d'AE préserve voire améliore le module complexe, la résistance à la fatigue mais augmente la fragilité à froid (augmentation de la température de rupture cryogénique) des EB recyclés. À l'exception de quelques travaux qui visent à caractériser la microstructure des bitumes d'apport et des AE, la plupart des travaux se focalisent sur l'évaluation des propriétés macroscopiques des EB recyclés.

De même, il existe très peu d'études sur la modélisation multi-échelle des enrobés bitumineux à fortiori sur les enrobés recyclés. Le modèle micromécanique existant est basé sur un schéma auto-cohérent généralisé, pour prédire le module complexe d'EB à chaud contenant 70 % d'AE entre -10 °C et 30 °C. Récemment, nous avons mis au point un modèle multi-échelle combinant divers schémas pour prédire les propriétés viscoélastiques d'EB à chaud et tièdes entre 10 et 50 °C et de sables enrobés en tenant compte des contacts granulaires. Certains modèles ont été proposés afin de relier la complaisance du bitume à celles de ses constituants (asphaltènes et maltènes) entre -5 et +15 °C.

L'objectif de cette thèse est de combiner et améliorer les modèles à l'échelle de la microstructure du bitume au modèle que nous avons développé à l'échelle de l'enrobé pour construire un modèle multi-échelle global reliant les propriétés macroscopiques des EB aux propriétés microstructurales des bitumes. Ce travail de modélisation sera complété par des campagnes d'essais permettant de caractériser d'une part les propriétés viscoélastiques linéaires des EB et des différentes couches concentriques de bitume entourant les granulats ainsi que les différentes phases constituant ces bitumes. Ainsi il sera nécessaire de mettre au point ou d'optimiser préalablement un dispositif de désenrobage séquentiel afin d'extraire ces différentes couches.

2. Compétences souhaitées

Le (La) candidat-e recherché doit avoir des connaissances solides en :

- mécanique des milieux continus
- schémas d'homogénéisation
- mécanique des matériaux (la connaissance des outils rhéologiques serait bénéfique)

- informatique scientifique (langage Python)

3. Conditions d'accueil du projet de thèse

- Le(La) doctorant-e sera employé du Cerema sur CDD doctorant de l'automne 2023 à l'automne 2026 (*dates exactes à fixer avec le (la) doctorant-e*)
- La rémunération sera d'environ 1 500 € nets les deux premières années et 1 700 € la troisième
- Le projet se déroulera majoritairement sur les sites suivants :
 - Cerema ITM/IdF site de Sourdun (site principal)
110 rue de Paris BP 216 Sourdun, 77487 Provins Cedex
 - Cerema Méditerranée (site secondaire)
Pôle d'activités Les Milles - Avenue Albert Einstein - CS 70499
13593 Aix-en-Provence Cedex 3
- Les dispositions permettront au doctorant de bénéficier des formations proposées par l'école doctorale d'inscription.

4. Équipe d'encadrement du projet de thèse

- Le doctorant sera accueilli au sein de l'équipe UMR MCD/DIMA du Cerema, dont la responsable est Virginie MOUILLET.
- Le projet se déroulera sous la direction de Virginie MOUILLET de l'équipe de recherche DIMA.
- Le projet sera co-encadré par Bernus KOUEVIDJIN, Ciryle SOME et Jean-François BARTHELEMY, chercheurs dans l'équipe DIMA Cerema.

5. Modalités de candidature

Le(La) candidat-e intéressé-e est invité-e à contacter au plus tôt l'encadrant Cerema de ce projet :

- Virginie MOUILLET : directrice de thèse, Virginie.Mouillet@cerema.fr
- Bernus KOUEVIDJIN : co-encadrant de thèse, bernus.kouevijin@cerema.fr
- Ciryle SOME : co-encadrant de thèse, ciryle.some@cerema.fr
- Jean-François BARTHELEMY : co-encadrant de thèse, jf.barthelemy@cerema.fr

Contenu du dossier de candidature :

- le CV du candidat
- la copie de sa carte d'identité ou de son passeport
- les notes du master (a minima le master 1 si les notes du master 2 ne sont pas disponibles)
- la copie du dernier diplôme (diplôme d'ingénieur, master recherche si ce dernier est déjà soutenu)
- une lettre de motivation du candidat expliquant son intérêt pour le sujet (1 page recto-verso maximum)
- une lettre de recommandation

Le(La) candidat-e lui transmettra un dossier complet (*éléments ci-dessus rassemblés dans un seul fichier .pdf*), par mél, **avant le 1^{er} avril 2023**.

Proposal of a thesis project in the materials mechanic and multiscale modelling field

« EXPERIMENTAL CHARACTERISATION AND MULTISCALE MODELLING OF HIGHLY RECYCLED WARM MIXES VISCOELASTIC PROPERTIES AND DURABILITY »

Fixed-term doctoral contract (3 years)

Application deadline: April 1, 2023

Start date of the contract: autumn 2023

1. PhD project description

The reduction of environmental impact of infrastructure design has become a major issue for road industry community. In the field of pavement design, this is reflected into a desire to reduce manufacturing temperatures for 80 % of projects by 2030, compared to 14 % currently, and to increase the recycling rates, currently limited to 40 % in hot mix asphalt (HMA) (see IDRRIM 2021 voluntary engagement pact following the COP21, IDRRIM note n° 46). The reasons for this limitation are mainly the lack of knowledge regarding the degree of remobilization and miscibility of the reclaimed asphalt (RA) binder in the added bitumen (new bitumen) during the manufacture of HMA and the durability of these recycled materials over time. This RA binders remobilization problem is more fundamental when the manufacturing temperatures are reduced, as in warm mix asphalt (WMA) process. To date, there is no regulatory framework allowing the reuse of RA in WMA in France.

Most research on recycling asphalt concrete (AC) focuses on the characterization of the viscoelastic properties, low temperature fragility and fatigue of HMA. As an example, the work carried out in the French National MURE (Multi Recycling) Project and in various theses, show that the use of RA preserves or even improves the complex modulus and fatigue resistance, but increases the low temperature cracking (increase in the cryogenic cracking temperature) of recycled AC. Except a few works that aim to characterise the microstructure of added bitumen and RA binders, most of the works focus on the characterization of macroscopic properties of recycled AC.

Likewise, there are very few studies on multi-scale modelling of bituminous mixes, let alone recycled asphalt mixes. The existing micromechanical model is based on the use of generalized self-coherent scheme to predict the complex modulus of HMA containing 70 % AE between -10 °C and 30 °C. Recently, we have developed a multi-scale model combining various schemes to predict the viscoelastic properties of HMA, WMA and bituminous mortars between 10 and 50 °C accounting contacts between aggregates. Some models have been proposed to link the bitumen compliance to those of its constituents (asphaltenes and maltenes) between -5 and +15 °C.

The objective of this thesis is to combine and improve the models at the bitumen microstructure scale with the model we have developed at the asphalt concrete scale to build a global multi-scale model linking the macroscopic properties of AC to the bitumen microstructure properties. This modelling will be completed by experimental campaigns to characterise the linear viscoelastic properties of AC and the different concentric bitumen layers surrounding the aggregates, as well as the different phases that make up these bitumens layers. It will thus be required to develop or to optimise a sequenced bitumen recovery device to recover these different layers for characterization.

2. Requested skills

The desired candidate must have strong background in :

- continuum mechanics
- homogenisation schemes
- materials mechanics (knowledge of rheological tools would be appreciated)
- scientific computing (Python language)

3. Hosting conditions of the thesis project

- The PhD student will be hired by Cerema on a fixed-term doctoral contract from autumn 2023 to autumn 2026 (exact dates to be agreed with the PhD student)
- The remuneration will be approximately 1 500 € net for the first two years and 1 700 € for the third year
- The project will take place mainly at the following sites:
 - Cerema ITM/IdF site de Sourdun (main site)
110 rue de Paris BP 216 Sourdun, 77487 Provins Cedex
 - Cerema Méditerranée (secondary site)
Pôle d'activités Les Milles - Avenue Albert Einstein - CS 70499
13593 Aix-en-Provence Cedex 3
- The dispositions will allow the PhD student to benefit from the doctoral trainings offered by the enrolment doctoral school.

4. Supervisory team of the thesis project

- The PhD student will be hosted within the UMR MCD/DIMA team of Cerema, whose manager is Virginie MOUILLET.
- The project will be conducted under the directorship of Virginie MOUILLET
- the DIMA research team.
- The project will be co-supervised by Bernus KOUEVIDJIN, Ciryle SOME and Jean-François BARTHELEMY, researchers in the DIMA team of Cerema.

5. Application process

Any interested candidate is invited to contact as soon as possible the Cerema supervisors of this project:

- Virginie MOUILLET: thesis supervisor, Virginie.Mouillet@cerema.fr
- Bernus KOUEVIDJIN: thesis co-supervisor, bernus.kouevdjine@cerema.fr
- Ciryle SOME: thesis co-supervisor, ciryle.some@cerema.fr
- Jean-François BARTHELEMY: thesis co-supervisor, jf.barthelemy@cerema.fr

Application file contents:

- candidate's CV
- copy of his/her identity card or passport
- master's notes (at least master 1 if master 2 notes are not available)
- copy of the last diploma (engineering diploma, research master if this latter is already supported)
- cover letter from the candidate explaining his/her interest in the subject (maximum 1 double-sided page)
- recommendation letter

The candidate will send a complete file (above elements gathered in a single .pdf file), by e-mail, before **April 1st 2023**.