

Sujet de thèse pour l'année universitaire 2026-2027

Titre de la thèse

Etude de l'endommagement des matériaux routiers cimentaires bas carbone avec recyclés-
Vers un dimensionnement résilient pour des chaussées durables

Description du sujet

Contexte

Le secteur routier est confronté au double défi de réduire drastiquement son empreinte carbone lors de la construction d'une part, et de garantir la pérennité des structures sous un trafic de plus en plus agressif et un climat qui évolue d'autre part.

La méthode française de dimensionnement des chaussées neuves [1] repose sur des modèles de fatigue empiriques (courbes de Wöhler) et la règle de Miner. Ces modèles ont été calés sur des matériaux traditionnels et des conditions standards. Or, dans le cas des chaussées rigides (à assises ou couches de roulement en matériaux cimentaires), l'émergence de nouveaux liants bas-carbone (ciments ternaires, laitiers activés) voire de liants géopolymères et l'utilisation de granulats recyclés modifient fondamentalement la microstructure et la rigidité des matériaux [2], et nous amènent à nous poser la question de l'applicabilité de l'approche de dimensionnement actuelle. De plus, ces chaussées rigides ne sont pas uniquement soumises aux charges du trafic [3]. Le gradient thermique entre la surface et la base des couches génère des courbures qui modifient leur réponse mécanique.

Il existe donc aujourd'hui une incertitude scientifique majeure sur la manière dont ces nouveaux matériaux "éco-conçus" réagissent à la fatigue mécanique [4], à la fatigue thermique et à la superposition de ces deux mécanismes. Cette question se pose pour les chaussées routières mais également pour les chaussées aéronautiques et spéciales (tramways, surfaces industrielles, ...).

Objectifs

Ce projet de recherche vise à lever les verrous scientifiques suivants :

- Mieux caractériser le comportement en fatigue des nouveaux matériaux, en se basant sur des essais de flexion 4 points, à plusieurs niveaux de contraintes ou de déformations. L'évolution de la microstructure sera caractérisée au travers du suivi du module élastique en cours d'essai et de la fissuration par corrélation d'images, permettant une analyse énergétique ;
- Vérifier la validité de la loi de cumul linéaire des dommages pour ces matériaux hétérogènes sous des historiques de chargement complexes résultant de séquences de

trafic réel et de variations climatiques, induisant des gradients de températures responsables de phénomènes de courbure des dalles de chaussées ;

- Vérifier si la substitution du ciment et l'inclusion de granulats recyclés dans les matériaux rigides élastiques influencent l'initiation des microfissures et la dissipation d'énergie.

Les objectifs de la thèse sont les suivants :

- Caractérisation multi-physique : analyser le lien entre la structure/microstructure des matrices bas-carbone avec recyclés et leurs propriétés mécaniques (modules, résistances...) ;
- A partir des essais de fatigue, développer un critère de ruine basé sur l'énergie dissipée afin de mieux prendre en compte l'endommagement des matériaux et affiner la loi de cumul de dommage ;
- Prise en compte de la diversité des conditions de sollicitation in situ et de leurs statistiques pour étudier l'effet de séquences (amplitude variable, surcharge ponctuelle discrète...) dans les structures de chaussée ;
- En déduire une approche pratique de dimensionnement : proposer de nouveaux paramètres d'entrée (pente de fatigue $1/b$, contrainte admissible σ_6 , coefficients de calage...) pour les logiciels de dimensionnement, de type Alizé, afin de prendre en compte le comportement de ces nouveaux matériaux.

Programme de travail envisagé

La méthodologie de recherche s'articulera autour de trois phases successives.

Tout d'abord, une campagne expérimentale de laboratoire sera menée sur la mise au point des essais de fatigue destinés aux nouveaux matériaux. En s'appuyant sur des essais mécaniques en flexion quatre points, instrumentés avec des jauges, des accéléromètres et par corrélation d'image, on cherchera à détecter l'initiation de l'endommagement. On travaillera d'abord à niveau de sollicitation constant, puis avec des cycles mécaniques plus ou moins complexes.

Ensuite, cette méthodologie sera appliquée aux matériaux de chaussées rigides émergents avec de nouveaux liants à plus faible empreinte carbone que le ciment (ciments LC3 par exemple) ou des géopolymères. Au-delà des caractérisations mécaniques usuelles comme le module et la résistance, une attention sera également portée aux propriétés thermiques.

Enfin, en s'appuyant sur de la modélisation numérique à l'aide de codes aux éléments finis tels que ABAQUS, on simulera le comportement d'une dalle de chaussée soumise à différentes configurations de charges et de températures, en vue de déterminer les sollicitations les plus critiques (localisations au sein de la structure et intensités). L'objectif final est de définir, pour les différents cas considérés, des coefficients de majoration de contraintes à utiliser dans la méthode de dimensionnement classique, basée sur un modèle analytique multicouche. Ces études devront permettre d'optimiser la longueur et l'épaisseur des dalles de chaussée.

Sur le plan scientifique, on souhaite aboutir à l'établissement d'une loi de fatigue, ou d'un critère de rupture capable de mieux décrire le comportement de ces milieux hétérogènes sous l'effet couplé des sollicitations mécaniques et climatiques répétées. D'un point de vue sociétal, ce projet permettra de valider et de sécuriser l'utilisation opérationnelle des bétons bas-carbone pour des chaussées soumises à un trafic lourd. Il permettra de définir les données techniques essentielles à la mise à jour de la méthode de dimensionnement pour ces matériaux.

Références

- [1] LCPC/SETRA (2014). Guide technique : Conception et dimensionnement des structures de chaussée. IFSTTAR / CEREMA.
- [2] Thomas, C., et al. (2014). Fatigue limit of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 146-154.
- [3] Hiller, J. E., & Roesler, J. R. (2005). Determination of critical concrete pavement fatigue damage locations using influence lines. *Journal of Transportation Engineering*, 131(8), 599-607
- [4] Oh, B. H. (1991). Cumulative damage theory of concrete under variable amplitude fatigue loadings. *ACI Materials Journal*, 88(1), 41-48.

Laboratoires d'accueil et localisation

La thèse se déroulera au sein des deux laboratoires LAMES (<https://lames.univ-gustave-eiffel.fr/>) et MIT (<https://mit.univ-gustave-eiffel.fr/>) de l'Université Gustave Eiffel (campus de Nantes), avec un encadrement qui couvre l'ensemble des problématiques abordées durant la thèse. Le laboratoire MIT se consacre à la caractérisation des matériaux routiers et au développement de matériaux innovants pour améliorer la durabilité, la résilience des infrastructures routières et les décarboner. Les activités du laboratoire LAMES concernent l'étude du comportement mécanique, la modélisation et le dimensionnement des structures de chaussées, l'auscultation et l'instrumentation des chaussées, et la réalisation d'essais en vraie grandeur.

Profil souhaité du candidat recherché

Le-la candidat-e devra avoir une formation en mécanique ou génie civil, avec des connaissances en statistiques pour l'analyse des essais.

Il-elle devra avoir des compétences en simulations numériques, avec également un intérêt pour les essais de laboratoire.

Un bon niveau d'anglais oral et écrit est nécessaire pour l'analyse de la littérature et la communication scientifique

Encadrement prévu

- Directeur de thèse : Pierre Horny - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/LAMES
- Co-Directeur de thèse : Thomas Lenoir - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT
- Encadrant : Genesseeux Eric - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT

Contacts

Pierre Horny, directeur de thèse : pierre.horny@univ-eiffel.fr

Thomas Lenoir (co-directeur) : thomas.lenoir@univ-eiffel.fr

Thesis topic for the 2026–2027 academic year

Thesis title

Study of damage in low carbon cementitious road materials including recycled aggregates –
Towards resilient design for sustainable pavements

Topic description

Context

The road sector faces a twofold challenge: on the one hand, drastically reducing its carbon footprint during construction, and on the other hand, ensuring the durability of structures under increasingly aggressive traffic and a changing climate.

The French design method for new pavements is based on empirical fatigue models (Wöhler curves) and Miner's rule. These models were calibrated on traditional materials and standard conditions. However, in the case of rigid pavements (with cementitious base or surface layers), the emergence of new low carbon binders (ternary cements, alkali activated slags) and even geopolymer binders, together with the use of recycled aggregates, fundamentally modifies the microstructure and stiffness of the materials, which raises the question of the applicability of the current design approach. In addition, these rigid pavements are not only subjected to traffic loads. The thermal gradient between the surface and the bottom of the layers generates curvatures that modify their mechanical response.

There is therefore a major scientific uncertainty today regarding how these new “eco designed” materials behave under mechanical fatigue, thermal fatigue, and the combination of these two mechanisms. This question arises for road pavements as well as for airfield pavements and special pavements (tramways, industrial surfaces, etc.)

Objectives

This research project aims to address the following scientific challenges :

- Better characterize the fatigue behavior of the new materials, based on four point bending tests at various stress or strain levels. The evolution of the microstructure will be characterized by monitoring the elastic modulus during testing and by using digital image correlation to observe cracking, enabling an energy-based analysis;
- Assess the validity of the linear damage accumulation law for these heterogeneous materials under complex loading histories resulting from sequences of real traffic and climatic variations, which induce temperature gradients responsible for slab curling/warping phenomena;
- Determine whether cement substitution and the inclusion of recycled aggregates in rigid, elastic materials influence microcrack initiation and energy dissipation.

The specific objectives of the PhD are:

- Multi physical characterization: analysis of the link between the structure/microstructure of low carbon matrices with recycled constituents and their mechanical properties (moduli, strengths, etc.);
- Using fatigue tests, develop a failure criterion based on dissipated energy in order to better account for material damage and to refine the damage accumulation law;
- Take into account the diversity and statistical nature of in situ loading conditions in order to study sequence effects (variable amplitude, discrete occasional overloads, etc.) in pavement structures;
- Derive a practical design approach: propose new input parameters (fatigue slope $1/b$, allowable stress σ_6 , calibration coefficients, etc.) for design software such as Alizé, so as to account for the behaviour of these new materials.

Planned work programme

The research methodology will be structured into three successive phases.

First, a laboratory experimental campaign will be conducted to develop fatigue tests suited to the new materials. Using four point bending mechanical tests, instrumented with strain gauges, accelerometers and digital image correlation, damage initiation will be detected. The work will first be performed at constant loading level, and then with more or less complex mechanical loading cycles.

Second, this methodology will be applied to emerging rigid pavement materials incorporating new binders with a lower carbon footprint than conventional cement (e.g., LC3 cements) or geopolymers. Beyond standard mechanical characterizations such as modulus and strength, special attention will also be paid to thermal properties.

Finally, using numerical modelling with finite element codes such as ABAQUS, the behavior of a pavement slabs subjected to different combinations of loads and temperatures will be simulated, in order to identify the most critical loadings (locations within the structure and stress levels). The ultimate goal is to define, for the various cases considered, stress magnification factors to be used within the classical design method based on a multilayer analytical model. These studies will help optimize the length and thickness of pavement slabs.

From a scientific standpoint, the aim is to establish a fatigue law or a failure criterion capable of better describing the behavior of these heterogeneous media under the combined effect of repeated mechanical and climatic loadings. From a societal standpoint, this project will help validate and secure the operational use of low carbon concretes for pavements subjected to heavy traffic. It will define the key technical data required to update the design method for these materials.

References

- [1] LCPC/SETRA (2014). Guide technique : Conception et dimensionnement des structures de chaussée. IFSTTAR / CEREMA.
- [2] Thomas, C., et al. (2014). Fatigue limit of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 146-154.
- [3] Hiller, J. E., & Roesler, J. R. (2005). Determination of critical concrete pavement fatigue damage locations using influence lines. *Journal of Transportation Engineering*, 131(8), 599-607

[4] Oh, B. H. (1991). Cumulative damage theory of concrete under variable amplitude fatigue loadings. ACI Materials Journal, 88(1), 41-48.

Host laboratories and location

The PhD will be carried out within the LAMES (<https://lames.univ-gustave-eiffel.fr/en/>) and MIT (<https://mit.univ-gustave-eiffel.fr/en/>) laboratories of Université Gustave Eiffel (Nantes campus), with supervision covering all the issues addressed in the thesis. The MIT laboratory focuses on the characterization of road materials and the development of innovative materials to improve the durability and resilience of road infrastructures and to decarbonize them. The activities of the LAMES laboratory concern the study of mechanical behaviour, modelling and design of pavement structures, pavement monitoring and instrumentation, and full scale testing.

Candidate profile

The candidate should hold a degree in mechanics or civil engineering, with knowledge of statistics for test data analysis.

The candidate should have skills in numerical simulations and an interest in laboratory testing.

A good level of spoken and written English is required for literature review and scientific communication.

Supervision

- Supervisor : Pierre Hornyh- Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/LAMES
- Co-supervisor : Thomas Lenoir - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT
- Advisor : Genesseeux Eric - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT

Contacts

Pierre Hornyh, directeur de thèse : pierre.hornyh@univ-eiffel.fr

Thomas Lenoir (co-directeur) : thomas.lenoir@univ-eiffel.fr