

Titre de thèse : "Optimisation Mécanique et Thermique d'une Chaussée Récupératrice d'Énergie Solaire"

Directeur de thèse : Emmanuel Chailleux (MAST/MIT)

Co-directeur de thèse : Florian Huchet (MAST/GPEM)

Encadrants : Romain Noel (COSYS/SII), Eric Genesseeux (MAST/MIT) et Thierry Sedran (MAST/MIT)

Dans le contexte actuel de transition énergétique, l'exploitation de sources d'énergie renouvelable revêt une importance cruciale. L'utilisation de la surface des chaussées exposée au rayonnement solaire permettrait de capter l'énergie du soleil en donnant une nouvelle fonction à la route qui participerait ainsi à la décarbonation des transports par son usage.

En couplant l'utilisation de panneaux photovoltaïques à un échangeur de chaleur constitué d'une couche de béton poreux dans laquelle circule un fluide caloporteur, l'Université Eiffel développe depuis quelques années une solution modulaire prometteuse : la chaussée hybride (Vizzari, 2020, 2021a, 2021b). Les premiers résultats montrent des rendements intéressants obtenus notamment grâce à la perméabilité importante de la couche poreuse (Asfour (2016), le Touz (2018)). L'aspect modulaire de l'innovation permet de maîtriser les étapes de construction de ce type de chaussée complexe par l'intermédiaire de la préfabrication en béton.

Cette thèse propose de poursuivre ces travaux en optimisant conjointement les aspects mécaniques et thermiques de la chaussée hybride. Pour cela, une approche expérimentale sera adoptée, mais en s'appuyant sur des modélisations numériques et des modèles physiques pour les approches thermiques.

Les objectifs de la thèse sont les suivants :

- Une optimisation du matériau poreux d'un point de vue thermique est prévue pour maximiser la récupération d'énergie. Elle concernera le choix des constituants et de la formulation. L'évaluation des échanges thermiques des matériaux générés pourra se faire à partir de maquettes réduites simples respectant certains paramètres adimensionnels pour comparer les rendements énergétiques des matériaux choisis.
- Une optimisation mécanique de la chaussée hybride sera menée. Il s'agira d'évaluer les performances mécaniques sous trafic atteignables avec ce type de chaussée multicouche comportant un cœur poreux de faible résistance et de les maximiser tout en conservant des rendements énergétiques performants. Cela impliquera la formulation de bétons poreux optimisés au sens du lien efficacité thermique/propriété mécanique, l'optimisation du design de la chaussée hybride (épaisseurs, renforts, taille des modules, géométrie des distributeurs/collecteurs...), l'étude du comportement en fatigue du béton poreux et du multicouche ainsi que l'étude du collage entre couches. En cas de performances globales satisfaisantes, un essai de simulation de trafic à l'échelle 1 sur une maquette par l'intermédiaire des machines FABAC disponibles sur le campus pourra être envisagé.
- Enfin, une partie de la thèse se concentrera sur une optimisation topologique multiphysique du milieu poreux. L'objectif sera d'optimiser l'efficacité du transfert thermique en intervenant sur sa géométrie interne et sur la caractérisation du milieu diphasique eau/air y circulant. Cette partie débutera par une

évaluation précise des échanges thermiques observés dans le milieu de poreux déjà développés pour la chaussée hybride. Les maquettes et démonstrateurs déjà construits, seront mis à disposition de l'étudiant pour leur évaluation à partir de méthodologies expérimentales adaptées. Des modélisations numériques du comportement thermique de topologies optimisées seront ensuite menées pour augmenter l'efficacité globale du système.

Cette thèse vise à combler les lacunes actuelles dans le comportement mécanique et thermique des chaussées récupératrices d'énergie solaire. En développant une solution holistique, cette recherche contribuera à la création de systèmes énergétiques plus durables et efficaces, tout en répondant aux défis contemporains liés à la décarbonation des transports et à la nécessité d'une énergie propre.

La thèse se déroulera sur le campus de Nantes de l'université Gustave Eiffel dans le laboratoire MAST/MIT pour les aspects mécaniques et expérimentaux, avec des interactions avec les laboratoires COSYS/SII et MAST/GPEM, également nantais, pour les aspects thermiques.

Le doctorant bénéficiera d'un encadrement rapproché par une équipe complémentaire experte dans les domaines de la mécanique routière et des problématiques thermiques.

ASFOUR, Sarah (2016) "Récupération d'énergie dans les chaussées pour leur maintien hors gel" PhD thesis, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.

ASFOUR, Sarah; Frédéric, Bernardin; Evelune Toussaint; Jean-Michel, Piau (2016) 'Hydrothermal Modeling of Porous Pavement for Its Surface De-Freezing'. *Applied Thermal Engineering* 107: 493–500

LE TOUZ, Nicolas; Dumoulin, Jean; Piau, Jean-Michel (2018) 'Multi-Physics Fem Model of Solar Hybrid Roads for Energy Harvesting Performance Evaluation in Presence of Semi-Transparent or Opaque Pavement Surface Layer'. In , 6p. <https://hal.inria.fr/hal-01891242>

VIZZARI, Domenico; Chailleux, Emmanuel; Lavaud, Stéphane; Genesseeux, Eric; Bouron, Stéphane (2020) "Fraction Factorial Design of a Novel Semi-Transparent Layer for Applications on Solar Roads". *Infrastructures* 2020, 5(1), 5; <https://doi.org/10.3390/infrastructures5010005>

VIZZARI, Domenico; Genesseeux, Eric; Lavaud, Stéphane; Bouron, Stéphane; Chailleux, Emmanuel (2021) 'Pavement Energy Harvesting Technologies: A Critical Review'. *RILEM Technical Letters* 6: 93–104

VIZZARI, Domenico; Genesseeux, Eric; Lavaud, Stéphane; Bouron, Stéphane; Chailleux, Emmanuel (2021) "Surface Dressing Treatment for Applications on Solar Roads," *ISBM 2020: Proceedings of the RILEM International Symposium on Bituminous Materials* 1719–1725, https://doi.org/10.1007/978-3-030-46455-4_218