

Proposition d'un sujet de thèse 2024

Année universitaire 2024

Titre du sujet :	Développement de matériaux excavables décarbonés composés des granulats de béton recyclé liés par bio carbonatation en substitution du liant
Etablissement :	Université Gustave Eiffel – https://www.univ-gustave-eiffel.fr/
Spécialité(s):	Génie civil ; microbiologie
Mots clés :	Granulats de béton recyclé, carbonate de calcium, bio-précipitation, liant décarboné
Structure de recherche :	Département “Matériaux et Structures” (MAST), Laboratoires (CPDM) et (MIT)
Localisation :	Université Gustave Eiffel, Campus de Marne-la-vallée (77) et Nantes (Bouguenais, 44)
Encadrement :	Marielle Gueguen (MAST/CPDM) Tel : (+33)1 81 66 81 54 ; Mèl. : marielle.gueguen@univ-eiffel.fr Eric Gennesseaux (MAST/MIT) Tel. : (+33)2 40 84 56 10, Mèl : eric.gennesseaux@univ-eiffel.fr Thierry Sedran (MAST/MIT) Tel.: (+33)2 40 84 56 32, Mèl.: Thierry.sedran@univ-eiffel.fr

Description du sujet

Le développement des véhicules électriques et des véhicules autonomes nécessite l'équipement des infrastructures avec différents types de capteurs, l'installation le cas échéant de systèmes de recharge inductifs ou conductifs. De nouvelles solutions d'éclairage et de signalisation dynamique intégrées dans les infrastructures sont également proposées par les entreprises, enfin des solutions de captation d'énergie par les infrastructures sont en cours de développement. L'ensemble de ces développements technologiques complexifient les

infrastructures routières et la construction modulaire apparaît comme une solution d'avenir. En effet, ce mode de construction permet la préfabrication en usine d'éléments intégrant tous les éléments fonctionnels nécessaires. En milieu urbain, le caractère modulaire permet en plus une accessibilité aux réseaux sous-jacents ce qui facilite la maintenance. C'est, par exemple, l'objet des chaussées urbaines démontables développées sur la base de dalles de béton hexagonales depuis plusieurs années à l'université G. Eiffel [1]. Pour cela, il faut que la plateforme sur laquelle sont posés les éléments modulaires soient facilement excavables donc faiblement résistants, tout en ayant une capacité portante suffisante pour supporter le trafic. A priori, ces deux propriétés sont antinomiques. Toutefois l'université Gustave Eiffel a développé depuis quelques années une méthode de formulation de tels matériaux à base de ciment à travers les thèses de Morin (2009) et de Genesseaux (2015), [2,3]. Ces matériaux présentent deux inconvénients d'un point de vue environnemental : ils contiennent du ciment dont la fabrication dégage du CO₂ (le ciment représente environ 7% des dégagements de CO₂ mondiaux) et ils consomment des granulats naturels qui ne sont pas disponibles en milieu urbain et qui nécessitent d'être transportés.

De plus, les chaussées classiques urbaines sont très régulièrement ouvertes pour des actions de maintenance des réseaux. Le remblayage de ces tranchées se fait en général avec des matériaux granulaires non liés qui sont compactés. Ce compactage conduit à des nuisances sonores importantes lors des chantiers urbains et bien souvent ne suffit pas à éviter les tassements par post-compactage sources d'inconfort, de bruit de roulement et nuisant à l'esthétique des centres urbains. Des solutions de matériaux autocompactants à base de ciment existent mais sont peu utilisées car il est difficile de maîtriser la nature excavable de ces matériaux à long terme.

Ces défauts sont d'autant plus marqués que, dans le domaine routier, les volumes concernés sont importants. Il est donc important de pouvoir pallier ces désavantages et proposer un système constructif décarboné excavable.

Pour cela, les objectifs de cette thèse sont :

- De substituer les granulats naturels par des granulats de béton recyclé ;
- De substituer le liant cimentaire par des carbonates de calcium précipités par des micro-organismes.

La réutilisation des granulats de béton recyclé est une solution pour diminuer les déchets de l'industrie du BTP cependant sa réutilisation dans un nouveau béton reste modérée.

La capacité des bactéries à induire la formation de carbonate de calcium fait l'objet de plusieurs applications :

- l'autocicatrisation du béton [4]: les bactéries introduites sous forme de spores dans le béton sont activées au niveau de microfissures (<1 mm) et rebouchent ces fissures ;
- la rénovation des pierres naturelles des monuments [5]: les bactéries forment un film protecteur de CaCO₃ à la surface des pierres ;
- la consolidation des sols [6]: les bactéries sont injectées dans le sol et le carbonate de calcium formé ciment les grains ;
- l'amélioration de granulats de béton recyclés : l'objectif est de diminuer la porosité des granulats recyclés en formant un biofilm de carbonate à leur surface. Cette application reste encore du domaine de la recherche, en particulier à l'université G Eiffel [7,8].
- La formation de briques avec l'utilisation de CaCO₃ pour lier les grains de sable entre eux [9,10]

Ce travail s'inscrit donc dans le développement d'une mobilité innovante, plus respectueuse de l'environnement et plus inscrite dans l'économie circulaire. Les applications pourraient être tout d'abord dédiées au marché existant des tranchées urbaines et par la suite, aux chaussées modulaires si la technique se développe.

Les verrous scientifiques à lever dans ce travail sont multiples :

- identification de bactéries adaptées aux granulats recyclés;
- maîtrise d'un développement bactérien et d'une calcification rapides sur l'épaisseur de la couche de matériau en laboratoire;
- caractérisation de la liaison intergranulaire par les bactéries et identification des facteurs d'influence;
- optimisation du duo excavabilité/portance obtenu;
- mise à l'échelle du chantier du procédé de laboratoire ;

- analyse du cycle de vie de la solution retenue et conclusion sur l'intérêt technique et social de la solution.

La thèse se déroulera a priori dans le laboratoire MAST/CPDM sur le campus de Marne La vallée (<https://cpdm.univ-gustave-eiffel.fr/>) sur la première année pour les aspects microbiologiques et dans le laboratoire MAST/MIT sur le campus de Nantes (<https://mit.univ-gustave-eiffel.fr/>) sur les deux dernières années pour les aspects caractérisations mécaniques des matériaux routiers.

Références

[1] <http://cud.ifsstar.fr/>

[2] Genesseeux E., Sedran T., Torrenti J-M and Hardy M., Formulation of optimized excavatable cement treated materials using a new punching test apparatus, Mater Struct, 51(3):56, 21 p, (2018). <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1184-1>

[3] Morin C., Sedran T., De Larrard F., Dumontet H., Murgier S., Hardy M., Dano C. (2018) Development of an excavatability test for backfill materials: numerical and experimental studies, Canadian Geotechnical Journal, 55 (1), pp. 69-78, <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0534>

[4] <https://www.basiliskconcrete.com/en/>

[5] <http://amonit.fr/fr/accueil>

[6] <https://www.soletanche-bachy.com/fr/solutions/techniques/ground-improvement/biocalcis>

[7] Medevielle M., Gueguen-Minerbe M., Sedran T., Adaptation of alkalophilic bacterial strain, inducing CaCO₃ precipitation, to improve the recycled concrete aggregates quality | (Utilisation d'une souche bactérienne alcalino-résistante productrice de CaCO₃ pour l'amélioration de la qualité des granulats de béton recyclé), Matériaux & Techniques, EDP Sciences, 2016, 104 (5),506, doi : 10.1051/mattech/2017020.

[8] Heriberto Martinez Hernandez, Marielle Gueguen Minerbe, Yoan Pechaud and Thierry Sedran, Evaluation of the ability of alkalophilic bacteria to form a biofilm on the surface of Portland cement-based mortars, Matériaux & Techniques, 108 3 (2020) 304, Published online: 18 November 2020, DOI: 10.1051/mattech/2020032

[9] Kumar, J. P. P. J., Rajan Babu, B., Nandhagopal, G., Ragumaran, S., Ramakritinan, C. M., & Ravichandran, V. (2019). In vitro synthesis of bio-brick using locally isolated marine ureolytic bacteria, a comparison with natural calcareous rock. Ecological Engineering, 138, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.017>

[10] Lambert, S. E., & Randall, D. G. (2019). Manufacturing bio-bricks using microbial induced calcium carbonate precipitation and human urine. Water Research, 160, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.069>

Encadrement prévu

- Directrice de thèse : Marielle Gueguen - Université Gustave Eiffel, campus de Marne La Vallée Laboratoire MAST/CPDM
- Encadrant : Thierry Sedran - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT
- Encadrant : Genesseeux Eric - Université Gustave Eiffel, campus de Nantes Laboratoire MAST/MIT

Localisation de la thèse

La thèse se déroulera a priori dans le laboratoire MAST/CPDM sur le campus de Marne La vallée (<https://cpdm.univ-gustave-eiffel.fr/>) sur la première année pour les aspects microbiologiques et dans le laboratoire MAST/MIT sur le campus de Nantes (<https://mit.univ-gustave-eiffel.fr/>) sur les deux dernières années pour les aspects caractérisations mécaniques des matériaux routiers.