

Additive construction by selective bonding of aggregates: evaluation of a new method based on cement foam

Two different techniques can be used for the 3D printing (additive construction) of cement materials: (i) concrete/mortar extrusion or (ii) selective fluid bonding of a particle bed. The former is by far the most used at present, the latter can be broken down into two variants: (iia) the application of a solution composed of water and admixtures on a mixture of cement powder and aggregates (selective activation of cement), (iib) by application of cement paste on aggregates (selective paste intrusion).

It is this second variant that interests us here. The principle is simple: a fluid material is deposited by the nozzle of the 3D printer and then penetrates the particle bed, allowing the production of very complex structures without the need for supporting structures. However, there are several problems with this technique: to achieve high mechanical strength, the applied aggregate layer must be completely penetrated by the cement paste to bond with the layers below. The shape of the injected area must be controlled. This results from the combination of the hydraulic properties of the granular bed porosity, the rheological properties of the cement slurry, and the effects of capillary pressure.

The injection of cementitious foam, instead of cement slurry, can significantly improve the control of the deposit in the granular bed. Indeed, the presence of air in high proportion would allow to reduce the required driving pressure; if it is well chosen, the surfactant used for the foaming of the cement grout can play an equivalent role to the superplasticizer generally used to reduce the effective viscosity of cement paste; the microstructure of the liquid foam in the porosity optimizes the distribution of the grout at the contacts between the grains (bridging); the capillary cohesion intrinsic to the liquid foam can help to control the shape of the injected zone; the presence of air would limit the effects of drying shrinkage, which could, at least in part, compensate for the smaller quantity of cement injected with the foam compared to the traditional method.

The work envisaged will consist of producing cement foam such as that already produced in the laboratory and then injecting this foam into granular assemblies. Other binders could be considered, such as those based on calcined clay for example. In a first step, the granular assembly will be confined in a column, so as to be able to perfectly control the filling of the porosity. In a second step, the injection will be performed on granular beds, in a configuration close to 3D printing. The microstructure of the injected zone will be characterized by X-ray micro-tomography, before and after complete drying of the binder. The mechanical strength will be measured by uniaxial compression tests. The main parameters studied will be: grain and bubble sizes, air volume fraction in the foam, rheology of the grout (threshold stress in particular). A comparison of the results with those obtained on the reference system (full grouting) will allow to highlight the possible interest of the method based on the injection of foam.

Selected publications of the team in the field: [1] "Foam: Structure and Dynamics", Oxford University Press (2013) ISBN: 978-0-19-966289-0. [2] Optimal cement paste yield stress for the production of stable cement foams, Cement and Concrete Research (2019) 120, pp. 142-151. [3] A physical approach towards controlling the microstructure of metakaolin-based geopolymer foams, Cement & Concrete Research (2019) 124, 105807. [4] Tensile mechanics of polymeric foam ribbons, Polymer Testing (2020) 86, 106513. [5]

For more details about the team: see navier-lab.fr/la-recherche/rheophysique-et-milieus-poreux/

Applicant profile: (1) To be interested in **experiments**. (2) Basic skills in **physics/mechanics** are required.
Salary: 1600€/net.

Location: Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne (RER A, stop: Noisy-Champs)
Please contact by email: olivier.pitois@univ-eiffel.fr

Construction additive par liaison sélective de granulats : évaluation d'une nouvelle méthode basée sur une mousse cimentaire

Deux techniques différentes peuvent être utilisées pour la construction additive (impression 3D) de matériaux cimentaires : (i) l'extrusion de béton/mortier ou (ii) la liaison sélective d'un lit de particules par un fluide. La première est de loin la plus utilisée actuellement, le seconde se décompose en deux variantes : (iia) l'application d'une solution composée d'eau et d'adjuvants sur un mélange de poudre de ciment et d'agrégats (activation sélective du ciment), (iib) par insertion de pâte de ciment sur des agrégats (intrusion de pâte sélective).

C'est cette deuxième variante qui nous intéresse ici. Le principe est simple : un matériau fluide est déposé par la buse de l'imprimante 3D et pénètre ensuite dans le lit de particules, permettant de produire des structures très complexes sans avoir besoin de structures de soutien. Toutefois, plusieurs problèmes sont posés par cette technique : pour atteindre une résistance mécanique élevée, la couche d'agrégat appliquée doit être complètement pénétrée par la pâte de ciment pour se lier avec les couches inférieures. La forme de la zone injectée doit être contrôlée. Celle-ci résulte de la combinaison entre les propriétés hydrauliques de la porosité du lit granulaire, les propriétés rhéologiques du coulis cimentaire, et les effets de pression capillaire.

L'injection de mousse cimentaire, en lieu et place du coulis de ciment, peut permettre d'améliorer significativement le contrôle du dépôt dans le lit granulaire. En effet, la présence d'air en forte proportion permettrait de réduire la pression d'injection ; s'il est bien choisi, le tensioactif utilisé pour le moussage du coulis peut jouer un rôle équivalent au superplastifiant généralement utilisé pour faciliter l'injection ; la microstructure de la mousse liquide dans la porosité optimise la répartition du coulis aux contacts entre les grains (pontage) ; la cohésion capillaire intrinsèque à la mousse liquide peut aider à maîtriser la forme de la zone injectée ; la présence d'air limiterait les effets du retrait de séchage, ce qui pourrait, au moins en partie, compenser la plus faible quantité de ciment injectée avec la mousse par rapport à la méthode traditionnelle.

Le travail envisagé consistera à produire de la mousse de ciment telle que celle déjà réalisée au laboratoire puis d'injecter cette mousse dans des assemblages granulaires. D'autres liants pourront être envisagés, comme ceux à base d'argile calcinée par exemple. Dans un premier temps, l'assemblage granulaire sera confiné dans une colonne, de manière à pouvoir contrôler parfaitement le remplissage de la porosité. Dans un second, l'injection sera réalisée sur des lits granulaires, dans une configuration plus proche de celle de l'application. La microstructure de la zone injectée sera caractérisée par micro-tomographie aux rayons X, avant et après séchage complet du liant. La résistance mécanique sera mesurée par un essai de compression uniaxiale. Les principaux paramètres étudiés seront : les tailles de grains et de bulles, la fraction volumique d'air dans la mousse, la rhéologie du coulis (sa contrainte seuil en particulier). Une comparaison des résultats avec ceux obtenus sur le système de référence (injection de coulis) permettra de mettre en évidence l'intérêt éventuelle de la méthode basée sur l'injection de mousse.

Sélection de publication de l'équipe dans le domaine: [1] "Foam: Structure and Dynamics", Oxford University Press (2013) ISBN: 978-0-19-966289-0. [2] Acoustics of monodisperse open-cell foam: An experimental and numerical parametric study, J. Acoust. Soc. Am. (2020) 148, 1767-1778. [3] A physical approach towards controlling the microstructure of metakaolin-based geopolymer foams, Cement & Concrete Research (2019) 124, 105807. [4] Tensile mechanics of polymeric foam ribbons, Polymer Testing (2020) 86, 106513. [5] Optimal cement paste yield stress for the production of stable cement foams, Cement and Concrete Research (2019) 120, pp. 142-151.

Pour davantage de détails sur l'équipe d'accueil, consulter : navier-lab.fr/la-recherche/rheophysique-et-milieus-poreux/

Profil du candidat : (1) Goût prononcé pour les **expériences**. (2) Connaissances de base requises en **physique/mécanique**.
Salaire : 1600€/net

Site: Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne (RER A, stop: Noisy-Champs)

Contact email: olivier.pitois@univ-eiffel.fr