



Université Lille Nord de France  
Pôle de Recherche  
et d'Enseignement Supérieur

## Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



**Titre : Caractérisation multiphysiques et multiéchelles de bétons imprimés à base de granulats recyclés en fonction des conditions de séchage.**

**Financement prévu : Université de Lille (100 %)**

**Cofinancement éventuel :**

**Co-Directeur de thèse : Didier CHICOT (PU), LGCgE – Université de Lille**

**E-mail : didier.chicot@univ-lille.fr**

**Co-Directeur de thèse : Sébastien REMOND (PU), LGCgE – IMT Lille-Douai**

**E-mail : sebastien.remond@imt-lille-douai.fr**

**Co-Encadrant : Francine ROUDET (Mdc HDR), LGCgE – Université de Lille**

**E-Mail : francine.roudet@univ-lille.fr**

**Co-Encadrant : Ghislain LOUIS, LGCgE – IMT Lille-Douai**

**E-Mail : ghislain.louis@imt-lille-douai.fr**

**Laboratoire d'affectation : LGCgE EA1445**

**Equipes : ER1 Site de Lille - ER2 Site de Douai**

### **Descriptif :**

La fabrication additive s'est développée rapidement dans de nombreux secteurs industriels (*automobile, aéronautique, médecine* ...). Désormais, des plastiques, des métaux et des céramiques peuvent être imprimés à grande échelle. L'un des principaux avantages du procédé est de permettre la réalisation rapide de pièces uniques, de forme complexe, adaptées à un usage ou un utilisateur spécifiques. Depuis plusieurs années, des expérimentations ont été engagées pour appliquer ce procédé au domaine de la construction. Dans la région Hauts de France, le projet **MATRICE**, cofinancé par des fonds FEDER et de la région, rassemblant huit établissements d'enseignement supérieur et de recherche, a montré la faisabilité de l'impression 3D à la construction. Toutefois, pour être considéré comme imprimable, un matériau cimentaire doit répondre à un cahier des charges très exigeant. Il doit tout d'abord être suffisamment fluide pour pouvoir être pompé puis extrudé sans subir de blocage ni de filtration. Une fois déposé, le matériau doit être constructible, c'est-à-dire qu'il doit raidir suffisamment rapidement pour pouvoir conserver sa forme sous son propre poids puis sous celui des couches supérieures. Après durcissement, il doit posséder des propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de la construction.

L'obtention de bonnes propriétés mécaniques du matériau imprimé est donc très étroitement liée aux paramètres de fabrication (*composition du matériau imprimé, vitesse d'impression, temps d'attente entre les couches* ...) et aux conditions environnementales (*humidité et température*). A titre d'exemple, il a été montré que l'adhérence entre les couches imprimées successives dépendait étroitement de la vitesse de séchage du matériau. La vitesse d'impression doit donc être suffisamment lente pour que le matériau ait le temps de se structurer entre deux couches pour garantir sa constructibilité mais en même temps suffisamment rapide pour éviter tout séchage excessif qui viendrait compromettre la qualité de la liaison entre les couches.

Ce travail de thèse vise donc à étudier le lien entre les propriétés du matériau à l'état frais, les paramètres d'impression et la qualité de la liaison entre les couches imprimées. On cherchera tout d'abord à déterminer puis à modéliser les propriétés mécaniques à l'interface en fonction des propriétés du matériau dans la masse et des conditions de séchage/durcissement pour pouvoir ensuite décrire le comportement du matériau imprimé à l'échelle macroscopique, donc comportant un assemblage de couches. La modélisation à l'interface sera alimentée puis validée à l'aide d'essais d'indentation instrumentée à différentes échelles de mesure, tout d'abord à l'échelle nano avec le dispositif d'indentation sous MEB pour une étude locale du problème, puis aux échelles micro et macro à partir d'instruments accessibles via la Fédération Lilloise de Mécanique (FED4282) pour remonter au comportement global. Les essais seront réalisés sur des corps d'épreuve imprimés dans différentes conditions de séchage et avec différentes formulations. Le comportement mécanique de corps d'épreuve de plus



grandes dimensions, mis en œuvre dans les mêmes conditions, sera ensuite caractérisé afin de valider le modèle macroscopique. Ces travaux seront ensuite appliqués au cas particulier de mortiers imprimables contenant du sable recyclé. Selon l'état d'humidification initial de ce dernier, les conditions de séchage de l'élément imprimé peuvent en effet varier. Utilisé à l'état sec, le sable recyclé va absorber une partie de l'eau de gâchage et ainsi accélérer le séchage du matériau. Au contraire, utilisé dans un état pré-saturé, le sable recyclé peut apporter une cure interne qui pourrait compenser la perte d'eau par évaporation. Ainsi, selon son état initial d'humidité, le sable recyclé pourrait avoir un effet néfaste ou bénéfique sur la résistance entre les couches.

Du point de vue scientifique, le candidat devra avoir de solides connaissances dans les domaines de la physique et des matériaux. Des compétences et des connaissances en indentation instrumentée et en caractérisation microstructurale seront particulièrement appréciées. Enfin, le candidat devra être curieux, perspicace et être force de proposition.

**Cette thèse s'insère parfaitement dans le champ des thématiques des stratégies SRI-SI (DAS4-Chimie, matériaux, recyclage) et S3 (Développement des outils numériques et maîtrise des systèmes) de la région Hauts de France.**