

Formulation de mortiers imprimables incorporant des matériaux recyclés

Sébastien Rémond, Adèle Grellier, Eliane Khoury, Noura Khalil, Reine Karam, David Bulteel

▶ **To cite this version:**

Sébastien Rémond, Adèle Grellier, Eliane Khoury, Noura Khalil, Reine Karam, et al.. Formulation de mortiers imprimables incorporant des matériaux recyclés. DiXite3dPrint : Fabrication Additive pour la Construction. Quelle Actualité Nationale ?, École des Ponts ParisTech, Jan 2019, Champs-sur-Marne, France. hal-02119203

HAL Id: hal-02119203
https://enpc.hal.science/hal-02119203

Submitted on 3 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Formulation de mortiers imprimables incorporant des matériaux recyclés

Mixture proportioning of printable mortars incorporating recycled materials

Sébastien Rémond[1], Adèle Grellier[1], Eliane Khoury[1], Noura Khalil[1], Reine Karam[1], David Bulteel[1]

1 : IMT Lille Douai, Univ. Lille, EA 4515 – LGCgE, F-59000 Lille, France
e-mail : sebastien.remond@imt-lille-douai.fr

La fabrication additive appliquée au domaine de la construction ouvre des perspectives inédites pour la réalisation d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrages de formes complexes. De plus, cette méthode de mise en œuvre permet d'optimiser la forme et le remplissage des éléments imprimés réduisant ainsi les quantités de matériaux et le poids des pièces fabriquées. Cependant, pour pouvoir tirer le meilleur parti de ce nouveau procédé de construction, les cordons déposés par les imprimantes 3D sont généralement étroits et le matériau extrudé doit posséder une granulométrie suffisamment fine pour éviter les blocages. Ainsi, les matériaux imprimables sont généralement des mortiers voire même des pâtes et ils nécessitent des quantités de ciment nettement plus élevées que les bétons traditionnels, ce qui pénalise lourdement le bilan carbone du procédé. A l'inverse, l'utilisation de fractions fines dans les matériaux imprimables ouvre des perspectives intéressantes pour la valorisation de certains déchets ou sous-produits de granulométrie fine et dont la valorisation est souvent délicate pour les techniques classiques de construction.

Ce travail fait suite au projet MATRICE [1] et vise à adapter la procédure de formulation élaborée initialement [2] pour pouvoir inclure, dans les mortiers imprimables, des matériaux recyclés afin de réduire leur impact environnemental. Deux voies de valorisation sont explorées. Dans un premier temps, on cherche à remplacer le sable naturel (0/2mm) utilisé dans les mortiers par un sable recyclé de même classe granulaire. Ensuite, on cherche à développer un liant alternatif, à base de laitiers granulé de hauts fourneaux activé, afin de remplacer le ciment portland. Une première formulation de mortier imprimable « tout recyclé » est ensuite proposée.

Le sable recyclé utilisé correspond au sable étudié dans le cadre du Projet National Recybéton. Ce sable a toutefois été tamisé à 2mm afin d'éviter les blocages qui peuvent se produire lors de l'extrusion (utilisation d'une buse de 18mm). L'incorporation de sable recyclé dans les mortiers imprimables est une tâche délicate dans la mesure où l'absorption d'eau du sable peut modifier le comportement rhéologique du mortier et lui ôter son caractère imprimable. Le coefficient d'absorption d'eau du sable (9% ici) a donc été déterminé précisément au moyen de la méthode par extrapolation mise au point par Zhao et al. [3].

Le liant alternatif a été développé en mélangeant du laitier granulé de haut fourneau et différentes solutions activatrices composées d'hydroxyde de potassium et de silicate de potassium. L'eau, l'hydroxyde de potassium (KOH) et silicate de potassium (K_2SiO_3) sont mélangés 24h avant fabrication du mortier car la dissolution de l'hydroxyde de potassium est exothermique. Le laitier est ensuite pré mélangé au sable puis la solution activatrice est ajoutée.

Les mortiers ont tout d'abord été formulés au laboratoire à petite échelle. L'imprimabilité (extrudabilité et "buildabilité") des mortiers a été testée au moyen d'un dispositif simple permettant de simuler manuellement l'impression (fig. 1). Ensuite, deux formulations contenant du sable recyclé, avec du ciment portland ou du laitier activé ont été mises en œuvre à plus grande échelle (fig. 2) en l'utilisant l'imprimante 3D développée à l'IMT Lille Douai dans le projet MATRICE. Enfin, la résistance en compression des deux mortiers imprimés a été déterminée à 28 et 90 jours sur éprouvette 4x4x16 normalisées (fig. 3).



Fig. 1 : test en laboratoire pour vérifier l'imprimabilité d'un mortier (ici, sable recyclé + ciment portland)



Fig. 2 : impression 3D d'un mortier « tout recyclé »

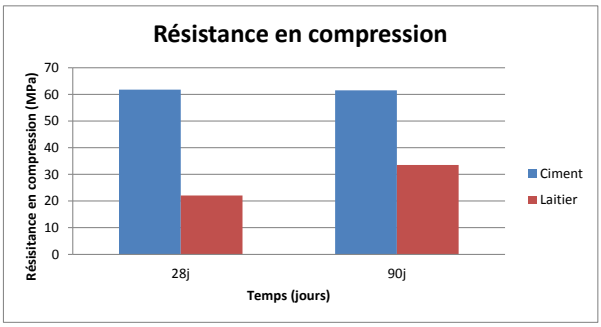


Fig. 3 : résistances en compression à 28 et 90 jours de mortiers de sable recyclé contenant du ciment portland ou du laitier activé

Dans le cas du mortier au laitier activé (mortier « tout recyclé »), le sable recyclé a dû être utilisé à l'état sec, compte tenu du mode de préparation de la solution d'activation. Les résistances mécaniques obtenues à 28 jours sont nettement plus faibles qu'avec du ciment portland, mais un gain significatif est obtenu à 90 jours et permet d'atteindre 50% de la résistance en compression du mortier de portland. L'impression de ce matériau s'est révélée efficace jusqu'à une hauteur d'environ 30 cm (impression en moins de 15 minutes). Des hauteurs plus importantes pourraient être atteintes moyennant quelques modifications de composition du liant. En effet, dans ces mélanges deux paramètres principaux entrent en compte pour le contrôle de la rhéologie et de la cinétique de prise du mélange : la concentration de la solution activatrice (rapport SiO_2/K_2O et $\%K_2O$) et le rapport E/S (E : eau ajoutée et S : laitier, KOH et silicates). L'optimisation de ces paramètres devrait permettre à terme l'utilisation de liants alternatifs pour la formulation de matériaux imprimables peu sollicités.

Références

[1] Projet MATRICE, www.matrice-impression3d.fr
[2] Khalil N. et al., Constr. Build. Mat. 157 (2017) 382-391.

[3] Zhao Z. et al., Journal of Sust. Cement-Based Materials, 2/3-4 (2013), 186-203.