

Formulation de béton imprimés 3D avec fines de recyclage: projet CIRMAP

Etude sur les éprouvettes moulées

Yeakleang MUY, Julien HUBERT, Luc COURARD

Université de Liège - Quartier Polytech 1, Allée de la découverte 9, B-4000 Liège, Belgique



Présentation générale du projet

Le projet CIRMAP s'inscrit dans le cadre du programme transnational INTERREG North West Europe (NWE) 2019-2023, en collaboration avec l'Université de Lille, IMT Douai, University of Manchester et PolytechOrléans.

Introduction

L'impression 3D béton fait partie des nouvelles technologies utilisées dans la construction car elle permet des géométries complexes sans coffrage et une moindre consommation de matériaux via une meilleure optimisation des formes. D'autre part, il n'existe que très peu de pistes pour la valorisation des fines de recyclage, celles-ci étant impropre à la réalisation de nouveaux bétons. Dans le cadre du projet CIRMAP, ces fines de recyclages sont utilisées à la place des agrégats naturels pour la fabrication de mobiliers urbains en béton imprimé 3D.



(Photo de partenaire ARMINES)

Les premiers résultats concernent la caractérisation physique, les performances mécaniques ainsi que certains indicateurs de durabilité (porosité et absorption par capillarité).

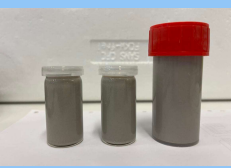
Matériaux et méthodes

Caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sable Tradecowall M10287/02



| Physico-chimique | |
|------------------|--------------------------------|
| Masse volumique | : 2,63 – 2,68 t/m ³ |
| Diamètre moyen | : 0,36 mm |
| Absorption d'eau | : 5,13 % |
| Teneur en ciment | : 3,46 % |
| Minéralogiques | |
| Quartz | Microcline Albite |
| Calcite | Muscovite |
| Dolomite | Clinocllore |

Réactivité avec la chaux (Test R3_Rilem TC TRM): détermination de la teneur en eau liée



Sable broyé + Ca(OH)₂ + CaCO₃ + solution K₂SO₄ et KOH
 ↓
 7 jours de cure à 40°C
 ↓
 Sécher 24h à 40°C
 ↓
 Sécher 2h à 350°C

→ La teneur en eau liée= Perte de masse entre 40-350°C

Formulation du mortier imprimé 3D, comportement mécanique, porosité et absorption (éprouvettes moulées)

Formulation (NF EN 196-1)

- E/C= 0,32
- S/C= 1,10
- %SP/C= 2,50
- %VMA/C= 0,20

Absorption d'eau (NF EN 480-5)

Éprouvette 4x4x16 cm³



Absorption x, y et z en écartant 1 cm de la surface absorbée.

- Cure dans l'air (T = 21±2 °C et HR= 65±5 %)
- Échéances d'essai 7 et 90 j

Flexion et compression (NF EN 196-1)

Éprouvette 4x4x16 cm³



- Cure dans l'eau T = 21±2 °C
- Cure dans l'air T = 21±2 °C et HR = 65±5 %
- Échéance d'essai 2, 7 et 28 j

Porosité (Grandubé)

Éprouvette 4x4x4 cm³



Séchage à 60°C

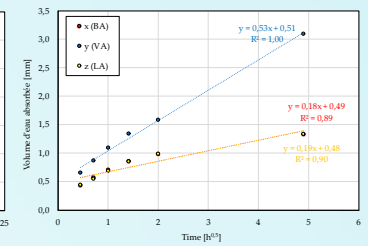
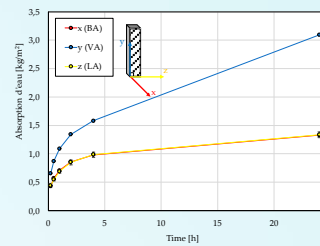
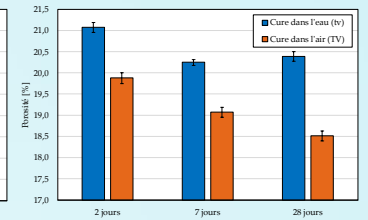
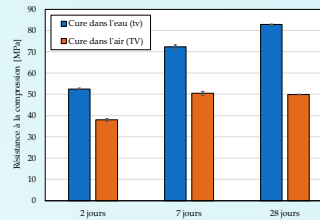
Objectif

L'objectif de ce projet est de développer une nouvelle boucle d'économie circulaire en utilisant des granulats fins recyclés pour produire du béton imprimé en 3D. La mission de l'Université de Liège est d'étudier la microstructure et les performances mécaniques du béton 3D ainsi que la durabilité aux cycles de gel-dégel et à la carbonatation.

Resultats

Le sable Tradecowall a une faible teneur en ciment égale à 3,46% ce qui est proche de celle du sable calcaire naturel (3,21% (Zhengfeng et al., 2013)). Ce sable recyclé ne réagit pas avec la chaux et présente une teneur en eau liée égal à 1,9 %. Cette dernière valeur est très proche à celle du sable siliceux qui est un matériau inerte.

La résistance à la compression est **beaucoup plus élevée** dans le cas de la maturation dans l'eau (tv) que dans le cas de la maturation dans un environnement contrôlé à T= 20±3°C et HR= 60±5% (TV) malgré une **porosité élevée**. A 28 jours, f_c(TV)/f_c(tv) est égal à 0,6 soit 40% de résistance plus faible dans le cas de la maturation dans l'air, plus proche des conditions de conservation du béton imprimé.

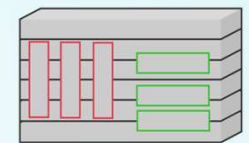


L'absorption d'eau par capillarité dans le mortier est évaluée suivant la norme NF EN 480-5 selon **différentes surfaces (x, y et z)** qui correspondent à Bottom Absorption (BA), Verticle Absorption (VA) et Lateral Absorption (LA) respectivement. Les résultats montrent que les éprouvettes n'absorbent pas de la même façon, suivant les faces. Pour les configurations horizontales (x et z), les sorptivités sont très proches (0,18 et 0,19 mm/h^{0,5} pour BA et LA) alors que celle des éprouvettes déposées verticalement VA est **beaucoup plus élevée** (0,53 mm/h^{0,5}). Les régressions linéaires des courbes montrent aussi les bonnes corrélations entre le volume d'eau absorbée et la racine carré de temps. La **meilleure corrélation** est obtenue dans le cas de VA. Le résultat global de ce test montre l'importance de la taille de surface exposée pour l'absorption. Elle donne également une idée pour la définition de la géométrie des éprouvettes prélevées à partir du béton imprimé 3D.

Conclusion & Perspective

Le sable recyclé Tradecowall a **une faible teneur en ciment et ne réagit pas à la chaux**. La résistance à la compression des éprouvettes à 28 jours après une cure à T=21±2°C et HR=60±5% est 40% **moins importante** que celle mesurée sur des éprouvettes après une cure dans l'eau. Ceci montre l'**importance de la cure** dans la formulation de l'impression de béton 3D. Puisque le comportement au gel-dégel dépend absolument de la porosité du milieu, la mesure de la porosité ouverte et l'absorption par capillarité ont été réalisées dans ce travail. Les résultats montrent que la **porosité décroît au fil du temps** pour les deux types de la cure. Les échantillons ayant subi une cure dans l'eau sont **plus poreux** que ceux de la cure dans l'air. Pour le test d'absorption par capillarité, la sorptivité des éprouvettes est **intimement liée à la taille de la surface** qui entre en contact avec l'eau.

Les travaux à venir sont destinés à étudier le comportement mécanique et la durabilité du béton imprimé. Les premiers résultats ci-dessus donnent un aperçu du mode de prélèvement des échantillons découpés dans la structure imprimée.



(Représentation du schéma pour la découpe à partir des pièces imprimées)

Remerciements

Ces travaux ont été menés au Laboratoire des Matériaux de Construction de l'Université de Liège en Belgique dans le cadre du projet CIRMAP Interreg.