UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

UNIVERSITE DE STRASBOURG

RESUME DE LA THESE DE DOCTORAT

Discipline : Génie Civil

Spécialité (facultative) : Matériaux

Présentée par :
(Nom–Prénom du candidat) BAHIJ Sifatullah

Titre : Valorization of Plastic Non-woven Sheets of Polyethylene Terephthalate (PET) for the Development of Environmental Friendly Concrete

Unité de Recherche :
(N° et Nom de l'Unité) UMR 7357 ICube, Laboratoire des sciences de ingénieur, de l'informatique et du l'imagerie

Directeur de Thèse :
(Nom-Prénom – Grade) FEUGEAS Françoise - Professeur des Universités

Co-Directeur de Thèse (s'il y a lieu) :
(Nom- Prénom – Grade) FAQIRI Amanullah - Professeur des Universités

Localisation : INSA Strasbourg

ECOLES DOCTORALES :
(cocher la case)

☐ ED 519 - Sciences Humaines et Sociales ☐ ED 520 – Humanités ☐ ED 101 – Droit, sciences politique et histoire ☐ ED 182 – Physique et chimie physique ☐ ED 221 – Augustin Cournot ☐ ED 222 - Sciences chimiques	☒ ED 269 - Mathématiques, sciences de l'information et de l'ingénieur ☐ ED 270 – Théologie et sciences religieuses ☐ ED 413 – Sciences de la terre, de l'univers et de l'environnement ☐ ED 414 – Sciences de la vie et de la santé

Résumé

Les emballages en plastique sont largement utilisés dans le monde. Leur consommation a un impact sur la diminution des ressources initiales pour leur fabrication. De plus, l'élimination de ce type de déchets est plus difficile en raison de la quantité accrue de la production quotidienne. Les déchets plastiques sont quantitativement les plus importants parmi les déchets solides en raison de leur non dégradabilité ou de leur faible caractéristique de biodégradabilité. La présence de grandes quantités de déchets plastiques a donc des impacts environnementaux importants. Diverses recherches expérimentales ont été effectuées pour trouver des solutions respectueuses pour l'environnement concernant l'élimination de ces déchets solides. Récemment, pour réduire l'impact environnemental, différents types de déchets plastiques ont été incorporés dans les formulations de matériaux cimentaires [1–6].

Cette étude vise à lever certains verrous scientifiques afin de rendre possible l'utilisation des déchets de polyéthylène téréphtalate (PET) intissé pour élaborer de nouveaux mortiers ou bétons et d'étudier leurs effets sur les propriétés à l'état frais, propriétés physiques, propriétés mécaniques, propriétés acoustiques, propriétés thermiques et microstructurales des matériaux cimentaires. Le PET intissé a été utilisé en faisant varier le type d'incorporation : a) comme une couche et b) sous forme de pièces découpées. Dans le cadre d'utilisation en tant qu'une couche, 5 différentes configurations ont été réalisées : 1 couche, 2 couches, 2 faces, 3 faces et enveloppement complet pour renforcer des échantillons. De plus, sous forme de morceau avec une dimension de (10×10) mm, trois différents taux d'incorporation de 0,25 %, 0,50 % et 0,75 % ont été incorporés dans le mortier/béton. Enfin, le phénomène d'adhésion entre intissé et matériaux cimentaire a été également analysé.

Dans un premier temps, la caractérisation des matériaux utilisés a été réalisée pour assurer leur qualité en accord avec les normes. Les propriétés physiques et mécaniques des granulats (gravillons et sable) ont été étudiées. Les résultats montrent une conformité de ces matériaux selon les normes européennes. De plus, le ciment utilisé a été caractérisé par l'analyse granulométrie laser, les mesures de masse volumique, module de finesse et temps de prise. Les résultats obtenus sont conformes aux fiches techniques.

Dans un deuxième temps, l'utilisation de PET intissé en tant que couche dans le mortier/béton a été analysée. Les propriétés mécaniques (résistances à la compression, à la traction par fendage et à la flexion), de transferts (conductivité thermique et acoustique) ainsi que le phénomène d'adhésion ont été étudiés. Les résultats expérimentaux indiquent une amélioration significative de ces propriétés en fonction du placement de ces couches. Par ailleurs, les

échantillons renforcés avec ces couches d'intissé ont montré des comportements ductiles et ont montré un bon comportement après charge ultime par comparaison avec les échantillons de référence (sans intissé) qui présentent un mode d'endommagement typique en se séparant en plusieurs parties. De plus, une bonne adhésion a été enregistrée entre l'intissé et le mortier ou le béton. Les analyses microscopiques (interférométrie, optique, électronique) montrent qu'une couche d'environ 0,6 mm d'intissé reste sur la surface de l'éprouvette après le test d'arrachage, ce qui démontre une très bonne adhésion. Les essais d'arrachement ont été réalisés sous deux conditions : augmentation du rapport E/C sans et avec maintien de classe de consistance. Les résultats soulignent que l'augmentation du rapport E/C et la diminution de superplastifiant permettent une amélioration de l'adhésion.

Dans un troisième temps, l'effet de l'incorporation de PET intissé en tant que morceaux dans les formulations de mortier ou béton a été étudié. Les propriétés des formulations à l'état frais, les propriétés physiques (masse volumique et porosité), les propriétés mécaniques (résistances à la compression, à la traction par fendage et à la flexion), de transferts (conductivité thermique et acoustique) ainsi que la microstructure ont été étudiées. Les résultats obtenus indiquent une réduction significative de la maniabilité des mortiers et/ou bétons où une corrélation inverse existe entre la maniabilité et le taux d'incorporation de morceau d'intissé qui est liée à la capacité d'absorption élevée de l'intissé. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de la littérature [7]. En raison de la faible masse volumique d'intissé, la masse volumique apparente à l'état frais des mélanges diminue avec l'augmentation du taux d'intissé incorporé. Par contre, à l'état durci, la porosité accessible à l'eau augmente et la densité diminue avec l'augmentation de quantité d'intissé dans les formulations. De plus, les propriétés mécaniques ont été significativement diminuées avec l'augmentation du pourcentage de morceaux d'intissé. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de la littérature [8].

Les mortiers incorporés des morceaux d'intissé pourraient être présentés comme un matériau tri-phasique composé d'une matrice cimentaire et de sable avec des morceaux d'intissé (PET) séparés par une zone de transition (ITZ). L'analyse d'image microstructurales de Microscopie Electronique à Balayage (MEB) sur des surfaces polies indique une faible liaison d'ITZ entre morceau incorporé d'intissé et pâte cimentaire en comparant avec celle entre pâte cimentaire et sable. De plus, les images en microscopie électronique montrent une augmentation de la quantité des pores dans les mélanges avec morceaux d'intissé. Ainsi, l'augmentation de porosité et la diminution des propriétés mécaniques pourraient être liées avec la faiblesse des zones de transition interfaciale. Par ailleurs, de la même façon que les échantillons avec couche d'intissé, la rupture des échantillons avec morceaux d'intissé présente un comportement ductile

et les éprouvettes restent en une seule partie après charge ultime par comparaison avec les échantillons de référence (sans intissé) qui présentent un mode d'endommagement typique en se séparant en plusieurs parties.

Les propriétés acoustiques des échantillons contenant du PET intissé, quel que soit leur mode d'incorporation : en couche ou en morceau, ont considérablement diminué par rapport à celles des échantillons de référence. Ceci peut être expliqué par l'importante porosité de l'intissé qui augmente la porosité interne de la structure en étant incorporé comme des morceaux ou la porosité de surface de la structure lorsque l'intissé est en couche. De plus, l'intissé a une valeur de vitesse d'impulsion ultrasonore inférieure à celle du matériau cimentaire. Les résultats obtenus sont également en accord avec ceux de la littérature [9].

De la même façon, indépendamment du type d'incorporation d'intissé, les conductivités thermiques des échantillons avec intissé sont plus faibles que celles des échantillons de référence. Cela est dû à la conductivité thermique inférieure d'intissé par rapport aux autres composants du mélange. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux de la littérature [10].

Ce travail a permis de proposer des produits en béton incorporant du PET sous une forme qui n'avait pas été exploitée jusqu'à présent. De plus, ces incorporations (sous forme de feuilles) confèrent des propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques améliorées à des produits tels que des dalles par exemple.

Valorisation de la recherche

- ***Publications dans les revues internationales avec comité de lecture***
  1) **Sifatullah Bahij**, S. Omary, F. Feugeas, A. Faqiri, Fresh and hardened properties of concrete containing different forms of plastic waste – a review**,** ***Waste Management***. 113 (2020) 157–175. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.048
  2) **Sifatullah Bahij,** Safiullah Omary, Francoise Feugeas and Amanullah Faqiri, Structural Strengthening/Repair of Reinforced Concrete (RC) Beams by Different Fibre-Reinforced Cementitious Materials - A State-of the-Art Review. ***Civil Environ Eng*** 10 (2020): 354 https://doi: 10.37421/jcce.2020.10.354
  3) **Sifatullah Bahij**, Safiullah Omary, Vincent Steiner, Francoise Feugeas, Amanullah Faqiri "Experimental study on concrete specimens strenghtened with non-woven sheets, ***International Journal of Civil Infrastructure***, 4(2021): 128-137. DOI: 10.11159/ijci.2021.016
- ***Communications en conférences internationales avec comité de lecture***

1) **Sifatullah Bahij**, Safiullah Omary, Francoise Feugeas and Amanullah Faqiri. "Use of Non-Woven Polyethylene Terephthalate (PET) Tissue to improve Certain Properties of the Concrete" ***Proceedings of the 6th International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'21)*** Niagara Falls, Canada – May 17-19, 2021. DOI: 10.11159/iccste21.157
2) **Sifatullah Bahij**, Safiullah Omary, Vincent Steiner, Francoise Feugeas and Amanullah Faqiri. "Strengthening of Mortar Specimens with Non-Woven Plastic Sheets", ***Proceedings of Fib Symposium 2021,*** Lisbon, June 14-16, 2021
3) **Sifatullah Bahij**, Safiullah Omary, Vincent Steiner, Francoise Feugeas, Amanullah Faqiri "Effect of PET Plastic Cut Pieces' Aspect Ratio on Fresh and Mechanical Properties of Cement Mortar" **submitted** to ***7th International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'22)***.

Prix

- Prix du meilleur article et présentation lors de la 6ème Conférence internationale sur le génie civil, structurel et des transports (***International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering***) Niagara Falls, Canada – 17-19 mai 2021.

Références

[1] Z.Z. Ismail, E.A. Al-hashmi, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, Waste Management. 28 (2007) 2041–2047. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023.

[2] S.M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, Waste Management. 29 (2009) 2625–2643. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004.

[3] B. Liguori, F. Iucolano, I. Capasso, M. Lavorgna, L. Verdolotti, The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars, Materials and Design. 57 (2014) 578–584. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.006.

[4] F. Iucolano, B. Liguori, D. Caputo, F. Colangelo, R. Cioffi, Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties, Materials and Design. 52 (2013) 916–922. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.06.025.

[5] L.A. Guerrero, G. Maas, W. Hogland, Solid waste management challenges for cities in developing countries, Waste Management. 33 (2013) 220–232. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008.

[6] G. Wu, J. Li, Z. Xu, Triboelectrostatic separation for granular plastic waste recycling: A review, Waste Management. 33 (2013) 585–597. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.014.

[7] P. Ninoslav, Ž. Stana, G. Reyes, P. Panos, Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres, Construction and Building Materials. 115 (2016) 362–370. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.050.

[8] A.I. Al-hadithi, N.N. Hilal, The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers, Journal of Building Engineering. 8 (2016) 20–28. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.06.011.

[9] A.M. Azhdarpour, M.R. Nikoudel, M. Taheri, The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; A laboratory evaluation,

Construction and Building Materials. 109 (2016) 55–62. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.056.

[10] Z. Pavlík, M. Záleská, M. Pavlíková, J. Pokorny, C. Robert, Structural , mechanical and hygrothermal properties of lightweight concrete based on the application of waste plastics, Construction and Building Materials. 180 (2018) 1–11. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.250.