HAL
open science

Impact du broyage des granulats de PET sur les propriétés à l'état frais d'un composite cimentaire

Mohamad Ali, Adeline Goullieux, Michèle Queneudec, Rose-Marie Dheilly

To cite this version:

Mohamad Ali, Adeline Goullieux, Michèle Queneudec, Rose-Marie Dheilly. Impact du broyage des granulats de PET sur les propriétés à l'état frais d'un composite cimentaire. Conférence Matériaux 2014 - Colloque Ecomatériau, Nov 2014, Montpellier, France. hal-01121406

HAL Id: hal-01121406

https://enpc.hal.science/hal-01121406v1

Submitted on 1 Mar 2015

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.

Public Domain

Impact du broyage des granulats de PET sur les propriétés à l'état frais d'un composite cimentaire

Mohamad ALI [1], Adeline GOULLIEUX [1], Michèle QUENEUDEC [1], Rose-Marie DHEILLY [1,*]

[1] Unité de Recherche EPROAD-EA 4669 Equipe IMaP
– UPJV, 7 Rue du Moulin Neuf, 80000 Amiens, France
*rose-marie.dheilly@u-picardie.fr

***RESUME** : Les travaux présentés ici portent sur la recyclabilité d'emballages de post consommation à base de polyéthylène téréphtalate (PET) avec comme seule technique de transformation le broyage. Différents broyeurs sont utilisés pour obtenir des granulats de PET de différentes tailles. Les particules de PET ont été substituées au sable selon une même fraction volumique. Les taux de substitution choisis sont 25, 50 et 75%. Un seul type de granulométrie de PET a été utilisé dans chaque composition. On a observé par imagerie optique que le PET broyé à 2 mm présentait beaucoup de fines particules. De plus l'absorption d'eau du PET industriel est plus faible que celle du PET broyé à 2 mm. Le rapport Eau/Ciment (E/C) diminue lorsque le pourcentage volumique du PET industriel augmente tandis que ce rapport augmente avec l'augmentation du pourcentage volumique du PET broyé à 2 mm.*

***ABSTRACT:** The works presented herein deal with the recycling of post-consumer packaging made of polyethylene terephthalate (PET) without further transformation beyond crushing. Several crushers are used to obtain PET aggregates with different sizes. The PET particles are substituted to sand according a same volume fraction. 25, 50 and 75% are the substitution rates chosen. Each composition contains only one type of PET grain size. Optical imaging has allowed to observe that the 2 mm-crushed PET exhibited lots of fine particles. Moreover the water absorption rate of industrial PET is lower than 2 mm-crushed PET one. The Water/Cement (W/C) rate decreases with the volume percentage of industrial PET increase while this rate increases with the increase in volume percentage of 2 mm-crushed PET.*

***MOTS-CLÉS :** Polyéthylène téréphtalate (PET), Absorption, Maniabilité, Broyage, Valorisation.*

***KEYWORDS**: Polyethylene terephthalate (PET), Absorption, Workability, Crushing, Upgrading.*

1. INTRODUCTION

Les plastiques sont utilisés en grande quantité dans les emballages alimentaires. Leur recyclage est une préoccupation majeure. Une des voies intéressantes est leur valorisation matière au sein de matériaux de construction. En fonction du taux d'incorporation des granulats de matières plastiques, les composites obtenus présentent des propriétés thermo-physiques et mécaniques différentes permettant de les classer en tant qu'isolants ou isolants porteurs. Les caractéristiques que les broyeurs confèrent aux granulats influencent le comportement du composite à l'état frais. Il existe deux points de vue différents sur l'impact de la substitution de granulats naturels par des granulats de PET sur l'ouvrabilité du composite. La plupart des travaux observent une faible ouvrabilité des composites à base de granulats de PET comparée à celle des composites à base de granulats naturels [1-4]. La raison invoquée est l'existence de contours acérés dans le cas des granulats de PET comparés aux granulats naturels. D'autres travaux soulignent une augmentation de l'ouvrabilité à cause de l'absorption d'eau plus faible dans le cas des granulats de PET [5-8].

L'objectif de ces travaux est d'étudier l'impact de la technique de broyage utilisée pour produire des granulats de PET sur l'ouvrabilité des composites dans lesquels ils ont été substitués au sable. Une attention particulière est portée à la configuration géométrique et au taux d'absorption d'eau des granulats.

2. MATIERES PREMIERES

2.1. CIMENT

Le liant hydraulique, utilisé pour cette étude, est un ciment portland artificiel CPA CEM I 52,5 (EN 196-1) produit par la cimenterie Calcia de Gaurain (Belgique). Il contient plus de 95% de clinker. Sa composition chimique et ses caractéristiques physiques sont données dans les Tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Composition chimique du ciment utilisé [11].

Constituant	Pourcentage massique (%)
Clinker	≥ 95
C_3A	9
C_3S	69
C_2S	10
SO_3	3,3
Classe CP2 S^{--}	0,02
Na_2O équivalent actif	0,63

Tableau 2 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé [11].

Caractéristique	Valeur
Résistances mécaniques mortier CEN (MPa)	
à 1 jour	23
à 2 jours	36
à 28 jours	65
Finesse Blaine (cm^2/g)	4090
Eau pâte pure (%)	28,5
Début de prise	3h30
Teinte L	64
Chaleur d'hydratation à 41h (J/g)	366

2.2. SABLE

Le sable utilisé est un sable à maçonner 0/4 (NF EN 12620). Sa masse volumique apparente vaut 1602 kg/m^3. Sa courbe granulométrique est donnée en Figure 1.

2.3. GRANULATS DE PET

Deux types de granulats de PET ont été utilisés : ceux fournis par un industriel du recyclage et ces mêmes granulats soumis à un broyage supplémentaire dans un broyeur à couteau afin d'obtenir des granulats de taille plus petite. Les charges industrielles de PET ont une dimension maximale de 4 mm. Elles sont obtenues à partir de bouteilles d'eau minérale, préalablement triées, lavées et broyées. Leur masse volumique apparente est égale à 327 kg/m^3 [6-10].

Les granulats industriels de PET sont broyés à une dimension de 2 mm. Leur masse volumique apparente est égale à 403 kg/m^3.

Les masses volumiques apparentes des granulats de PET sont très inférieures à celle du sable. Celle des granulats broyés est supérieure à celle des granulats industriels de PET. Leur analyse granulométrique est donnée en Figure 1.

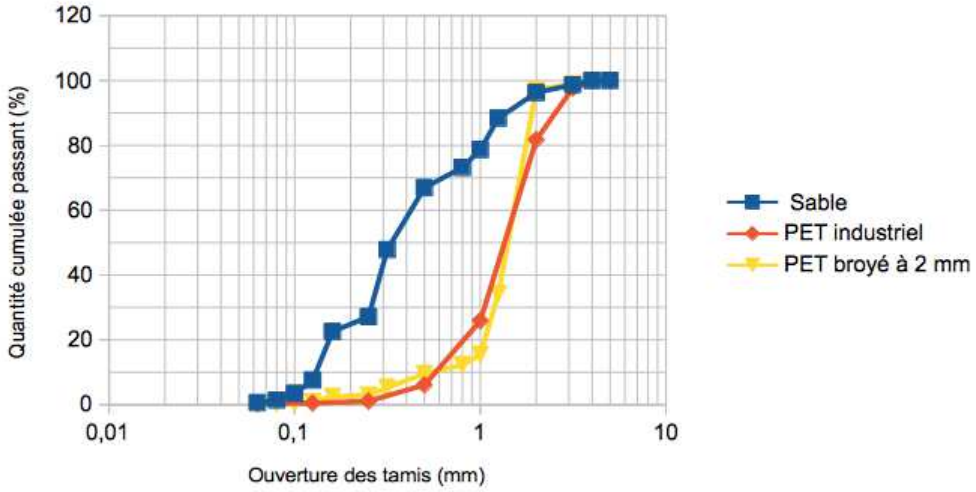


Figure 1 : Analyse granulométrique du sable à maçonner, du PET industriel et du PET broyé à 2 mm.

2.4. EAU

L'eau de gâchage est de l'eau du réseau, elle présente un pH égal à 7,54.

3. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

3.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'analyse granulométrique des échantillons est réalisée selon les normes NF EN 933-1 et NF EN 933-2. Les échantillons sont séchés à 50°C jusqu'à masse constante avant analyse. Les résultats de cette analyse sont reportés sur la Figure 1.

3.2. IMAGERIE OPTIQUE

L'aspect des granulats de PET est évalué grâce à de l'imagerie optique. Un vidéo microscope (Controlab®) équipé d'un zoom allant de x25 à x175 est utilisé. Les résultats de cette analyse sont reportés sur les Figures 3 et 6.

3.3. ABSORPTION

Une masse m_0 de granulats secs est placée sur un tamis d'ouverture 63 µm. Ce dernier est alors immergé dans l'eau [9]. Après un temps d'immersion déterminé, le tamis est secoué jusqu'à masse constante m_t. L'équation (1) est utilisée pour obtenir le taux d'absorption W_t pour les granulats de PET [9]. La Figure 2 présente les courbes d'absorption.

$$W_t = (m_t - m_0) \times 100 / m_0 \quad (1)$$

3.4. ELABORATION DES COMPOSITES

Les composites sont élaborés selon la norme NF EN 196-1. Le rapport massique S/C (sable/ciment) est égal à trois et le rapport E/C (eau/ciment) est ajusté selon la valeur de maniabilité dans le cas de la substitution du sable par le PET. Les granulats de PET sont intégrés au mélange de référence sur la base d'une substitution volumique de sable. Trois taux de substitution sont utilisés : 25, 50 et 75%.

Une étude préalable a permis d'établir la formulation du mortier de référence en fonction de l'optimum des résistances mécaniques. Ce mortier présente un rapport E/C égal à 0,48.

3.5. OUVRABILITE

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferraillage, mais également ses performances à l'état durci. L'ouvrabilité peut être déterminée suivant deux techniques différentes : l'utilisation d'un maniabilimètre ou le suivi de l'étalement du composite. Les deux techniques sont utilisées dans la présente étude pour pouvoir corroborer les résultats obtenus avec ceux des travaux antérieurs.

3.5.1. Maniabilimètre

L'essai est conduit selon la norme NF P 18-452 avec un maniabilimètre Provitec de forme parallélépipédique. Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par une cloison amovible, cette dernière est retirée, provoquant la mise en route du vibreur. Parallèlement l'opérateur déclenche un chronomètre. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint le trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps t mis par le mortier pour arriver au repère, est le résultat de la mesure.

3.5.2. Test d'étalement sur table (flow-test)

Le test d'étalement sur table (flow-test) consiste à couler le mortier dans un moule tronconique disposé sur une table à chocs. Après arasement du composite, le moule est retiré et quinze chocs en quinze secondes sont appliqués à la table. Le matériau s'étale sous forme d'une galette dont on mesure les deux diamètres perpendiculaires. L'étalement (en %) est donné d'après l'équation (2).

$$(D - D_1) * 100 / D \quad (2)$$

avec D_1 le diamètre inférieur du moule et D le diamètre moyen de la galette après étalement.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. ABSORPTION

La Figure 2 présente l'évolution du taux d'absorption d'eau des granulats en fonction du temps. Quel que soit le PET, les résultats montrent que le taux d'absorption n'évolue pas au cours du temps.

Il est en moyenne de 43,44 ± 3,16 % pour le PET industriel et de 69,95 ± 4,58 % pour le PET broyé à 2 mm. L'imagerie optique a permis de mettre en évidence la présence plus importante de très fines particules dans le PET broyé comparé au PET industriel (Figure 3). Cela entraîne une surface spécifique plus importante pour les granulats de PET broyé et donc la possibilité pour l'eau d'établir des liaisons électrostatiques plus nombreuses.

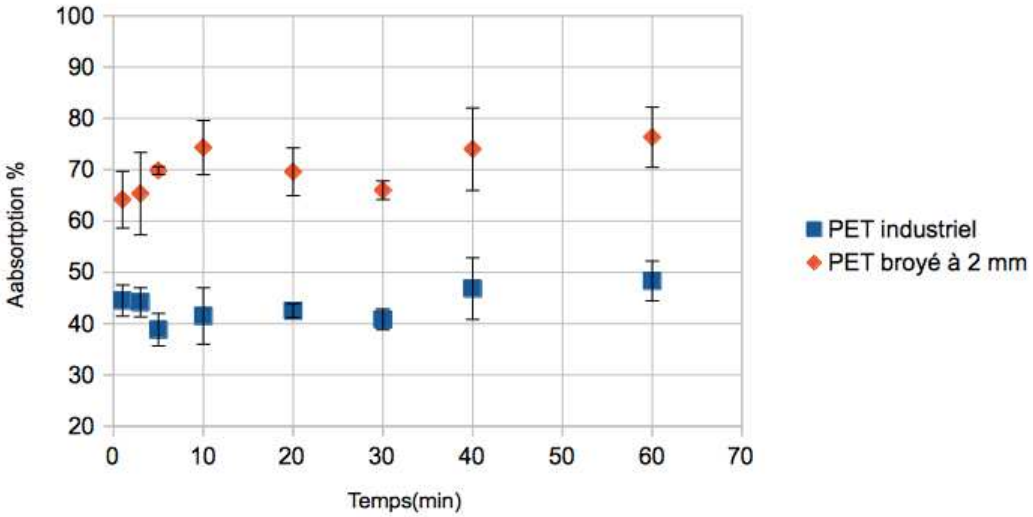


Figure 2 : Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps pour les granulats industriels *de PET et les granulats de PET broyés à 2 mm.*

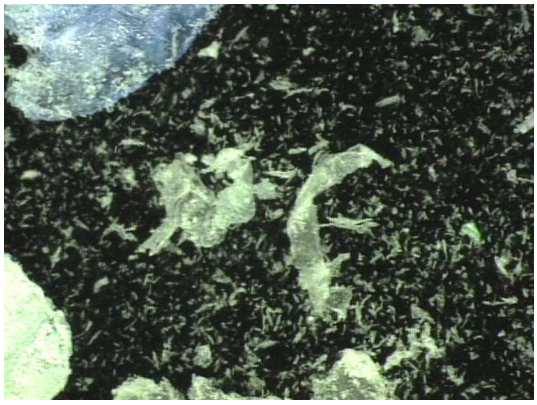


Figure 3 : Très fines particules observées en microscopie optique dans le cas du PET broyé à 2 mm (x50).

4.2. OUVRABILITE

L'ouvrabilité a été évaluée grâce aux tests de maniabilité et d'étalement sur table. Les valeurs obtenues par ces deux tests pour le mortier à 0 % de PET ont été prises comme référence pour nos essais : le temps au maniabilimètre vaut 6,5 s et l'étalement 16 %. Cette valeur d'étalement permet de qualifier ce mortier de très ferme. Pour un même pourcentage de sable substitué par du PET, les essais ont donné des valeurs de E/C semblables, excepté pour un pourcentage supérieur à 50 %. Dans ce cas le test au maniabilimètre donne un résultat non exploitable (Figure 4). Une ségrégation est observée au niveau du composite : seules une partie de la pâte de ciment et de l'eau atteignent le repère.

Figure 4 : Test de maniabilité mené sur un composite contenant 75 % de PET.

La figure 5 présente les valeurs de E/C obtenues par le test d'étalement sur table. L'évolution du rapport E/C en fonction du pourcentage de PET substitué au sable diffère selon le type de PET. Dans le cas du PET broyé à 2 mm, le rapport E/C augmente avec le pourcentage de substitution. Par contre il diminue dans le cas du PET industriel.

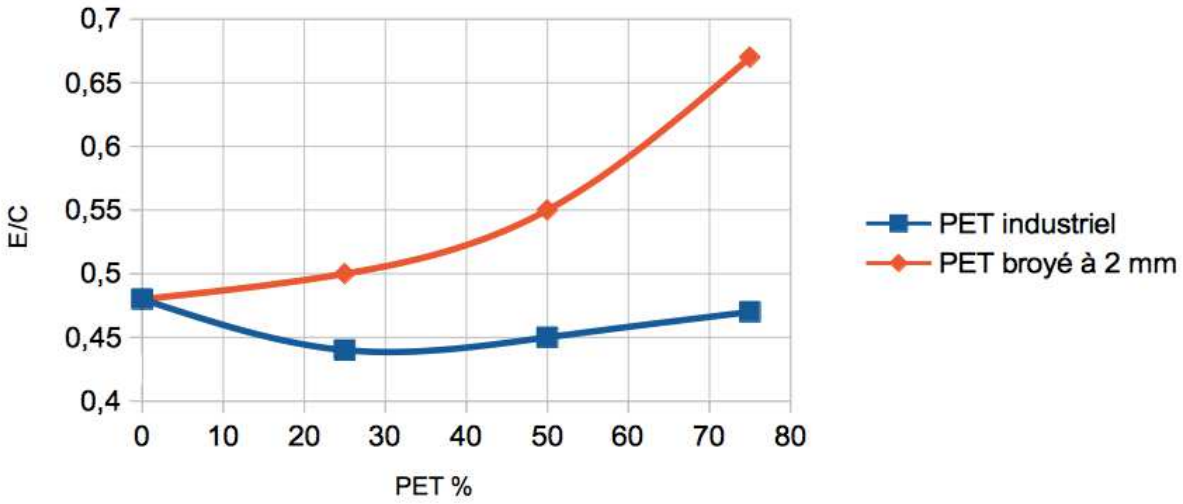
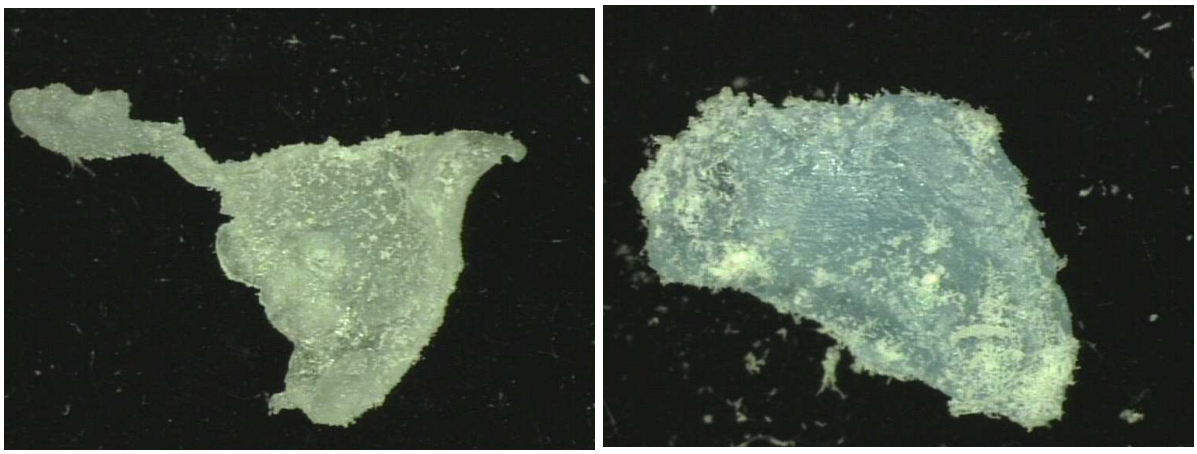


Figure 5 : Evolution du rapport E/C en fonction du pourcentage de granulats de PET industriel et broyé à 2 mm.

Ceci pourrait être expliqué par la nature, la taille et la forme des particules de matière plastique différentes de celles du sable, auquel elles ont été substituées. La texture surfacique des particules de PET affecte probablement leur liaison avec la pâte cimentaire et influence la demande en eau du mélange. Les interactions matière plastique-eau sont différentes de celles d'un sable siliceux-eau [7]. L'imagerie optique des charges en PET révèle que les deux types de granulats ont des formes irrégulières, des arêtes vives et des surfaces rugueuses (Figure 6), mais qu'ils diffèrent par la présence de très fines particules dans le cas du PET broyé (Figure 3). Celles-ci ont entraîné un taux d'absorption d'eau important de la part du PET broyé, ce qui semble expliquer la demande accrue en eau du mélange pour avoir une ouvrabilité constante.



PET industriel PET broyé

Figure 6 : Observation en imagerie optique des formes irrégulières et des surfaces rugueuses des deux types de PET (x50).

5. CONCLUSION

L'imagerie optique des granulats de PET révèle que les deux types de granulats ne diffèrent que par la présence de très fines particules dans le cas du PET broyé, La présence de celles-ci a entraîné un taux d'absorption d'eau important, ce qui semble conduire à une demande accrue en eau du mélange pour avoir une ouvrabilité constante. Quel que soit le PET, les résultats montrent que le taux d'absorption n'évolue pas au cours du temps. Ces granulats de PET peuvent donc être utilisés après un temps très réduit de saturation en eau (cinq minutes) pour confectionner un composite cimentaire. L'évolution du rapport E/C en fonction du pourcentage de PET diffère selon le type de PET. Dans le cas de celui broyé à 2 mm, le rapport E/C augmente avec le pourcentage substitué. Par contre il diminue dans le cas du granulat industriel. Dans la continuité de ce travail, il serait donc conseillé d'utiliser une technique de broyage du PET évitant la formation de très fines particules. Les propriétés physico-mécanique, hydrique et thermique des composites légers contenant les deux types de granulats doivent être évaluées afin de déterminer l'influence de la technique de broyage sur les propriétés du matériau à l'état durci.

6. REFERENCES

1- C. Albano, N. Camacho, M. Hernandez, A. Matheus, A. Gutierrez, I*nfluence of content and particle size of pet waste bottles on concrete behaviour at different w/c ratios,* Waste Manage (29) (2009) 2707–16.

2- M. Frigione, *Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete,* Waste Manage (30) (2010) 1101–6.

3- N. Saikia, J. de Brito, *Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review,* Constr Build Mater (34) (2012) 385–401.

4- Z. Ismail, E. AL-Hashmi, *Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement,* Waste Management (28) (2008) 2041–2047.

5- Y.W. Choi, D.J. Moon, J.S. Chung, S.K. Cho, *Effects of PET waste bottles aggregate on the properties of concrete,* Cem Concr Res (35) (2005) 776–81.

6- Y.W. Choi, D.J. Moon, Y.J. Kim, M. Lachemi, *Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles,* Constr Build Mater (23) (2009) 2829–35.

7- O. Yazoghli, *Contribution à la valorisation des emballages alimentaires de post-consommation en polyéthylène terephthalate et en polyéthylène haute densité dans des matrices cimentaires. Etude de faisabilité et évaluation des performances physico-mécaniques, hydriques et thermiques,* Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne (2005).

8- A. Remadnia, *Contribution à la valorisation de déchets protéiniques et d'emballages plastiques dans une matrice cimentaire .Elaboration et caractérisation de matériaux isolants à Haute Qualité Environnementale,* Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne (2009).

9- V. Nozahic, *Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basee sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant/végétal,* Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II (2012).

10- M. Houria, A. Nourredine, *L'effet du rapport E/C sur le comportement des bétons à hautes températures,* XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen (Algérie), 29 au 31 Mai 2011.

11-Documentation Technique / fiches techniques / CIMENTS, i.tech ULTRACEM 52,5 N – CEM I 52,5 N CE CP, Ciment Calcia.