

Valorisation de déchets de polyuréthane dans des mortiers

Danah Shehadeh^{1,2}, Thouraya Salem^{1,3}, Othmane Bouchenafa², Céline Florence²

¹ ESITC-Paris, 79 avenue Aristide Briand, 94110 Arcueil, France

² Université Paris-Est, Institut de Recherche en Constructibilité, ESTP, 28 avenue du Président 15 Wilson, 94234 Cachan, France

³ Univ Gustave Eiffel, Cerema, UMR MCD, F- 77454 Marne-la-Vallée, France

RESUME La valorisation des déchets recyclables dans les matériaux cimentaires favorise l'écoconstruction. Elle permet d'éviter l'épuisement des ressources naturelles tout en donnant une nouvelle vie aux déchets recyclables qui se trouvent en grande quantité tel que le polyuréthane (PU). Ce travail étudie la faisabilité d'incorporation du PU sous forme de granulé (PUG) dans un mortier cimentaire. Les propriétés du mortier de PUG à l'état frais (teneur en air occlus, masse volumique, affaissement) et à l'état durci (résistance à la flexion et à la compression) sont comparées à un mortier normalisé. Les résultats obtenus montrent la nécessité d'utilisation de 1,5% en masse du ciment de superplastifiant pour une meilleure ouvrabilité du mortier incorporant 5% en masse de PUG. Pour ce taux d'incorporation, une diminution de 6% de la masse volumique à l'état frais, de 42% de la résistance à la compression et de 30% de la résistance à la flexion a été obtenue en raison notamment de la légèreté et de la fragilité du PUG comparé au sable.

Mots-clefs Polyuréthane, déchets recyclables, ouvrabilité, mortier, résistance mécanique

I. INTRODUCTION

Le béton est le composite cimentaire le plus couramment utilisé dans le domaine de la construction. L'activité de construction généralement, et en Europe particulièrement, a vécu un rythme de croissance remarquable pendant ces dernières années. Cette augmentation d'activité se traduit par un accroissement proportionnel des besoins en matières premières (ciment, granulats, acier...). De plus, le processus de fabrication et de transport de ces matériaux nécessite une énergie importante (Wei & Cen, 2019). En France, les carrières sont de plus en plus classifiées comme des sites protégés, ce qui rend difficile la production de la quantité de granulats demandée et l'importation est de plus en plus insuffisante (Laneyrie et al., 2016). A côté de cela, une grande quantité de déchets industriels, sans recyclage, est soit incinérée, soit mise en décharge. Face à ces constats, plusieurs études sont menées afin de développer de nouveaux types de bétons à plus faible impact environnemental, notamment une émission de CO₂ moins élevée, ainsi que l'utilisation de matériaux alternatifs en substitution partielle ou complète soit de granulats, soit du ciment.

Le polyuréthane (PU) est l'un des plus grands groupes de produits polymères de la famille des plastiques (Mounanga et al., 2008). A l'échelle mondiale, ce dernier se classe au 6ème rang pour la production des polymères (Deng et al., 2021). La demande de polymères et de matières plastiques en Europe a atteint 57,9 Mt en 2019, avec 16 % de la production mondiale. Le PU représente environ 8 % de cette énorme quantité et se retrouve sous forme de mousse souple, semi-souple ou rigide (Cuenca-Romero et al., 2022). Le PU sous forme de mousse a fait l'objet de plusieurs études dans la bibliographie en étant incorporé à plusieurs pourcentages dans différentes matrices (gypse, ciment) (Gómez-Rojo et al., 2019). Dans cette étude, le PU se présente sous forme de granulés (PUG) obtenus par un processus industriel de traitement de déchets de Gros Electroménager Froid et est incorporé dans une matrice cimentaire. L'objectif est d'étudier la faisabilité de cette incorporation et son incidence sur les caractéristiques de masse volumique et de résistance mécanique des matériaux cimentaires ainsi obtenus.

II. MATÉRIAUX UTILISÉS

Dans cette étude un mortier standard constitué de sable, de ciment et d'eau avec un rapport E/C = 0,5 a été utilisé comme référence. Plusieurs formulations ont été étudiées en incorporant différents pourcentages massiques de PUG en substitution du sable. Des essais d'ouvrabilité et de résistance mécanique (compression et flexion) ont permis de choisir une formulation optimale présentée dans cette communication. Les matériaux utilisés sont les suivants.

Le ciment est un CEMI 52.5N CE CP2 NF, de l'entreprise EQIOM a CRH Company ; en ce qui concerne le sable nous avons utilisé un sable roulé, de granulométrie 0-2 mm certifié selon la norme CEN, EN196-1 ; le PUG est sous forme de granulés de diamètre 6 mm et de longueur de 10 mm en moyenne (Fig. 1). Une analyse granulométrique par tamisage mécanique à sec a montré que 60% des granulés ont une longueur supérieure à 5 mm (refus de 5 mm). Le refus à 5 mm présentant moins de fragilité par rapport aux autres fractions a été choisi afin de ne pas dégrader les résistances mécaniques des mortiers incorporant ces granulés en substitution du sable. La masse volumique apparente, la teneur en eau et le coefficient d'absorption d'eau du PUG sont respectivement de 936 kg/m³, 1,92% et 82%. Afin de maintenir une ouvrabilité similaire à la référence, 1,5% en masse de ciment de superplastifiant (CHRYSO Fluid Optima 175) a été ajouté au mélange.



FIGURE 1. Polyuréthane sous forme de granulés (PUG)

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Ouvrabilité, masse volumique et teneur en air frais

L'ouvrabilité du mortier a été évaluée au cône d'Abram's, conformément à la norme NF EN12350-2. Les résultats montrent que l'ajout du PUG dans la matrice diminue l'ouvrabilité du mortier. L'ajout de 1,5 % de superplastifiant a permis d'obtenir un affaissement de 6 cm très proche de la référence.

La masse volumique et l'air occlus (NF EN 12350-7) à l'état frais ont été évalués. Une diminution de la masse volumique de 6% après incorporation de 5% en masse de PUG a été obtenue en comparaison au mortier de référence. Cette diminution est liée à la masse volumique faible des granulés par rapport au sable mais aussi aux différentes porosités qui pourraient exister (porosité du PUG, interface PUG/matrice cimentaire...). Une légère augmentation de la teneur en air a été aussi notée (de 5,5 % à 6,2 %).

B. Résistance à la compression et à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion (Figure 2a) montrent une résistance de 6 MPa à 28 jours ce qui représente une diminution de 35 % environ par rapport à la référence (9,3 MPa).

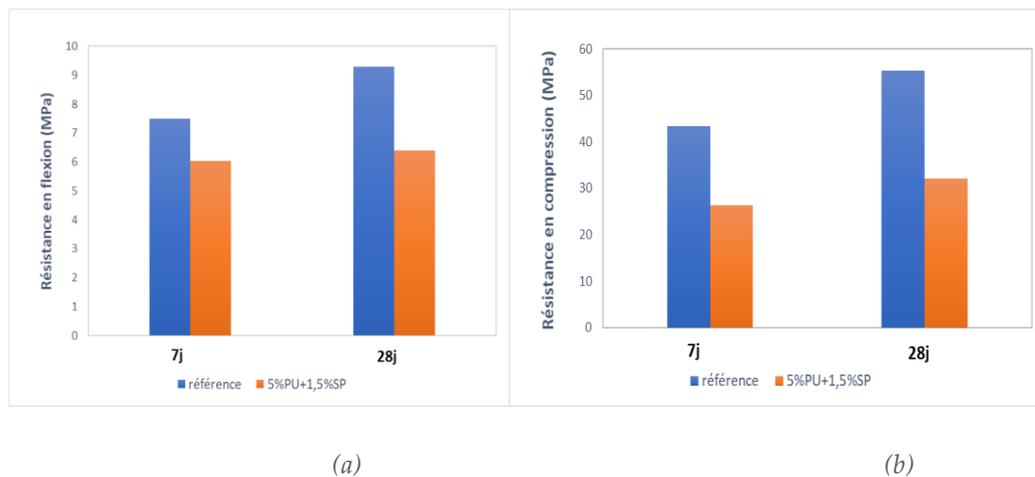


FIGURE 2. Résistance à la flexion (a) et à la compression (b) des mortiers fabriqués

La résistance à la compression (Figure 2b) est de 32 MPa à 28j. On observe une diminution d'environ 42 % par rapport à la référence (55 MPa).

(Gadea et al., 2010) expliquent qu'une augmentation de 1% en air occlus, entraîne une diminution entre 3% et 5% des propriétés mécaniques. Dans cette étude une augmentation d'air occlus de 1,2% par rapport à la référence a été mesurée et n'explique donc pas la diminution des résistances observée. La baisse de la résistance mécanique pourrait être liée à la fragilité des PUG par rapport au sable et l'adhésion entre ces granulés et la matrice cimentaire. Des observations au Microscope Electronique à Balayage et des essais de porosité à l'eau et de porosimétrie au mercure permettraient de mieux expliquer les résultats obtenus.

Par ailleurs, la comparaison avec les résultats de la littérature ne peut pas être directe car la forme de PU étudiée ici est différente de celle relevée dans les travaux où le PU se présente généralement sous forme de mousse et possède donc des caractéristiques physiques différentes.

III. CONCLUSION

Cette étude permet de conclure à la possibilité de valoriser les déchets industriels de PU pour la fabrication des mortiers écologiques. L'ajout de superplastifiant avec 5% de substitution était indispensable pour une meilleure ouvrabilité. L'aspect poreux des particules aboutit à une augmentation de l'air piégé, ainsi qu'une diminution de la masse volumique par rapport à la

référence. Finalement, les résistances mécaniques mesurées, flexion et compression, montrent une diminution de 30% et 42% respectivement par rapport à la référence. Afin de compléter l'étude et mieux comprendre les phénomènes engendrés par l'incorporation, des études complémentaires à celle-ci doivent être considérées, notamment en ce qui concerne la fragilité des granules et l'adhésion entre celles-ci et la matrice cimentaire.

REFERENCES

Cuenca-Romero L. A., Arroyo R., Alonso A., Gutiérrez-Gonzalez S., Calderon V. (2022). Characterization properties and fire behaviour of cement blocks with recycled polyurethane roof wastes, *Journal of Building Engineering* (50)104075, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104075>

Deng, Y., Dewil, R., Appels, L., Ansart, R., Baeyens, J., & Kang, Q. (2021). Reviewing the thermo-chemical recycling of waste polyurethane foam. *Journal of Environmental Management*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111527>

Gadea, J., Rodríguez, A., Campos, P. L., Garabito, J., & Calderón, V. (2010). Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. *Cement and Concrete Composites*, 32(9), 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.017>

Gómez-Rojo R., Alameda L., Rodríguez A., Calderón V., Gutiérrez-González S. (2019). Characterization of Polyurethane Foam Waste for Reuse in Eco-Efficient Building Materials, *Polymers*, 11, 359, <https://www.mdpi.com/journal/polymers>

Laneyrie, C., Beaucour, A. L., Green, M. F., Hebert, R. L., Ledesert, B., & Noumowe, A. (2016). Influence of recycled coarse aggregates on normal and high performance concrete subjected to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 111, 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.056>

Mounanga, P., Gbongbon, W., Poullain, P., & Turcry, P. (2008). Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites*, 30(9), 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.007>

Václavík, V., Dvorský, T., Dirner, V., Daxner, J., & Šťastný, M. (2012). Polyurethane foam as aggregate for thermal insulating mortars and lightweight concrete, *Tehnički vjesnik* 19, 3(2012), 665-672, <https://hrcak.srce.hr/file/129105>

Wei, J., & Cen, K. (2019). Empirical assessing cement CO₂ emissions based on China's economic and social development during 2001–2030. *Science of the Total Environment*, 653, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.371>