



Propriétés mécaniques et physiques du béton incorporant des granulats recyclés : Revue sur le renforcement des granulats par différentes méthodes des traitements.

Meftah Allal¹, Mohammed Siline², Leila. Zeghichi ³, karima Larkat ⁴

¹Laboratoire de Recherche en Génie Civil, Université de Biskra, 07000 Biskra, Algérie.

²Laboratoire des Matériaux et de Mécanique des Structures, Université de M'sila, 28000 M'sila, Algérie.

³Département de génie civil et hydraulique, Université de Biskra, 07000 Biskra, Algérie

⁴Environmental Chemistry Laboratory, Mohamed Boudiaf University, M'sila BP 28000, Algeria

meftah.allal@univ-biskra.dz

Abstract

La gestion des déchets de construction et de démolition (C&D) représente un défi environnemental majeur à l'échelle mondiale en raison de l'épuisement des ressources naturelles et de l'augmentation de la pollution. Parmi ces déchets, les granulats issus du béton de démolition restent sous-exploités malgré leur fort potentiel en tant que matériaux recyclés. L'utilisation de blocs recyclés issus des déchets de C&D présente deux avantages essentiels : la préservation des ressources naturelles en réduisant l'extraction excessive et la diminution des déchets, favorisant ainsi un environnement plus durable. Cette étude propose une analyse complète des granulats recyclés (GBR) et du béton à base de granulats recyclés (BGR), en abordant leur historique, leurs processus de recyclage, leur réutilisation et leurs méthodes de fabrication. Ce travail met également en évidence certains inconvénients, notamment la présence de multiples zones de transition interfaciales (ITZ) dans les BGR, ainsi que leurs propriétés physiques et mécaniques, telles que la résistance à la compression, la porosité et l'absorption d'eau. Enfin, différentes stratégies pour améliorer les performances du BGR sont étudiées et classées en deux approches principales : Renforcement des GBR, ou Élimination du mortier attaché aux GN afin de réduire leur porosité et d'améliorer leur caractéristiques du BGR.



L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'efficacité des diverses méthodes de traitement des GBR afin d'améliorer leur utilisation et d'élargir leur champ d'application. En optimisant ces procédés, il est possible de valoriser les granulats recyclés et de réduire l'impact environnemental du secteur de la construction, dans une perspective de développement durable et d'économie circulaire.

1 Introduction

La gestion des déchets de (C&D) représente un enjeu environnemental majeur à l'échelle mondiale [1], [2]. Chaque année, des millions de tonnes de déchets sont générés par l'industrie du bâtiment, contribuant à l'épuisement des ressources naturelles et à l'augmentation des pollutions. Parmi ces déchets, les granulats issus du béton de démolition constituent une part significative et restent sous-exploités, alors qu'ils offrent un potentiel intéressant en tant que matériaux recyclés [1]. L'utilisation de blocs recyclés dérivés de ces déchets présente deux avantages majeurs. D'une part, elle participe à la préservation des ressources naturelles en réduisant l'extraction excessive des matériaux lors des projets de construction à grande échelle [3], [4]. D'autre part, elle contribue à la réduction des déchets en proposant une alternative aux granulats naturels, favorisant ainsi un environnement bâti plus durable et plus respectueux de l'environnement. Cependant, l'un des défis majeurs liés à l'utilisation des blocs de granulats recyclés (BGR) réside dans leurs performances mécaniques et leur durabilité, souvent inférieures à celles des blocs de granulats naturels (BGN). Ces limitations sont directement liées aux propriétés intrinsèques des granulats de béton recyclé (GBR), qui présentent plusieurs défauts, notamment forte absorption [3], [4], faible densité [5]. Forte porosité [4] et la présence de multiples zones de transition interfaciale (ITZ) [2], [6]. Dans ce travail, nous mettons en évidence les inconvénients inhérents aux BGR et analysons leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques, notamment la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la résistance à la traction par fendage et le module d'élasticité. De plus, des indicateurs clés de durabilité sont examinés, tels que la résistance au gel-dégel, la résistance à la réaction alcali-silice, ainsi que le fluage et le retrait au séchage.

Afin d'améliorer les performances du BGR, le renforcement des GBR est envisagé à travers différentes approches, qui peuvent être classées en deux grandes catégories :



Le renforcement du GBR[1], [7] et L'élimination des mortier adhérent dans le GN[8]. Ainsi, cette recherche vise à évaluer l'efficacité des différentes méthodes de traitement des GBR afin d'améliorer leurs performances et d'élargir leur champ d'application. En optimisant ces procédés, nous contribuons à la valorisation des granulats recyclés, réduisant ainsi l'impact environnemental du secteur de la construction tout en favorisant une approche plus durable et circulaire des ressources.

2. Définition brève des différences de propriétés mécaniques et physiques entre les BGR et les BGN

Influence du GBR. Li et al. [9], Tang [10], et Kou et al. [11] ont mené des expériences sur la résistance à la compression du béton à base de GBR. Les résultats indiquent que la quantité de GBR a une influence remarquable sur la résistance à la compression du béton. Parce qu'il y a de relation entre le pourcentage de remplacement du GBR (%) et la résistance à la compression des BGR, définie comme le rapport entre la résistance à la compression du BGR et celle du béton conventionnel BGN. Cependant, si la teneur en GBR est inférieure à 30 %, l'influence sur la résistance à la compression n'est pas évidente. Dans l'étude menée par Allal et al. [1], l'analyse de la résistance à la compression des bétons composés à 100 % de GBR a mis en évidence la supériorité du BGN par rapport au BGR. La différence était particulièrement marquée, avec des valeurs de compression du BGN supérieures de 36 % à celles du BGR.

- **Propriétés physiques du BGR**

Pour les GBR, le mortier attaché aux GN contribue à un rapport (mortier/GN) plus élevé que celui du BGN. Étant donné que le mortier a une porosité plus élevée et une densité plus faible que celles des GN, la densité du BGR est toujours inférieure à celle du BGN. En général, la densité moyenne du béton diminue d'environ 5 % si tous les agrégats grossiers naturels sont remplacés par des GBR[12]. Selon Allal et al. [1], les résultats de son étude montrent que la conception d'un béton à base de 100 % de GBR entraîne une diminution de la densité moyenne d'environ 3,63 %, comme le confirme également Allal et al. De plus, les indicateurs de durabilité, notamment la porosité et l'absorption d'eau, se révèlent nettement plus faibles par rapport au BGN, soulignant ainsi l'impact des GBR sur les propriétés du béton.

- Les solutions possibles pour améliorer les performances globales des BGR

Tab .1 les différentes méthodes de traitement des GBR afin d'améliorer leurs performances total des BGR

Technique des traitement	Avantages	inconvénient	Référence
Encapsulation cimentaire	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût : Utilisation de matériaux courants et d'outils de manipulation simples, réduisant les dépenses. - Rapidité d'exécution : Mise en œuvre efficace permettant un gain de temps considérable. - Applicabilité flexible : Facilement réalisable en laboratoire et sur chantier, offrant une grande adaptabilité. - Amélioration des propriétés mécaniques et physique à long terme 	<p>Efficacité variable : Les résultats du traitement peuvent différer en fonction des conditions environnementales et des caractéristiques des granulats.</p> <p>- L'encapsulation augmente l'absorption d'eau et la porosité des GBR.</p>	[1]
Carbonatations accéléré	<ul style="list-style-type: none"> - La carbonatation renforce la résistance des GBR en densifiant leur structure. - améliorant ainsi la durabilité des granulats. Alors Amélioration des propriétés mécaniques à long terme. 	<p>Consommation énergétique élevée : Le processus nécessite un apport important d'énergie pour maintenir des conditions optimales de carbonatation.</p> <p>- Le processus peut être relativement long pour atteindre un niveau optimal de carbonatation.</p>	[13]
Thermique	<ul style="list-style-type: none"> - À des températures dépassant 700 °C, - Ce processus permet d'éliminer une partie du mortier résiduel, améliorant ainsi la propriété des granulats et leur adhérence avec le nouveau ciment 	<p>À des températures dépassant 500 °C, les propriétés des GBR peuvent se dégrader, entraînant une diminution de leur performance mécanique. De plus, la combustion peut générer des composants polluants, affectant l'environnement et la qualité de l'air.</p> <p>-Elles nécessitent une grande quantité d'énergie.</p>	[14]



The first International Conference on Engineering and Advanced Technologies

ICEAT'2025
April 27-29, 2025 -Mila-



Thermique (Microwave)	<p>Le chauffage par micro-ondes a été étudié pour améliorer la qualité du BGR</p>	<p>Les défis liés à la durabilité, résultant du traitement, ainsi que le coût élevé, constituent des inconvénients majeurs à considérer.</p> <p>elles nécessitent de grandes quantités d'énergie</p> <p>[15]</p>
Thermique par micro-ondes	<p>L'absorption d'eau de GBR a diminué, tandis que la densité apparente a augmenté.</p>	<p>Le traitement nécessite un temps prolongé, entraîne une diminution de la qualité des GBR et implique une consommation énergétique élevée.</p> <p>elles nécessitent de grandes quantités d'énergie</p> <p>[15]</p>
Chimique (Attaque par Acide Fort)	<p>L'absorption d'eau des granulats a diminué de 7 % à 12 %. L'utilisation des GBR traités entraîne une augmentation d'entre 25 % et 29 % de la résistance à la compression par rapport au béton avec les granulats non traités (GBR).</p>	<p>- Risque de détérioration de la durabilité en raison de l'élimination du mortier attaché par imprégnation sous l'effet des attaques acides.</p> <p>[16]</p>
Chimique -Acidefaible	<p>La porosité a diminué de plus 2 %, tandis que l'absorption d'eau des GBR a également baissé de 9,5 %.</p>	<p>- Risque de détérioration de la durabilité en raison de l'élimination du mortier attaché par imprégnation sous l'effet des attaques acides.</p> <p>[14]</p>
Chimique /mécanique	<p>Absorption GBR améliorée de 16%, densité du BGR recyclé augmentée de 0.44% à 1.95%, et résistance à la compression (Rc) du BGR recyclé améliorée de 4.5% à 13.8%</p>	<p>- Risque de détérioration de la durabilité en raison de l'élimination du mortier attaché par imprégnation sous l'effet des attaques acides.</p> <p>- Augmentation de la teneur en acide des matières recyclées.</p> <p>[14]</p> <p>[17]</p>



3. Conclusion

L'étude met en évidence l'importance du recyclage des granulats issus des déchets de construction et de démolition (C&D) pour réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment. La littérature montre que les BGR présentent des performances inférieures aux BGN en termes de propriétés mécaniques et physiques, notamment une faible résistance à la compression, une porosité élevée, une absorption d'eau importante et une faible densité. Ces caractéristiques sont attribuées aux propriétés intrinsèques des GBR incorporés dans les BGR, qui se révèlent médiocres en comparaison avec les GN. En effet, les GBR présentent une forte absorption d'eau, une faible résistance mécanique et une friabilité accrue au niveau de la zone de transition interfaciale (ITZ), en raison du mortier adhérent à la surface des GN. Cependant, différentes stratégies de traitement des GBR permettent d'améliorer leurs propriétés mécaniques et physiques. À utiliser dans béton et l'améliorations total de BGR

Les méthodes étudiées, notamment l'encapsulation cimentaire, la carbonatation accélérée, le traitement thermique et les traitements chimiques, montrent un potentiel significatif pour renforcer les GBR. Chacune de ces techniques présente des avantages et des limites, mais leur mise en œuvre contribue à améliorer la résistance des BGR. Ainsi, l'optimisation des procédés de traitement des GBR est essentielle pour leur intégration plus large dans la construction, favorisant ainsi une approche durable et circulaire des matériaux. De futures recherches pourraient approfondir l'efficacité combinée de ces méthodes et explorer de nouvelles solutions innovantes pour maximiser la performance des bétons recyclés.



Références

- [1] M. Allal, L. Zeghichi, and M. Siline, "Optimization of the recycled aggregate processing using the full factorial design approach, chemical, physical and microstructural characterization of treated aggregates by pre-coated with cementitious paste," *Journal of Building Engineering*, vol. 94, no. May, p. 109852, 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2024.109852.
- [2] B. Wang, L. Yan, Q. Fu, and B. Kasal, "A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 171, no. May, p. 105565, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105565.
- [3] T. C. Hansen, *Recycling of demolished concrete and masonry*. CRC Press, 1992.
- [4] D. Smart and J. C. Jerman, "Porosity of recycled concrete with substitution 2 of recycled concrete aggregate 3 An experimental study," *Cement and Concrete Research*, vol. 93, pp. 1–11, 2002, [Online]. Available: pii: S0008-8846(02)00795-0
- [5] M. A. and G. W. Ali Kheirbek, Ali Ibrahim, "Experimental Study on the Physical and Mechanical Characteristics of Roller Compacted Concrete Made with Recycled Aggregates," *infrastructures*, vol. 7, p. 54, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040054>.
- [6] L. P. Singh, V. Bisht, M. S. Aswathy, L. Chaurasia, and S. Gupta, "Studies on performance enhancement of recycled aggregate by incorporating bio and nano materials Studies on performance enhancement of recycled aggregate by incorporating bio and nano materials," *Construction and Building Materials*, vol. 181, no. June, pp. 217–226, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.248.
- [7] J. García-gonzález *et al.*, "Quality improvement of mixed and ceramic recycled aggregates by biodeposition of calcium carbonate," vol. 154, pp. 1015–1023, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.039.
- [8] V. W. Y. Tam, M. Soomro, and A. C. J. Evangelista, "Quality improvement of recycled concrete aggregate by removal of residual mortar: A comprehensive review of approaches adopted," *Construction and Building Materials*, vol. 288, p. 123066, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123066.
- [9] J. Z. Xiao, J. B. Li, and J. Huang, "Influence of recycled coarse aggregate replacement percentage on compressive strength of concrete," *Chinese Journal of Building Material*, vol. 9, pp. 297–301, 2006.
- [10] J. Tang, "Preliminary study on compressive strength of recycled aggregate concrete," *Sichuan Building Science*, vol. 33, no. 4, pp. 183–186, 2007.
- [11] S. C. Kou, C. S. Poon, and D. Chan, "Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete," *Journal of materials in civil engineering*, vol. 19, no. 9, pp. 709–717, 2007.
- [12] R. V Silva, J. De Brito, and R. K. Dhir, "Fresh-state performance of recycled aggregate concrete: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 178, pp. 19–31, 2018.
- [13] V. W. Y. Tam, A. Butera, K. N. Le, and W. Li, "Utilising CO2 technologies for recycled aggregate concrete: A critical review," *Construction and Building Materials*, vol. 250, p. 118903, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118903.
- [14] H. K. A. Al-Bayati, P. K. Das, S. L. Tighe, and H. Baaj, "Evaluation of various treatment methods for enhancing the physical and morphological properties of coarse recycled concrete aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 284–298, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.176.
- [15] A. Akbarnezhad, K. C. G. Ong, M. H. Zhang, C. T. Tam, and T. W. J. Foo, "Microwave-assisted beneficiation of recycled concrete aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 8, pp. 3469–3479, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.038.
- [16] S. Ismail and M. Ramli, "Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications," *Construction and Building Materials*, vol. 44, pp. 464–476, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.014.
- [17] L. Wang, J. Wang, X. Qian, P. Chen, Y. Xu, and J. Guo, "An environmentally friendly method to improve the quality of recycled concrete aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 144, pp.



**The first International Conference on Engineering and
Advanced Technologies**

ICEAT'2025

April 27-29, 2025 - Mila-

432–441, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.191.



E-mail : iceat2025@centre-univ-mila.dz

Tel : (+213)663476323 ; (+213)670334396