

Béton avec des agrégats recyclés à partir de déchets de démolition : performance, durabilité et sustainability

Loredana Judele

Département de Béton, Matériaux,
Technologie et Management, Faculté de
Genie Civil et Installations de Iasi,
Université Technique Gheorghe Asachi de
Iasi, Roumanie
ORCID - 0000-0002-5443-001X

Ion Rusu

Département de l'Ingénierie de
l'Infrastructures de transports, Faculté de
l'Architecture et Urbanism, Université
Technique de Moldavie, Chişinău,
Republique de Moldavie
ORCID - 0000-0002-7507-638X

Pavel Ciubarca

Département de l'Ingénierie de
l'Infrastructures de transports, Faculté de
l'Architecture et Urbanism, Université
Technique de Moldavie, Chişinău,
Republique de Moldavie
ORCID - 0000-0001-8406-9993

Daniel Lepadatu

Département de Genie civil
Faculté de Genie Civil et Installations de
Iasi, Université Technique Gheorghe
Asachi de Iasi, Roumanie
ORCID - 0000-0002-5411-0542

Dana Roxana Bucur

Département Contrôle, expertise et
services, Faculté de Génie des Ressources
Animales et Alimentaires, l'Université de
Sciences de la Vie de Iasi, Roumanie,
ORCID - 0000-0002-5074-8872

Florin Luca

Département de Béton, Matériaux,
Technologie et Management, Faculté de
Genie Civil et Installations de Iasi,
Université Technique Gheorghe Asachi de
Iasi, Roumanie
ORCID - 0000-0002-0691-4191

Eduard Proaspat

Département de l'Ingénierie de
l'Infrastructures de Transports, Faculté de
l'Architecture et Urbanism, Université
Technique de Moldavie, Chişinău,
Republique de Moldavie
ORCID - 0000-0003-4900-1154

Albina Eletchih

Département de l'Ingénierie de
l'Infrastructures de Transports, Faculté de
l'Architecture et Urbanism, Université
Technique de Moldavie, Chişinău,
Republique de Moldavie
ORCID - 0000-0002-6960-3104

Daniel Lepadatu

Département de l'Ingénierie de
l'Infrastructures de transports, Faculté de
l'Architecture et Urbanism, Université
Technique de Moldavie, Chişinău,
Republique de Moldavie
ORCID - 0000-0002-5411-0542

Résumé — Le béton avec des granulats recyclés à partir de déchets de démolition est devenu un sujet de grand intérêt dans le domaine de la construction, présentant de nombreux avantages liés à la durabilité, à l'efficacité des ressources et à la réduction de l'impact environnemental. Les déchets de béton issus de la démolition sont souvent broyés pour produire des granulats recyclés, qui peuvent être réutilisés dans la fabrication de nouveaux bétons. Cela permet de réduire l'extraction de granulats naturels et de diminuer les coûts et les émissions de CO₂ liés au transport. Ce travail vise à présenter les méthodes de démolition des constructions en béton, les installations utilisées pour le concassage, qui transformeront les morceaux de béton issus des démolitions en futurs granulats pour un nouveau béton, la manière la plus correcte d'utiliser les nouveaux granulats obtenus dans le futur béton, ainsi que quelques considérations concernant la qualité du nouveau béton obtenu.

Mots-clés — *agrégats recyclés, déchets, démolitions, performance, durabilité, sustainability.*

I. INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, on estime que plus de 30 % de tous les déchets sont des déchets de démolition. Cette réalité alarmante constitue non seulement un danger pour l'environnement, mais elle nous met également en garde contre le danger imminent de manquer effectivement d'espace de stockage pour ces déchets. Grâce au traitement des déchets de construction et de démolition, il est possible d'obtenir à la fois des granulats fins recyclés et des granulats grossiers (en fonction des besoins). Il offre ainsi une solution efficace pour l'élimination des déchets de construction et de démolition, mais minimise également la dépendance aux granulats naturels, réduisant ainsi le coût total de production. [1-3].

L'utilisation de granulats recyclés permet de réduire les déchets mis en décharge et de préserver les ressources naturelles. De plus, le processus de recarbonatation des gravats peut aider à capturer une partie du CO₂ émis lors de la fabrication du ciment. [4].

De nombreuses recherches ont été effectuées sur l'utilisation du béton de démolition dans des applications à base de béton telles que le béton de granulats recyclés, le béton de granulats recyclés renforcé de fibres et le béton de granulats recyclés améliorés par des polymères et les technologies de prétraitement. [5].

Les résidus des constructions démolies peuvent être du béton, du mortier, des matériaux céramiques, des métaux ou encore du

verre. Quant aux matières plastiques, puisqu'elles sont recyclables, le problème est beaucoup plus facile à résoudre.

II. METHODES DE DEMOLITION

Bien que les technologies de démolition ainsi que les méthodes de travail dépendent dans une large mesure de la nature de l'élément à démolir, un certain nombre de règles seront prises en compte, telles que : la démolition commencera par les matériaux de finition et par ceux d'installation matériaux valorisables (carrelage, conducteurs électriques, canalisations, menuiserie, etc.) ; afin d'éviter d'éventuels accidents, la prochaine étape consistera à démolir les parties de la construction qui ne présentent pas de stabilité, et aucun élément de résistance ne sera démoli tant que tous les éléments qui la soutiennent n'auront pas été démolis. [6].

Les méthodes de démolition diffèrent à la fois en termes de technique et de matériaux utilisés, ainsi que par la portée avec laquelle elles peuvent être réalisées, depuis les démolitions « en bonne et due forme », dans lesquelles les structures sont démolies pièce par pièce, jusqu'aux explosions à grande échelle dans lesquelles des kilogrammes d'explosifs sont utilisés.

A. Démolition par implosion

Des matériaux explosifs sont placés sur les structures de support verticales de la construction. L'emplacement des explosifs ainsi que la séquence des détonations sont très importants pour garantir une détonation sûre et efficace (voir figure 1).



Fig. 1

B. La méthode du bras extensible

Cette méthode est particulièrement spécifique aux structures d'une hauteur maximale de 20 mètres, qui ne nécessitent pas d'implosion. Cela implique l'utilisation d'une machine de base, telle qu'une excavatrice, équipée d'un bras extensible avec un crochet hydraulique, un marteau ou d'autres types d'outils. Cette méthode peut être appliquée au béton armé, à la maçonnerie et à l'acier (voir figure 2).



Fig. 2

C. Boulet de démolition

L'utilisation d'une boule de démolition attachée à une grue est la méthode traditionnelle adaptée à la plupart des types de projets. La méthode est simple : la boule est suspendue à la grue par un câble et est soit abaissée à grande vitesse au-dessus du bâtiment, soit elle effectue des mouvements de balancement. Certains inconvénients peuvent être liés à la taille du bâtiment à détruire, car la grue peut être trop grande pour l'espace de travail ou il peut y avoir trop de câbles haute tension (voir figure 3).

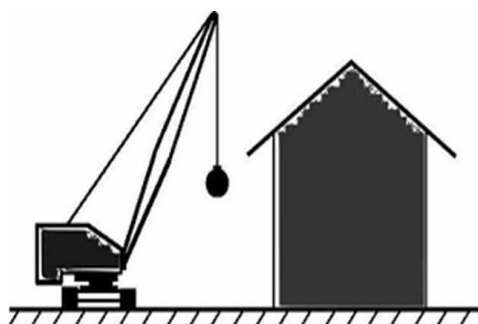


Fig. 3

III. INSTALLATIONS UTILISEES POUR LA DEMOLITION

A. Installations de concassage du béton démol



Fig. 4 – Installation fixe de concassage du béton issu de démolitions



Fig. 5 – Installation mobile de concassage du béton issu des démolitions

B. Matériel et méthode

Un autre défi sera la réalisation d'une courbe granulométrique continue qui devra contenir les granulats issus du béton concassé, avec des particules grossières et des particules fines nouvellement introduites, le tout en suspension dans le mortier de ciment. Cette configuration se traduit par une densité très compacte et une durabilité accrue, ce qui la rend adaptée à une utilisation dans les couches de base des structures routières, des fondations, etc. [7-9].

Habituellement, plusieurs variantes de recettes sont réalisées dans lesquelles les quantités de granulats provenant du béton concassé ainsi que les quantités de granulats nouvellement introduits (sable + gravier) et la quantité de ciment peuvent être modifiées. La quantité d'eau variera forcément car il est bien connu que les granulats de béton concassé nécessitent plus d'eau de gâchage que les autres.

Les teneurs en eau et en ciment étaient prédéterminées, chacune variant de 1%. Certaines caractéristiques des granulats naturels et celles issues du béton concassé sont présentées dans le tableau ci-dessous (voir tableau 1).

Avant de verser les échantillons, tous les matériaux ont été pré-pesés. L'eau a été le premier ingrédient ajouté aux granulats, puis le ciment et le tout a été mélangé uniformément. Le mélange a ensuite été divisé uniformément en trois portions et placé dans des moules, chaque couche étant tassée 25 fois avant compactage.

Des moules cubiques de 150 mm × 150 mm ont été utilisés pour les tests de résistance à la compression, de résistance à la traction indirecte, de module de compression, de résistance au gel, de résistance aux dégâts des eaux et de résistance au frottement.

TABEAU 1. CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS RECYCLÉS NATURELS ET BROYÉS

Propriété	Granulosité	Unité de mesure	Granulats naturels	Granulats concassés issus de béton
Densité apparente	5-8 mm	Kg/mètre cubique	2722	2655
	8-16 mm		2707	2637
	16-31,5mm		2693	2619
Absorption d'eau	5-8 mm	%	0,74	7,37
	8-16 mm		0,45	4,71
	16-31,5mm		0,22	4,19
Content of leachable particles	5-8 mm	%	3,27	4,43
	8-16 mm		4,07	5,19
	16-31,5mm		5,25	6,33

Ces agrégats de béton ont reçu la réputation d'un substitut potentiel à l'agrégat naturel dans diverses applications de construction, tous utilisés dans la pratique traditionnelle de la construction qui est là pour réduire la cause de plusieurs problèmes inhérents. Ainsi, l'absorption est plus grande que l'eau, la densité

est plus grande et le mécanisme propriétaire est réduit en comparaison avec l'agrégat naturel. Cela limite la nécessité d'explorer une ou des applications alternatives et des technologies innovantes pour les investisseurs exécutants dans la construction. Il existe déjà plusieurs études privées sur l'utilisation des moyens de réalisation d'un ou de plusieurs matériaux : l'agrégat recyclé [10], l'agrégat recyclé armé de fibre [11] et l'agrégat recyclé doté de polymères [13] et la technologie de traitement. [12,13]. Alors que ces techniques sont promises, vous avez besoin d'une méthode de mélange complexe, de matériel supplémentaire, ainsi que du processus de préparation, qui peut être très coûteux et peut être limité à adopter pour éviter de grandes rayures. Il est également possible d'utiliser un agrégat de béton de démolition dans des installations de béton qui peut continuer à maintenir la mécanique propriétaire et à être durablement réduit par rapport aux bétons conventionnels.

CONCLUSIONS

Selon la méthodologie de calcul de la composition du béton, les granulats doivent avoir une résistance mécanique supérieure à la résistance nominale du béton. La résistance du béton est assurée en premier lieu par la qualité et la résistance mécanique des gros granulats.

Pour ces raisons, lors du concassage, les gros granulats présents dans le béton démolé ne sont pratiquement pas sujets à destruction, car les fissures traversent le mortier en tant que composant du béton ayant une résistance mécanique moindre.

Les granulats recyclés peuvent avoir une porosité et une absorption d'eau plus élevées que les granulats naturels, ce qui peut affecter la résistance et la maniabilité du béton.

Il semble que l'utilisation de granulats dans les applications du béton puisse encore entraîner des propriétés mécaniques et une durabilité réduites par rapport au béton conventionnel.

En général, le béton contenant des granulats recyclés présente une légère diminution de la résistance à la compression, mais cela peut être géré en optimisant la recette et en utilisant des adjuvants ou d'autres technologies.

Le béton contenant des granulats recyclés peut être plus vulnérable aux cycles de gel-dégel en raison de sa porosité plus élevée. Il est recommandé d'utiliser des additifs pour réduire cette vulnérabilité. L'exposition à des agents chimiques et à la carbonatation peuvent affecter la durabilité du béton de granulats recyclés. Cependant, l'utilisation d'une matrice cimentaire de haute qualité et de granulats bien traités peut atténuer ces effets.

L'utilisation de granulats recyclés offre de multiples avantages pour l'environnement et contribue au développement d'un secteur de la construction plus durable.

REMERCIEMENTS

Remerciement à l'AUF¹ pour avoir pris certains frais liés à la participation à cette manifestation scientifique francophone. Les recherches concernant ce papier sont parties du projet ECONANODERE² qui est subventionné par l'AUF dans le cadre de l'appel - Soutien à la recherche scientifique francophone en Europe Centrale et Orientale – RESCI – ECO édition 2024.

REFERENCES

- [1] Shukai Cheng, Kang Chen, Xuyong Chen, Qiaoyun Wu, Yuxuan Chen, Jianxin Lu, Shunkai Li, "Utilization of construction and demolition waste in ultra-high performance concrete: Macro-micro properties and environmental impacts", *Journal of Building Engineering* 97 (2024) 110747
- [2] H.M. Hamada, J. Shi, F. Abed, A.M. Humada, A. Majdi, "Recycling solid waste to produce eco-friendly foamed concrete: a comprehensive review of approaches", *J. Environ. Chem. Eng.* 11 (6) (2023) 111353.
- [3] H. Zhang, T. Ji, X. Zeng, Z. Yang, X. Lin, Y. Liang, "Mechanical behavior of ultra-high performance concrete (UHPC) using recycled fine aggregate cured under different conditions and the mechanism based on integrated microstructural parameters", *Construct. Build. Mater.* 192 (2018) 489–507.
- [4] Y. Leng, Y. Rui, S. Zhonghe, F. Dingqiang, W. Jinnan, Y. Yonghuan, L. Qiqing, H. Xiang, "Development of an environmental Ultra-High Performance Concrete (UHPC) incorporating carbonated recycled coarse aggregate", *Construct. Build. Mater.* 362 (2023) 129657.
- [5] A.F. Cabalar, N. Akbulut, S. Demir, O. Yildiz, "Use of a biopolymer for road pavement subgrade", *Sustainability* 15 (10) (2023), su15108231.
- [6] Y. Hou, X. Ji, X. Su, "Mechanical properties and strength criteria of cement-stabilised recycled concrete aggregate", *Int. J. Pavement Eng.* 20 (3) (2019) 339–348
- [7] Xinglong Xiang, Wenlin Chen, Yifan Huang, Peng Wang, Guan Wang, Jinliang Wu, Wenyu Tian, "Application of recycled concrete aggregates in continuous-graded cement stabilized macadam", *Case Studies in Construction Materials* 21 (2024) e03918
- [8] G. Bai, C. Zhu, C. Liu, B. Liu, An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties, *Constr. Build. Mater.* 240 (2020) 117978, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117978>.
- [9] A. Danish, M.A. Mosaberpanah, A review on recycled concrete aggregates (RCA) characteristics to promote RCA utilization in developing sustainable recycled aggregate concrete (RAC), *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 26 (13) (2022) 6505–6539, <https://doi.org/10.1080/19648189.2021.1946721>.
- [10] I. Martínez-Lage, F. Martínez-Abella, C. Vázquez-Herrero, J.L. Pérez-Ordóñez, "Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate", *Constr. Build. Mater.* 37 (2012) 171–176, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.045>.
- [11] C. Zhao, Z. Wang, Z. Zhu, Q. Guo, X. Wu, R. Zhao, Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: an overview, *Constr. Build. Mater.* 365 (2023) 130075, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130075>.
- [12] S.B. Tobeia, M.M. Khattab, H.H. Khlaif, M.S. Ahmed, Enhancing recycled aggregate concrete properties by using polymeric materials, *Mater. Today.: Proc.* 42 (2021) 2785–2788, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.722>.
- [13] P. Saravanakumar, K. Abhiram, B. Manoj, Properties of treated recycled aggregates and its influence on concrete strength characteristics, *Constr. Build. Mater.* 111 (2016) 611–617, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.064>.

¹ <https://www.auf.org/>

² Méthodes modernes d'optimisation et de planification des essais expérimentaux des processus sous environnements contraints : application

aux bétons ÉCOlogiques obtenus à partir de mélanges des NANOparticules et additions de DÉchets REcyclable de bâtiments