

## Effet des granulats en caoutchouc sur les propriétés des matériaux cimentaires

O. Haddad<sup>1</sup>, L. Hacid<sup>1</sup>, S. Aggoun<sup>2</sup>, S. Kaci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LAMOMS Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

<sup>2</sup> L2MGC Université de Cergy Pontoise (France)

**RESUME** — L'accumulation des déchets de caoutchouc, tels que les pneus usagés, constitue une ressource potentielle en granulats. Le caoutchouc, par sa nature, présente des propriétés assez différentes de celles des granulats naturels, donc si l'on souhaite les utiliser dans le secteur de la construction c'est pour produire des bétons spécifiques. Par les résultats de cette étude, il a été démontré que l'introduction de ces granulats en substitution à une quantité de granulats naturels engendre une baisse de la résistance à la compression des nouveaux bétons. Ces bétons deviennent de plus en plus légers. En dessous d'un certain seuil de substitution la résistance à la compression reste raisonnable. Les mortiers composés de ces granulats ont eu un comportement de plus en plus fluide sans ajout d'eau ni d'adjuvants, propriété souvent recherchée dans les nouveaux bétons.

**Mots clés:** *granulats en caoutchouc, bétons légers, fluidité, résistance à la compression*

### I.Introduction

Le secteur du bâtiment reste un des grands consommateurs de granulats naturels alluvionnaires ou de carrières. L'extraction de ces derniers devient de plus en plus coûteuse, mais surtout nuisible à l'environnement. Pour s'inscrire dans une démarche du développement durable, il devient essentiel de trouver des ressources alternatives aux granulats naturels comme les déchets de la construction, les déchets industriels et de l'automobile comme le caoutchouc des pneus usagés. Les pneus usagés constituent une ressource potentielle en granulats [1].

Le caoutchouc par sa nature présente des propriétés assez différentes de celles des granulats naturels, donc si l'on souhaite les utiliser dans le secteur de la construction c'est pour produire des bétons spéciaux. C'est dans cet esprit que s'inscrit l'objectif de cette étude. Le présent travail a pour but d'étudier les potentialités de l'incorporation des particules de caoutchouc dans des matériaux cimentaires en

vue de l'utilisation du composite élaboré dans des applications diverses. On s'est intéressé à trois aspects des bétons : rhéologie des mortiers à l'état frais, masse volumique réelle des bétons et résistance à la compression à 28 jours. Les essais sont menés sur des compositions formulées avec différents pourcentages de substitutions des granulats naturels (GN) par des granulats en caoutchouc (GC).

Plusieurs études s'intéressent aux différentes possibilités du recyclage des pneus usagés et de leurs effets sur diverses propriétés des bétons. Son utilisation sous forme de poudre a pour objectif de minimiser leur impact négatif sur les propriétés mécaniques des bétons [1], [2], [3]. D'autres études ont prouvé que l'introduction de ce matériau dans le béton réduit le transfert des ions chlore dans le béton [4], [5]. De même, il a été démontré que l'utilisation des cendres, obtenues de l'incinération des pneus comme addition minérale, réduit la porosité des mortiers [6].

D'autres travaux ont également montré l'importance de ces granulats sur le comportement des bétons en conditions sévères, notamment les cycles de gel/dégel ou bien à très hautes températures [6], [7].

---

**Auteur correspondant:** Ourdia HADDAD-,  
Domaine de recherche: Matériaux de Génie Civil  
Adresse. Dpt. de Génie Civil UMMTO (Algérie)  
E-mail: hmwardia@yahoo.fr

## II. Matériaux

Le ciment utilisé est de type CPJ- CEM II/B 42,5 N produit par LAFARGE.

Pour la partie rhéologie, on a utilisé le super plastifiant haut réducteur d'eau MEDAPLAST SP 40, produit par Granitex. Il est dosé par rapport à la masse du ciment.

Granulats :

Les GN ont une forme semi-concassée, ils sont de deux classes granulaires : sable 0/3 (GN 0/3) et gravier 3/10 (GN 3/10).

Les GC sont fournis prêts à l'emploi, ils sont de formes régulières et d'une classe granulaire serrée (2 à 3,16 mm), issus des pneus usagés, transformés industriellement pour être utilisés dans le secteur des voiries.

Dans la fig. 1 sont représentées les courbes granulaires des trois granulats.

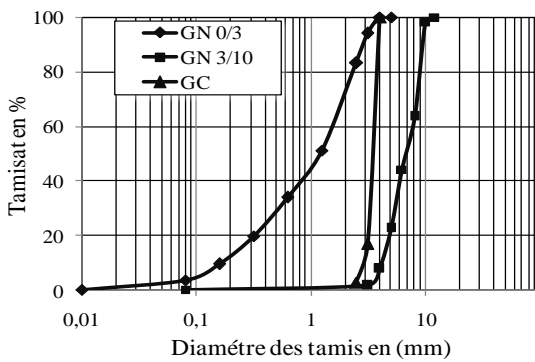


Fig. 1 Courbes granulaires des GN et GC.

Les résultats de caractérisation des masses volumiques réelles (Mv) des granulats sont donnés dans le tableau I.

Tableau I. Masses volumiques des granulats (G/CM<sup>3</sup>)

	Sable 0/3	GN 3/10	GC
Mv	2,68	2,64	1,04

La masse volumique des GC vaut 1,04 g/cm<sup>3</sup>, elle est inférieure de plus de la moitié de celle des GN.

## III. Composition et expérimentation

Pour la partie masse volumique et résistance, les essais sont menés sur des bétons ; pour la partie rhéologie, les essais sont menés sur des mortiers.

### III.1. Composition des bétons

Pour bien mener l'étude comparative, on a formulé des bétons à mêmes volumes de pâte, mêmes volumes granulaires, mêmes rapports G/S (proche de 1) et mêmes quantités de ciment (350 kg), mêmes rapports E/C (0,5) [8], [9]. Le diamètre maximal des granulats est de 10 mm. En respectant ces critères on a alors calculé la composition du béton de référence (BR).

Les autres compositions sont calculées en faisant une substitution volumique des GN 0/3 et GN 3/10 par le même volume en GC, tous les autres paramètres de composition sont maintenus constants [8], [9]. Ainsi, le B10GC est composé de 10 % de GC et de 90 % de GN. Les compositions de 1 m<sup>3</sup> de béton sont données dans le tableau II.

Tableau II. Masses granulaires dans les bétons (KG/M<sup>3</sup>)

	GN0/3	GN 3/10	GC
BR	825	825	0
B05GC	784	784	25
B10GC	743	743	51
B15GC	702	702	76
B20GC	661	661	102
B30GC	578	578	153

### III.2. Composition des mortiers

Pour distinguer l'effet de la nature des granulats de celui de la taille des granulats sur la rhéologie des produits, on a choisi de travailler uniquement avec du sable. Les compositions étudiées sont données dans le tableau III.

Tableau III. Masses granulaires dans les mortiers (G)

	GN 0/3	GC
MR	1350	0
M05GC	1283	5
M10GC	1215	9
M15GC	1147	14
M20GC	1080	19
M25GC	1013	23
M30GC	945	28
M35GC	878	33
M40GC	810	37

On a gardé le même principe de formulation que dans le cas des bétons. Substitution volumique du GN 0/3 par les GC. Rapport E/C égal à 0,5. Quantité de ciment constante égale à 250 g. Les pesées du mortier de référence (MR)

correspondent à celle d'un mortier normalisé [10]. Pour le cas de cette étude, on a introduit le superplastifiant et on a utilisé le GN 0/3.

### III.3. Expérimentation

Trois éprouvettes cylindriques de bétons sont confectionnées (diamètre de 10 cm, hauteur de 20 cm). Avant écrasement les éprouvettes sont pesées. La presse utilisée pour mesurer la résistance à la compression est d'une capacité maximale de 2000 kN, une vitesse de chargement de 0,5 MPa/s. La résistance en compression a été évaluée suivant la norme NF P 18-406.

La rhéologie des mortiers est testée par le mini-cône à mortiers (échelle 1/2 du cône d'Abrams). Les essais sont réalisés deux fois.

## IV. Résultats et interprétation

### IV.1. Masses volumiques des bétons

Les valeurs présentées dans le tableau IV représentent les moyennes obtenues sur trois mesures.

Tableau IV. Masses volumiques des bétons

	Mv(kg/m <sup>3</sup> )	% de baisse
BR	2360	0
B05GC	2330	1,27
B10GC	2270	3,81
B15GC	2210	6,36
B20GC	2150	8,90
B30GC	2050	13,14

Le pourcentage de baisse de la Mv est calculé par rapport à celle du BR. Les Mv sont représentées sur la fig. 2 sous forme d'un histogramme.

On constate que l'augmentation du pourcentage des GC engendre une baisse de la masse volumique des bétons. Plus le pourcentage en GC augmente plus le béton devient léger.

La Masse volumique est passée de 2360 kg/m<sup>3</sup> pour le BR à 2050 kg/m<sup>3</sup> pour le B30GC, soit une baisse d'environ 13 %.

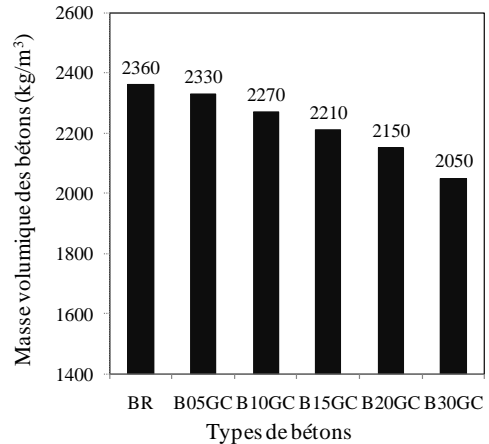


Fig. 2 Mv des bétons en fonction du pourcentage de substitution des GN par les GC.

### IV.2. Résistance à la compression

Les résistances à la compression moyennes obtenues à 28 jours sur les trois éprouvettes sont données dans le tableau V.

Tableau V. Résistances à la compression des bétons.

	Résistance (MPa)	% de baisse
BR	32,32	0
B05GC	28,24	13
B10GC	23,39	28
B15GC	19,43	40
B20GC	16,49	49
B30GC	13,30	59

Les résultats sont représentés sous forme d'histogramme (voir fig. 3), l'écart type des mesures est schématisé par une barre d'erreur.

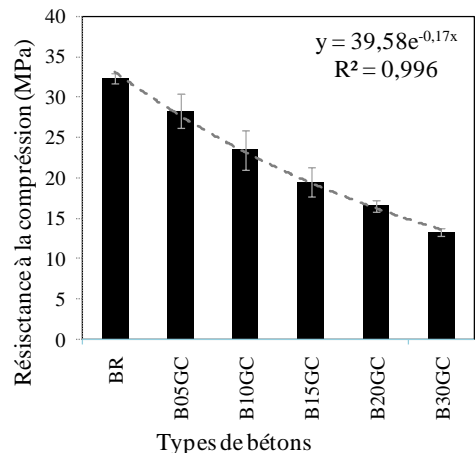


Fig. 3 Résistances à la compression à 28 jours en fonction du % de GC

La résistance des bétons diminue considérablement avec l'augmentation du pourcentage en GC. On passe d'une résistance à 28 jours de 32,2 MPa pour le BR à une résistance de 13,3 MPa pour le B30GC, soit une baisse de 59 %. La baisse des résistances suit une tendance de type exponentielle, la formule est donnée sur la fig. 3.

Il est bien de souligner que pour les bétons à moins de 20 % de GC les résistances obtenues sont assez bonnes en comparaison au BR. En effet, à 15 % de substitution le béton a une résistance supérieure à 20 MPa, ce qui n'est pas négligeable, d'autant plus que ces bétons sont plus légers que le BR.

**IV.3. Résultats de rhéologie des mortiers**

Les moyennes des mesures d'étalement et d'affaissement obtenues sur les deux essais sont présentées dans le tableau VI.

Tableau VI. Etalement et affaissement des mortiers

	Etalement (cm)	Affaissement (cm)
MR	19,0	11,5
M05GC	21,6	12,2
M10GC	24,9	12,5
M15GC	29,6	13,6
M20GC	36,3	14,1
M25GC	37,5	14,2
M30GC	39,4	14,2
M35GC	42,2	14,2
M40GC	*	*

\* les mortiers ont ségrégué.

Sur la fig. 4 les valeurs d'étalement sont représentées sous forme d'un histogramme.

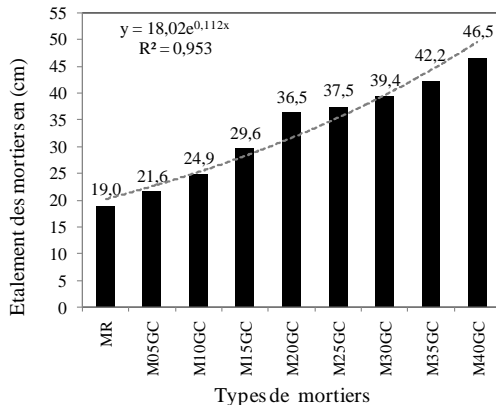


Fig. 4 Etalement des mortiers en fonction du % de GC

D'après la fig. 4 on constate que l'augmentant du pourcentage en GC engendre une augmentation de l'étalement des mortiers. La courbe de tendance de l'évolution de l'étalement en fonction du pourcentage en GC est de type exponentiel. Au-delà de 35 % de GC l'augmentation de l'étalement est de plus en plus grande et tend vers des valeurs importantes, qui en réalité sur le mortier traduisent une ségrégation : séparation de la phase solide du mortier de la phase liquide.

Sur la fig. 5 ci-dessous sont représentées les valeurs d'affaissement sous forme d'un histogramme.

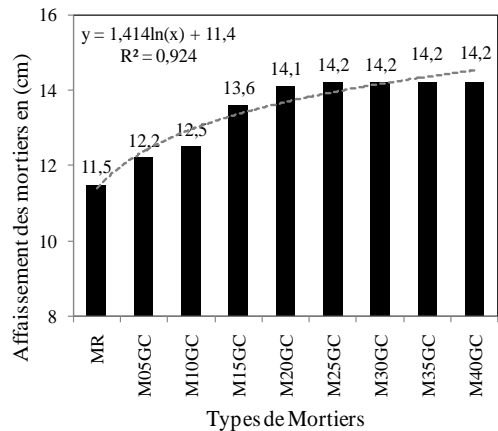


Fig. 5 Affaissement des mortiers en fonction du % de GC

D'après la fig. 5 on constate que l'affaissement des mortiers augmente avec l'augmentation du pourcentage des GC. La courbe de tendance de cette augmentation est de type logarithmique. Au-delà de 25 % de GC l'affaissement se stabilise et tend vers une constante (14,2 cm) correspondant à un affaissement total du mortier. Le mortier devient dans ces cas là auto plaçant.

Cette hausse de la fluidité (étalement et affaissement) en fonction du % en GC est liée au fait, plus on met de GC moins on met de GN et au final plus la quantité d'eau disponible à l'intérieur du mortier est importante. Cette augmentation de la quantité d'eau est due au fait que les granulats en caoutchouc n'absorbent pas l'eau contrairement aux granulats naturels qui eux absorbent l'eau, et par conséquent il y a donc moins d'eau disponible pour fluidifier le mortier dans le cas où le % de GN est grand.

## V. Conclusions

L'objectif principal de notre travail est d'étudier les potentialités de l'incorporation des granulats en caoutchouc dans les matériaux cimentaires. Les résultats obtenus ont permis de conclure ce qui suit :

L'utilisation des granulats en caoutchouc dans le béton provoque une baisse des résistances mécaniques à 28 jours des bétons. La résistance est inversement proportionnelle au pourcentage de substitution des GN par les GC.

Les bétons à moins de 20% de GC ont des résistances à la compression moyennes entre 20 à 25 MPa. Ce résultat est intéressant, d'autant plus que ces bétons sont plus légers que le béton de référence. Ces bétons sont prometteurs pour certains aspects de la construction où la résistance élevée n'est pas exigée.

L'étalement et l'affaissement des mortiers augmentent avec l'augmentation du pourcentage des GC. Ce résultat est intéressant au sens où ces granulats ont permis d'avoir des mortiers de plus en plus fluides sans apport d'eau ni d'adjuvants. Il sera donc intéressant d'étudier d'une manière plus poussée comment combiner entre cet aspect positif de ces granulats et leur impact sur la résistance mécanique.

## Références

- [1] N. Eldin, A. Senouci, Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate, *ASCE J. of Mat. in Civil Eng.* vol 5, no. 4 (1993) 478-496.
- [2] Z. K. Khatib, F. M. Bayomy, Rubberized Portland cement concrete, *ASCE J. of Mat. in Civil Eng.*, vol. 11, no. 3 (1999) 206-213.
- [3] A. Benazzouk, O. Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Quéneudec, Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes, *Cement and Concrete Composites*, Vol 29, Issue 10, (2007) 732-740.
- [4] Haebum Yun, E. Mark Patton, H. James Garrett Jr., K. Gary Fedder, M. Kevin Frederick, Jung-Jiin Hsu, J. Irving Lowe, J. Irving Oppenheim, J. Paul Sides, Detection of free chloride in concrete by NMR, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, Issue 3, (2004) 379-390.
- [5] N. Oikonomou, S. Mavridou, Improvement of chloride ion penetration resistance in cement mortars modified with rubber from worn automobile tires, *Cement and Concrete Composites* Vol. 31, Issue 6, (2009) 403-407.
- [6] N. M Al-Akhras, M. M Smadi; Properties of tire rubber ash mortar, *Cement and Concrete Composites*, Vol26, Issue 7, (2004) 821-826.
- [7] F. Hernández-Olivares, G. Barluenga, Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, Issue 1, (2004) 109-117.
- [8] A. Neville, *Propriétés des bétons* (édition Eyrolles 2000).
- [9] G. Dreux, J. Festa, *Nouveau guide du béton et ses constituants* (8<sup>ème</sup> édition Eyrolles 2002).
- [10] AFN 196-NF EN 196-1, *Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances mécaniques* (AFNOR Avril 2006).