



Utilisation de déchet de pneus dans la confection des mortiers

Manel ABDOUN^a, Abdelkader BOUGARA^{b,*}, Said BELDJILALI^b, El-Houaria AZZOUZ HENNI^a

^a Master en Génie Civil, Université de Chlef

^b Laboratoire de structures, géotechnique et risques, Université de Chlef

Résumé

Le recyclage de certains déchets est une question importante et très nécessaire pour préserver l'environnement et garantir de nouvelles sources d'approvisionnement en matières premières. Dans cette recherche expérimentale, une solution est proposée pour récupérer les déchets encombrants, comme les déchets de pneus, sous forme de granulats dans l'industrie du béton. Le travail réalisé consiste à intégrer les pneus usagés comme granulats par remplacement partiel du sable dans la confection d'un mélange de mortier suivant des pourcentages de substitutions en volume variant de 0 % à 50 %. Des essais de caractérisation physico-mécaniques ont été effectués sur des éprouvettes de mortier de dimension 4×4×16 cm³. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de déchet de pneus comme granulats dans la confection du mortier peut résoudre beaucoup de problèmes liés à leur élimination et économiser les ressources naturelles liées à l'extraction des granulats. Aussi, les résultats trouvés montrent qu'il est possible d'utiliser les déchets de pneus dans la fabrication de mortiers destinés pour des applications structurelles et non structurelles.

Mots-clés : Environnement ; Déchet ; Pneu ; Mortier léger ; Résistance mécanique.

Use of waste tires to produce mortars

Abstract

The recycling of some of the waste is an important issue and very necessary to protect the environment and provide new sources of supply of raw materials. In this experimental research, a solution is suggested to recover the bulky waste, like the waste tire, in the form of aggregates used in the concrete industry. The work performed consists in incorporating used tires as aggregates by partial replacement of the sand in the preparation of sample mortars using different percentages of substitutions in volume varying from 0% to 50%. Physico-mechanical tests were carried out on the mortar mixes. The results obtained show that the use of waste tires as aggregates in the production of mortars can solve several problems related to their disposal and save natural resources related to the extraction of aggregates. Also, the results found show that the waste tires can be used to produce mortars employed for structural and non-structural applications.

Keywords: Environment; Waste tire; Lightweight mortar; Mechanical strength.

1. Introduction

Grâce au progrès technologique, il est possible aujourd'hui de transformer un déchet potentiellement dangereux tel que les pneus usés en un matériau près à être utilisé. Un pneu, est composé de gomme de caoutchouc (à base de polymère d'isoprène), d'acier, de textiles et de divers éléments qui renforcent la résistance de la gomme. On désigne par pneu usé non réutilisable, un pneu qui ne peut plus assurer la mobilité d'un véhicule en respectant les normes de sécurité.

Les pneus usagés sont aussi dangereux que bénéfiques. D'une part, ils ne sont pas biodégradables et remplissent ainsi l'espace d'enfouissement et, d'autre part, libèrent des gaz nocifs causant de graves ravages environnementaux.

L'un des principaux problèmes de ces pneus est le risque d'incendie très accru. Pour ce, près de la moitié des pneus recyclés sont utilisés comme carburant dans la production de l'énergie [1]. Les déchets de pneus peuvent être utilisés dans la fabrication de revêtements de sécurité et de revêtements amortissant pour les aires de jeux, les manèges et les pistes. L'inclusion d'un



pourcentage de déchet de pneus dans l'asphalte de la chaussée permet de donner une souplesse aux enrobés afin d'éviter le phénomène de fissuration et en même temps réduire la nuisance sonore [2].

En remplaçant partiellement les granulats fins et grossiers par le déchet de pneus dans la fabrication des chaussées en béton, une élasticité suffisante peut être atteinte et les changements thermiques sont également réduits. Il est rapporté que l'utilisation de particules de déchets de pneus comme substitut partiel des granulats dans le béton conduit à une perte de résistance [3]. Cependant, ce béton peut être utilisé à des fins non structurelles telles que l'isolation. La résistance peut être améliorée en utilisant des matériaux cimentaires supplémentaires tel que la fumée de silice. Il a été aussi rapporté que la dureté du béton à base de déchets de pneus est supérieure à celle du béton conventionnel avec une ductilité améliorée et que ces bétons sont plus résistants aux changements thermiques qu'un béton conventionnel [3]. Le plus grand avantage de l'incorporation de déchet de pneus dans le béton réside dans la réduction des fissures dans les structures en béton, les routes ou les ponts [4].

L'influence de déchet de pneus sur le comportement des mélanges cimentaires a fait l'objet de plusieurs recherches. Güneyisi *et al.* [5] ont étudié les propriétés à l'état frais des mortiers renfermant un déchet de pneus de dosage variant entre 0 % et 50 % du volume total des granulats et une quantité de fumée de silice variant entre 0 à 20 % de la masse de ciment. Les résultats trouvés ont montré que l'affaissement du béton diminue en fonction de l'augmentation de la teneur en déchet de pneus. G. M. Garrick [6] reporte que l'ouvrabilité des bétons incorporant les granulats de déchets de pneus est acceptable en termes de service et de mise en œuvre alors que M. Garros [7] dans son travail de recherche relative à l'incorporation des granulats de déchet de pneus dans les bétons auto-plaçants, a montré que la présence de ces granulats entraîne une diminution de l'étalement avec l'augmentation de la teneur en déchet de pneus, ce qui a conduit à des mélanges plus visqueux et présentant des seuils de cisaillement plus importants. Certains auteurs ont expliqué cet effet en considérant que les granulats de déchet de pneus constituent une structure autobloquante et donc résistante à l'écoulement [8]. D'autres ont attribué ce comportement

à une friction plus élevée entre les granulats de déchet de pneus et la pâte [9].

Le béton incorporant des granulats de déchet de pneus en substitution des granulats ordinaires a une masse volumique plus faible que celle d'un béton léger conventionnel. Güneyisi *et al.* [5] ont observé une chute de 25 % de la masse volumique pour un taux de substitution de 50 % de granulats de déchet de pneus par rapport au béton de référence. D'autres chercheurs ont trouvé une diminution de la masse volumique de l'ordre de 102 kg.m⁻³ pour chaque 22,7 kg de granulats de déchet de pneus contenus dans le béton [10]. Cette différence de masse volumique est simplement liée à la différence entre la densité des granulats naturels et celle des granulats de déchets de pneus.

Les études antérieures ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des granulats de déchet de pneus dans les mélanges cimentaires entraînait une chute de la résistance à la compression. Eldin et Senouci [11] ont observé une chute de la résistance à la compression d'environ 85 % et de 65 % lorsqu'on fait une substitution totale respectivement du gravier et du sable par des granulats de déchet de pneus de granulométrie équivalente. Khatib et Bayomy [12] ont confirmé qu'il y a une chute de la résistance à la compression de 90 % pour un béton incorporant plus de 60 % de granulats de déchet de pneus par rapport au béton de référence. Pour un béton auto-plaçant, une résistance à la compression minimale de l'ordre de 5 MPa est atteinte pour un taux maximum de substitution de l'ordre de 25 % [7]. La chute de la résistance à la traction d'un mortier renfermant de déchet de pneus s'avère moins importante par rapport à celle observée en compression [5]. Kaloush *et al.* [10] ont montré que malgré la chute de cette résistance observée lors de la substitution des granulats naturels par les granulats de déchet de pneus dans le béton, la déformation à la rupture a augmenté. Cette capacité de déformation à la rupture reflète le comportement plus ductile du matériau. Papakonstantinou et Tobolski [13] ont constaté une variation de la résistance à la traction par fendage de 2,82 à 2,47 MPa respectivement pour un taux de remplacement variant de 0 à 8 % du volume de fibres de pneus.

Dans une étude réalisée par Ganjian *et al.* [14], les gros granulats naturels dont la dimension maximale est de 25 mm ont été substitués par des granulats de déchet

de pneus de même dimension dans la composition d'un béton. Les résultats trouvés indiquent une réduction de 30 % du module d'élasticité par rapport au béton de référence pour un taux de substitution de 10 %.

Selon les études de Benazzouk *et al.* [15], la capacité d'absorption d'eau d'un mélange de béton diminue avec le taux d'incorporation des granulats de déchet de pneus. Ils expliquent ce comportement par le fait que le déchet de pneus n'absorbe pas l'eau qui trouve une plus grande difficulté à se propager à l'intérieur du mélange cimentaire. Hernández-Olivares *et al.* [16] ont réalisé des essais pour évaluer la résistance au feu d'un béton à hautes performances (BHP) incorporant des granulats de déchet de pneus. Ils ont observé que les éprouvettes de BHP de référence présentent plus d'écailles à leur surface exposée au feu que celle des éprouvettes de BHP formulées avec les granulats de déchet de pneus. Ils attribuent cette constatation au fait que lorsque les granulats en déchet de pneus au sein du mélange sont brûlés, ils entraînent la formation de trous servant de vases de décompression à la vapeur d'eau interne.

Dans cette recherche expérimentale, une solution est proposée pour récupérer le déchet de pneus encombrant et de les utiliser sous forme de granulats dans la fabrication du mortier ; un matériau léger et isolant. Cette étude vise aussi la caractérisation du comportement du matériau à l'état frais et durci.

2. Matériaux et méthodes

2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment portland composé (CEM II /42.5) contenant 13 % de calcaire produit par la cimenterie d'Oued Sly (ECDE) à la wilaya¹ de Chlef. Les caractéristiques du ciment sont représentées dans le Tableau 1.

Tableau 1
Caractéristiques du ciment utilisé

| Composition chimique en (%) | |
|---|-------|
| SiO ₂ | 21,14 |
| Al ₂ O ₃ | 5,56 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,27 |
| CaO | 62,17 |
| MgO | 0,74 |
| SO ₃ | 1,58 |
| K ₂ O | 0,81 |
| Na ₂ O | 0,11 |
| CaO libre | 0,70 |
| PAF (Perte au feu) | 4,49 |
| Caractéristiques minéralogiques en (%) | |
| C ₃ S : (Alite) | 41,8 |
| C ₂ S : (Belite) | 33,3 |
| C ₃ A : (Aluminate) | 5,1 |
| C ₄ AF : (Aluminoferrite) | 10,7 |
| Caractéristiques physiques | |
| Temps de prise (min) | 160 |
| Finesse de Blaine (cm ² .g ⁻¹) | 3600 |
| Masse volumique spécifique (g.cm ⁻³) | 2,98 |
| Masse volumique apparente (g.cm ⁻³) | 2,18 |

2.2 Sable

Le sable utilisé est un sable normalisé, à grains arrondis de diamètre maximum 2 mm, de nature siliceuse, dont la teneur en silice est égale à 98 %. Il est livré en fractions mélangées en sacs plastiques d'un contenu de 1350 g ± 5 g. Sa masse volumique absolue est de 2560 kg.m⁻³. Le calcul du module de finesse² a donné une valeur de 2,72. Cette valeur le classe dans la catégorie des bons sables³. L'équivalent du sable réalisé sur le sable utilisé a indiqué une valeur de Es > 80. Donc, c'est un sable très propre, qui convient à être utilisé dans la fabrication des mortiers. Le coefficient d'absorption du sable est de 0,2 %. L'analyse granulométrique du sable est présentée sur la Figure. 1.

² Le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40 ; et 80 mm. Pour le sable, les tamis concernés sont : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 et 5 mm.

³ Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité

¹ Préfecture située à l'ouest de l'Algérie.

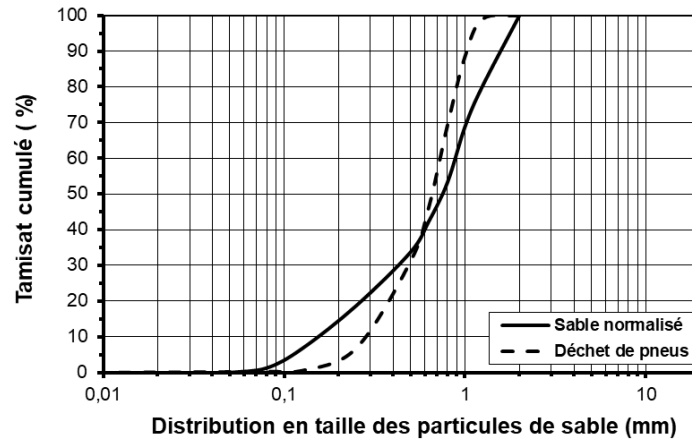


Figure 1 : Distribution en taille des particules du sable normalisé et de déchet de pneus

2.3 Déchet de pneus

Le déchet de pneus est un déchet industriel nommée « styrène-butadiène (SBR) ». Il a été fourni par la société de recyclage de pneus située à Mostaganem. Il est obtenu par broyage de chutes de pneus. De couleur noire, il présente une granularité assez fine variant de 0 à 2 mm (Figure 2). Il est considéré comme un matériau élastique à température ambiante, compatible avec le ciment et les granulats selon la bibliographie consultée. Ce matériau a été utilisé dans le présent travail sous forme de granulat comme substituant au sable avec des pourcentages pondéraux différents dans la confection du mortier.



Figure 2 Déchet de pneus broyé [0/2 mm]

Le déchet de pneus SBR est très utilisé dans la fabrication des pneumatiques. Il possède une grande résistance à l'abrasion, au vieillissement et à l'ozone [17]. L'analyse granulométrique du matériau est illustrée sur la Figure 1. La granulométrie du déchet de

pneus est moins étalée que celle du sable normalisé, mais le déchet de pneus contient moins de particules fines, de diamètre inférieur à 0,6 mm, que le sable normalisé. La masse volumique absolue du déchet de pneus est de $0,94 \text{ g.cm}^{-3}$. La valeur moyenne du coefficient d'absorption est de 2,17 %.

2.4 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du mortier est une eau potable de robinet, du Laboratoire de Matériaux de Construction appartenant à l'Université de Chlef, sans traitement supplémentaire et dépourvue des excès de matières nuisibles telles que les sels, les sulfates et les acides. Associé au ciment, l'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part à la fluidification nécessaire à la mise en œuvre.

2.5 Superplastifiant

Dans cette étude, le superplastifiant utilisé est appelé MEDAFLOW 30, fourni par l'entreprise GRANITEX⁴. C'est un réducteur d'eau de la troisième génération conçu à base de polycarboxylates d'Éther. Le dosage recommandé est de 0,5 à 2,0 % du poids du ciment. Sa densité est de 1,07.

⁴ <https://granitex.dz>

3. Méthodes

3.1. Préparation des échantillons des mortiers

Le malaxage des échantillons de mortiers a été réalisé à l'aide d'un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 5 L. Deux séries d'éprouvettes de mortiers ont été confectionnées. Dans la première série, on varie le taux de substitution du sable naturel par le déchet de pneus de 0 à 20 % avec un pas de 5 % en conservant le même dosage de superplastifiant. L'objectif principal de cette série est d'étudier l'influence de l'incorporation de déchet de pneus sur

l'ouvrabilité des mortiers renfermant des taux modérés de déchets de pneus. Dans la deuxième série, les mortiers de déchets de pneus ont été formulés avec des taux de remplacement variant de 20 %, 30 %, 40 % et 50 % (taux importants) en conservant la même ouvrabilité. Le but majeur de cette série est d'étudier l'effet de déchet de pneus sur les résistances mécaniques. Les dosages pondéraux de déchets de pneus ont été calculés par rapport au volume du sable utilisé. La composition des deux mortiers est résumée dans le tableau 2.

Tableau 2
Composition des mélanges de mortiers de déchets de pneus

| Composition des constituants en (kg/m ³) | ← Série 1 → | | | | ← Série 2 → | | | |
|---|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| | 0 % | 5 % | 10 % | 15 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % |
| Ciment | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| Sable normalisé | 1350 | 1326 | 1302 | 1278 | 1254 | 1206 | 1158 | 1110 |
| Déchet de pneus | 0 | 24 | 48 | 72 | 96 | 144 | 192 | 240 |
| Superplastifiant | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 2,5 | 3,2 | 4,5 |
| Eau | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 |

Après le malaxage, le mortier est versé dans des moules métalliques huilés de forme prismatique de dimensions 4×4×16 cm³. Une fois le moule rempli et compacté mécaniquement à l'aide d'une table à choc, ils sont couverts d'une toile humide et conservés à une température constante de 20°C pendant 24 heures. Ensuite, ils sont démoulés et conservés sous l'eau jusqu'au jour de l'écrasement.

3.2. Essais

La mesure de l'ouvrabilité des différents mélanges de mortier se fait par étalement sur le disque métallique selon la norme ASTM C230 [18]. La détermination de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci a été réalisée conformément à la norme NF EN 12350 [19]. Les résistances à la traction sont obtenues par écrasement des éprouvettes prismatiques selon l'essai de traction de flexion pour les âges 2, 7, 14 et 28 jours en considérant la norme NF P15-451 [20]. Les résistances à la compression sont obtenues par écrasement des cubes selon l'essai de compression pour

les mêmes âges en considérant la norme NF EN 196-1 [21]. Le coefficient d'absorption par immersion des éprouvettes de mortier est mesuré selon la norme NBN B15-215 [22].

4. Résultats et discussion

4.1. Comportement à l'état frais des mélanges

Dans cette première série de mortiers, on a varié le pourcentage de déchets de pneus dans le mortier et on a gardé le dosage en superplastifiant constant. La figure 3 illustre la valeur de l'affaissement du mélange de mortier en fonction de la teneur en déchet de pneus. On constate qu'il diminue proportionnellement à la quantité de déchet de pneus introduit dans le mortier. Pour un taux de remplacement de 20 % de déchet de pneus, le mortier indique un diamètre d'étalement de 12,5 cm contre une valeur de 19 cm par rapport au mortier de référence (sans déchet), soit une réduction de 34 %. Au-delà de ce taux de substitution, le mélange devient ferme et la mise en œuvre est difficile. La réduction de

l'ouvrabilité est probablement liée à la capacité d'absorption élevée d'eau du déchet de pneus par rapport à celle du sable [23]. Ce comportement est aussi attribué à la petite taille des particules du déchet de pneus par rapport au sable naturel, car les grains de petite taille favorisent l'absorption plus que les particules de taille importante ce qui est en concordance avec les résultats de Guendouz *et al.* [24]. Khatib *et al.* [12] ont trouvé qu'il y a une diminution de l'affaissement avec une augmentation de la teneur en déchet de pneus.

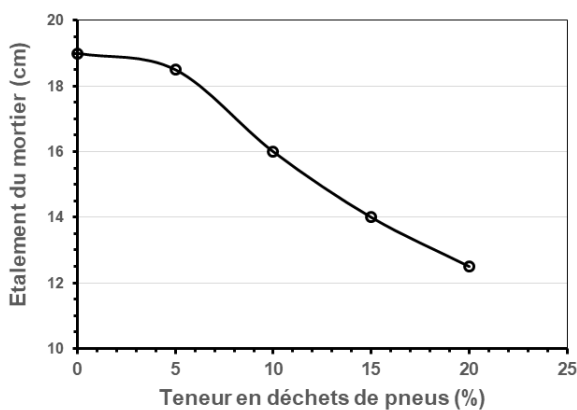


Figure 3 : Variation de l'étalement dans le mortier en fonction du taux de remplacement des granulats de déchets de pneus

Dans la deuxième série de mortiers, on a varié la quantité de déchets de pneus de 20 %, 30 %, 40 % et 50 % dans le mortier, ce qui a nécessité une modification du pourcentage de superplastifiant dans le mortier afin d'avoir un étalement acceptable de l'ordre de 13 cm. La figure 4 représente la variation du taux de superplastifiant en fonction de la teneur en déchet de pneus introduit dans le mortier.

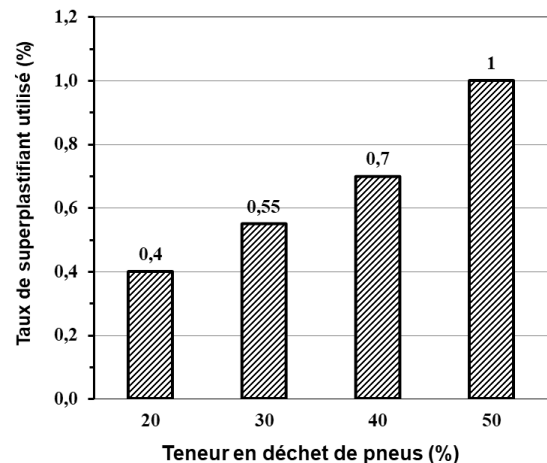


Figure 4 : Variation taux de superplastifiant en fonction de la teneur en déchet de pneus introduit dans le mortier

On remarque que lorsque le pourcentage de déchets de pneus augmente, le dosage en superplastifiant augmente pour garder le même niveau d'ouvrabilité et assurer ainsi la mise en œuvre nécessaire. Si on remplace 50 % en volume de sable normalisé avec les granulats de déchet de pneus dans le mélange de mortier, il est nécessaire d'utiliser au moins 1 % de superplastifiant. Il est évident que le prix du superplastifiant augmente avec l'augmentation de la quantité de superplastifiant utilisé (ce qui n'est pas recommandé d'un point de vue économique), mais dans cette série, on a voulu réaliser un mortier léger destiné à des fins non structurales, ayant une résistance mécanique assez forte pour résister aux petites sollicitations et présentant des performances thermiques très acceptables. On a préféré ajouter le superplastifiant au lieu de l'eau pour ne pas affecter cette résistance.

4.2. Influence de déchet de pneus sur la masse volumique du mortier

La figure 5 représente la variation de la masse volumique des mortiers de la série 1 en fonction des différents pourcentages de déchet de pneus. On constate que la masse volumique des mortiers diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat de déchet de pneus à l'état frais et durci. Ceci est évident du moment que la densité du sable ($2,56 \text{ g.cm}^{-3}$) est supérieure à celle du déchet de pneus ($0,94 \text{ g.cm}^{-3}$). On constate que pour un taux de remplacement de 20 %, la masse volumique absolue du mortier est de 1850 kg.m^{-3} , une valeur proche de la référence d'un béton léger

(1800 kg.m^{-3}). Le pourcentage de réduction en masse volumique à l'état durci est de 25 %, le quart du poids de l'échantillon est réduit, ce qui est une valeur non négligeable d'un point de vue légèreté et charge permanente de l'élément.

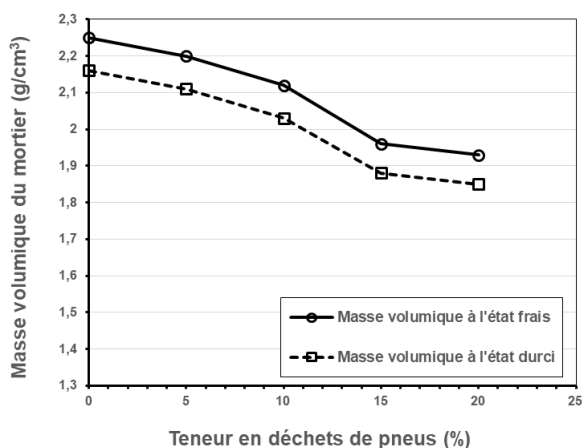


Figure 5 : Variation de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci en fonction de la teneur en déchet de pneus pour la série N°1

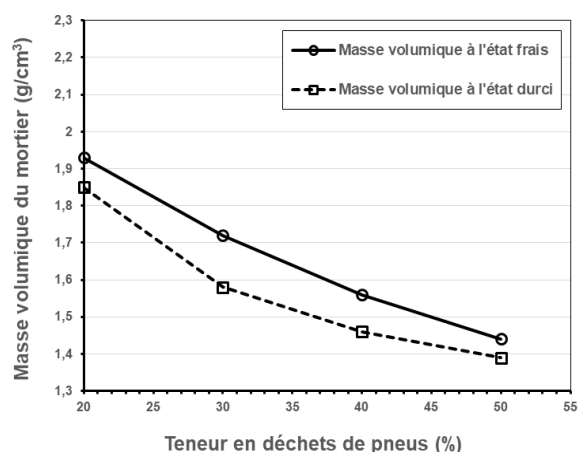


Figure 6 : Variation de la masse volumique du mortier à l'état frais et durci en fonction de la teneur en déchet de pneus pour la série N°2

La figure 6 représente la variation de la masse volumique des mortiers de la série 2 en fonction des différents pourcentages de déchets de pneus. On constate que le taux de réduction du poids de l'échantillon par rapport au taux de remplacement de déchet est plus prononcé dans cette série que celui des mortiers de la série N°1. Pour un taux de remplacement de 50 %, la masse volumique de l'échantillon à l'état durci est de 1390 kg.m^{-3} , soit un allègement de 36 % par rapport au du poids de l'échantillon du mortier de référence, un résultat bien apprécié lorsque le mortier est destiné pour des éléments de remplissage ou les revêtements d'isolation. Certains auteurs [25, 26] ont expliqué cette réduction de densité pour les taux élevés de remplacement par le fait que le déchet de pneus dans le mortier agit comme un vide dans la matrice du mortier qui tend à augmenter la porosité, entraînant ainsi un faible poids unitaire.

4.3. Influence de déchet de pneus sur l'absorption par immersion des mortiers

La figure 7 montre l'évolution de l'absorption d'eau par immersion des mélanges de mortiers en fonction du taux de remplacement de déchet de pneus de la série N°1 pour une période de 28 jours. L'absorption d'eau par immersion augmente avec l'augmentation de la teneur en déchets de pneus dans le mortier. La tendance des courbes d'absorption fait noter que l'absorption continue même au-delà de 28 jours.

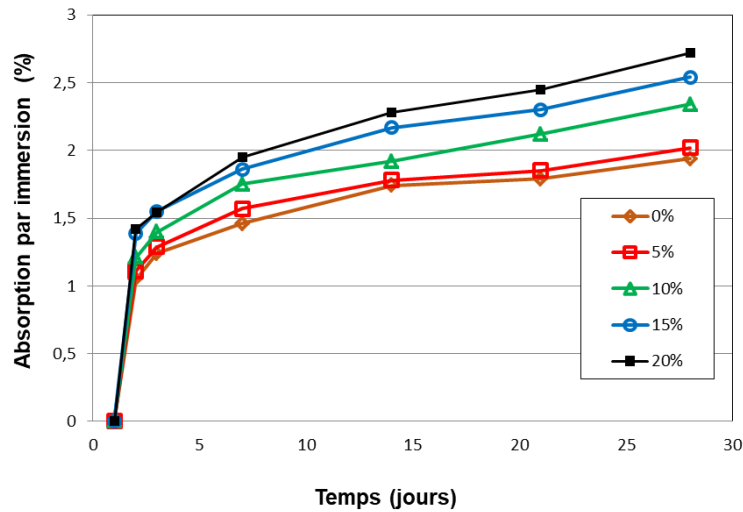


Figure 7 : Évolution de l'absorption par immersion des mortiers en fonction du taux de remplacement de déchet de pneus

Ce comportement peut être expliqué par la présence de vides occasionnels qui existaient lorsque le remplacement de déchet de pneus a eu lieu au niveau de la matrice du mortier, ce qui a provoqué une augmentation de l'absorption d'eau. De plus, la faiblesse de la liaison entre les particules de déchets de pneus et la pâte de ciment a favorisé le phénomène d'absorption. Il a permis à l'eau d'entrer par les vides dans l'interface entre le déchet de pneus et la pâte de ciment en raison de l'augmentation de déchet de pneus. Il convient de noter que le déchet de pneus a une granulométrie un peu plus petite par rapport à celle du sable normalisé (voir figure 1). Cette observation est similaire à celle rapportée par Park *et al.* [27]. Ces derniers indiquent que l'accroissement de la surface spécifique des pores du mélange de mortier dû aux granulats de déchets de pneus augmente le coefficient d'absorption du matériau.

4.4. Influence de déchet de pneus sur le comportement mécanique des mortiers

4.4.1. Résistance à la traction des mortiers

Les résultats de la résistance à la traction par flexion des mortiers renfermant différents teneurs en déchet de pneus sont représentés sur la figure 8. L'écart type des résultats de tests des éprouvettes de 28 jours a montré une variation de la résistance à la traction entre 0,2 MPa et 0,4 MPa. Ces résultats montrent que la résistance à la

traction diminue avec l'augmentation du volume de déchets de pneus. Quantitativement, on peut noter que par rapport au mortier de référence, un taux de substitution en granulats de déchet de pneus de 20 % (série 1 à 28 j) entraîne une chute de 39 % de résistance à la traction. Cette chute est de l'ordre de 6 % pour un taux de 5 %.

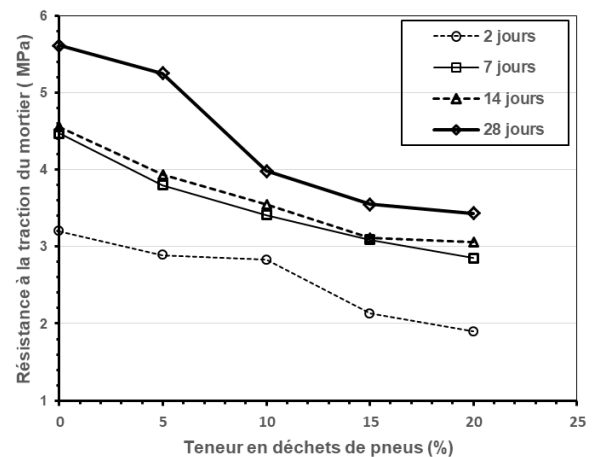


Figure 8 : Résistance à la traction des mortiers renfermant différents taux de substitution de déchets de pneus (série 1)

Les résultats de la série 2 sont illustrés dans la figure 9, ou on peut observer qu'un taux de substitution en déchet de pneus de 50 % (à 28 j) entraîne une chute de résistance de 51 %, cette chute est de l'ordre de 24 % pour un taux de 30 % en déchet de pneus par rapport au mortier de référence. Cette réduction de la résistance à

la traction en fonction de l'augmentation de la teneur en déchets de pneus est attribuée à la faiblesse de la zone de l'interface des granulats de déchets de pneus-matrice cimentaire (qui est estimée visuellement par l'observation des faciès de rupture des éprouvettes) [7].

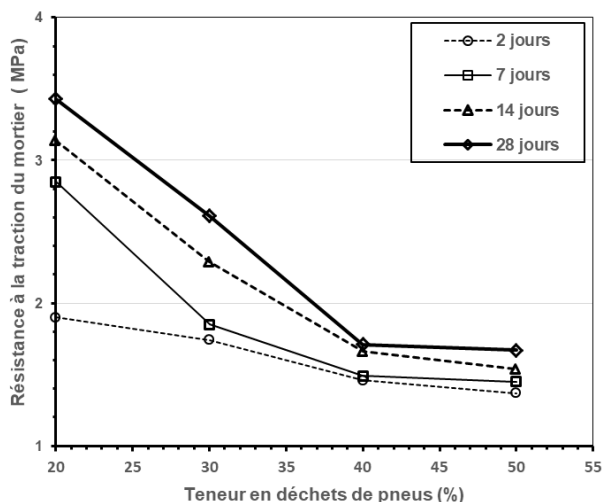


Figure 9 Résistance à la traction des mortiers de la série N°2 en fonction des teneurs en déchet de pneus

4.4.2. Résistance à la compression des mortiers

La résistance à la compression des mélanges de mortier de la série N°1 et N°2 en fonction de déchet de pneus est illustrée respectivement sur les figures 10 et 11 pour les différents âges étudiés. L'écart type des résultats de tests des éprouvettes de 28 jours a montré une variation de la résistance à la compression entre 1,2 MPa et 1,7 MPa. On constate que la résistance à la compression du mélange de mortier diminue avec l'augmentation du taux de substitution en déchets de pneus. Un comportement logiquement attendu compte tenu des résultats précédemment présentés sur la résistance à la traction.

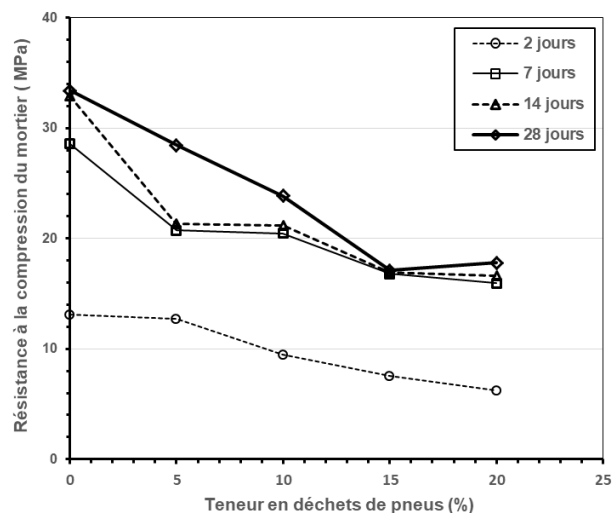


Figure 10 : Résistance à la compression des mortiers de la série N°1 en fonction des taux de substitution en déchets de pneus

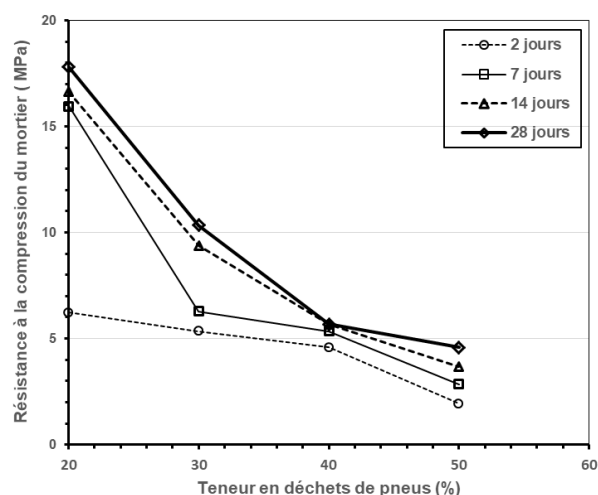


Figure 11: Résistance à la compression des mortiers de la série N°2 en fonction des taux de substitution en déchets de pneus

Ces résultats indiquent clairement que l'incorporation de déchet de pneus contribue à la diminution de la résistance à la compression du mortier. A titre d'exemple, pour un taux de substitution en déchet de pneus de 20 % (à l'âge de 28 jours) entraîne une chute de résistance de 47 %, presque la moitié, cette chute est de l'ordre de 15 % pour un taux de 5 % en déchet de pneus par rapport au mortier de référence. Cette réduction est importante en considérant la résistance du mortier de référence mais n'empêche que certains bétons couramment utilisés dans la pratique possèdent une résistance similaire [28]. Dans la catégorie des bétons légers, cette résistance est

acceptable et ce mortier peut être utilisé dans la réalisation des mortiers utilisés dans les revêtements pour des fins architecturales, les chapes et dans la protection contre le feu et la corrosion. La norme américaine ACI 213R-14⁵ exige un minimum de 17 MPa de la résistance à la compression pour un béton léger destiné à des fins structurales [29].

La réduction de la résistance à la compression du mortier renfermant le déchet de pneus est attribué à la faible rigidité de ce dernier par rapport à celle des granulats naturels [30]. Une deuxième raison associe cette chute de résistance aux défauts d'adhérence entre le déchet de pneus et la matrice cimentaire [7]. Ce point de vue montre que la zone de transition entre la matrice et le granulat de déchet de pneus est peu compacte et présente une porosité importante.

Dans la deuxième série de mortiers, la résistance mécanique n'est pas la performance visée, mais d'autres propriétés telles que la légèreté et la souplesse du matériau, et plus particulièrement la performance thermique. Le mortier de la deuxième série peut être utile dans plusieurs applications telles que les bordures de protections dans les voies d'autoroutes, les salles de sport, les terrains de jeux pour enfants, corps creux, éléments de remplissage pour cloisons, mortiers pour des tunnels et les revêtements d'isolation. Pas mal d'applications dans le domaine de génie civil ne nécessitent pas une grande résistance mécanique, une résistance à la compression de l'ordre de 5 MPa est suffisante pour supporter les faibles sollicitations [31].

5. Conclusion

Ce travail a pour objectif la valorisation de déchet de pneus utilisés comme agrégat en remplacement du sable naturel dans la fabrication du mortier. Les conclusions qui pourraient être déduites de ce travail peuvent être résumées comme suit:

- Le déchet de pneus peuvent être utilisés comme granulats fins en remplacement du sable dans la fabrication du mortier jusqu'à 20 % sans qu'il est aucun un effet indésirable sur les propriétés à l'état frais ou durci.

- L'ouvrabilité et la densité de tous les mélanges de mortiers diminuent avec l'augmentation de la teneur en déchets de pneus.
- Les valeurs de la résistance à la traction par flexion et la compression des mélanges de mortiers renfermant 20 % de déchets de pneus à 28 jours sont respectivement 3,43 MPa et 17,8 MPa, qui sont nettement inférieures à celles du mortier de référence. Malgré ceci, ces résultats sont acceptables pour un mortier léger utilisé dans les éléments de structures.
- Pour un taux de remplacement en volume variant de 20 % à 40 % de déchet de pneus, les résistances à la traction et la compression du mélange de mortier à 28 jours varient respectivement de 1,71 MPa à 3,43 MPa et de 5,68 MPa à 17,8 MPa. Ces valeurs justifient l'utilisation de ces mortiers dans la fabrication des éléments non structurels tels que les revêtements d'isolation, les éléments décoratifs, les barrières de protection pour les autoroutes, ainsi que pour les terrains de jeux et de distraction pour enfants.
- Sur la base de mesures effectuées expérimentalement, on remarque que l'absorption par immersion du mortier augmente avec l'augmentation du taux de remplacement de déchet de pneus par rapport à celles du mortier ordinaire.
- L'utilisation de déchet de pneus comme granulats dans la confection du mortier peut résoudre la plupart des problèmes liés à leur élimination et économiser les ressources naturelles liées à l'extraction des granulats.

Références

- [1] Sycotom. « Les déchets ». [en ligne] <https://sitetom.sycotom-paris.fr/les-dechets/les-categories-de-dechets.html> (consulté le 20 Février 2021).
- [2] Bridgestone. "Tyres" [en ligne] bridgestoneamericas.com/en/corporate-social-responsibility/safety/tires-101/tireconstruction (consulté le 2 Mars 2021).
- [3] Express. "North Yorkshire tyre fire: Blaze of 15,000 tonnes of rubber will burn for a week" [en ligne] [express.co.uk/news/uk/454542/North-Yorkshire-tyre-fire-Blaze-of-15-000-tonnes-of-rubber-will-burn-for-a-week](https://www.express.co.uk/news/uk/454542/North-Yorkshire-tyre-fire-Blaze-of-15-000-tonnes-of-rubber-will-burn-for-a-week) (consulté le 5 Mars 2021).
- [4] PRLOG. "Total Amount of Recycled Rubber Used in Installations of Porous Pave Permeable Pavement Now Tops Ten Million Pounds" [en ligne] [prlog.org/12667475-total-amount-of-recycled-rubber-used-in-installations-ofporous-pave-permeable-pavement-now-tops-ten-million-pounds.html](https://www.prlog.org/12667475-total-amount-of-recycled-rubber-used-in-installations-ofporous-pave-permeable-pavement-now-tops-ten-million-pounds.html) (consulté le 15 Février 2021).

⁵ <https://www.concrete.org>

- [5] Güneyisi E., Gesoğlu M and Özturan T., Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cement Concrete Res.*, 34 (12) (2004): 2309–2317. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.005>
- [6] Gregory Marvin Garrick. “*Analysis and testing of waste tire fiber modified concrete*”. Mémoire de Master. Louisiana State University, the Department of Mechanical Engineering, 2005.
- [7] Garros M., « *Composites cimentaires incorporant des granulats caoutchouc issus du broyage de pneus usagés : optimisation de la composition et caractérisation* ». Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2007.
- [8] Batayneh M.K., Marie I., Asi I., Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. *Waste Manage.* 28 (11) (2008): 2171–2176. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.035>
- [9] Eehab K., Mostafa A., Ahmed M., Impact Resistance of Rubberized Self-Compacting Concrete. *Water Science*, 29 (2015) : 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2014.12.002>
- [10] Kaloush K. E., Way G. B., Zhu H., Properties of Crumb Rubber Concrete. *Transport Res. Rec. Journal of the Transportation Research Board*, 1914 (1) (2005) : 08-14. <https://doi.org/10.1177/0361198105191400102>
- [11] Eldin N.N. and Senouci A.B., Observations on Rubberized Concrete Behavior. *ASTM*, 15 (1) (1993).
- [12] Khatib Z. K., Bayomy F.M., Rubberized portland cement concrete, *J. Mater Civil Eng*, 11(3) (1999): 206-213. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206))
- [13] Papakonstantinou C.G. and Matthew J.T., Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete, *Cement Concrete Res.*, 36 (6) (2006): 1686–1691. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.05.015>
- [14] Ganjian E., Khorami M and Maghsoudi A. A., Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Constr Build Mater*, 23 (2009): 1828–1836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.020>
- [15] Benazzouk A., Douzane O. and Quéneudec. t’Kint M., Transport of fluids in cement–rubber composites. *Cement Concrete Comp.* 26 (2004): 21–29. [https://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00119-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00119-1)
- [16] Hernández-Olivares F., Barluenga G., Parga-Landa B., Bollati M. and Witoszek B., Fatigue behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete and its implications in the design of rigid pavements. *Constr Build Mater*, 21 (2007): 1918–1927. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.06.030>
- [17] Styrene-butadiène. [en ligne] [wikipedia.org/wiki/Styr %C3 %A8ne- utadi %C3 %A8ne](https://wikipedia.org/wiki/Styr%C3%A8ne-utadi%C3%A8ne) (consulté le 28 Mars 2021)
- [18] Standard specifications for flow table for use in tests of hydraulic cement, ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, 2008; V 04, pp:1-6
- [19] NF EN 12350-6 Norme française. Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique (2012). 15 p.
- [20] NF P15-451, Liants hydrauliques. Technique des essais. Essais mécaniques. Flexion et compression. Norme française, (1963).
- [21] NF EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments - partie 1 : détermination des résistances mécaniques. (2006) 35 p
- [22] NBN B 15-215. Essais des bétons, absorption d'eau par immersion, norme belge, (1989)
- [23] Wei1 C.B., Othman R., Sheng T.W., Jaya R.P., Al Bakri Abdullah M.M., Properties of Mortar with Waste Tyre Rubber as Partial Sand Replacement. *Key Engineering Materials*, 879 (2021): 49-61. <https://www.scientific.net/KEM.879.49>
- [24] Guendouz, M., Debieb, F., Boukendakdji, O., Kadri, E. H., Bentchikou, M., & Soualhi, H (2016). Use of plastic waste in sand concrete. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (2) (2016) : 382-389
- [25] Grdic Z., Toplicic-Curcic G., Ristic N., Grdic D., Mitkovic P., (2014). Hydroabrasive resistance and mechanical properties of rubberized concrete. *Gradeinar*, 66 (1) (2014): 11–20. DOI: [10.14256/JCE.910.2013](https://doi.org/10.14256/JCE.910.2013)
- [26] Mohellebi S. « *Caractérisation et Modélisation des paramètres physicohygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites* », Thèse de doctorat Faculté de Génie de Construction, Département de Génie civil, Université de Tizi-Ouzou (2014). <https://www.ummo.dz/dspace/handle/ummo/1252>
- [27] Park S.B., Seo D.S. and Lee J., Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio. *Cement Concrete Res.*, 35 (9) (2005): 1846– 1854, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.12.009>
- [28] ACI 213R-14 Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete. American Concrete Institute; Farmington Hills, MI. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/213R-14_preview.pdf
- [29] USA, (2014), p. 53. ISBN: 9780870318979
- [30] Li Z., Li F. and Li. J. S. L., Properties of concrete incorporating rubber tyre particles. *Magazine of Concrete Recherche*, 50 (4) (1998) : 297-304. <https://doi.org/10.1680/mac.1998.50.4.297>
- [31] Benyahia K.A., Ghrici M., Kenai S., Corrélations entre essais non destructifs et essais destructifs du béton à faible résistance mécanique. XXVIIIe Rencontres Universitaires de Génie Civil. La Bourboule, 2 au 4 juin 2010. https://www.univ-chlef.dz/drupal/sites/default/files/Ali%20Benyahia_AUGC_France_2010.pdf
- [32] Choudhary V., Choudhary A., Use of tyre waste in concrete: a review, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 10 (04) (2017). [Use of tyre waste in concrete: a review, International Research Journal of Engineering and Technology \(IRJET\)](https://doi.org/10.17818/IRJET.10042017.10042017)

