

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275
« Un diplôme, une startup / micro entreprise ou brevet d'invention »
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés des matériaux

Contribution à la valorisation des matières plastiques issus des déchets des pneus

Nom commercial :



MORTIX

Présenté Par :

1/ M^{elle}. BOUAKLINE Farah M2 Génie des procédés des matériaux
2/ M^{elle}. BOUAKLINE Ghizlene M2 Génie des procédés des matériaux

Devant le jury composé de :

MAAROUF Hafida	MCA	U.Ain Témouchent	Présidente
MANSOUR Meriem	MCB	U.Ain Témouchent	Examinatrice
NEHARI Driss	Professeur	U.Ain Témouchent	Encadrant
BELDJILLALI Mohammed	MCB	U.Ain Témouchent	Co-Encadrant
GHERBI Sabah	MCB	U.Ain Témouchent	Co-Encadrante
BENOSMANE Morad		U.Ain Témouchent	Représentant de l'incubateur
MEKHNACHE Zakaria		DUCH Wilaya Ain Témouchent	Partenaire socioéconomique

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout, nous remercions *Dieu* le tout puissant, de nos avoir illuminé et ouvert les voies du savoir, nous avoir accordé le courage, la force, la patience et l'optimisme pour mener à bien et faire aboutir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à Mme. *CHAKER Hanane*, maître de conférence (A), à l'Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent pour tous le temps qu'elle nous a consacrée. Son soutien constant, sa patience, sa disponibilité et sa correction du document. Nous la remercions également pour l'intérêt et le suivi qu'elle a porté à notre mémoire, pour les conseils toujours pertinents et enrichissants. Nous estimons avoir énormément appris son dévouement et sa rigueur scientifique qui resteront pour nous des modèles. Que *Dieu* lui accorde santé et longue vie heureuse.

Nous remercions vivement notre encadrant Mr. *NEHARI Driss*, professeur, à l'Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent pour sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions également notre co-encadrant Mr. *BELDJILLALI Mohammed*, maître de conférence (B), à l'Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent pour son aide et ses conseils.

Nous remercions notre co-encadrante Mme. *GHERBI Sabah*, maître de conférence (B), à l'Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent pour son aide et ses conseils.

Nous adressons nos sincère remerciements aux *membres du jury* qui ont fait le grand honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mr. *MEKHNACHE Zakaria* pour avoir accepté et consacré votre temps pour juger notre travail.

Nos remerciements aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre immense gratitude à notre petite famille :

À notre défunte grande mère *Zineb* qui a toujours souhaité que nous réussissions dans nos études. Nous prions le tout puissant ALLAH pour le repos de son âme.

À la lumière de nos jours, la force de nos efforts notre vie et notre bonheur *Maman* que nous adorons. Nous disons merci pour toute son assistance et sa présence dans notre vie, qu'elle reçoit à travers ce travail aussi modeste soit-il l'expression de nos sentiments et de notre éternelle gratitude.

À notre exemple éternel, notre soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour nous voir réussir, que dieu le tout puissant le garde. À toi notre très *cher père*.

Aux personnes qui nous ont toujours soutenu, encouragé et qui ont toujours étaient à nos côtés, nos aimables amis *Yasmín, Djaouída, Souhíla, Meriem, Farah*.

À toute notre famille *DRAI & BOUAKLINE*.

Farah & Ghízlène

Table des matières

Remerciements

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

I.1 Introduction..... 4

I.2 Impact environnemental des déchets pneumatiques 4

I.3 Définition de caoutchouc 6

I.3.1 Le caoutchouc naturel 7

I.3.2 Le caoutchouc synthétique 8

I.4 Les différents composant d'un pneu 8

I.5 Composition chimique d'un pneu 10

I.6 Recyclage et valorisation des pneus usés..... 11

I.7 Les organismes de recyclage des pneus usagés dans le monde 13

I.8 Généralités sur le mortier..... 15

I.8.1 Définition d'un mortier 15

I.8.2 Les constituants d'un mortier..... 15

I.8.2.1 Les Liants 15

I.8.2.2 Granulats 15

I.8.2.3 Eau de gâchage..... 15

I.8.2.4 Adjuvants 16

I.8.2.5 Ajouts 16

I.8.3 Que ce que c'est un mortier de ciment ?..... 16

I.8.4 Synthèse sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment à base des granulats de caoutchouc à l'état durci	16
I.8.4.1 Masse volumique à l'état sec	16
I.8.4.2 Résistance à la compression	17
I.8.4.3 Résistance à la flexion.....	19
I.8.4.4 Conductivité thermique	20
I.8.4.5 Isolation acoustique.....	20
I.9 Conclusion	21

Chapitre 2 : matériaux utilisés et procédures expérimentales

II.1 Introduction	23
II.2 Matériaux utilisés	23
II.2.1 Ciment.....	23
II.2.2 Sable.....	24
II.2.3 Eau de gâchage	24
II.2.4 Granulats de caoutchouc recyclés	24
II.3 Formulation du mortier étudié	25
II.3.1 Compositions des mortiers.....	25
II.4 Procédure expérimentale	26
II.4.1 Préparation du mortier	26
II.4.1.1 Pesage des composants	26
II.4.1.2 Préparation de la pâte.....	26
II.4.1.3 Confection des éprouvettes	27
II.4.1.4 Démoulage et conservation des éprouvettes	28
II.4.2 Les tests réalisés.....	28
II.4.2.1 Essai de traction par flexion.....	28
II.4.2.2 Essai de compression	30
II.4.2.3 Essai d'auscultation dynamique.....	31

II.4.2.4 Essai de conductivité thermique	33
--	----

Chapitre 3 : Résultats et discussions

III.1 Introduction	36
III.2 Résultats et interprétations	36
III.2.1 Résistance à la traction par flexion.....	36
III.2.2 Résistance à la compression	37
III.2.3 Vitesse de propagation des ultrasons.....	38
III.2.4 Conductivité thermique	40
III.3 Conclusion.....	41
Conclusion générale	43
Référence bibliographiques	44
Annexe	52

Liste des Figures

Figure I.1 : Evolution quantitative des pneus usagés en Algérie.....	5
Figure I.2 : Incendie à la décharge de pneus au Koweït	6
Figure I.3 : Récollette du latex d'un Hevea brasiliensis.....	7
Figure I.4 : Structure du cis 1,4-polyisoprène.....	7
Figure I.5 : Structure du : (a) Copolymères styrène-butadiène (SBR), (b) Polybutadiène	8
Figure I.6 : Les constituants d'un pneu	9
Figure I.7 : Densité par rapport au taux de substitution du granulat fin par des miettes de caoutchouc.....	17
Figure I.8 : Evolution de la résistance à la compression des composite.....	18
Figure I.9 : Observations au MEB de la microstructure de mortier témoin (a) Le mortier de caoutchouc (b) Mise en évidence de la zone d'interface	19
Figure II.1 : Ciment utilisé	23
Figure II.2 : Sable de carrière (0-4mm).....	24
Figure II.3 : Granulats de caoutchouc (0-4mm).....	25
Figure II.4 : Pesage des composants.....	26
Figure II.5 : Le malaxeur.....	27
Figure II.6 : (a) Table à choc et (b) Des moules prismatiques remplis.....	27
Figure II.7 : Les éprouvettes démoulées.....	28
Figure II.8 : Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	28
Figure II.9 : Dispositif de l'essai de flexion.....	29
Figure II.10 : La rupture des éprouvettes de 14jours par essai de flexion.....	29
Figure II.11 : Schéma d'essai de flexion d'une éprouvette 4x4x16 cm ³	30
Figure II.12 : Dispositif de l'essai de compression.....	30
Figure II.13 : Ecrasement de la demi-prisme MGCR10.....	31

Figure II.14 : Schéma d'essai de compression sur une demi-prisme	31
Figure II.15 : Appareil de teste ultrasonique.....	32
Figure II.16 : Mesure de la vitesse de propagation de son.....	32
Figure II.17 : Conductimètre à une sonde SH1.....	33
Figure II.18 : (a) La mesure de la conductivité thermique, (b) La pâte thermique arctic silver5	34
Figure III.1 : Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés à 14 et 28 jours.....	37
Figure III.2 : Résistance en compression des mortiers étudiés à 14 et 28 jours.....	38
Figure III.3 : Vitesse de propagation d'ondes longitudinales des mortiers étudiés à 28 jours.....	39
Figure III.4 : La conductivité thermique des mortiers étudiés à 28 jours.....	40

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Les quantités des pneus usagés générés en Tonne par an en Algérie	5
Tableau I.2 : Composition des pneus type véhicules légers et poids lourds.....	10
Tableau I.3 : Les différentes entreprises de recyclage des pneus usagé dans le monde.....	13
Tableau I.4 : Les installations de la valorisation des pneus usagés en Algérie	14
Tableau II.1 : La composition chimique du ciment utilisé en (%)	23
Tableau II.2 : Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé	24
Tableau II.3 : Compositions des différents mortiers réalisés.....	26
Tableau III.1 : Résultats de la résistance à la traction par flexion à 14 et 28 jours.....	36
Tableau III.2 : Résultats de la Résistance en compression à 14 et 28 jours.....	37
Tableau III.3 : Résultats d'auscultation dynamique à 28 jours.....	39
Tableau III.4 : Résultats de la conductivité et la résistivité thermique à 28 jours.....	40

Liste des symboles et abréviations

(C₅H₈)_n : Cis 1,4- polyisoprène.

μs : Micro seconde.

Al₂O₃ : Alumine.

AND : Agence nationale des déchets.

ASF : Algerian startup fund.

b : Le coté de la section carrée du prisme, en mm .

B2B : Business to business.

B2C : Business to consumer.

B2G : Business to government.

C.cm/W : Celsius fois centimètre par watt.

Cao libre : Chaux libre.

Cao : Oxyde de calcium.

CEM II / A L 42,5 : Ciment portland classe 2 avec un taux d'ajouts entre 6-20% de calcaire a une résistance de 42,5.

cm²/g : Centimètre au carré par gramme.

cm³ : Centimètre au cube.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

CR : Crumb rubber.

Da : Dinar algérien.

E/C : Rapport massique de l'eau sur ciment.

EMG : Entreprise nationale des granulats.

EN : Norme européenne.

F_C : La charge maximale à la rupture, en N.

Fe₂O₃ : Oxyde de fer.

F_f : La charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N .

g : Gramme.

GCR : Granulats de caoutchouc recyclés.

h : Heure.

K₂O : Oxyde de potassium.

KN : Kilo newton.

l : La distance entre les appuis, en mm.

m/s : Mètre par seconde.

MEB : Microscope électronique à balayage.

MGCR10 : Mortier de 10% de granulats de caoutchouc recyclés.

MGCR20 : Mortier de 20% de granulats de caoutchouc recyclés.

MGCR30 : Mortier de 30% de granulats de caoutchouc recyclés.

MgO : Oxyde de magnésium.

min : Minute.

MJ/Kg : Mégajoule par kilogramme.

mm : Millimètre.

MPa : Méga pascalle.

MT : Mortier témoin.

N : Newton.

N/mm² : Newton par millimètre au carré.

NA : Norme algérienne.

Na₂O : Oxyde de sodium.

NF : Norme française.

ONEX : Office nationale des explosives.

PB : Polybutadiène.

PF : Perte de feu.

R_c : La résistance à la compression, en MPa .

R_f : La résistance à la flexion, en MPa.

SBR : Styrène butadiène rubber.

SiO₂ : Dioxyde de silicium .

SO₃ : Trioxyde de soufre .

T/an : Tonne par an.

W/m.K : Watt par mètre fois kelvin .

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières années, la recherche scientifique s'est orientée vers le développement de nouveaux matériaux qui soient à la fois économiques et écologiques. Cette évolution se manifeste notamment par l'utilisation de matières secondaires (recyclées), dans le but de diminuer la production de matériaux polluants [1].

Le développement rapide de l'industrie automobile a entraîné une forte augmentation de la production annuelle de pneus. En effet, il est estimé que plus de 3 milliards de pneus sont produits chaque année dans le monde, et que la demande du marché continue de croître à un taux supérieur à 4%. Cette production importante entraîne inévitablement la production de milliards de pneus usagés en fin de vie, qui doivent être gérés, traités et éliminés de manière appropriée [2].

Les pneus usagés sont devenus un enjeu environnemental majeur dans le monde entier, En raison de leur nature non biodégradable. Ces déchets encombrants sont à l'origine de problèmes environnementaux et sanitaires, notamment leur incinération provoque des risques d'incendies non maîtrisable, des émissions de fumées nocives [3] et qui contribue à une variété de problèmes de santé tels que des allergies, des crises d'asthme, des maladies de bronches...etc[4].

Dans le souci de la protection de l'environnement et de la préservation de la nature, il est essentiel que le secteur de la construction, qui consomme une grande quantité de granulats, s'engage dans une démarche écoresponsable visant à trouver des ressources alternatives aux granulats de carrière et de rivière qui peuvent subir un épuisement de ressources lors de leur extraction excessive [5]. L'utilisation de granulats recyclés peut ainsi constituer une solution adéquate et une bonne alternative pour répondre à ces enjeux environnementaux.

De nombreuses recherches ont été menées à l'échelle mondiale pour trouver des solutions novatrices visant à gérer et réduire le volume de pneus usagés produits chaque année. Parmi les approches les plus étudiées figure l'incorporation de granulats de caoutchouc issus du recyclage de pneus usagés dans les matrices cimentaires. Les résultats ont démontré la faisabilité de l'utilisation des granulats de caoutchouc recyclés en substitution au sable dans les mortiers [6-13].

La valorisation des déchets de pneus automobiles par le biais du recyclage offre une source intéressante pour produire des mortiers ayant des propriétés spécifiques. Le caoutchouc par sa nature possède des propriétés différentes de celles des granulats naturels, ce qui le rend adapté

à produire des mortiers ayant des propriétés spécifiques, telles que (légèreté, isolation thermique et phonique) dans le domaine de la construction [14].

Le présent travail a pour but la mise en point sur la valorisation de granulats de caoutchouc issus de recyclage de pneus usagés pour la confection d'éco-composites cimentaires et évaluer les propriétés physico-mécaniques de ce matériau. Pour cela nous avons opté pour l'incorporation de granulats de caoutchouc en substitution massique du sable avec des taux de 10,20,30% dans la formulation du mortier.

Ce mémoire s'articule sur trois chapitres :

Le premier chapitre est relatif à une synthèse bibliographique regroupant d'une part des généralités sur les pneumatiques en l'occurrence leur l'impact environnementale, leur structure, leur composition et les différentes méthodes de valorisation et les organismes de recyclage. D'autre part, des généralités sur les mortiers ont été abordées (définition, constituants, mortier de ciment, synthèses des travaux).

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des matériaux utilisés dans cette étude, les procédures expérimentales adoptées et les différents tests réalisés pour la caractérisation du mortier.

Le troisième chapitre est porté sur la présentation des résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations.

En dernier, une conclusion générale est présentée pour résumer le travail expérimental effectué dans cette étude.

*Chapitre I : Synthèses
bibliographiques*

I.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, le développement rapide des industries de l'automobile et des transports dans le monde a créé un besoin de production de grandes quantités de pneumatiques[15]. Derrière l'aspect uniforme des matériaux du pneu se cache un univers complexe ; dont il est composé d'une variété des matières premières spécifiques qui lui confèrent des propriétés telles que : l'adhérence, durabilité, résistance à l'abrasion...etc [16]. Sachant que chaque pneu neuf vendu génère un pneu usagé[17]. L'accumulation de ce dernier est devenue une énorme menace pour l'environnement et la santé humaine. Étant donné que les pneumatiques ne sont pas biodégradables, leur élimination nécessite une combustion conduisant à la libération des gaz nocifs. Néanmoins, de nombreux travaux de recherche ont été menés pour valoriser ces déchets dans diverses applications [18-21].

Récemment, l'ingénierie des matériaux polymères a reçu une attention croissante de la part de la communauté scientifique et technique pour sa capacité à concevoir et fabriquer des matériaux avec des propriétés souhaitables à des coûts raisonnables dans le domaine de la construction et de la réparation structurelle. Cependant, les mortiers modifiés aux polymères sont utilisés provisoirement comme matériaux de finition ou de réparation. Cependant, avec le développement des techniques de polymérisation et de composition, ces matériaux ont été largement utilisés comme matériaux de construction pour certaines applications[22] telles que : les dalles de sols, les chaussés, des barrières de sécurité en béton dans le domaine de la construction routière et des murs anti-bruit [14, 18, 23].

Dans ce chapitre nous traiterons d'une part l'impact environnemental des déchets pneumatiques ainsi que des généralités sur les pneumatiques, leurs structures et leurs compositions. Ensuite les principales méthodes permettant de traiter et de valoriser ces déchets. En dernier, nous citons les différents organismes qui contribuent au recyclage de ces déchets. D'autre part, nous parlerons des généralités sur les mortiers (définition, constituants, mortier de ciment, synthèses des travaux).

I.2 Impact environnemental des déchets pneumatiques

Les déchets des pneus usagés de l'industrie automobile continuent d'augmenter chaque année avec l'utilisation abusive des véhicules industriels. Selon les statistiques, la production annuelle de pneus dans le monde est d'environ 3 milliards et que la demande du marché continue de croître à un taux supérieur à 4%. Cette production importante entraîne inévitablement la production de milliards de pneus usagés en fin de vie [2].

En Algérie, D'après l'Agence Nationale des Déchets (AND) les pneus usagés sont classés parmi les déchets spéciaux ; celle-ci a effectué une étude sur l'évolution quantitative des pneus usagés à l'échelle nationale. En 2018, la quantité des pneus usagés est estimée à 288 216 milles de tonnes qui continue à augmenter d'une façon progressive les prochaines années (Figure I.1) (Tableau I.1) [24].

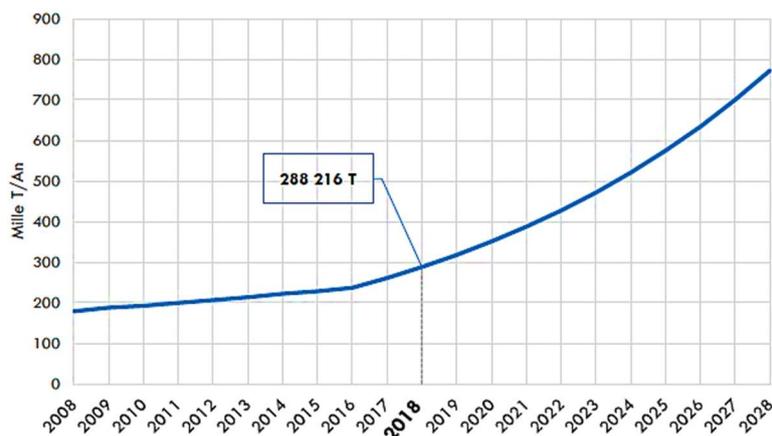


Figure I.1 : Evolution quantitative des pneus usagés en Algérie[25].

Tableau I.1 : Les quantités des pneus usagés générés en Tonne par an en Algérie [26].

Année	Quantité des pneus (Mille T/an)
2020	249 000
2021	281 958
2022	318 334

Les énergumènes trouvent que l'incinération des pneus usagés est la solution la moins chère et la plus simple pour les décomposer et extraire des fils d'aciers destinés à la revente. Cette dernière est l'un des principales causes qui contribue à la pollution atmosphérique en produisant des émissions nocives pour la santé publique et l'environnement.

Leurs incinérations dans les décharges publiques présentent une menace environnementale très difficile à maîtriser qui entraînent une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone CO₂ qui contribue au réchauffement climatiques ainsi que les composés organiques volatiles et les polluants atmosphériques toxiques (hydrocarbures polycycliques , dioxines, furanes, zinc ...etc) [3].

D'après le journal le parisien, Au Koweït, un incendie s'est déclaré août 2021 dans la plus grande décharge de pneus du monde d'une superficie de deux millions mètres carrés contenait plus de 40 millions de pneu usagé. Des colonnes de fumée toxique noire s'élevant haut dans le ciel sont visibles de loin (Figure I.2) [27].



Figure I.2 : Incendie à la décharge de pneus au Koweït [27].

Selon le journal d'Horizon quotidien national « des centaines de pneus usagés sont incinérés quotidiennement, à Bir El Djir wilayas d'Oran juste derrière l'ex-Poudrière de l'ONEX, du côté d'El Bouachkha par des énergumènes. Les habitants n'arrêtent pas de supplier les autorités locales, pour mettre fin à ce crime contre l'homme et la nature »[28].

En outre, ces polluants exposés dans l'environnement sont extrêmement dangereux pour la santé publique peuvent causer des problèmes cardiovasculaires, des allergies, des crises d'asthme, des maladies des bronches, des cancers du poumon ou de la peau, des problèmes de vision...etc [4].

I.3 Définition de caoutchouc

Le mot caoutchouc vient du l'inde « cauchu » qui désigne le bois qui pleure[29]. Il représente l'un des principaux composants dans la fabrication pneumatique.

Le caoutchouc est un polymère fait partie de la famille des élastomères qui le confère la propriété d'élasticité c'est-à-dire il se déforme sous l'action d'une contrainte et revient à son état initial lorsque la contrainte cesse. En plus, il conserve sa propriété d'élasticité à très basse température ; Où il se rigidifie à une température alentours de -50 °C. Ainsi, il est Caractérisé

par son imperméabilité et anti-vibration, bonne isolation électrique, durabilité[30]. On distingue 2 types de caoutchouc :

I.3.1 Le caoutchouc naturel

Ce type de caoutchouc est un produit naturel extrait de l'arbre « *Hevea brasiliensis* » qui se présente sous la forme d'un liquide blanc laiteux, appelé latex. Ce dernier est collecté par une incision sur l'écorce de l'arbre [31].



Figure I.3 : Récollette du latex d'un *Hevea brasiliensis* [32].

Ce type de caoutchouc est localisé dans de petites particules en suspension dans le latex, dont il représente plus de 90 % du poids sec. Ces particules sont constituées de 97 % de cis 1,4-polyisoprène dont la formule générale est $(C_5H_8)_n$; la membrane qui les entoure contient des protéines, des lipides et des glucides[31], puis le latex subit un traitement soit concentré par centrifugation, soit coagulé à l'acide donnant le caoutchouc solide[33].

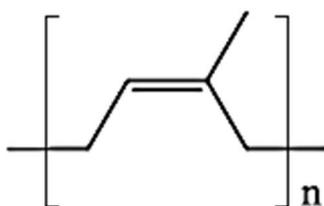


Figure I.4 : Structure du cis 1,4-polyisoprène[34].

Le caoutchouc naturel a une grande importance dans l'industrie automobile plus précisément dans le domaine du pneumatique car il est caractérisé par : une bonne résilience, résistance à la traction, résistance à l'abrasion et faible échauffement interne ainsi qu'il est produit de manière durable à partir d'une ressource renouvelable[35]. En outre, le caoutchouc naturel se solubilise dans les hydrocarbures aliphatiques, aromatiques et chlorés ; peut se précipiter à partir de solutions contenant des alcools, des cétones, des esters etc[36].

I.3.2 Le caoutchouc synthétique

Le caoutchouc synthétique est produit à partir des hydrocarbures d'origines pétrolières suivi d'une réaction de polymérisation [37] : un assemblage covalent des petites molécules (unités répétitives simples) appelée aussi les monomères pour former un composé plus complexe appelée polymères. Les différents types de caoutchouc synthétique sont : copolymères styrène-butadiène (SBR), polybutadiène (PB), polypropylène, polychloroprène (néoprène), copolymères acrylonitrile-butadiène...etc[38].

En outre, le caoutchouc synthétique représente 60 % des caoutchoucs utilisés dans l'industrie pneumatiques principalement le caoutchouc butadiène caractérisé par une bonne tenue à basse température, une bonne résistance à l'abrasion, à l'usure et à la propagation de fissures ainsi que sa faible résistance à l'ozone et le caoutchouc styrène-butadiène présente un faible coût, une grande résistance à l'abrasion, bonne tenue au vieillissement (oxygéné et l'ozone)[15, 37, 39].

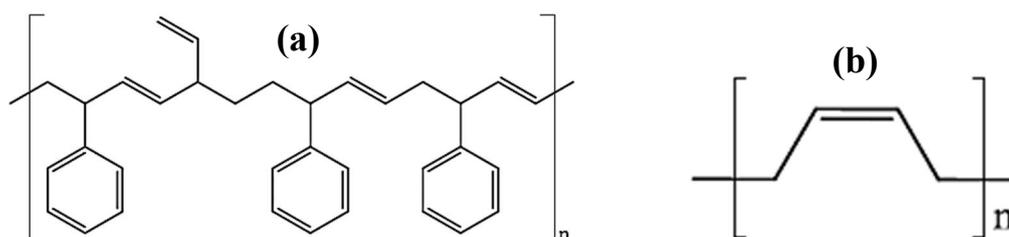


Figure I.5 : Structure du : (a) Copolymères styrène-butadiène (SBR), (b) Polybutadiène (PB)[34].

I.4 Les différents composants d'un pneu

Les pneus sont considérés comme des produits hautement techniques fabriqués à la suite d'un processus bien défini nécessitant un contrôle de qualité strict. Quelle que soit leur conception ou leur application spécifique, les pneus doivent assurer de nombreuses fonctions, notamment : fournir un amortissement ; transmettre la direction d'entraînement et le couple de freinage ; résister à l'usure ; faible résistance au roulement, durabilité[39].

Ainsi que la structure et la composition des pneus est complexe d'où, ils sont constitués à partir d'un mélange à base de caoutchouc, de fils métalliques, de fibres textiles, de charges renforçantes et des additifs[15].

Une vue en coupe transversale est illustrée dans la figure I.6, montre les principaux éléments de la structure d'un pneu :

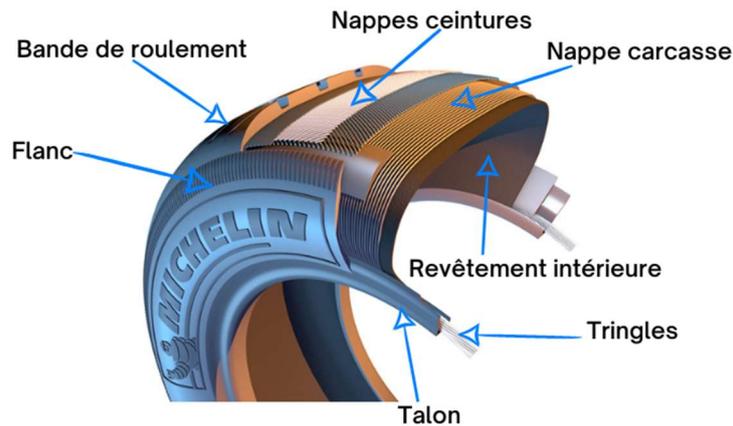


Figure I.6 : Les constituants d'un pneu [37].

- a) **Le revêtement intérieur :** est constitué d'une couche de caoutchouc synthétique imperméable pour éviter les fuites, situé à l'intérieur du pneu et qui agit comme une chambre à air [34, 37].
- b) **La nappe carcasse :** dite le squelette du pneu, elle est constituée par un assemblage de minces câbles en fibres textiles ou fils métalliques collés aux caoutchoucs, appelées les nappes. Ces câbles fournissent la rigidité au pneu, la résistance à la pression et absorbance des chocs de la route [34, 37, 39].
- c) **Les nappes ceintures ou sommet :** sont composées de couches en textiles ou en acier, sont situées entre la nappe carcasse et la bande de roulement. Elles permettent d'améliorer la stabilité, la résistance au roulement à grande vitesse du pneu et empêche la déformation du pneu [34, 37].
- d) **La bande de roulement :** représente la partie qui est en contact avec la route, elle est caractérisée par des « sculptures » creuser qui permettent à échapper l'eau, la neige, la poussière et la chaleur. Cette bande assure une bonne adhérence avec le sol, une haute résistance à l'abrasion, à l'usure et doit s'échauffer faiblement [34, 37].
- e) **Flanc :** ce sont les parties latérales du pneu, situées entre la bande de roulement et le talon. Ils garantissent la protection de la carcasse contre les chocs et les écorchures et peuvent contenir des informations sur le pneu telles que : largeur, hauteur, diamètre, indice de charge, indice de vitesse [34, 37].
- f) **Talon et triangles :** les talons assurent une liaison entre le pneu et la jante. Ils sont composés d'une tringle de fils d'acier recouvert de caoutchouc [34] permet le maintien du pneu sur la roue [37].

I.5 Composition chimique d'un pneu

La composition des pneus dépend de l'usage (longs trajets, charge, pression) et de l'environnement (qualité de la route, température, etc.). Le tableau I.2 résume les pourcentages en poids moyens des différents composants par type de pneu (tourisme, poids lourds) : [2, 15, 37, 40]

Tableau I.2 : Composition des pneus type véhicules légers et poids lourds [40].

Composants	Pneu tourisme (%)	Pneu poids lourds (%)	Commentaire
Caoutchoucs (élastomère)	47	45	Divers caoutchoucs naturels et synthétiques sont utilisés : polyisoprène, caoutchouc styrène-butadiène, caoutchouc chloroprène, caoutchouc polybutadiène... etc.
Noire du carbone et silice	21,5	22	Sont des charges renforçant servent à améliorer la résistance à l'abrasion et au roulement.
Métal	16,5	21,5	Des fils d'acier sont utilisés dans le talon pour fixer le pneu et sous la bande de roulement pour rigidifier la carcasse du pneu et améliorer la résistance à l'usure.
Fibre textile	5,5	-	Sont utilisées comme matériaux de renforcement pour assurer la stabilité

			dimensionnelle et supporter la charge des pneus tels que : polyester, nylon et aramide.
Soufre	1	1	Est un agent de vulcanisation augmente l'élasticité, améliore la résistance et la dureté des pneus.
Oxyde de zinc	1	2	Agit comme un activateur pour accélère la vulcanisation du caoutchouc avec du soufre.
Additifs	7.5	5	Comme : Les antioxydants qui empêchent les phénomènes d'oxydation de se produire en cas d'exposition à des températures élevées et à l'oxygène. Les antiozonants empêchent la détérioration du caoutchouc causé par l'ozone.

I.6 Recyclage et valorisation des pneus usés

Le recyclage des pneumatiques usagés est devenu une exigence majeure en raison de leur accumulation excessive (ne se dégradent pas facilement) ce qui conduit à leur élimination par l'incinération, qui constitue un danger environnemental à grande échelle[34].

Le processus de recyclage des pneus peut inclure les étapes suivantes :

- **La collecte** : les pneus usagés sont collectés auprès des décharges, des vulcanisateurs, des revendeurs, des sociétés de transport ou des particuliers...etc.
- **Le tri** : les pneus collectés sont triés selon leur taille, leur type et leur état. Les pneus en bon état sont envoyés au marché d'occasion pour la réutilisation et les pneus non réutilisables sont acheminés vers les cimenteries où le caoutchouc est utilisé comme combustible pour les fours, tandis que les pneus usagés sont destinés au recyclage.
- **Le déchiquetage** : cette étape consiste à couper et déchiqeter les pneus en petits morceaux pour faciliter la transformation ultérieurement.
- **Le broyage** : Le caoutchouc est broyé pour produire des granulés de différentes tailles (granulats ou poudrette), selon les applications souhaitées. Au cours de laquelle le métal est extrait à l'aide d'aimant qui sera envoyé aux industries d'acier.
- **Stockage et fabrication des nouveaux produits** : les granulés sont stockés dans des alvéoles ou des bacs et envoyés vers différentes industries où ils sont utilisés comme matière première pour la fabrication de divers produits tels que : Aires de jeux ; Piste d'athlétisme ; La fabrication d'acier comme additif anti-rouille ; Revêtement de chaussées...etc.

Les options de valorisation des matériaux recyclés à partir des pneus usés offrent un fort potentiel économique, qui consiste à donner une seconde vie aux pneus usagés en les transformant en produits utiles où en les utilisant comme source d'énergie.

Les principales formes de valorisation des pneus sont :

Le rechapage : c'est le processus de renouvellement de la bande de roulement usée de la carcasse du pneu par une neuve. Cela permet de prolonger la durée de vie des pneus et maintient leurs performances optimales. Cette intervention suit une réglementation stricte pour garantir une utilisation en toute sécurité par l'utilisateur. Après le rechapage, les nouveaux pneus passent par un contrôle similaire à un pneu neuf avant l'utilisation. Cette technique est encore largement utilisée sur le marché des pneumatiques pour poids lourds[39].

Valorisation énergétique : La valorisation énergétique consiste à utiliser les pneus usagés comme combustible dans les chaudières industrielles, les centrales thermiques et les cimenteries pour produire de l'énergie grâce à un pouvoir calorifique élevé des pneus d'environ 30 MJ/Kg[41]. En effet, d'un point de vue énergétique, 3 tonnes de pneus équivalent à 2 tonnes de carburant[17]. Cette énergie est utilisée pour fournir de la chaleur et/ou de l'électricité [15].

Valorisation matière : est le processus de traitement et de transformation d'un pneu usagé pour permettre une nouvelle utilisation sous forme de :

- Broyats sont utilisés pour les secteurs du génie civil et de la construction comme sous-couches drainantes ou enrobés pour la construction de route...etc.
- Granulats ou poudrettes peuvent directement servir à la fabrication de revêtements pour les surfaces sportives et aires de jeux, à la confection de sols synthétiques et d'objets moulés principalement destinés au secteur automobile, être incorporés dans des thermoplastiques ou encore être utilisés par des procédés de traitement spécifiques (pyrolyse, dévulcanisation, etc.)[39].

I.7 Les organismes de recyclage des pneus usagés dans le monde

Il existe de nombreux centres de recyclage de pneus usagés dans le monde. Dans le tableau I.3 on cite quelques exemples de centres de recyclage dans différents pays :

Tableau I.3 : Les différentes entreprises de recyclage des pneus usagé dans le monde.

Pays	Entreprise de recyclage
Etat unis	Liberty Tire Recycling, Eco-Flex, Western Tire Recyclers
France	Aliapur, GUY DAUPHIN environnement (GDE NORMANDIE), Valpaq, Alpha Recyclage Franche-Comté, Granulatex, Soregom
Australie	Tyrecycle, Green distillation technologies, The Australian Tyre Recyclers Association (ATRA)
Royaume-Uni	Pro Tyre Recycling Ltd, BIG ATOM Tyre Recycling, Envirotyre UK Ltd Rubber Recycling Solutions
Japan	Bridgestone recycling, Yokohama rubber recycling
Portugal	Valorpneu
Tunisie	Société tunisienne de recyclage des pneus STRP
Belgique	Trans Recycling Wirtz

Emirats arabes unis	Tadweer (تدوير)
Suisse	Tyre Recycling Solutions SA (TRS)
Libya	مصنع شبام لتدوير الإطارات
Egypte	شركة هانا مصر الدولية للتصنيع (مطاط مجدد)

En Algérie :

Tableau I.4 : Les installations de la valorisation des pneus usagés en Algérie [26].

Entreprise	Adresse	Observation
Sarl MAPLAC	Cité ouled brahim lot 05 groupe 45 hammadi Wilaya de Boumerdes	Actif
Sarl RECYTECH	Zone d'Activité Elhachemia Wilaya de Bouira	Actif
Sarl DOUIB RECYCLAGE CAOUTCHOUC	S'Mara commune de Guedjel, Wilaya de Sétif	En arrêt
SARL HOUARA GRANDS	Commune de Teleghma Wilaya de Mila	Actif
Sarl GOMETECH	Boulevard 01 novembre cité gaazane, sidi-aich Wilaya de BEJAIA	Refus d'accès au site
Sarl JET GRAIN	Ain torki Wilaya de Ain Defla	Actif
Sarl PROHAYFA (Batna)	Ben tarref route nationale N°75 Ain djasser Wilaya de Batna	Actif
Sarl EL GHAZALA RECUPERATION	Route Nationale N°75, Commune d'Ain Djasser Wilaya de Batna	Actif
Sarl REC-ECO	Zone SOGEDIA Ilot 176 N° 6 Wilaya de Mostaganem	En arrêt
Sarl PROHAYFA (Oran)	Wilaya d'Oran	En arrêt
Sarl BERACHED MOUNIR	Commune sidi chahmi Wilaya d'Oran	Actif

I.8 Généralités sur le mortier

I.8.1 Définition d'un mortier

Le mortier est un matériau de construction obtenu en mélangeant du liant (ciment ou chaux), du sable et d'eau, parfois accompagné d'adjuvants, dans des proportions précises pour obtenir une consistance plastique adaptée à la mise en œuvre. Il est utilisé pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage et combler les interstices entre les blocs de construction. Il existe plusieurs types des mortiers, dans notre étude nous nous intéressons au mortier du ciment [42].

I.8.2 Les constituants d'un mortier

I.8.2.1 Les Liants

Généralement liant hydraulique peut être du ciment, de la chaux, ou l'un des divers mélanges de ces matériaux sont employés sous forme de poudre fine. Ils durcissent en présence d'eau pour former une masse solide et résistante[43].

I.8.2.2 Granulats

C'est l'ensemble des grains inertes de différentes dimensions destinées à être agglomérés par un liant et à former un agrégat. Ils peuvent être d'origine [44]:

« **Naturels** » proviennent du concassage des roches dures ou la désagrégation des roches par l'eau, vent... etc.

« **Artificiels** » résultent de la transformation thermique des roches, de minerais, des sous-produits industriels.

« **Recyclés** » obtiennent par la démolition des ouvrages existants en béton suivi d'un traitement.

Le sable est le granulats le plus couramment utilisé. Sa limite granulométrique est comprise entre 0-4 mm.

I.8.2.3 Eau de gâchage

C'est un élément clé pour la préparation du mortier, il sert à hydrater le liant, facilite la mise en œuvre du mortier et contribue à son ouvrabilité. Le choix de la quantité d'eau de gâchage est très important, car un excès d'eau peut nuire à la résistance, à la porosité et à la durabilité du mortier. Une quantité d'eau insuffisante peut rendre le mortier difficile à manipuler et réduire son adhérence et sa résistance. L'eau doit être propre et exempt d'impuretés nuisible[43].

I.8.2.4 Adjuvants

Les Adjuvants sont des produits chimiques se présentent sous forme d'un liquide ou poudre qui sont incorporés en faible quantité dans le mortier lors de malaxage ou avant la mise en œuvre. Ils servent à modifier les propriétés du mélange à l'état frais (facilité la mise en œuvre et pour plus d'ouvrabilité) et/ou à l'état durci (en termes des performances mécanique et de résistance). il existe différents types d'adjuvants tels que : les plastifiants, les fluidifiants, les accélérateurs de prise, les hydrofuges ...etc[43, 45].

I.8.2.5 Ajouts

- Poudre fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice...);
- Fibres de différentes natures ;
- Colorants ;
- Polymères [46].

I.8.3 Que ce que c'est un mortier de ciment ?

Le mortier de ciment est un matériau de construction largement utilisé dans de nombreux types de travaux de construction et de rénovation. Il est composé de ciment (généralement ciment portland), de sable et d'eau. Il est très résistant, imperméable et durci rapidement [42].

I.8.4 Synthèse sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment à base des granulats de caoutchouc à l'état durci

I.8.4.1 Masse volumique à l'état sec

Selon S.Boukour, la masse volumique d'un mortier est influencée par sa composition, notamment la densité des granulats utilisés [6]. Lors de l'ajout des granulats de caoutchouc en substitution des granulats naturels dans un mortier, la masse volumique de ce dernier est plus faible par rapport à celle d'un mortier ordinaire. Cela est dû à la faible densité des granulats de caoutchouc [8, 9, 47]. D'autre chercheurs ont constaté que la masse volumique des mélanges à base des granulats de caoutchouc diminue à mesure que la proportion de caoutchouc augmente, allant de (0 -100%)[7, 10, 48, 49].

Mahmod et al ont mené une étude comparative de la densité des mélanges à base de granulats de caoutchouc (crumb rubber) par rapport à un mélange classique. Les résultats ont montré une diminution de la densité des mélanges caoutchoutés de l'ordre de 4,9%, 10,5% et 12,2% pour des teneurs en caoutchouc de 10%, 20% et 30%, respectivement, comme indiqué dans la figure I.10 [50].

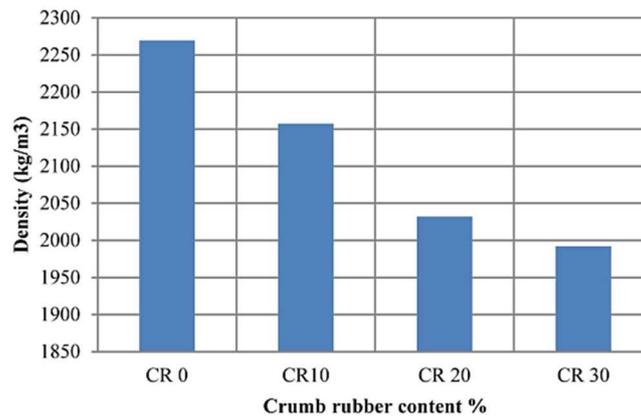


Figure I.7 : Densité par rapport au taux de substitution du granulat fin par des miettes de caoutchouc [50].

Sukontasukkul et al ont suggéré que la floculation des particules de caoutchouc lors du malaxage du mortier avec des teneurs croissantes en caoutchouc peut avoir un effet sur la diminution de la densité des échantillons de mortier. Cette floculation peut créer de grands vides à l'intérieur du bloc ce qui traduit par une grande porosité et une absorption d'eau élevée qui baisse finalement la densité [51].

Une autre étude a montré que la dimension du granulat de caoutchouc a une influence sur la densité des mélanges du mortier. Pour une même teneur en caoutchouc, les mélanges à base de granulats fins ont une faible densité par rapport aux granulats grossiers [11].

I.8.4.2 Résistance à la compression

D'après S.Boukour, La résistance mécanique est un critère essentiel à prendre en compte dans la conception du mortier. En général, la résistance à la compression est considérée comme un bon indicateur des propriétés mécaniques du matériau à l'état durci. Cette résistance dépend de nombreux paramètres tels que le type et le dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, les conditions de réalisation et de crue, etc[6].

Cependant, La quantité de sable utilisée a une incidence significative sur la résistance du mortier. Par conséquent, la substitution du sable par du caoutchouc entraîne la formation d'une matrice moins résistante, ce qui conduit à une résistance à la compression plus faible[6].

Les granulats en caoutchouc présentent une grande souplesse et élasticité, bien supérieure à celle de la matrice cimentaire. Les interfaces entre ces granulats et la pâte de ciment sont également plus larges et poreuses que celles des granulats naturels classiques [7, 12, 52].

Les recherches menées par la communauté scientifique s'accordent que l'utilisation de granulats en caoutchouc a un effet négatif sur la résistance en compression du mortier. Les mesures effectuées confirment cette observation. Cette détérioration est d'autant plus marquée lorsque le taux de substitution est élevé et que les granulats en caoutchouc utilisés sont de petite taille. Elle s'accompagne également d'une diminution du module d'élasticité [12, 53-55].

Des études ont indiqué que la résistance à la compression peut être réduite de 80 à 90% en fonction de la taille et du type des granulats de caoutchouc utilisés, pour une teneur en caoutchouc allant jusqu'à 100% [56, 57].

Selon Benazzouk et al, la résistance à la compression diminue considérablement avec l'augmentation de la teneur en granulats de caoutchouc. Pour une proportion variant de 0 à 100%, la résistance à la compression évolue de 36 MPa pour le mortier de référence à 6,5 MPa, ce qui représente une réduction d'environ 82% (Figure I.11) [47].

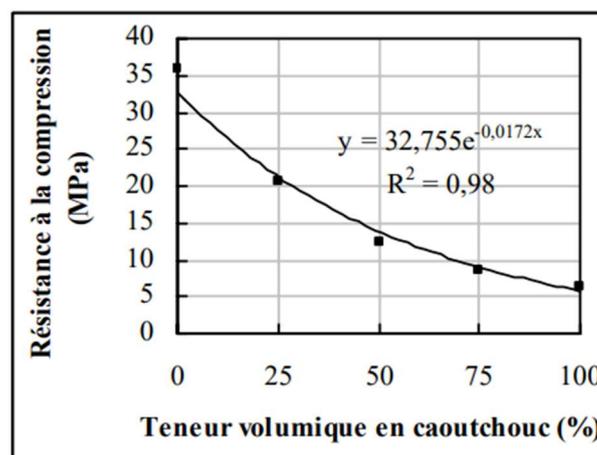


Figure I.8 : Evolution de la résistance à la compression des composite [47].

Guelmine et al, ont constaté que l'incorporation de granulats de caoutchouc recyclé entraîne une diminution de la résistance en compression. Cette perte de performance mécanique est principalement due à la faible adhérence entre les particules de caoutchouc et la matrice cimentaire (Figure I.12). En effet, lors du chargement, le transfert de contraintes se produit essentiellement à l'interface GCR/matrice, et la faible rigidité des particules de caoutchouc, entraîne une faible adhérence ce qui favorise la rupture rapide des mortiers de caoutchouc par rapport au mortier témoin sans GCR [58]. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par d'autres chercheurs sur les bétons et/ou mortiers à base de particules de caoutchouc [59-61].

Les observations au Microscope Electronique à Balayage (Figure I.12) ont révélé que l'incorporation de particules de caoutchouc entraîne une augmentation significative de la porosité à l'interface GCR/Liant en raison de défauts d'adhérence[58].

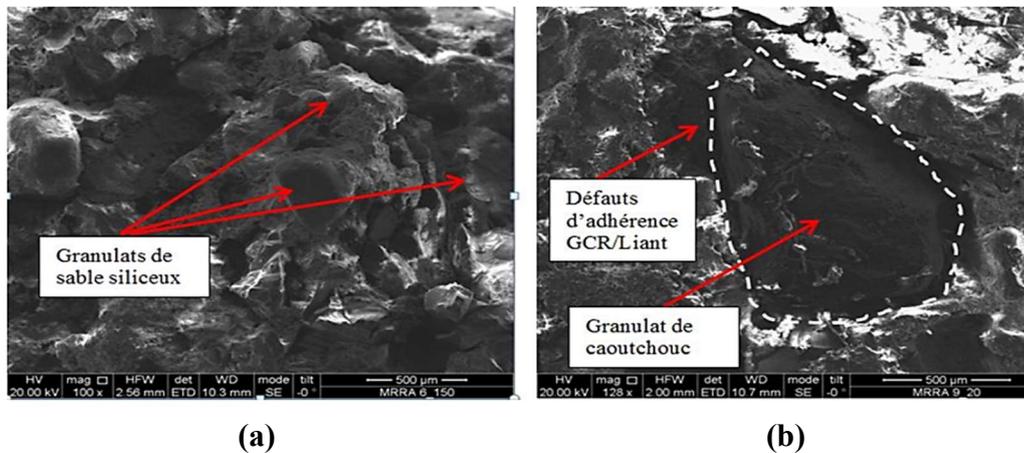


Figure I.9 : Observations au MEB de la microstructure de mortier témoin (a) Le mortier de caoutchouc (b) Mise en évidence de la zone d'interface [58].

I.8.4.3 Résistance à la flexion

Une diminution de la résistance à la flexion est observée lorsque les granulats naturels d'un béton ou d'un mortier sont remplacés par des granulats de caoutchouc avec un taux de substitution élevé. Cette perte de performance est due à la faible adhérence entre les particules de caoutchouc et la pâte de ciment[12, 62, 63].

Aiello et al, ont montré que le remplacement de l'agrégat grossier par des granulats de caoutchouc réduisent également la résistance à la flexion, en particulier par rapport aux agrégats fins [64]. Des résultats similaires ont été rapportés par d'autres chercheurs. Cependant, l'utilisation de poudrette de caoutchouc avec une granulométrie plus fine a montré une amélioration de la compacité du mélange et de la résistance à la flexion au lieu de copeaux de caoutchouc grossier [65, 66].

Lors des essais de flexion, des observations visuelles ont montré que les échantillons de mortier de référence (sans caoutchouc) ont éclaté brutalement, indiquant un mode de rupture fragile. Tandis que les échantillons de mortier caoutchouté, en particulier à 10% et 15% de remplacement de granulats fins ont présenté un mode de rupture ductile qui sont restés intacts après défaillance [64, 67].

I.8.4.4 Conductivité thermique

Selon diverses études, les chercheurs ont constaté que l'ajout de granulats de caoutchouc dans la matrice cimentaire diminue la conductivité thermique pour une teneur en caoutchouc allant de 0% à 100%. Cette réduction est due à la porosité élevée des mélanges caoutchoutés par rapport à celle du mélange témoin (sans caoutchouc) et le faible coefficient de la conductivité thermique du caoutchouc [58, 68-70]. Cette propriété avantageuse des GCR peut être investie pour améliorer l'isolation thermique des matériaux cimentaires, et utiliser comme un matériau de revêtement extérieur pouvant contribuer au système d'enveloppe des bâtiments (réduire la consommation d'énergie) [11, 13, 58, 71].

Meshgin et al, ont démontré que la conductivité thermique du mortier contenant des granulats de caoutchouc est influencée non seulement par la quantité du granulats présente, mais aussi par la taille des particules [69]. En effet, plus la taille des granulats est petite plus la conductivité thermique du mortier caoutchouté est faible. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres chercheurs, qui ont confirmé que le mortier caoutchouté fin a un effet plus important sur la conductivité thermique que le mortier caoutchouté grossier [68, 70].

I.8.4.5 Isolation acoustique

Plusieurs études ont indiqué que le mortier à base de granulats de caoutchouc recyclé à une meilleure absorption acoustique par rapport au mortier ordinaire. Les mesures effectuées montrent que l'augmentation des teneurs en caoutchouc entraîne une diminution de la vitesse de propagation ultrasonore [68, 70-74].

Ghizdaveţ et al, ont étudié les propriétés d'absorption acoustique du mortier caoutchouté préparé avec différents rapports eau/ciment (0,45, 0,5 et 0,55) pour une teneur en caoutchouc variable de (5 et 7,5 %) de taille comprise entre 0,5 et 4 mm, utilisés en substitution des granulats fins naturels. Un matériau est considéré comme un matériau insonorisant si son coefficient d'absorption acoustique est supérieur à 0,5. les résultats obtenus rapportent que l'ajout de 5 % d'agrégats de caoutchouc recyclé a permis d'obtenir une augmentation significative du coefficient d'absorption acoustique qui a atteint 0,93 [72].

Guelmine et al, ont enregistré une chute de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques de l'ordre de (9.37% ; 17.18 % ; 26.56%) pour des teneurs en caoutchoucs de 3%, 6% et 9% respectivement, par rapport au mortier témoin. Cette diminution est expliquée par la capacité des GCR à absorber ces ondes. Les GCR se comportent comme des vides dans la structure des matériaux cimentaires, ce qui augmente le temps de propagation de l'onde

ultrasonore et réduit ainsi sa vitesse de propagation. Cette capacité élevée d'absorption des chocs mécaniques des GCR peut être exploitée pour améliorer le confort acoustique, en particulier pour les constructions situées à proximité des autoroutes où le niveau de bruit est élevé [14].

I.9 Conclusion

Il ressort de ce chapitre que l'évolution des pneus usagés en Algérie ne cessent d'augmenter, d'où il est important de gérer les déchets pneumatiques de manière responsable, en favorisant des options de gestions plus durables tels que le recyclage, plutôt que l'incinération, pour minimiser leur impact écologique tout en visant la valorisation de ces déchets par l'incorporation des granulats de caoutchouc recyclés dans la préparation des mortiers.

*Chapitre 2 : matériaux utilisés
et procédures expérimentales*

II.1 Introduction

Le but de ce présent travail est de synthétiser un nouveau matériau en ajoutant des granulats de caoutchouc recyclés des pneus usagés sur les propriétés de mortier de ciment en vue de l'utilisation de ce nouveau composite élaboré dans la construction des murs de séparation.

Dans ce chapitre, nous présenterons les matériaux utilisés, la formulation et le mode opératoire que nous avons mené pour la confection du mortier. Par la suite, nous décrivons les différents tests réalisés pour caractériser notre mortier. Les essais ont été effectués au niveau du Laboratoire de Génie Civil à l'université d'Ain Témouchent.

II.2 Matériaux utilisés

II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est de type **CEM II/A-L 42,5** suivant la norme algérienne NA 442, provenant de la cimenterie de Béni-Saf (wilaya d'Ain Temouchent, Algérie).



Figure II.1 : Ciment utilisé [75].

La composition chimique et les caractéristiques physico-mécaniques du ciment employé ont été effectuées au niveau du laboratoire de la cimenterie sont présentés dans les tableaux II.1 et II.2 respectivement.

Tableau II.1 : La composition chimique du ciment utilisé en (%) [75].

SiO₂	16 - 21
Al₂O₃	4,5 - 5,2
Fe₂O₃	2,7 - 3,5
CaO	58 - 64
MgO	0,8 - 1,2
SO₃	1,5 - 3,5

Na₂O	0,25 - 0,5
K₂O	0,2 - 0,45
Cao libre	0,2 - 1,5
PF	5 - 10

Tableau II.2 : Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé [75].

Début de prise (min)	80 – 160
Surface spécifique de Blaine (cm² /g)	2960 - 4200
Consistance (%)	25,5 – 26,8
La résistance à la compression 28 jours (N/mm²)	42,5 – 52,5

II.2.2 Sable

Le sable utilisé est un sable de carrière provenant de la carrière Djebel Abiod de Sidi Abdelli qui appartient à l'entreprise nationale des granulats (EMG) (wilaya de Tlemcen) .sa granulométrie est de 0-4 mm.



Figure II.2 : Sable de carrière (0-4mm).

II.2.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée est une eau potable issue du robinet de Laboratoire de Génie Civil d'université d'Ain Témouchent.

II.2.4 Granulats de caoutchouc recyclés

Les granulats de caoutchouc utilisés sont obtenus à partir du broyage mécanique de pneus usagés, proviennent d'une entreprise privée (spécialisé dans la réalisation des terrains de foot

synthétique) située à la région de Sabra wilaya de Tlemcen. Leur granulométrie varie de 0 à 4 mm. Ils sont utilisés en substitutions massiques du sable.



Figure II.3 : Granulats de caoutchouc (0-4mm).

II.3 Formulation du mortier étudié

Pour préparer un mortier témoin (MT) nous avons utilisé la méthode de formulation d'un mortier normalisé suivant la norme française EN 196-1 [76]. Cette méthode est basée sur une portion de ciment, trois portions de sable avec un rapport E/C = 0,5.

La composition massique du mortier est la suivante :

- Sable = 1350 ± 65 g ;
- Ciment = 450 ± 62 g ;
- Eau de gâchage = 225 ± 61 g [76].

C'est à partir de cette formulation que nous avons préparé trois mortiers dans lesquels le sable a été substitué par les particules de caoutchouc à des teneurs massiques de 10, 20, 30%.

II.3.1 Compositions des mortiers

Les compositions étudiées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.3 : Compositions des différents mortiers réalisés.

Désignation du mélange	Substitution (%)	Ciment (g)	Sable (g)	Granulats de caoutchouc (g)	Eau (g)
MT	0	450	1350	0	225
MGCR10	10	450	1215	135	225
MGCR20	20	450	1080	270	225
MGCR30	30	450	945	405	225

Nomenclature des composants :

MT : mortier témoin, MGCR : mortier de granulats de caoutchouc recyclés.

II.4 Procédure expérimentale

II.4.1 Préparation du mortier

II.4.1.1 Pesage des composants

Nous avons commencé par effectuer une pesée de chaque composant du mortier pour toutes les formulations mentionnées dans le tableau II.3.



Figure II.4 : Pesage des composants.

II.4.1.2 Préparation de la pâte

Le protocole de la préparation du mortier est le suivant :

Dans la cuve du malaxeur, une quantité d'eau et du ciment pesé au préalable ont été ajoutés, en suite on démarre le malaxeur à une vitesse lente pendant 30 secondes. Après cela, nous avons introduit du (sable, granulats du caoutchouc) pendant les 30 secondes suivantes. Ensuite, nous avons augmenté la vitesse du malaxeur, en continuant le malaxage pendant 30 secondes supplémentaires. Par la suite nous avons arrêté le malaxeur pendant 1 minute et 30 secondes. Pendant les 15 premières secondes de cette période d'arrêt, nous avons enlevé à l'aide d'une

raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient, en le repoussant vers le milieu. Enfin, Nous avons repris le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes [76].



Figure II.5 : Le malaxeur.

II.4.1.3 Confection des éprouvettes

Les essais expérimentaux sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques de section carrée de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Elles doivent être moulées immédiatement après la préparation du mortier. Le moule métallique préalablement huilé à trois alvéoles est fermement fixé à la table à choc. On commence par introduire la première couche du mortier, qui est étalée uniformément à l'aide d'une spatule, puis serrée par 60 chocs. Par la suite, une deuxième couche est ajoutée à l'aide d'une spatule et serrée à nouveau par 60 chocs. Puis, nous avons répété le même procédé pour la troisième fois. Le moule est ensuite retiré de la table à choc et l'excédent de mortier est enlevé par arasage à l'aide d'une spatule. Enfin la surface des éprouvettes est lissée. Nous avons laissé les moules à l'air libre pendant 24h afin qu'elles puissent sécher [76].

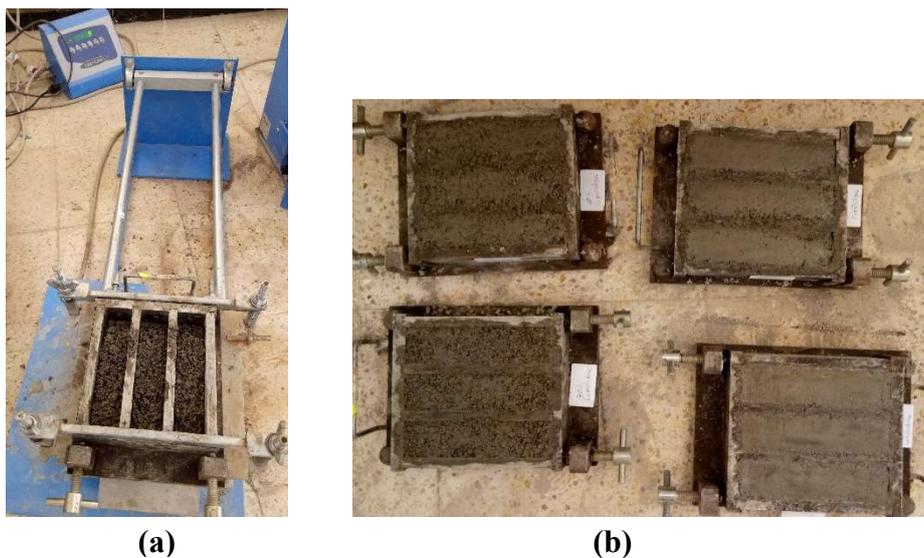


Figure II.6 : (a) Table à choc et (b) Des moules prismatiques remplis.

II.4.1.4 Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24 heures, les éprouvettes sont soigneusement démoulées et identifiées par des chiffres puis immergées dans un bassin d'eau potable pour une durée de 14 et 28 jours pour l'hydratation complète du ciment [76].

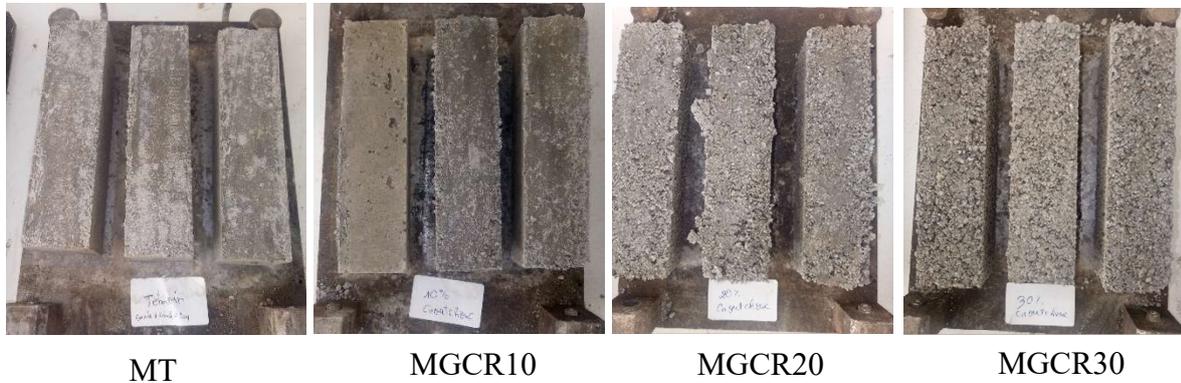


Figure II.7 : Les éprouvettes démoulées.



Figure II.8 : Conservation des éprouvettes dans l'eau.

II.4.2 Les tests réalisés

Les résistances mécaniques en compression, en flexion, la vitesse de propagation d'impulsion ultrasonore et la conductivité thermique ont été évaluées sur les éprouvettes après avoir été conservées dans l'eau. Elles ont été séchées à l'air libre pendant 1 à 3 heures avant d'être soumises aux essais normalisés [76]. Quatre (4) échantillons ont été testés pour chaque formulation.

II.4.2.1 Essai de traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction par flexion a été réalisée à l'aide d'une machine d'essai de résistance à la flexion en trois points de marque « PRODIDAC » permettant

d'appliquer des charges jusqu'à 50 kN conformément à la norme EN 196-1. L'objectif de cet essai consiste à rompre l'éprouvette [76].



Figure II.9 : Dispositif de l'essai de flexion.

Pour réaliser cet essai nous avons suivi les étapes ci-dessous : nous avons inséré l'échantillon prismatique dans le dispositif de flexion en orientant la face de moulage sur les rouleaux de support et en plaçant l'axe longitudinal du prisme perpendiculairement à ces derniers. Ensuite, nous avons appliqué la charge verticalement sur la face latérale opposée du prisme à l'aide du rouleau de chargement jusqu'à ce que l'échantillon se rompe. Puis, nous avons maintenu les moitiés de prisme humides jusqu'au moment des essais en compression [76].



Figure II.10 : La rupture des éprouvettes de 14 jours par essai de flexion.

Le calcul de la résistance à la flexion R_f en MPa au moyen de la formule : [76]

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (\text{II.1})$$

Où :

- R_f : la résistance à la flexion, en MPa ;
- b : le coté de la section carrée du prisme, en mm ;

- F_f : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N ;
- l : la distance entre les appuis, en mm .

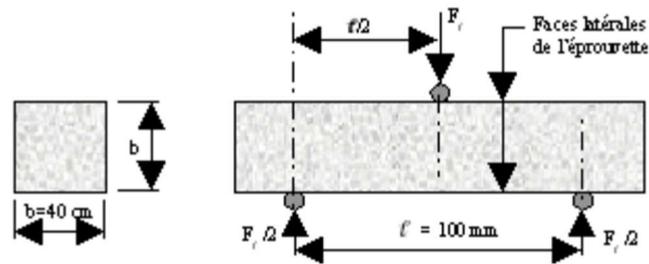


Figure II.11 : Schéma d'essai de flexion d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ [77].

II.4.2.2 Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée au moyen d'une presse hydraulique de marque « PRODIDAC » permettant d'appliquer des charges jusqu'à 100 KN selon la norme EN 196-1 [76]. Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion ont été ensuite soumises à un écrasement en appliquant une force sur les faces latérales de moulage, sous une section de 40 mm x 40 mm. Cet essai consiste à augmenter progressivement la charge d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'échantillon [78].



Figure II.12 : Dispositif de l'essai de compression.

Pour réaliser cet essai, il convient de : [76]

- Positionner chaque demi-prisme de manière centrale par rapport aux plateaux de la machine avec une précision de $\pm 0,5 \text{ mm}$ pour l'axe latéral et de façon à ce que l'extrémité de l'échantillon dépasse 10 mm en porte-à-faux par rapport aux plateaux ;
- Appliquer la charge de manière progressive avec une vitesse constante jusqu'à la rupture ;

- La charge de rupture correspond à la valeur maximale enregistrée au cours de l'essai.

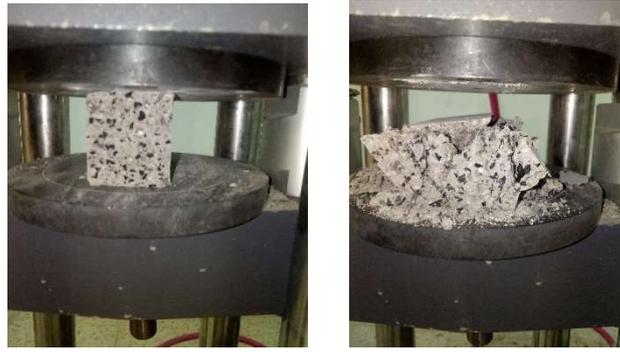


Figure II.13 : Ecrasement de la demi-prisme MGCR10.

Le calcul de la résistance à la compression R_c en MPa selon la formule [78] :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (\text{II.2})$$

Où :

- R_c : la résistance à la compression, en MPa ;
- F_c : la charge maximale à la rupture, en N ;
- b : le coté de la section carrée du prisme, en mm.

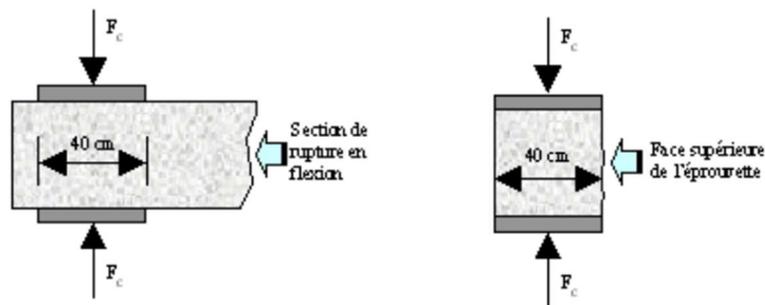


Figure II.14 : Schéma d'essai de compression sur une demi-prisme [77].

NB : Les essais d'auscultation dynamique et conductivité thermique ont été réalisés sur des éprouvettes à l'âge de 28 jours.

II.4.2.3 Essai d'auscultation dynamique

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) et le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée à travers le mortier. Ces deux paramètres sont mesurés à l'aide d'un appareil de teste ultrasonique de marque « PROCEQ -PUNDIT LAB » conformément à la norme NF EN 12504-4 [79]. Cet appareil est constitué de :

- Un générateur d'impulsions électriques ;
- Une paire de transducteurs (émetteur et récepteur) ;
- Un amplificateur ;
- Une barre de calibrage ;
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une onde générée par le transducteur-émetteur et son arrivée au transducteur-récepteur [79].



Figure II.15 : Appareil de teste ultrasonique.

Afin d'effectuer cet essai, il convient de :

- Calibrer régulièrement cet appareil à l'aide de la barre de calibrage. Il est particulièrement important de le faire si la fréquence du transducteur est modifiée ou si les câbles sont changés ;
- Choisir la surface à tester, de préférence lisse et sans crevasse pour permettre un contact acoustique correct en utilisant une fine couche du produit couplant sur chaque transducteur et la surface à tester ;
- Placer et appuyer les transducteurs sur la surface d'éprouvette puis relever les valeurs affichées [80].



Figure II.16 : Mesure de la vitesse de propagation de son.

II.4.2.4 Essai de conductivité thermique

La conductivité thermique des éprouvettes est mesurée au moyen d'un conductimètre thermique de marque « KD2 Pro » selon la norme ASTM D 5334-08 et IEE 442-03 [81]. Cet appareil est composé de :

- Le boîtier principal ;
- 3 sondes ;
- Pâte thermique arctic silver 5 ;
- 2 barres étalons [81].

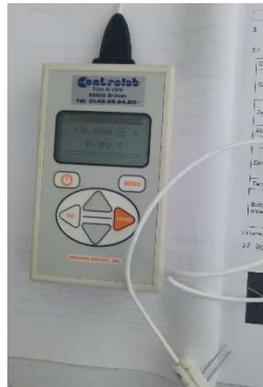


Figure II.17 : Conductimètre à une sonde SH1.

Pour cela, on utilise une sonde double appelée SH1, qui se compose de deux tiges de 30 mm de longueur et de 1,3 mm de diamètre, espacées de 6 mm. L'une des tiges porte l'élément de chauffe et l'autre l'élément de mesure de la température. Cette sonde permet de mesurer la conductivité thermique, la capacité thermique volumique et la diffusivité thermique des échantillons [81].

Afin de mener à bien cet essai, il est nécessaire de :

- Réaliser un trou dans l'éprouvette du mortier à l'aide d'une perceuse électrique (au moins 100 mm) ;
- Enduire la sonde avec de la pâte (arctic silver 5) et enfoncer la sonde dans le trou ;
- Relever les valeurs affichées [81].

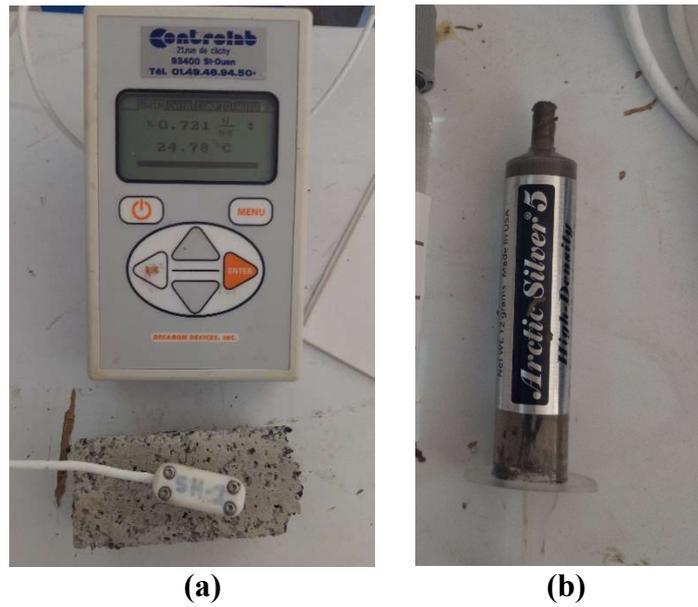


Figure II.18 : (a) La mesure de la conductivité thermique, (b) La pâte thermique arctic silver

5.

*Chapitre 3 : Résultats et
discussion*

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous mettons en évidence tous les résultats expérimentaux obtenus à partir des différents tests réalisés sur les éco-composites à base de granulats de caoutchouc, en suivant les modes opératoires décrits dans le chapitre 2. Une analyse et une discussion des résultats, suivi d'une comparaison avec ceux rapportés dans la littérature, y seront également présentées.

III.2 Résultats et interprétations

III.2.1 Résistance à la traction par flexion

Le pourcentage de réduction pour les différents tests réalisés est calculé par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de Réduction} = \left(\frac{\text{Valeurs MT} - \text{Valeurs MGCR}}{\text{Valeurs MT}} \right) \times 100 \quad (\text{III.1})$$

Dans le tableau III.1 et la figure III.1 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la résistance à la traction par flexion pour les différentes formulations des mortiers d'étude à l'âge de 14 et 28 jours.

Tableau III.1 : Résultats de la résistance à la traction par flexion à 14 et 28 jours.

Mortiers	La résistance à la traction par flexion (MPa) à 14 jours	Pourcentage de Réduction (%)	La résistance à la traction par flexion (MPa) à 28 jours	Pourcentage de Réduction (%)
MT	6,10	/	6,56	/
MGCR10	3,05	50	4,22	36
MGCR20	2,11	65	2,11	68
MGCR30	1,41	77	1,64	75

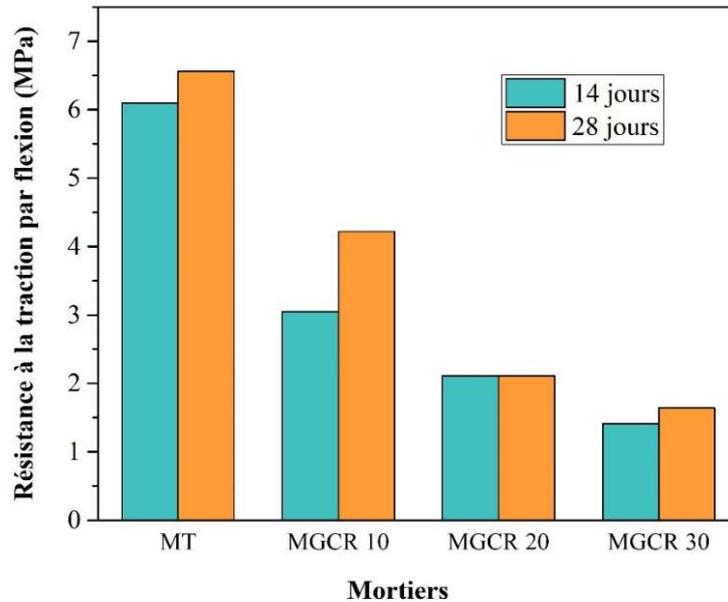


Figure III.1 : Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés à 14 et 28 jours.

L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction des mortiers étudiés, à l'âge de 14 et 28 jours, est illustrée dans la figure III.1. La figure montre clairement que l'ajout de granulats de caoutchouc recyclés provoque une chute de la résistance à la flexion. En effet, pour une teneur en caoutchouc allant de 0 à 30%, on observe une variation de 6,1 à 1,41 MPa et 6,56 à 1,64 MPa ; Soit une réduction de l'ordre de 77% et 75% pour 14, 28 jours respectivement. Ceci est également montré par des recherches, qui ont justifié cette diminution par la faible adhérence des granulats de caoutchouc et la matrice cimentaire [12, 62, 63, 82].

III.2.2 Résistance à la compression

Le tableau III.2 et la figure III.2 regroupent les différents résultats de la résistance à la compression obtenus à 14 et 28 jours pour différentes substitutions.

Tableau III.2 : Résultats de la Résistance en compression à 14 et 28 jours.

Mortiers	La résistance en compression (MPa) à 14 jours	Pourcentage de Réduction (%)	La résistance en compression (MPa) à 28 jours	Pourcentage de Réduction (%)
MT	17,97	/	31,44	/
MGCR10	15,81	12	20,63	34
MGCR20	5,44	70	6,44	80
MGCR30	3,72	79	5,13	84

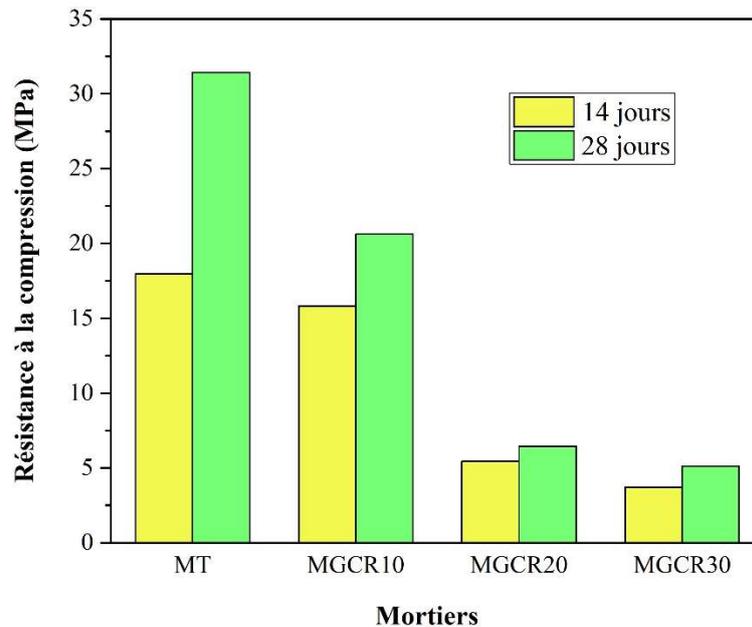


Figure III.2 : Résistance en compression des mortiers étudiés à 14 et 28 jours.

La variation de la résistance à la compression en fonction des mortiers étudiés à l'âge de 14 et 28 jours, est donnée dans la figure III.2. La résistance diminue proportionnellement avec l'augmentation de la teneur en granules de caoutchouc. Pour une composition allant de 0 à 30%, la résistance à la compression varie de 17,97 à 3,72 MPa (à 14 jours) et de 31,44 à 5,13 MPa (à 28 jours) ; soit une réduction de l'ordre de 79% et 84% respectivement. La chute de résistance mesurée confirme les résultats rapportés dans la littérature [52, 59, 83].

Cette diminution est expliquée par :

- Le défaut d'adhérence entre les granules de caoutchouc et la matrice cimentaire [58, 84] ;
- La rigidité de caoutchouc est considérablement plus faible par rapport aux granules naturels [12, 85] ;
- L'augmentation de la porosité due à la nature hydrophobe des granules de caoutchouc [60, 82].

III.2.3 Vitesse de propagation des ultrasons

Les résultats des vitesses obtenus à 28 jours sur les différentes éprouvettes sont présentés dans le tableau III.3 et la figure III.3 :

Tableau III.3 : Résultats d'auscultation dynamique à 28 jours.

Mortiers	Vitesse de propagation d'ondes longitudinales (m/s)	Pourcentage de réduction (%)	Le temps parcouru par une onde (μ s)
MT	5714	/	36,4
MGCR10	4906	14	42,4
MGCR20	4127	28	50,4
MGCR30	3230	43	64,4

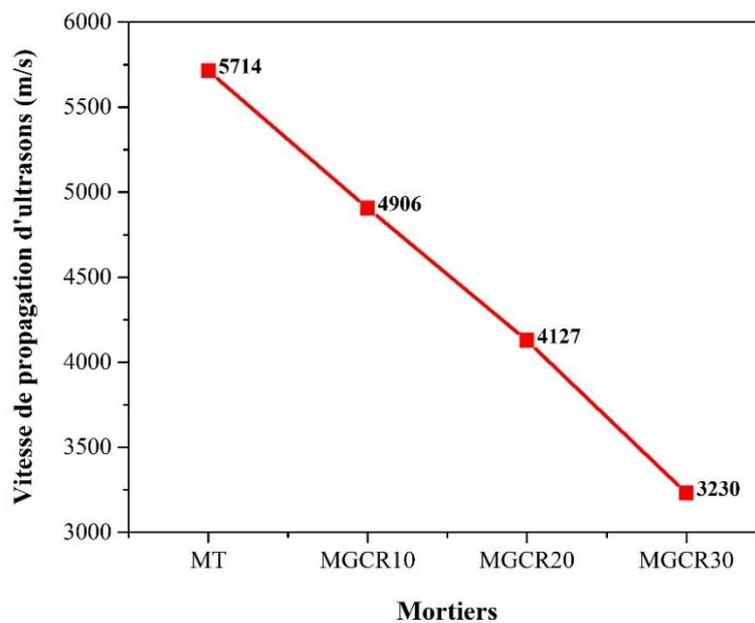


Figure III.3 : Vitesse de propagation d'ondes longitudinales des mortiers étudiés à 28 jours.

La figure III.3 montre l'évolution de la vitesse de propagation d'impulsion ultrasonore en fonction des mortiers étudiés à l'âge de 28 jours. En effet, on observe que cette vitesse diminue considérablement à mesure que la teneur en caoutchouc augmente. Elle est de 4906 m/s pour un taux de GCR de 10%, de 4127 m/s pour un taux de GCR de 20% et 3230 m/s pour un taux de GCR de 30% par rapport au mortier témoin, soient des réductions d'ordre 14%, 28%, 43% respectivement. En outre, une augmentation dans le temps de propagation de l'onde ultrasonore, est illustrée dans le tableau III.3. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs [58, 68, 74].

La chute de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques est attribuée aux difficultés de compactage des mélanges contenant une plus grande proportion de granulats de caoutchouc, ce qui entraîne une porosité accrue. Ce phénomène est amplifié par la présence de bulles d'air dans la matrice cimentaire qui allonge le trajet des ondes entre l'émetteur et le

récepteur. Les ondes doivent contourner ces bulles d'air pour se propager à travers la pâte de ciment, ce qui augmente le temps de propagation des ondes ultrasonores et diminue ainsi leur vitesse de propagation [58, 73, 74, 86].

III.2.4 Conductivité thermique

Dans le tableau III.4 et la figure III.4, nous avons présenté l'ensemble des résultats d'essai de conductivité thermique réalisé sur les différents mortiers étudiés à l'âge de 28 jours.

Tableau III.4 : Résultats de la conductivité et la résistivité thermique à 28 jours.

Mortiers	La conductivité thermique (W/m.K)	Pourcentage de Réduction (%)	La résistivité thermique (°C.cm/W)
MT	1,179	/	84,79
MGCR10	1,05	11	95,28
MGCR20	0,721	39	138,7
MGCR30	0,192	84	520,83

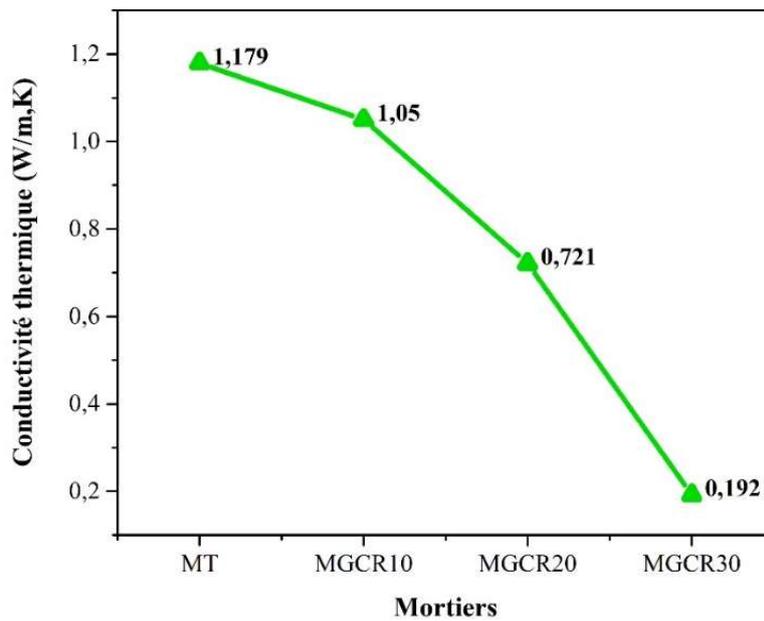


Figure III.4 : La conductivité thermique des mortiers étudiés à 28 jours.

La figure III.4 illustre l'évolution de la conductivité thermique en fonction de des mortiers étudiés à l'âge de 28 jours. On remarque que la conductivité thermique diminue de 1,179 à 0,192 W/m.K avec l'augmentation du taux des granulats de caoutchouc de 0 à 30%. Cette réduction pour MGCR10, MGCR20 et MGCR30 est de l'ordre de 11%, 39% et 84%

respectivement, par rapport au mortier témoin. En outre, la résistivité est inversement proportionnelle à la conductivité thermique, est présenté dans le tableau III.4.

Cette réduction est expliquée par la porosité élevée où une grande quantité d'air est emprisonnée dans les mélanges caoutchouteux ainsi que le faible coefficient de conductivité thermique du caoutchouc cela provoque une opposition du flux thermique par l'air présent dans les vides et les particules du caoutchouc [68-70].

III.3 Conclusion

A l'issue de cette étude, on peut conclure que l'incorporation des granulats de caoutchouc recyclés dans le mortier provoque une baisse des résistances mécaniques. Ainsi, pour 30 % de substitution en GCR nous avons observé une diminution des résistances à la flexion et à la compression ; soit une réduction de l'ordre de 75% et 84% à l'âge de 28 jours respectivement. Toutefois, il est bien de souligner que pour le mortier de 10 % de GCR, on a pu avoir une résistance assez bonne en flexion et en compression par rapport au mortier témoin. En effet, à 10 % de substitution nous avons un mortier de près de 5 MPa (résistance à la flexion) et 21 MPa (résistance à la compression), ce qui n'est pas négligeable.

Le développement important de la porosité en présence des GCR ainsi qu'à la faible adhérence entre les particules de caoutchouc et la pâte de ciment sont des facteurs qui contribuent à la diminution des résistances mécaniques.

Les vitesses de propagation des ultrasons sont inversement proportionnelles au pourcentage de GCR dans le mortier. Plus la teneur en granulats de caoutchouc est élevée, plus la vitesse des ondes ultrasonores est réduite. On note également qu'une proportion de 30% de GCR présente une vitesse de propagation ultrasonore satisfaisante au mortier témoin. En effet, à un taux de substitution de 30 %, la vitesse de propagation du mortier atteint 3230 m/s, offrant ainsi un bon pouvoir d'isolation acoustique.

En conclusion, l'ajout des GCR dans le mortier s'accompagne par la diminution de la conductivité thermique cela est dû à la grande quantité d'air présent dans les vides et les particules du caoutchouc. En effet, avec une proportion de 30% de substitution, le mortier présente une conductivité thermique de 0,192 W/m.K, ce qui indique un niveau d'isolation thermique important que celui du mortier témoin.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la potentialité de produire des nouveaux matériaux écologiques de faible impact environnemental à base de granulats d'origine caoutchouteuse issus du broyage de pneus usagés a été expérimentalement examinée en laboratoire.

L'objectif de ce travail est la valorisation de granulats de caoutchouc recyclés pour la confection d'éco-composites cimentaires et évaluer les propriétés physico-mécaniques de ce matériau. Pour atteindre notre objectif nous avons préparé 4 composites de mortier : un mortier témoin à base du granulats naturels (sable de carrière) et 3 trois autres mortiers incorporant les granulats de caoutchouc recyclés par substitution massique du sable de carrière à différents pourcentages (10, 20 et 30%).

Sur la base des résultats de cette étude expérimentale, les conclusions suivantes peuvent être tirer :

- L'ajout de granulats de caoutchouc recyclés a un effet substantiel sur les propriétés physiques et les performances mécaniques des mortiers de ciment.
- L'inclusion des GCR dans le mortier de ciment provoque une baisse importante des résistances mécaniques notamment la résistance à la compression et à la flexion. Cet effet négatif est dû à la porosité élevée apportée par l'introduction progressive des GCR et la faible adhérence entre les particules de caoutchouc et la matrice cimentaire.
- Plus les mortiers de ciment sont riches en GCR plus leurs vitesses de propagation ultrasonore diminuent, offrant ainsi un bon pouvoir d'isolation acoustique.
- La conductivité thermique diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc dans les mortiers. Cette tendance des GCR améliore l'isolation thermiques des matériaux cimentaires.
- Nous avons progressivement déterminé la formulation optimale de notre produit "MORTIX" en incorporant 10% de granulats de caoutchouc recyclés, en visant à obtenir un matériau à la fois résistant et offrant une isolation acoustique et thermique.

Références bibliographiques

- [1] N. Ibtissem, P.A.H.-M. Ouahiba, Ecologie industrielle et valorisation des déchets: Cas de recyclage des déchets industriels à Oran, Revue Algérienne d'Economie de gestion Vol, 12 (2018) pp. 18.
- [2] N. Gao, F. Wang, C. Quan, L. Santamaria, G. Lopez, P.T. Williams, Tire pyrolysis char: Processes, properties, upgrading and applications, Progress in Energy and Combustion Science, Vol, 93 (2022) pp. 37.
- [3] Programme des Nations unies pour l'environnement, Directives techniques révisées pour la gestion écologiquement rationnelle des pneus usés et des déchets de pneus, Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, United Nations Information Portal on Multilateral Environmental Agreements, 26 novembre 2012, pp. 61.
- [4] I.A.-M. D. Caillaud, A. Bourin, T. Chinet, A. Colette, F. De Blay, G. Dixsaut, B. Housset, J. Kleinpeter, L. Malherbe, I. Roussel, J.-C. Dalphin, D. Charpin, La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire en France. Document d'experts du Groupe Pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF), Revue des maladies respiratoires, Vol, 36 (décembre 2019) pp. 34.
- [5] NOBATEK/INEF4, Granulats recyclés : Enjeux et Impacts environnementaux, in: RCDiGreen (Ed.), décembre 2021, pp. 40.
- [6] B. Salima, Caractéristiques physico-mécaniques et durabilités des éco composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issue de pneus usagés, Génie Civil et Hydraulique, Université du 08 mai 1945-Guelma-, 2017, pp. 237.
- [7] N.N. Eldin, A.B. Senouci, Rubber-tire particles as concrete aggregate, Journal of materials in civil engineering, Vol, 5 (1993) pp. 19.
- [8] Z.K. Khatib, F.M. Bayomy, Rubberized Portland cement concrete, Journal of materials in civil engineering, Vol, 11 (1999) pp. 8.
- [9] S. Sgobba, G.C. Marano, M. Borsa, M. Molfetta, Use of rubber particles from recycled tires as concrete aggregate for engineering applications, 2nd International conference on sustainable construction materials and technologies, 2010, pp. 11.
- [10] D. Pedro, J. De Brito, R. Veiga, Mortars made with fine granulate from shredded tires, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol, 25 (2013) pp. 35.

- [11] A. Fadiel, F. Al Rifaie, T. Abu-Lebdeh, E. Fini, Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of cement-based materials, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol, 7 (2014) pp. 11.
- [12] Y. Yu, H. Zhu, Influence of rubber size on properties of crumb rubber mortars, *Materials*, Vol, 9 (2016) pp. 12.
- [13] J. Wang, B. Du, Experimental studies of thermal and acoustic properties of recycled aggregate crumb rubber concrete, *Journal of Building Engineering*, Vol, 32 (2020) pp. 7.
- [14] L. Guelmine, H. Hadjab, A. Benazzouk, Effet des granulats de caoutchouc recyclés de pneus usagés sur les propriétés physique et mécaniques de mortier de ciment, *Séminaire International de Génie Civil sur les Matériaux cimentaires, SIGC2018*, (2018).
- [15] F. Valentini, A. Pegoretti, End-of-life options of tyres. A review, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, Vol, 5 (2022) pp. 11.
- [16] M. Couty, Structure multiéchelles et propriétés des matériaux du pneu, *Reflets de la physique*, (2008) pp. 4.
- [17] H. Trouzine, A. Asroun, N. Asroun, F. Belabdelouhab, N.T. Long, Problématique des pneumatiques usagés en Algérie, *Nature & Technology*, Vol, 5 (2011) pp. 8.
- [18] Q. Lin, Z. Liu, J. Sun, L. Yu, Comprehensive modification of emulsified asphalt on improving mechanical properties of crumb rubber concrete, *Construction and Building Materials*, Vol, 369 (2023) pp. 12.
- [19] A. Cojocar, D.N. Isopescu, S.G. Maxineasa, S.G. Petre, Assessment of Thermal and Mechanical Properties of Cement-Based Materials. Part 1: Crumb Rubber Concrete, *Buildings*, Vol, 13 (2023) pp. 13.
- [20] C.F. Revelo, M. Correa, C. Aguilar, H.A. Colorado, Composite materials made of waste tires and polyurethane resin: A case study of flexible tiles successfully applied in industry, *Case Studies in Construction Materials*, Vol, 15 (2021) pp. 12.
- [21] S. Seghar, L. Asaro, M. Rolland-Monnet, N.A. Hocine, Thermo-mechanical devulcanization and recycling of rubber industry waste, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol, 144 (2019) pp. 24.
- [22] M.Z. Berkak Hichem , Bederina Madani, Comportement Mécanique des Mortiers Composites à base de Ciment-Polymère, *journal of sciences and engineering science*, Vol, 6 (2018) pp. 7.
- [23] W.C. Elia Boonen, Kris Redant, Utilisation de granulats de caoutchouc recyclés dans le béton: premiers résultats du projet Rubost, *Centre de recherche routières*, 2022, pp. 16.

- [24] Agence nationale des déchets, Rapport sur l'État de la Gestion des Déchets en Algérie, 2021, pp. 150.
- [25] Agence nationale des déchets, Fiche signalétique : Pneus usagés (PU), 2018, pp. 1.
- [26] Agence nationale des déchets, Statistiques : les quantités des pneus usagés générés à l'échelle national 2023, pp. 1.
- [27] Journal le parisien, Koweït : bientôt une ville à la place du plus grand «cimetière de pneus » au monde, 2021.
- [28] Journal d'horizon quotidien national, Véritable crime écologique à Oran : Des centaines de pneus brûlés quotidiennement, 5 janvier 2022.
- [29] A. Chevalier, Le Deuxième Centenaire de la Découverte du Caoutchouc faite par Charles-Marie de La Condamine, Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, Vol, 16 (1936) pp. 519-529.
- [30] Ministère de l'industrie de la petite et moyenne entreprise et de la promotion de l'investissement, étude d'un projet industriel de fabrication de pièces de décolletage pour l'industrie automobile, 2018, pp. 129.
- [31] A. Hébert, P. Ammar-Khodja, J.-B. Serier, Le caoutchouc naturel, CIRAD, 1997, pp. 16.
- [32] E. Yip, P. Cacioli, The manufacture of gloves from natural rubber latex, Journal of allergy and clinical immunology, Vol, 110 (2002) pp. 12.
- [33] Q.N. Tran, Synthèse et caractérisation de 1, 4-polyisoprènes greffés thermoplastiques, Science de la matière, Université du Maine, 2007, pp. 198.
- [34] L. Bockstal, T. Berchem, Q. Schmetz, A. Richel, Devulcanisation and reclaiming of tires and rubber by physical and chemical processes: A review, Journal of Cleaner Production, Vol, 236 (2019) pp. 16.
- [35] E. Penot, P. Thaler, Y. Nouvellon, B. Chambon, J. Sainte-Beuve, Hévéa. Etat des lieux sur la déforestation et les standards de durabilité. Rapport d'étude pour le CST Forêt de l'AFD, (2020) pp. 55.
- [36] I. Franta, Elastomers and Rubber Compounding Materials, Manufacture, Properties and Application, 1989, pp. 594.
- [37] C. Fragassa, M. Ippoliti, Technology assessment of tire mould cleaning systems and quality finishing, International Journal for Quality Research, Vol, 10 (2016) pp. 24.
- [38] A.A. Shah, F. Hasan, Z. Shah, N. Kanwal, S. Zeb, Biodegradation of natural and synthetic rubbers: A review, International biodeterioration & biodegradation, Vol, 83 (2013) pp. 13.
- [39] L. Moulin, Vapothermolyse des pneus usagés. Valorisation du noir de carbone récupéré, relation procédé-produit, Ecole nationale des Mines d'Albi-Carmaux, 2018, pp. 277.

- [40] P.T. Williams, Pyrolysis of waste tyres: a review, *Waste management*, Vol, 33 (2013) pp. 60.
- [41] M. Arabiourrutia, G. Lopez, M. Artetxe, J. Alvarez, J. Bilbao, M. Olazar, Waste tyre valorization by catalytic pyrolysis—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol, 129 (2020) pp. 24.
- [42] C. Gillot, A. Coutelas, Cements, mortars, binders, *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, (2018) pp. 5.
- [43] Jean FESTA & Georges DREUX, Nouveau guide du béton et de ses constituants, in: EYROLLES (Ed.), 1998, pp. 416.
- [44] Raymound Dupain, J-C.SAINT-ARROMAN, Granulats, sols, ciment, et béton, in: Casteilla (Ed.), 2009, pp. 250.
- [45] Centre d'information sur le ciment et ses applications, Fiches techniques. Tome 1, Les constituants des bétons et des mortiers, in: Paris-La-Défense : CIMbéton (Ed.)Paris, 2005, pp. 71.
- [46] I. Messaoudene, R. Jauberthie, L. Molez, A. Naceri, Formulation, caractérisation des mortiers à base de sable de dune et de ciments aux ajouts minéraux locaux, *E3D: Eau, Déchets et Développement Durable*, 2010, pp. 8.
- [47] A. Benazzouk, O. Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, F. Labbani, J.-M. Roucoult, Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment, *XIV Colloque National de la Recherche dans les IUT (CNRIUT 2008)*, 2008, pp. 9.
- [48] K.E. Kaloush, G.B. Way, H. Zhu, Properties of crumb rubber concrete, *Transportation Research Record*, (2005) pp. 7.
- [49] M.M. Reda Taha, A.S. El-Dieb, M. Abd El-Wahab, M. Abdel-Hameed, Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete, *Journal of materials in civil engineering*, Vol, 20 (2008) pp. 10.
- [50] H. Mahir Mahmud, A. Farah Nora Aznieta, S.J. Gatea, Evaluation of rubberized fibre mortar exposed to elevated temperature using destructive and non-destructive testing, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol, 21 (2017) pp. 12.
- [51] P. Sukontasukkul, C. Chaikaew, Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber, *Construction and Building Materials*, Vol, 20 (2006) pp. 8.
- [52] C.G. Papakonstantinou, M.J. Tobolski, Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete, *Cement and concrete research*, Vol, 36 (2006) pp. 6.

- [53] A. Turatsinze, S. Bonnet, J.-L. Granju, Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres, *Building and environment*, Vol, 40 (2005) pp. 6.
- [54] Z. Boudaoud, M. Beddar, Effects of recycled tires rubber aggregates on the characteristics of cement concrete, *Journal of Civil Engineering*, Vol, 2 (2012) pp. 5.
- [55] W.A. Aules, Replacement in Sand for Cement Mortar, *European Journal of Scientific Research*, Vol, 51 (2011) pp. 8.
- [56] P. Turgut, B. Yesilata, Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks, *Energy and Buildings*, Vol, 40 (2008) pp. 10.
- [57] A.O. Atahan, A.Ö. Yücel, Crumb rubber in concrete: Static and dynamic evaluation, *Construction and building materials*, Vol, 36 (2012) pp. 6.
- [58] L. Guelmine, H. Hadjab, A. Benazzouk, Effet des granulats de caoutchouc recyclés de pneus usagés sur les propriétés physique et mécaniques de mortier de ciment, *Séminaire International de Génie Civil sur les Matériaux cimentaires, SIGC2018*, (2018) pp. 10.
- [59] P. Sukontasukkul, K. Tiamlom, Expansion under water and drying shrinkage of rubberized concrete mixed with crumb rubber with different size, *Construction and Building Materials*, Vol, 29 (2012) pp. 7.
- [60] A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, M. Quéneudec, Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste, *Cement and Concrete Composites*, Vol, 28 (2006) pp. 8.
- [61] L. Guelmine, H. Hadjab, A. Benazzouk, Effect of elevated temperatures on physical and mechanical properties of recycled rubber mortar, *Construction and building Materials*, Vol, 126 (2016) pp. 37.
- [62] M. Turki, E. Bretagne, M. Rouis, M. Quéneudec, Microstructure, physical and mechanical properties of mortar–rubber aggregates mixtures, *Construction and Building Materials*, Vol, 23 (2009) pp. 8.
- [63] E. Khalil, M. Abd-Elmohsen, A.M. Anwar, Impact resistance of rubberized self-compacting concrete, *Water Science*, Vol, 29 (2015) pp. 9.
- [64] M.A. Aiello, F. Leuzzi, Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state, *Waste management*, Vol, 30 (2010) pp. 9.
- [65] E. Ganjian, M. Khorami, A.A. Maghsoudi, Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and building materials*, Vol, 23 (2009) pp. 37.

- [66] H. Su, J. Yang, T.-C. Ling, G.S. Ghataora, S. Dirar, Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes, *Journal of Cleaner Production*, Vol, 91 (2015) pp. 33.
- [67] O. Onuaguluchi, Effects of surface pre-coating and silica fume on crumb rubber-cement matrix interface and cement mortar properties, *Journal of cleaner Production*, Vol, 104 (2015) pp. 26.
- [68] A.I. Mohsin, B.M. Fahad, Improve the acoustic impedance and thermal conductivity of mortar by adding recycled rubber, *Journal of modern engineering research* Vol, 5 (2015) pp. 8.
- [69] P. Meshgin, Y. Xi, Y. Li, Utilization of phase change materials and rubber particles to improve thermal and mechanical properties of mortar, *Construction and Building Materials*, Vol, 28 (2012) pp. 9.
- [70] B.S. Mohammed, K.M.A. Hossain, J.T.E. Swee, G. Wong, M. Abdullahi, Properties of crumb rubber hollow concrete block, *Journal of Cleaner Production*, Vol, 23 (2012) pp. 11.
- [71] P. Sukontasukkul, Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel, *Construction and Building Materials*, Vol, 23 (2009) pp. 9.
- [72] Z. Ghizdăveț, B.-M. Ștefan, D. Nastac, O. Vasile, M. Bratu, Sound absorbing materials made by embedding crumb rubber waste in a concrete matrix, *Construction and Building Materials*, Vol, 124 (2016) pp. 9.
- [73] R.A. Assaggaf, M.R. Ali, S.U. Al-Dulaijan, M. Maslehuddin, Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber—A review, *journal of materials research and technology*, Vol, 11 (2021) pp. 46.
- [74] B.S. Mohammed, N.J. Azmi, M. Abdullahi, Evaluation of rubbercrete based on ultrasonic pulse velocity and rebound hammer tests, *Construction and Building Materials*, Vol, 25 (2011) pp. 10.
- [75] Société des Ciments de Benisaf, Fiche technique ciment 42,5, 2020, pp. 2.
- [76] AFNOR, Méthodes d'essais des ciments — Partie 1 : Détermination des résistances, in: AFNOR (Ed.), 2006, pp. 41.
- [77] K. Hamad, étude de l'effet de l'ajout de granulats de caoutchouc (issus de déchets) sur le comportement des bétons de sable (de dune) autoplaçant et compactés., Département de Génie Civil, Université Oum El Bouaghi, 2021, pp. 142.
- [78] L. Bennacer, B. Balegh, H. Sellaf, Incorporation des métaux lourds dans les mortiers à long terme, *Revue des matériaux et énergies renouvelables*, Vol, 6 (2022) pp. 7.
- [79] l'Association Française de Normalisation, NF EN 12504-4 Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation des ultrasons, 2021, pp. 20.

- [80] Screening eagle technologies, mode d'emploi Pundit Lab/ Pundit Lab+ instrument ultrasonique, 2017, pp. 32.
- [81] Decagon devices, Operator's Manual : KD2 Pro thermal properties analyzer, 2016, pp. 71.
- [82] D.S. Muzahim, A.a. Al-attar, Properties of rubberized cement mortar containing silica fume, AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, 2023, pp. 10.
- [83] Z. Boudaoud, M. Beddar, Effects of recycled tires rubber aggregates on the characteristics of cement concrete, Journal of Civil Engineering, Vol, 2 (2012) pp. 5.
- [84] H. Liu, X. Wang, Y. Jiao, T. Sha, Experimental investigation of the mechanical and durability properties of crumb rubber concrete, Materials, Vol, 9 (2016) pp. 12.
- [85] Z. Li, F. Li, J.S. Li, Properties of concrete incorporating rubber tyre particles, Magazine of concrete research, Vol, 50 (1998) pp. 8.
- [86] T. Uygunoğlu, I.B. Topcu, The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars, Construction and Building Materials, Vol, 24 (2010) pp. 10.



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Incubateur Ain Témouchent



Annexe BMC

Annexe :**1. Présentation du projet**

Notre projet nommé « MORTIX » consiste à la création d'une entreprise dans le domaine de l'industrie de la construction dont l'objectif est de contribuer à la protection de l'environnement en valorisant les déchets pneumatiques et améliorant la qualité de vie des citoyens en leur offrant une solution qui empêche l'entrée de la chaleur et de bruit à l'intérieure des logements.

L'idée de notre projet nous a séduit après avoir constaté la présence de quantités énormes de pneus usagés qui sont délaissés un peu partout. Ainsi que, la mauvaise gestion de ces déchets qui sont destinés à être brûlés d'une manière illégale. Ce qui provoque des risques d'incendies non maîtrisables, des émissions de fumées nocives et qui contribuent à une variété de problèmes de santé. En outre, d'après des recherches que nous avons menées pour introduire la matière recyclée des pneus usagés. Nous avons trouvé qu'on peut l'incorporer dans la préparation d'un mortier afin d'être utilisé comme un revêtement extérieur dans les bâtiments, les écoles, les hôtels, les universités, les salles de sports et les maisons ...etc.

Le produit que nous proposons est un mélange sec 3en1 de ciment, sable de carrière et de granulats de caoutchouc recyclés. Ce mélange conditionné dans des sacs de 25 Kg, destinés à la vente. Le client n'aura qu'à ajouter de l'eau pour obtenir la pâte de mortier et l'appliquer sur les murs.

2. Fiche technique de projet**Tableau 1 :** Fiche technique de projet.

Nom et prénom	Bouakline Farah et Bouakline Ghizlene
Intitulé du projet	MORTIX
Numéro de téléphone	/
Adresse e-mail	bouaklinefarah31@gmail.com bouaklineghizlene@gmail.com
Commune d'activité	Ain El Arbaa wilaya d'ain temouchent

➤ **Nature du projet :** Vente de marchandises (production).

3. La problématique

Les pneus usagés posent un grave problème environnemental à l'échelle mondiale en raison de leur nature non biodégradable. Ces déchets encombrants entraînent des conséquences néfastes pour l'environnement et la santé. Par exemple, leur incinération présente des risques d'incendies incontrôlables, de rejets de fumées toxiques et contribue à divers problèmes de santé tels que des allergies, des crises d'asthme et des maladies des voies respiratoires...etc.

En Algérie, l'Agence Nationale des Déchets (AND) a réalisé une étude sur la quantité des pneus usagés à l'échelle nationale durant ces trois dernières années. En 2020, on estime que la quantité de pneus usagés s'élevait à 249 000 mille tonnes, avec une tendance à la hausse progressive pour les prochaines années.

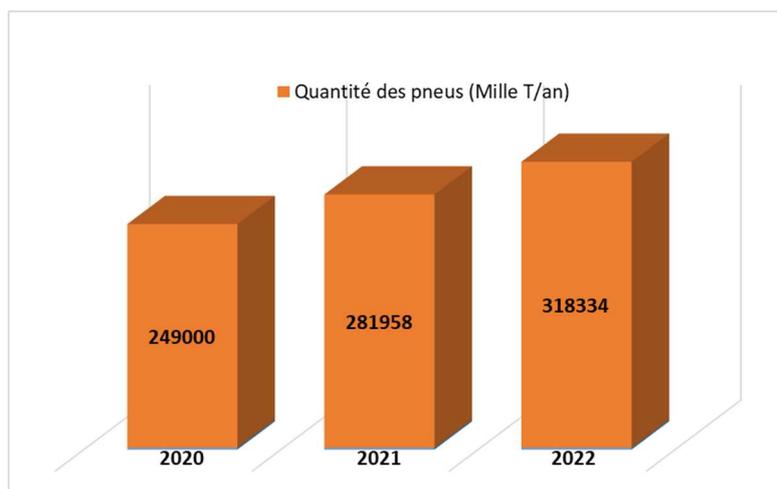


Figure 1 : Evolution quantitative des pneus usagés en Algérie.

Selon le journal d'Horizon quotidien national « des centaines de pneus usagés sont incinérés quotidiennement, à Bir El Djir wilayas d'Oran juste derrière l'ex-Poudrière de l'ONEX, du côté d'El Bouachkha par des énergumènes. Les habitants n'arrêtent pas de supplier les autorités locales, pour mettre fin à ce crime contre l'homme et la nature ».

3.1. Etude de la demande

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé un formulaire en ligne que nous avons partagée sur plusieurs réseaux sociaux pour collecter des données auprès de notre public cible. Nous avons reçu un total de 314 réponses. Les données obtenues ont été présentées sous forme de graphiques.

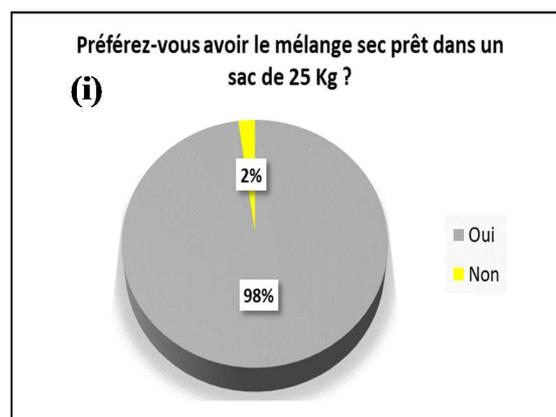
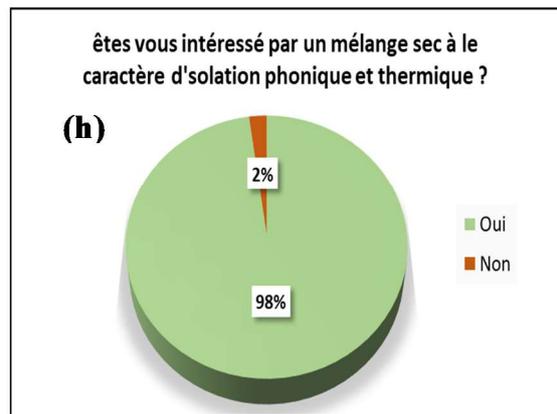
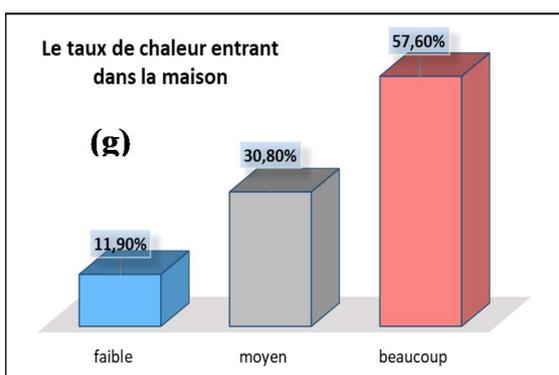
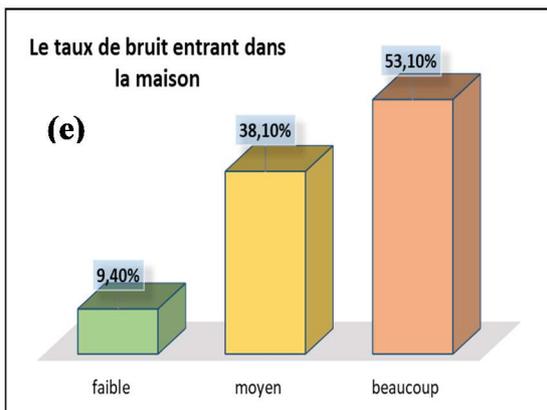
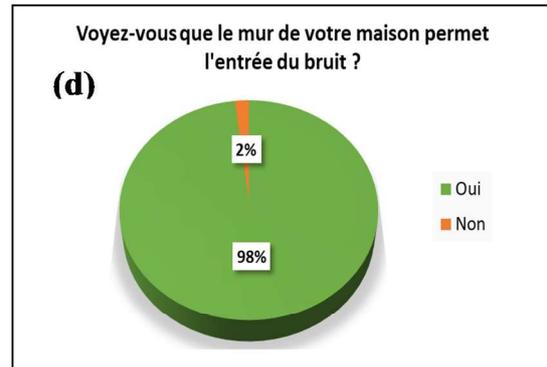
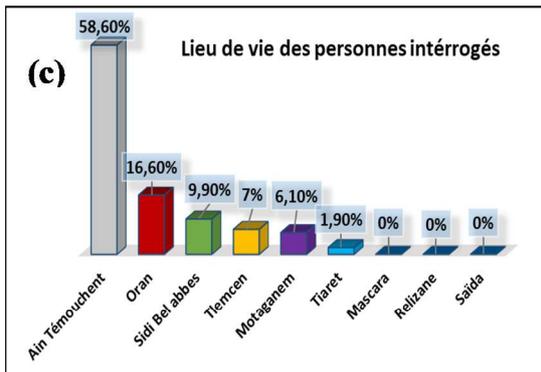
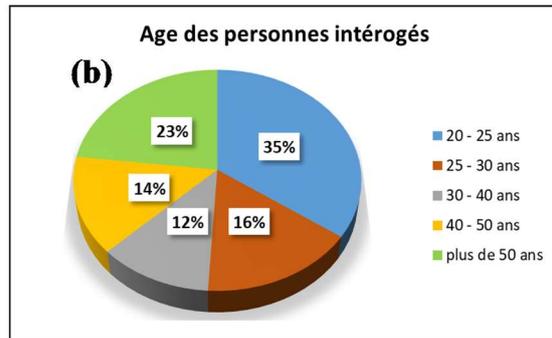


Figure 2 : (a-i) Les résultats de l'enquête.

En conclusion, l'étude menée auprès des 314 personnes interrogées a permis de collecter des données significatives sur plusieurs aspects. Les résultats montrent que la grande majorité des répondants, hommes et femmes confondus, de différents âges et wilayas perçoivent l'entrée du bruit et de la chaleur dans leur maison comme un problème. De plus, la plupart des répondants ont exprimé un fort intérêt pour un mélange sec prêt à l'emploi dans un sac de 25 Kg offrant une isolation phonique et thermique.

4. Business Model Canevas (BMC)

4.1. Proposition de valeur

Notre projet consiste à proposer :

- Des sacs de 25 Kg contenant un mélange sec 3en 1 de : ciment, sable de carrière et granulats de caoutchouc recyclés utilisés comme revêtement extérieur dans les bâtiments, les écoles, les hôtels, les salles des fêtes les universités et les administrations ...etc.
- Notre produit à le caractère d'isolation acoustique et thermique grâce à la présence de granulats de caoutchouc recyclés.
- La contribution à la valorisation des déchets de pneus en utilisant les granulats de caoutchouc recyclés comme matière première pour la préparation de notre produit, ce qui limite leur impact environnemental.

4.2. Segments de clientèle

- **B2B :** Les entreprises de construction au niveau de l'ouest algérien. Ainsi que les propriétaires privés tels que : les écoles privées, les cliniques privées, les hôtels, les salles des fêtes, les salles de sports.

Tableau 2 : Les entreprises de construction au niveau de l'ouest algérien.

Dénomination	Wilaya
BS ECOPROM SARL	Ain Témouchent
ADEN SARL	Mostaganem
BENTRIKI EURL	Mostaganem
ES SADOK IMMOBILIER SARL	Mostaganem
AFRITRAM SARL	Oran
2S PROM	Oran

AKEB PROMOTION IMMOBILIERE	Oran
ARCOPRIM SARL	Oran
ARINAS INTERNATIONAL SARL	Oran
AZ PROM	Oran
EL SAHARI CONSTRUCTION EURL	Relizane
PRESTIM SARL	Relizane
ETP CHERIFI EL HABIB	Relizane
ETPHB ZOUAOUI MOHAND SALAH	Saida
GEBTO SARL	Sidi Belabbes
BTPH GROUPE HASNAOUI SPA	Sidi Belabbes
TOUNSI (BATILEADER) SARL	Sidi Belabbes
BATIPRIM EGTP EURL	Tlemcen

- **B2C :**

Marché Potentiel: Les citoyens algériens qui cherchent à utiliser notre produit pour ses avantages.

Marché cible : Les hommes et les femmes qui se trouvent dans les différentes wilayas de l'ouest algérien.

- **B2G :** Les écoles, les universités, les hôpitaux, les administrations.

4.3. Relation avec client

Service client : Offrir un service client de qualité pour répondre aux questions, aux préoccupations et aux réclamations des clients à travers le téléphone, site web et les réseaux sociaux.

Support technique : Fournir un support technique aux clients sur l'emballage des sacs et exposer un catalogue électronique sur le site web pour les aider à savoir la composition, les instructions d'utilisations, domaine d'application du produit.

Service après-vente : Mettre en place une politique d'échange et de retour pour permettre aux clients de rendre les produits défectueux ou inadaptés en offrant un remplacement gratuit ou à un coût réduit du produit.

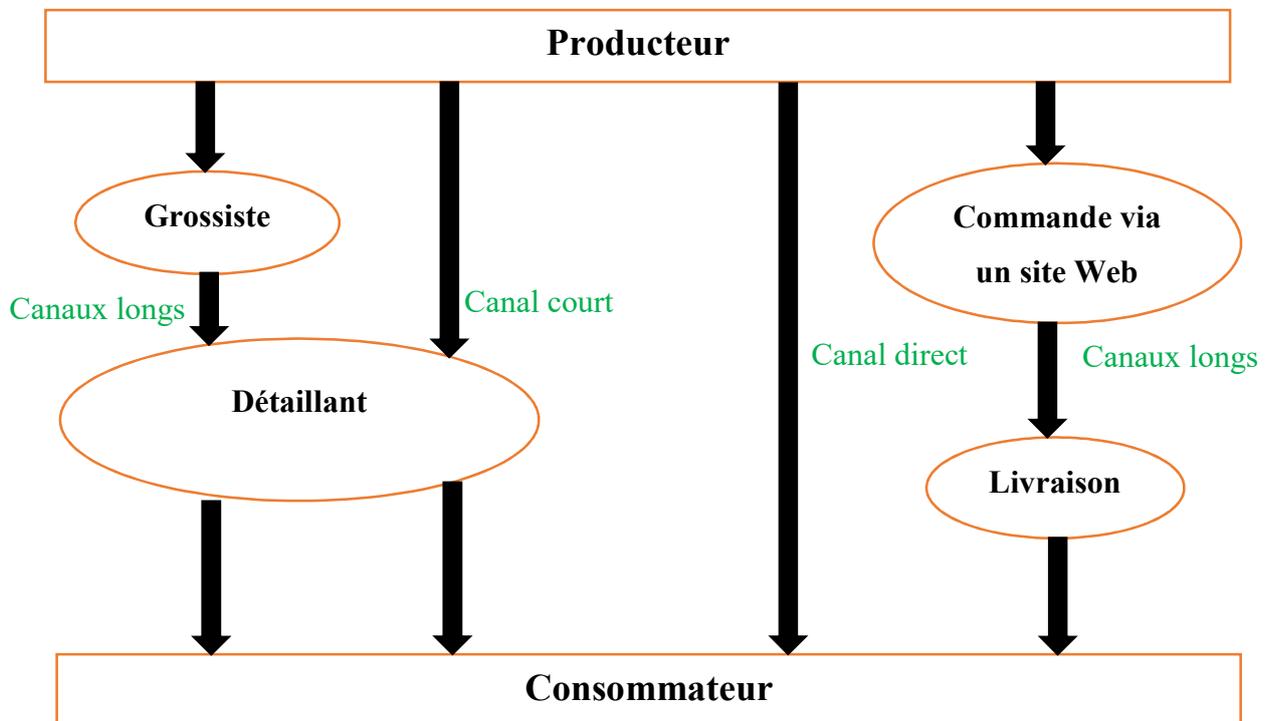
Programme de fidélisation : Mettre en place un programme de fidélisation pour récompenser les clients fidèles par une réduction sur le prix du produit.

4.4. Canaux de distribution

Publicité : La promotion du produit via les réseaux sociaux, la radio, les panneaux publicitaires et la participation à les salons professionnels.

Vente directe : La commercialisation du produit directement aux clients finaux, tels que les entreprises de construction, les entrepreneurs, les particuliers...etc. en outre, la disponibilité de la vente en gros telles que des grossistes en matériaux de construction et la vente au détail pour atteindre un large public de clients.

Vente en ligne : La création d'une plateforme de vente en ligne pour commercialiser notre produit, en proposant la commande en ligne et la livraison à domicile ou le retrait à l'entreprise.



4.5. Les partenaires clés

- Les partenaires

Principaux partenaires qui peuvent nous aider pour le transport, la distribution et le contrôle de qualité de nos produits :

Entreprise	Wilaya
Cevital-MTP	Alger
Sarl SOMETRAL	Alger

QUICK LIVRAISON	Alger
MARS LOGISTIQUE	Alger, Oran
GROUPE CHAKOUR	Mostaganem
Cimenterie de beni-saf	Ain Témouchent
Lab-Analyse & Engineering	Tlemcen
EPE SERSID SPA	Oran
AGRO-HYD GROUP	Oran

- **Les fournisseurs**

Parmi les fournisseurs de la matière première (ciment et sable) on propose :

Tableau 3 : Les entreprises de fabrication de ciment et sable de carrière.

Entreprise	Wilaya
CBTP SARL	Bouira
SARL BMC	Msila
GROUPE GICA	Constantine, Sétif, Skikda, Batna, Tébessa, Oum El Bouaghi, Bouira, Blida, Chlef, Mascara, Ain Témouchent, Saïda, Béchar
LAFARGE ALGERIE	Msila, Mascara, Blida, Bisakra, Bouira
GRANU EST, CENTRE, OUEST	Constantine, Blida, Mascara
ENTREPRISE NATIONAL DES GRANULATS	Tlemcen
SOCIETE D'EXPLOITATION DES CARRIERES HASNAOUI	Sidi Bel Abbès

Les entreprises de recyclage des pneus usagés qui nous fournissent les granulats de caoutchouc recyclés sont :

Tableau 4 : Les entreprises de recyclage des pneus usagés.

Entreprise	Adresse
Sarl MAPLAC	Cité ouled brahim lot 05 groupe 45 hammadi Wilaya de Boumerdes

Sarl RECYTECH	Zone d'Activité Elhachemia Wilaya de Bouira
SARL HOUARA GRANDS	Commune de Teleghma Wilaya de Mila
Sarl JET GRAIN	Ain torki Wilaya de Ain Defla
Sarl PROHAYFA	Ben tarref route nationale N°75 Ain djasser Wilaya de Batna
Sarl EL GHAZALA RECUPERATION	Route Nationale N°75, Commune d'Ain Djasser Wilaya de Batna
Sarl BERACHED MOUNIR	Commune sidi chahmi Wilaya d'Oran

Parmi les entreprises qui nous fournissent les sacs d'emballages on cite :

Tableau 5 : Les entreprises de production des emballages des sacs.

Entreprise	Wilaya
Blady emballage	Biskra
LAFARGE SACS ALGERIE	Bordj Bou Arréridj

Les fournisseurs de machines et équipements on cite :

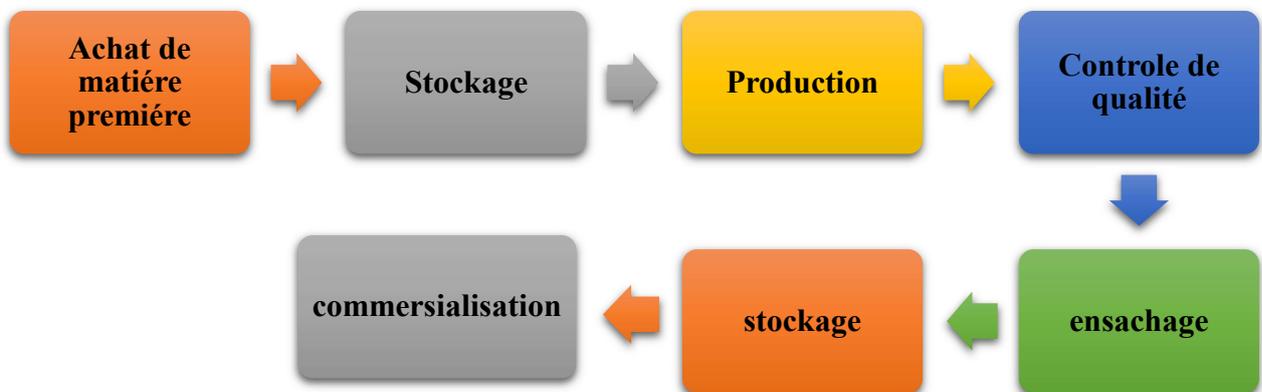
Tableau 6 : Les fournisseurs de machines et équipements.

Entreprise	Localisation
Talleres Alquézar	Espagne
SOTECMA	Espagne
World lab	Algérie
ESLI	Algérie
esclab-algerie	Algérie

ENTEC	Algérie
controlab	France
Matest	Italie
Controls	Espagne, France, Londres, Italie
proviteq	France
screeningeagle	Suisse

4.6. Activités clés

Les activités clés que l'entreprise pratique est présentée comme suit :



4.7. Ressources clés

- **Les ressources matérielles** : notre projet nécessite des matières premières telles que le ciment, le sable et les granulats de caoutchouc recyclés. Également nous serons besoin d'une installation de production, , d'équipements de contrôle de qualité et d'outils pour la fabrication.

Tableau 7 : Les ressources matérielles.

Ressources	Origine local ou importation	Fournisseur
Granulats de caoutchouc recyclés	local	Sarl MAPLAC Sarl RECYTECH SARL HOUARA GRANDS Sarl JET GRAIN Sarl PROHAYFA

		Sarl EL GHAZALA RECUPERATION Sarl BERACHED MOUNIR
Ciment	local	GROUPE GICA LAFARGE ALGERIE
Sable de carrière	Local	CBTP SARL SARL BMC GRANU EST , CENTRE, OUEST ENTREPRISE NATIONAL DES GRANULATS SOCIETE D'EXPLOITATION DES CARRIERES HASNAOUI
Emballage	local	BLADY EMBALLAGE LAFARGE SACS ALGERIE
Centrales fixes de mortier sec	importation	Cina Charm TALLERES ALQUEZAR SOTECMA
Machines pour essais de compression et flexion , malaxeur automatique, moule triple , appareil à chocs , armoire de conservation , balance, bols de mixage , bacs , truelle, spatule , mains – écopés , marteau , verreie de laboratoire (éprouvette , bêche , pissette), Dispositif à ultrasons , Conductimètre	Local et Importation	WORLD LAB ESLI ESCLAB-ALGERIE CONTROLAB MATEST CONTROLS PROVITEQ SCREENINGEAGLE

- **Les ressources humaines** : l'équipe de travail sera composée de :

Tableau 8 : Les ressources humaines.

Salaries	Nombre
Chef d'entreprise	1
Adjoint	1
Ingénieur en génie civil	2
Technicien	4
Comptable	1
Responsable en marketing	1
Employés	4
Agent de sécurité	4
Agent de nettoyage	4

- **Les ressources financières** : le financement du projet sera obtenu auprès d'investisseurs tels que : Algerian startup fund.

Tableau 9 : Les ressources financières.

Ressources	Besoins
Electricité	- Alimentation des machines et des équipements - Eclairage intérieur et extérieur
Eau	- Refroidissement des machines -Nettoyage - Alimentation en eau potable (installations sanitaires)
Gaz	- Alimentation en énergie pour certains équipements industriels - Chauffage intérieur des bureaux
Location de locaux	La location d'un local offre un espace dédié spécifiquement à notre projet. Cela permet de regrouper les ressources, le personnel et les équipements nécessaires au projet au même endroit

4.8. Structures de coûts



- Structures de coûts

Tableau 10 : Structures de coûts.

Frais d'établissement	100 000,00 Da
Frais d'ouverture de compteurs (eaux- électricité -gaz)	60 000,00 Da
Droit au bail	70 000,00 Da/mois
Caution ou dépôt de garantie	1000 000,00 Da
Frais de notaire ou d'avocat	8400,00 Da
Travaux et aménagements	150 000,00 Da
Matériel	Centrales fixes de mortier sec = 681 947,00 Da
Matériel de bureau	400 000,00 Da
Trésorerie de départ	800 000,00 Da

Totale = 3 270 347,00 Da

- Dépenses et frais fixes du projet

Tableau 11 : Dépenses et frais fixes du projet.

Assurances	Salaries : 25 896,00 Da/mois
Téléphone, internet	2600,00 Da/mois
Eau, électricité, gaz	20 000,00 Da/mois

Entretien matériel et vêtements	35 000,00 Da
Nettoyage des locaux	3500,00 Da/mois
Budget publicité et communication	120 000,00 Da

Totale = 206 996,00 Da

- **Salaires des employés et des dirigeants**

Tableau 12 : Salaires des employés et des dirigeants.

Salaires employés	Ingénieur en génie civil = 35 000,00 Da Technicien = 30 000,00 Da Comptable = 30 000,00 Da Responsable en marketing = 30 000,00 Da Employés = 20 000,00 Da Agent de sécurité = 20 000,00 Da Agent de nettoyage = 20 000,00 Da
Rémunération nette dirigeant	50 000,00 Da

4.9. Sources de revenus

- **Revenu totale**

Tableau 13 : Revenu totale.

Donnés	La valeur
Nombre d'unités produites	100 sacs / mois
Prix de vente	350,00 Da
Revenu totale	35 000,00 Da /mois

- **Sources de revenus**

Parmi les sources de revenus dans notre entreprise sont :

- La vente de notre produit (Prix = à partir de 350,00 Da) ;

- La publicité à les entreprises de construction qui ont utilisé notre produit ;
- La convention avec les usines de recyclage des pneus usagés (par la collecte des pneus usagés et la vente pour eux).
- **Pourcentage d'augmentation du chiffre d'affaires pour les trois premières années**

Tableau 14 : Evolution du pourcentage de chiffre d'affaires durant les trois premières années.

Année	Pourcentage d'augmentation chiffre d'affaires
1 ans	70%
2 ans	80%
3ans	90%

5. Prototype



Figure 3 : Prototype MORTIX.

Partenaires clés -Entreprise de recyclage des pneus usagés - Les cimenteries - Entreprises des granulats - Entreprises d'emballages - Fournisseurs d'équipements - Sociétés de transport et distribution - Sociétés des analyses et contrôle de qualité	Activités clés - Achat et stockage de matière première - La préparation de mélange sec - Contrôle qualité - Ensachage - La vente - Marketing et promotion du produit - La gestion d'un site web de commerce électronique	Proposition de valeur - La production d'un sac de 3en1 - Empêche l'entrée de bruit et de la chaleur - Minimiser le risque d'incinération des pneus	Relation clients - Relation directe - Service client - Service après-vente - Support technique - Programme de fidélisation	Segments de clientèle - B2B, B2C, B2G - Les entreprises de construction - Les propriétaires privés - Les citoyens - Les écoles, les universités, les hôpitaux, les administrations
	Ressources clés - Matières premières - Sacs en papier - Les machines et l'équipement pour la fabrication et contrôle du mélange sec - Employés, techniciens et responsable en marketing, comptable - ASF		Canaux de distribution - Publicité (réseaux sociaux, radio, panneau publicitaires, salons professionnels) - Vente directe - Vente en ligne à travers un site web - Service de livraison	
Structure des coûts Coûts de : -Matières premières - Les machines et les équipements - Salariés - Transports - Marketing et de publicité - Distribution		Sources de revenus - La vente de notre produit - La publicité à les entreprises de construction qui vont utiliser le produit - La convention avec les usines de recyclage des pneus usagés par la collecte des pneus usagés et leur vente.		

Figure 4 : Business model canevas de MORTIX.

Résumé

L'objectif principal de cette étude consiste à examiner les potentialités de l'incorporation des granulats de caoutchouc recyclés (GCR) des pneus usagés dans une matrice cimentaire. Le matériau étudié est un mortier dans lequel le sable a été substitué par ces granulats de caoutchouc à des teneurs massiques de 0, 10, 20 et 30%. Des séries de tests ont été conçues et réalisées, en l'occurrence des tests de résistance à la compression, de résistance à la flexion, d'auscultation dynamique et de conductivité thermique. Les résultats expérimentaux ont montré que l'incorporation des granulats de caoutchouc recyclés diminuent les propriétés mécaniques des mélanges étudiés. Néanmoins, les autres propriétés comme la conductivité thermique et la vitesse de propagation des ondes ultrasonores des mortiers de caoutchouc sont fortement améliorées par rapport au mortier témoin. Ces propriétés innovantes des granulats de caoutchouc recyclés non seulement peuvent améliorer le confort des bâtiments, mais aussi constitue une nouvelle voie de valorisation des pneumatiques usagés.

Mots clés : Pneus usagés, environnement, recyclage, granulats de caoutchouc, valorisation des déchets, mortier de ciment, Composite cimentaire, propriétés physico-mécaniques.

Abstract

The main objective of this study is to examine the potential of incorporating recycled rubber aggregates (RAG) from used tyres into a cementitious matrix. The material studied is a mortar in which sand has been substituted by these rubber aggregates at mass contents of 0, 10, 20 and 30%. A series of tests were designed and carried out, including compressive strength, flexural strength, dynamic testing and thermal conductivity tests. The experimental results showed that the incorporation of recycled rubber aggregates decreases the mechanical properties of the studied mixes. However, other properties such as thermal conductivity and ultrasonic wave propagation velocity of the rubber mortars are significantly improved compared to the control mortar. These innovative properties of recycled rubber aggregates can not only improve the comfort of buildings, but also constitute a new way of valorisation of used tyres.

Key words: Used tyres, environment, recycling, rubber aggregates, waste recovery, cement mortar, cement composite, physical-mechanical properties.

المخلص

الهدف الرئيسي من دراستنا هو فحص إمكانية دمج حبيبات المطاط المعاد تدويره من الإطارات المستعملة في مصفوفة إسمنتية. المادة المدروسة عبارة عن ملاط تم فيه استبدال الرمل بحبيبات المطاط بمحتويات كتلة 0, 10, 20, 30%. تم تنفيذ سلسلة من الاختبارات، بما في ذلك اختبارات مقاومة الانضغاط، ومقاومة الانحناء، والاستماع الميكانيكي والتوصيل الحراري.

أظهرت النتائج التجريبية أن دمج حبيبات المطاط المعاد تدويره يقلل من الخواص الميكانيكية للخلائط المدروسة. ومع ذلك، تم تحسين الخصائص الأخرى مثل التوصيل الحراري وسرعة انتشار الموجات فوق الصوتية لملاط المطاط بشكل كبير مقارنة بالملاط التقليدي. لا يمكن لهذه الخصائص المبتكرة لمجموعات المطاط المعاد تدويره تحسين راحة المباني فحسب، بل تشكل أيضاً طريقة جديدة لاستعادة الإطارات المستعملة.

الكلمات المفتاحية:

الإطارات المستعملة، البيئة، إعادة التدوير، حبيبات المطاط، استعادة النفايات، ملاط الإسمنت، المركب الإسمنتي، الخواص الفيزيائية الميكانيكية.