

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : BOUCHELAGHEM Khawla

**Thème : Caractérisation des matériaux cimentaires à base
de granulats de caoutchouc**

Sous la direction de : Dr. KECHKAR Chiraz

Juillet 2021

REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce travail, je remercie profondément ALLAH, le Très Haut, le tout puissant de m'avoir donné la vie, la santé, la sérénité et les capacités pour mener à terme ce mémoire de fin d'études.

Je tiens à exprimer mes plus sincères et chaleureuses Remerciements et gratitude pour mon encadreur, Docteur Kechkar Chiraz qui m'a tellement aidé pour réaliser ce modeste travail avec ses conseils éclairés, sa constante disponibilité et sa grande qualité humaine.

Mes remerciements également aux membres de jury qui me fait l'honneur d'examiner mon travail.

Mes remerciements à l'ensemble du corps enseignants et administratif du département de génie civil et d'hydraulique de l'Université 8 Mai 45 de Guelma.

Mes remerciements également aux techniciennes du laboratoire pédagogique du département de génie civil et d'hydraulique de l'université du Guelma : Mahboubi Sihem et Guenat Samira pour leur entière disponibilité.

Mes remerciements les plus profonds à ma famille pour les sacrifices qu'elle a fait pour que je termine mes études.

Enfin, nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- + Mes très chers parents qui ont consacré toute leurs vies pour mon éducation et mes études et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, je leurs souhaite tout le bonheur.*
- + A l'espoir de la famille ma soeur Hadil Nour El Houda .*
- + A mes deux chers frères Hamza et Abd El Waheb et leurs adorables femmes Sara et Nour el Houda .*
- + A mes chers neveux Anis et Yazen que dieu vous garde.*
- + A mes chères amies Rihab et Maha.*
- + Mon encadreur Dr. KECHKAR, Ch.*
- + A toute la promotion Génie Civil 2020/2021.*

BOUCHLAGHEM Khawla

RESUME

Ces dernières années, plusieurs études ont orienté vers l'utilisation des granulats de caoutchouc issus du broyage des pneus usagés dans le domaine de génie civil. Ils ont constaté que les matériaux cimentaires incorporant des granulats en caoutchouc ont une meilleure ténacité, une meilleure résistance aux chocs, et également, de meilleures propriétés d'isolation thermique et phonique que les matériaux cimentaires ordinaire. Par contre, ils ont observé des chutes dans les résistances mécaniques. Parmi les causes de cette baisse de résistance est la faible adhérence entre les granulats de caoutchouc et la pâte du ciment. Pour cela, de nombreuses recherches ont été menées pour améliorer les performances des matériaux cimentaires incorporant des granulats en caoutchouc grâce à un traitement de surface.

Notre travail entre dans ce contexte. Il vise à étudier les propriétés des mortiers dans lesquels une partie du sable a été substitué par des granulats de caoutchouc issu de pneus usagés et ont subi un traitement de surface par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH). Les taux de substitution étudiés varient entre 0% et 25%. Les résultats sont comparés avec un mortier ordinaire et des mortiers avec des granulats de caoutchouc non traité et avec les même taux de substitution.

Dans l'ensemble, cette étude a montré que la méthode de traitement avec la solution (NaOH) peut améliorer les performances mécaniques du mortier de caoutchouc et sa durabilité par rapport au mortier avec granulat en caoutchouc non traité.

Mots clés : matériaux cimentaire - recyclage - caoutchouc - pneus - performances – traitement de surface.

ملخص

في السنوات الأخيرة، ركزت العديد من الدراسات على استخدام ركام المطاط وذلك عن طريق تمزيق الإطارات المستعملة في مجال الهندسة المدنية. ووجدوا أن المواد الإسمنتية التي تشتمل على ركام المطاط تتمتع بمتانة أقوى، ومقاومة تأثير أحسن، وأيضاً خصائص عزل حراري وصوتي أفضل من المواد الإسمنتية العادية. من ناحية أخرى، لاحظوا انخفاضاً في المقاومة الميكانيكية. و من بين الاسباب التي أدت إلى انخفاض في القوة هو ضعف الالتصاق بين ركام المطاط وعجينة الإسمنت. لهذا الغرض، تم إجراء الكثير من الأبحاث لتحسين أداء المواد الإسمنتية التي تتضمن ركام المطاط من خلال معالجة السطح.

يعد العمل الحالي جزءاً من هذه الرؤية و يهدف إلى دراسة خصائص الملاط الذي يتم فيه استبدال جزء من الرمل بركام مطاطي من الإطارات المستعملة ويتم إخضاعه لمعالجة سطحية بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) و ذلك بنسب تتراوح ما بين 0% و 25%. و قد تم مقارنة النتائج مع الملاط العادي والملاط ركام المطاط الغير المعالج وبنفس نسب الاستبدال.

بشكل عام، أوضحت هذه الدراسة أن طريقة معالجة المحلول (هيدروكسيد الصوديوم) يمكن أن تحسن من الخصائص الميكانيكية و تحسين ديمومة الملاط مقارنةً بالملاط المخلوط مع حبيبات المطاط غير المعالجة.

كلمات مفتاح : المواد الإسمنتية - إعادة التدوير - المطاط - الإطارات - الفعالية - معالجة الأسطح.

ABSTRACT

In recent years, several studies have focused on the use of rubber aggregates from the crushing of used tires in the civil engineering field. They found that cement materials incorporating rubber aggregates have better toughness, impact resistance, and also better thermal and sound insulation properties than ordinary cement materials. However, they observed falls in the mechanical resistors. Among the causes of this decrease in resistance is the poor adhesion between rubber aggregates and cement paste. To this end, a great deal of research has been carried out to improve the performance of cement materials incorporating rubber aggregates through surface treatment.

This work comes into this context. The purpose of this study is to investigate the properties of mortars in which part of the sand has been substituted by rubber aggregates from used tires and has undergone surface treatment with sodium hydroxide (NaOH) solution. The substitution rates studied vary between 0% and 25%. The results are compared with an ordinary mortar and mortars with untreated rubber aggregates and with the same substitution rates.

Overall, this study showed that the treatment method with solution (NaOH) can improve the mechanical performance of the rubber mortar and its durability compared to the mortar with untreated rubber granulate.

Keywords : cement materials – recycling – rubber – tires – performance – surface treatment.

SOMMAIRE

Résume	i
ملخص	ii
Abstract	iii
Sommaire	II
Liste des figures.	III
Liste des tableaux.	IV
Introduction générale.	1

Chapitre I : Recherche bibliographique.

Partie I : Généralité sur les mortiers.

I. 1. Introduction.	3
I.2. Définition du mortier.	3
I.3. Les constituants d'un mortier.	3
I.4. Les mortiers dans le bâtiment.	5
I.5. Emplois des mortiers.	6
I.6. Le mortier comme outil d'aide a la formulation des betons.	8
I.7. Caractéristiques des mortiers.	9
I.7.1. La prise.	9
I.7.2. Résistances mécanique.	9
I.7.3. Retraits et gonflement.	10

Partie II : Généralité sur les déchets

II.1. Définition d'un déchet.	10
II.2. Différents types de déchets.	11
II.3. Gestion des déchets.	13
II.4. Valorisations des déchets.	13
II.5. Principes du recyclage.	13
II.6. Intérêt du recyclage dans le domaine du génie civil.	14
II.7. Quelques déchets recyclés dans le domaine du génie civil.	15
II.7.1. Les laitiers sidérurgiques.	15
II.7.2. Déchets de verre.	15
II.7.3. Granulats recyclés.	16
II.7.4. Déchet de caoutchouc.	16
II.8. Composition d'un pneu.	17
II.9. Impact environnemental des déchets pneumatiques.	17
II.10. Valorisation des déchets pneumatiques.	18
II.11. Utilisations des pneus usagés en Algérie.	19
II.12. Valorisation des déchets pneumatiques dans les matériaux a base cimentaire.	19
II.12.1. Effets de granulat en caoutchouc sur les propriétés des bétons à l'état frais.	20
II.12.2. Effets de granulat en caoutchouc sur les propriétés des bétons à l'état durci.	21
II.13. Conclusion.	23

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales.

II.1. Introduction.	24
----------------------------	----

II.2. Les matériaux utilisés.	24
II.3. Essais sur granulats.	25
II.3.1. Masse volumique.	25
a) Masse volumique apparente.	26
b) Masse volumique absolue.	26
II.3.2. Analyse granulométrique	27
II.3.3. Essai équivalent de sable (NF 18-598).	30
II.4. Ciment.	31
II.5. Eau.	31
II.6. Super plastifiant.	32
II.7. Traitement des granulats de caoutchouc.	32
II.8. Formulation du mortier.	33
II.8.1. Confection des éprouvettes.	34
II.9. Présentation des essais expérimentaux.	36
II.9.1. Essai sur mortier frais.	36
II.9.1.1. Mesure de la consistance : essai d'étalement (Norme EN 1015-3).	36
II.9.1.2. Masse volumique à l'état frais.	37
II.9.1.3. Essai teneur en air occlus.	38
II.9.2. Essais sur mortier durci.	38
II.9.2.1. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique).	38
II.9.2.2. Essai de flexion.	39
II.9.2.3. Essai de compression : Norme (NF EN 18-455).	40
II.9.2.4. Absorption d'eau par capillarité.	41

II.9.2.5. Perméabilité à l'eau.	42
II.9.2.6. Essai de l'acide.	43
II.10. Conclusion.	44

Chapitre III : Résultats expérimentaux et analyses.

III.1. Introduction.	45
III.2. Résultats et interprétations.	45
III.2.1. A l'état frais.	45
a) Essai d'affaissement.	45
b) Masse volumique à l'état frais.	46
c) Teneur en air occlus.	47
III.2.2. A l'état durci.	48
a) Masse volumique à sec.	48
a) Résistance à la compression.	49
b) Résistance à la traction par flexion.	51
d) Absorption d'eau par capillarité.	53
e) Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression).	55
f) Essai de l'acide.	56
III.3. Conclusion.	59
Conclusion générale	60
Références bibliographiques	62

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Recherche bibliographique

Figure I.1. Les constituants d'un mortier.	3
Figure I.2. Joints de maçonnerie.	6
Figure I.3. Application d'enduit.	7
Figure I.4. Application d'enduit.	7
Figure I.5. Calage d'un poteau en charpente métallique.	8
Figure I.6. Les laitiers sidérurgiques.	15
Figure I.7. Déchets de verre.	16
Figure I.8. Déchets de pneus usagés.	17
Figure I.9. Fumée toxique qui se dégage en brûlant des pneus.	18
Figure I.10. Chantier expérimental Pneusol à Bou-Smail.	19
Figure I.11. Influence de G.C. sur l'affaissement.	20
Figure I.12. Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution et le type de granulats en caoutchouc.	21
Figure I.13. Effet du caoutchouc sur la résistance à la compression.	21
Figure I.14. Effet du caoutchouc sur la résistance à la flexion.	22
Figure I.15. Evolution de la perméabilité à l'oxygène en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C.	23

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales.

Figure II.1. Les matériaux utilisés.	25
Figure II.2. La masse volumique apparente.	26

Figure II.3. La masse volumique absolue.	27
Figure II.4. Tamiseuse utilisée Insérer.	28
Figure II.5. Courbes analyse granulométrique des sables utilisés.	29
Figure II.6. Equivalent de sable.	31
Figure II.7. NaOH utilisé.	33
Figure II.8. Caoutchouc traité.	33
Figure II.9. Malaxeur utilisée.	35
Figure II.10. Conservation des échantillons dans l'eau.	35
Figure II.11. Table à secousses.	37
Figure II.12. La masse volumique à l'état frais.	37
Figure II.13. Essai teneur en air occlus.	38
Figure II.14. Pesée hydrostatique.	39
Figure II.15. L'essai de flexion a l'état durci.	40
Figure II.16. L'essai de compression a l'état durci.	40
Figure II.17. Dispositif essai de capillarité.	42
Figure II.18. Perméabilimètre à l'eau.	42
Figure II.19. Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) utilisé.	43
Figure II.20. L'immersion durant 14 et 28 jours dans l'acide sulfurique.	44

Chapitre III : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

Figure III.1 : valeurs d'affaissement pour les 07 formulations du mortier.	45
Figure III.2 : Coupe d'une éprouvette (15x15x15) cm en mortier MC25%.	46
Figure III.3 : valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.	47
Figure III.4 : valeurs de l'air occlus pour les 07 formulations du mortier.	48
Figure III.5 : valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.	49

Figure III.6. La résistance à la compression à 14 jours des 07 formulations du mortier étudiées.	50
Figure III.7. La résistance à la compression à 28 jours des 07 formulations du mortier étudiées.	50
Figure III.8. Essai résistance à la compression.	51
Figure III.9. La résistance à la traction par flexion à 14 jours des 07 formulations du mortier étudiées.	52
Figure III.10. La résistance à la traction par flexion à 28 jours des 07 formulations du mortier étudiées.	52
Figure III.11. Essai de la traction par flexion.	53
Figure III.12. Variation de l'absorption capillaire en fonction du temps des 07 formulations du mortier étudiées.	54
Figure III.13. Profondeur de la pénétration de l'eau pour les 07 formulations des mortiers étudiées.	55
Figure III.14. Essai de perméabilité à l'eau.	56
Figure III.15. Variation de la masse des mortiers en fonction du temps d'immersion dans H ₂ SO ₄ .	57
Figure III.16. L'allure des éprouvettes des 07 compositions du mortier Après 28 d'immersion dans H ₂ SO ₄ .	58

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Recherche bibliographique

Tableau I.1. La composition des pneus en masse.	17
Tableau I.2. Coefficient de perméabilité a l'air du composite ciment – caoutchouc.	22

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales

Tableau II.1. Les valeurs de la Masses volumiques.	27
Tableau II.2. Résultats de l'analyse granulométrique du sable.	28
Tableau II.3. Résultats de l'analyse granulométrique du caoutchouc.	29
Tableau II.4. Résultat de l'équivalent de sable.	31
Tableau II.5. Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant.	32
Tableau II.6. Dosages Des mortiers.	34
Tableau II.7. Valeurs d'étalement NF EN 1015-6.	36

Chapitre III : Résultats expérimentaux et analyses

Tableau III.1 : valeurs d'affaissement pour les 07 formulations du mortier.	45
Tableau III.2 : valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.	46
Tableau III.3 : valeurs de l'air occlus pour les 07 formulations des mortiers.	47

Tableau III.4 : valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.	48
Tableau III.5 : valeurs de Résistance à la compression pour les 07 formulations des mortiers.	49
Tableau III.6 : valeurs de Résistance à la traction par flexion pour les 07 formulations du mortier.	52
Tableau III.7 : Valeurs de l'absorption capillaire en fonction du temps pour les 07 formulations du mortier.	54
Tableau III.8. Valeurs de profondeur de pénétration de l'eau.	55
Tableau III.9. Valeurs de la perte en masse des différentes formations des mortiers étudiés.	57

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les matériaux conventionnels à base de matrice cimentaire à l'exemple des bétons et mortiers de ciment hydraulique, sont devenus ces dernières décennies les matériaux de construction les plus largement utilisés dans le monde, spécialement lorsqu'ils sont associés à l'acier. Leurs propriétés mécaniques atteintes au jeune âge et leur coût relativement faible associé à un processus de fabrication relativement simple, ont conduit à une utilisation hégémoniale de ces matériaux dans le domaine de la construction. Ce besoin croissant en matériaux de construction nous mène vers un épuisement des ressources naturelles.

L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement. Devant le besoins croissants des ressources en matériaux et aux exigences de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire de prospecter et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des matériaux de construction.

Par ailleurs, l'accumulation des déchets, non dégradables, tels que les pneus usagés, devenant de plus en plus incontrôlable et occupant un espace public, non négligeable, a mis en lumière l'utilisation de ces matériaux dans plusieurs usages, à savoir, des applications dans le domaine de la construction, permettant à la fois, de préserver les ressources naturelles des granulats et d'améliorer les performances et la durabilité des composites cimentaires, sans oublier la protection de l'environnement.

En fait, le caoutchouc est une solution parfaite pour les problèmes de l'environnement. Selon leurs compositions, les pneus sont classés parmi les déchets non dangereux et non dégradables (400 ans environ), mais en raison du risque d'incendies non maîtrisables dans les décharges à cause des fumées toxiques dégagées, la stagnation des eaux dans ces endroits, ainsi que les insectes, leur valorisation semble être une obligation plus qu'un choix.

Les études ultérieures sur l'incorporation des granulats de caoutchouc issus de pneus usagés dans les matériaux cimentaires ont montrées une amélioration de la ténacité, la ductilité et diminution significative de la résistance à la compression et à la traction. Par contre, ils ont observé des chutes dans les résistances mécaniques. Parmi les causes de cette baisse de résistance est la faible adhérence entre les granulats de caoutchouc et la pâte du ciment. Pour cela, de nombreuses recherches ont été menées pour améliorer les performances des matériaux cimentaires incorporant des granulats en caoutchouc grâce à un traitement de surface.

Le présent travail a pour but d'étudier l'effet de l'incorporation des granulats en caoutchouc non traité et des granulats en caoutchouc traité sur les caractéristiques du mortier. On s'est intéressé à l'aspect rhéologique à l'état frais, l'aspect mécanique, physique ainsi que la durabilité.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les mortiers, les déchets, les déchets utilisés en génie civil principalement dans l'élaboration des matériaux cimentaires. Ensuite, nous avons établi une synthèse des travaux sur les matériaux cimentaire à base des granulats de caoutchouc issus de pneus usés.

Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des matériaux employé pour la confection des bétons (sable, ciment, eau, granulats de caoutchouc), les formulations étudiées ainsi les procédures expérimentales adoptées pour les différents essais réalisés.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats des essais rhéologiques à l'état frais ainsi que des propriétés mécaniques, physique ainsi quelques paramètres de durabilité des mortiers modifiés étudiés.

Enfin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I

Recherche bibliographique

PARTIE I : GENERALITE SUR LES MORTIERS

I.1. INTRODUCTION

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

La ressemblance des compositions des mortiers à celles des bétons fait que le mortier s'apparente bien au béton sur tous les aspects, propriétés à l'état frais, propriétés à l'état durci, propriétés de durabilité.....

En comparaison au béton, les mortiers sont utilisés pour assurer une très large gamme de fonctions, cela va de la résistance, à la liaison, à la protection, isolation, esthétique, bouchage [1].

I.2. DEFINITION DU MORTIER

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations [2].

I.3. LES CONSTITUANTS D'UN MORTIER

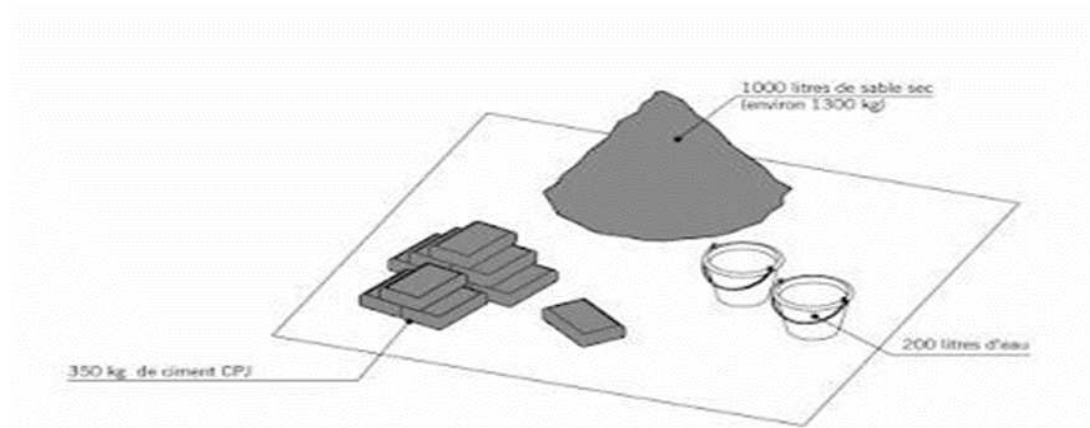


Figure I.1. Les constituants d'un mortier.

- **Le liant**

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson. [2].

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

- **Le sable**

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [2].

- **L'eau de gâchage**

L'eau remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment, et, ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser. Elle doit être la plus propre et la plus pure possible. Trop

d'impuretés risquent de réduire la résistance de la maçonnerie. Une eau teintée (de rouille, par exemple, si elle est puisée dans un bidon métallique) risque de colorier l'ouvrage [3].

I.4. LES MORTIERS DANS LE BATIMENT

Les mortiers peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

- **Mortier de ciment** : Il est plus résistant que les mortiers de chaux mais il reste imperméable à l'air, par conséquent, il maintient l'humidité dans une maçonnerie traditionnelle de pierres qui doit toujours être aérée. Ce mortier doit être utilisé uniquement pour la maçonnerie des blocs de bétons ou autrement dit de parpaings en ciment. Sa rigidité en fait un matériau qui a tendance à fissurer sous l'action des écarts de température, notamment alternances gel & dégel, tandis que son imperméabilité l'expose aux moisissures. En revanche, il est plus facile, rapide, et tolérant à mettre en œuvre.
- **Mortier de chaux grasse** : Il fait prise en contact avec l'air. Il durcit en surface et reste souple à l'intérieur de la maçonnerie. Cette qualité en fait un mortier qui reste élastique et donc qui ne fissure pas. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Mais il ne doit pas être utilisé dans un milieu humide (cave, mur souterrain, etc.). Le mortier de chaux grasse est moins résistant par rapport à un mortier de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.
- **Mortier de chaux hydraulique** : Il est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Deux avantages sont qu'il reste plus flexible que le mortier de ciment et est perméable à la vapeur d'eau, donc régule l'humidité ambiante. En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).
- **Mortier bâtard** : Le mortier bâtard est constitué par un mélange de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus

ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. Le mortier bâtard permet d'avoir un ciment qui respire un peu sans trop absorber l'eau ; il convient bien pour crépir et ne se fissure pas comme un ciment fort. De plus, la chaux augmente le pouvoir collant du mortier, ce qui est appréciable en enduit vertical. La perméabilité d'un mortier bâtard à la vapeur d'eau diminue proportionnellement au pourcentage de ciment qu'il contient. Il est utilisé également pour la fixation d'éléments de maçonnerie demandant une résistance mécanique plus importante (scellements etc).

- **Mortiers industriels secs prémélangés** : Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration par le fabricant, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre [1].

I.5. EMPLOIS DES MORTIERS

- *Le hourdage de maçonnerie* : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure I.2. Joints de maçonnerie.

- *Les enduits* : Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.



Figure I.3. Application d'enduit.

- *Les chapes* : Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise a niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.



Figure I.4. Application d'enduit.

- *Les scellements et les calages* : La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux a réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite [4].

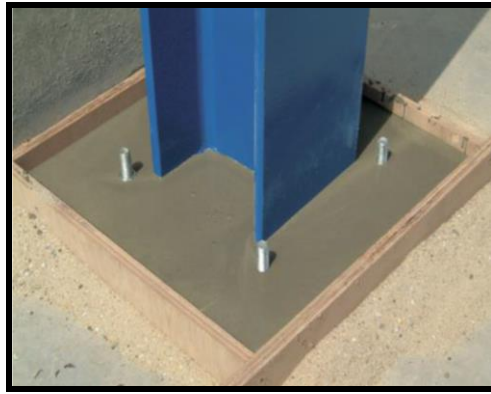


Figure I.5. Calage d'un poteau en charpente métallique.

I.6. LE MORTIER COMME OUTIL D'AIDE A LA FORMULATION DES BETONS

Avec tous les nouveaux produits qui se développent continuellement, il est devenu très difficile de choisir les produits les plus adaptés aux exigences des cahiers des charges pour la formulation des bétons. Pour faciliter l'étape de formulation et de tri des produits, plusieurs essais sur pâte de ciment, sur coulis ou sur mortier sont alors développés.

L'étalement au mini cône d'une pâte de ciment est utilisé pour étudier l'influence des super plastifiants réducteurs d'eau sur l'ouvrabilité de la pâte de ciment. En 1989, le LCPC, a développé la méthode des coulis comme outil d'aide à la formulation des bétons à hautes performances [5]. La méthode des coulis utilise les fines de béton à diamètres inférieurs à 80 μm . Les techniques de mesure sont diverses ; mesures de l'étalement du coulis en utilisant un mini cône; mesure du temps d'écoulement au cône de Marsh pour comparer la fluidité de plusieurs pâtes de ciment et ou d'additions [5, 6]. Les résultats obtenus sont utilisés pour sélectionner les constituants de la pâte et étudier leurs interactions, mais ne permettent pas de prédire complètement le comportement du béton.

La méthode du Mortier de Béton Equivalent considère un mortier dont la composition est dérivée de celle du béton et dont les propriétés rhéologiques sont corrélables à celles du béton [6]. La méthode est considérée comme un outil d'aide à la formulation. Elle a pour but de diminuer le nombre de gâchées de béton à réaliser pour l'optimisation de la composition d'une formule de béton.

Actuellement, la méthode MBE est utilisée au laboratoire pour faciliter la sélection des adjuvants lors de la formulation des bétons, en utilisant des tests sur mortier en complément voire en remplacement de tests sur béton.

Les coulis et les mortiers sont donc utilisés pour appréhender le comportement à l'état frais du béton, son murissement et ses propriétés à long terme résistance et durabilité.

I.7. CARACTERISTIQUES DES MORTIERS

Les caractéristiques principales des mortiers sont [7].

I.7.1. La prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure du ciment de consistance Normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même Appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains du sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur [7].

I.7.2. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm³ conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours [7].

I.7.3. Retraits et gonflements

➤ Le Retrait

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la Pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment) [7].

➤ Le gonflement

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10mm) [7].

PARTIE II : GENERALITE SUR LES DECHETS

II.1.DEFINITION D'UN DECHET

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation. Toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement [8].

II.2. DIFFERENTS TYPES DE DECHETS

Déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

Déchets inertes

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants : les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

Déchets ménagers et assimilés

Les déchets assimilés aux ordures ménagères sont les déchets non dangereux provenant des activités économiques de l'artisanat, des commerces, des bureaux et petites industries, ou d'établissements collectifs (éducatifs, socioculturels, militaires, pénitentiaires, etc.), pouvant utiliser les mêmes circuits d'élimination que les déchets non dangereux des ménages [9].

Déchets verts

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)

- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles des œufs, etc....

- boues.

Déchets industriels

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien des matériels en fin de vie.

Déchets dangereux

- Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

b-Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé [10].

Différentes lois, notamment celles de la directive européenne du 15 juillet 1975 et du 3 juillet 1992 regroupée et inscrite dans le code de l'environnement, fixent les objectifs à respecter pour gérer correctement les déchets :

- Prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets.
- Organiser le transport des déchets.
- Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- Informer le public des effets pour l'environnement et la santé publique.
- Limiter le stockage définitif aux seuls déchets résiduels, ultimes [1].

II.4. VALORISATIONS DES DECHETS

La valorisation de la matière issue du déchet regroupe les procédés suivants :

- **Le Réemploi** : nouvel emploi du déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation.
- **La régénération** : procédé physique ou chimique qui redonne au déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une manière première vierge.
- **La réutilisation** : utilisation du déchet pour un dosage différent de son premier emploi, ou introduction de ce matériau dans un autre cycle de production que celui dont il est issu.
- **Valorisation énergétique** : Elle consiste à récupérer l'énergie du déchet en l'incinérant. L'incinération c'est la réalisation d'une combustion complète du déchet dans un four, adapté aux caractéristiques de ces déchets, à une température de 700 à 900 C° [1].
- **Le recyclage** : réintroduction d'un déchet dans un cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge.

II.5. PRINCIPES DU RECYCLAGE

Les trois grands principes du recyclage sont :

1. **Réduire** : regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchet.
2. **Réutiliser** : regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent.
3. **Recycler** : désigne l'ensemble des opérations de collecte et traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet [3].

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- Le recyclage dit «*chimique*» utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants ;
- Le recyclage dit «*mécanique*» est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ou pour séparer par courants de Foucault ;
- Le recyclage dit «*organique*» consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz [1].

II.6. INTERET DU RECYCLAGE DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL

Actuellement, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels issus de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

Le granulat recyclé ne peut pas être considéré à ce jour comme un matériau de remplacement qui permettrait d'éviter l'exploitation des gisements naturels mais il peut ralentir ce processus. Par exemple, la Belgique produit annuelle environ 72 millions de tonnes par an de granulats tous types confondus.

La répartition des différents types de granulats s'effectue de la manière suivante :

- granulats naturels : environ 43 millions de tonnes par an (+/- 58%), la fabrication des bétons consomme à elle seule 15 millions de tonnes ;
- granulats marins : environ 4 millions de tonnes par an (+/- 5,5%) ;
- granulats artificiels : environ 2 millions de tonnes par an (+/- 2,25%) ;
- sables/graves : environ 11 millions de tonnes par an (+/- 14,75%) ;
- granulats recyclés : 14 millions de tonnes par an (+/- 19,5%) [6].

Ainsi le recyclage des déchets comme granulats pour les routes ou la construction permet :

- Une économie de la ressource naturelle ;
- Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants ;
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge.

De plus le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. Par exemple, les 205 entreprises du recyclage en Ile-de-France rassemblent près de 5000 salariés en 2015. En Algérie, on estime que le recyclage créera plus de 30000 postes d'emplois directs. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés.

II.7. QUELQUES DECHETS RECYCLES DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL

II.7.1. Les laitiers sidérurgiques

Les laitiers de haut-fourneau sont des matières formées lors de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. Selon le processus de refroidissement du laitier en fusion, on distingue deux familles :

- le laitier vitrifié obtenu par un refroidissement brutal à l'eau, qui lui confère une structure vitreuse lui permettant de développer des propriétés analogues à celles du ciment.
- le laitier cristallisé, obtenu par un refroidissement lent qui le transforme en une roche dure artificielle et chimiquement stable [11]. Ce type de laitier est approprié comme granulat pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.



Figure I.6. Les laitiers sidérurgiques.

II.7.2. Déchets de verre

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principales : les granulats (taille > 4mm) et les poudres (taille < 4mm). Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre.

Les poudres (sables et fines) sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment pour fines [10].



Figure I.7. Déchets de verre.

II.7.3. Granulats recyclés

Devant les besoins prépondérantes des granulats d'une part et les exigences environnementales d'autre part le recyclage des matériaux de démolition reste la solution meilleure et efficace

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne. Depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme constituants de nouveau béton. Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits : «Granulats Recyclés», et le béton fabriqué à base de ces granulats est dits : «Béton Recyclé».

II.7.4. Déchet de caoutchouc

Il existe deux grandes familles de caoutchoucs :

- les caoutchoucs naturels qui proviennent de l'hévéaculture (hévéa : arbre qui produit du latex),
- les caoutchoucs synthétiques fabriqués à partir de dérivés du pétrole.

Les caoutchoucs sont utilisés dans de nombreux secteurs : automobile/transport (pneumatiques, système de freinage, airbag, étanchéité, ..), équipement industriel, bâtiment et travaux publics (BTP), médical, colles et adhésifs....

Les déchets de caoutchouc ont quatre origines :

- Les déchets de caoutchouc industriel (8%),
- Les déchets de fabrication de pneumatiques et chambres à air (3,5%),
- Les pneumatiques usagés (86,6%),
- Les déchets du recyclage (poudrettes, copeaux) (2%).

Donc, les pneumatiques usagés représentent la part de déchets de caoutchouc la plus importante (plus de 85%) [12].



Figure I.8. Déchets de pneus usagés.

II.8. COMPOSITION D'UN PNEU

Les différentes matières contenues dans les pneus usagés sont présentés dans le tableau I.1

Tableau I.1. La composition des pneus en masse [13].

Composition (% en masse)	Pneu d'automobile	Pneu d'un véhicule poids lourds
Caoutchouc naturel	14	27
Caoutchouc synthétique	27	14
Noir de carbone	28	28
Acier	14-15	14-15
Autre	16-17	16-17

II.9. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS PNEUMATIQUES

La priorité de l'homme pour la protection de son environnement devant l'agressivité de l'effet de serre est un engagement important pour les générations futures, puisqu'il est considéré comme une source importante d'alimentation des différents aspects de pollution. Malgré tous les inconvénients que les pneumatiques usagés possèdent, ils ne sont pas catégorisés comme déchets toxiques ou dangereux, car ils ne sont pas biodégradables, mais sont nuisibles pour l'environnement et santé en cas d'incendie. Ces derniers une fois brûler, dégagent des fumées hautement dangereuses, par sa teneur en gaz toxique sont composés par des hydrocarbures

chlorés et des pléromatiques et des dioxines causant ainsi chaque année des maladies et des allergies tel que l'allergie cutanée. Ils produisent aussi une vapeur toxique (possédant des composants de silice de carbone). Les épaisses fumées se répandant dans l'atmosphère en cas d'incendie peuvent causer beaucoup de maladie respiratoire [14]. Ainsi leurs mode de stockage est propice à la prolifération des rongeurs et moustiques compte tenu de la grande quantité de vide et de poches susceptibles de retenir de l'eau



Figure I.9. Fumée toxique qui se dégage en brulant des pneus.

II.10. VALORISATION DES DECHETS PNEUMATIQUES

Le stockage et l'élimination des pneumatiques usagés sont devenus des préoccupations graves pour l'environnement à travers le monde. Des centaines de millions de pneus hors d'usage, sont générés et cumulés dans les États-Unis et de nombreux autres pays à travers le monde, chaque année.

Selon une étude statistique estimative du gisement des Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) publiée en 2011, la quantité générée annuellement en Algérie est de l'ordre de 1439514 unités, soit 25918 tonnes par an (3500000 véhicules en 2007). Cette quantité évoluera à la hausse à cause de l'augmentation du parc automobile Algérien qui est estimé 8,4 millions de véhicules, d'après les déclarations du Ministre du Transport en septembre 2016 au journal El Moudjahid [15].

Les filières classiques de valorisation des pneus usagés qui nécessitent souvent une technologie avancée, sont généralement concentrées dans les pays riches. Le développement de nouvelles filières de valorisation de pneus usagés, reste cependant toujours en grande demande partout dans le monde.

II.11. UTILISATIONS DES PNEUS USAGES EN ALGERIE

Bien que le gisement Algérien de pneumatiques usagés est important ; les quantités valorisées sont très limitées, nous notons quelque type d'utilisation :

- Utilisées en agriculture pour renforcer les petits barrages et comme Siège dans les jardins traditionnels.
- Applications de résidus de copeaux de pneus en structure sous chaussée.
- Pour la Stabilité d'un talus.
- Rechapage pneus usagés à El Eulma.
- Utilisation pour couvrir les conducteurs électriques.
- Pneu sol, déjà utilisé dernièrement à Alger par une société Italienne.
- Stabilité d'un glissement de terrain.



Figure I.10. Chantier expérimental Pneusol à Bou-Smail.

II.12. VALORISATION DES DECHETS PNEUMATIQUES DANS LES MATERIAUX A BASE CIMENTAIRE

La possibilité de valorisation des déchets pneumatiques dans les matériaux à base cimentaire sous forme de granulats a été l'objet de nombreuses recherches expérimentales. Ces recherches ont eu pour finalité que l'incorporation des déchets pneumatiques dans ces matériaux effectuent leurs propriétés aussi bien à l'état frais que à l'état durci.

II.12.1. Effets de granulats en caoutchouc sur les propriétés des bétons à l'état frais

➤ Ouvrabilité

Pour évaluer la rhéologie à l'état frais du béton, dans la pratique, on se base souvent sur des essais d'ouvrabilité dont le résultat est quantifié par l'affaissement ou par l'étalement dans le cas du béton auto-plaçant.

D'après L'étude réalisée par Khaloo et al. [16], le béton incorporant des G.C. à une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition. Néanmoins, leurs résultats montrent que la procédure ordinaire pour évaluer l'affaissement n'est pas appropriée à ce composite cimentaire. Ils ont donc suggéré qu'il fallait chercher d'autres méthodes pour mesurer correctement l'affaissement du béton incorporant des granulats en caoutchouc.

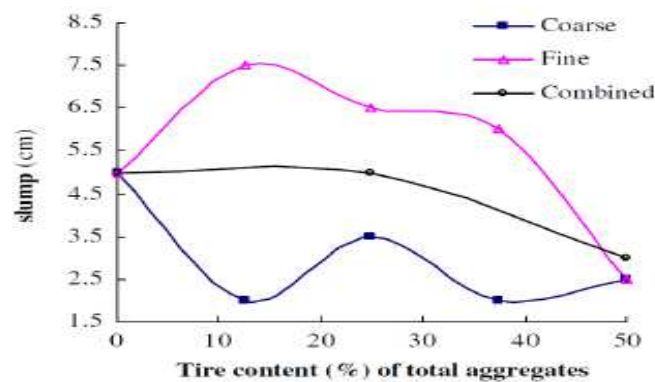


Figure I.11. Influence de G.C. sur l'affaissement [16].

➤ Masse volumique

La masse volumique d'un béton dépend de sa composition en particulier de la densité des granulats utilisés. Le béton incorporant des G.C. en substitution des granulats naturels a naturellement une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire.

➤ Teneur en air

Concernant la teneur en air occlus, Khatib et al. [17] ont noté qu'elle augmente avec le volume de caoutchouc. C'est ce qui est illustré par la Figure I.12 où le groupe A correspond à un béton pour lequel le sable a été remplacé par des G.C. fins, le gravier a été remplacé par de gros G.C. dans le cas du groupe B tandis qu'ils ont substitué le sable et le gravier par des G.C.

fins et gros dans le cas du groupe C. Ces auteurs ont observé que la teneur en air occlus du groupe B est inférieure à celle du groupe A lorsque le volume de caoutchouc dépasse 30% du volume total des granulats. Cette diminution peut être expliquée par la compacité plus élevée pour le groupe B à même volume de G.C.

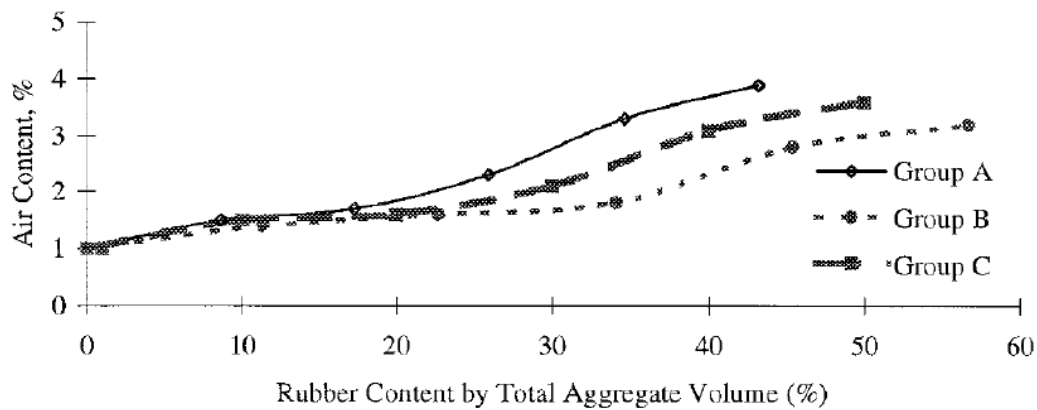


Figure I.12. Variation de la teneur en air en fonction du taux de substitution et le type de granulat en caoutchouc [17].

II.12.2. Effets de granulat en caoutchouc sur les propriétés des bétons à l'état durci

➤ Caractéristiques mécaniques

Plusieurs recherches sont réalisées pour étudier les caractéristiques mécaniques, les principales conclusions tirées à partir de ces études c'est que l'incorporation des particules des caoutchoucs diminue la densité et les paramètres de résistance du béton et augmenter la ductilité de ces matériaux. (Figure I.13, I.14)

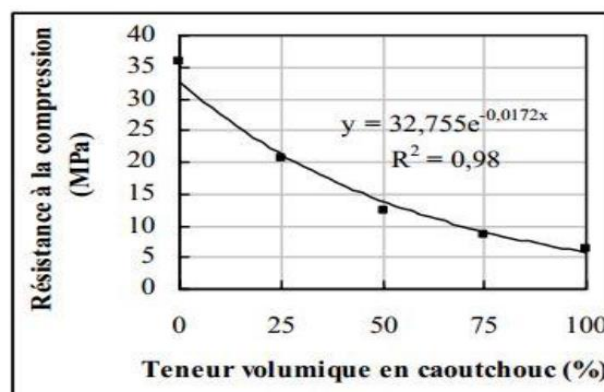


Figure I.13. Effet du caoutchouc sur la résistance à la compression [18].

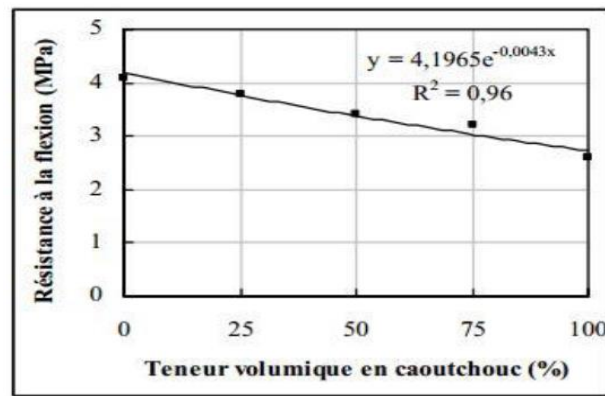


Figure I.14. Effet du caoutchouc sur la résistance à la flexion [18].

➤ Perméabilité

Pour certains auteurs, dont les résultats sont présentés dans le tableau I.2, le coefficient de perméabilité à l'air diminue avec l'augmentation du taux de G.C. alors que la porosité augmente. Ils justifient ces constatations a priori contradictoires par le fait que le réseau poreux du composite incorporant des granules en caoutchouc est plus discontinu [19].

Tableau I.2. Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment - caoutchouc [20].

Volume du G.C (%)	Coefficient de perméabilité à l'air (10^{-17} m^2)		
	CRAC		ERAC
0		12,56	
10	10,25	-	9,85
20	4,38	-	2,95
30	3,24	-	2,23
40	2,36	-	1,74

Toujours au sujet de la perméabilité au gaz et comme le montre la figure I.15, Garros [21], qui a travaillé sur les propriétés des BAP incorporant des G.C. en arrive à une conclusion opposée à celle de Benazzouk et al., la perméabilité à l'oxygène du BAP augmente avec le taux d'incorporation en G.C.

De plus, à même taux d'incorporation, ce travail montre qu'avec des granules en caoutchouc de plus petites dimensions (0-4 mm dit BAPX-4) cette perméabilité est plus élevée que celle enregistrée avec des grains de caoutchouc plus gros (4-10 mm dit BAPX-10).

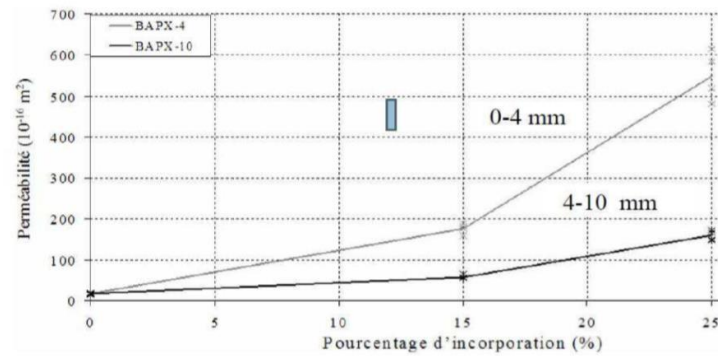


Figure I.15. Evolution de la perméabilité à l'oxygène en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C [21].

CONCLUSION

L'idée de la valorisation des pneumatiques usagés constitue actuellement une priorité très motivante sur le plan environnemental qu'économique. En effet le pneu usagé est un déchet encombrant, mais qui peut devenir très utiles, en conséquence le Génie Civil offre de nombreuses possibilités d'utilisation des pneumatiques usagés, en les valorisant en matériau de construction aux propriétés originales et très utiles.

CHAPITRE II :

**Caractérisation des matériaux utilisés
et méthodes expérimentales**

II.1. INTRODUCTION

L'emploi judicieux des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes [22].

Cette partie expérimentale a été consacrée à la détermination de quelques propriétés physiques des granulats utilisés (sable + poudrette de caoutchouc). Les essais ont été effectués conjointement au laboratoire pédagogique du département de génie civil, et au Laboratoire de génie civil et d'hydraulique (LGCH) de l'Université 8 Mai 45 de Guelma.

Les protocoles pour la conduite des essais ont été conformes aux normes en vigueur.

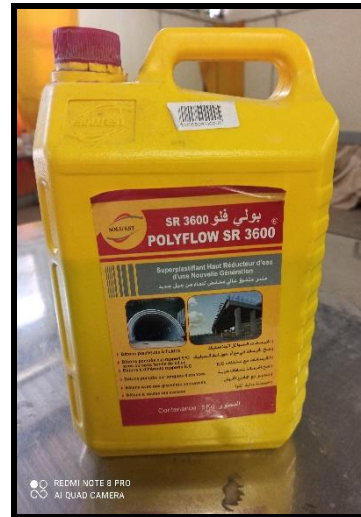
II.2. LES MATERIAUX UTILISES

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Guelma. Les matériaux utilisés sont :

- Un ciment de type CPJ-CEM IIA 42,5 provenant de la cimenterie de Hdjar Essoud.
- Un sable roulé d'étendue granulaire 0/2 provenant de la Wilaya de Tébessa.
- De la poudrette de caoutchouc récupéré auprès de l'entreprise «Douib Recyclage Caoutchouc» dans la Wilaya de Sétif.
- L'eau du robinet.
- Adjuvant : super plastifiant POLYFLOW SR 3600.



Ciment



Adjuvant



Sable



Poudrette de caoutchouc

Figure II.1. Les matériaux utilisés

II.3. ESSAIS SUR GRANULATS

II.3.1. Masse Volumique

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et volume apparent, il faut aussi distinguer de même :

✚ **Masse volumique apparente : (la norme NF P 18-554) [23].**

Principe d'essai :

Remplir un récipient d'un volume connu, et en déterminer la masse.



Figure II.2. La masse volumique apparente

Donc :

La masse volumique apparente est égale :

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V}$$

Avec

ρ_{ap} : masse volumique apparente (g/cm^3)

M : masse de l'échantillon de granulats (g)

V : volume du récipient utilisé pour la masse (cm^3)

✚ **Masse volumique absolue : (la norme NF P 18-555) [24].**

C'est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains. A l'aide d'une éprouvette graduée on peut facilement déterminer cette valeur :

- On remplit l'éprouvette de liquide inerte vis-à-vis de l'échantillon étudié jusqu'au niveau V_1
- On rajoute une masse M de l'échantillon à étudier
- On lit le niveau actuel du liquide, soit V_2



Figure II.3. La masse volumique absolue.

La masse volumique absolue :

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Le tableau suivant résume les résultats d'essai de la masse volumique pour les différents matériaux utilisés :

Tableau II.1. Les valeurs des masses volumiques.

Le matériau	Sable	caoutchouc
La masse volumique absolue (g/cm ³)	2.5	0.47
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1.42	0.87

La masse volumique absolue pour les granulats est $> 2 \text{ g/cm}^3$ selon la norme NF.P 18-301 [25]. ce sont des granulats courants utilisés pour les matériaux cimentaires courants.

II.3.2. Analyse granulométrique



Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains consistant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du

haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis.



Figure II.4. Tamiseuse utilisée.

Pour déterminer l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse d'environ de 1000 g de sable préalablement conservées dans un étuve 105°C pendant 24 heures. Les résultats sont reportés sur le tableau :

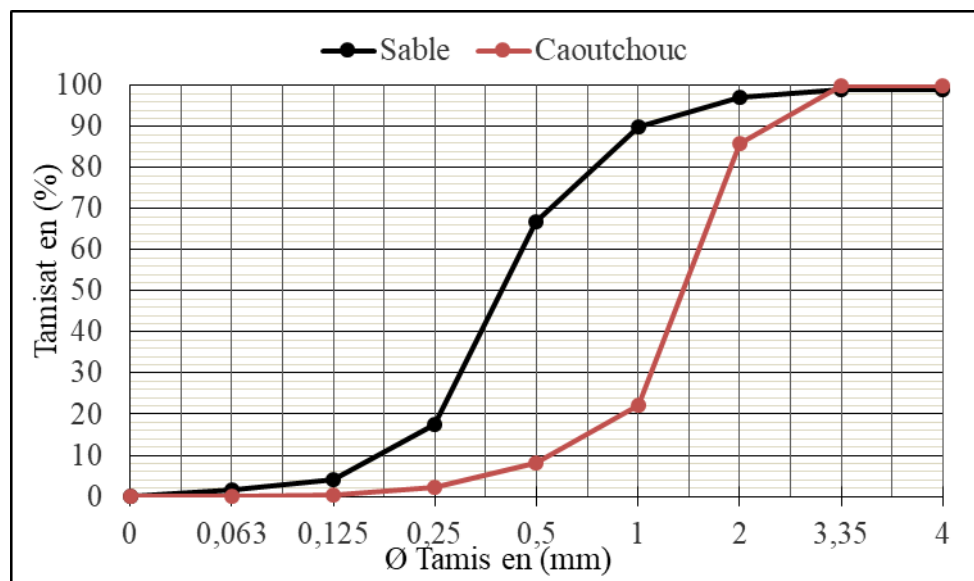
Sable :

Tableau II.2. Résultats de l'analyse granulométrique du sable.

Tamis (mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât cumulé%
4	10	10	1	99
3.35	0	10	1	99
2	20	30	3	97
1	70	100	10	90
0.5	230	330	33	67
0.25	495	825	82.5	17.5
0.125	135	960	96	4
0.063	25	985	98.5	1.5
FOND	10	995	99.5	4.5

Caoutchouc :**Tableau II.3.** Résultats de l'analyse granulométrique du caoutchouc.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé %	Tamisât cumulé %
4	0	0	0	100
3.35	0	0	0	100
2	119	119	23.8	76.2
1	272	391	78.2	21.8
0.5	60	451	90.2	9.8
0.25	1	452	90.4	9.6
0.125	0	452	90.4	9.6
0.063	0.6	452.6	90.52	9.48
FOND	0.8	453.4	90.68	9.32

**Figure II.5.** Courbes analyse granulométrique des sables utilisés.**Module De Finesse (la norme NF P18-304) [26].**

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0.125 – 0.250 – 0.50 – 1.00 – 2.0 – 4mm.

Lorsque M_f est compris entre :

- 2 et 2.4: le sable est à majorité de grains fins,

- 2.4 et 3.2: on est en présence d'un sable préférentiel,
- 3.2 et 3.6: le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins Maniables.

Dans le cas de notre sable :

$$M_f = \frac{96+82.5+33+10+3+1}{100} = 2.255$$

$M_f = 2.25$ donc c'est un sable à majorité de grains fins.

Dans le cas de caoutchouc :

$$M_f = \frac{90.4+90.4+90.2+78.2+23.8+0}{100} = 3.6$$

$M_f = 3.6$ donc c'est sable un peu grossier.

II.3.3. Essai équivalent de sable (NF P 18-598) [27].

Pour les sables, la propreté peut se contrôler par l'essai d'équivalent de sable. L'essai consiste à :

- Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1er trait.
- Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 min,
- Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retours dans le sens horizontal
Puis replacée verticalement,
- Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min,
- Mesurer la hauteur du sable propre (h_2') et la hauteur du sable propre + éléments fins (h_1).

La mesure de h_2' n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus Précise : ES.

- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer h_2 .

L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$EVS = \frac{h_2'}{h_1} \times 100\%$$

L'équivalent de sable est défini par :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100\%$$



Figure II.6. Equivalent de sable.

Tableau II.4 : Résultat de l'équivalent de sable.

ESV	80.41
ES	85.08

D'après les résultats issus des essais pratiques (équivalent de sable) et selon la norme NF P18-598 [9], on déduit qu'on est dans le cas d'un sable propre à faible teneur en fines.

II.4. CIMENT

Pour la confection des mortiers d'étude, nous avons utilisé un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5, fabriqué par la société des ciments de HADJAR-SOUD (Skikda).

Les différentes caractéristiques du ciment utilisé sont indiquées sur la fiche technique élaborée par le producteur au niveau d'un laboratoire spécialisé conformément à la norme NA 442-2008 [22].

II.5. EAU

Pratiquement, toute eau naturelle potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du béton. Cependant, certaines eaux non potables peuvent convenir.

Une eau de qualité douteuse peut être utilisée à condition que des cubes de mortier préparés avec cette eau donnent des résistances à 28 jours au moins 80%

L'utilisation de l'eau potable dans les bétons est considérée comme une pratique sécuritaire.

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet disponible au réservoir de laboratoire de génie civil et hydraulique de l'université 08 Mai 1945 Guelma [22].

II.6. SUPER PLASTIFIANT

Pour la rhéologie des mortiers nous avons utilisé un Superplastifiant POLYFLOW SR 3600, c'est un super plastifiant haut réducteur d'eau pour des bétons et mortiers à faible E/C hautes performances et long maintien d'ouvrabilité.

Le POLYFLOW SR 3600 est un adjuvant d'une nouvelle génération chimique à base d'éther poly carboxylique modifié. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans béton ou haute qualité durabilité, performance et ouvrabilité sont requises. La plage d'utilisation recommandée est fixée par la fiche technique de 0,3 à 3% du poids du ciment, soit 0.28 à 2.86 L pour 100 KG de ciment. Les caractéristiques physicochimiques de cet adjuvant données par le fabricant sont indiquées dans le tableau .II.5 suivant [28]. :

Tableau II.5. Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant.

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Masse volumique	$1.05 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
PH	5.5 à 6
Teneur en chlorures	<0.1%
Extrait sec	22 1%

II.7. TRAITEMENT DES GRANULATS DE CAOUTCHOUC

- Les granulats de caoutchouc sont immergés dans une solution alcaline (préparée à partir de la dissolution de 10 g de pastilles d'hydroxyde de sodium NaOH dans 90 cm³ d'eau distillée) pendant 30 minutes en agitant l'ensemble périodiquement.

- Après 30 min d'immersion dans la solution, un rinçage avec de l'eau distillée est nécessaire pour éliminer toute la soude adsorbée sur la surface des granulats de caoutchouc.
- A la fin, les granulats de caoutchouc sont séchés à l'air libre avant leur utilisation [29].

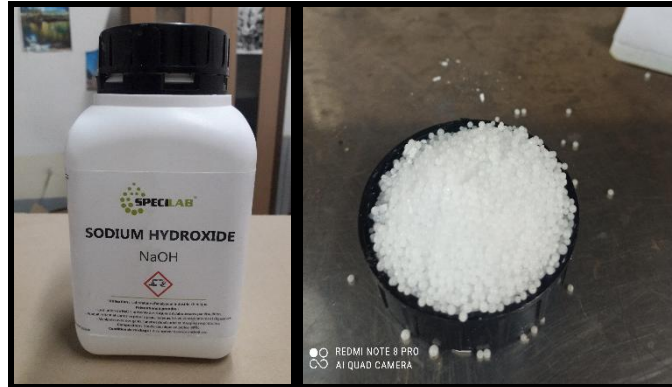


Figure II.7. NaOH utilisé



Figure II.8. Traitement du caoutchouc.

II.8. FORMULATION DU MORTIER

Pour la formulation de nos mortiers on s'est basée sur le principe de composition du mortier normalisé ; les quantités des produits sont choisies dans les rapports (1, 2, 3) ainsi :

La masse de l'eau est de $1 \times$ masse de l'eau choisie

La masse de ciment est de $2 \times$ masse de l'eau

La masse de sable est de $3 \times$ masse de ciment.

Les mortiers ainsi formulés présentent un rapport E/C égale à 0,5

Pour notre étude on s'est fixé un dosage en super plastifiant de 1.5% du poids du ciment.

Tableau II.6. Dosages Des mortiers.

	Formulation pour 1 m ³						
	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Ciment (kg)	500	500	500	500	500	500	500
Sable (kg)	1500	1350	1237.5	1125	1350	1237.5	1125
Caoutchouc (kg)	--	52.2	91.4	130.5	52.2	91.4	130.5
Eau (kg)	250	250	250	250	250	250	250
Super plastifiant (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

II.8.1. Confection Des Éprouvettes

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules prismatiques (4×4×16) cm³, et des moules Cubiques (15×15×15) cm³ pour la confection des éprouvettes.

Le malaxage des mortiers a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 3 L. La palette du malaxeur pouvant tourner à deux vitesses (lente et rapide). La séquence de malaxage est conforme à la norme (EN 196-1) [30].

- Les composants secs (ciment, sable et granulats en caoutchouc) ont été introduits dans le malaxeur puis malaxés pendant 3 minutes à vitesse lente afin d'assurer une bonne dispersion des granulats de caoutchouc.
- Après rajout d'une solution contenant 80% d'eau et de la totalité du super plastifiant et fait un malaxage à vitesse lente pendant 2 minutes.
- Les 20% restants de l'eau ont été introduits et le tout a été malaxé pendant 2 minutes à vitesse lente [9].



Figure II.9. Malaxeur utilisée.

Après le malaxage, le mortier est prêt à l'emploi. Le mortier est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage.

Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau.



Figure II.10. Conservation des échantillons dans l'eau.

II.9. PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés du mortier témoin et mortier modifié par poudre de caoutchouc et comparer ceux-ci aux propriétés de mortier ordinaire.

II.9.1. Essai Sur Mortier Frais

II.9.1.1. Mesure de la consistance : essai d'étalement (Norme NF EN 1015-3) [31].

C'est un essai essentiel qui permet de caractériser l'état frais et déterminer la maniabilité du mortier, cet essai est réalisé à l'aide d'un mini cône posé sur une table à secousses. On utilise cette dernière afin d'assurer un seul régime de vibration et éliminer les bulles d'air dans le but d'obtenir une bonne compacité.

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue.

L'étalement en % est donné par la formule :

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec

D_r : diamètre final

D_i : diamètre initial (le diamètre de la base du moule tronconique).

Tableau II.7. Valeurs d'étalement [9].

Consistance d'utilisation	Valeurs d'étalement
Mortier raide	< 14 cm
Mortier plastique	Entre 14 cm et 20 cm
Mortier fluide	> 20 cm



Figure II.11. Table à secousses.

II.9.1.2. Masse volumique à l'état frais (Norme NF EN 1015-6) [32].

Pour déterminer la masse volumique d'un mortier frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en mortier frais un récipient de volume V_r et de masse M_r . Le remplissage est exécuté en deux couches.
- Araser le haut du récipient.
- Peser le récipient rempli du mortier, soit M_t .

La masse volumique du mortier frais δ_f est donnée par la relation suivante :

$$\delta_f = \frac{M_t - M_r}{V_r}$$



Figure II.12. La masse volumique à l'état frais.

II.9.1.3. Essai teneur en air occlus

Lors d'un essai de gâchage, il est intéressant de mesurer la teneur en air d'un mortier frais, pour avoir une première indication de la compacité.

La teneur en air se mesure à l'aide d'un aéromètre. La méthode se base sur la compressibilité de l'air contenu dans le mortier frais. Un volume déterminé de mortier est mis en communication avec un volume d'air en surpression.

La valeur de la pression résultante permet de déterminer la teneur en air du mortier.



Figure II.13 : Essai teneur en air occlus.

II.9.2. Essais sur mortier durci

II.9.2.1. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique)

La masse volumique à sec a été mesurée par pesée hydrostatique, les mesures ont été effectuées après conservation des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours.

Après séchage des éprouvettes jusqu'à une masse constante, On mesure le masse de l'éprouvette dans l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées correspond au volume de l'éprouvette et la masse volumique égale a :

$$\rho_b = \frac{P_{air}}{P_{air} - P_{imm}}$$

ρ_b : masse volumique

P_{air} : masse de l'éprouvette dans l'air

P_{imm} : masse de l'éprouvette dans l'eau



Figure II.14. Pesée hydrostatique.

II.9.2.2. Essai de traction par flexion

L'essai de flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 selon la norme NF EN 1015-11 [33], il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{1,5FL}{B^3}$$

σ_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F : la charge appliquée à la rupture en (N)

L : la distance entre les appuis ($L = 12$ cm)

B : le côté de la section carrée de l'éprouvette ($B = 4$ cm)



Figure II.15. L'essai de flexion a l'état durci.

II.9.2.3. Essai de compression

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur la moitié des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm³, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai.



Figure II.16. L'essai de compression a l'état durci.

II.9.2.4. Absorption d'eau par capillarité

L'absorption par capillarité est une propriété qui caractérise la disposition des pores du matériau qui absorbent et transmettent l'eau par capillarité. Il est utilisé en complément à d'autres essais pour caractériser la durabilité du béton et du mortier.

Conduite de l'essai

Après démoulage, les éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm³ sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau. Elles sont ensuite extraites de l'eau et conservées dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à une masse constante. Ensuite Les faces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées par matériaux étanche qui force l'eau à adopter un cheminement uni-axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces.

Ensuite, les éprouvettes sont immergées dans une nappe d'eau de hauteur 5mm durant 48 h (voir la figure II.16).

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5 [34], et consiste à déterminer la quantité d'eau absorbée par le mortier en fonction du temps (1min, 4min, 9min, 16min, 25min, 36min, 49min, 64min, 2h, 4h, 8h, 24h, 48h) À chaque échéance, les éprouvettes sont sorties du récipient, essuyées à l'aide d'une éponge humide, pesées puis replacées dans le récipient.

Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire « CA » est exprimée en grammes par millimètre carré (g/mm²), par la formule suivante :

$$CA = \frac{M_j - M_o}{S^2}$$

Avec

M_o : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en gramme.

M_j : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.

S : section de la base de l'éprouvette en millimètre c'est-à-dire (40×40) mm².



Figure II.17. Dispositif essai de capillarité.

II.9.2.5. Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression) : Norme NF P18-436 [35].

Le principe de l'essai consiste à appliquer de l'eau sous pression de 500 ± 50 kPa sur la surface de l'éprouvette durcie pendant 72 heures. Après les 72 heures les éprouvettes sont écrasées par fendage, et on mesure la profondeur de pénétration d'eau.

Le dispositif permet de placer l'éprouvette, de dimension donnée, de telle façon que la pression d'eau peut s'exercer sur la zone d'essai. L'éprouvette doit être cubique, ou prismatique [37]. La dimension de l'arête ou du diamètre ne doit pas être inférieure à 150 mm. Pour notre travail on a utilisé des éprouvettes cubiques $(15 \times 15 \times 15)$ cm³. La surface de l'éprouvette qui reçoit la pression d'eau est rendue rugueuse à l'aide d'une brosse métallique, immédiatement après le démoulage.



Figure II.18. Perméabilimètre à l'eau.

II.9.2.6. Essai d'attaque acide

Après une cure dans l'eau de 28 jours (temps zéro), les éprouvettes de mortier de (4x4x16) cm³ ont été pesées pour déterminer la masse (M_1) avant d'être soumises à l'immersion durant 14 et 28 jours dans une solution d'acide sulfurique H₂SO₄ concentrée à 5% et de pH = 1, la solution d'acide a été renouvelée chaque 15 jours.

La résistance due à l'agression chimique des échantillons immergés dans la solution est évaluée selon la norme ASTM C 267-96 [36], les éprouvettes sont nettoyées 3 fois avec de l'eau distillée pour éliminer le mortier altéré. Après une demi-heure, une pesée est enregistrée. Le degré de l'attaque est évalué selon l'expression suivante :

$$\text{Perte en masse}(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Où :

M_2 : la masse en (gr) à l'âge i

M_1 : la masse initiale en (gr) avant immersion dans la solution acide.

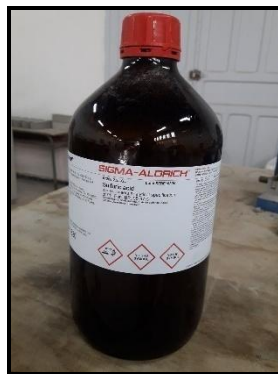


Figure II.19. Acide sulfurique (H₂SO₄) utilisé.



Figure II.20. Conservation des éprouvettes dans l'acide sulfurique (H₂SO₄).

II.10. CONCLUSION

- Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés ainsi que leurs propriétés physiques
- Le projet expérimental associe des essais de caractérisation à l'état frais des différentes formulations du mortier ainsi des essais de caractérisation à l'état durci : physique, mécanique et chimique.

Les résultats expérimentaux de ce programme d'essai sont présentés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III :
RESULTATS EXPERIMENTAUX
ET ANALYSES

III.1. INTRODUCTION

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent. A l'issue de ces résultats, des discussions et des interprétations seront présentées au fur et à mesure.

III.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.2.1. Essai sur mortier frais

a) Essai d'affaissement

Le tableau III.1 et les figure III.1 présentent les valeurs de l'étalement en fonction du taux d'incorporation des G.C. pour les différentes compositions retenues.

Tableau III.1. Valeurs d'étalement pour les 07 formulations du mortier

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Etalement (cm)	15.3	17.45	17.95	20.45	17.1	17.9	19.9

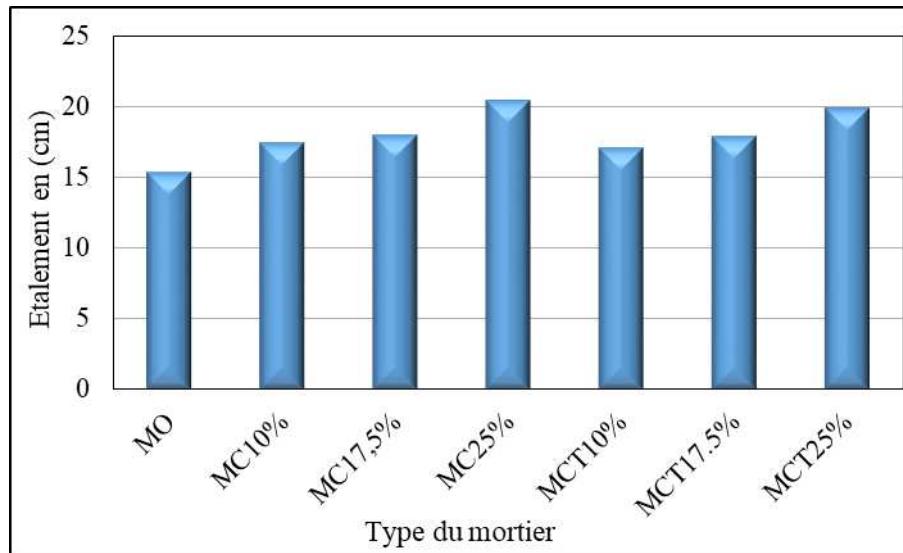


Figure III.1. Valeurs d'étalement pour les 07 formulations du mortier.

D'après la Figure III.1 on peut constater que l'étalement des mortiers de caoutchouc augmente avec l'augmentation du taux de substitution du sable par les granulats de caoutchouc et ça pour les deux séries de mortier (la série de caoutchouc non traité et la série

de caoutchouc traité). Cette augmentation de l'ouvrabilité s'explique par la nature hydrophobe des granulats de caoutchouc.

On remarque aussi que les mortiers avec caoutchouc traité ont un étalement légèrement plus faible que ce des mortiers avec caoutchouc non traité. En effet il passe de 17.45cm, 17.95cm et 20.45cm pour les MC10%, MC17.5% et MC25% respectivement à 17.1cm, 17.9cm et 19.9cm pour les mortiers MCT10%, MCT17.5% et MCT25% respectivement, donc une diminution entre 0.2% à 2.7%.

Par ailleurs, on constate que le MC25% présente un étalement de 20.45cm (> 20cm), selon la norme c'est un mortier fluide, il y a donc un risque accru de ségrégation pour cette composition.



Figure III.2. Coupe d'une éprouvette (15x15x15) cm en mortier MC25%.

D'après la photo III.2, on peut constater que le mortier de caoutchouc reste homogène avec une répartition relativement uniforme des granulats et aucun signe de ségrégation n'est constaté.

b) Masse volumique à l'état frais :

Dans le tableau III.2 et la figue III.3 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier d'étude.

Tableau III.2. Valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Masse volumique (kg/m ³)	2262.2	2106.7	2033	1966.1	2121.1	2048.5	1986.4

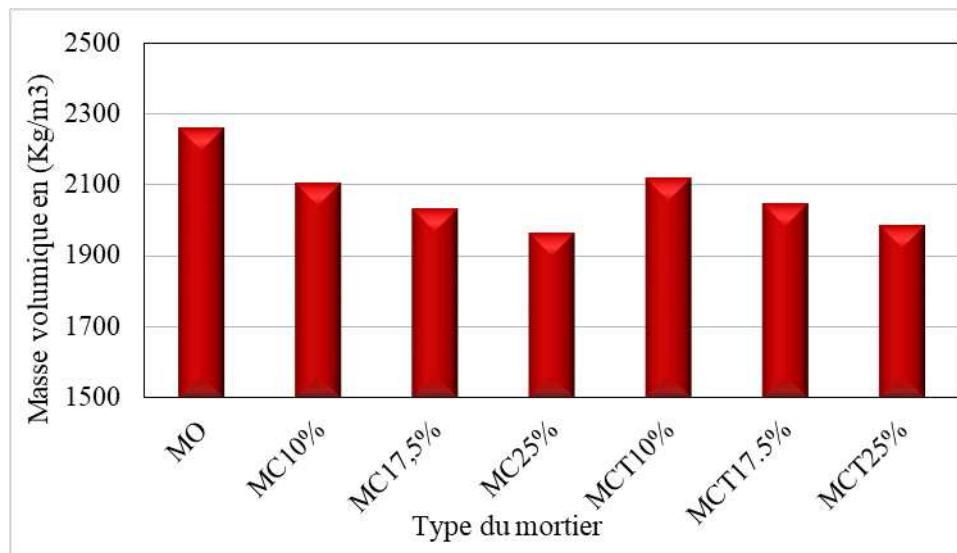


Figure III.3. Valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.

La masse volumique à l'état frais des mortiers diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat en caoutchouc, ceci s'explique logiquement par le fait que le produit de substitution (granulats de caoutchouc) est beaucoup plus léger que le sable naturel (densité de 2,5 pour le sable contre 0,87 pour le GC). On remarque aussi que les mortiers avec granulat en caoutchouc traité présentent des valeurs de masse volumique légèrement plus grandes que celles des mortiers avec granulat en caoutchouc non traité, une augmentation entre 0,68% et 1,02%. Donc l'effet du traitement du granulat en caoutchouc avec la solution NaOH sur la masse volumique du mélange est presque insignifiant.

c) Teneur en air occlus

Dans le tableau III.3 et la figure III.4 nous avons rassemblé les résultats des mesures de l'air occlus pour les 07 formulations du mortier d'étude.

Tableau III.3. Valeurs de l'air occlus pour les 07 formulations des mortiers.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Air occlus (%)	6.8	5.8	5.3	5.0	6.2	5.4	5.2

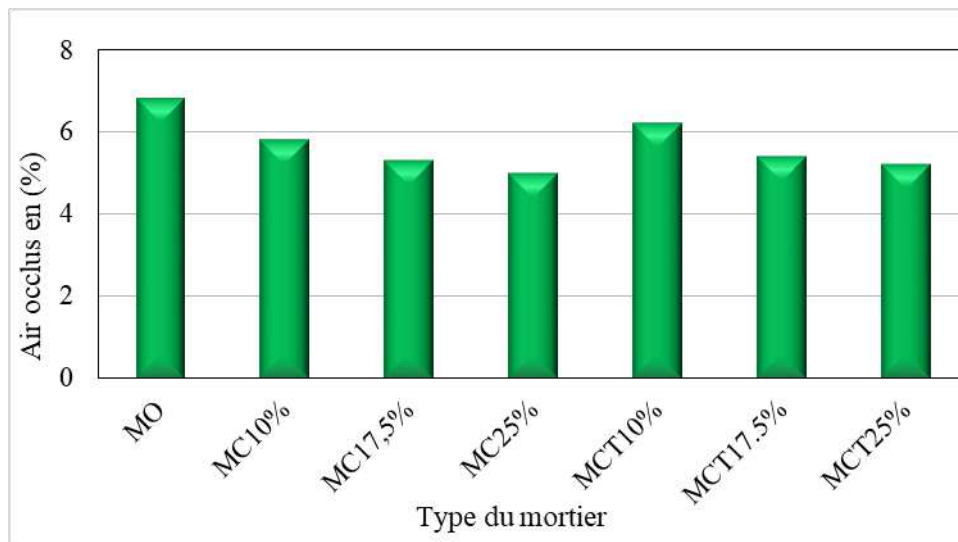


Figure III.4. Valeurs de l'air occlus pour les 07 formulations du mortier.

La Figure III.4 présente l'évolution de la teneur en air en fonction du taux d'incorporation des Granulats de caoutchouc pour les différentes compositions. On peut constater que les valeurs de la teneur en air diminuent avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc, et ça pour les deux séries des mortiers étudiés (la série de caoutchouc non traité et la série de caoutchouc traité). Cette diminution exprimée en pourcentage est de l'ordre de 14.7% ; 22% ; 26.5% ; 8.8% ; 20.6% ; 23.5% pour les mortiers de caoutchouc MC10% ; MC17.5% ; MC25% ; MCT10% ; MCT17.5% et MCT25% respectivement.

On remarque aussi que le traitement des granulats de caoutchouc par la solution NaOH augmente légèrement les valeurs de la teneur en air, on peut constater que des écarts, exprimés en pourcentage, varient entre 1,85 et 6.45%.

III.2.2. A l'état durci

a) Masse volumique à sec

Dans le tableau III.4 et la figure III.5 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique à sec pour les 07 formulations du mortier d'étude.

Tableau III.4. Valeurs de la masse volumique à sec pour les 07 formulations du mortier.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Masse volumique (Kg/m ³)	2062	1952	1898	1806	1986	1902	1843

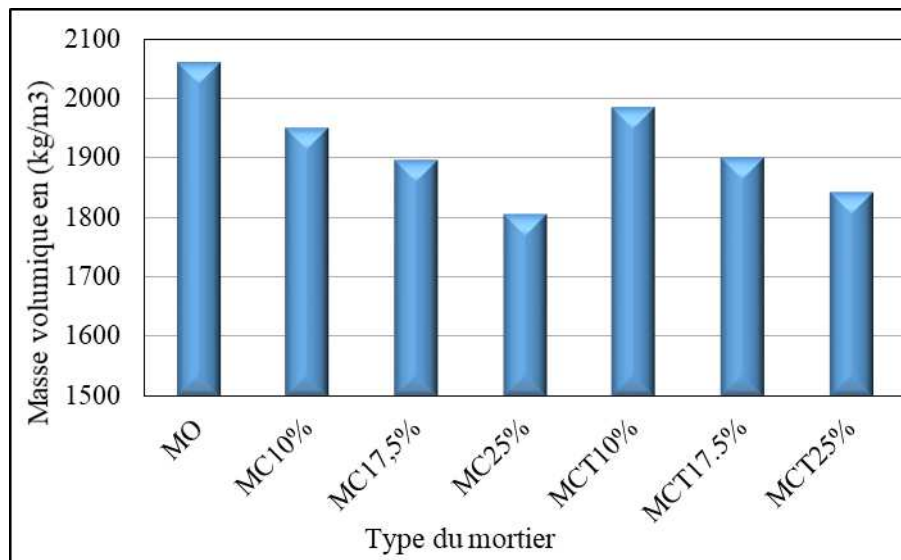


Figure III.5. Valeurs de la masse volumique pour les 07 formulations du mortier.

Au niveau de la masse volumique à l'état durci, nous observons une chute peu significative de cette grandeur, en effet on prend le mortier ordinaire comme référence, on voit que la baisse varie entre 5,3% et 12,4% pour les mortiers en caoutchouc non traité et elle varie entre 3,7% et 10,6% pour les mortiers en caoutchouc traité. Donc le traitement des granulats de caoutchouc par la solution NaOH augmente la masse volumique à sec des mortiers de caoutchouc.

b) Résistance à la compression :

L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 14 jours et 28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau et les figures suivants :

Tableau III.5. Valeurs de Résistance à la compression pour les 07 formulations des mortiers.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Résistance à la compression à l'âge de 14 jours (MPa)	27.1	21.53	16.53	14.16	24.56	18.92	17.22
Résistance à la compression à l'âge de 28 jours (MPa)	41.05	30.59	27.60	23.43	34.18	29.85	26.57

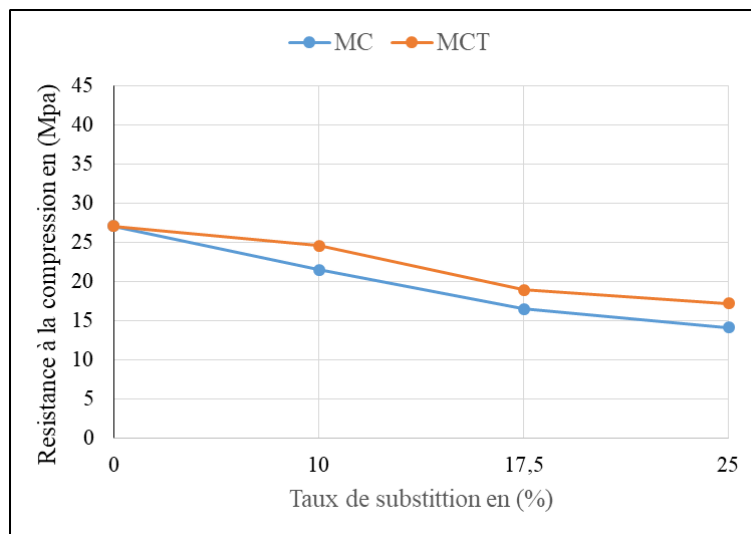


Figure III.6. La résistance à la compression à 14 jours des 07 formulations du mortier étudiée

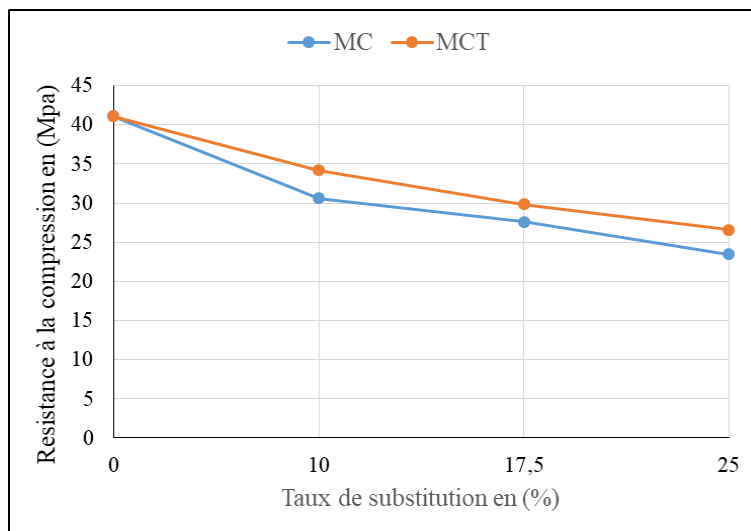


Figure III.7. La résistance à la compression à 28 jours des 07 formulations du mortier étudiée.



Figure III.8. Essai résistance à la compression.

D'après la figure III.6 et la figure III.7, la substitution d'une partie du sable par des granulats en caoutchouc s'accompagne d'une baisse de la résistance en compression, et ça pour les différents âges étudiés et pour les deux séries du mortier étudiées. Cette baisse augmente avec l'augmentation du taux de substitution. Cette chute de résistance en compression est expliquée par la faible rigidité des granulats du caoutchouc par rapport à celle des granulats naturels [13]. A titre d'exemple, un taux de substitution en granulat de caoutchouc non traité de 25% entraîne une chute de résistance de 42.9% à l'âge de 28 jours, cette chute est de l'ordre de 35.3% pour le mortier avec 25% de caoutchouc traité. Donc pour le MCT25%, il y a une amélioration de la résistance à la compression de 7.6% par rapport au MC25%. La même chose pour les mortiers MCT10% et MCT17.5% il y a une amélioration de la résistance à la compression mais avec des vitesses différentes

Le traitement des granulats de caoutchouc par la solution NaOH a donc contribué à une augmentation de la résistance à la compression des mortiers étudiés. Cette augmentation est justifiée par que les granulats de caoutchouc traités ont subi des modifications considérables dans la rugosité de leurs surfaces extérieures, ce qui a amélioré leur adhérence avec la matrice cimentaire. [9]

c) Résistance à la traction par flexion :

L'évolution de la résistance à la traction par flexion a été étudiée à l'âge de 14 jours et 28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.6. Valeurs de Résistance à la traction par flexion pour les 07 formulations du mortier.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Résistance à la traction par flexion a l'âge de 14 j (MPa)	6.75	5.48	4.48	2.43	6.40	5.16	3.46
Résistance à la traction par flexion a l'âge de 28 j (MPa)	8.19	5.53	5.06	4.40	6.77	5.51	5.03

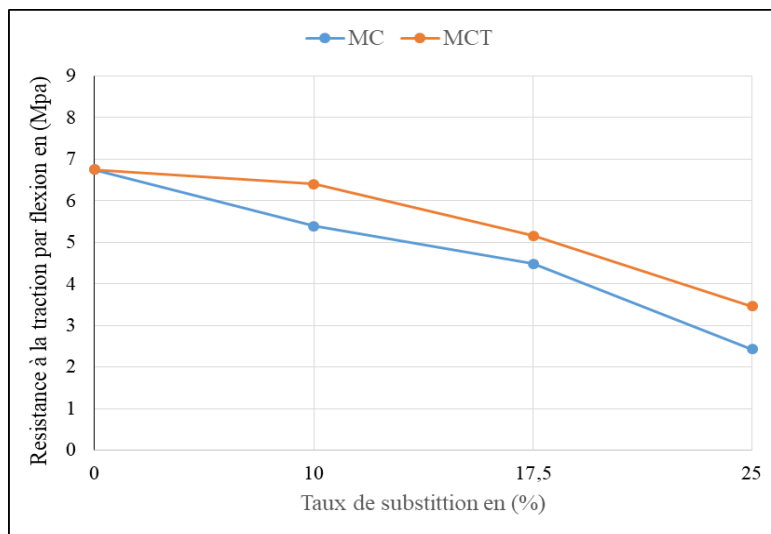
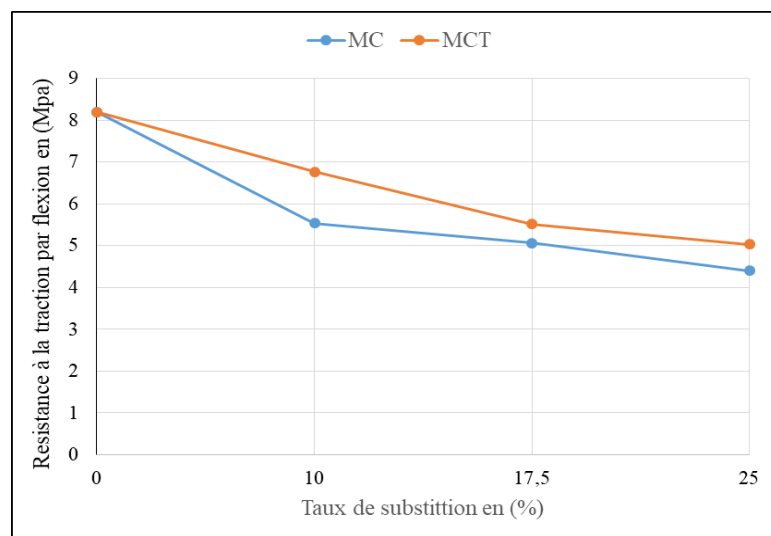
**Figure III.9.** La résistance à la traction par flexion à 14 jours des 07 formulations du mortier étudiée.**Figure III.10.** La résistance à la traction par flexion à 28 jours des 07 formulations du mortier étudiée.



Figure III.11. Essai de la traction par flexion.

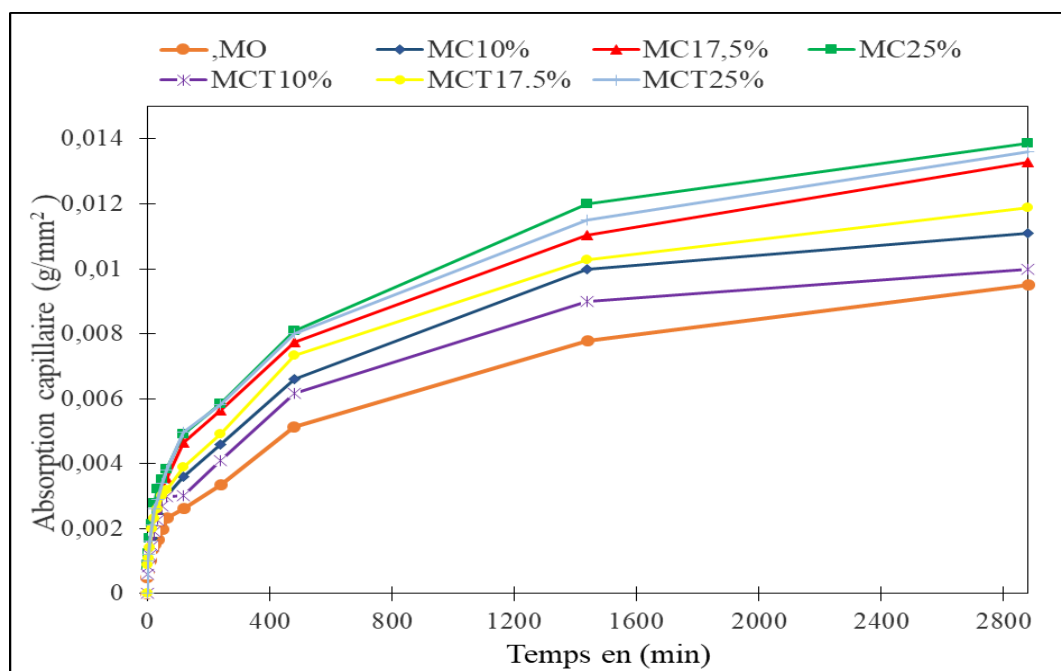
Pour la résistance à la traction par flexion, le constat est le même que pour la résistance à la compression, une baisse de la résistance à la traction par flexion des mortiers de caoutchouc par rapport au mortier de référence. Cette baisse chute encore avec l'augmentation du dosage du caoutchouc. Le traitement des granulats de caoutchouc par la solution NaOH a amélioré la résistance à la traction par flexion des mortiers de caoutchouc. A titre d'exemple, et à l'âge de 28 jours, le mortier MC25% a donné une résistance à la traction par flexion de 4.4 MPa, donc une diminution de 46.2% par rapport au mortier de référence (8.18 MPa), contre une résistance à la traction par flexion de 5.03 MPa, donc une diminution de 38.6%, donc une amélioration de 7.6%.

d) Absorption d'eau par capillarité :

La porosité capillaire est une caractéristique micro-structurale qui influe sur les propriétés de transfert [37]. Les valeurs de l'essai d'absorption d'eau par capillarité pour les différentes compositions sont regroupées dans le tableau III.7 et présentées sur la figure III.12 :

Tableau III.7. Valeurs de l'absorption capillaire en fonction du temps pour les 07 formulations du mortier.

	0min	1min	4min	9min	16min	25min	36min	49min	64min	2H	4H	8H	24H	48h
MO	0.00	0.0005	0.0007	0.0010	0.0014	0.0015	0.0017	0.0020	0.0023	0.0026	0.0033	0.0051	0.0078	0.0095
MC10%	0.00	0.0006	0.0009	0.0013	0.0017	0.0020	0.0025	0.0029	0.0030	0.0036	0.0046	0.0066	0.0100	0.0111
MC17.5%	0.00	0.0008	0.0011	0.0015	0.0019	0.0024	0.0027	0.0032	0.0035	0.0046	0.0056	0.0077	0.0110	0.0133
MC25%	0.00	0.0009	0.0012	0.0017	0.0021	0.0028	0.0032	0.0035	0.0038	0.0049	0.0059	0.0081	0.0120	0.0139
MCT10%	0.00	0.0006	0.0008	0.0012	0.0014	0.0015	0.0019	0.0022	0.0027	0.0030	0.0041	0.0062	0.0090	0.0100
MCT17.5%	0.00	0.0009	0.0011	0.0014	0.0020	0.0023	0.0026	0.0030	0.0032	0.0039	0.0049	0.0073	0.0103	0.0119
MCT25%	0.00	0.0010	0.0012	0.0016	0.0021	0.0026	0.0029	0.0034	0.0038	0.0050	0.0058	0.0080	0.0115	0.0136

**Figure III.12.** Variation de l'absorption capillaire en fonction du temps des 07 formulations du mortier étudié.

D'après la figure, on remarque que les granulats de caoutchouc augmentent la quantité d'eau absorbée au fur et à mesure que le taux de granulats de caoutchouc augmente, après 48H la quantité d'eau absorbée par les mortiers MC10%, MC17.5%, MC25%, MCT10%, MCT17.5%, MCT25% a augmenté respectivement de 16.8%, 39.7%, 46.05%, 5.26%, 25.22% et 43.16% par rapport à celle du mortier de référence MO. Cette augmentation de l'absorption d'eau peut être attribuée à la forte porosité des mélanges caoutchoutés et la faible adhérence entre les granulats de caoutchouc et la pâte de ciment [9].

On remarque aussi que les quantités d'eau absorbée par les mortiers avec caoutchouc traité sont plus faibles que les quantités d'eau absorbée par les mortiers avec caoutchouc non traité. Cette diminution varie entre 2% et 10.4%.

e) Perméabilité à l'eau (profondeur de pénétration d'eau sous pression)

L'effet de l'incorporation du granulats en caoutchouc sur la profondeur de pénétration de l'eau dans les mortiers est résumée par le tableau III.8 et illustré par la figure III.13.

Tableau III.8. Valeurs de profondeur de pénétration de l'eau.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
Profondeur de pénétration d'eau en (cm)	2.5	3.4	4.2	5.7	2.9	3.1	4.8

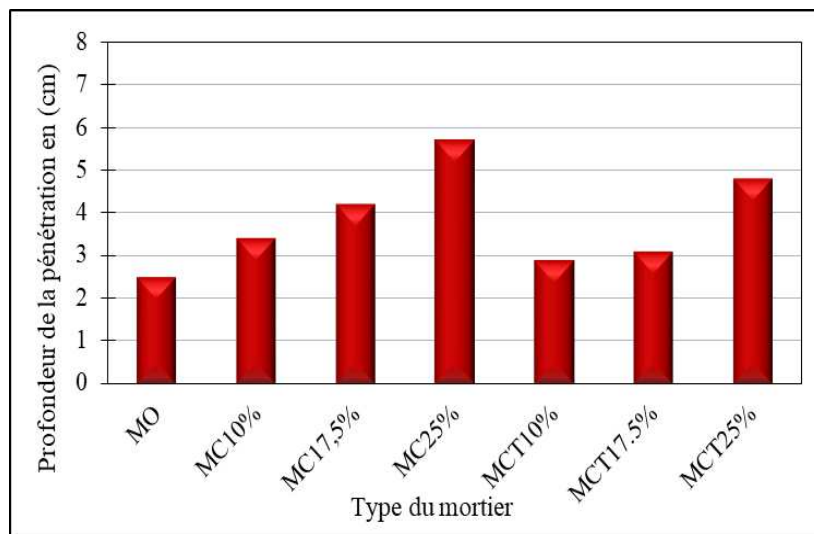


Figure III.13. Profondeur de la pénétration de l'eau pour les 07 formulations des mortiers étudiées.

D'après la figure III.13 on remarque que la profondeur de pénétration de l'eau des mortiers contenant des granulats de caoutchouc est supérieure à celle du mortier ordinaire, et qu'elle augmente avec l'augmentation du taux de substitution. Elle passe de 2.1cm pour le mortier ordinaire à 3.4cm ; 4.2cm ; 5.7cm ; 2.9cm ; 3.1cm et 4.8cm pour les mortiers de caoutchouc MC10% ; MC17.5% ; MC25% ; MCT10% ; MCT17.5% et MCT25% respectivement. Exprimée en pourcentage, les taux d'accroissement constatés sont de 36% ; 68% ; 128% ;

16% ; 24% et 92% respectivement. Cette l'augmentation de la perméabilité revient à la faiblesse de la liaison entre les granulats de caoutchouc et la pâte de ciment [13].

On remarque aussi que les profondeurs de pénétration de l'eau pour les mortiers avec caoutchouc traité sont plus faibles que les profondeurs de pénétration de l'eau pour les mortiers avec caoutchouc non traité. Cette diminution est de ordre de 55.6% ; 64.7% et 28.1% pour les mortiers avec des taux de substitution en caoutchouc de 10% ; 17.5% et 25%.

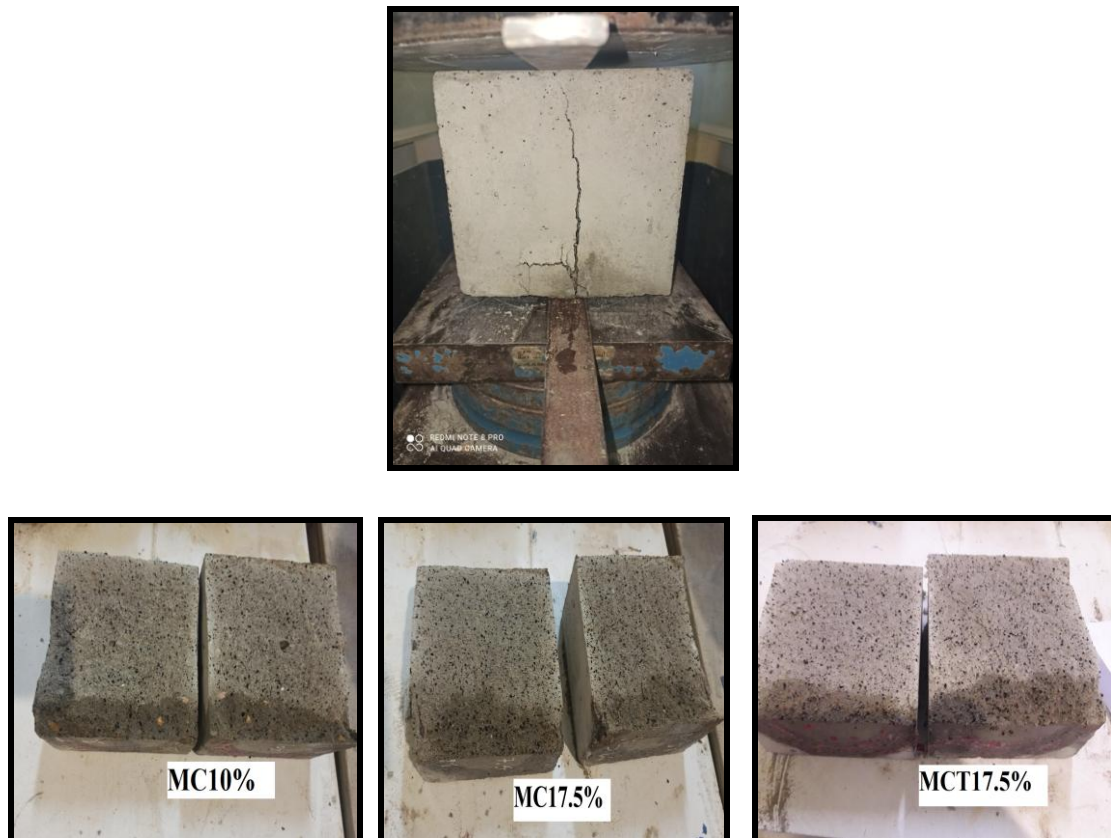


Figure III.14. Essai de perméabilité à l'eau.

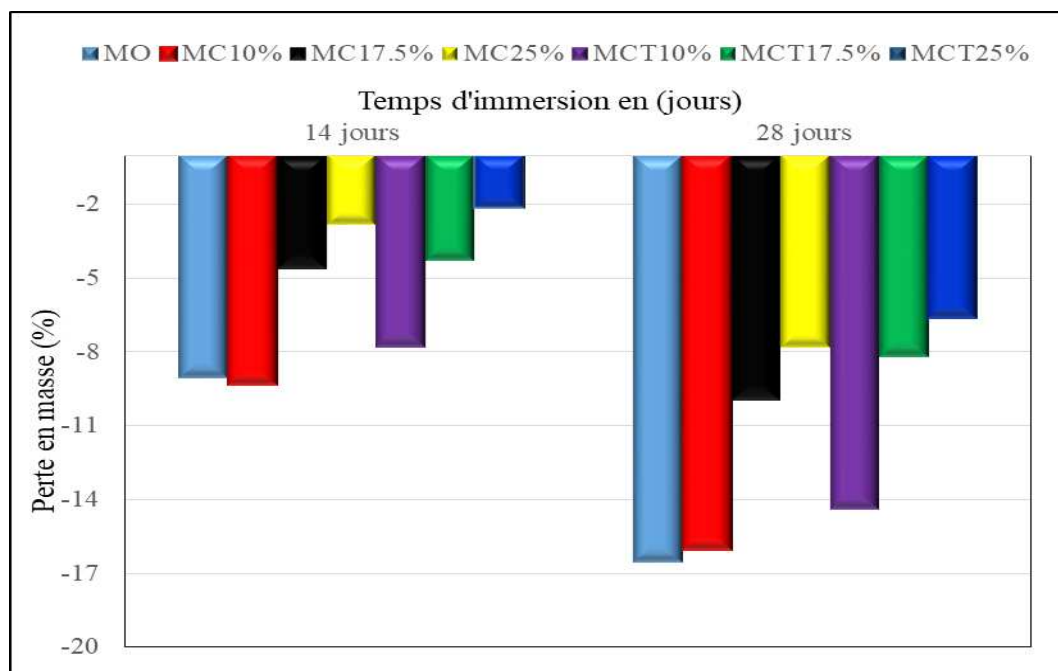
f) Essai d'attaque acide

L'acide sulfurique est un acide minéral fort et peu volatil dont la formule chimique est (H_2SO_4). Certains types de structures en génie civil peuvent être pendant leur phase de services exposés à l'acide sulfurique par la pluie acide issue de l'émission de gaz de dioxyde de soufre, qui se transforme en acide sulfurique dans la présence de l'eau [38].

Les valeurs de l'essai de la perte en masse constatées au bout de 14 et 28 jours pour les 07 compositions ont été reportées sur le tableau III.9 et présentées sur la figure III.15.

Tableau III.9. Valeurs de la perte en masse des différentes formations des mortiers étudiés.

	MO	MC10%	MC17.5%	MC25%	MCT10%	MCT17.5%	MCT25%
La perte en masse a 14 j (%)	-9.09	-9.32	-4.63	-2.86	-7.83	-4.28	-2.14
La perte en masse a 28 j (%)	-16.58	-16.04	-9.96	-7.85	-14.44	-8.23	-6.63

**Figure III.15.** Variation de la masse des mortiers en fonction du temps d'immersion dans H_2SO_4 .

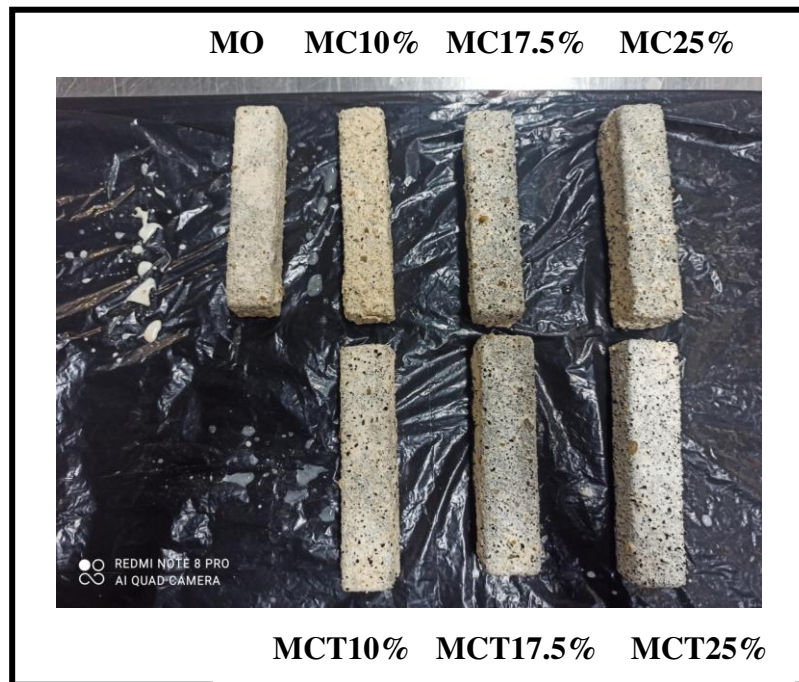


Figure III.16. L'allure des échantillons des 07 compositions du mortier Après 28 d'immersion dans H_2SO_4 .

La substitution d'une partie du sable par des granulats en caoutchouc s'accompagne d'une perte en masse, et ça pour les différents âges étudiés et pour les deux séries du mortier étudiées. Cette perte en masse diminue avec l'augmentation du taux de substitution. A titre d'exemple, à l'âge de 28 jours, on remarque une perte en masse de 16.58% pour mortier ordinaire (MO) contre des pertes en masse de 16.04% ; 9.96% ; 7.85% ; 14.44% ; 8.23% et 6.63% pour les mortiers de caoutchouc BC10% ; BC17.5% ; BC25% ; BCT10% ; BCT17.5% et BCT25% respectivement. Cette diminution en perte de masse pour les mortiers contenant des particules de caoutchouc est justifiée par la nature chimiquement résistante à la pénétration d'acide de ces particules [13].

On remarque aussi que les mortiers avec caoutchouc traité ont présenté une perte en masse plus faible que celle des mortiers avec caoutchouc non traité. Cette diminution de la perte en masse est justifiée par l'amélioration de l'adhérence entre la pâte de ciment et les granulats de caoutchouc qui a permis de réduire les micro-conduits par lesquels l'acide peut s'infiltrer [9].

III.3. CONCLUSION

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent l'influence de l'incorporation de granulats de caoutchouc traité et non traité sur les propriétés du mortier à l'état frais et durci. L'analyse de ces résultats nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La présence des granulats en caoutchouc a augmenté la maniabilité des mortiers. Cette augmentation est plus faible dans le cas des granulats de caoutchouc traité avec la solution (NaOH).
- Pas de ségrégation pour des taux de substitution allant jusqu'à 25% du volume du sable.
- La masse volumique des mortiers incorporant des GC plus faible que celle du MO et ça pour les deux séries de mortier étudiées. Cette diminution est due à la faible densité du caoutchouc par rapport à celle des granulats naturels.
- La teneur en air diminue avec l'augmentation du taux de substitution des granulats de caoutchouc.
- L'incorporation de granulats en caoutchouc traité ou non traité diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution en G.C. est élevé plus les valeurs des propriétés mécaniques diminuent.
- les granulats de caoutchouc augmentent la quantité d'eau absorbée par capillarité.
- la perméabilité à l'eau des mortiers contenant des GC est supérieure à celle du mortier ordinaire.
- La perte en masse des mortiers conservés dans une solution d'acide sulfurique 5% de concentration diminue avec l'augmentation du taux de substitution en caoutchouc et avec le traitement de ces granulats par la solution (NaOH).

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GENERALES

La valorisation des sous-produits et autres déchets est devenue un enjeu stratégique pour l'ensemble des pays. Notre pays est lui-même confronté à des défis de développement considérables et ses besoins immenses en logements et en infrastructure de bases nécessitent une optimisation de la consommation en matières premières particulièrement les granulats et les ciments.

Ce travail présente une étude expérimentale réalisée pour évaluer les propriétés d'un mortier à base de granulat de caoutchouc en remplacement partiel du sable ordinaire. Le granulat de caoutchouc servant à remplacer partiellement le sable à 0%, 10%, 17,5% et 25% du volume. A partir des résultats obtenus, on peut tirer les principales conclusions suivantes :

- La présence des granulats en caoutchouc a augmenté la maniabilité des mortiers. Cette augmentation est légèrement diminuée dans le cas des granulats de caoutchouc traité avec la solution (NaOH) (<3%), ce que signifié que ce mode de traitement n'a pas d'influence sur la maniabilité des mortiers.
- Pas de ségrégation pour des taux de substitution allant jusqu'à 25% du volume du sable.
- La masse volumique des mortiers incorporant des granulats en caoutchouc est plus faible que celle du mortier ordinaire et ça pour les deux séries de mortier étudiées. Cette diminution est due à la faible densité du caoutchouc par rapport à celle des granulats naturels.
- La teneur en air diminue avec l'augmentation du taux de substitution des granulats de caoutchouc. Le traitement des granulats en caoutchouc par la solution NaOH a augmenté légèrement la teneur en air (<7%),
- L'incorporation de granulat en caoutchouc diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution en G.C. est élevé plus les valeurs des propriétés mécaniques diminuent. Cette diminution est plus faible dans le cas des granulats de caoutchouc traité avec la solution (NaOH).
- Une amélioration des caractéristiques mécaniques de l'ordre de 8% dans le cas des granulats en caoutchouc traités par rapport aux granulats non traités.

- les granulats de caoutchouc augmentent la quantité d'eau absorbée par capillarité. Les mortiers avec granulats de caoutchouc traité leur absorption est plus faible que les mortiers avec granulats de caoutchouc non traité.
- La perméabilité à l'eau des mortiers contenant des GC est supérieure à celle du mortier ordinaire. Les mortiers avec granulats de caoutchouc traité leur perméabilité à l'eau est plus faible que les mortiers avec granulats de caoutchouc non traité.
- La teneur en caoutchouc joue un rôle important dans la résistance aux attaques chimiques par l'acide sulfurique. Elle diminue la perte en masse du mortier surtout pour les granulats en caoutchouc traité avec la solution (NaOH).

Donc, le traitement des Granulats de caoutchouc par la solution NaOH à 10% de concentration a permis une amélioration des performances du mortier caoutchouté grâce à l'amélioration de l'adhérence entre les granulats de caoutchouc et la matrice de ciment.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **Melle TALEB K.** : « Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers », université de TIZI OUZOU Alger 2015/2016

[2] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>

[3] **KHELAIFA H & TAGBA M.** : « Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux », Université de Guelma, Alger 2015

[4] **BOUBEKEUR T.**: « Polycopié du cours: Matériaux De Construction 01 Licence Génie Civil », Centre Universitaire De Tissemsilt – Algérie- (2017).

[5] **DE LARRARD F, FERRARIS C.** : « Béton frais remanié I et II et III», BLPC. N° 213 pp 73-89, Jav-fév 1998 .

[6] **HADDAD O.** : « Contribution au développement d'outils d'aide a la formulation des BAP relatifs à la rhéologie a l'état frais et à la résistance au jeune âge », thèse de doctorat, France, 2007.

[7] **HAFFAF I et LAMOURI O.** : « Etude de la résistance des mortiers Aux attaques acides », mémoire de master, université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen – Algérie (2019).

[8] **FERGUENE H.** : « Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçant », mémoire de master, université M'hamed Bougara –Boumerdes – Algérie (2016).

[9] **BOUKOUR S.** : « Caractéristiques physico-mécaniques et durabilité des éco- composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issus de pneus usagés », thèse de doctorat, université 8 Mai 1945 – Guelma – (2017)

[10] **SPERANDIO K.** : « identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales », thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

- [11] **Aloueimine S. O.** : « 2006-Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision ». Thèse, UL-EDSTS, Limoges.195p.
- [12] **BONNET S.** : « TURATSINZE A et GRANJU J-L. « Effets de l'incorporation de Granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration D'un mortier de ciment ». Annales du bâtiment et des travaux publics N° 6 2004.
- [13] **KECHKAR C.** : « Elaboration et caractérisation physico-chimique d'un béton à base de caoutchouc », thèse de doctorat, université 20 Aout 1955 – Skikda – Algérie (2020).
- [14] **Abdelouahab F, djidjeli Z.** : « recherche-valorisation des pneumatique-usages dans la Protection de l'environnement »
- [15] **Abdelhalim A.** : « VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES PNEUMATIQUES USAGÉS NON RÉUTILISABLES » sonatrach. ERA 2017
- [16] Khaloo A. R., Dehestani M. and Rahmatabadi P. : « Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire--rubber particles ». Waste Management 28, 2472-- 2482, 2008.
- [17] **KHATIB Z. K. et BAYOMY F. M.** : « Rubberized portland cement concrete », Journal of Materials in Civil Engineering , 206-213, 1999.
- [18] Benazzouk .A, Douzane.O. : « Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment ».
- [19] **Demirboga R. and Gil R.** : « Theninal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures. Energy and Buildings 35 », 1155-1159, 2003.
- [20] Domone P.L.J. and Jin J. : « Properties of mortar for Self-Compacting Concrete" Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7 », 1999, Paris, pp. 109-120.
- [21] Turatsinze A., Bonnet S. and Granju J.L. : « Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance. Construction and Building Materials », 21: 176-181, 2005

- [22] **BECHIR O.** : « Etude de la durabilité d'un béton a base du granulat recycles », mémoire de master, Université 8Mai 1945 – Guelma -, Algérie (2019).
- [23] **La Norme NF P 18-554** : Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux – GRANULATE 2005.
- [24] **La Norme NF P 18-555** : Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et Teneur en eau des sables – GRANULATE 2005.
- [25] **La Norme NF P 18-301** : Granulats naturels pour bétons hydrauliques 1994
- [26] **La Norme NF P 18-304** : Béton et béton armé. Granulométrie des granulats (agrégats) 1973.
- [27] **La Norme NF P 18-598** : Granulats - Equivalent De Sable – Granulat Sandgleichwert 2005.
- [28] **BOUREMA M.** : « Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci », mémoire de master, Université 20 Aout 1955 –Skikda-, Algérie (2015)
- [29] **La Norme EN196-1** : Méthodes d'essais des ciments détermination des résistances - Méthodes d'essais des ciments 2016.
- [30] **La Norme NF EN 1015-3** : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 3 : détermination de la consistance du mortier frais (avec une table à secousses) (1999)
- [31] **HANI A.** : « Etude de comportement d'un béton hydraulique modifié (déchets des pneus) » mémoire de master, Université Kasdi Merbah -Ouergla- , Algérie (2016)
- [32] **La Norme NF EN 1015-11** : Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie11 détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci". 2000.
- [33] **La Norme NF EN 480-5** : « Adjuvants pour Béton, Mortier et Coulis - Méthodes d'Essai - Partie5 : détermination de l'Absorption Capillaire ». Janvier (2006).
- [34] **La Norme NF P18-436** : Essai pour béton durci- Partie 8 : profondeur de pénétration d'eau sous pression perméabilité à l'eau, Octobre (2001).

[35] **MAANSAR A.** : « Etude de l'effet des adjuvants sur la durabilité des bétons », thèse de doctorat, université 08 Mai 1945 – Guelma -, Algérie (2018).

[36] **La Norme ASTM C 267-96** : « Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer concretes», Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01, (1996).

[37] **MUHRA H.**: « Optimisation et durabilité des micro-béton à base d'époxyde », thèse de doctorat université de Cergy-pontoise, France (2011)

[38] **BELKADI A.**: « contribution à l'étude de la durabilité et les performances des bétons autoplacants (fibres végétales, milieu agressif, formulation, modelisation) », thèse de doctorat, université Mohamed khider- biskra, Algérie (2018)