

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 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Présenté par :

ARDJANI KAMEL

KHACHBAT MOHAMMED ETTAHIR

**Thème : CARACTERISATION D'UN MORTIER A
BASE DE SABLE DE DUNE AVEC CAOUTCHOUC**

Sous la direction de : Dr ; AIDOUUD Assia

Septembre 2020

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu **DIEU** miséricordieux qui nous a donné la vie, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Le présent travail a été réalisé au sein du laboratoire pédagogique de génie civil et d'hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma.

Nous tenons à remercier chaleureusement et à exprimer notre très grande reconnaissance à notre encadreur Madame **AIDOU** **Assia** ; Maitre de conférence au Département de Génie civil et d'hydraulique, Université de Guelma, qui nous a dirigé tout au long de ce travail. Nous la remercions pour son aide scientifique, son expérience et son efficacité qui nous a transmis avec passion. Sans elle, ce projet de fin d'études n'aurait pas pu voir le jour. Quelle trouve ici l'expression de nous sincères grâces.

Nos remerciements vont aussi à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nous tenons à remercier les techniciennes du laboratoire pédagogique de génie civil et d'hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma, pour leurs disponibilités pour mener à bien nos essais à l'intérieur du laboratoire.

Nous remercions également toute nous famille pour leurs patiences durant ces derniers mois et pour leurs encouragements, ainsi que tout nous ami(e)s ...merci pour tous.

Ce quand fait dans notre vie résonnera dans l'éternité.

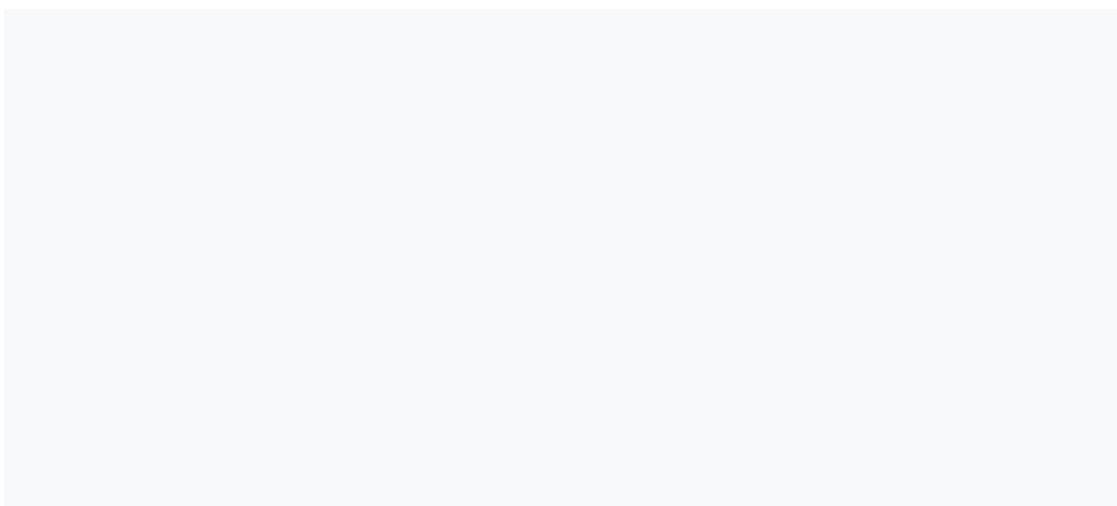
Résumé

Le sable de dunes est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter. L'utilisation de ce nouveau matériau dans le secteur de la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune. L'objectif principal de cette étude, c'est la valorisation des sables de dunes et des déchets de caoutchouc(poudrettes). Ce dernier qui constitue une source potentielle de plusieurs problèmes environnementaux et économiques.

Ce présent travail a pour objectif d'examiner l'aptitude d'utiliser le sable de dune pour la confection des mortiers possédant des propriétés, physico-mécaniques et durablesuffisantes permettent deles exploiter aux diverses applications de la construction des bâtiments.

L'amélioration de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'ajout des poudrettes de caoutchouc. La formulation des mélanges se base sur la substitution de sable de dune par les poudrettes, à différentes teneurs pondérales 10, 20 et 30%, La quantité de ciment est fixée à 450 g. Les résultats obtenus montrent en premier lieu que l'introduction des poudrettes de caoutchoucaux mélanges rend la granulométrie dumélange tend à être étalée avec une augmentation remarquable du module de finesse, et diminue les masses volumiques du mélange de 6,5% pour l'apparente et de 10% l'absolue, ce qui signifie l'allègement du mortier résultant. Donc la diminution des charges de calcule.

Mots clés : mortier, sable de dune, caoutchouc, substitution, poudrette, mélange.



Abstract

Dune sand is a widely available material in Algeria. This material is practically unused, despite the possible characteristics that it may present. The use of this new material in the construction sector can further relieve the area of housing, and contribute to the development of the regions of southern Algeria, very rich in dune sand. The main objective of this study is the recovery of dune sands and rubber waste (powders). The latter which constitutes a potential source of several environmental and economic problems.

The objective of this present work is to examine the suitability of using dune sand for the preparation of mortars with sufficient properties, physico-mechanical and durable, to allow them to be exploited for various applications in the construction of buildings.

The improvement in the grain size of dune sand, which is generally poorly spread, was made by the addition of rubber powder. The formulation of the mixtures is based on replacing dune sand with powders, at different weight contents 10, 20 and 30%. The quantity of cement is set at 450 g. The results obtained show in the first place that the introduction of the rubber powder into the mixtures makes the particle size of the mixture tends to be spread out with a remarkable increase in the fineness modulus, and reduces the density of the mixture by 6.5% for the apparent and 10% absolute, which means the resulting lightening of the mortar. So the decrease in calculation loads.

Keywords: mortar, dune sand, rubber, substitution, powder, mixture.

ملخص

الكثبان الرملية مادة متوفرة على نطاق واسع في الجزائر. هذه المادة غير مستخدمة عمليا ، على الرغم من الخصائص المحتملة التي قد تقدمها. إن استخدام هذه المادة الجديدة في قطاع البناء يمكن أن يزيد من إرخاء مساحة الإسكان ، ويساهم في تنمية مناطق جنوب الجزائر الغنية جدًا بالرمال الكثيفة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو استعادة رمال الكثبان الرملية ومخلفات المطاط (مساحيق). هذا الأخير الذي يشكل مصدرا محتملا للعديد من المشاكل البيئية والاقتصادية.

الهدف من هذا العمل الحالي هو فحص مدى ملائمة استخدام رمل الكثبان الرملية لتحضير الملاط بخصائص كافية ، فيزيائية ميكانيكية ودائمة ، للسماح باستغلالها في تطبيقات مختلفة في تشييد المباني.

تم إجراء التحسن في حجم حبيبات رمل الكثبان، والذي ينتشر بشكل سيئ بشكل عام، عن طريق إضافة مسحوق المطاط. تعتمد تركيبة المخاليط على استبدال رمل الكثبان بالمساحيق بمحتويات مختلفة من الوزن 10 و 20 و 30٪ ، وكمية الأسمت محددة بـ 450 جم. تظهر النتائج في المقام الأول أن إدخال مسحوق المطاط في الخلطات يجعل حجم حبيبات الخليط يميل إلى الانتشار مع زيادة ملحوظة في معامل النقاوة، ويقلل من كثافة الخليط بنسبة 6.5٪ للخليط الظاهر و 10٪ مطلقة أي ما ينتج عن ذلك من تفتيح الملاط. لذا فإن الانخفاض في أحمال الحساب.

الكلمات المفتاحية: ملاط ، الكثبان الرملية ، مطاط ، بدائل ، مسحوق ، خليط.

SOMMAIRE

RESUME

ABSTRACT

ملخص

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

Introduction.....	1
I-Généralité sur les déchets.....	2
I.1 Notion des déchets.....	2
I.2 Définition d'un déchet.....	2
I.3 Classification des déchets.....	2
I.3.1 Selon la réglementation algérienne.....	2
I.3.2 Selon la nature.....	3
I.3.3 Selon l'origine.....	5
II- Le mortier.....	7
II.1 Définition.....	7
II.2 Les différents types de mortiers.....	8
III-Le sable.....	9

III.1 Définition de sable.....	9
III.2 Les classes de sables.....	10
III.3 Caractéristiques physicochimique.....	10
III.4 Les familles de sables.....	11
III.5 Les sables de dunes.....	12
III.5.1 Introduction.....	12
III.5.2 Définition.....	13
III.5.3 Intérêt de sable de dune.....	14
III.5.3.1 Les aspects économiques.....	14
III.5.3.2 Les aspects techniques.....	14
III.5.4 Type de dune.....	14
III.6 Les formes de sable de dune.....	15
III.7 Les différents milieux de la dune.....	18
III.7.1 Les dunes mobiles.....	16
III.7.2 Les dunes noires (arbres).....	16
III.7.3 La dune verte (appelée aussi avant-dune ou dune embryonnaire).....	16
III.7.4 La dune blanche ou jaune.....	17
III.7.5 La dune grise.....	18
III.7.6 La dune brune (dune boisée ou frange forestière).....	18
III.7.7 La dune littorale.....	19
IV. Le caoutchouc.....	19
IV.1 Généralités sur les caoutchoucs.....	19
IV.2 Les pneumatiques usagés.....	20
IV.2.1 Les pneumatiques.....	20
IV.2.2 Les voies de valorisation des pneus usagés.....	20
IV.3 La valorisation des déchets de caoutchouc en Algérie.....	21
IV.4 Utilisation des déchets de caoutchouc dans le mortier.....	21

Conclusion.....	22
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	23

CHAPITRE II:ETUDE COMPARATIVE

II.1. Introduction	25
II.2. Valorisation des granulats de caoutchouc dans les bétons et les mortiers.....	25
II.2.1. A l'état frais.....	25
II.2.1.1. Consistance.....	25
II.2.1.2. Air occlus.....	27
II.2.2. À l'état durci.....	28
II.2.2.1. Masse volumique à l'état sec.....	28
II.2.2.2. Module d'élasticité dynamique.....	31
II.2.2.3. Résistance à la compression.....	32
II.2.2.4. Résistance à la flexion.....	34
II.2.2.5. Résistance à la traction.....	35
II.2.2.6. Absorption d'eau.....	36
II.3. Valorisation du sable de dune dans les bétons.....	38
II.3.1. A l'état frais.....	38
II.3.1.1. la consistance.....	38
II.3.2. À l'état durci.....	39
II.3.2.1. Résistance à la compression.....	39
II.3.2.2. Résistance à la traction.....	41
II.3.2.3. La vitesse ultrasonique.....	42
II.4. Valorisation du sable de dune dans les mortiers.....	43
II.4.1. A l'état frais.....	43
II.4.1.1. Ouvrabilité.....	43
II.4.1.2. Masse volumique apparente des mélanges frais.....	45

II.4.2. A l'état durci.....	46
II.4.2.1. Résistance en traction.....	46
II.4.2.2. Résistance en compression.....	47
II.5. Conclusion.....	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	52

CHAPITRE III: RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES

III.1. Introduction.....	59
III.2. Matériaux utilisés.....	59
III.3. Caractéristiques des matériaux.....	59
III.3.1. Caractéristique du sable de dune.....	59
III.3.1.1. Analyses granulométrique.....	60
III.3.1.2. La masse volumique du sable.....	62
III.3.2. Caractéristique du caoutchouc.....	67
III.3.2.1. Analyses granulométrique.....	67
III.3.2.2. Les masses volumiques du caoutchouc.....	68
III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé.....	68
III.3.4. L'eau de gâchage.....	70
III.4. Correction du sable de dune avec du caoutchouc.....	70
III.4.1. La granulométrie.....	70
III.4.1.1. Analyses granulométrique.....	70
III.4.1.2. Evolution du module de finesse.....	72
III.4.2. La masse volumique du mélange.....	73
III.4.2.1. Masse volumique apparent.....	73
III.4.2.2. Masse volumique absolue.....	74
III.5. Formulation des compositions.....	76

III.5.1.Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place).....	77
III.5.2.Conservation des éprouvettes.....	78
III.6. Conclusion.....	79
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	80
<hr/>	
CONCLUSION GENERALE.....	81
<hr/>	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1	Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de Béton.	38
Tableau II.2	Variation de la résistance à la traction en fonction du type de béton pour les différents âges d'essai.	41
Tableau II.3	Vitesse longitudinale du son en fonction du type du béton a différents âges (en m/s).	42
Tableau II.4	Rapports E/C et temps d'écoulement.	44
Tableau II.5	Masses volumiques des mélanges frais.	45
Tableau II.6	Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations.	46
Tableau II.7	Valeurs de la résistance à la compression des différentes formulations.	48
Tableau III.1	Analyse granulométrique du sable de dune.	61
Tableau III.2	La masse volumique apparente (ρ_{App}) du sable.	63
Tableau III.3	La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) du sable.	64
Tableau III.4	Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.	66
Tableau III.5	Résultats d'essais d'équivalent de sable.	67
Tableau III.6	Analyse granulométrique de la poudrette de caoutchouc.	67
Tableau III.7	caractérisation de ciment.	69
Tableau III.8	Analyse granulométrique du mélange.	71
Tableau III.9	Evolution du M_f en fonction du pourcentage du caoutchouc.	72

Tableau III.10	La masse volumique apparente (ρ_{App}) de mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	73
Tableau III.11	La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) de mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	75
Tableau III.12	composition des mortiers étudiés.	76

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	différents types de déchets.	3
Figure I.2	Déchets dangereux.	4
Figure I.3	Déchets ménagers et assimilés.	5
Figure I.4	Déchets médicaux et pharmaceutiques.	6
Figure I.5	Déchets agricoles.	6
Figure I.6	Les déchets organiques.	7
Figure I.7	Exemple d'un mortier.	7
Figure I.8	sables roulés siliceux.	11
Figure I.9	sable de concassage calcaire.	12
Figure I.10	sable de dune.	13
Figure I.11	sable de dune noire.	16
Figure I.12	sable de dune verte.	17
Figure I.13	sable de dune blanche.	17

Figure I.14	sable de dune grise.	18
Figure I.15	sable de dune brune.	18
Figure I.16	Stock de pneus usagés à Campsas, Tarn et Garonne en 2007.	20
Figure II.1	Valeur d'affaissement du béton frais.	25
Figure II.2	Effet de l'entraînement d'air sur l'affaissement du composite à l'état Frais (40 % de caoutchouc).	26
Figure II.3	(a) Evolution de l'air entraîné en fonction de la teneur en caoutchouc, (b) Aspect du composite, à l'état frais, pour différentes teneurs en caoutchouc.	27
Figure II.4	Effet de la cendre de caoutchouc sur la teneur en air du mortier frais.	28
Figure II.5	Evolution de la masse volumique sèche du composite en fonction de la teneur en caoutchouc (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc).	29
Figure II.6	Relation entre les masses volumiques du composite à l'état frais et à l'état durci.	30
Figure II.7	Densité par rapport au taux de substitution du granulat fin par des miettes de caoutchouc.	30
Figure II.8	Evolution du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en Caoutchouc (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc).	31
Figure II.9	Evolution de la résistance à la compression des composites (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc)	33
Figure II.10	Résistance à la flexion du béton à différents âges pour $E/C= 0,41$	34
Figure II.11	Evolution de la résistance à la flexion des composites (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc).	35
Figure II.12	La réduction de la résistance à la traction en fonction de la teneur en caoutchouc .	36

Figure II.13	Evolution du taux d'absorption d'eau en fonction de la teneur en poussières de caoutchouc.	37
Figure II.14	L'absorption d'eau par capillarité des composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc.	37
Figure II.15	Variation de l'affaissement en fonction de type de béton.	38
Figure II.16	Variation de la résistance à la compression à l'air libre à différents âges.	39
Figure II.17	Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.	40
Figure II.18	Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge d'essai.	41
Figure II.19	Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.	42
Figure II.20	Variation de la vitesse du son en fonction d'âge d'essai.	42
Figure II.21	Variation de la vitesse du son en fonction de type du béton à 28 j.	43
Figure II.22	Effet des fines sur le temps d'écoulement.	44
Figure II.23	Evolution du temps d'écoulement en fonction du rapport E/C pour différents pourcentage en fines.	45
Figure II.24	Effet des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais.	46
Figure II.25	Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges de mortier.	47
Figure II.26	Evolution de la résistance en compression des mélanges de mortier.	48
Figure II.27	Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation.	49
Figure III.1	Photo du sable de dune utilisé.	60

Figure III.2	Photo de la tamiseuse électrique utilisée.	61
Figure III.3	Courbe granulométrique du sable de dune.	62
Figure III.4	Essais de la masse volumique apparente du sable utilisés.	63
Figure III.5	Essai de la masse volumique absolue du sable utilisé	64
Figure III.6	Essai de l'équivalent du sable.	66
Figure III.7	Courbe granulométrique de caoutchouc.	68
Figure III.8	Sac de ciment utilisé « GICA ».	69
Figure III.9	Le mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	70
Figure III.10	Courbe granulométrique du mélange.	71
Figure III.11	Evolution du M_f en fonction du pourcentage du caoutchouc.	72
Figure III.12	Essais de la masse volumique apparente de mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	73
Figure III.13	Histogramme de la masse volumique apparente (ρ_{App}) de mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	74
Figure III.14	Histogramme de la masse volumique Absolue (ρ_{Ab}) de mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.	75
Figure III.15	Malaxeur.	77
Figure III.16	Lubrification des moules (4 x 4 x 16) cm.	78
Figure III.17	Dernière vibration et rasage.	78
Figure III.18	étiqueter les moules.	78
Figure III.19	Cure à l'eau pendant 28 jours des éprouvettes.	79

INTRODUCTION GENERALE

Plusieurs études ont été effectuées sur les mortiers afin de savoir leurs formulations et de déterminer leurs caractéristiques et leurs comportements rhéologique ces études ont pu prouver que le mortier à base de sable de dune pourrait remplacer avantageusement le mortier ordinaire dans certains secteurs du bâtiment et des travaux publics.

Le secteur de la construction utilise depuis plusieurs années des déchets et des sous-produits comme matière première secondaire pour l'élaboration de nouveaux types de matériaux qui présentent des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques. Cette alternative permet d'une part de répondre au souci d'économie des ressources naturelles en granulats, et d'autre part de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage des déchets.

L'accumulation des déchets de caoutchouc, notamment les pneus hors d'usage, constitue une source potentielle de problèmes environnementaux et économiques. Face aux évolutions de la législation en vigueur concernant le stockage de ces déchets, plusieurs actions de valorisation ont été menées, notamment dans le domaine des matériaux de construction.

L'objectif de ce travail est la valorisation de sable de dune par la correction de sa granulométrie afin de l'exploiter pour la fabrication de mortier. Pour atteindre cet objectif plusieurs essais ont été réalisés sur les mélanges de mortier pour examiner son aptitude de l'utiliser dans le secteur du bâtiment.

Dans notre étude la correction de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'ajout la poudrette de caoutchouc. La formulation des mélanges adoptée se base sur la substitution de sable de dune par différent pourcentage de caoutchouc (10%, 20% et 30%). Le dosage de ciment est fixé à 450 g.

Le manuscrit est composé de trois chapitres :

Le premier chapitre est une analyse bibliographique des :sables de dune, déchets de caoutchouc et mortiers (définitions, types, classifications et propriétés ...etc). Ainsi

qu'à la valorisation du sable de dune et du caoutchouc dans le domaine de la construction.

Dans le deuxième chapitre, on a essayé de faire une étude comparative concernant la valorisation du sable de dune et du caoutchouc pour les bétons et les mortiers aux deux états frais et durci.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats des essais quant a pu réaliser et leurs interprétations, en comparant ces derniers aux règles normatives et aux résultats de littérature.

Enfin, une conclusion générale permet de faire une synthèse des principaux résultats obtenus.

Introduction:

L'évolution des mentalités et de la technique, avec les exigences en termes de protection de l'environnement de plus en plus contraignantes ainsi que la révision des repères économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et la valorisation de sous -produits industriels constituent désormais un souci qui s'impose de plus en plus à l'homme [1].

Dans le monde entier, s'agissant de l'industrie automobile, l'utilisation des pneus en caoutchouc augmente chaque année [1].

Par ailleurs Peu coûteux et faciles à mettre en œuvre, les matériaux cimentaires dominent le marché des matériaux de construction. Néanmoins, leur faible résistance en traction conjuguée avec leur faible capacité de déformation les rende très fragiles et sensibles à la fissuration. Le cas de la fissuration due aux déformations imposées est un exemple limitant la durabilité des applications. Des essais mécaniques ont confirmé que l'incorporation de granulats à faible module de déformation, en l'occurrence des granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés est préjudiciable de la résistance en compression et en traction des matériaux cimentaires. En contrepartie, en traction, le composite obtenu à une plus grande capacité de déformation [1].

Ce composite cimentaire contient des particules, morceaux ou granulats en caoutchouc issus du broyage des pneus usagés. Les granulats en caoutchouc sont utilisés en remplacement partiel des granulats naturels. La présence des granulats en caoutchouc induit une relaxation des contraintes, confère au composite une capacité d'absorber l'énergie accompagnant [1].

La fissuration et une plus grande capacité de déformation du béton, réduisant ainsi fortement le risque de fissuration des dalles. En contrepartie, il a été observé une baisse des performances mécaniques comme les résistances en compression, en traction, etc. du matériau cimentaire [1].

Ce matériau est particulièrement intéressant pour les grandes surfaces tel que les dallages et chaussées en béton dans les travaux publics car il permet de limiter le nombre de joints de dilatation, de simplifier la mise en œuvre, tout en augmentant la durabilité de l'ouvrage. Nous nous proposons donc d'en évaluer l'intérêt technique en complétant leurs compositions et caractéristiques. Cependant, en l'état actuel des travaux, l'optimisation de la formulation ainsi que le tableau des caractéristiques des composites cimentaires incorporant des

granulats en caoutchouc sont incomplets. En particulier leur résistance à la fissuration aujourd'hui qualifiée reste à quantifier [1].

I-Généralité sur les déchets:

I.1. Notion des déchets:

La question des déchets a commencé à se poser de manière aigue avec le développement urbain. Le volume de déchets s'amplifie de façon préoccupante, leur caractère hétérogène rend difficile la généralisation d'une filière de traitement, connaître leur composition et leurs caractéristiques permettra le choix d'une filière de traitement là mieux adaptée et la plus pérenne possible [2].

I.2. Définition d'un déchet:

Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse. Le terme « déchet » revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple) [3].

Selon La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer[3].

I.3. Classification des déchets:

I.3.1. Selon la réglementation algérienne:

- **Déchets ménagers et assimilés :** tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers[4].
- **Déchets spéciaux:** tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes[4].
- **Déchets spéciaux dangereux :** tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement [4].

- **Déchets inertes** : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement[4].



Figure I.1 : différents types de déchets [5].

I.3.2. Selon la nature:

- **Déchets dangereux**: les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement et qui de ce fait, nécessitent un traitement particulier, adapté à leur dangerosité. Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène, .. [6] (Figure I.2).



Figure I.2 : Déchets dangereux [5].

- **Déchets non dangereux:** les déchets non dangereux sont les déchets qui ne sont pas toxiques et ils ne constituent pas un risque sur la santé ou l'environnement parce qu'ils ne présentent aucune des caractéristiques relatives au degré de dangerosité. Ils sont principalement générés par les entreprises et les industriels, mais aussi par les collectivités et les ménages [7].

Le traitement de ces déchets permet de les transformer en matières réutilisables ou en matières premières secondaires et de limiter ainsi l'épuisement des matières premières [7].

Typologies des déchets acceptés:

- Déchets Industriels Banals (D.I.B).
- Ordures ménagères résiduelles (O.M.R.).
- Encombrants.
- Emballages valorisables en mélange ou pré-triés.
- Bois A et Bois B.
- Déchets verts.
- Papiers, cartons.
- Verre.
- Déchets minéraux (sable, laitiers...).
- Déchets volumineux (laine de verre, polystyrène...).
- PVC (menuiserie).

- **Déchets inertes:** les déchets inertes sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou

chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou nuire à la santé humaine [6].

- **Déchets ultimes:** déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique [8].

Un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux [8].

I.3.3. Selon l'origine:

- **Déchets ménagers et assimilés:** les déchets issus des ménages et tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers [4](Figure I.3).



Figure I.3 : Déchets ménagers et assimilés [5].

- **Déchets des Activités Economiques (DAE):** il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers. La loi considère qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme tels [9].
- **Déchets industriels:** tout déchet résultant d'une activité industrielle, agroindustrielle, artisanale ou d'une activité similaire; [10].
- **Déchets médicaux et pharmaceutiques:** tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine

humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires(Figure I.4) [11].



Figure I.4 : Déchets médicaux et pharmaceutiques [5].

- **Déchets agricoles:** tout déchet organique généré directement par des activités agricoles ou par des activités d'élevage ou de jardinage (gazon, branchage...) ; [10] (Figure I.5).



Figure I.5 : Déchets agricoles [5].

- **Les déchets organiques:** les termes suivants recouvrent la même notion : déchets biodégradables ou compos tables, les bio-déchets ou les déchets fermentescibles. Un déchet organique et tout déchet pouvant subir une décomposition biologique naturelle, anaérobie ou aérobie. Il s'agit de : (résidus verts, boues d'épuration des eaux, déchets organiques de la cuisine, journal, fleur coupées...), Ces déchets peuvent être dégradés par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation). S'ils n'étaient pas contaminés(Figure I.6).



Figure I.6 : Les déchets organiques [5].

II-Le mortier:

II.1.Définition:

Le mortier est le mélange à consistance de pâte ou de boue, d'un liant et d'agréats avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison, de scellement ou comme enduit. Techniquement parlant, c'est une colle [12].

Les professionnels du bâtiment qui utilisent le mortier sont le maçon, le couvreur, le carreleur et le tailleur de pierre. Jadis, la fonction était dévolue au gâcheur de mortier, qui le gâchait, c'est-à-dire le mélangeait [13] (Figure I.7).



Figure I.7 : Exemple d'un mortier [14].

II.2. Les différents types de mortiers:

Mélange de sable, d'eau et de liant comme le ciment ou la chaux, le mortier est un matériau qui vous est indispensable sur vos chantiers. Grâce au mortier, vous scellez des blocs de béton entre eux, vous réalisez des enduits de façades, vous liez des composants [15].

II.2.1. Mortier pour assembler des éléments de construction:

- **Le mortier de montage:**

Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide [15].

Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4.

II.2.2. Mortier pour enduire un mur:

- **Le mortier de ragréage:**

Le mortier de ragréage est un mélange de sable 0/1, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures [15].

Il vous servira pour tous vos travaux de ragréage en intérieur et en extérieur. Certains artisans rajoutent de la chaux pour rendre le mortier plus souple [15].

Certains mortiers de ragréage contiennent des fibres. Cela limite l'apparition de fissures qui peuvent apparaître en cas d'application au soleil ou par vent fort... [15].

II.2.3. Mortier pour sceller le carrelage:

- **Le mortier colle:**

Appelé également ciment colle à La Réunion, la colle carrelage permet de sceller des éléments entre eux. Vous l'utilisez principalement pour coller du carrelage [15].

Il existe plusieurs classes de performances pour définir une colle carrelage [15] :

- ✓ **C1** pour la pose de carrelage intérieur (sols et murs).
- ✓ **C2** pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs).

- ✓ **C2 S1 ou S2** pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) avec en plus, des propriétés d'adhérence élevées et une capacité à être déformé par une contrainte entre le carreau et la surface d'encollage.

Pour coller du carrelage dans une piscine, il faut au minimum partir sur une colle carrelage de type C2 TE S1.

II.2.4.Mortier pour la fabrication de béton:

- **Le mortier bâtard:**

Le mortier bâtard sert le plus souvent de béton pour de la petite maçonnerie. Il contient un peu de chaux qui le rend plus élastique et plus facile à mettre en œuvre. Selon les formules, le temps de séchage peut-être un peu plus long qu'un mortier de ciment pur [15].

Attention, sa résistance n'est pas élevée, il n'est pas recommandé pour réaliser des fondations par exemple [15].

II.2.5.Mortiers pour l'étanchéité:

- **Le mortier d'imperméabilisation:**

Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité [15].

Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins [15].

II.2.6.Mortiers pour résister aux fortes températures:

- **Le mortier réfractaire:**

Les mortiers réfractaires, sont employés dans le cas où des éléments scellés ou assemblés sont soumis à une température élevée comme dans la fabrication de barbecue. Ces types de mortiers peuvent résister jusqu'à une chaleur de près de 1 000 degrés... [15].

III-Le sable:

III.1.Définition de sable:

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 2

mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaire de coquillage et de Coraï [16].

III.2. Les classes de sables:

On peut classer les sables selon trois paramètres sont [16].

a) La granularité:

Permet de séparer les sables en trois catégories :

- Sables fins.
- Sables moyens.
- Sables grossiers.

b) La propreté et la teneur en fines:

Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

c) La nature minéralogique:

En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

III.3. Caractéristiques physicochimique:

Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde. De plus, le sable éolien présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit "**émoussé-luisant**" [16].

L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement [16].

Le sable est souvent le produit de la décomposition du micaschiste du fait de l'érosion. Ainsi, le plus fréquent de ses composants est le quartz, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths. Un sable issu d'une roche volcanique est plutôt noir tandis qu'un sable marin s'enrichit de débris de coquillages. Il peut avoir plusieurs couleurs en fonction de sa nature : noir ou blanc [16].

Le sable peut aussi prendre d'autres formes : arène, grès.

Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accumulent alors pour former des plages, des dunes. Un vent violent qui se charge en sable est une « **tempête de sable** » [16].

Les grains les plus lourds se déposent en premier dans les milieux à forte énergie (rivière, haut d'une plage), les plus fins dans les milieux à énergie plus faible (delta, lac, bassin, crique) [16].

La masse volumique du sable sec varie, selon sa granulométrie et sa composition, de 1,7 à 1,9 kg/l (en moyenne 1 850 kg/m³) [16]

III.4. Les familles de sables:

On distingue Trois familles:

- **Les sables roulés siliceux (0 /2):** dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement [16] (Figure I.8).



Figure I.8 : sables roulés siliceux [17].

- **Les sables de concassage calcaires:** sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant [16](Figure I.9).



Figure I.9 : sable de concassage calcaire [17].

- **Le sable de dune:** qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités[16].

III.5. Les sables de dunes:

III.5.1. Introduction:

Les sables de dune sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigation menées dans le saharien algérien ont mis en évidence des provinces minéralogiques homogènes. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et granulaire quasi similaires. Depuis et ce à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche [16] (Figure I.10).



Figure I.10 : sable de dune [18].

III.5.2. Définition:

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable [16].

D'après Fookes et Higginbotham (1968). Le Sahara est constituée d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux[16].

Qu'est-ce qu'une dune ?

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable [16].

Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux de un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce premier cordon, on peut voir se développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation [16].

III.5.3. Intérêt de sable de dune:

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique [16].

III.5.3.1. Les aspects économiques:

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [16].

III.5.3.2. Les aspects techniques:

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base [16].

III.5.4. Type de dune:

1. les avant-dunes (fore dune en anglais): qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemple), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est-à-dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. Elle est différente d'une ancienne arrière dune en cours d'érosion, et d'une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur où une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles [16].

2. les falaises dunaires (dune cliffe en anglais): est plutôt un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux [16].

3. les dunes perchées (cliffe-top dune en anglais): apparaissent au sommet d'une falaise vive. Elles sont alimentées en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [16].

4. les cordons dunaires artificiels: sont construits par l'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont ainsi semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le Nord de la France) [16].

Type complexe:

Tous ces types de dunes peuvent exister sous trois formes : simple, composée et complexe [16].

- **Les dunes simples :** sont des collines avec un nombre minimal de côtés escarpés qui en définissent la typologie géométrique.
- **Les dunes composées :** sont des plus grandes dunes, surmontées de dunes similaires plus petites.
- **Les dunes complexes :** sont, elles, formées de plusieurs types de dunes différents.
- **Une dune en demi-lune :** soutenant une dune en étoile est une des dunes complexes les plus communes.

Les dunes sont simples quand le vent reste constant pendant leur formation [16].

III.6. Les formes de sable de dune:

Il existe trois formes [16]:

- ✓ La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant.

Les collines en demi-lune sont, généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

- ✓ La dune parabolique est en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- ✓ Les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité.

III.7. Les différents milieux de la dune:

Les dunes sont composées de milieux différents, On distingue différents types de dunes :

III.7.1. Les dunes mobiles:

Peu ou pas fixées par la végétation (oyats, chiendents des sables etc.) ou dunes blanches, les dunes « **reliques** » définitivement fixées par la végétation comme les dunes Grises (mousses, lichens, argousiers, etc.), [16].

III.7.2. Les dunes noires (arbres):

Et les dunes fossiles recouvertes par des dépôts sédimentaires autres que le sable [16] (Figure I.11).

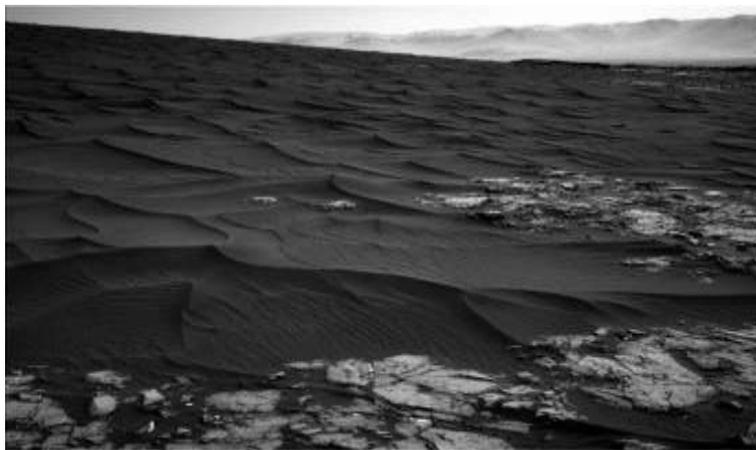


Figure I.11 : sable de dune noire [18].

III.7.3. La dune verte (appelée aussi avant-dune ou dune embryonnaire):

Végétation pionnière des hauts de plage s'installant sur une dune en formation ou à la base d'une dune mobile, dominée par des peuplements clairsemés de psammophytes de type chiendsables, Renouée maritime, Pourpier de mer, Soude brulée, Cakilier maritime, Panicaut maritime, Euphorbe maritime et liseron des dunes [16].

Ces plantes favorisent l'installation de macro mycètes saprotrophes et fixent le sable, formant des buttes sableuses néoformées appelées nebkas et peuvent aboutir à son accrétion sous forme d'une accumulation subhorizontale située en pied de dune (banquette surélevée de quelques décimètres par rapport au haut de plage) [16].

Cette dune est normalement éphémère, qu'elle soit balayée par les vagues de tempête ou qu'elle se transforme en un autre type plus évolué, la dune bordière où l'emplacement des obstacles primitifs n'est plus individualisable [16] (Figure I.11).



Figure I.12 : sable de dune verte [18].

III.7.4.La dune blanche ou jaune:

Partie de la dune littorale mobile colonisée par l'Oyat, plante fixatrice adaptée à une assez faible salinité du substrat (2 % maximum) à laquelle s'associent d'autres espèces spasmophiles (Panicaut des dunes, Achillée maritime, giroflée des dunes, chou marin, liseron des dunes, gaillet des sables, Lis maritime) [16].

Elle comprend un glacis externe ou une falaise sableuse et un plateau dunaire caractérisés par des formes de déflation (siffle-vent qui peut évoluer en couloir ou plaque de déflation, caoudeyre, dune parabolique) et des zones d'accumulation marquées (tuc, poudrières) [16].

La dune vive succède une dune semi-fixée caractérisée par une accumulation moindre des sables soufflés par les vents (ces derniers étant majoritairement arrêtés par la dune blanche) et le développement d'une végétation dense en tapis [16] (Figure I.11).



Figure I.13 : sable de dune blanche [18].

III.7.5. La dune grise :

Partie de la dune sous le vent correspondant au talus interne de la dune blanche, où pénètrent des plantes herbacées fixatrices succédant aux espèces pionnières, le tout évoluant peu à peu vers une pelouse constituée d'un tapis dense de mousses et lichens (accompagnés de l'Immortelle des dunes, la Linaire des sables, la rose pimprenelle, l'œillet des dunes, l'Ophrys passion (It), la Canche blanchâtre (en), la Luzerne marine, le raisin de mer, le Chardon champêtre, le thym serpolet ou les Orobanches) qui enrichit le sable de matière organique et d'humus [16].

Il existe souvent, au sein de cette dune et à l'arrière de celle-ci, des cuvettes naturelles ou artificielles (mares de chasse, prélèvements de sédiments) dont une partie est, au moins temporairement, en contact avec la nappe phréatique [16] (Figure I.12).



Figure I.14 : sable de dune grise [18].

III.7.6. La dune brune (dune boisée ou frange forestière):

La pelouse est progressivement remplacée par des prairies enrichies d'espèces pré-forestières (Saule des dunes, Rosiers), puis par des buissons et fourrés (Ajonc, Prunelliers), arbustes (espèces consolidatrices succédant aux fixatrices, du type argousier, églantier, sureau, troène...), voire un boisement littoral [16] (Figure I.13).



Figure I.15 : sable de dune brune [18].

III.7.7. La dune littorale:

Les dunes littorales ou dunes bordières se forment sur le long des côtes basses où les vents et l'apport de sédiments par la dérive littorale permettent l'accumulation de sable sur les plages [16].

À marée basse, le haut de plage est asséché par le vent ce qui permet le transfert des sables vers l'intérieur des terres, essentiellement par roulement et saltation. La largeur de l'estran est donc un facteur primordial du bon développement des dunes: plus il est large, plus la surface de déflation éolienne et donc la quantité de sédiments soufflés sont importantes. Dans le processus de formation des dunes, les plantes pionnières jouent un rôle fondamental, assurant le dépôt, la fixation et la stabilisation de l'accumulation dunaire. Ces plantes sont adaptées à l'instabilité du substrat et présentent de longues racines traçantes [16].

La dune littorale est donc une forme d'accumulation sédimentaire fixée par une végétation spasmophile, il s'agit d'une construction bio géomorphologique [16].

IV. Le caoutchouc:

IV.1. Généralités sur les caoutchoucs:

Il existe deux grandes familles de caoutchoucs [19] :

- ✓ 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 (préservatifs, gants, ...), alimentation (tétine...), colles et adhésifs....[19]

Les déchets de caoutchouc ont quatre origines [19] :

- 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%).

IV.2. Les pneumatiques usagés:

IV.2.1. Les pneumatiques:

Même si la problématique concerne tous les pays sans exception, les données fiables disponibles ne concernent que les pays développés. Dans ce dernier cas, elles montrent que les pneus en caoutchouc représentent 60% de la production industrielle en caoutchouc [1].

Le caoutchouc est un élément indispensable dans la constitution d'un pneumatique : il représente environ 48% de son poids. En plus du latex, matière de base du caoutchouc naturel, les caoutchoucs synthétiques, dérivés de pétrole, ont permis d'améliorer les caractéristiques des pneumatiques. Les pneumatiques sont également renforcés d'armatures métalliques (15% de poids) afin d'augmenter le niveau de leur performance, mais aussi de fibres textiles (5% de poids) afin d'alléger leur poids tout en conservant leurs propriétés d'endurance [1](Figure I.14).



Figure I.16 : Stock de pneus usagés à Campsas, Tarn et Garonne en 2007 [20].

IV.2.2. Les voies de valorisation des pneus usagés:

Les voies de valorisation des pneus usagés sont de plus en plus objets de projets diversifiés, de recherche et développement. A titre d'exemples non exhaustifs on peut citer les axes suivants [1]:

1. Sous forme de matières premières:

On a déjà utilisé essentiellement la poudrette de caoutchouc dans les revêtements de sols sportifs (pistes d'athlétisme ou sous couche dans les salles de sport). Actuellement, on a une nouvelle application de la poudrette : le sol équestre à base de granulats de pneus usagés.

Ce revêtement de nouvelle génération est composé d'une couche de base de granulats liés par une résine, recouverte d'une couche de granulats libres [1].

2. Réhabilitation de carrière:

La méthode de comblement - qui fait l'objet d'un agrément pour les carrières en fin d'exploitation, consiste à alterner des couches de terre et des couches de pneus usagés de grande taille (génie civil et agraires) comme illustré[1].

Cette procédure de réhabilitation du site doit faire l'objet d'une surveillance scientifique sanitaire et environnementale. Sur la base de cette surveillance, il a été confirmé que l'utilisation des pneus en comblement de carrière est une application qui a toute sa place dans la valorisation des pneus usagés dès lors que cette technique est bien maîtrisée[1].

IV.3. La valorisation des déchets de caoutchouc en Algérie:

Aujourd'hui, les nombreuses possibilités de transformation ou d'élimination offertes par le pneu usagé non réutilisable en font un matériau à fort potentiel. Les chercheurs et les industriels découvrent ses nombreuses qualités: la résistance de sa structure lorsqu'il est conservé en entier, sa souplesse lorsqu'il est transformé en granulat, ou son pouvoir calorifique lorsqu'il est utilisé comme combustible [19].

Le problème des pneus usagés est non seulement Mondial mais aussi Maghrébin et Africain; des millions de tonnes sont jetés chaque année dans le monde (déchet encombrant et abondant)[19].

Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie comme certains d'autres pays a compris que la technologie est la clé de l'évolution, sur des méthodes et des techniques nouvelles, tout en pensant à la protection et la conservation de l'environnement dans le cadre du développement durable[19].

IV.4. Utilisation des déchets de caoutchouc dans le mortier:

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en

termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité [21].

Conclusion:

Les matériaux cimentaires sont handicapés par leur faible résistance à la traction et par leur fragilité, qui les rendent particulièrement sensibles à la fissuration notamment la fissuration de retrait.

Si la fragilité est souvent palliée par le renforcement par des armatures, leur mise en place est difficile voire impossible dans certains cas. Le renforcement par des fibres est une solution alternative qui reste perfectible dans ce sens où celle -ci n'empêche pas la fissuration mais en limite l'ouverture.

La solution idéale est un matériau cimentaire capable de supporter des déformations importantes avant localisation de la fissure. Pour cet objectif, nous avons opté pour l'incorporation de granulats déformables en substitution au sable et nous avons décidé d'utiliser des granulats de caoutchouc issus du broyage de pneus usagés. Ces granulats ont été introduits en substitution volumique partielle des granulats naturels. Nous avons également introduit des déchets de brique dans ce mortier afin d'obtenir un matériau cimentaire écologique.

Dans les deux cas, la dimension maximale du plus gros grain est de 4 mm (mortiers).

En contrepartie des chutes de résistances en compression et en traction, la capacité de déformation avant localisation de la macro fissuration est nettement plus élevée en présence de granulats caoutchouc.

Les variations dimensionnelles de retrait des mortiers de ciment incorporant des granulats caoutchouc sont plus élevées, les résultats ont démontré que le composite obtenu à une plus grande résistance à la fissuration de retrait.

Ainsi, lorsque la résistance à la fissuration est une priorité, l'incorporation de granulats caoutchouc dans les matériaux cimentaires est une réponse pour des applications plus durables et constitue une nouvelle voie de valorisation des pneumatiques usagés non réutilisables.

Référence Bibliographique

- [1] : **M. HO Anh Cuong**,(2010): "Optimisation de la composition et caractérisation d'un béton incorporant des granulats issus du broyage de pneus usagés :Application aux éléments de grande surface", Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse.
- [2] : **Bencherif Y., Kerkeb N.**,(2014): "Etude de l'efficacité du chitosane bentonite comme adjuvants de coagulation-floculation pour le traitement des lixiviats de la décharge de Saida", Université Dr Moulay Tahar de Saida.
- [3] : **Abdedou K., Boussad S.**,(2015): "Evaluation de la gestion des déchets ménagers dans la commune de Bouzeguène et implication pour la mise en œuvre d'un mode de gestion plus durable"., Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [4] : **JORA.**,(2001) : journal officiel algérien n°77 : la loi n° 01-19 de 12/12/2001 sur la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets solides.
- [5] : https://www.google.com/search?q=different+traitement+des+dechets&sxsrf=ALeKk03yw1600396236322&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjWmKnJ1PHrAhUZA2MBHUV7CgMQ_AUoAXoECA0QAw&biw=1024&bih=657
- [6] : **Damien A.**, (2004) : « guide du traitement des déchets » .3ème édition. France. P 430.
- [7] : <https://www.bsenvironnement.fr/nos-prestations/dechets-pris-en-charge/27-dechets-non-dangereux.htm>
- [8]: https://www.aenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition___/dechet_ultime.php4
- [9]: <https://www.ecophylle.org/l-accompagnement-de-demarches-3/53-fiches-resources/783-dechets-generalites>
- [10] : **Chograni Y.**,(2017) : "Gestion du CET II (Centre d'enfouissement Technique des déchets ménagers) de Hammame Boughrara et risque environnementaux", Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- [11] : https://www.memoireonline.com/11/13/7979/m_Connaissances-attitudes-et-pratiques-des-professionnels-de-sante-sur-la-gestion-des-dechets-hosp11.html

- [12] : <https://www.khalesindustrie.com/nos-articles/ligne-de-transformation-de-ciment-colle>.
- [13] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_(mat%C3%A9riau))
- [14] : [Exemple+d%E2%80%99un+mortier&sxsrf=1600396533395&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiLpP3W1fHrAhXtDmMBHTAfBwEQ_AUoAXoEC_AwQAw&biw=1024&bih=657](https://www.google.com/search?q=Exemple+d%E2%80%99un+mortier&sxsrf=1600396533395&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiLpP3W1fHrAhXtDmMBHTAfBwEQ_AUoAXoEC_AwQAw&biw=1024&bih=657)
- [15] : <https://blog.teralta-emortier#:~:text=Le%20mortier%20de%20montage%20se,1%20ou%20du%200%2F4>.
- [16] : **Balhachemi S., Berrafa F.**, (2017) : "La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique", Mémoire de magister en génie civil, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain T'émouchent.
- [17] : https://www.google.com/search?q=different+type+de+sable&sxsrf=ALeKk01FxdgP-9HxfD7JtCoBOfWzK9QhFQ:1600395932702&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi98cW40_HrAhVO1hoKHWMIBEYQ_AUoAXoECA0QAw&biw=1024&bih=657
- [18]: https://www.google.com/search?q=different+type+de+sable+de+dune&sxsrf=ALeKk019WBfBWUf_iw6hUlp94A9u7kD2g:1600395976392&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjluLDN0_HrAhXHx4UKHb0tB-
- [19] : http://dspace.univdjelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1168/Microsoft%20Word%20-%20Chapitre%202.docx_1_.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- [20] : https://www.google.com/search?q=pneus+usag%C3%A9s&sxsrf=ALeKk01CXCq6_RM_4kptBKmmn_SdcrCGw:1600396643987&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjanduL1vHrAhXAAWMBHRgz_CrCQ_AUoAnoECBcQBA&biw=1024&bih=657
- [21] : **Bonnet S., Turatsinze A., Granju J-L** (2004) : "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.

II.1. Introduction :

Dans ce deuxième chapitre de notre étude nous allons donner une synthèse sur les travaux de recherche qui ont été fait sur la valorisation de sable de dune et du caoutchouc pour la confection des bétons et des mortiers appliqués dans le domaine de la construction en génie civil, où nous allons exposer les principaux résultats obtenus, dans les états frais et durci.

II.2. Valorisation des granulats de caoutchouc dans les bétons et les mortiers

II.2.1. A l'état frais:

II.2.1.1.Consistance:

Selon Boukour S[1],de nombreux auteurs [2, 3-4], ont étudié la consistance du béton et du mortier caoutchouté. Ils ont observé une diminution de la maniabilité avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc en volume total cumulé par rapport au béton témoin, cette diminution est due à l'augmentation de la viscosité du mélange.

Selon Mehimer et al[5], les échantillons témoins ont la valeur d'affaissement la plus élevée (95 mm), tandis que la valeur d'affaissement a été réduite de 5.3%, 15.8%, 21.0%, 21.1% et 36.8% pour des teneurs en caoutchouc de 10%, 20%, 30%, 40% et 50% respectivement (Figure II.1).

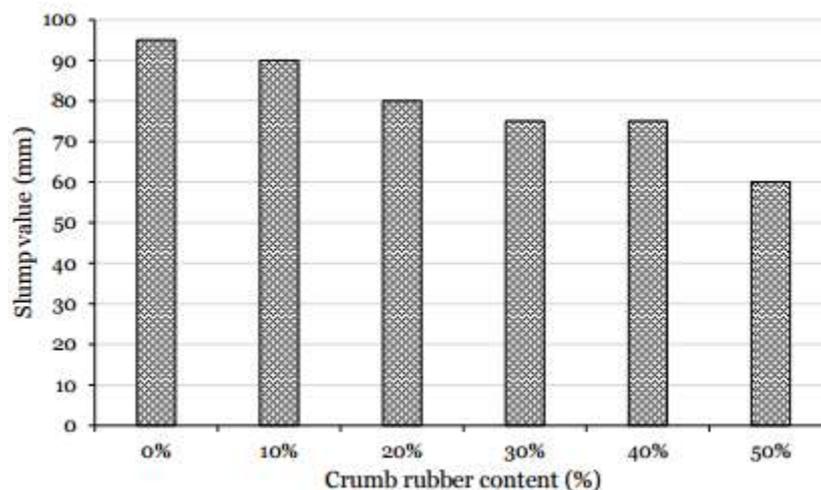


Figure II.1 : Valeur d'affaissement du béton frais source [2].

Selon Benazzouk A et al[6], l'action fluidifiante de l'hémoglobine peut en partie être reliée à la création de bulles d'air dans la matrice. Il était toutefois important de vérifier que la maniabilité de la mousse obtenue n'affecte pas la mise en moule. Un exemple de résultats de l'affaissement du composite contenant 40 % de caoutchouc montre que celui-ci augmente en

fonction de l'entraînement d'air, en raison des micro-bulles d'air créées dans la matrice (figure II.2).

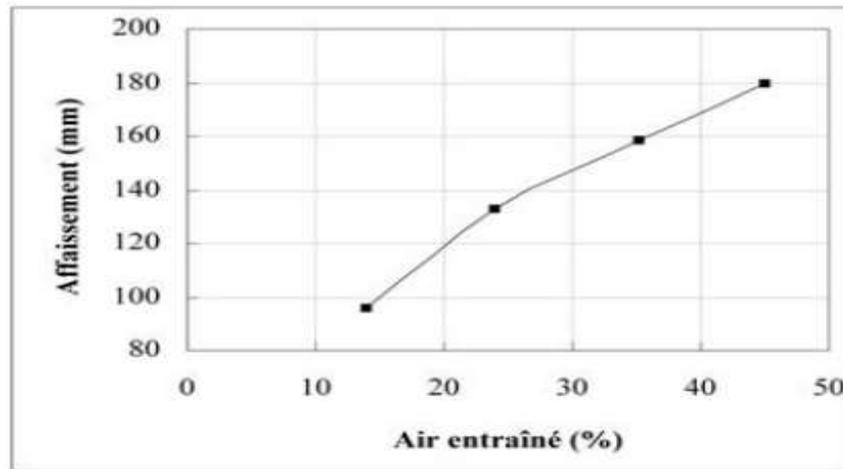


Figure II.2 : Effet de l'entraînement d'air sur l'affaissement du composite à l'état frais (40 % de caoutchouc) source [6].

Khatib et al, Taha et al [2, 7] ont également observé que les mélanges fabriqués avec la poudre fine de caoutchouc étaient plus pratiques que ceux fabriqués avec des copeaux de pneus ou une combinaison de copeaux de pneus et poudre fine de caoutchouc.

Mavroulidou et al, Thirupathi [8, 9] ont constaté que la rigidité du mélange augmente avec l'augmentation supplémentaire de la teneur en caoutchouc soit fins ou grossiers, ceci est reflété par la baisse significative des valeurs d'affaissement. Ces résultats sont homogènes avec ceux restitués par [2, 10].

Selon Boukour S [1], bien que la majorité des investigations montrent que les granulats de caoutchouc conduisent à une diminution de la maniabilité du béton, au contraire des études réalisées par certains auteurs [11, 12-13], ont indiqué une conclusion un peu différente. En effet, d'après ces études le béton incorporant des granulats de caoutchouc a une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition, cela signifie que la maniabilité est très dépendante des caractéristiques des granulats de caoutchouc.

Bignozzi et al [14], référant que l'introduction des particules de caoutchouc n'a pas d'influence sur la maniabilité d'une manière significative si la quantité du super plastifiant augmente en même temps. L'utilisation d'adjuvants représente un moyen de contrôler la rhéologie. Par exemple, l'utilisation d'un agent entraîneur d'air améliore de façon substantielle la maniabilité du béton frais.

En résumé du travail mené par Bravo et al [15], les granulats ronds de caoutchouc (broyage cryogénique) donnaient une plus forte valeur d'affaissement que les granulats angulaires de

caoutchouc (broyés mécaniquement) ceci est dû à la faible surface spécifique et la faible rugosité.

II.2.1.2. Air occlus (Entraînement d'air):

D'après Boukour S[1], la mise en place du béton conduit ce dernier a toujours renfermé une certaine quantité d'air, appelé air occlus. Ce volume dépend de l'énergie de serrage : plus l'énergie de serrage est importante, plus il sera possible de réduire la quantité d'air occlus.

La teneur en air est un paramètre important dans les bétons et mortiers, l'augmentation de l'air occlus entraînerait une diminution de la résistance à la compression après une période de durcissement désignée [16].

Selon Benazzouk A et al[6], les résultats des mesures de l'air entraîné, en fonction de la teneur en caoutchouc, montre que l'ajout de poussières de caoutchouc favorise l'entraînement d'air dans la matrice. Pour une teneur en caoutchouc allant de 0 % à 50 %, l'entraînement varie de 25,3 % à 46,5 %. Ceci est lié à la nature des poussières de caoutchouc, qui entraîneraient plus d'air dans la matrice grâce à leur texture et leur morphologie contenant respectivement 0 % et 50 % de caoutchouc.

Précisément Youssf et al[17] ont conclu que le remplacement des granulats fins par des particules de caoutchouc entraîne une moindre augmentation de la teneur en air comparativement aux granulats grossiers. En revanche, Khatib et al[2] ont noté que les particules de caoutchoucs plus grossiers entraînent une augmentation moins importante de l'air occlus par rapport à la taille plus fine des particules de caoutchouc.

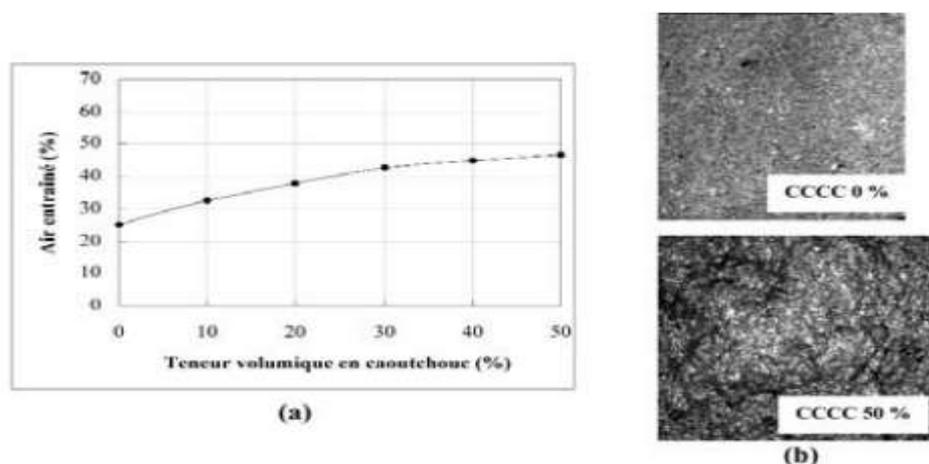


Figure II.3 : (a) Evolution de l'air entraîné en fonction de la teneur en caoutchouc.

(b) Aspect du composite, à l'état frais, pour différentes teneurs en caoutchouc source [6].

En termes de bétons caoutchouté, la substitution de granulats classiques par des granulats de caoutchouc, plus légers entraîne une augmentation de l'air occlus, par rapport au béton témoin sans particule de caoutchouc [2, 10, 18, 19, 20, 21].

Selon Al Akhrass et al[22], la teneur en air a diminué de 15, 27, 35 et 42% pour une teneur en caoutchouc (caoutchouc sous forme de cendre volante) de 2.5, 5, 7.5 et 10% respectivement comme le montre la figure II.4.

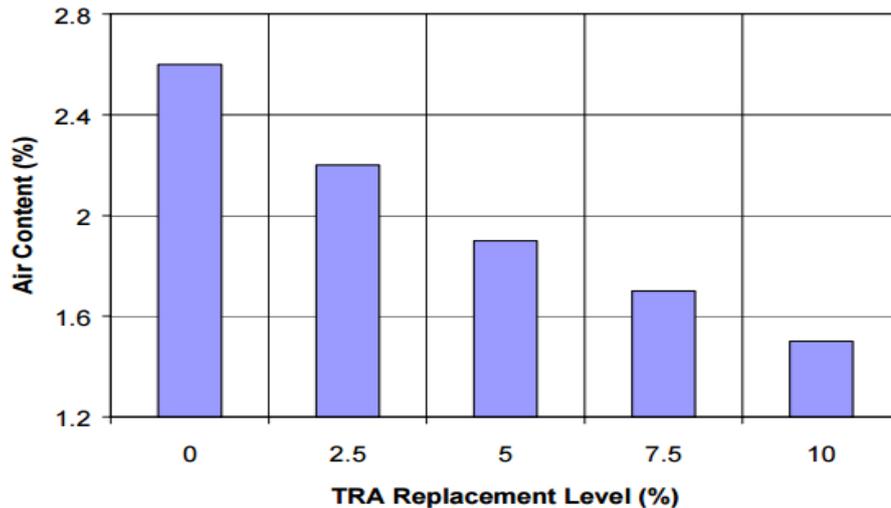


Figure II.4 : Effet de la cendre de caoutchouc sur la teneur en air du mortier frais source [2].

Selon Benazzouk et al[23], les mesures de l'entraînement d'air ont montré que celui-ci varie de 2,8% (pour le mortier de référence) à 8,6% pour une composition de 100% en caoutchouc. Cette augmentation est liée à la nature non-polaire du caoutchouc, qui entraînerait de l'air dans la matrice. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par certains auteurs concernant les bétons à base de caoutchouc [24, 25].

Certains chercheurs pensent que la granulométrie ouverte est l'une des principales causes qui affecte la teneur en air occlus du béton incorporant des granulats de caoutchouc, ils ont noté que la tendance est d'ordre croissante des valeurs de la teneur en air pour toutes les tailles de particules de caoutchouc [7, 26].

II.2.2. À l'état durci:

II.2.2.1. Masse volumique à l'état sec:

D'après Boukour[1], La masse volumique d'un béton dépend de sa composition, en particulier de la densité des granulats utilisés. L'éco-composite cimentaire incorporant des granulats de caoutchouc en substitution des granulats naturels à une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire, cela est dû à la faible densité du caoutchouc [2, 27, 28].

L'utilisation potentielle de ce type de béton s'avère très intéressante en termes de gain de poids. La diminution de poids conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre. La masse volumique des mélanges à base de granulats de caoutchouc diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc allant de 0-100% [7, 17, 18, 20, 29-30].

Benazzouk et al[6] ont constaté que l'évolution de la masse volumique sèche du composite caoutchouté en fonction de la teneur en poussières de caoutchouc diminue de $1\,260\text{ kg/m}^3$ à 600 kg/m^3 , pour une composition allant de 0 % à 50 % en caoutchouc, soit une réduction de l'ordre de 53 %. Si l'on compare la masse volumique du composite cellulaire à celle du composite avant allègement, pour une teneur en caoutchouc de 50 %, on constate que le moussage protéinique permet d'avoir un allègement d'environ 48 %. Alors que pour la variation de la masse volumique sèche du composite, en fonction de la teneur en particules de caoutchouc, Benazzouk et al [23] ont constaté que celle-ci diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc de 1950 à 1120 kg/m^3 , pour une teneur en particules de caoutchouc allant de 0 % à 100 % ; Ce qui correspond à un allègement de l'ordre de 42,5%, particulièrement utile dans les travaux de réhabilitation et l'allègement des structures.

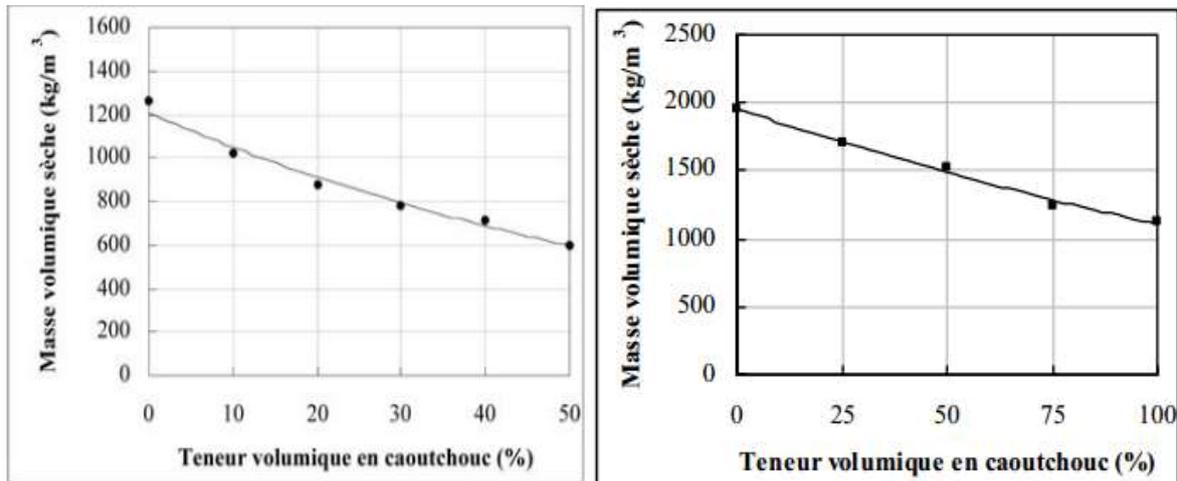


Figure II. 5 : Evolution de la masse volumique sèche du composite en fonction de la teneur en caoutchouc (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc)

source [6, 23]

Plusieurs auteurs ont confirmé que la dimension du granulat de caoutchouc a une influence sur la densité des mélanges. Pour la même teneur en caoutchouc, les mélanges à base de granulats fins de caoutchouc ont des densités plus faibles que ceux contenant des granulats en caoutchouc grossier [31, 32].

Benazzouk et al[6], ont constaté également que la réduction de la masse volumique du composite en fonction de la teneur en caoutchouc est régulière. Ceci montre la stabilité du

réseau de bulles d'air créées dans la matrice, suite à l'entraînement d'air. Cette stabilité a été vérifiée en évaluant la relation entre les masses volumiques du composite à l'état frais et à l'état durci montre une évolution linéaire, confirmant ainsi cette stabilité.

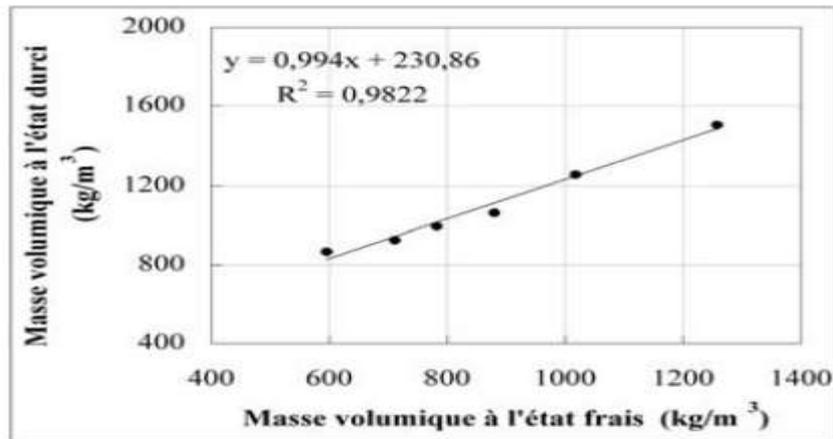


Figure II.6 : Relation entre les masses volumiques du composite à l'état frais et à l'état durci source [6].

Mahmod et al [33] ont comparé la densité d'un mélange classique avec celui d'un mélange caoutchouté, ils ont enregistré une diminution de la densité du mélange caoutchouté de l'ordre de 4.9%, 10.5% et 12.2% pour des teneurs en caoutchouc de 10%, 20% et 30% comme le montre la figure II.7.

Cette réduction est attribuable à la diminution de la densité du granulats de caoutchouc par rapport au granulats ordinaire ; outre la faible densité du caoutchouc, l'allègement du composite est également liée à l'augmentation de l'entraînement d'air dans la matrice, cette augmentation est liée à la nature non-polaire du caoutchouc, qui entraînerait de l'air dans la matrice. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par certains auteurs concernant les bétons à base de caoutchouc [20, 21].

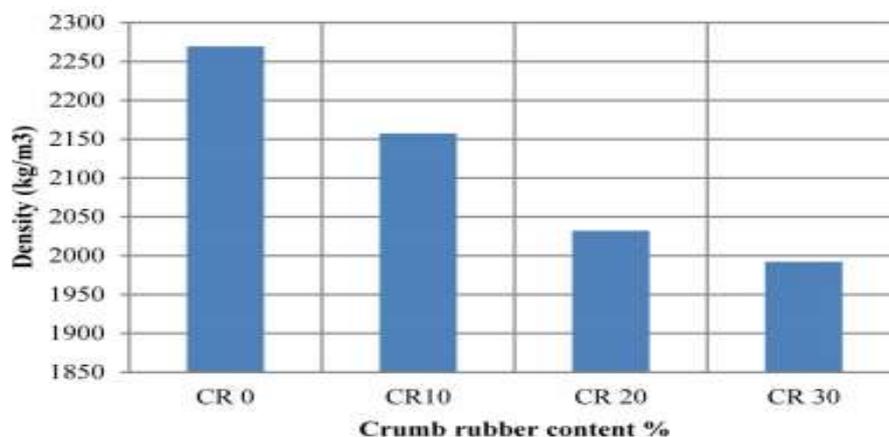


Figure II.7: Densité par rapport au taux de substitution du granulats fin par des miettes de caoutchouc source [2].

Sukontasukkul et al [29] ont estimé que la floculation des particules de caoutchouc pendant le malaxage du béton avec des teneurs en caoutchouc croissants peut avoir un certain effet sur la diminution de la densité des spécimens de béton. La floculation peut créer de grands vides à l'intérieur du bloc conduisant à une plus grande porosité qui abaisse finalement la densité due à l'absorption d'eau élevée des particules de pneu [2].

La réduction de la densité peut être une caractéristique souhaitable dans certaines applications, y compris les applications architecturales telles que le clouage de béton, les façades de fausses pierres d'accompagnement ainsi que des blocs préfabriqués et dalles de béton [10].

II.2.2.2. Module d'élasticité dynamique :

Benazzouk et al[23], ont résulté que l'ajout de particules de caoutchouc dans la matrice cimentaire, réduit le module d'élasticité dynamique de 23 à 3,2 GPa, pour une teneur en caoutchouc allant de 0 à 100%. Alors que Benazzouk et al[6], ont constaté que l'évolution du module d'élasticité dynamique des composites en fonction de la teneur en poussières de caoutchouc marque une baisse significative du module d'élasticité dynamique varie de 10,5 (figure II.8).

Cette diminution est due à la nature du caoutchouc qui absorbe les ondes ultrasonores. En effet, le phénomène est accentué par la présence de bulles d'air dans la matrice. Les ondes doivent contourner ces bulles d'air pour se propager dans la pâte de ciment. Ce qui augmente le temps de propagation de l'onde ultrasonore et réduit ainsi sa vitesse de propagation. Ces résultats montrent que le composite à base de caoutchouc présente des capacités d'atténuation d'ondes ultrasonores ainsi que l'amortissement des vibrations [6, 23].

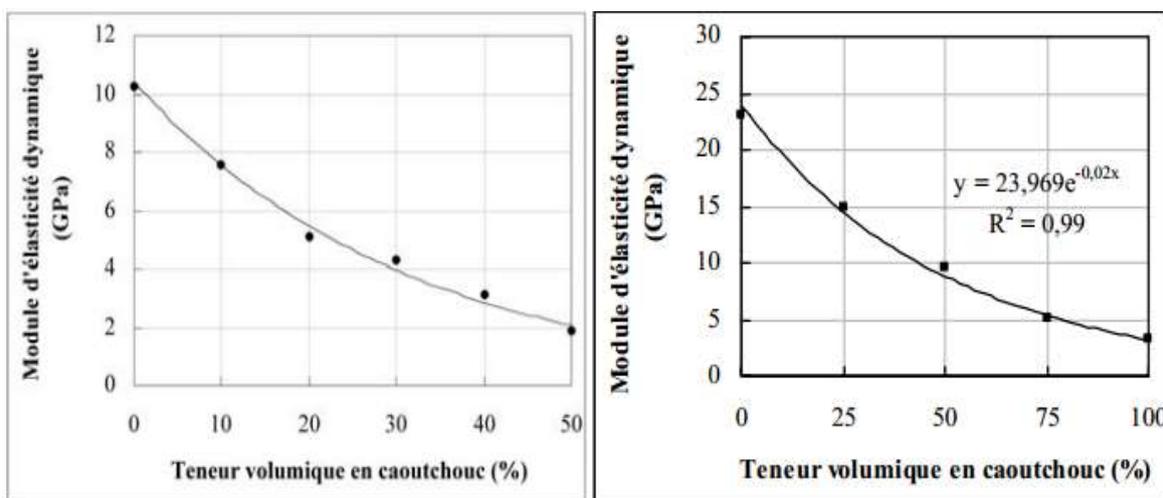


Figure II.8 : Evolution du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en Caoutchouc (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc) source [6, 23]

II.2.2.3. Résistance à la compression:

La résistance mécanique représente un critère de conception important. Généralement, on admet que la résistance à la compression est un bon indicateur des propriétés mécaniques d'ensemble du béton à l'état durci. Elle dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et le dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, la condition de réalisation et de cure, etc. [2].

Les granulats de caoutchouc sont considérablement plus souples et plus élastiques que la matrice cimentaire [34, 35, 36] et les interfaces entre ces derniers et la pâte de ciment sont encore plus larges et poreux qu'avec des granulats naturels classiques.

L'unanimité des chercheurs admettent dans la littérature que les granulats de caoutchouc sont très préjudiciables à la résistance en compression. Les mesures réalisées sont en accord avec cette généralité [37, 38, 39-40]. Cette détérioration est d'autant plus importante que le taux de substitution est élevé et que les granulats en caoutchouc utilisés sont de petites dimensions. Selon Benazzouk et al [41, 23], la résistance diminue considérablement avec l'augmentation de la teneur en particules de caoutchouc. Pour une composition allant de 0 à 100 %, la résistance à la compression varie de 36 MPa, pour le mortier de référence, à 6.5MPa ; soit une réduction de l'ordre de 82%. Alors que Benazzouk et al [6], ont constaté que l'évolution de la résistance à la compression du composite, pour différentes teneurs en poussières de caoutchouc, pour une composition en caoutchouc allant de 0 % à 50 %, décroît de 22,5 MPa, à 1,4 MPa; soit une réduction de l'ordre de 93% (Figure II.9).

Les résultats montrent que malgré une baisse significative de la résistance à la compression, la valeur obtenue pour une composition à 100% en caoutchouc, reste compatible avec l'utilisation du matériau dans le domaine d'application des bétons légers de construction de "classe II" (masse volumique inférieure à 1500 kg/m³ et une résistance à la compression supérieure à 3.5 MPa), suivant la classification fonctionnelle de la Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux RILEM (RILEM LC2, 1978) [41,23].

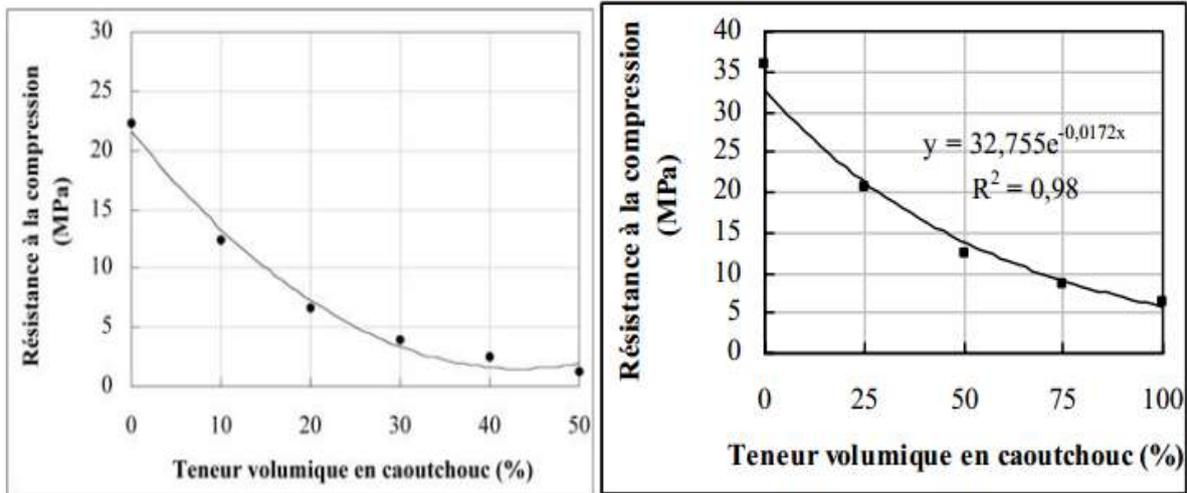


Figure II.9 : Evolution de la résistance à la compression des composites (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc) source [6, 23].

D'après Boukour[1], on peut résumer que la perte de résistance est liée, d'une part, à la nature élastique des particules de caoutchouc et d'autre part, à l'augmentation de la porosité en raison d'une plus grande quantité d'eau libre dans le matériau en fonction de la composition en caoutchouc [21, 41, 42], ainsi qu'à la répartition non homogène des particules de caoutchouc dans la matrice de béton [43], et aussi la nature hydrophobe des particules de caoutchouc, lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau [7, 17, 44]. Ce comportement piège les bulles en augmentant la teneur en air du mélange [10, 12]. Un résultat majeur de l'augmentation de la teneur en air est la réduction de la résistance du béton [45].

Pour améliorer l'adhérence entre la pâte de ciment et le caoutchouc et augmenter la résistance à la compression Mansoor et al [46], ont avantage de substituer ou d'ajouter des additions comme la fumée de silice dans la matrice cimentaire à base de caoutchouc. Ces ajouts minéraux ont la propriété de réagir avec la chaux libérée lors de l'hydratation du ciment Portland et de former de nouveaux C-S-H, qui contribuent à améliorer les résistances à la compression au jeune âge et aux âges avancés des bétons.

Selon Boukour[1], des études ont révélé que le changement de la texture de surface en caoutchouc lisse à une surface rugueuse par différents traitements pourrait développer une meilleure liaison par le traitement de la surface des grains de caoutchouc avant leur introduction dans le mélange permettant de pallier le défaut d'adhérence observé entre le caoutchouc et la matrice cimentaire et ainsi de limiter les chutes de résistance en compression [47, 48].

II.2.2.4.Résistance à la flexion:

Selon Boukour S[1], Une perte de résistance à la flexion est associée au remplacement du granulat naturel dans un béton ou mortier par des granulats de caoutchouc avec un taux de substitution élevée [31,49-50], cette réduction est liée toujours à la faible adhérence entre les particules de caoutchouc et la pâte de ciment.

D'après Azmiet al [13], la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc de 0% à 30%, à l'âge de 28 jours et pour un rapport E/C= 0.41, la résistance de béton de référence est égale 10.3 MPa et 6.68 MPa pour une teneur de caoutchouc 30% comme montre la figure II.10.

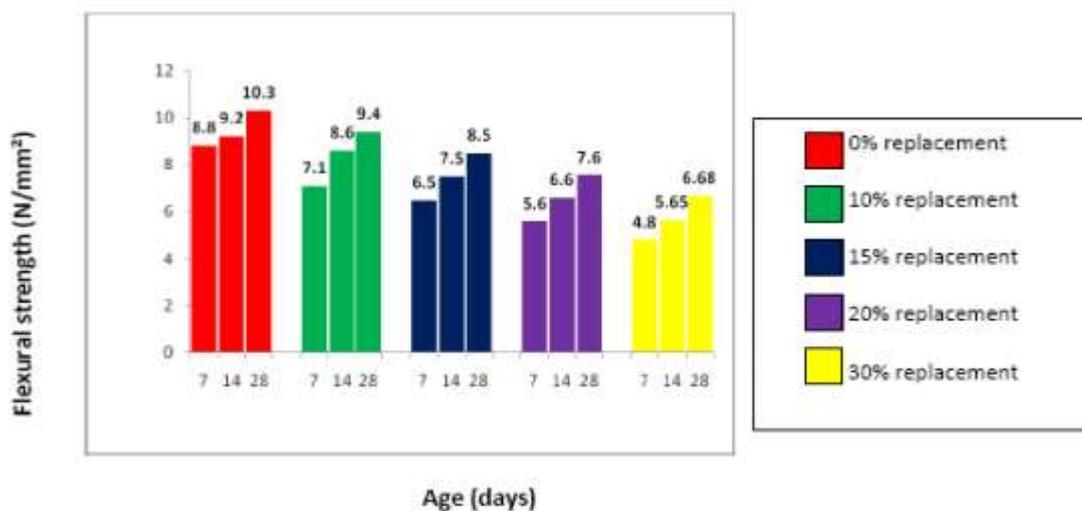


Figure II.10 : Résistance à la flexion du béton à différents âges pour E/C= 0,41 source [2].

Les résultats obtenus montrent qu'avec une substitution de 30% en volume des sables par des granulats de caoutchouc de même taille, la résistance en flexion est réduite de 62 %, contre 74% pour la résistance en compression. Ces résultats confirment les observations très similaires de [33]. Plus élevé en comparant à ce qu'ils ont constaté Benazzouk et al [23], pour une composition de 100% de particules en caoutchouc, la résistance à la flexion varie de 4,1 MPa à 2,6 MPa, cette baisse est de l'ordre de 37% moins importante que celle de la résistance à la compression. Ceci est dû à la présence de fibres, qui interviennent dans la phase de microfissuration diffuse en empêchant l'apparition des microfissures actives et en retardant leur localisation. Alors que Benazzouk et al [6], ont constaté une réduction très sensible de la résistance à la flexion du composite. Pour le cas du composite, un optimum est observé pour des teneurs en poussières de caoutchouc comprises entre 20 % et 30 %, en raison de l'élasticité des granulats de caoutchouc. On peut alors supposer que l'effet de la structure poreuse, due à l'air entraîné, est prépondérante par rapport à l'élasticité des

particules de caoutchouc (Figure II.11). Une tendance similaire a été observée par [11, 8,51], puisque la granulométrie de la poudre de caoutchouc est petite et elle peut améliorer la compacité du mélange, la résistance à la flexion tend à se comporter mieux avec l'ajout de la poudre de caoutchouc au lieu de copeaux de caoutchouc grossier.

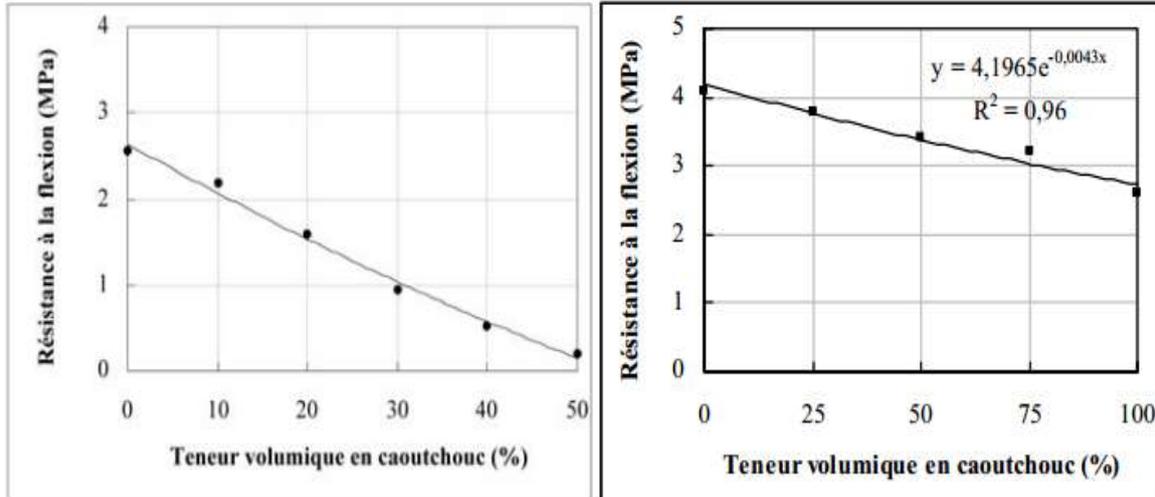


Figure II.11 : Evolution de la résistance à la flexion des composites (à gauche : poussière de caoutchouc, à droite : particules de caoutchouc) source [6, 23].

D'après Boukour [1], des observations visuelles pendant les essais de flexion ont montré qu'à la charge ultime, les échantillons de mortiers de référence (sans caoutchouc) ont soudainement éclaté, représentant le mode de rupture fragile. Au contraire, des échantillons de mortier caoutchouté, en particulier à 10% et 15% de remplacement de granulats fins, ont présenté un mode de rupture ductile et sont restés intacts après défaillance [52].

Ho et al [53], ont signalé que la fragilité et l'évolution des dommages causés par le caoutchouc dans les composites de ciment ont diminué à mesure que la teneur en caoutchouc a augmentée. Ils ont attribué ce comportement à la résistance à la propagation des microfissures à l'interface matrice caoutchouc-ciment.

II.2.2.5. Résistance à la traction:

La résistance à la traction des bétons est une autre propriété importante pour évaluer la qualité des bétons. On mesure celle-ci par l'essai de résistance à la traction indirecte aussi appelée essai brésilien ou par fendage. Bien que les bétons ne soient généralement pas conçus pour résister à la traction directe, connaître la résistance à la traction permet d'estimer la charge sous laquelle la fissuration se développe [2].

Comme plusieurs autres propriétés du béton, on observe que la résistance à la traction du béton résultant diminue lorsque le taux de remplacement du granulat naturel par un granulat

de caoutchouc augmente [37, 49, 54-55]. Les résultats de la figure II.12 sont une parfaite illustration.

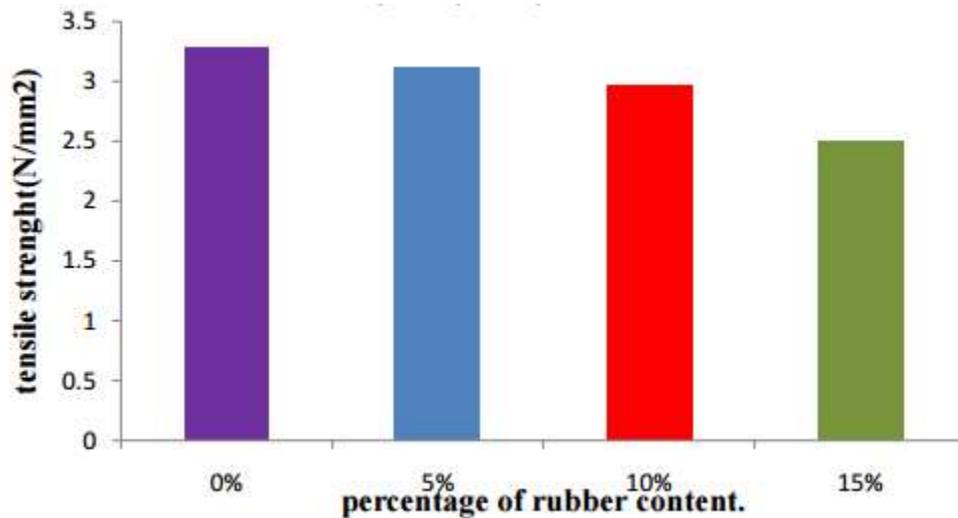


Figure II.12 : La réduction de la résistance à la traction en fonction de la teneur en caoutchouc source [2].

Il y a eu une diminution de la résistance à la traction de 4.7%, 9.5% et 23.7% par rapport au béton témoin associée au remplacement du granulat naturel par des granulats de caoutchouc d'un taux de 5%, 10% et 15% respectivement [56].

II.2.2.6. Absorption d'eau:

La quantité d'eau absorbée est liée à la porosité des éprouvettes et donne un aperçu de la microstructure interne, plusieurs recherches disponibles sur le comportement d'absorption d'eau dans le domaine des nouveaux matériaux de construction ont montré que l'introduction de particules de caoutchouc issues de l'industrie de récupération (déchetage) réduit l'absorption d'eau du composite [41, 57, 58] d'après Boukour [1].

Benazzouk et al [6], ont montré que la présence de poussières de caoutchouc dans la matrice tend à diminuer la capacité d'absorption capillaire du composite et à ralentir considérablement la cinétique d'absorption. Ceci est dû, en plus de la nature non-sorptive des inclusions, à la présence de l'entraînement d'air, constituant une porosité fermée qui augmente lorsque la teneur en caoutchouc augmente. Une tendance similaire a été observée par [31, 59]. Ce phénomène diminue encore le volume accessible à l'eau. L'ajout de particules de caoutchouc permet, ainsi, de réduire la propagation de l'eau dans la matrice (Figure II. 13).

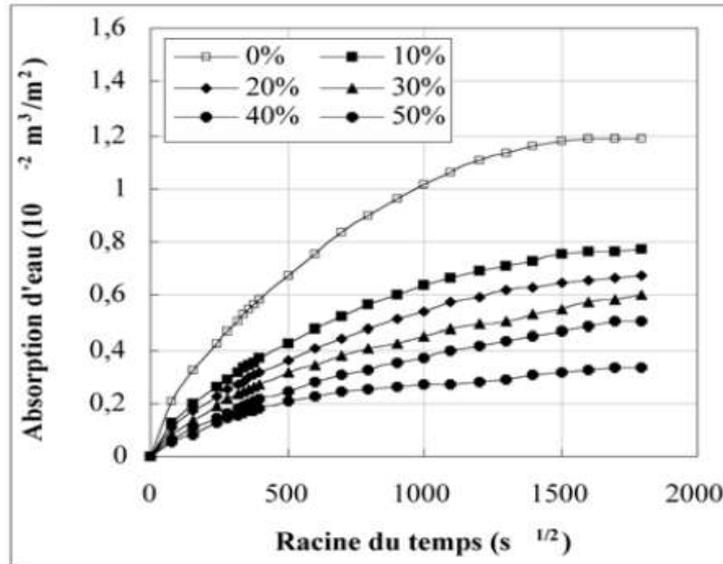


Figure II. 13 : Evolution du taux d'absorption d'eau en fonction de la teneur en poussières de caoutchouc.

Segre et al [59] ont rapporté que la réduction du coefficient d'absorption d'eau par capillarité est de 0.29 mm/min^{1/2} pour le mortier classique et de 0.06 mm/min^{1/2} pour le mortier avec 10% de granulats de caoutchouc traités par NaOH.

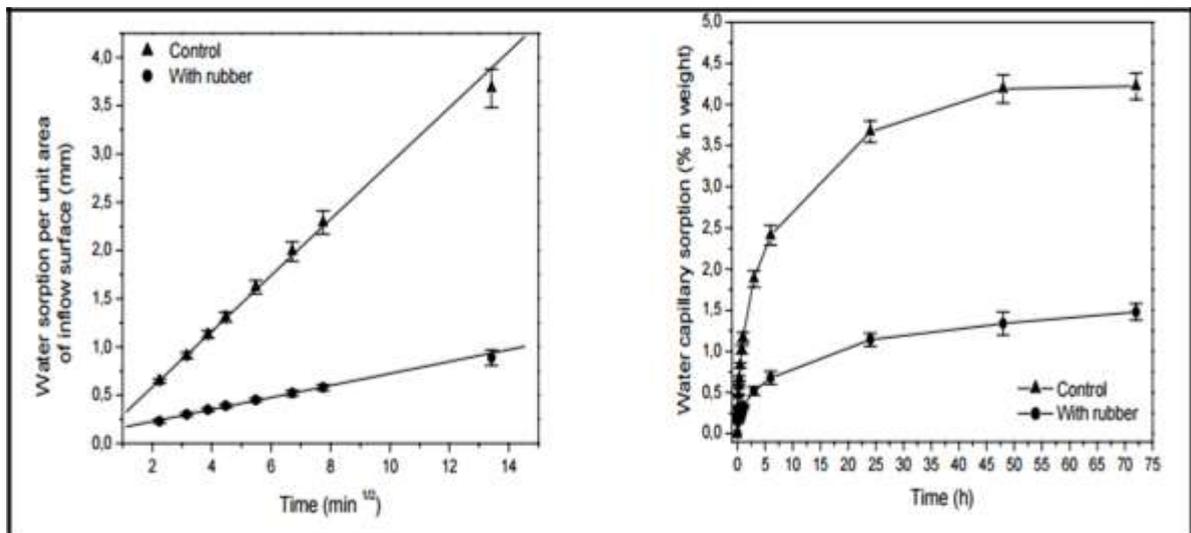


Figure II.14 : L'absorption d'eau par capillarité des composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc [59].

Cependant, d'autres recherches sont arrivées à des conclusions différentes [60-61]. Selon ceux dernier, l'absorption d'eau est directement liée au pourcentage de caoutchouc ajouté au mélange, une augmentation maximale de l'absorption d'eau d'environ 8% a été atteinte pour un remplacement de 15% à 28 jours [2].

Cette augmentation de l'absorption d'eau peut être attribuée à une rétention plus élevée du granulat de caoutchouc (2.53%) par rapport à l'agrégat naturel (1.20%). De plus, la

rétenion d'eau entre les particules de caoutchouc et le mélange de béton pourrait être la cause d'une absorption d'eau plus élevée du béton caoutchouté [61]. Ce type de granulats (caoutchouc) conduit à un mélange moins compact et poreux, en plus la faible adhérence entre les granulats de caoutchouc et la pâte de ciment, l'apparition des fissures et l'augmentation de l'air occlus dans le mélange, favorisent l'absorption d'eau et rendent le mélange caoutchouté plus sensible aux infiltrations d'eau comparativement avec les mélanges témoins qui sont plus denses absorbant ainsi moins d'eau [62]. L'augmentation de l'absorption d'eau dans les bétons, mortiers et les bétons autoplaçants caoutchoutés est également rapportée par d'autres chercheurs [61, 63], d'après Boukour [1].

II.3. Valorisation du sable de dune dans les bétons

II.3.1. A l'état frais:

II.3.1.1. la consistance:

Bentata[64], a trouvé des résultats regroupées dans le tableau II.1 et présentées sur la figure II.15 ci-dessous :

Tableau II.1: Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton

type de béton	affaissement (cm)	masse volumique du béton frais (M1) kg/m ³	masse volumique du béton durci (M2) kg/m ³	M1-M2
A 100% SA	7	2423	2348,5	74,5
B 75% SA+25% SD	7	2422	2317,8	104,2
C 50% SA+50% SD	6	2420	2325	95
D 25% SA+75% SD	6	2411	2230	181
E 100% SD	5	2409	2258,5	150,5

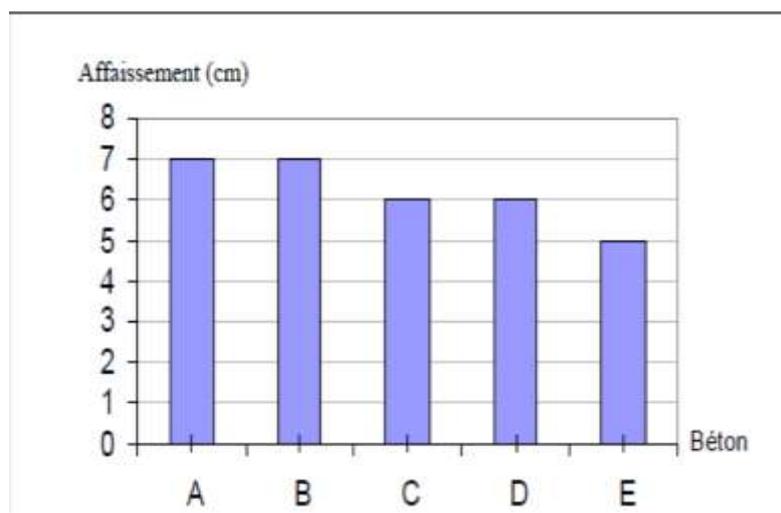


Figure II.15 : Variation de l'affaissement en fonction de type de béton.

Les calculs ont mis en évidence que la masse d'eau évaporable pour le béton témoin (type A), représente 35% de la masse d'eau initial, pour les bétons type B et C, cette masse égale presque 50% à la masse initial, tandis que pour les bétons type D et E, la masse d'eau évaporable dépasse 65% à la masse initiale.

Ces résultats, montrent bien que, l'augmentation de dosage en sable de dune correspond à une diminution en eau évaporable, donc l'augmentation de dosage en sable de dune produit une consommation supérieure en eau de gâchage.

Ceci, a été justifié par la teneur en élément fin, et ainsi l'état de surface des éléments granulaire, qui influent sur la consommation d'eau [64].

II.3.2. À l'état durci:

II.3.2.1. Résistance à la compression:

Belkhiri et al[65], ont résulté que le béton témoin présente toujours une meilleure résistance à la compression dans les différents âges d'essai. La cure et le milieu de conservation maintiennent la même variation pour les différents types des bétons, ce qui montre l'indépendance entre l'hydratation de ciment et la qualité du sable utilisé. L'augmentation de dosage en sable de dune dans la composition du béton, crée une diminution en résistance à la compression du béton. La résistance à la compression est influée par quelques caractéristiques du sable, à savoir, le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains.

À l'aide de ce qu'on a rapporté dans l'étude bibliographique, on peut limiter quelque caractéristique, qui peut influencer sur la résistance à la compression, à savoir, le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains.

D'après la littérature les normes préconisent un module de finesse entre 2.2 et 2.8, ce qui n'a pas été réalisé au cours de leur étude à l'exception du sable alluvionnaire qui présente un module de finesse égale 2.4, et cela peut-être exprime l'attribution de meilleure résistance à ce béton témoin. Autre facteur, influençant la résistance, c'est le dosage en eau, à cet égard ont trouvé lors de la formulation du béton, que l'augmentation du dosage en sable de dune conduit à une augmentation en dosage en eau, ce qui va baisser la résistance à la compression (figures II.16 et II.17).

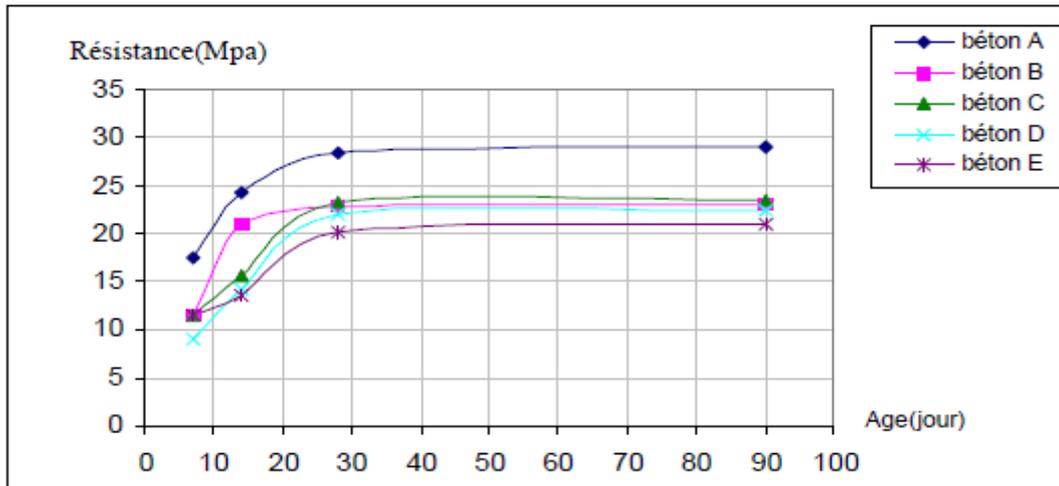


Figure II.16: Variation de la résistance à la compression à l'air libre à différents âges.

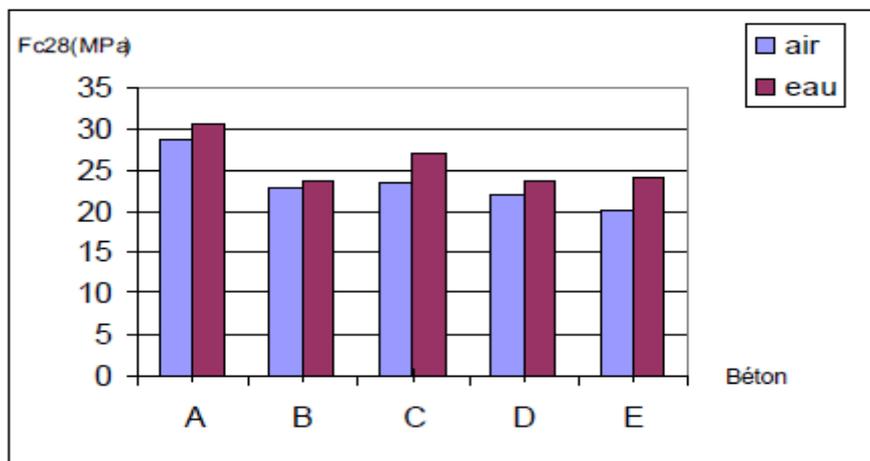


Figure II.17: Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.

Bouaziz et al[66], ont montré que le sable alluvionnaire conduit à des résistances meilleures (gain de 30%) par rapport au sable de dune. La substitution d'une partie de ciment par son équivalence massique en filler calcaire et en sable alluvionnaire peut donner des résultats satisfaisants correspondants à la résistance en compression. Celle-ci peut atteindre 19 MPa à un dosage tolérable du ciment (360Kg/m^3) en gardant une consistance (A : affaissement $\geq 20\text{cm}$) du béton qui ne nécessite pas une vibration puissante. L'influence des dimensions des éprouvettes testées sur les résultats de mesure de la résistance moyenne en compression et celle en flexion, sont influencés par les dimensions des éprouvettes testées. Ceci est remarquable par rapport à un béton ordinaire. Ceci peut être expliqué par l'effet de volume.

En effet le volume total de défaut (vide : pore et micropore) augmente considérablement avec l'augmentation de la taille des éprouvettes testées.

II.3.2.2. Résistance à la traction

Belkhiri et al[65], ont trouvé des résultats regroupées dans le tableau II.2et présentées sur les figures II.17 et II.18 ci-dessous :

Tableau II.2: Variation de la résistance à la traction en fonction du type de béton pour les différents âges d'essai.

Type de béton	7 jours		14 jours		28 jours		90 jours	
	air	eau	air	eau	air	eau	air	eau
A 100% SA	1,1 ± 0.21	1,1 ± 0.25	1,8 ± 0.16	1,8 ± 0.16	2,4 ± 0.20	2,5 ± 0.16	2,6 ± 0.23	2,6 ± 0.24
B 75% SA+25% SD	1,4 ± 0.19	1,7 ± 0.24	1,5 ± 0.27	1,8 ± 0.26	2 ± 0.22	2,2 ± 0.20	2,1 ± 0.28	2,5 ± 0.28
C 50% SA+50% SD	1,7 ± 0.20	1,8 ± 0.15	1,9 ± 0.16	2,2 ± 0.15	2,5 ± 0.26	2,6 ± 0.24	2,4 ± 0.30	2,6 ± 0.30
D 25% SA+75% SD	1,7 ± 0.13	1,5 ± 0.20	2 ± 0.17	1,9 ± 0.18	2,4 ± 0.24	2,4 ± 0.24	2,3 ± 0.23	2,3 ± 0.23
E 100% SD	1,9 ± 0.18	1,9 ± 0.17	2 ± 0.18	2,1 ± 0.19	2,4 ± 0.26	2,5 ± 0.25	2,6 ± 0.26	2,5 ± 0.26

Belkhiri et al[65], ont remarqué que les valeurs de la résistance à la traction restent invariables dans tous les types des bétons. Les résultats restent presque voisins à celles présente par le béton témoin qui conclut que la résistance à la traction ne dépend pas des différents dosages en sable de dune (figures II.18 et figure II.19).

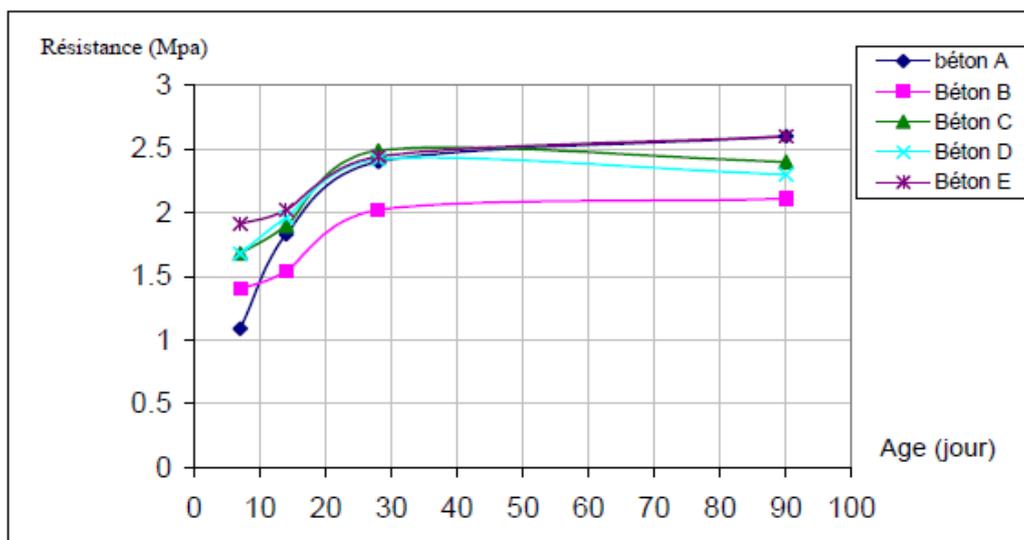


Figure II.18: Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge d'essai.

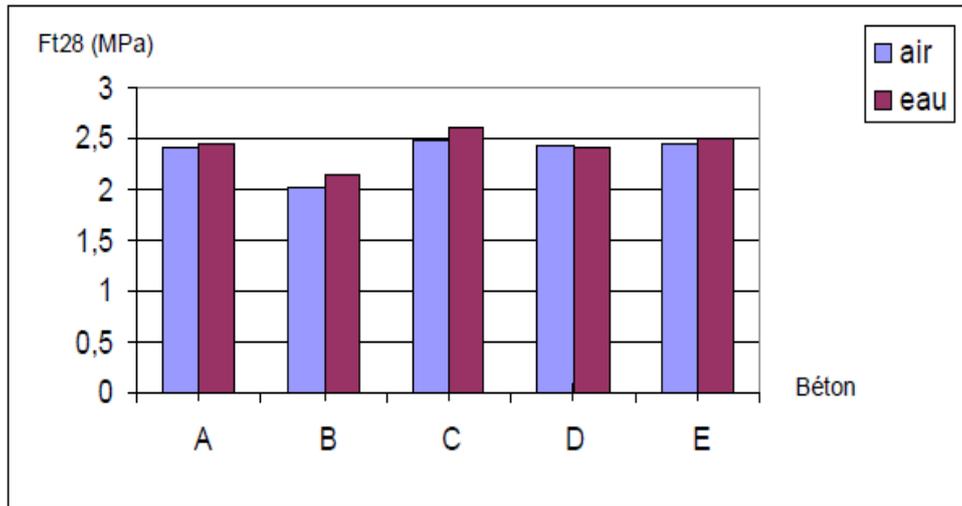


Figure II.19: Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.

II.3.2.3. La vitesse ultrasonique:

Belkhiri et al [65], ont trouvé des résultats regroupées dans le tableau II.3et présentées sur les figures II.20 et II.21 ci-dessous :

Tableau II.3 : Vitesse longitudinale du son en fonction du type du béton a différents âges (en m/s)

type de béton	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
béton A	4186 ± 122	4230 ± 126	4280 ± 124	4285 ± 119
béton E	4091 ± 113	4305 ± 124	4310 ± 122	4370 ± 120

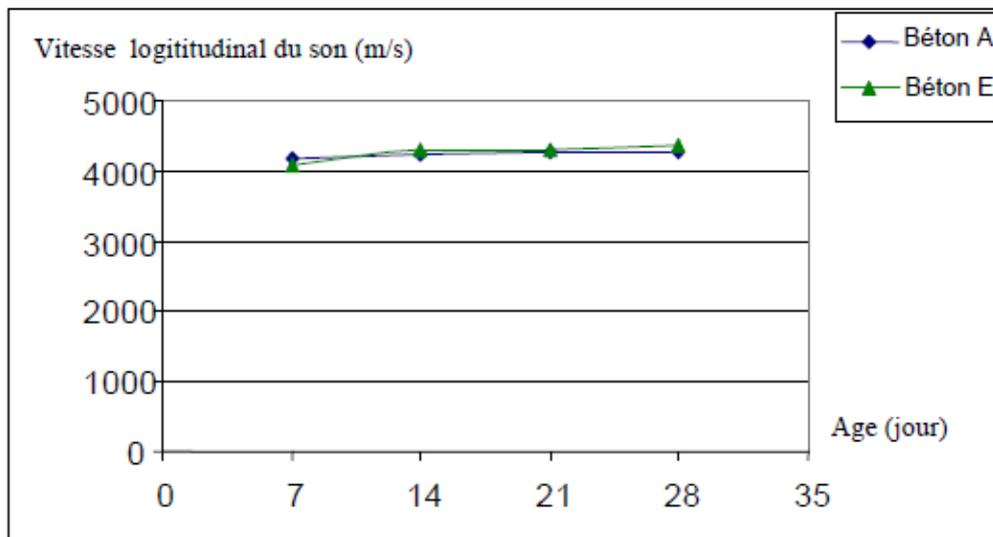


Figure II.20 : Variation de la vitesse du son en fonction d'âge d'essai.

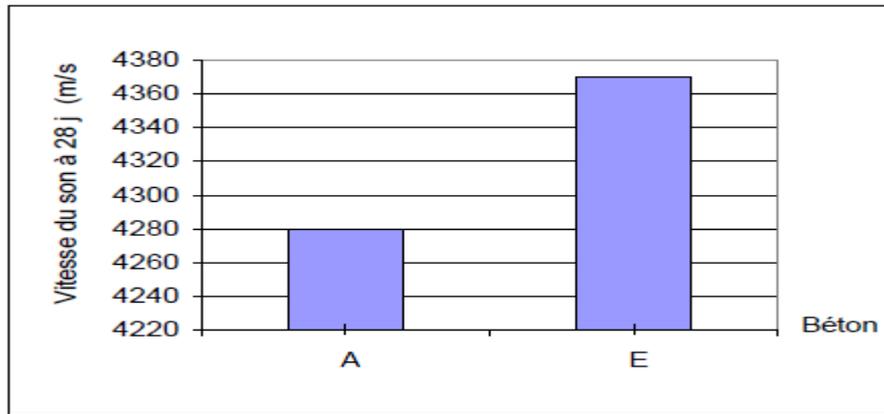


Figure II.21: Variation de la vitesse du son en fonction de type du béton à 28 j.

L'évolution de la vitesse donne une idée sur le degré de compacité du béton ainsi que sur l'état des fissures.

Dans les différents essais, les deux bétons A et E donnent des mêmes résultats et cela peut traduire les caractéristiques suivantes :

- le sable alluvionnaire donne d'un béton compact que le mélange de sable alluvionnaire à cause de sa granulométrie étale.
- La finesse du sable de dune utilisée sert bien la compacité du béton, cette finesse empêche la création des pores vides.

À partir de tous ce qui est précédé, Belkhiri et al[65], ont concluré que la granulométrie du sable de dune sert bien la compacité du béton qui n'a été pas influée par le sable de dune.

II.4. Valorisation du sable de dune dans les mortiers

II.4.1. A l'état frais:

II.4.1.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du mortier, elle se définit comme la facilité offerte à sa mise en place.

Belkhiri et al[65], ont trouvé des résultats regroupées dans le tableau II.4 et présentées sur les figures II.21 et II.22 ci-dessous :

Tableau II.4 : Rapports E/C et temps d'écoulement.

Désignation	MSA0	MSD0	MSDS5	MSDS10	MSDS15	MSDS20	MSDS25
Résultats							
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Temps d'écoulement (seconde)	1	16	18	25	28	19	18

Belkhiri et al[65], ont montré que pour un rapport E/C constant, le temps d'écoulement de la formulation à base de sable dune est très supérieur à celui de la formulation à base de sable alluvionnaire, ce qui montre que l'effet de type de sable influe d'une façon très significative sur l'ouvrabilité des mortiers. Un rapport E/C égal à 0.7 donne une consistance mou (16 secondes) pour le mélange MSD0, par contre il donne une consistance très fluide (une seconde) pour le mélange MSA0. Ceci est dû à la granulométrie de sable de dune qui est très fine par rapport à celle de sable alluvionnaire (un sable trop fin à une demande en eau de mouillage trop élevée).

Aussi ils ont remarqué que la substitution progressive de sable dunaire par les fines siliceuses avec des teneurs allant de 5% à 15% conduit à une augmentation continue de la valeur du temps d'écoulement par rapport au mortier sans ajouts (MSD0), cela signifie que, pour ces dosages, l'addition des fines siliceuses a une influence négative sur l'ouvrabilité des mélanges. Ceci est expliqué par la demande d'eau nécessaire pour le mouillage des fines ajoutées aux mélanges (Figure II.22).

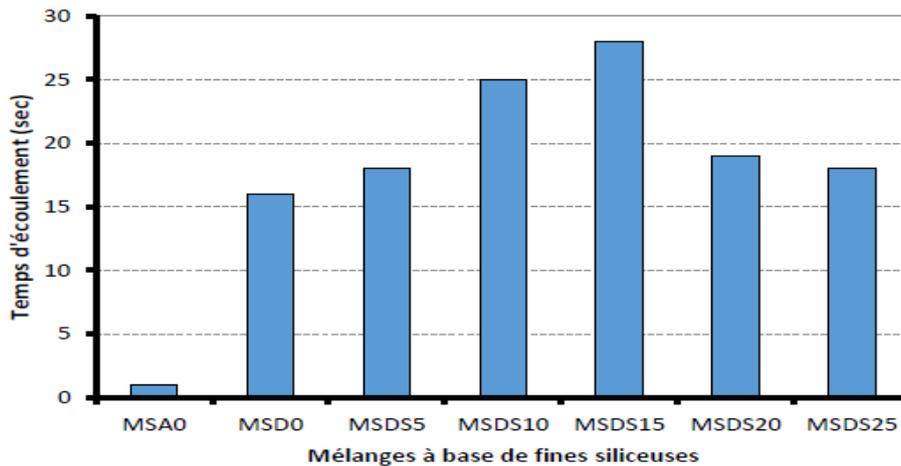


Figure II.22 : Effet des fines sur le temps d'écoulement.

Belmecheri [67], résulte que pour un même rapport E/C, l'augmentation de la teneur en fines entraîne une augmentation du temps d'écoulement. Ceci est dû à l'augmentation de la surface spécifique du mélange qui demande plus d'eau. En plus, un rapport $E/C \in [0.8-0.9]$ procure une bonne plasticité pour la composition (1/3), alors que la plasticité de la composition (2/3) est meilleure pour un rapport $E/C \in [0.50-0.60]$. A noter que la plasticité de la pâte est jugée bonne pour un temps d'écoulement au maniabilimètre compris entre 2 à 4 secondes (Figure II.23).

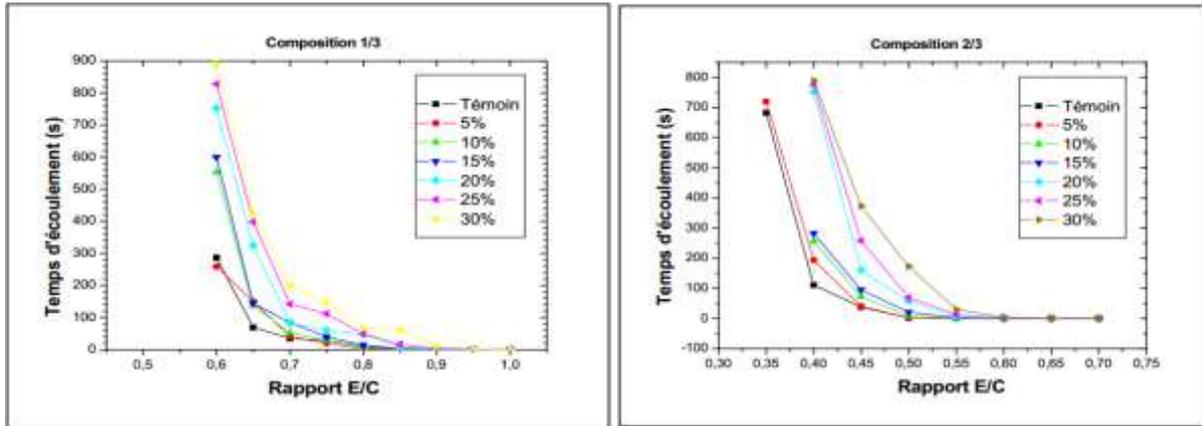


Figure II.23 : Evolution du temps d'écoulement en fonction du rapport E/C pour différents pourcentage en fines.

Toutefois, l'optimum de la résistance (compacité maximale) et celui de la bonne maniabilité ne correspondent pas au même rapport E/C, cette dernière demande un rapport E/C plus élevée qui affectera sans doute les performances mécaniques. Cependant, la recherche d'un compromis entre la compacité et la maniabilité demeure nécessaire. La voie envisagée est l'utilisation d'un adjuvant réducteur d'eau (super plastifiant). Celui-ci permet de fixer le rapport E/C correspondant à la résistance à la compression maximale tout en recherchant le dosage en SP correspondant à la bonne maniabilité.

II.4.1.2. Masse volumique apparente des mélanges frais:

Belkhiri et al[65], ont trouvé des résultats regroupées dans les tableaux II.5 et présentées sur la figure II.24 ci-dessous :

Tableau II.5 : Masses volumiques des mélanges frais.

Désignation	MSA0	MSD0	MSDS5	MSDS10	MSDS15	MSDS20	MSDS25
Résultats							
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Masse volumique apparente (g/cm ³)	2.14	2.07	2.08	2.11	2.12	2.13	2.14

Belkhiri et al[65], ont trouvé que le mélange MSD0 donne une masse volumique apparente clairement inférieure à celle du mélange MSA0. Cette différence peut être expliquée par la distinction de la granulométrie pour chaque sable ; où la granulométrie de sable alluvionnaire est plus étalée que celle du sable de dune, ce qui améliore la compacité et par conséquent la masse volumique apparente du mélange MSA0.

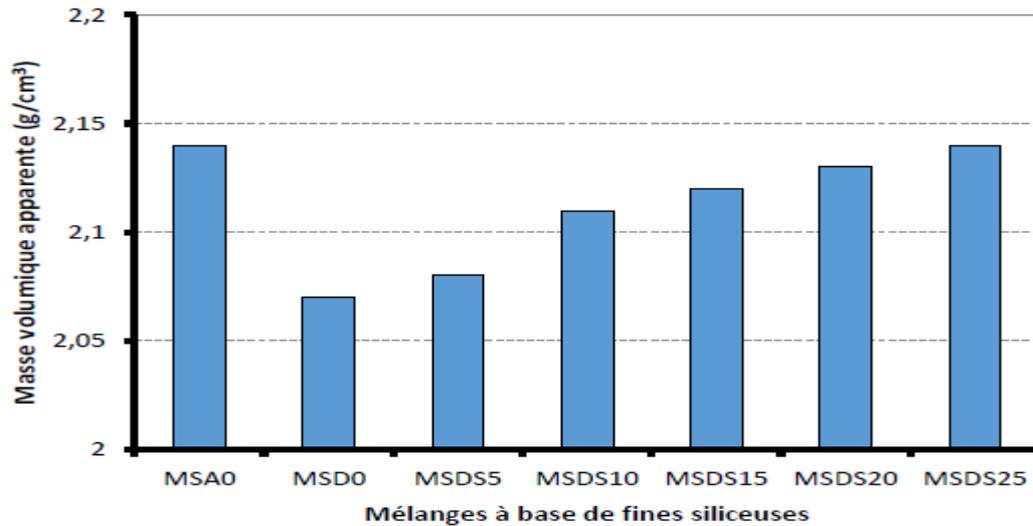


Figure II.24 : Effet des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais.

La correction de sable de dune avec les fines siliceuses influe positivement et d'une façon significative sur la masse volumique apparente des mélanges frais. Ce qui montre l'efficacité de ces fines à l'amélioration de cette caractéristique [65].

II.4.2. A l'état durci:

II.4.2.1. Résistance en traction:

Belkhiri et al[65], ont trouvé des résultats regroupées dans les tableaux II.6 et présentées sur la figure II.25 ci-dessous :

Tableau II.6: Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations.

Mélanges	Résistances en traction à 7 jours (MPa)	Résistances en traction à 28 jours (MPa)	Résistances en traction à 60 jours (MPa)
MSA0	3,0	4,4	4,7
MSD0	2,5	3,8	4,0
MSDS5	2,8	3,9	4,4
MSDS10	2,9	3,7	4,9
MSDS15	2,7	3,8	4,7
MSDS25	2,8	3,5	4,6
MSDS25	2,9	4,3	5,1

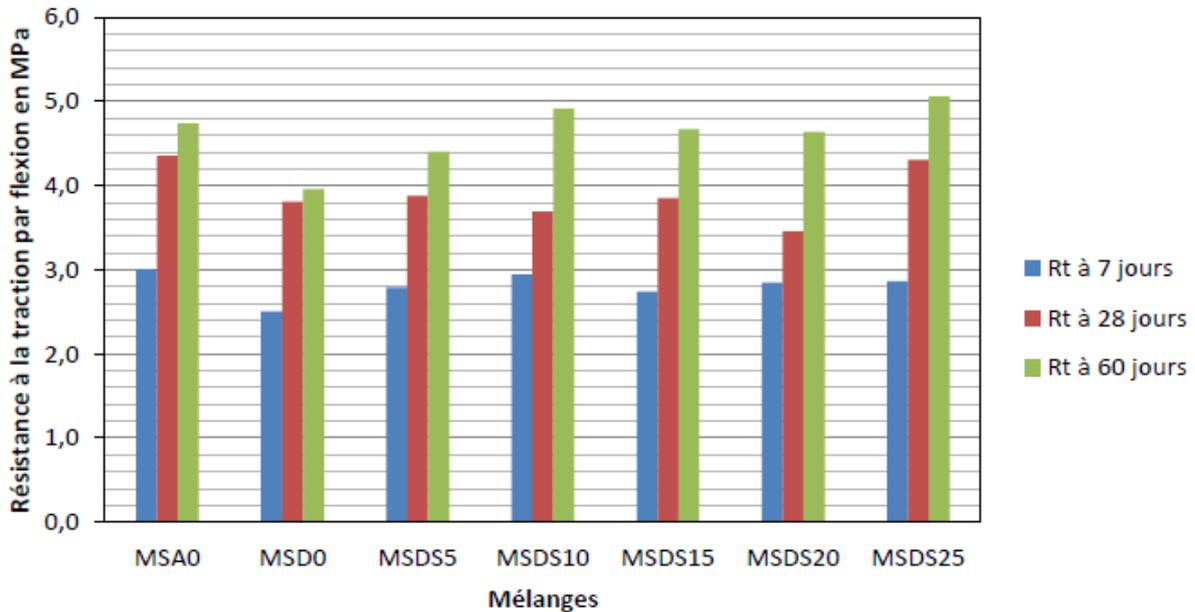


Figure II.25: Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges de mortier.

Belkhiri et al[65], ont remarqué qu'à 7 jours la résistance en traction augmente d'une façon peu significative, les valeurs maximales sont enregistrées à 10% et à 25% de fines. A cette échéance la résistance maximale est comparable à celle du mortier à base de sable alluvionnaire (MSA0), et supérieure de 14% à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0).

A 28 jours la résistance en traction augmente d'une façon non significative avec la teneur en fines. Le mélange MSDS25 affiche la résistance la plus grande, elle est comparable à celle du mortier à base de sable alluvionnaire (MSA0), et supérieure de 12% à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0).

A 60 jours, l'augmentation de la résistance en traction en fonction de la teneur en est peu significative. Les valeurs maximales de la résistance en traction sont données par les mélanges MSDS10 et MSDS25. Ce qui montre que la correction de sable dune avec les fines siliceuses est optimale à 10 % de fines (le mélange MSDS25 donne la meilleure résistance mais d'un point de vue économique il est moins intéressant).

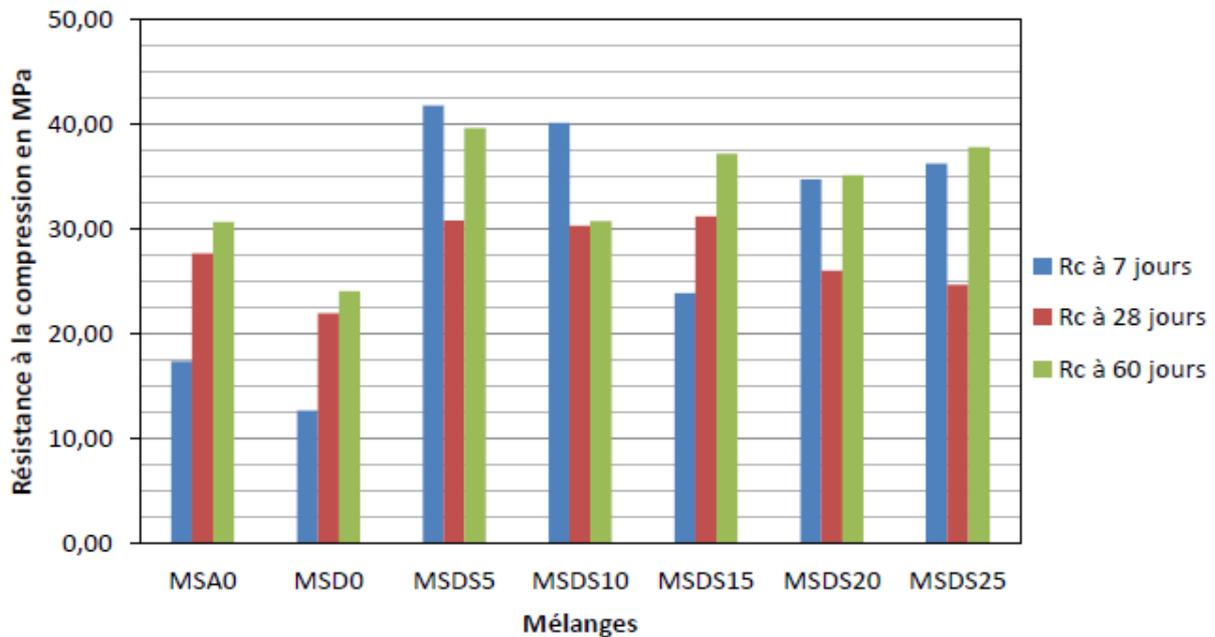
L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours. La correction de sable de dune avec 10% de fines est suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.

II.4.2.2 Résistance en compression:

Belkhiri et al[65], ont trouvé des résultats regroupées dans les tableaux II.7 et présentées sur la figure II.26 ci-dessous :

Tableau II.7 : Valeurs de la résistance à la compression des différentes formulations.

Mélanges	Résistances en compression à 7 jours (MPa)	Résistances en compression à 28 jours (MPa)	Résistances en compression à 60 jours (MPa)
MSA0	17,40	27,66	30,68
MSD0	12,71	21,99	24,08
MSDS5	41,8	30,76	39,61
MSDS10	40,1	30,30	30,73
MSDS15	23,9	31,19	37,14
MSDS25	34,7	26,03	35,11
MSDS25	36,2	24,70	37,76

**Figure II.26** : Evolution de la résistance en compression des mélanges de mortier.

Belkhiri et al[65], ont remarqué qu'à 7 jours la résistance en compression évolue d'une façon non significative. A cette échéance, la valeur de la résistance en compression la plus élevée correspond au mélange MSDS5 (environ 42 MPa), elle dépasse la résistance du mélange à base de sable de dune (MSD0) de 70%, et celle à base de sable alluvionnaire (MSA0) de 58%.

A 28 jours, La résistance en compression est meilleure pour les teneurs en fines 5%, 10% et 15%, elle est de l'ordre de 30MPa. Elle dépasse celle du mélange (MSD0) de 27%, et celle à

base de sable alluvionnaire (MSA0) de 8%. Ceci montre l'efficacité de ces fines à l'amélioration de cette caractéristique mécanique.

A 60 jours, La même remarque peut être noté concernant l'évolution de la résistance en compression en fonction du taux de fines siliceuses, elle reste toujours non significative. La correction de sable dune avec les fines siliceuses est optimale à 5 % de fines.

L'ajout de 5% de fines siliceuses résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 39%, et celle du mélange MSA0 de 22%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées à l'amélioration de la résistance mécaniques des mortiers à base de sable de dune.

Benabed et al [68], ont remarqué que la résistance à la compression des mortiers augmente progressivement avec l'âge de conservation dans l'eau. Ceci peut s'expliquer par le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les mortiers en fonction du temps en présence d'humidité suffisante. D'après ces résultats la vitesse d'évolution des résistances en compression, des mortiers à base de sable mélange (alluvionnaire dunaire) se développe rapidement. Par contre les mortiers à base de sables de dunes, se développe lentement. Les gains de résistances obtenus pour les mortiers à base de sable mélange semblent être directement liés aux propriétés particulières des sables et en particulier le sable alluvionnaire, qui améliore la compacité des mortiers et par la suite la résistance. Nous notons de fortes résistances à la compression pour le mortier MSAD à base du sable mélange par rapport à ceux des mortiers à base de sable de dunes (Figure II.27).

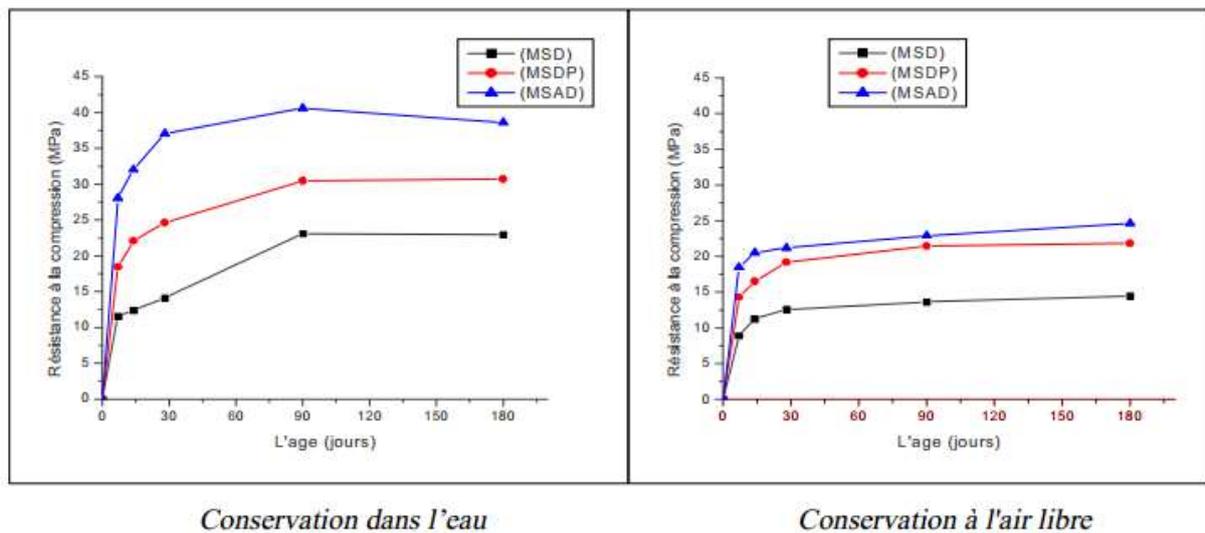


Figure II.27: Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation.

II.5.Conclusion:

D'après les différents résultats obtenus dans ce chapitre, on peut conclure le suivant :

- Les composites à base de granulats de caoutchouc (considérées comme déchets encombrants dans la législation algérienne) possèdent des résistances mécaniques faibles et en contrepartie une grande capacité de déformation. Ces résistances sont systématiquement abaissées avec le taux de granulats de caoutchouc incorporés.
- Leurs masses volumiques à l'état sec diminuent également avec l'augmentation du taux de granulats de caoutchouc (GC) mis en œuvre. Cet allègement est attribué à la faible densité du caoutchouc ainsi qu'à l'augmentation de l'entraînement d'air dans la matrice liée à la nature non polaire du caoutchouc.
- La teneur en sable joue un rôle important dans la résistance du béton. Par conséquent, le remplacement de la teneur en sable par du caoutchouc conduit à la formation d'une matrice plus faible, ce qui conduit à une résistance à la compression plus faible.
- Dans certaines études, une réduction d'environ 80- 90% de la résistance la compression a été rapportée en fonction de la taille et du type de granulats de caoutchouc pour une teneur en caoutchouc allant jusqu'à 100%.
- Dans la plupart des études antérieures, une réduction de la résistance à la compression a été notée avec l'ajout des granulats de caoutchouc dans le mélange de béton, mais il existe une possibilité d'améliorer cette résistance en utilisant des agents de désaération ou de super plastifiant permettant d'abaisser la teneur en eau de 10 à 30% ce qui provoque automatiquement l'augmentation des résistances.
- L'ajout du caoutchouc en tant que fibre jusqu'à 20% du volume total augmente la résistance à la flexion du béton, montrant une rupture lente et incomplète. Cependant, l'augmentation de la quantité de fibres au-delà de 20%, diminue le gain de la résistance à la flexion.
- La taille des granulats de caoutchouc influe sur l'absorption d'eau des bétons. La présence des granulats de caoutchouc de grande taille favorise l'absorption d'eau en raison de l'interaction faible entre les granulats de caoutchouc et la pâte de ciment. Au contraire l'addition des granulats de caoutchouc fins peut réduire la quantité d'eau absorbée dans le béton caoutchouté en raison de l'effet de remplissage des vides des granulats fins.
- L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours. La correction de sable de dune avec 10% de fines est suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.

- L'ajout de 5% de fines siliceuses résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 39%, et celle du mélange MSA0 de 22%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées à l'amélioration de la résistance mécanique des mortiers à base de sable de dune.

Référence Bibliographique

- [1] : **BOUKOUR, S** (2017) : Caractéristiques physico-mécaniques et durabilité des éco- composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issus de pneus usages, THÈSE de DOCTORAT, Université du 08 Mai1945-Guelma.
- [2] : **Khatib, Z.K., Bayomy, F.M.** "*Rubberized Portland cementconcrete*". Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE). 1999, 11(3): 206-213.
- [3] : **Wang, H.Y., Chen, B.T., Wu, Y.Wu.**"*A study of the fresh properties of controlledlow-strengthrubberlightweightaggregateconcrete (CLSRLC)*". Construction and Building Materials. 2013, 41: 526-531.
- [4] : **Youssf, O., El Gaeedy, M.A., Mills, J.E., Ma, X.**"*An experimental investigation of crumbrubberconcreteconfined by fibre reinforcedpolymer tubes*". Construction and Building Materials. 2014, 53: 522-532.
- [5] : **Meherier, M.S.**" *Investigation of mechanical and durabilityproperties of cementmortar and concretewithvarying replacement levels of crumbrubber as fine aggregate*". A thesissubmitted in partialfulfillment of the requirements for the degree of master of applied science in the college of graduatestudies (Civil Engineering). University of British Columbia (Okanagan). June 2016.
- [6] : **Benazzouk A., Douzane O., Quéneudec M.**(2015) : « *Valorisation de déchets de caoutchouc dans les matériaux de construction : cas d'un composite cimentaire cellulaire* » Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/279865975>consulté le (16/09/2020) à 16h30min.
- [7] : **RedaTaha, M.M., ASCE, M., El-Dieb, A.S., AbdEl-Wahab, M.A., Abdel-Hameed, M.E.**"*Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubberconcrete*". Journal of Materials in Civil Engineering(ASCE). 2008, 20(10): 640-649.
- [8] : **Mavroulidou, M., Figueiredo, J.** " *Discardedyrerubber as concreteaggregate: A possible outlet for usedtyres*". Global Nest Journal. 2010, 12(4): 359-367.
- [9] : **Thiruppathi, R.**"*Discardedyrerubber as concreteaggregate: A possible outlet for usedtyres*". International Conference on Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET). 2013, 202-207.

- [10] : **Siddique, R., Naik, T.R.** "*Properties of concrete containing scrap-tire rubber—an overview*". Waste Management. 2004, 24(6): 563-569.
- [11] : **Aiello, M.A., Leuzzi, F.** "*Waste tire rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state*". Waste Management. 2010, 30(8): 1696-1704.
- [12] : **Khaloo, A.R., Dehestani, M., Rahmatabadi, P.** "*Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles*". Waste Management. 2008, 28(12): 2472-2482.
- [13] : **Azmi, N.J., Mohammed, B.S., Al-Mattaeneh, H.M.A.** "*Engineering properties of concrete containing recycled tire rubber*". ICCBT, B.2008, 34: 373-382.
- [14] : **Bignozzi, M.C., Sandrolini, F.** "*Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete*". Cement and Concrete Research. 2006, 36(4): 735-739.
- [15] : **Bravo, M., De Brito, J.** "*Concrete made with used tyre aggregate: Durability related performance*". Journal of Cleaner Production. 2012, 25: 42-50.
- [16] : **Raghavan, D., Huynh, H., Ferraris, C.** "*Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite*". Journal of Materials Science. 1998, 33(7): 1745-1752.
- [17] : **Youssf, O., Elgawady, M.A.** "*An overview of sustainable concrete made with scrap rubber*". From Materials to Structures: Advancement through Innovation. 2013, 1039-1044.
- [18] : **Kaloush, K., Way, G., Zhu, H.** "*Properties of crumb rubber concrete*". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2005, 1914: 8-14.
- [19] : **Aziz, F.N.A.A., Bida, S.M., Nasir, N.A.M., Jaafar, M.S.** "*Mechanical properties of lightweight mortar modified with oil palm fruit fibre and tire crumb*". Construction and Building Materials. 2014, 73: 544-550.
- [20] : **Ali, N.A., Amos, A.D., Roberts, M.** "*Use of ground rubber tires in Portland cement concrete. In: Dhir, R.K. (Ed.)*". Proceedings of the International Conference on Concrete. University of Dundee, Scotland, UK. 2000, 379-390.
- [21] : **Emiroglu, M., Kelestemur, M.H., Yildiz, S.** "*An investigation on ITZ microstructure of the concrete containing waste vehicle tire*". Proceedings of 8th International Fracture Conference. Istanbul, Turkey. 7-9 November 2007, 453-459.
- [22] : **Al-Akhras, N.M., Samadi, M.M.** "*Properties of tire rubber ash mortar*". TRB Annual Meeting. 2003.

- [23] : **Benazzouk A., Douzane O., Langlet T., Mezreb K., Labbani F., Roucoult J-M.** « *Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment* » Disponible sur <https://docplayer.fr/12311614-Effet-des-granulats-de-caoutchouc-sur-les-proprietes-d-un-mortier-de-ciment.html> consulté le (16/09/2020) à 16h22min.
- [24] : **Eldin N N., Senouci A B.**(1993) "*Rubber tire particles as concrete aggregate*". Journal .of Material in Civil Engineering, vol.5, N°4, p. 478-496.
- [25] : **Topçu U B.**,(1995) "*The properties of rubberized concrete*". Cement & Concrete Research, vol. 25, N°2, p. 304-310.
- [26] : **Khatib, Z.K., Bayomy, F.M.** "*Rubberized Portland cementconcrete*". Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE). 1999, 11(3): 206-213.
- [27] : **Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezreb, K., Labbani, F., Roucoult, J.M.** "*Effet des granulats de caoutchouc sur les propriétés d'un mortier de ciment*". XIV Colloque National de la Recherche dans les IUT (CNRIUT). Université Claude Bernard Lyon1. France. 29 et 30 mai 2008, 1-9.
- [28] : **Sgobba, S., Marano, G.C., Borsa, M., Molfetta, M.**"*Use of rubberparticlesfromrecycled tires as concreteaggregate for engineering applications*". In 2nd International Conference on SustainableConstruction Materials and Technologies. 2010.
- [29] : **Sukontasukkul, P.**"*Use of crumbrubber to improve thermal and soundproperties of pre-castconcretepanel*". Construction and Building Materials.2009, 23(2): 1084-1092.
- [30] : **Zheng, L., Huo, X.S., Yuan, Y.**"*Strength, modulus of elasticity, and brittleness index of rubberizedconcrete*". Journal of Materials in Civil Engineering.2008, 20(11): 692-699.
- [31] : **Oikonomou, N., Stefanidou, M., Mavridou, S.**"*Improvement of the bondingbetweenrubber tire particles and cementpaste in cementproducts*". In 15th Conference of the TechnicalChamber of Greece. Alexandroupoli, Greece. 25-27 October (2006) (in Greek), 234-242.
- [32] : **Fadiel, A., Al Rifaie, F., Abu-Lebdeh, T., Fini, E.**"*Use of crumbrubber to improve thermal efficiency of cement-basedmaterials*". American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014, 7(1): 1-11.

- [33] : **Mahmod, H.M., Aznieta, A.A.F.N., Gatea, S.J.** *"Evaluation of rubberized fibre mortarexposed to elevatedtemperatureusing destructive and non-destructive testin"*. KSCE Journal of Civil Engineering. 2016,21(4): 1347-1358.
- [34] : **Eldin, N.N., Senouci, A.B.** *"Rubber tire particles as concreteaggregate"*. Journal of Material in Civil Engineering. 1993, 5(4): 478-496.
- [35] : **Papakonstantinou, C.G., Tobolski, M. J.** *"Use of waste tire steelbeads in portland cementconcrete"*. Cement and ConcreteResearch. 2006, 36 (9): 1686-1691.
- [36] : **Lee, B. I., Burnett, L., Miller, T., Postage, B., Cuneo, J.** *"Tire rubbercement matrix composites"*. Journal of Material Science Letter. 1993, 12(13): 967-968.
- [37] : **uratsinze, A., Bonnet, S., Granju, J.L.** *"Mechanicalcharacterization of cement-basedmortarincorporatingrubberaggregatesfromrecycledworntyres"*. Building and Environement. 2005, 40(2): 221-226.
- [38] : **Boudaoud, Z., Beddar, M.** *"Effects of recycled tires rubberaggregates on the characteristics of cementconcrete"*. Open Journal of Civil Engineering. 2012, 2(4): 193-197.
- [39] : **Aules, W.A.** *"Utilization of crumbrubber as partial replacement in sand for cementmortar"*. EuropeanJournal of ScientificResearch. 2011, 51(2): 203-210.
- [40] : **Valadares, F., Bravo, M., Brito, J.** *"Concretewithused tire rubberaggregates:mechanical performance"*. ACI Materials Journal. 2012, 109(3): 283-292.
- [41] : **Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezzeb, K., Roucoult, J.M., Quéneudec, M.** *"Physicomechanicalproperties and water absorption of cement composite containingshreddedrubberwastes"*.Cement and Concrete Composites. 2007, 29(10): 732-740.
- [42] : **Eldin, N.N., Senouci, A.B.** *"Measurement and prediction of the strength of rubberizedconcrete"*. Cementand Concrete Composites. 1996, 18(2): 135-139.
- [43] : **Vu, D.C., Turatsinze, A., Ho, A.C.** *"On the potential of rubberaggregatesobtained by grinding end-of-life tyres to improve the straincapacity of concrete"*. 2nd International Conference on ConcreteRepair,Rehabilitation and Retrofitting (ICRRR-2). Cape Town, South Africa. 24-26 November 2008.
- [44] : **Richardson, A., Coventry, K., Dave, U., Pienaar, J.** *"Freeze/thaw performance of concreteusinggranulatedrubbercrumb"*. Journal of Green Building. 2011, 6(1): 83-92.

- [45] : **Mohammadi, I.** "*Investigation on the use of crumbrubberconcrete (CRC) for rigid pavements*", Thesissubmitted for fulfilment of requirements for the degree of Master of Engineering. University of Technologie Sydney. June 2014.
- [46] : **Mansoor Ali, A., Saravanan, A.** "*Experimentalstudy on concrete by partial replacement of fine aggregatewithcrumbrubber*". International ConferenceonEngineering Trends, Science and Humanities (ICETSH-2015).
- [47] : **Li, Z., Li, F., Li, J.** "*Properties of concreteincorporatingrubbertyreparticles*". Magazine of ConcreteResearch. 1998, 50(4): 297-304.
- [48] : **Abdel-Wahab, M.M., Abdel-Hameed M.E.** "*Concreteusingrubbertyreparticles as aggregates*". International Symposium Recycling and Reuse of UsedTyres. Dundee, UK. 2001, 251-259.
- [49] : **Khalil, E., Abd-elmohsen, M., A.M. Anwar,** "*Impact resistance of rubberized self-compactingconcrete*". Water Science. 2015, 29(1): 45-53.
- [50] : **Grinys, A., Sivilevičius, H., Daukšys, M.** "*Type Rubber additive effect on concrete mixture strength*". Journal of Civil Engineering and Management. 2012, 18 (3): 393-401.
- [51] : **Su, H., Yang, J., Ling, T., Ghataora, G.S., Dirar, S.** "*Properties of concretepreparedwithwastetyrerubberparticles of uniform and varying sizes*". Journal of Cleaner Production. 2015, 91: 288-296.
- [52] : **Onuaguluchi, O.** "*Effects of surface pre-coating and silica fume on crumbrubber-cement matrix interface and cementmortarproperties*". Journal of Cleaner Production. 2015, 104: 339-345.
- [53] : **Ho, A.C., Turatsinze, A., Hameed, R., Vu, D.C.** "*Effects of rubberaggregatesfromgrindedusedtyres on the concreteresistance to cracking*". Journal of Cleaner Production. 2012, 23(1): 209-215.
- [54] : **Gisbert, A.N., Borrell, J.M.G., Garcia, F.P., Sanchis, E.J., Amoro`s, J.E.C., Alcaraz, J.S., Vicente, F.S.** "*Analysisbehaviour of static and dynamicproperties of Ethylene–Propylene–Diene–Methylenecrumbrubbermortar*". Construction and Building Materials. 2014, 50: 671-682.
- [55] : **Khorami, M., Ganjian, E., Vafai, A.** "*Mechanicalproperties of concretewithwaste tire rubbers as coarseaggregates*". In Procidings of the Special Sections on International Conference on SustainableConstruction Materials and Technologies. Coventry University. 2007, 85-90.

- [56] : **Bennett, A.R.** "*The Influence of Shredded Tyres on the strength of concrete*", Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET). 2015, 3(2A): 134-137.
- [57] : **Yilmaz, A., Degirmenci, N.** "*Possibility of using waste tire rubber and flyash with portland cement as construction materials*". Waste Management. 2009, 29(5): 1541-1546.
- [58] : **Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., Queneudec, M.** "*Thermal conductivity of cement composites containing rubber wastes particles: experimental study and modeling*". Construction and Building Materials. 2008, 22(4): 573-579
- [59] : **Segre, N., Galves, A.D., Rodrigues, J.A., Monteiro, P.J.M., Joekes, I.** "*Use of tyre rubber particles in slag modified cement mortars*". Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). Durban, South Africa. 11-16 May 2003, 1546-1554.
- [60] : **Azevedo, F., Pacheco-Torgal, F., Jesus, C., de Aguiar, J.B., Camões, A.** "*Properties and durability of HPC with tyre rubber wastes*". Construction and Building Materials. 2012, 34: 186-191
- [61] : **Shah, S.F.A., Naseer, A., Shah, A.A., Ashraf, M.** "*Evaluation of thermal and structural behavior of concrete containing rubber aggregate*". Arabian Journal for Science Engineering. 2014, 39(10): 6919-6926.
- [62] : **Dodoo-Arhin, D., Mensah, S.A, Yaya, A., Agyei-Tuffour, B.** "*Application of discarded rubber car tyres as synthetic coarse aggregates in light weight pavement concretes*". American Journal of Materials Science. 2015, 5(4): 75-83.
- [63] : **Khorami, M., Vafai, A., Khalilitabas, A., Desai, C.S., Majedi Ardakani, M.H.** "*Experimental investigation on mechanical characteristics and environmental effects on rubber concrete*". International Journal of Construction Structures and Materials. 2010, 4(1): 17-23.
- [64] : **Bentata, A.** « *Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune* », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Magister Spécialité : Aménagement hydraulique et Génie civil, université de Ouargla, 2004.
- [65] : **Belkhiri, H., & Derragui, A.** « *Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses* », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité : Géotechnique & Matériaux, Université Ziane Achour de Djelfa, 2016.

- [66] : **Bouaziz A., HamzaouiR., RezigueS., BennabiA.** (2013) : "*Valorisation du sable de dune dans les formulations des mortiers et des bétons*", 31^{èmes} Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31 mai.
- [67] : **Belmecheri O H.**, (2012) : "*Etude d'un composite à base de sable de dune, ciment et granulats en billes polystyrène expansé*", Mémoire de Magister, Université Amar Telidji Laghouat.
- [68] : **Benabed B., Azzouz L., Kadri E., Belaidi AS E., Soualhi H.**(2012): "*Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes*", XXX^e Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin.

III.1. Introduction:

Dans toute étude sur les bétons ou autres matériaux, la présentation et la caractérisation des différents matériaux et matérielles utilisés est une tâche indispensable pour que le travail soit valable, strict et dans les normes.

L'objectif de ce travail est d'étudier 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.

Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et les essais durabilité des bétons sont réalisés dans le Laboratoire pédagogique de l'université 8 Mai 1945 - Guelma - tandis que la caractérisation mécanique des matériaux ainsi les essais mécaniques sur mortier sont effectués dans le Laboratoire de génie civil et d'hydraulique de l'université de Guelma.

A cause du virus covid -19. On n'a pas pu terminer les essais programmés pour ce thème. Alors on a essayé de regroupés les résultats de quelques essais fait et quelques résultats des travaux d'autres chercheurs.

III.2. Matériaux utilisés:

Nous avons utilisés les matériaux locaux suivant :

- Sable de dune(SD) de la région d'El-Oued.
- Un ciment CPJ42.5 : de la cimenterie de HadjarEssoud.
- Eau de gâchage : c'est l'eau potable du laboratoire.
- Poudrette de caoutchouc : entreprise DOUIB RECYCLAGE CAOUTCHOUC – Sétif.

III.3. Caractéristiques des matériaux:

III.3.1. Caractéristique du sable de dune:

On a utilisé un seul sable qui est un sable de dune prévenir de la dune de la **wilaya de El-Oued** (Figure III 1).



Figure III.1: Photo du sable de dune utilisé.

D'où ces caractéristiques sont les suivantes :

III.3.1.1. Analyses granulométrique :NA 2607 [1]

- **But de l'essai :** L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle nous permet d'identifier les sols, les classer et même également les nommer.
- **Principe de l'essai :** Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit, et faire peser le refus dans chaque tamis.
La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.
On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de tamiseuse.
- **Mode opératoire :** Le modus opérande consiste à classer les différents grains de l'échantillon et le massage en préparant une masse de 2 kg de sable de dune à l'aide d'une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres avec leurs dimensions d'ouverture diminuant de haut en bas. Le matériau étudié au sommet du tamis est obtenu et l'arrangement de grain est arrangé par la vibration et choc de la colonne de tamis.

Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique (Figure III.2):

- tamiseuse.

- tamis en mm (1.4 - 1 - 0.500 - 0.250 - 0.180 - 0,125 - 0,063).
- Balance.



Figure III.2: Photo de la tamiseuse électrique utilisée.

Le tableau III.1 ci-dessous regroupe les résultats de l'analyse granulométrique obtenus pour le sable de dune utilisée.

Tableau III.1 : Analyse granulométrique du sable de dune.

Poids de l'échantillon sec :		2000 g	(0 / 1)			
Maille tamis (mm)	Poids tamis (g)	Poids tamis+Refus partiel (g)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
1.4	362	362	0	0	0	100
1	338	338	0	0	0	100
0.500	300	301	1	1	0.05	99.95
0.250	282	1.959	1677	1678	83.9	16.1
0.180	272	564	292	1970	98.5	1.5
0.125	265	290	25	1995	99.75	0.25
0.063	262	265	3	1998	99.9	0.1
fond	250	251	1	1999	99.95	0.05

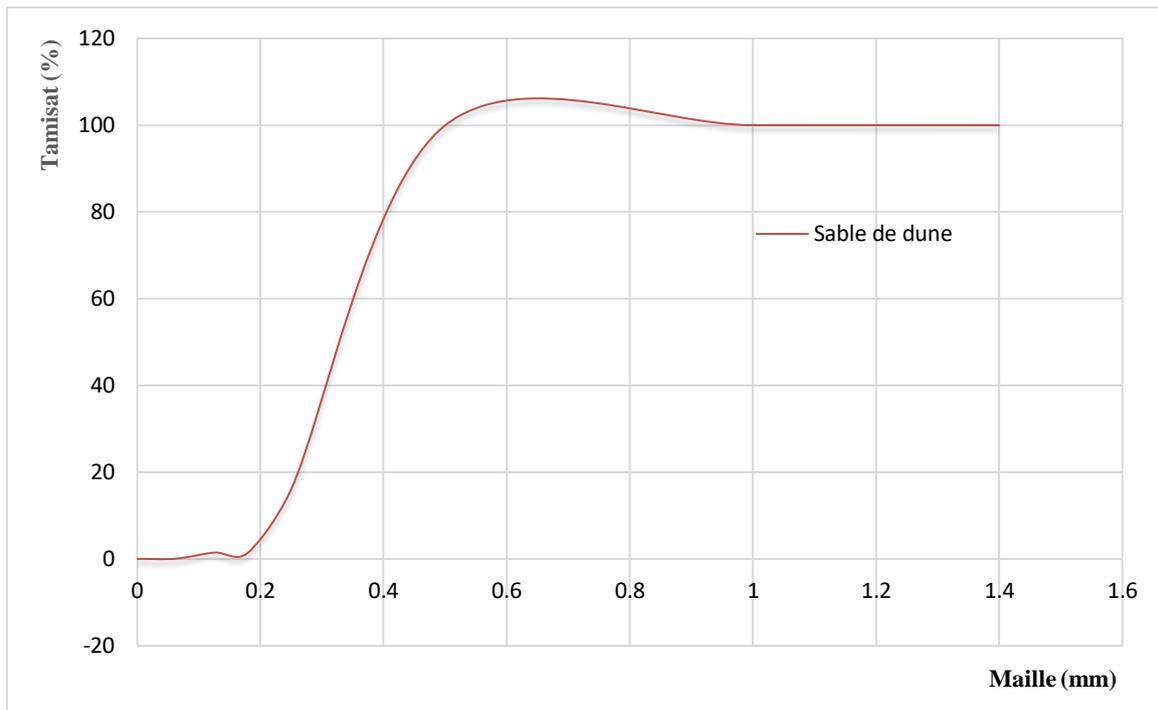


Figure III.3: Courbe granulométrique du sable de dune.

D'après les résultats donnés au tableau III.1 et la courbe granulométrique (Figure III.3) nous pouvons constater que :

Plus de 95% des grains de sable de dune ont un diamètre compris entre 0.125 et 0.250 avec une allure trop serrée, donc c'est un sable très fin.

Suivant la Norme Algérienne **NA 5113**[2] Equivalente à la Norme Européenne **EN 12620** on a :

$$FM = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

- $M_f = 1.837\%$ Donc $1.8 < M_f < 2.2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

III.3.1.2. La masse volumique du sable:

III .3.1.2.1. Masse volumique apparent:

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_R$$

M_1 : Masse du récipient vide.

M_2 : Masse du récipient plus le sable.

V_R : Volume du récipient ($V_R = 1L$).



Figure III. 4:Essais de la masse volumique apparente du sable utilisés.

Interprétations des résultats:

Le tableau III.2 ci-après présente les résultats obtenus de l'essai de la masse volumique apparente de 3 essais:

Tableau III.2: La masse volumique apparente (ρ_{App}) du sable.

Essai	1	2	3
ρ_{App} (g/cm ³)	1.472	1.460	1.459
$\rho_{App(moy)}$ (g/cm ³)	1.46		

La masse volumique apparente moyenne est [1.46] g/cm³, donc d'après [la Fiches techniques] c'est du granulat de nature silico-calcaires.

III.3.1.2.2. Masse volumique absolue:

La masse volumique absolue [ρ_{Ab}] est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains comme montre la figure III.5.

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique est :

$$\rho_{Ab} = M / (V_2 - V_1)$$

ρ_{Ab} : Masse volumique absolue;

M : Masse des grains solides ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains solide + eau).



Figure III.5: Essai de la masse volumique absolue du sable utilisé.

Interprétations des résultats:

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau III.3ci-dessous :

Tableau III.3: La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) du sable.

Essai	1	2	3
$\rho_{Ab}(\text{g/cm}^3)$	2.06	2.14	2.14
$\rho_{Ab(\text{moy})}(\text{g/cm}^3)$	2.11		

D'après **Dreux et al 1998**[3] on peut constater que :

Le sable de dune est un sable de nature silico-calcaires, car la masse volumique absolue moyenne est $[2.11] \text{ g/cm}^3$.

Et d'après les résultats de la masse volumique absolue ($\rho_{Ab} > 2 \text{ g/cm}^3$), donc c'est un granulat designé pour les bétons courants.

III.3.1.2.3. Equivalent de sable :NA 455[4].

- **But de l'essai:**

L'essai permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectuée sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm.

Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent comme montre la figure III.6.

- **Mode opératoire:**

- ✓ Remplir l'éprouvette d'une solution lavant jusqu'au premier repère(10cm).
- ✓ À l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de $(120 \pm 1) \text{ g}$ dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main a fin de libéré les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisse repose pendant 10 min.
- ✓ Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontal en 30s à la main ou à l'aide de l'agitateur mécanique.
- ✓ Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 min de dépôt,
 - ✓ Mesurer la hauteur de sable propre seulement (h_2) et la hauteur du sable propre y compris le flocculat (éléments fins) (h_1).
 - ✓ Mesurer la hauteur du sable plus précisément avec le piston taré (h_2).
 - L'équivalent de sable visuel (Esv) est défini par :

$$E_{sv} = (h'_2/h_1) 100\%$$

➤ L'équivalent de sable par piston (E_s) est défini par :

$$E_{sp} = (h_2/h_1) 100\%$$

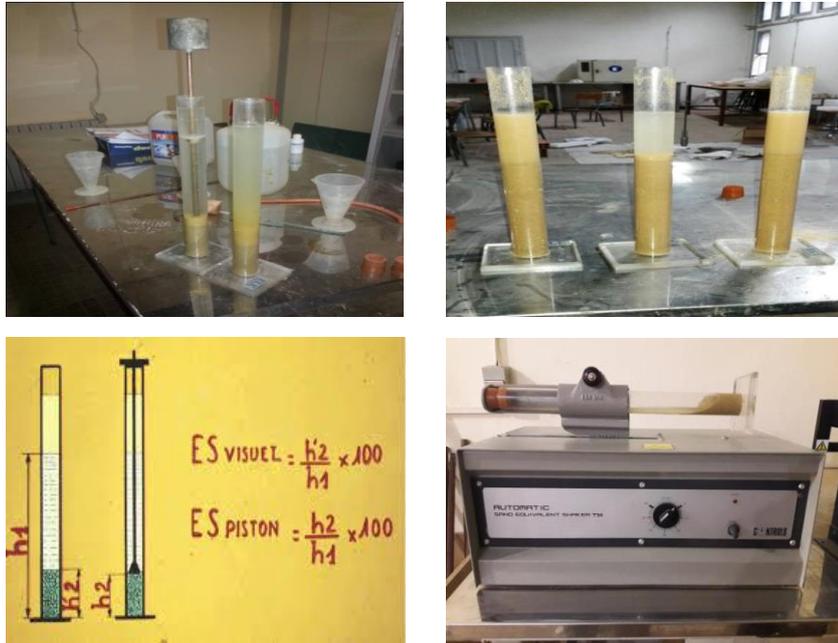


Figure III.6: Essai de l'équivalent du sable.

Interprétations des résultats:

Tableau III.4: Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable E_{SV} et E_{SP} .

E_{sv}	E_{sp}	Nature et qualité du sable
$E_{sv} < 65$	$E_{sp} < 60$	Sable argileux: risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq E_{sv} < 75$	$60 \leq E_{sp} < 70$	Sable légèrement argileux: de propriété admissible pour bétons de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq E_{sv} < 85$	$70 \leq E_{sp} < 80$	Sable propre: à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$E_{sv} \geq 85$	$E_{sp} \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau III.4 ci-dessous :

Tableau III.5: Résultats d'essais d'équivalent de sable.

Le sable de dune	
Essai	
Esv (%)	99.56
Esp (%)	85.97

Suivant la Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable E_{SV} et E_{SP} donner dans le tableau III.5 ci-dessus.

On conclue que le sable testé est un Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

Donc d'après notre résultat nous concluons que notre sable est très propre et ne contient que très peu de fines, il est préférable de ne l'employer qu'avec des dosages en ciment assez élevés ($C \geq 350 \text{ kg/m}^3$).

III.3.2. Caractéristique du caoutchouc:

III.3.2.1. Analyses granulométrique:

L'analyse granulométrique de la poudre de caoutchouc (Figure III.7):

Le fuseau granulaire obtenu est illustré à travers les valeurs du tableau III.6 ci-dessous, [5].

Tableau III.6: Analyse granulométrique de la poudre de caoutchouc [5].

Tamis	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
4	0.04	99,96
2	16.10	83,90
1	76.84	23,16
0.5	99.61	0,39
0.25	99.83	0,17
FOND	100	0

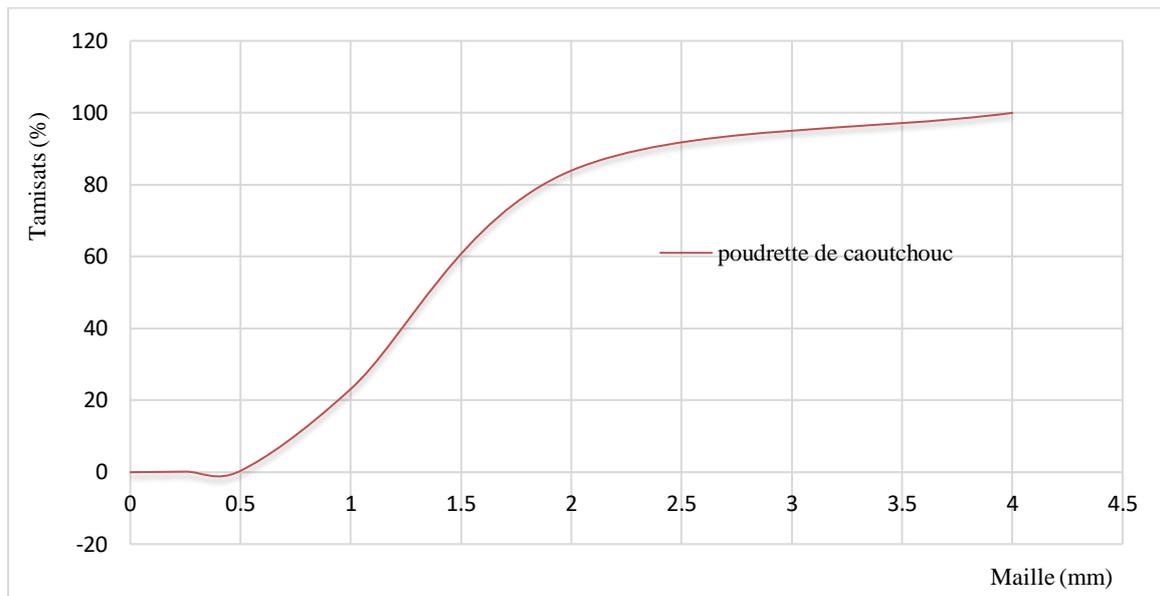


Figure III.7: Courbe granulométrique de caoutchouc [5].

III.3.2.2. Les masses volumiques du caoutchouc:

Ces résultats ont été trouvés par **Boukour, S**[6], dans elle indique que la dimension maximale des granulats du caoutchouc est de 4.0 mm; ainsi que leurs masses volumiques absolues et apparentes sont de 0.94 et 0.40 g/cm³ respectivement.

III.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé:

Dans le tableau III.7 qui suit, les caractéristiques du ciment utilisé pour tous les mortiers confectionnés dans cette étude qui est le ciment Portland (CPJ-CEM II / A 42.5) comme montre la figure III.8.

Le choix du CPJ42.5 s'explique facilement par le fait qu'il s'agit du seul ciment commun disponible localement. D'une manière générale, le choix du ciment dépend, en particulier, de la résistance souhaitée du béton, des exigences de mise en œuvre et de l'environnement de la structure.

Ce ciment se compose principalement de 75% de clinker, 5% de gypse et 20% de laitier de haut fourneau de la cimenterie "Hajar-Assoud" (Wilaya de Skikda). Ses analyses physiques, chimiques et minérales sont représentées respectivement ci-après **NA442**[7]:

Tableau III.7: caractérisation de ciment.

Composition chimique (%)		Caractéristique physique	
CaO	58.6	Densité absolue	3.11
Si O ₂	24.92	Densité apparente	1.09
Al ₂ O ₃	6.58	Surface spécifique Blaine	3371
Fe ₂ O ₃	3.65	Consistance normale (%)	25.6
MgO	1.21	Début de prise (mn)	123
K ₂ O	0.85	Fin de prise (mn)	180
Na ₂ O	0.08	Expansion à chaud (mm)	1.80
SO ₃	2.17	Refus au tamis 45	17.40
PAF	1.7		
MnO	/		



Figure III.8: Sac de ciment utilisé « GICA ».

III.3.4. L'eau de gâchage:

Pour mélanger notre mortier, nous avons utilisé l'eau du robinet disponible dans notre laboratoire pédagogique de génie civil et hydraulique de l'Université 8 mai 1945 de Guelma.

Cette eau doit être conforme à la norme NA 1966[8]. Et ne doit pas contenir d'impuretés nocives telles que chlorure, sulfate, matière organique, nitrates, sodium (Na), sels de potassium (K) ... etc.

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

III.4. Correction du sable de dune avec du caoutchouc:

On premier lieu avant de passer au but principale de notre étude, on a essayé de caractérisé le nouveau mélange de sable de dune substitué à différent pourcentage de caoutchouc (10%, 20% et 30%).

En espérant avoir quelques améliorations dans les caractéristiques préliminaires du sable de dune qui peut être considéré comme une correction.

III.4.1. La granulométrie:

III.4.1.1. Analyses granulométrique:

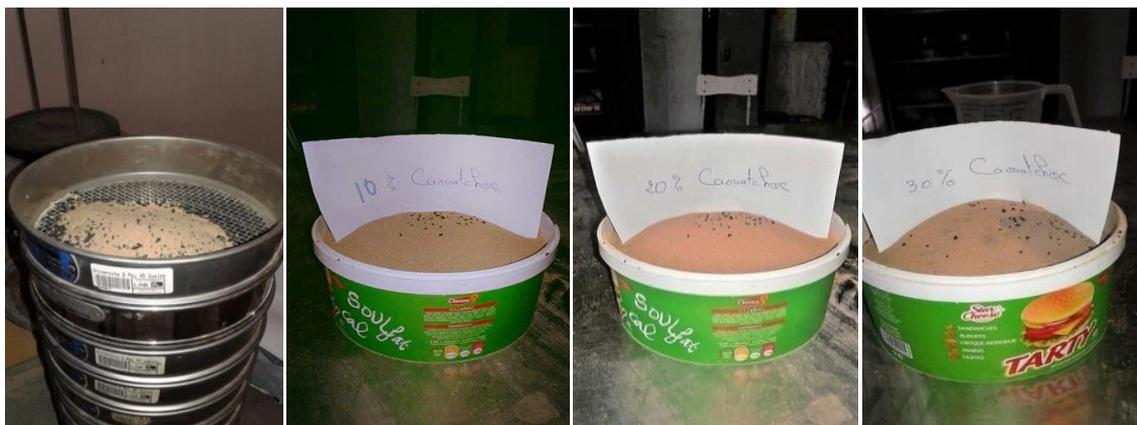


Figure III.9: Le mélange de sable de dune à différents pourcentage de caoutchouc.

Tableau III.8: Analyse granulométrique du mélange.

Le mélange de sable du dune et du caoutchouc.												
Diamètre du tamis en (mm)	Sable de Dune + (10%) caoutchouc le poids : 2.810 (kg)				Sable de Dune + (20%) caoutchouc le poids : 2.592 (kg)				Sable de Dune + (30%) caoutchouc le poids: 2. 466 (kg)			
	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
4	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
3.55	1	1	0.035	99.96	2	2	0.078	99.92	3	3	0.12	99.88
2	36	37	1.32	98.68	64	66	2.55	97.45	115	118	4.79	95.21
1.4	26	63	2.24	97.75	46	112	4.32	95.68	61	179	7.26	92.74
1	16	79	2.81	97.19	28	140	5.40	94.60	34	213	8.64	91.36
0.500	5	84	2.99	97.01	7	147	5.67	94.32	9	222	9	91
0.250	2342	2426	86.33	13.67	2059	2206	85.11	14.89	1942	2164	97.75	12.25
0.125	376	2802	99.72	0.28	377	2583	99.65	0.35	294	2458	99.68	0.32
0.063	6	2808	99.93	0.071	6	2589	99.88	0.12	5	2463	99.88	0.12
Fond	2	2810	100	0	3	2592	100	0	3	2466	100	0

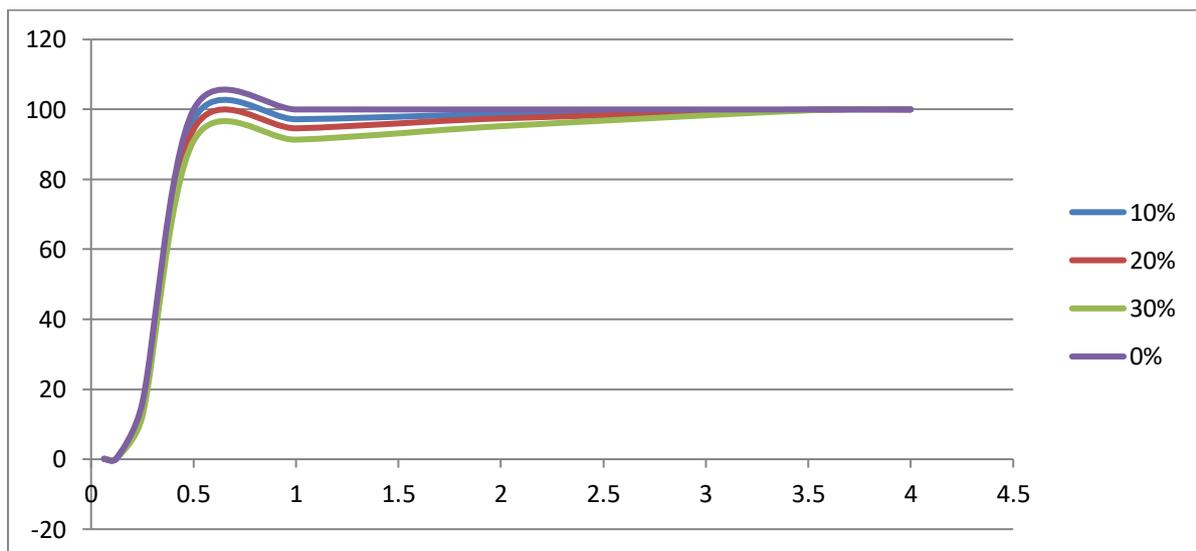


Figure III.10: Courbe granulométrique du mélange.

Interprétation :

D'après les résultats donnés au tableau III.8 et les courbes granulométriques dessinés à la (Figure III.10) nous pouvons constater que :

A chaque augmentation du pourcentage de caoutchouc substitué dans le sable la courbe granulométrique du mélange tend à s'étaler.

III.4.1.2. Evolution du module de finesse:

Tableau III.9: Evolution du M_f en fonction du pourcentage du caoutchouc.

	SD substitué de(0%) caoutchouc	SD substitué de(10%) caoutchouc	SD substitué de (20%) caoutchouc	SD substitué de(30%) caoutchouc
M_f (%)	1.837	1.93	1.98	2.20

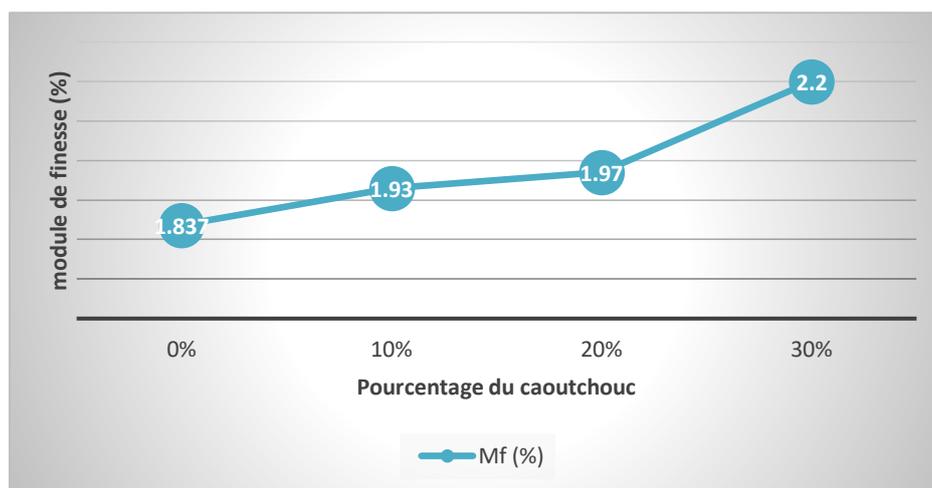


Figure III.11: Evolution du M_f en fonction du pourcentage du caoutchouc.

Interprétations des résultats:

On remarque que le module de finesse du sable des dunes augmente avec l'augmentation du pourcentage de caoutchouc substitués.

- Pour un mélange de SD substitué de 10% de caoutchouc le module de finesse a augmenté de (5%) par rapport au module de finesse du SD substitué de 0% de caoutchouc, mais malgré la substitution du SD à atteindre 20%, on a remarqué une légère augmentation (7%) du module de finesse par rapport au module de finesse du SD substitué de 0% de caoutchouc, par contre l'augmentation était très remarquable (20%) pour le mélange de SD substitué de 30% du caoutchouc.

- On peut constater aussi que malgré ces augmentations des modules de finesse, nous mélangeons restent toujours à l'intérieur de l'intervalle des sables fins. Mais qui a attiré notre attention que le module de finesse a fait un saut entre les deux extrémités de cette intervalle.

III.4.2. La masse volumique du mélange:

Les modes opératoires sont les mêmes que ceux appliqués pour la détermination de la masse volumique apparente et absolue.

III.4.2.1. Masse volumique apparente:



Figure III.12 : Essais de la masse volumique apparente du mélange de sable de dune à différents pourcentages de caoutchouc.

Les résultats obtenus de la masse volumique apparente sont regroupés dans le tableau III.10 ci-dessous :

Tableau III.10 : La masse volumique apparente (ρ_{App}) du mélange de sable de dune à différents pourcentages de caoutchouc.

	Le mélange de sable du dune et du caoutchouc		
	SD substituée(10%) caoutchouc	SD substituée(20%) caoutchouc	SD substituée(30%) caoutchouc
essai 1	1.416	1.373	1.366
essai 2	1.420	1.372	1.363
essai 3	1.421	1.371	1.366
$\rho_{App}(\text{moy}) (\text{g}/\text{cm}^3)$	1.419	1.372	1.365

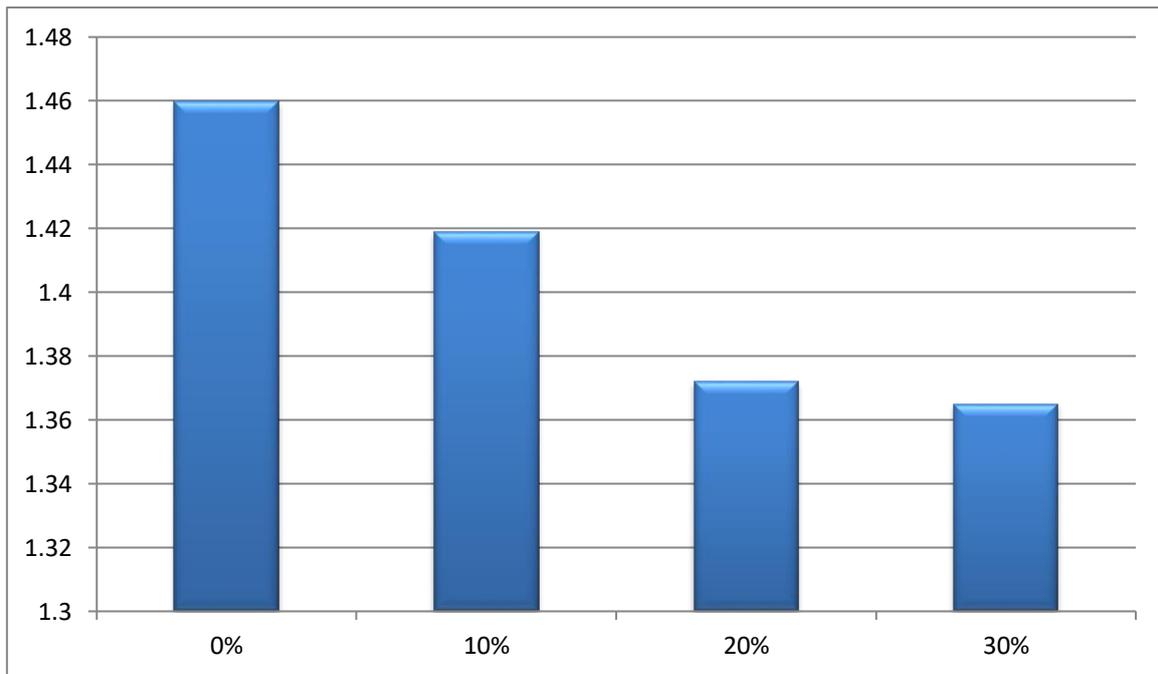


Figure III.13 : Histogramme de la masse volumique apparente (ρ_{App}) du mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.

Interprétations des résultats:

Donc d'après notre résultat on conclut que plus le pourcentage du caoutchouc augmente, plus la masse volumique apparente du sable de dune diminue (Figure III.13).

- Pour un mélange de SD substitué de 10% du caoutchouc, la masse volumique apparente a diminué de 2.81% par rapport à la masse volumique apparente du SD substitué de 0% de caoutchouc, tant dit la diminution pour le SD substitué de 20% du caoutchouc a atteint 6.03% ci-à-dire trois fois celle du SD substitué de 10% du caoutchouc, mais elle tend à se stabiliser pour le SD substitué de 30% du caoutchouc (6.5%).

III.4.2.2. Masse volumique absolue:

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau III.11 ci-dessous :

Tableau III.11: La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) du mélange de sable de dune à différents pourcentage de caoutchouc.

	mélange de sable du dune et du caoutchouc		
	SD substituéde(10%) caoutchouc	SD substituéde(20%) caoutchouc	SD substituéde(30%) caoutchouc
essai 1	2.02	1.96	1.93
essai 2	1.96	1.98	1.98
essai 3	2	1.97	1.94
$\rho_{Ab}(\text{moy})(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.99	1.97	1.95

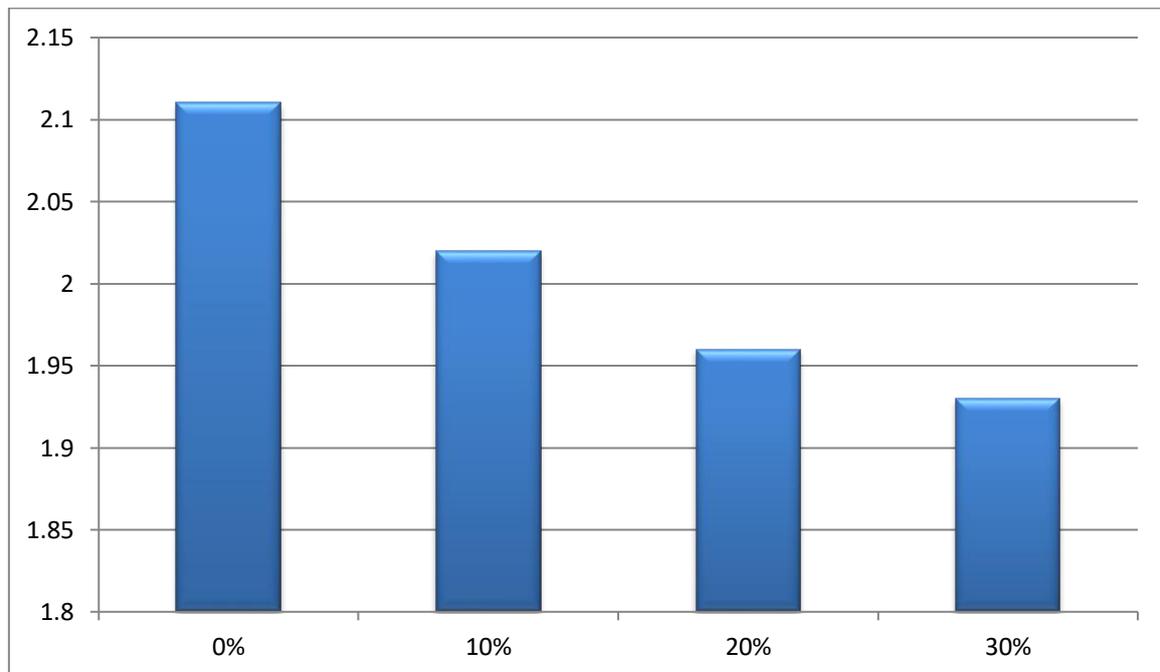


Figure III.14 : Histogramme de la masse volumique Absolue (ρ_{Ab}) du mélange de sable de dune à différents pourcentage du caoutchouc.

Interprétations des résultats:

Donc d'après notre résultat ont conclu que plus le pourcentage du caoutchouc augmente, plus la masse volumique Absolue du sable de dune diminue Figure III.14.

- Pour un mélange de SD substitué de 10% du caoutchouc, la masse volumique Absolue a diminué de (5.68%) par rapport à la masse volumique Absolue du SD

substitué de 0% de caoutchouc, pour atteindre (6.63%) pour le SD substitué de 20% du caoutchouc, et (7.58%) pour le SD substitué de 30% du caoutchouc. Alors on peut conclure qu'à partir de 10% la diminution à une valeur régulière environ (1%) pour chaque substitution.

III.5. Formulation des compositions:

Formuler un mortier ou un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés physiques (l'ouvrabilité) et mécaniques (la résistance en compression) répondant à des critères techniques et économiques autorisent une meilleure application dans le domaine de la construction.

Dans cette partie, nous avons adapté la méthode de formulation d'un mortier Normalisé. Cette méthode se base sur une portion de ciment (450 g) c-à-d un volume, trois portions de sable (1350 g) c-à-d trois volumes, avec un rapport E/C = 0.5. Mais suite aux résultats de l'essai d'Equivalant de Sable, on doit augmenter la quantité d'eau et le dosage en ciment, et comme ce dernier est déjà > à 350 g alors on a augmenté le rapport E/C à 1.

Généralement, Les sables de dune présentent un taux de propreté élevé, mais ils ont une granulométrie très étroite (granulométrie homométrique). Ce qui influe mal sur la compacité des mélanges à base de ce sable. D'où vient la nécessité de la correction granulométrique de ces types de sable.

Dans notre étude l'amélioration de mortier à base de sable de dune. Le composite élaboré est un mortier dans lequel le sable a été substitué par les particules de caoutchouc à des teneurs volumiques de 0, 10, 20, 30%. Le rôle principal de ces dernières est de corriger la granulométrie de sable de dune par l'élargissement de la plage des grains de sable.

Tableau III.12: composition des mortiers étudiés

	1 (Témoin)	2	3	4
Ciment (g)	450	450	450	450
Sable de dune (%)	100	90	80	70
Eau (g)	450	450	450	450
Caoutchouc (%)	0	10	20	30

III.5.1. Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place) :

Dans ce travail nous avons confectionnés 60 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm dans des moules de dimensions respectives.

- **Préparation de la pâte:**

Nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...).

- introduire la quantité d'eau choisie : $E / C = 1$.
- introduire 450 g de ciment.
- introduire 1350g de sable de dune ou du mélange sable de dune et pourcentage du caoutchouc.
- mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60 s, introduire régulièrement le sable entre la 30ème et la 60èmeSeconde.
- stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30 s.
- stopper le malaxeur pendant 1 min 30 s et nettoyer les parois du récipient pendant les 15 premières secondes.
- remettre le malaxeur en route, vitesse rapide durant 60 s.



Figure III.15: malaxeur.

- **Préparation des éprouvettes:**

À effectuer immédiatement après préparation du mortier.

- les moules sont bien nettoyés, et bien montés.

- enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage avant chaque confection des éprouvettes (Figure III.16).
- introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment.
- étaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement.
- serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- introduire la seconde couche de mortier.
- étaler la couche en utilisant la petite spatule tenue verticalement.
- serrer la deuxième couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser (Figure III.17).
- étiqueter les moules pour identifier les éprouvettes (noms, date, caractéristiques) (Figure III.18).



Figure III.16: Lubrification des moules (4 x 4 x 16) cm.



Figure III.17: Dernière vibration et rasage.



Figure III.18: étiqueter les moules.

III.5.2. Conservation des éprouvettes:

- poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes.
- conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C.



Figure III.19:Cure à l'eau pendant 28 jours des éprouvettes.

III.6. Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés dans ce présent chapitre, on peut conclure ce qui suit :

- La granulométrie de sable étudié est très serrée ; près de 95 % des grains ont une dimension comprise entre 0,125 mm et 0,250 mm. Ce qui donne une compacité insuffisante, et par la suite des performances mécaniques non adéquates. L'utilisation d'un correcteur (poudrette de caoutchouc) se révélera certainement nécessaire.
- La valeur de module de finesse de sable dunaire est faible, cette valeur a augmenté suivant les différentes substitutions du caoutchouc.
- Le sable de dune étudié est très propre, il présente des taux de propreté de l'ordre de 92%, ce sable risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton, donc il est préférable d'augmenter le dosage en eau et en ciment.
- les valeurs des masses volumiques absolues et apparentes ont marquées des diminutions jusqu'à 6.5% pour les masses volumiques apparentes et plus de 7.5% pour les masses volumiques absolues.

Référence Bibliographique

- [1] : **NA 2607**(2005) : Norme Algérienne, ICS 91.100.20, *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1: Détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage*, adopter le 08/10/2009.
- [2] : **NA 5113** (2008): Norme Algérienne, *Granulats pour béton* , adopter le 07/06/2009.
- [3] : **Dreux G., Festa J.**, (1998) : *New concrete guide*, ISBN 13: 978-2-212-10231-4 p 418.
- [4] : **NA 455**(1999) : Norme Algérienne, *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines - Equivalent de sable*, adopter le 16/05/2006.
- [5] : **Aissaoui W.**, (2018) : "*Etude expérimentale des propriétés mécaniques des bétons élaborés à base de granulats en caoutchouc*", Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [6] : **Boukour S.**, (2017) : "*Caractéristiques physico-mécaniques et durabilité des éco-composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issus de pneus usagés*", Mémoire de Doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [7] : **NA 442**(2013) : Norme Algérienne N° édition : 3 Date : 2005 ICS : 91, 100, 10, *ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants*.
- [8] : **NA 1966**(2009) : Norme Algérienne, *Eau de gâchage pour bétons spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux de processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton*. Révisée le 2/5/2009.

Conclusion générale

Le désert occupe plus 60% du territoire national formé essentiellement de sable inexploité jusqu'à ce jour et dans l'unique but de valoriser cette richesse nationale en sable, on a entamé ce travail, qui nous a permis de mettre en valeur l'influence du sable de dune et la poudrette de caoutchouc sur le comportement de mortier et de préciser un certain nombre de points :

- La poudrette de caoutchouc réduit la capacité de déformation.
- L'ajout ou la substitution du caoutchouc dans les mortiers entraîne une diminution de ces caractéristiques mécaniques (résistance de compression, traction et flexion).
- Une correction du sable de dune peut être le résultat d'un mélange de ce dernier avec un sable alluvionnaire.
- La substitution de la teneur en sable par la poudrette de caoutchouc entraîne une force de compression plus faible.
- La résistance à la flexion du béton diminue lorsque le caoutchouc sous forme de fibres est ajouté de plus de 20% tandis que la résistance à la flexion augmente lors de l'ajout de pas plus de 20%.
- L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours.
- L'augmentation du taux de granulats de caoutchouc diminue les masses volumiques des mélanges à l'état sec.
- Avec l'ajout d'agrégats de caoutchouc au mélange de béton, la résistance à la compression diminue, nous avons donc recours à des agents de désaération ou éliminons avec un plastifiant qui permet de réduire l'eau en eau de 10 à 30% ce qui provoque automatiquement l'augmentation des résistances.
- Les taux d'ajout de sable de dunes qui ont été étudiés sont d'environ 92%, ce qui conduit à une diminution de la plasticité, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau.
- L'incorporation des poudrettes de caoutchouc engendre des diminutions des propriétés physiques des mortiers et des bétons, sauf l'absorption qui augmente suivant plusieurs recherches.
- Le mélange de mortier étudié à base de sable de dune avec différentes substitutions en poudrette de caoutchouc peut être considéré comme un mélange corrigé.
- Son module de finesse est amélioré d'une manière très remarquable.
- Une diminution de 6,5% pour la densité apparente et de plus de 7,5% pour la densité absolue.

Enfin, l'abondance de sable de dune dans notre pays lui confère la caractéristique de matériau économique, en plus l'utilisation des déchets de caoutchouc participe sur la protection de la nature et l'environnement.