

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :
LARIBI Mohamed Amine
MOKRANI Ahmed

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Valorisation des granulats recyclés issus des
plastiques et des pneus**

Devant le jury composé de :

HAMI Brahim	MCB	UAMOB	Président
KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Encadreur
MESBOUAA Nouredine	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2020/2021



Remerciements

*Après avoir rendu grâce à Dieu le tout
puissant et le miséricordieux,
Nous tenons à remercions vivement notre
promoteur **Mr Kennouche. S** pour l'aide
précieuse qu'il nous a offert dans
l'élaboration de ce travail.
Nous tenons à remercier sincèrement tout ce
qui, de près ou de loin ont participé
à la rédaction de ce document il s'agit plus
particulièrement :
Les ingénieurs de laboratoire génie civil,
Enfin, on n'oserait oublier de remercierons
chers parents et nos **amies** pour leur
soutien moral*



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à vous mes chers parents lumière de mes yeux, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit, vous étiez toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

Mon chers frère Ayoub

Mes chères sœurs, Asma , Manel

Toute la famille Laribi

Et sans oublie mes très chers ami(e)s

et mes collègues de la protection civile

*À tous mes amis et collègues de la promotion
2020/2021*

*Enfin pour Tous les gens qui m'estiment espérant
bien*

*Que je n'ai oublier Personne dans cette courte
page*

Signé :Mohamed Amine Laribi



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à vous mes chers parents lumière de mes yeux, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit, vous étiez toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

Mes chers frères

Mes chères sœurs

Toute la famille Mokrani

Et sans oublier mes très chers ami(e)s

et mes collègues de la protection civile

*À tous mes amis et collègues de la promotion
2020/2021*

*Enfin pour Tous les gens qui m'estiment
espérant bien*

*Que je n'ai oublier Personne dans cette courte
page*

Signé : Ahmed Mokrani

Résumé

L'environnement est un enjeu très important et sa préservation est une responsabilité commune, les déchets jetés par l'être humain composent un grand danger sur l'environnement, il y a donc lieu d'encourager leur élimination par l'opération de recyclage

Ce projet a pour but d'étudier la faisabilité de valorisation de deux types de déchets caoutchouc et plastique récupérer des entreprises de recyclage, en particuliers dans les mortiers, plusieurs variantes de mortier ont été élaboré par substitution des quantités de sable par les deux déchets séparément à des pourcentages de 10, 20 et 30 %, et des variantes avec mélange des deux déchets, qui seront comparées au mortier témoins, les essais physicomécaniques de l'ensemble des variantes étudiées ont révélé l'effet positif sur l'allègement des mortiers, et une chute des caractéristiques mécaniques des variantes avec substitution de sables.

Mot clés : Mortier, déchet plastique et pneus, essais mécaniques, absorption.

ملخص

البيئة قضية مهمة للغاية والحفاظ عليها مسؤولية مشتركة، والنفايات التي يلقيها الإنسان تشكل خطرا كبيرا على البيئة ،

لذلك يجب تشجيع التخلص منها من خلال عملية إعادة التدوير

يهدف هذا المشروع إلى دراسة امكانية استعمال استعادة نوعين من نفايات المطاط والبلاستيك التي تم الحصول عليها من شركات اعادة التدوير من شركات إعادة التدوير، على وجه الخصوص في الملاط، تم إنتاج العديد من أنواع الملاط عن طريق استبدال كميات الرمل بالنفايات بشكل منفصل بنسب مئوية 10 و 20 و 30٪، وعينات مع دمج نوبن من النفايات ، أظهرت الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية لجميع عينات النفايتين التي سيتم مقارنتها مع الملاط الخالي من النفايات (الملاط المرجعي) المدروسة تأثيرًا إيجابيًا على انخفاض وزن الملاط لا حضنا انخفاض في الخصائص الميكانيكية للعينات المدروسة مع استبدال الرمل بالنفايات.

الكلمات المفتاحية: لوح الملاط، نفايات البلاستيك والإطارات ، الاختبارات الميكانيكية ، الامتصاص

Abstract

The environment is a very important issue and its preservation is a common responsibility, the waste thrown by humans is a great danger to the environment,

il y a donc lieu d'encourager leur élimination par l'opération de recyclage

Ce projet a pour but d'étudier la faisabilité de valorisation de deux types de déchets caoutchouc et plastique récupérés des entreprises de recyclage, en particulier dans les mortars, plusieurs variantes de mortars ont été produites en substituant les quantités de sable par les deux déchets séparément à des pourcentages de 10, 20 et 30%, et des variantes avec un mélange des deux déchets, qui seront comparées avec les mortars témoins. Les tests physico-mécaniques de toutes les variantes étudiées ont révélé un effet positif sur l'allégement des mortars, et une diminution des caractéristiques mécaniques des variantes avec substitution de sable.

Key words : Mortar, plastic waste and tires, mechanical tests, absorption

Table des matières

Remerciements	II
Dédicace	III
Résumé	V
Table des matières	VIII
Introduction générale	1
Chapitre I : Valorisation des déchets plastiques	2
I. Introduction	3
I.1 Recyclage des déchets	3
I.2 Origine de la production des déchets	5
I.3 Différents types de déchets	6
I.3.1 Déchets ultimes.....	6
I.3.2 Déchets inertes.....	6
I.3.3 Déchets assimilés.....	6
I.3.4 Déchets verts	6
I.3.5 Déchets organiques	7
I.3.6 Déchets industriels banals (DIB).....	7
I.3.7 Déchets dangereux.....	7
I.3.7.1 Déchets industriels spéciaux (DIS).....	7
I.3.7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS).....	7
I.4 Technique de recyclage	7
I.4.1 Procédés du recyclage.....	7
I.4.2 L'intérêt de la valorisation	8
I.4.3 Gestion des déchets.....	8
I.4.3.1 Collecte de déchets	8
I.4.3.2 Commercialisation et consommation.....	9
I.5 Principe de gestion des déchets.....	9
I.6 Technique de gestion des déchets	9
I.6.1 Décharge.....	9
I.6.2 Incinération.....	9
I.6.3 Compost et fermentation	10
I.6.4 Traitement biologique et mécanique.....	10
I.6.5 Pyrolyse et gazéification	11
I.6.6 Impacts du recyclage sur l'environnement.....	11
I.7 Déchets en Algérie	12

I.7.1	Valorisation du laitier en Algérie	13
I.7.2	Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics 13	
I.7.2.1	Pneus usagés et déchets plastiques	13
I.8	Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton	13
I.9	Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans GC.....	14
I.9.1	Introduction	14
I.9.2	Histoire du plastique	15
I.9.3	La valorisation des déchets plastiques	16
I.9.4	Origine et répartition des plastiques	16
I.9.5	Le processus de collecte et de tri et de recyclage	17
I.9.5.1	Etapes du processus de recyclage des déchets plastiques.	17
I.9.6	La transformation de la matière recyclée en produit fini	19
I.9.7	Avantages et limites du recyclage des plastiques	21
I.9.7.1	Avantages du recyclage.....	21
I.9.7.2	Les limites de recyclage	22
I.10	La valorisation des déchets plastiques en Algérie	22
I.10.1	La place de l'informel.....	23
I.11	Conclusion.....	24
Chapitre II : Valorisation des déchets de pneus		25
II.1.1	Historique.....	26
II 1.2.	Définition.....	27
II 1.3.	Composition chimique d'un caoutchouc	27
II 1.4.	Processus de fabrication des matières caoutchouc.....	27
II 2	Caoutchouc des pneus.....	27
II.2.1.	Introduction.....	27
II.2.2.	Généralité sur les pneus.....	28
II.2.2.1.	Définition	29
II 2.2.2.	Caractéristiques physiques et chimique des pneus	31
II.2.2.3.	Les fonctions et la structure du pneumatique.....	32
II 2.2.4.	Valorisation est domaine d'application des pneumatiques	32
II 2.2.5.	Propriétés de matière caoutchouc	33
II.2.3.6	Durée de vie du caoutchouc	34
II.2.2.7.	Chiffre.....	34
II.3.	Béton de déchets de caoutchouc.....	36

II.3.1. Définition.....	36
II.3.2. Propriété du béton de déchets de caoutchouc	36
II.A. Propriétés à l'état frais	36
II.B. Propriétés à l'état durci :	38
II 5. Valorisation et réalisations en Algérie par la technique pneu sol	42
II.5.1. 1 ^{er} ouvrage [2005]	43
II.5.2. 2 ^{ème} ouvrage [2006]	43
II.5.3. Aires de jeux	45
II.5.4. Bassins d'infiltration.....	45
II.5.6 Drainage	46
II.6. La recherche en Algérie sur l'utilisation poudrette de caoutchouc dans les chaussées routières.....	46
II.6.1. Gazon synthétique.....	47
II.6.2. Autres domaines d'application	48
II.7. CONCLUSION.	48
CHAPITRE III : Partie expérimentale	50
III.1. Introduction.....	51
III.2. Les matériaux utilisés dans cette partie sont.....	51
III.2.1. Le sable	51
III.2.1.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé*	51
I.11.1 III.2.2. <i>Ciment</i>	56
III.2.2.1. Caractéristiques du ciment CEM II/A-M(P-L) 42,5 N.....	56
III.2.3. Déchets de Caoutchouc	57
I.11.1.1 III.2.3.1. Déchets de pneus	57
III.2.4. <i>Déchets de plastique</i>	58
III.2.5. Eau de gâchage	59
III.2.6 Adjuvant « plastifiant ».....	59
III.4. Préparation de mortier	60
III.4.1 Compositions des mélanges	60
III.4.2. Fabrication et conditionnement des éprouvettes	61
III.4.3. Les essais sur les éprouvettes	61
A) Essai réalisé à l'état frais	62
B) Essai réalisé à l'état durci	62
III.5.2. Résultats des essais mécaniques	64
A. Essais de flexion et compression	64

Conclusion.....	72
Recommandations et perspectives	74
Références Bibliographique	74
Annexes	79

Liste des figures

Figure I 1: Stratégies de traitement des déchets .	5	
Figure I 2: Valorisation des déchets	5	
Figure I 3: Type des déchets plastiques utilisés	14	
Figure I 4: Etape .1 : La collecte et le tri des déchets plastiques.	17	
Figure I 5: Déchets triés	Figure I 6: Déchets brut	17
Figure I 7: Broyeur	18	
Figure I 8: Le séchage	Figure I 9: Le lavage	18
Figure I 10: Granulés	Figure I 11: Paillettes	19
Figure I 12: Les principales étapes de transformation de la matière plastique recyclée.	19	
Figure I 13: Refroidisseur	Figure I 14: Extrudeuse	20
Figure I 15: Le produit fini.	20	
Figure I 16: Le ruban de Möbius logo	21	
Figure II 1 :Incendie sur le site de stockage des pneus usagés	29	
Figure II 2: Coupe d'un pneu.	31	
Figure II 3: Différentes sollicitations mécaniques	34	
Figure II 4: La production mondiale de caoutchouc naturel en 2014	35	
Figure II 5: Processus de recyclage de déchets de caoutchouc	36	
Figure II 6: Influence de G.C. sur l'affaissement	37	
Figure II 7: Influence de G.C. sur l'affaissement	37	
Figure II 8 :Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C-a ,]-b	38	
Figure II 9: Observations au MEB de la microstructure de mortier témoin (à gauche) et le mortier de caoutchouc (à droite) G.C et mise en évidence de la zone d'interface.	39	
Figure II 10: Evolution de l'absorption d'eau en fonction du dosage en G.C.	40	
Figure II 11: Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C.	40	
Figure II 12: Masse volumique sèche des composites	41	
Figure II 13: La résistance diminue considérablement avec l'augmentation de la teneur en particules de caoutchouc.	41	
Figure II 14: Evolution de la résistance à la flexion des composites	42	
Figure II 15: Pose des nappes de pneus Projet pilote – Route de Bou Smail	43	
Figure II 16 :Stabilité d'un glissement de terrain - Cas de TiziGhenif –Wilaya de Tizi Ouzou Algérie	44	
Figure II 17: aires de jeux	45	
Figure II 18: Bassin d'infiltration	45	
Figure II 19: La valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage.	46	
Figure II 20: Technique de l'asphalte caoutchouté	47	
Figure II 21 :Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3ème génération.	48	
Figure III 1 :illustre la distribution granulométrique du sable utilisé dans notre travail	55	
Figure III 4:appareil de vibration	55	
Figure III 5 : Ciment GICA (Sour el Ghozlane) /CEM II/A-M(P-L) 42,5 N	56	
Figure III 6: Déchets de pneus sous forme de granulats.	57	
Figure III 7: L'essai de l'absorption de caoutchouc.	58	

Figure III 8 : Déchets de plastiques sous forme de granulats.....	59
Figure III 9 : Adjuvant SIKA VISCOCRETE 65.....	59
Figure III 10 : Essaie de malaxage des constituants de béton de sable avec déchets.	60
Figure III 11 : Fabrication et conditionnement des éprouvettes.....	62
Figure III 12 : La masse volumique a l'états frais des éprouvettes.	62
Figure III 13: Essaie de flexion.	63
Figure III 14 : Essais de compression.....	63
Figure III 15 : Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps	65
Figure III 16 : Représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7 et 28 jours.	66
Figure III 17 : Corrélacion entre les masses volumiques et la résistance en compression,	67
Figure III 18 : Corrélacion entre les masses volumiques et la résistance en flexion,	67
Figure III 19 : Corrélacion entre la résistance en compression et en flexion.....	68
Figure III 20 : Eprouvettes de mortier après immersion dans l'eau durant 10 jours	70
Figure III 21 : Taux d'absorption.	71

Liste des tableaux

Tableau II 1 : donne la composition moyenne d'un pneu pour véhicule léger et lourd	31
Tableau II 2: Caractéristiques physiques d'un pneu	31
Tableau II 3: Différents types de granulats pneus.....	33
Tableau II 4: Productions, en 2010, en milliers de tonnes. Monde.	35
Tableau II 5: Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment-caoutchouc	39
Tableau III 1: Masse volumique absolue du sable.....	52
Tableau III 2: Masse volumique apparente du sable	52
Tableau III 3: Analyse granulométrique du sable.....	54
Tableau III 4: Les constituants principaux de ciment.....	57
Tableau III 5: Représente les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé	57
Tableau III 6: Les différentes caractéristiques des déchets de caoutchoucs utilisés	58
Tableau III 7 :Les différentes caractéristiques des déchets de plastiques utilisés	59
Tableau III 8: Résultats des essais mécanique (compression et flexion).....	64
Tableau III 9:Taux d'absorption des variantes étudiées	70

Introduction générale



Introduction générale

Les déchets solides présentent un sérieux problème pour l'environnement. L'accroissement de la population, l'augmentation de la production et de la consommation et le changement du mode de vie sont la cause principale de ses quantités de déchets.

En Afrique l'urbanisation rapide et sauvage de ces pays a causé la détérioration de l'environnement. L'une de ses conséquences les plus inquiétantes dans le monde en développement, et particulièrement en Afrique, réside d'ailleurs dans les problèmes de gestion des déchets solides, liquides et toxiques. En Algérie, de fortes pressions sur l'environnement ont été enregistrées surtout ce que concerne les déchets plastiques issus des emballages et ceux issus des moyennes de transport précisément les pneus, contrairement aux pays développés l'Algérien doit changer les pneus de son véhicule en taux de 3 fois ou plus par an à cause de l'état catastrophique des routes ce que résulte des tonnes des pneus non réutilisable, un véritable problème qui menace l'environnement dans ce pays, dont les autorités doivent trouver des solutions pérennes, afin de préserver l'environnement.

D'un autre coté les déchets plastiques issus essentiellement des produits d'emballage sont une cause de dégradation de l'environnement.

Aujourd'hui l'être humain est condamné à assurer ses besoins en activant dans plusieurs secteurs, et participer au principe de développement durable, pour se faire les déchets présentent une opportunité intéressante, par les opérations de recyclage, permettant ainsi une réutilisation des matières issues du recyclage dans plusieurs secteurs, notamment le secteur de la construction, que des études et recherches ont montré qu'il est l'un des rares domaines qui peut traiter le sujet avec succès en introduisant ces déchets dans la composition des matériaux de construction.

Dans ce cadre, ce travail de projet de fin d'études ayant pour thème : « Valorisation des granulats recyclés issus des plastiques et des pneus ». Ayant pour objectif principe la protection de l'environnement, ainsi que la valorisation des déchets (plastiques et pneus) dans le domaine des matériaux de construction.

Pour mener à bien ce travail, il a été organisé de la façon suivante :

- En premier lieu, et après une introduction a été présenté une partie dédiée à la synthèse bibliographique sur la valorisation des plastiques.

Introduction générale

- Valorisation des déchets pneumatiques dans les matériaux seront exposés en deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre est consacré à la partie expérimentale et la présentation des résultats trouvés ainsi que leurs interprétations.
- Nous clôturons ce travail par une conclusion générale et des recommandations et perspectives.

Chapitre I : Valorisation des déchets plastiques

I. Introduction

Du fait de l'augmentation des activités du Bâtiment et des Travaux Publics depuis quelques décennies, on constate un afflux croissant du volume des déchets issus des chantiers. L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais. La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux aspects très importants à savoir l'impact environnemental et économique : Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Il s'agit donc de « mesurer pour connaître et connaître pour agir ». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

« Toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions du code de l'environnement, dans des conditions propres à éviter les dits effets » [1].

I.1 Recyclage des déchets

I.1.1 Définition d'un déchet

Selon l'article **L541-1-1 du code de l'environnement**, un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se débarrasser ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement [2].

Les déchets peuvent être classés en trois catégories :

- Les déchets dangereux, qui présentent une ou plusieurs propriétés dangereuses (comburant, inflammable, explosif, corrosif, cancérigène...) (**décret n° 2002-540 du 18 avril 2002**),
- Les déchets non dangereux, qui ne figurent pas dans le **décret n° 2002-540 du 18 avril 2002**,
- Les déchets inertes, qui ne sont pas dangereux et ne contiennent pas de constituants évolutifs. Ils « ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre

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 de nuire à la santé humaine » (**directive n° 1999/31/CE**). Ils proviennent essentiellement du secteur du BTP. **Anciennement appelés déchets ménagers et assimilés (DMA) (arrêté du 19 janvier 2006), les déchets non dangereux (DND) regroupent tous les déchets, dont l'innocuité est garantie, en provenance de l'intégralité des activités économiques et des ménages.**

I.1.2 Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine [3].

Afin de réduire les quantités de déchets, des stratégies doivent être élaborer afin de réaliser les objectifs projeter comme le montre la figure I.1.

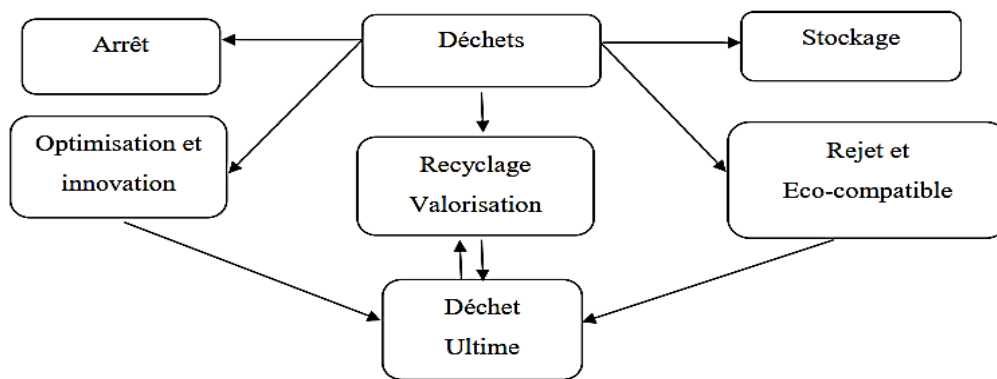


Figure I 1: Stratégies de traitement des déchets 4

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

- ❖ Valorisation énergétique.
- ❖ Valorisation en matière première organique et minérale.
- ❖ Valorisation en science des matériaux.
- ❖ Valorisation en agriculture.
- ❖ Valorisation en technique de l’environnement.
- ❖ Technique dite d’élimination.

Les objectifs précédents sont illustrés dans la figure I.2

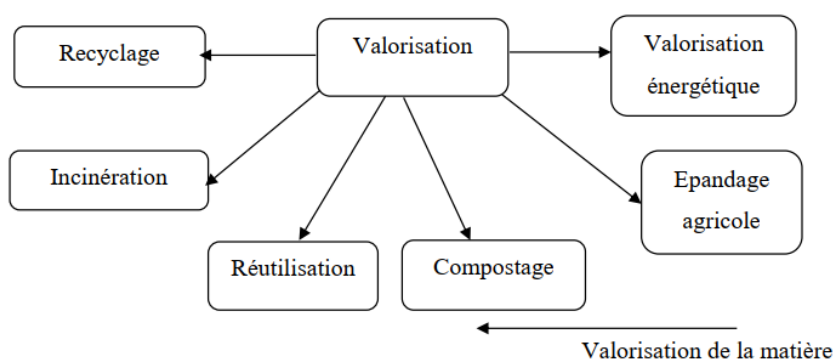


Figure I 2: Valorisation des déchets .4

I.2 Origine de la production des déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;

- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

I.3 Différents types de déchets

I.3.1 Déchets ultimes

Le déchet ultime c'est 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 [3].

I.3.2 Déchets inertes

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

I.3.3 Déchets assimilés

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).

I.3.4 Déchets verts

Ce sont les déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

I.3.5 Déchets organiques

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

- ❖ Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts) ;
- ❖ Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....-boues.

I.3.6 Déchets industriels banals (DIB)

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

I.3.7 Déchets dangereux**I.3.7.1 Déchets industriels spéciaux (DIS)**

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

I.3.7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersée.[6].

I.4 Technique de recyclage**I.4.1 Procédés du recyclage**

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.

Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

I.4.2 L'intérêt de la valorisation

POURQUOI VALORISER ? Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement.

Les arguments peuvent être résumés en :

- ❖ Augmentation de la production.
- ❖ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- ❖ Une législation de plus en plus sévère.
- ❖ Une meilleure gestion de la recherche.

I.4.3 Gestion des déchets

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique.

I.4.3.1 Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à

optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.[6].

Transformations

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

I.4.3.2 Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

I.5 Principe de gestion des déchets

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- ❖ Réduire
- ❖ Réutiliser
- ❖ Recycler

I.6 Technique de gestion des déchets

I.6.1 Décharge

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.

I.6.2 Incinération

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification). Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse).

Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.

I.6.3 Compost et fermentation

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.

Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers.

Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.

I.6.4 Traitement biologique et mécanique

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques. La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage.

La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre. Ils détruisent les déchets en les

transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage.

TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environnemental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.

I.6.5 Pyrolyse et gazéification

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée

La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits.

Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs. La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syn gaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène [6].

Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.

I.6.6 Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- ❖ L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- ❖ Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- ❖ Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (É) ;
- ❖ L'aluminium est recyclable à 100 % ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).

- ❖ Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- ❖ Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 d'eau et 2,5 kWh d'électricité (É) en plus de 15 g de bois.

I.7 Déchets en Algérie

D'après **Le Salon international de la valorisation des déchets industriels** et Dans le souci de préserver l'environnement, la chambre algérienne de commerce (CACI) organise la première édition du Salon International de la Récupération et de la Valorisation des Déchets Industriels, « Revade 2016 ». Prévu du 05 au 08 octobre au palais des expositions (SAFEX), à Alger, l'événement est parrainé par le ministère du commerce, le ministère des ressources en eau et environnement, et celui de l'Industrie et des Mines.

Placé sous la thématique « Les enjeux économiques du recyclage des déchets industriels », le « Revade » réunira des spécialistes qui auront à aborder différents sujets liés à la protection de notre terre. Entre autres, « la collecte des déchets, le transport et la transformation, les centres d'enfouissement technique, de l'incinération, ou ceux en charge du traitement des eaux industrielles usées ».

Par sa thématique, l'événement vise, comme indiqué par les organisateurs, à « encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises dans ce domaine ».

Parmi les activités du salon, un programme d'animation sera organisé, en partenariat avec l'Agence Nationale des Déchets (AND) et l'agence de coopération internationale allemande pour le développement (GIZ). D'ailleurs dans son rapport du mois d'avril 2014, la GIZ a fait savoir que « la quantité annuelle des déchets industriels en Algérie est estimée à 2547 000 tonnes » [3].

Des déchets répartis en quatre catégories :

- ❖ Les déchets d'emballages et de plastique dont la quantité est estimée à environ 1.2 million de tonnes/an.
- ❖ Les pneus usagés dont la quantité est estimée à plus de 1 million d'unités/ an
- ❖ Les déchets des huiles et des huiles lubrifiantes, dont la quantité est estimée à 110.000 tonnes/an.
- ❖ Les déchets électroniques, électriques et électroménagers, dont la quantité est estimée à 18 000 tonnes/an.

I.7.1 Valorisation du laitier en Algérie

L'utilisation des produits de laitier en Algérie est limitée à quelques rares applications malgré sa production qui progresse (500.000 tonnes/an).

En cimenterie, il entre comme un ajout secondaire ne dépassant pas 20 % (cette substitution est faite seulement dans quelques cimenteries).

Et en travaux routiers : A titre d'exemple, le laitier granulé a trouvé une utilisation dans la réalisation de la liaison autoroutière Annaba – Berrahal, où la couche de fondation été réalisée par une grave laitier tout laitier.

Des études intéressantes et récentes ont montré la possibilité d'utiliser les laitiers Algériens (d'El-hadjar) pour :

- ❖ La fabrication des briques silico calcaires à base du laitier.
- ❖ La fabrication du béton cellulaire autoclavé.
- ❖ La fabrication d'un ciment de laitier activé sans clinker [6].

I.7.2 Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics

I.7.2.1 Pneus usagés et déchets plastiques

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays.

En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie [6].

I.8 Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton

[Ben imam Samir ; Debieb Farid ; Ben tchikou Mohamed ; Guendouz Mohamed 2014] au niveau des Laboratoire LBMPT, Université de Médéa, Algérie ; Laboratoire LME (Ex. LPTRR), Université de Médéa, Algérie ont mené des études sur le recyclage des déchets plastiques, dont le rapport E/C =0,5.

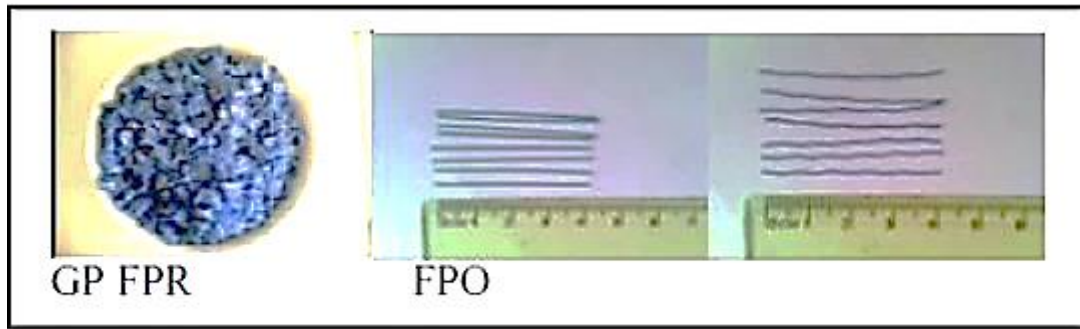


Figure I 3: Type des déchets plastiques utilisés [6].

L'objectif de ce travail est de valoriser les déchets plastiques et étudier leurs effets sur le comportement du béton. Sur la base des résultats obtenues ils ont conclu que :

- ❖ Le béton de déchets plastiques est peu compact par rapport au béton naturel et présente une difficulté de mélange et de mise en œuvre en fonction du pourcentage et du type d'ajout en déchets plastiques (grains ou fibres).
- ❖ Le béton armé de fibres plastiques (surtout en forme ondulée) résiste mieux à la flexion par la traction en comparaison au béton ordinaire. Néanmoins un risque de retrait supplémentaire est possible pour un dosage élevé en pourcentage de fibres, c'est pourquoi un pourcentage de 1% en fibres à ne pas dépasser est conseillé [6].

I.9 Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans GC

I.9.1 Introduction

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats.

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, la croissance exponentielle de déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage.

Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit du déchet plastique. Le déchet plastique est ajouté dans le mortier sous forme de granulats.

I.9.2 Histoire du plastique

Les matières plastiques seront essentiellement fabriquées par la pétrochimie, à partir du pétrole ou du gaz naturel. Les usages sont très variés et entrent « dans les petits objets de la vie de tous les jours ».

- **1926** : Départ du succès commercial du **PVC** (polychlorure de vinyle), fabriqué à partir de 57 % de sel et de 43 % de pétrole grâce à des additifs qui le rendent plus plastique (W.Semon).
- **1927** : Fabrication de **PMMA** (polymé thacrylate de méthyle) remplaçant le verre pour des vitres incassables (O. Röhm et Haas, société IG Farben)
- **1930** : Débuts de la fabrication industrielle du **Polystyrène**
- **1933** : **polyéthylène basse densité (PEBD)** (ingénieurs E. Fawcett et R. Gibson). Utilisé comme isolant électrique performant pour protéger les câbles des radars.
- **1935** : **polyamide**, fibre annoncée comme « aussi solide que l'acier, aussi fine que la toile d'araignée, et d'un magnifique éclat » du pont de Nemours.
- **1937** : premiers **polyuréthanes** (Otto Bayer), utilisés comme adhésifs, « mousses » pour matelas et coussins, sièges d'automobile, ...
- **1940 et 41** : fabrication du **silicone** et du **Caoutchouc synthétique** qui répond aux besoins en matières premières des pays en guerre pendant la seconde guerre mondiale
- **1949** : Les plastiques « **mélamine-formol, MF** » (Formica) découverts en 1941 envahissent les cuisines et le mobilier.
- **1950** : **polyester**. Le plus connu est le polytéréphtalate d'éthylène : PET, PETE (John Rex Whinfield et James Tennant Dickson).
- **1953** : **polyéthylène haute densité (PEHD)** par polymérisation de l'éthylène sous pression modérée (chimiste allemand Karl Ziegler, prix Nobel de chimie en 1963)
- **1953** : **polycarbonate (PC)**, plastique très transparent et extrêmement résistant aux chocs (a équipé le casque des astronautes pour la mission Apollo 11 en 1969 !) (Chercheurs Bottenbruch, Krimm et Schnell de Bayer AG).

- **1954** : **polypropylène (PP)** (chimiste italien Giulio Natta, prix Nobel de chimie en 1963)
- **1961** : **polyuréthane thermoplastique (PTP)** (Estane) (BF Goodrich).
- **1965** : **polyamide (PA)** léger et particulièrement résistant à la déchirure, aux chocs, au feu et à la corrosion (Kevlar). (Stephanie Kwolek et H. Blades de Du Pont de Nemours).

Les plastiques sont des matériaux de plus en plus utilisés :

- Plus légers à résistance égale que l'acier ou l'aluminium et insensibles à la corrosion, ils remplacent les métaux dans beaucoup de produits (leur consommation actuelle en volume est supérieure à celle des métaux.),
- Les associations de plusieurs matériaux, comme pour les composites *, ou les complexes** permettent des avancées technologiques importantes ;
- Leurs performances les rendent indispensables au quotidien et dans tous les domaines :(santé, bâtiment, automobile, aérospatiale, emballage, décoration, bureautique, sport...). Cependant, régulièrement des études montrent que la fabrication et l'utilisation de certains plastiques sont problématiques ; notamment en raison de composants (phtalates, bisphénol A, ...) toxiques pour la santé et l'environnement.

La production mondiale de plastiques augmente chaque année (+ 2,9 % en 2012) et pose des problèmes liés à la pétrochimie et au devenir des plastiques usagés. La prise de conscience des enjeux environnementaux se développe et incite à de nouveaux progrès : amélioration du recyclage et de la biodégradabilité, utilisation de matières premières renouvelables, utilisation raisonnée des matériaux.

I.9.3 La valorisation des déchets plastiques

Dans cette section, on va essayer de parler sur la technique primordiale dans la valorisation des déchets plastiques, qui est le recyclage et d'illustrer ses différentes étapes.

I.9.4 Origine et répartition des plastiques

On est amené à classer les déchets de matières plastiques par catégories et par secteurs d'application.

- Déchets industriels ;
- Déchets de distribution (transport, emballage) ;
- Déchets des consommateurs finaux [7].

I.9.5 Le processus de collecte et de tri et de recyclage

Nous allons examiner les étapes de valorisation des déchets plastique.

I.9.5.1 Etapes du processus de recyclage des déchets plastiques.

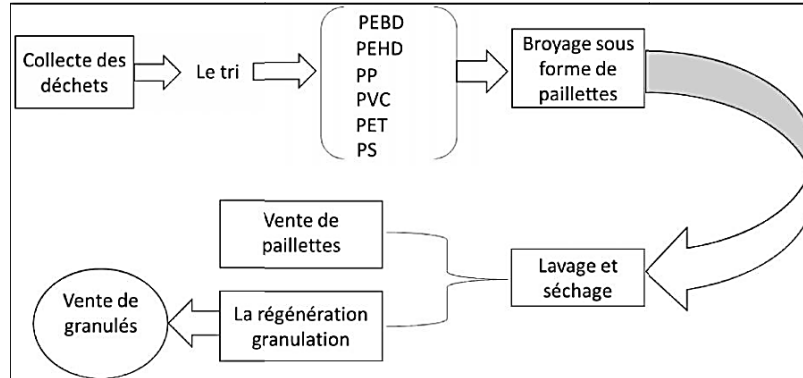


Figure I 4: Etape .1 : La collecte et le tri des déchets plastiques.[7]

Elle consiste à collecter les déchets plastiques soit aux prés des ménages, décharges sauvage et la nature ou bien les achetés aux prés des entreprises de collecte. Ces déchets sont transportés soit par l’entreprise, ou bien par des collecteurs privés qui viennent déposer leurs déchets au niveau de l’entreprise.

Une fois collectes, ces déchets sont triés manuellement par type de plastique et par couleur (PEHD, PEBD, PP, PET, PS, PVC).



Figure I 5: Déchets triés



Figure I 6: Déchets brut

Etape 2 : Le broyage

Après le tri, ces déchets plastiques seront broyés séparément à l’aide d’un broyeur sous forme de paillette suivant leurs types et couleurs.



Figure I 7: Broyeur.

Etape 3 : Le lavage et séchage

Ensuite, ces paillettes seront lavées et séchées dans une laveuse d'une manière à ce que la boue et les autres matières (métaux) seront sédimentées au fond du bassin de la machine, par contre la matière désirée(paillettes) flotte sur l'eau du bassin qui sera séché par la suite.



Figure I 8: Le séchage



Figure I 9: Le lavage

Etape 4 : La vente

Enfin, la matière recyclée sera soit vendue en paillette, ou bien la soumettre à l'extrusion (la fonte), puis à la granulation pour la vente sous forme de granulé.



Figure I 10: Granulés



Figure I 11: Paillettes

I.9.6 La transformation de la matière recyclée en produit fini

Sur les huit entreprises recensées, seulement quatre d'entre elles qui font de la transformation.

Le processus de transformation diffère d'une entreprise à une autre selon le produit fabriqué.

L'activité de transformation au sein de ses entreprises est organisée en plusieurs étapes, depuis l'achat de la matière première (granulé) jusqu'à la vente du produit fini ainsi le schéma de la figure 12 résume les principales étapes de transformation de granulé en gaines électriques.

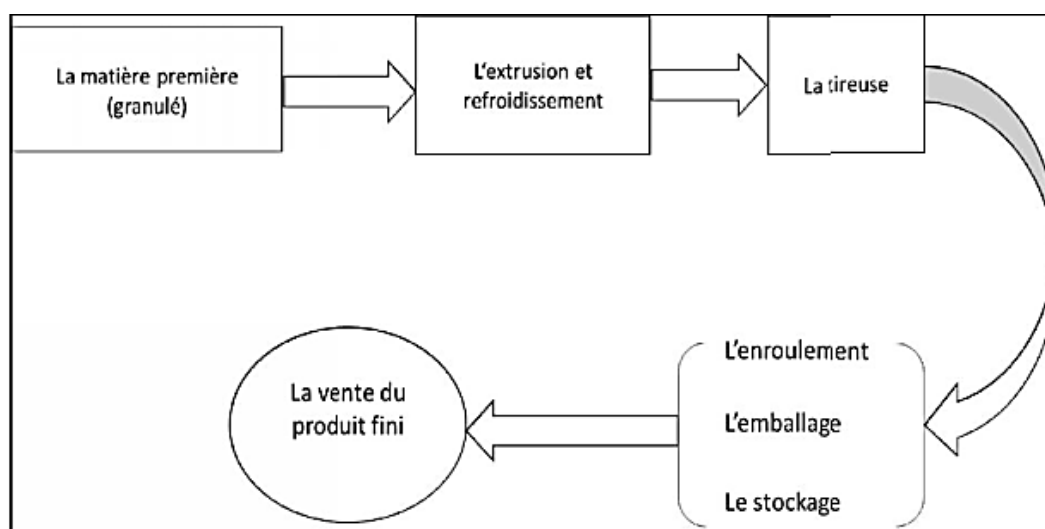


Figure I 12: Les principales étapes de transformation de la matière plastique recyclée.

Etape 1 : L'extrusion et le refroidissement

La matière première (granulé) sera injectée dans une extrudeuse pour la faire fondre à une température idéale et lui donner la forme d'une gaine électrique, ensuite, cette gaine passera dans l'eau pour la refroidir.



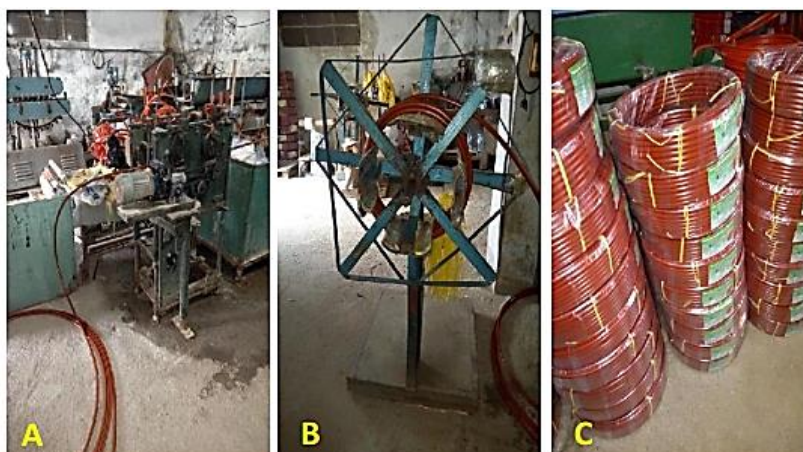
Figure I 13: Refroidisseur



Figure I 14: Extrudeuse

Etape 2 : La tireuse, l'enroulement, l'emballage et le stockage

Cette machine sert à tirer la gaine refroidie pour l'enrouler, puis, l'emballer dans un film plastique, enfin, le produit fini sera stocké.



A : Tireuse

B : L'enroulement

C : Stockage

Figure I 15: Le produit fini.

Etape 3 : La vente

Enfin, le produit fini sera mis en vente que ce soit sur le marché régional ou bien national.

Ruban Möbius

Le ruban de Möbius, mieux connu comme étant le logo du recyclage, garantit que le produit et/ou son emballage est recyclable. La première flèche « symbolise la collecte des matériaux usés, la seconde la réutilisation et la production de nouveaux produits grâce aux rebuts, tandis

que la troisième reconnaît le rôle important du consommateur qui réclame de plus en plus des produits recyclés [8].



Figure I 16: Le ruban de Möbius logo

I.9.7 Avantages et limites du recyclage des plastiques

On peut dire que le recyclage des plastiques a plusieurs avantages que d'inconvénients, et cela on peut le constater à travers plusieurs exemples qui sont :

I.9.7.1 Avantages du recyclage

❖ Protection de l'environnement :

En triant les déchets, on devient le premier maillon de la chaîne du recyclage et contribue activement au développement durable : le processus de recyclage implique en effet l'utilisation de matières premières secondaires issues de déchets et permet ainsi d'éviter toutes les phases d'extraction et de transformation de la matière première naturelle qui sont polluantes et coûteuses en énergie.

❖ Préservation des ressources :

Le recyclage permet de briser la chaîne immuable des ressources transformées en produits qui, en fin de vie, deviennent des déchets qu'il faut éliminer. Une boucle vertueuse est ainsi créée par l'utilisation de matière première issue de déchets à la place de matière première naturelle. Par exemple, une tonne de plastique permet d'économiser 800 kilos de pétrole brut (site internet). A une époque où la pénurie des ressources pétrolifères se dessine à moyen terme, une telle économie prend toute son importance.

❖ Une question d'image :

Il est avéré que les entreprises œuvrant dans le respect de l'environnement sont perçues beaucoup plus favorablement. La pratique du recyclage permet donc d'améliorer l'image de votre société auprès de vos clients comme du grand public.

❖ **Soutenir l'économie locale :**

Le recyclage favorise l'économie locale et contribue par conséquent à la création d'emploi.

I.9.7.2 Les limites de recyclage

- ❖ Il existe plusieurs limites, on les illustre comme suit :
- ❖ La première limite est politique. Il est souvent utilisé pour la communication d'entreprises qui vendent des produits ayant une durée de vie limitée. Ils produisent des déchets, mais l'entreprise communique sur le fait qu'ils sont recyclables, et sous couvert d'écologie, les distribuent à grande échelle. Finalement, dans ce cas, le recyclage sert d'alibi et masque la seule volonté de produire plus, sans pour autant accorder l'importance (et donc le budget) nécessaire à la réduction des déchets.
- □ Le recyclage coûte cher, il entraîne d'ailleurs plusieurs types de coûts, parmi lesquels des coûts de transports et de traitements en générale assez élevés [9].
- □ Le coût de la main-d'œuvre est lui aussi important. La collecte et le tri et le traitement des déchets nécessitent en général beaucoup de personnel. Si le coût de la main d'œuvre est élevé, les déchets recyclés seront moins compétitifs en termes de prix sur le marché [10].
- □ Le processus de recyclage (broyage, lavage, séchage, extrusion et la granulation) nécessite une grande consommation d'énergie. Donc, une charge importante pour l'entreprise.

I.10 La valorisation des déchets plastiques en Algérie

Avec à peine 10 % de taux de recyclage, l'Algérie ne figure pas sur la liste des nations qui valorisent le plus leurs déchets dont le volume est pourtant en augmentation avec la croissance démographique et celle de la consommation.

On estime à près de 23 millions de tonnes la quantité de déchets solides générée annuellement en Algérie, dont plus de la moitié est constituée de déchets ménagers et assimilés (entreprises, hôpitaux, écoles, collectivités, etc.).

Représentant la part la plus importante des déchets solides générés en Algérie, soit autour de 11 millions de tonnes par an en 2014. Un Algérien génère en moyenne près de 1 kg de déchets plastiques par jour.

La quantité de ces déchets augmente annuellement de 3%, selon les chiffres de l'Agence nationale des déchets (AND). Une étude allemande (GIZ) a estimé à plus de 2,5 millions la quantité annuelle des déchets industriels. Les déchets ne manquent pas, mais c'est le sort qui leur est réservé qui pose problème. Près de la moitié des déchets ménagers et assimilés sont déversés dans des décharges.

La mise en décharge est considérée comme une pratique moins coûteuse par rapport à l'incinération ou le compostage.

L'Algérie a vu ces dernières années des entrepreneurs qui ont tenté l'expérience à travers des micro-entreprises. Le plastique est le deuxième déchet le plus généré par notre mode de consommation et celui dont le volume a le plus augmenté ces dernières années.

I.10.1 La place de l'informel

Il y a des parcs de collecte de déchets clandestins qui sont improvisés ici et là, et les entreprises de recyclage vont y acheter ce dont elles ont besoins : du plastique, du verre, des métaux, du bois, etc. Il y a une concurrence faite par le secteur informel des récupérateurs des déchets [11], qui est bien structuré. Certaines études ont montré que l'informel intervient à tous les niveaux ; la pré-collecte au moment de l'enlèvement des ordures (par les éboueurs), à travers des collecteurs-trieurs au niveau des décharges sauvages, des récupérateurs ambulants (dans les quartiers) et des récupérateurs intermédiaires qui jouent le rôle de revendeur pour les industries ou les exportateurs. C'est donc un pan entier du processus de collecte et de tri qui se fait dans le circuit parallèle.

«Si vous payez le kg à 120 dinars chez l'industriel privé, vous pouvez l'avoir entre 40 et 70 dinars dans l'informel»[10]. Mais si les déchets existent, on ne peut pas en dire autant des entreprises désireuses de les valoriser. Ceux qui s'y sont hasardés parlent d'un investissement difficile avec beaucoup d'obstacles sur le chemin. Simplement pour organiser la logistique autour de la récupération, c'est problématique.

I.3.2. Les obstacles à l'activité de recyclage du plastique en Algérie

Beaucoup d'entreprises travaillent dans l'informel sans registre de commerce, d'autres occupent des locaux de fortune. Globalement, on estime que les investissements dans le recyclage restent faibles. L'AND (Agence nationale des déchets) a recensé en 2015 à peine 88 micro-entreprises spécialisées dans la valorisation des déchets dont 60 seulement opérationnelles [10]. Ce sont de petites et moyennes entreprises en général, des entreprises créées dans le cadre de l'ANSEJ.

La logique des entreprises est qu'elles cherchent à maximiser le profit en minimisant les coûts, et comme le volume des déchets recyclable reste assez important pour réaliser cet objectif, les investisseurs ne s'intéressent pas à cette activité sachant que ce secteur demande une technologie très développée et qui réponde à certaines normes environnementales. La majorité des entreprises ont une capacité de traitement de deux tonnes par jour, ce qui est peu [14].

Le prix des équipements techniques nécessaires pour travailler dans la branche du recyclage en Algérie pose problème, pour l'acquisition des machines, mais aussi en termes de cout. Une machine peut coûter 6 millions de dinars. Une chaîne complète (broyeur, déchiqueteur, séchoir...) peut aller jusqu'à 10 millions de dinars [14].

I.11 Conclusion

Le plastique, né il y a une cinquantaine d'années, est considéré comme le matériau du troisième millénaire. Il peut être polluant s'il n'est pas traité. Donc c'est à nous, citoyens, de le recycler afin de préserver la stabilité de notre environnement. Le plastique est notre avenir car nous l'utilisons en permanence. Toutes les nouvelles technologies, les domaines de l'innovation, la recherche de nouveaux objets, utilisent les matières plastiques. Les plastiques sont financièrement à la portée de tous, car fabriqués industriellement. De plus nous pouvons le trouver partout. Mais nous polluons la planète si nous ne recyclons pas les matières plastiques et que nous les jetons dans la nature.

Le recyclage des déchets en général et des déchets plastiques en particulier représente un secteur presque vierge en Algérie. La collecte, le tri, et la valorisation sont trois tronçons qui se succèdent mais qui peuvent être dissociées, ce qui offre des opportunités d'investissement promoteurs pour les jeunes algériens qui désirent se lancer dans ce domaine.

Chapitre II : Valorisation des déchets de pneus

II.1.1 Historique

La véritable histoire du caoutchouc débute bien avant la fin du XVe siècle, lorsqu'à la suite des Grandes découvertes, les Européens commencent à observer, en Amérique centrale et en Amérique du Sud, l'usage séculaire que font les populations autochtones d'une matière alors inconnue en Europe. Provenant du latex issu de différentes plantes

- dont l'hévéa et le guayule

- les Amérindiens confectionnent des objets courants, fabriqués par moulage sur argile : balles, toiles enduites, torches, qu'ils rendent étanches en les passant à la fumée. Ils en consomment aussi comme médicament et l'associent aux mythes de création, de la course du monde : dans le « juego de pelota » (jeu de balle précolombien), la balle en caoutchouc (appelée « ulli de olin » - mouvement en nahuatl - et « kik » en maya – liquide séminal), avec son rebondissement incessant, mime la course du Soleil. La matière caoutchouc devient ainsi sacrée.

→ 1736-1747 : Les naturalistes français Charles Marie de La Condamine et François Fresneau de la Gataudière redécouvrent le caoutchouc naturel au Pérou, en Équateur et en Guyane. La Condamine effectue la première description scientifique de cette matière appelée caotchuen quechua Cao signifie bois et tchu qui pleure, et par rapprochement phonétique il francise son nom ; Fresneau en fait de même pour l'hévéa¹.

→ 1770 : Le chimiste anglais Joseph Priestley découvre que l'on peut effacer des marques d'encre en les frottant avec du caoutchouc². Cette découverte sera à l'origine des premières gommes à effacer.

→ 1783 : Le chimiste français Jacques Charles, lancé dans une compétition avec les frères Montgolfier pour réaliser le premier vol habité, fait construire un ballon — on disait alors un « globe » — fait d'une étoffe de soie imperméabilisée par un vernis à base de caoutchouc.

→ 1811 : L'Autrichien Johann Nepomuk Reithoffer (de) fabrique les premiers produits en caoutchouc (tissus, lacets).

→ 1842 : Charles Goodyear découvre la vulcanisation, qui permet de stabiliser le caoutchouc afin qu'il résiste mieux aux écarts de température (il fond à température haute et devient cassant à température basse) ².

→ 10 décembre 1845 : l'Écossais Robert William Thomson invente la roue aérienne (le premier pneu) qui, ne s'adaptant pas aux chariots lourds, tombe dans l'oubli.

→ 1854 : Hiram Hutchinson ouvre la première usine utilisant le caoutchouc en France, dans l'usine de Langlée, à Châlette-sur-Loing (Loiret).

→ 1868 : Invention des pneus pleins pour vélocipèdes.

II 1.2. Définition

Matériau caoutchouc ou communément appelé caoutchouc Un matériau de base (polymère) qui peut être façonné, façonné, généralement chaud et chauffable Sous pression, pour fabriquer des produits semi-finis ou des objets. Matériel préféré Les plastiques, ils sont généralement fabriqués à partir de combustibles fossiles. L'élastomère a La déformation élastique sous contrainte est meilleure que la plupart des matériaux et récupère à La forme initiale ne présente aucune déformation permanente. Les élastomères sont des polymères qui présentent des propriétés « élastiques ». Obtenues après réticulation. Il supporte de très grandes déformations avant rupture. Le mot caoutchouc Est un synonyme couramment utilisé pour élastomère

II 1.3. Composition chimique d'un caoutchouc

La matière caoutchouc est composée en générale en trois composants qui sont :

- Résine de base (polymères).
- Adjuvants.
- Additifs.

II 1.4. Processus de fabrication des matières caoutchouc

La matière première généralement utilisée est le pétrole duquel sont extraites des molécules d'hydrocarbure. Elles sont ensuite unies entre elles pour former des molécules de masse plus importante : c'est les polymères 4% du pétrole est utilisé pour fabriquer des matières caoutchouc. En sus de la résine, les additifs et adjuvants sont là pour améliorer les propriétés chimiques et physiques du matériau, notamment la résistance aux chocs, la couleur, la plasticité, la résistance au vieillissement, etc. Le schéma suivant illustre l'importance et la structure sommaire de la filière des matières Caoutchouc.

II 2 Caoutchouc des pneus**II.2.1. Introduction**

Dans un contexte d'augmentation de la production de déchets industriels et d'utilisation accrue des ressources naturelles épuisables. Les déchets de pneus usagés provenant de l'industrie automobiles, ne cessent d'augmenter chaque année avec l'utilisation abusive des véhicules industriels. Selon des statistiques récentes, la production mondiale annuelle des déchets de pneus usagés est estimée à 17 millions de tonnes.

Les dernières initiatives mondiales de diminution de la pollution de l'atmosphère, exigent l'utilisation des méthodes propres d'élimination des déchets, afin de protéger l'environnement vis-à-vis leurs effets nocifs [13], [14].

Pour maîtriser le flux des déchets des pneus usagés, la priorité est désormais donnée à la valorisation par réemploi, recyclage ou toutes autres actions qui visent notamment à obtenir, à partir de ceux-ci, des matériaux réutilisables. Sans doute que le recyclage de ce type de déchet sous forme des granulats de construction constitue une alternative, à faible coût économique et surtout écologique, aux granulats minéraux conventionnels épuisables [15] [16].

Les bonnes propriétés de caoutchouc qui dure des siècles pour être décomposé (bonne étanchéité, bonne absorption des chocs...), son incorporation dans les matériaux cimentaires, peut améliorer leurs propriétés physiques (mauvaise étanchéité, mauvaise isolation acoustique et thermique,...) [17], [18].

II.2.2. Généralité sur les pneus

Un pneu de voiture ou d'engin est composé principalement d'un mélange de caoutchouc, de noir de carbone, d'aciers et de textile divers. Les pneus usés ne sont pas catégorisés comme déchets toxique ou dangereux, mais en cas d'incendie un dépôt de pneus présente un danger pour la santé et l'environnement. Mis en décharge, les pneus provoquent une instabilité du sol de la décharge, se dégradant très lentement et créant des lieux propices à la nidification des moustiques et des rats. De plus, cela constitue un énorme gaspillage vu qu'un pneu à un pouvoir calorifique élevé. Une directive européenne interdit la mise en décharge de pneus entiers à partir de 2003 [19]. A cet effet, il est grandement intéressant de savoir qu'il est difficile et coûteux à la fois d'assurer une bonne gestion des déchets quel que soit sa nature et en particulier les pneus, tout en respectant l'environnement. Mais de par le monde la création des entreprises homologuées devient une nécessité incontournable pour collecter les pneus usés afin de les valoriser.

Jusqu'à la décade précédente, le développement et la protection de l'environnement étaient des tendances qui apparaissaient comme de grande contradiction idéologique c'est ainsi que dans les années quatre-vingts, un certain nombre de catastrophes comme les forêts mortes, les lacs atrophiés, les accidents des entreprises chimiques et la disparition de certaines espèces animales, ont fini par changer l'opinion publique mondiale. On commençait alors à reconnaître que les investissements en faveur de la protection de l'environnement, ne sont plus des pertes pour la communauté et peuvent constituer une contribution positive dans le développement économique (réalisation de profit en termes de bilan) et la protection sociale (lutte contre le chômage) [20].

Dans cet ordre d'idée de développement économique et de la promotion sociale, les statistiques faites au niveau de la wilaya de Ouargla qui présente une zone d'activité industrielle très importante,

est en particulier le secteur d'hydrocarbure qui couvre la totalité du budget national, ayant un parc roulant qui est estimé à un chiffre global toutes catégories confondues de l'ordre de 60.000 pneus. Arrêté au 31/11/2003 par les services de mines de la wilaya, on peut conclure qu'elle présente une source intarissable. Qui demande une gestion rationnelle pour en tirer profit



Figure II 1 :Incendie sur le site de stockage des pneus usagés [23].

II 2.2 Définition et caractéristiques physiques des pneus

II.2.2.1. Définition

Mieux comprendre comment est composé un pneu permet de mieux analyser les produits qui peuvent en être retirés après un recyclage. L'enveloppe du pneu est décomposable en quatre éléments principaux : [18].

Bande de roulement : Une bonne adhérence

La bande de roulement. Constituée de caoutchouc synthétique et naturel. Sur un pneu neuf, cette surface sculptée garantit un kilométrage important, une bonne adhérence sur la route ainsi qu'une bonne évacuation de l'eau

1. **Les nappes ceintures.** Cette couche, située juste sous la bande de roulement, permet de rouler à vitesse élevée Elles sont faites d'une corde solide de nylon incrustée dans du caoutchouc. Cette corde s'enroule sur la circonférence du pneu, d'un côté à l'autre, sans se chevaucher.
2. **Les bandages d'acier.** Les bandages d'acier confèrent au pneu sa rigidité, ce qui :
 - Améliore le maintien de la forme et de la stabilité directionnelle
 - Réduit la résistance au roulement
 - Augmente la performance kilométrique du pneu.

Carcasse : À l'intérieur de votre pneu

4. La nappe textile. Cette couche de textile – composée de rayonne caoutchoutée ou de polyester – contrôle la pression interne du pneu et permet de maintenir sa forme.

5. Le calandrage. Une couche étanche faite de caoutchouc butyle qui remplit deux fonctions cruciales :

- Rend hermétique la chambre intérieure remplie d'air, pour permettre le contrôle de la pression.
- Agit comme un tube interne pour les pneus sans chambre à air d'aujourd'hui.

6. Le flanc. La partie latérale de votre pneu – reliée à la bande de roulement par l'épaule. Constitué de caoutchouc naturel, le flanc protège la carcasse des dommages externes et des conditions atmosphériques.

Talon : Connecte votre pneu à la roue

7. La bandelette. Constituée de nylon ou d'aramide – une fibre synthétique solide et résistante à la chaleur, ce câblage fin :

- Améliore la stabilité directionnelle
- Facilite la précision de la réponse en courbe.

8. L'apex. Une partie stabilisatrice faite de caoutchouc synthétique. L'apex a les mêmes fonctions que les bandelettes tout en fournissant un confort de direction supplémentaire.

9. La tringle. Au cœur du talon, la tringle est constituée de fils d'acier incrustés dans du caoutchouc. Le cœur garantit une attache sécurisée au bord de la jante.

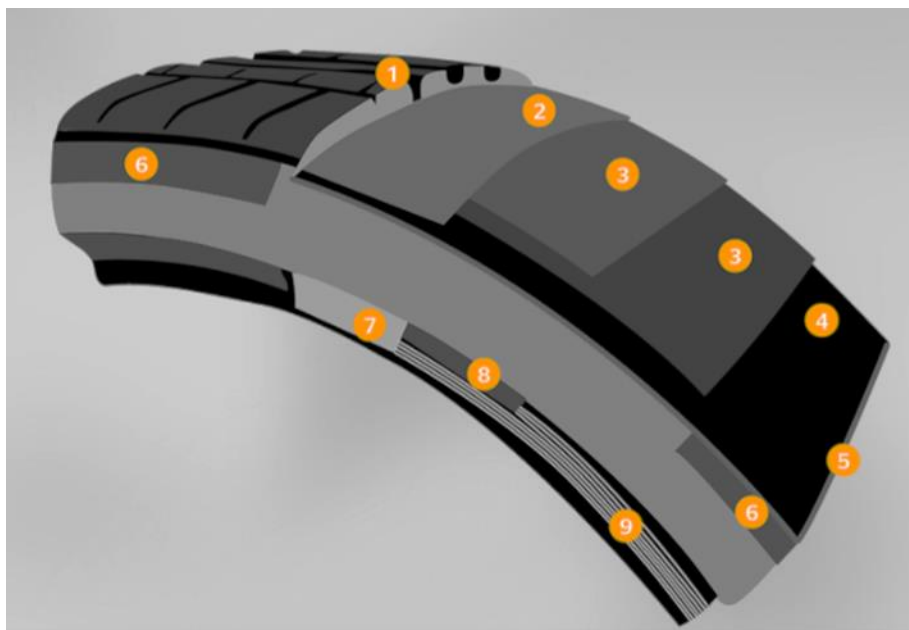


Figure II 2: Coupe d'un pneu.

II 2.2.2. Caractéristiques physiques et chimique des pneus

Sur le plan chimique, un pneu est un mélange à base de caoutchouc synthétique ou naturel, dans lequel sont ajoutées des éléments améliorant les qualités de résistance et de sécurité, tels les plastifiants, les charges renforçant (noir de carbone), et les agents vulcanisant (dont le soufre). D'autres composés chimiques sont ajoutés pour rendre plus performante la délicate opération de vulcanisation (accélérateur ultra accélérateur, activateurs, oxyde de zinc odorants) [25].

Cependant, il faut savoir que la composition réelle des pneus est largement gardée secrète par les manufacturiers, rendant par là même, leurs recyclages plus difficiles.

Tableau II 1 : donne la composition moyenne d'un pneu pour véhicule léger et lourd

Matériaux	Pneus tourisme (%)	Poids lourds (%)
Caoutchouc/élasto mètre	48	43
Noir de carbone et silice	21.5	21
Métaux	16.5	27
Textiles	5.5	-
Oxyde de zinc	1	2
Soufre	1	1
Autre produit chimique	7.5	6

Tableau II 2: Caractéristiques physiques d'un pneu [20].

Caractéristiques	Tourisme (VL)	Tourisme (VL)
Poids moyen	7 kg	50 kg
Densité moyenne	0,2 entier	0,4 déchiqueté
Nombre de pneu/m ³	20	3
Présente de métal	15%	25%

II.2.2.3. Les fonctions et la structure du pneumatique

La structure radiale du pneumatique est constituée d'une carcasse textile très souple verticalement afin de permettre un contact optimal à pression uniforme du pneumatique sur le sol, et d'une ceinture métallique très raide longitudinalement et transversalement, qui permet d'engendrer des efforts longitudinaux et transversaux aussi élevés que possible pour les fonctions de transmission et de guidage. La zone basse, constituée d'une tringle et d'un talon, permet d'assurer le montage de l'enveloppe sur la jante ; l'étanchéité est assurée par une gomme intérieure très imperméable à l'air. [24].

II 2.2.4. Valorisation est domaine d'application des pneumatiques

Les problèmes engendrés par la dispersion de déchets de pneus rendent difficiles leur collecte et leur valorisation. Ces déchets constituent alors une menace de nuisance pour notre environnement dépôts sauvages, émission de fumées toxiques dues au brûlage ; la mise en décharge constitue un gaspillage de matière et d'énergie. Cependant les pneus usagés peuvent suivre différentes filières de valorisation : [20].

A) Réutilisation par rechapage

Il s'agit des pneus dont la bande de roulement a atteint sa limite d'usure, mais dont le support est intègre en ayant conservé tout son potentiel de sécurité. Le rechapage consiste à ôter la bande de roulement usée et à la remplacer par une bande neuve, en garantissant au pneu rechapé des performances identiques à un pneu neuf, en toutes saisons et dans les mêmes conditions d'utilisation.

B) La valorisation énergétique

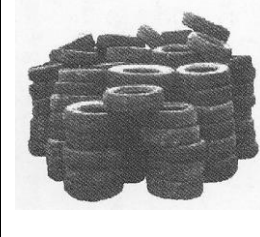
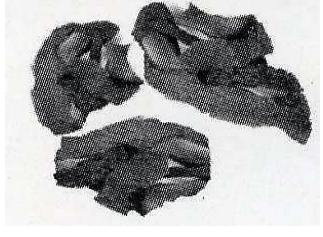
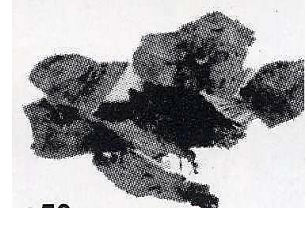





Le caoutchouc a un pouvoir calorifique élevé. Les déchets de pneus peuvent donc servir de combustible de qualité dans les fours de cimenteries et chaudières industrielles, Centrales thermiques, Unités d'incinération. [20].

B) La valorisation en matière

La valorisation matière est le processus de traitement et de transformation des pneus usagés qui en permet une nouvelle utilisation sous une autre forme, par exemple en broyats, en granulats ou en poudrette et c'est application dans :

_ Aires de jeux _ Piste d'athlétisme _ Bétons _ Eclisses de tramway _ Ecrans acoustiques _ Enrobés routiers _ Revêtement de chaussées _ Gazons synthétiques _ Objets moulés et pièces automobiles _ Recyclage de fils métalliques [20].

Tableau II 3: Différents types de granulat pneus

			
Pneus entiers	Pneus déchiquetés Dimension > 50 mm	Pneus déchiquetés Dimension > 50 mm	Granulats 7/15 mm
			
Granulats 2/7 mm	Granulats 0,5/2 mm	Poudrettes 0/0,5 mm	Poudrette < 50 µm

D) La valorisation en travaux publics

Le broyage de pneus utilisés comme : remblais, confortement de digue et le recyclage sous forme de déchiquetés, granulats dans les applications du type enrobés, etc. Utilisation de granulats en caoutchouc issus de broyage de pneus usagés, en substitution volumique des granulats naturels dans la confection du béton [25].

E) les fibres métalliques

Peuvent être utilisées comme renfort.

II 2.2.5. Propriétés de matière caoutchouc

Le caoutchouc brut (latex coagulé) est un polymère naturel blanc ou incolore, dont la plus petite unité est l'isoprène, de formule (C₅H₈). A la température de l'air liquide (environ 195 °C). Le caoutchouc brut est un solide dur et transparent de 0 °C à 10 °C, il est cassant et opaque ; au-dessus de 20 °C, il devient mou, élastique et translucide. Lorsque le caoutchouc est malaxé mécaniquement ou chauffé au-dessus de 50 °C, il devient plastique et collant. Il se décompose au-dessus de 200°C. [20].

Le caoutchouc brut est insoluble dans l'eau, les bases et les acides faibles ; il est soluble dans le benzène, le pétrole, les hydrocarbures chlorés et le sulfure de carbone. Il est facilement oxydé par les oxydants chimiques et lentement par l'oxygène de l'air

A) Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques décrivent le comportement des matériaux soumis à des sollicitations mécaniques telles que des pressions, des étirements, des torsions, des frottements, des cisaillements, des chocs ou sous l'effet de la pesanteur. Elles dépendent fortement du type de contrainte appliquée

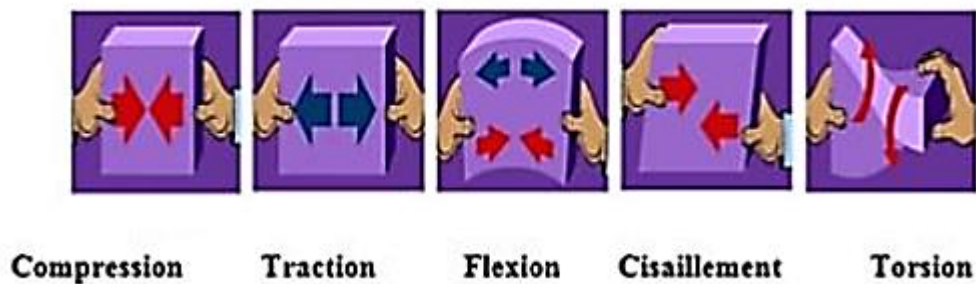


Figure II 3: Différentes sollicitations mécaniques [21].

II.2.3.6 Durée de vie du caoutchouc

Une dizaine d'années plus tard (≈ 1850), la technologie du caoutchouc connut une nouvelle avancée avec l'apparition des fours à vieillissement accéléré permettant d'étudier la détérioration du caoutchouc dans le temps. On put alors mesurer rapidement les pertes de propriétés dans différentes conditions, en particulier lors de l'exposition à l'oxygène atmosphérique. L'utilisation de ces fours permit de tester différents produits chimiques et d'ajouter des antioxydants qui augmentent la durée de vie des produits en caoutchouc, comme les pneus pour les véhicules et les articles souples, tels que gants, toiles et tuyaux. D'autres progrès vinrent de l'utilisation du latex non coagulé. On introduisit des méthodes permettant d'extruder le caoutchouc en fils minces pour l'utilisation textile ; on put également déposer le caoutchouc sur des métaux et d'autres matériaux [20].

II.2.2.7. Chiffre

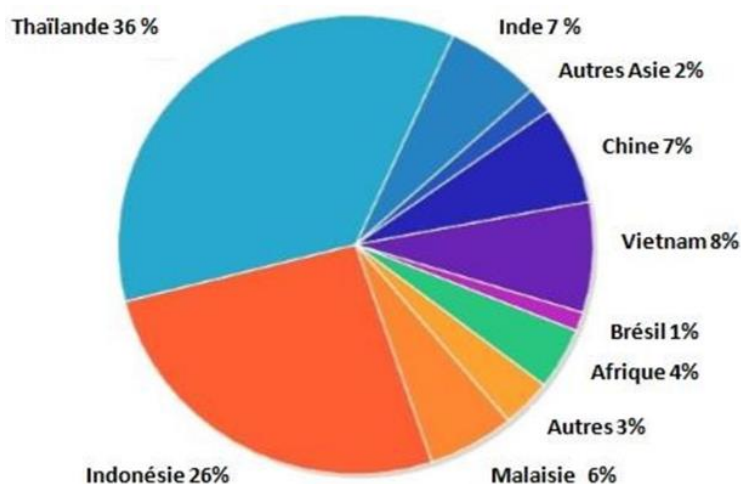
On produit 10.9 millions de tonnes de caoutchouc par an dans le monde, soit 340 kilos de caoutchouc par seconde (compteur) ; essentiellement produit par les hévéas et consommé par l'industrie automobile pour les pneumatiques [22].

Tableau II 4: Productions, en 2010, en milliers de tonnes. Monde.

Région	Productions en milliers de tonne
Asie-Océanie	7065
Union européenne	2481
Amérique du nord	2458
Reste de l'Europe	1403
Amérique latine	653
Afrique	66

En 2010, la production dans l'Union européenne est de 798 346 t d'ABS (dont Espagne : 97 809 t, Italie : 96 931 t) et de 188 322 t de SAN (dont Italie : 16 450 t, Royaume Uni: 762t [23]).

La production mondiale de caoutchouc naturel s'est élevée à 11,8 millions de tonnes en 2014. La part de l'Asie dans ce chiffre est supérieure à 91%.

**Figure II 4:** La production mondiale de caoutchouc naturel en 2014 [23].

II.2.2.8. Recyclage de caoutchouc

Les difficultés liées au recyclage des caoutchoucs sont nombreuses, à la fois économiques et techniques. La consommation apparente de produits finis vulcanisés s'établit à 700000 Van, ils sont répartis en deux grandes catégories :

Les déchets de pneumatiques (60%) et les déchets de caoutchoucs industriels (40%) Dans une optique de valorisation, il est essentiel de considérer le gisement disponible, c'est-à-dire celui qui peut être récupéré et traité dans des conditions économiquement viables.



Figure II 5: Processus de recyclage de déchets de caoutchouc [24].

II.3. Béton de déchets de caoutchouc

II.3.1. Définition

Le béton de déchets de caoutchouc est obtenu en incorporant dans la masse de béton des éléments qui sont les déchets plastiques composante de forme et de nature diverses.

II.3.2. Propriété du béton de déchets de caoutchouc

II.A. Propriétés à l'état frais

Güneyisi et al. [25], ont étudié des propriétés mécaniques des bétons de caoutchouc dont de 0% à 20% de la masse du ciment est remplacée par la masse de fumée de silice (SF).

La **Figure II. 5** (a) illustre l'évolution de l'affaissement en fonction du dosage en G.C. et du dosage X% de la fumée de silice SF. Ces auteurs observent que l'affaissement du béton est diminué avec l'augmentation de caoutchouc. Pour le dosage de 50% de G.C., l'affaissement est presque nul.

L'étude réalisée par Khaloo et al. [26], a indiqué une conclusion un peu différente par rapport à d'autres auteurs. En effet, d'après cette étude le béton incorporant des G.C. a une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition

Figure II.6. Néanmoins, leurs résultats montrent que la procédure ordinaire pour évaluer l'affaissement n'est pas appropriée à ce composite cimentaire. Ils ont donc suggéré qu'il fallait chercher d'autres méthodes pour mesurer correctement l'affaissement du béton incorporant des granulats en caoutchouc.

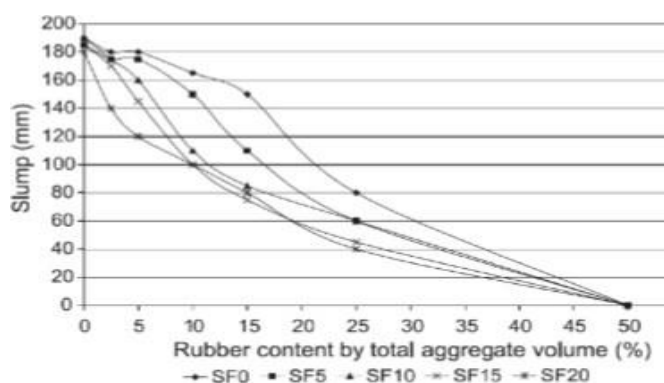


Figure II 6: Influence de G.C. sur l'affaissement [25].

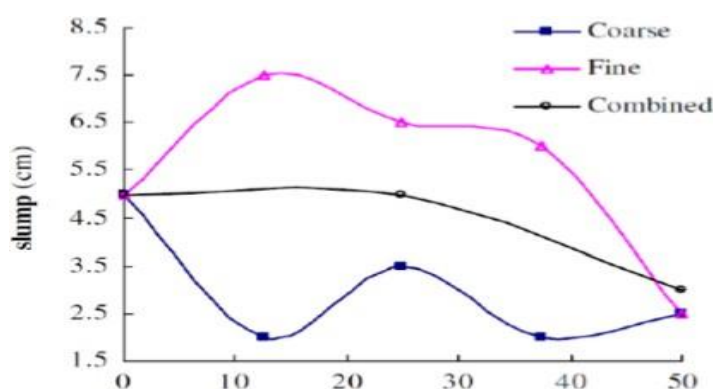


Figure II 7: Influence de G.C. sur l'affaissement [26].

La masse volumique d'un béton dépend de sa composition en particulier de la densité des granulats utilisés. Le béton incorporant des G.C. en substitution des granulats naturels naturellement une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire. Si on se réfère à la classification des bétons légers établie par l'ACI Comité 213 [27], avec l'incorporation de G.C. on peut envisager la production de bétons légers de structure.

Comme le montre la **Figure II.8**, Güneyisi et al. [25], ont observé une chute de 25% de la masse volumique avec un taux de substitution de 50% de G.C. par rapport au béton de référence (la légende étant celle utilisée précédemment à la **Figure II.5**. Kaloush et al. [27], ont aussi indiqué que la masse volumique diminue approximativement de 102 kg/m³ pour chaque 22,7 kg de G.C. ajouté, une tendance illustrée par la **Figure II-14**.

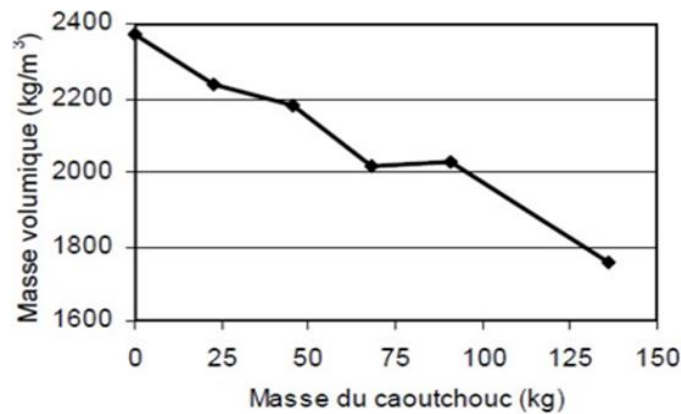


Figure II 8 : Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C.[31]–a ,[28]-b

II.B. Propriétés à l'état durci :

A) Résistance en compression :

La caractéristique essentielle des matériaux cimentaires durcis est la résistance en compression à un âge donné. Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance des propriétés mécaniques est indispensable pour le dimensionnement des ouvrages. Ainsi, l'étude de cette résistance en compression peut permettre d'avoir une idée globale sur la qualité du béton. On verra que la résistance en compression du béton dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, la condition de réalisation et de cure, etc. [29].

Dans les matériaux cimentaires, dont une partie des granulats naturels est remplacée par des G.C. de nature, de forme, de densité et en général de propriétés physiques tellement différentes de celles des granulats naturels, de toute évidence il est attendu que ces propriétés du caoutchouc vont influencer la résistance en compression des composites obtenus. Les chercheurs qui ont travaillé récemment sur les matériaux cimentaires incorporant des G.C. ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des G.C. entraînait inévitablement une chute de la résistance en compression. Des observations au vidéo microscope montrent un défaut d'adhérence manifeste et une auréole de transition plus étendue entre la matrice cimentaire et les grains de caoutchouc. La photographie de la **Figure II.9** Les défauts d'adhérence, entre les G.C et la matrice, ont été mis en évidence à travers des observations au Microscope Electronique à Balayage (MEB). En effet, illustre l'état de la microstructure de mortier témoin comparativement au mortier de caoutchouc G.C Cette vue montre clairement que l'ajout de particules de caoutchouc provoque une porosité supplémentaire importante à l'interface G.C/Liant en raison de défauts d'adhérence.

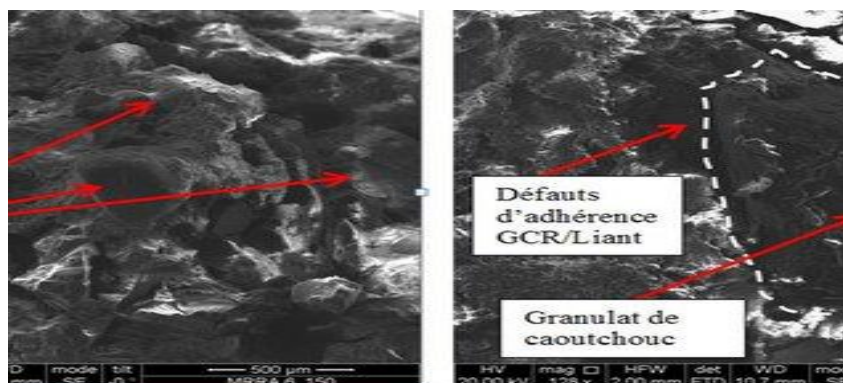


Figure II 9: Observations au MEB de la microstructure de mortier témoin (à gauche) et le mortier de caoutchouc (à droite) G.C et mise en évidence de la zone d'interface.

A) Propriétés de transfert :

Les propriétés de transfert comme la perméabilité aux fluides ou l'absorption d'eau sont des indicateurs de durabilité des matériaux à base cimentaire. Une étude réalisée par Ben azzouk et al. [31] a permis d'examiner l'influence de deux types de G.C., le caoutchouc expansif et le caoutchouc compact, sur des indicateurs de durabilité du composite ciment-caoutchouc. Le volume incorporé de chaque type de granulats en caoutchouc est compris entre 0 et 40%. Ces composites sont nommés ERAC et CRAC, respectivement. [29].

C) Perméabilité:

D'après ces auteurs, dont les résultats sont présentés dans le Tableau I.3, le coefficient de perméabilité à l'air diminue avec l'augmentation du taux de G.C. alors que la porosité augmente. Ils justifient ces constatations a priori contradictoires par le fait que le réseau poreux du composite incorporant des granulats en caoutchouc est plus discontinu. Cette conclusion de Benazzouk [31] peut être rapprochée des observations de Kerasley et Wainwright [32] qui, en étudiant des bétons mousses incorporant de cendres volantes, ont aussi constaté que malgré une porosité élevée, le réseau des pores plus discontinu entraîne une perméabilité à l'air nettement plus faible.

Tableau II 5: Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment-caoutchouc [31].

Volume GC	Coefficient de perméabilité a l'aire volume de GC.K(10-17m ²)	
	CRAC	ERAC
0	12,56	
10	10,25	9,85
20	4,38	2,95
30	3,24	2,23
40	2,36	1,74

D) Absorption d'eau :

S'agissant de l'absorption d'eau, on trouve une convergence entre les résultats de Benazzouk et al. [31] et ceux de Garros [33] mais avec des explications partiellement communes. Leurs résultats sont illustrés sur les **Figure II.10** et **Figure II.11** respectivement. Dans les deux cas la capacité d'absorption d'eau diminue avec le taux d'incorporation des G.C., ce que les premiers auteurs expliquent par le fait que le caoutchouc n'absorbe pas l'eau et qu'elle doit par ailleurs contourner un réseau poreux plus dense symbolisant ainsi une plus grande difficulté à se propager à l'intérieur du composite cimentaire. Quant à Garros, il évoque aussi la nature hydrophobe du caoutchouc et la dimension de l'aurole de transition qui n'est pas de taille à favoriser l'ascension capillaire.

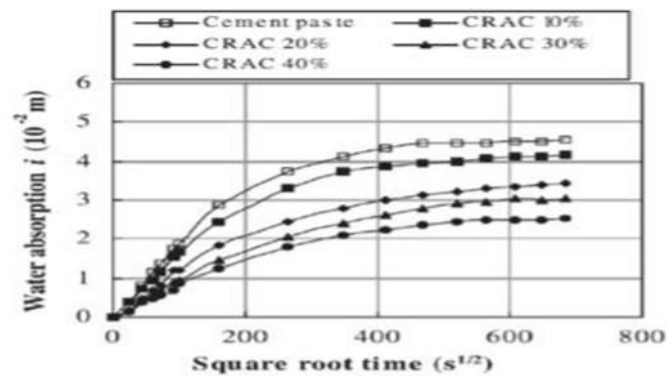


Figure II 10: Evolution de l'absorption d'eau en fonction du dosage en G.C.[31].

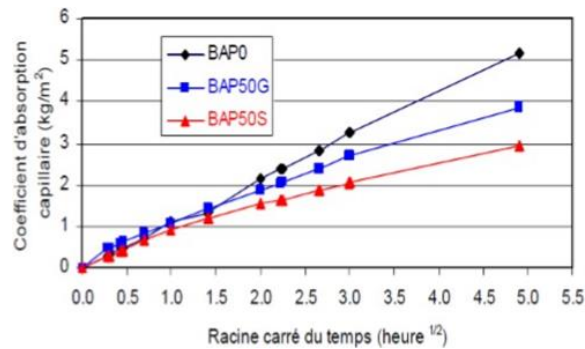


Figure II 11: Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C.[33].

II.4. Etude de Amar Benazzouk et all

L'étude menée portait sur la possibilité d'élaborer un béton léger, en introduisant des déchets de pneus à une granulométrie inférieure à 1 mm, avec la substitution des quantités de sable à des taux de 0, 25, 50, 75 et 100%, dans ce travail une campagne d'essais physico-mécanique a été menée notamment sur les de résistance à la compression et flexion trois points, ainsi des essais de physique en relation avec la variation dimensionnelle des éprouvettes testées. L'étude menée a permis de

montrée ; que la variation de la masse volumique sèche du composite, en fonction de la teneur en particules de caoutchouc, donnée par **Figure II. 11** Celle-ci diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc. Pour une teneur en particules de caoutchouc allant de 0 % (mortier de référence) 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. Outre la faible densité du caoutchouc, l'allègement du composite est également lié 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 (Eldin et Senouci, 1993[34], Topçu, 1995[35]).

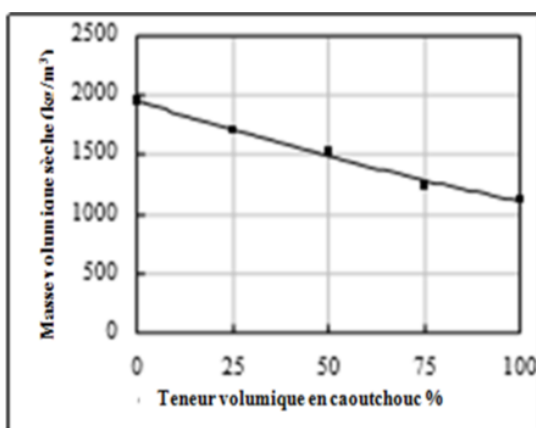


Figure II 12: Masse volumique sèche des composites

La variation de la résistance à la compression du composite, à 28 jours, à différentes formulations, est donnée par la **Figure II.13** 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 6,5 MPa ; soit une réduction de l'ordre de 82%. 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.

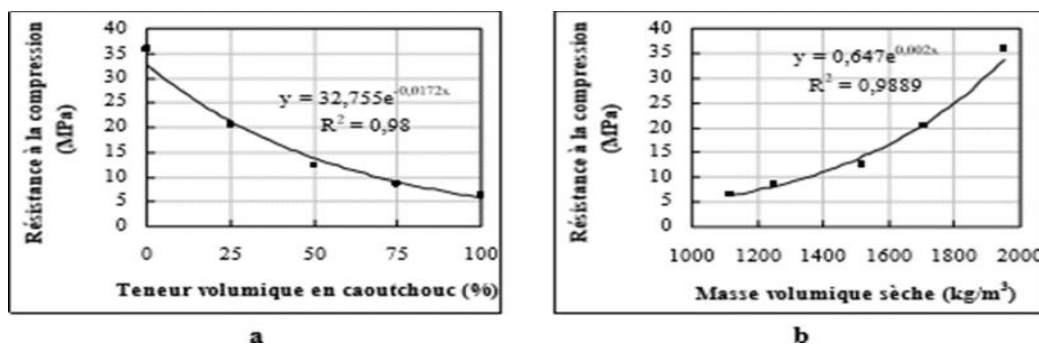


Figure II 13: La résistance diminue considérablement avec l'augmentation de la teneur en particules de caoutchouc.

L'évaporation de cette eau, au cours du durcissement, engendre une porosité supplémentaire dans la matrice. Le phénomène est accentué en raison de l'entraînement d'air. D'après **Figure II. 14**, la résistance à la compression) (MPa σ varie en fonction de la masse volumique du matériau) ρ (kg/m³) suivant l'expression $\sigma = 0,647 \exp(0,002 \rho)$, avec un coefficient de corrélation $R^2 = 98,02$. Cette évolution est similaire à celles obtenues dans le cas des bétons légers (Khedari et al. 2001)[36]. 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 RILEM (RILEM LC2, 1978) [37].

Figure II.14 montre que la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc. Elle varie de 4,1 MPa (pour le mortier de référence) à 2,6 MPa, pour une composition de 100% en caoutchouc. La baisse de la résistance à la compression est plus importante que celle de la résistance à la flexion (de l'ordre de 37%). 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 (Rossi, 1998). Par ailleurs, une diminution de la quantité d'eau de gâchage permettrait de pallier en partie cette baisse de résistances et d'améliorer, en conséquence, les propriétés mécaniques du matériau puisque le dosage en eau est étroitement lié à la porosité [38].

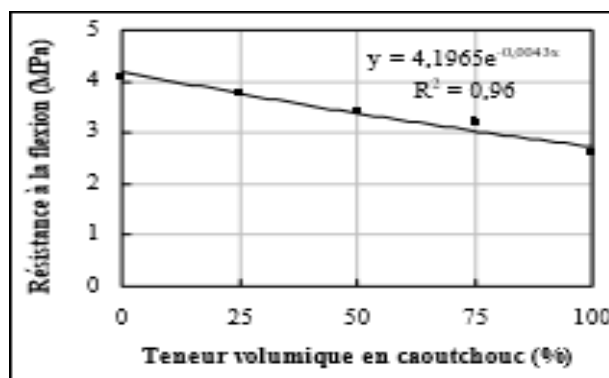


Figure II 14: Evolution de la résistance à la flexion des composites

II 5. Valorisation et réalisations en Algérie par la technique pneu sol

Plusieurs réalisations en Pneu sol ont été effectuées dans le monde et en Algérie, nous citons dans ce qui suit quelques réalisations importantes :

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).

L'Algérie comme certain d'autre 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.

II.5.1. 1^{er} ouvrage [2005]

Projet pilote ; réalisation d'une planche expérimentale, qui a consisté à l'exécution d'un remblai par la technique 'Pneu sol'. Ce remblai a été mis en place au pied d'un grand talus d'une hauteur de 13m, exécuté dans le cadre des travaux de réalisation de l'évitement de la ville de Bou Smail dans la wilaya de Tipaza. Ce projet qui est le premier dans son genre en Algérie, a comme rôle principal d'augmenter stabilité du talus de la route, et de raidir sa pente et enfin alléger les charges sur le côté aval d'un dalot.

Nombre de Pneus utilisés : 5353 Pneus [Michelin Algérie].

Inauguration et mise en circulation 12 mai 2005.



Figure II 15: Pose des nappes de pneus Projet pilote – Route de Bou Smail.

Les différents contrôles et vérifications de la stabilité d'ensemble de cet ouvrage, pour la mesure des déformations dans le temps, en particulier les déplacements en tête de l'ouvrage, ont montré un comportement et une stabilité parfaite jusqu'à l'heure actuelle.

II.5.2ième ouvrage [2006]

Ce cas est similaire au glissement de grande masse. C'est un ouvrage réalisé en Algérie par les propres moyens d'un particulier, suivie particulièrement par l'expert de l'E.N.S.T.P. Les pneus fournis par Michelin Algérie sont des pneus poids lourds entiers, le sol utilisé pour le remblai «pneu sol» étant le même sol existant sur site.

Nombre de Pneus utilisés : 1000 Pneus. Réalisation et finalisation en 2006



Figure II 16 :Stabilité d'un glissement de terrain - Cas de TiziGhenif –Wilaya de Tizi Ouzou Algérie

De même, les différents contrôles et vérifications de la stabilité d'ensemble de cet ouvrage, en particulier les déplacements en grande masse, ont montré une stabilité parfaite jusqu'à l'heure actuelle.

II.5.3. Aires de jeux

Les propriétés élastiques des granulats de pneus en font un matériau particulièrement intéressant pour la fabrication d'aires de jeux amortissant. Ces éléments alvéolés permettent une absorption importante des chocs et garantissent une grande sécurité pour les aires de jeux. Cette sécurité est conforme à la norme européenne EN 1177 relative aux aires de jeux et qui impose des sols sachant amortir les chutes des enfants.



Figure II 17: aires de jeux

II.5.4. Bassins d'infiltration

Le pneu usagé broyé est couramment utilisé pour l'aménagement de bassins d'infiltration. Il retient des volumes d'eau importants, tout en conservant la solidité suffisante pour supporter une route sans déformation sous de lourdes charges



Figure II 18: Bassin d'infiltration

II.5.5. Bétons

Des études sont en cours afin d'étudier les opportunités résultant de l'incorporation de granulats issus du broyage de pneus usagés dans des mortiers et bétons à base cimentaire. Par cette incorporation, il s'agit à la fois d'alléger le béton et d'en augmenter les performances (accroissement de la résistance à la fissuration et de la capacité de déformation de ces matériaux).

Ces différentes utilisations des granulats ou de fibres textiles de pneus usagés dans des matériaux à base cimentaire représentent de voies de valorisation à exploiter. Depuis dix ans, l'industrie cimentière s'est engagée à réduire sa consommation d'énergie fossile tout en garantissant le maintien de la qualité des ciments. Avec l'utilisation de broyats de pneus ou de pneus usagés entiers comme combustible de substitution, les cimenteries participent à la préservation des ressources naturelles et au recyclage des produits en fin de vie. Cette solution permet d'économiser du coke de pétrole, du charbon et du fioul lourd. Bien entendu, le recours à des pneus s'effectue dans des conditions d'utilisation particulièrement strictes et encadrées.

II.5.6 Drainage

Etude de faisabilité sur l'évaluation de la valeur des pneus déchiquetés en fonction de drainage. Les pneus usés ont une conductivité hydraulique élevée, Agrégat naturel équivalent au gravier. Par conséquent, l'utilisation de matériaux déchiquetés peut être une opportunité intéressante, en particulier dans les entrepôts de stockage. Déchets. Les recherches en cours visent à établir des recommandations et des recommandations Utilisez des pneus hachés de camions lourds et de camions légers comme couche drainer. Cette étude couvre également les exigences techniques minimales pour assurer Durabilité technique et respect de l'environnement



Figure II 19: La valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage.

II.6. La recherche en Algérie sur l'utilisation poudrette de caoutchouc dans les chaussées routières.

En 2007, une étude particulière a été lancée au niveau de l'ENTP sur l'utilisation de la poudrette de caoutchouc dans les chaussées routières (revêtement des chaussées). Cette recherche s'effectue au laboratoire de l'école, elle s'axe sur les procédés innovants dans le traitement de la fissuration des chaussées routières, principalement dans les zones à haute température et en parallèle avec le

Ministère des Travaux Publics des planches d'expérimentation par inclusion d'un pourcentage de poudrette dans l'asphalte sont prévues au sud Algérien, ceci permettra de donner une souplesse aux enrobés afin d'éviter le phénomène de fissuration et en même temps réduire la nuisance sonore. Pour la réalisation de l'asphalta caoutchouté, les pneus sont utilisés sous forme de granulats ou de poudrette pour la fabrication des enrobés destinés aux couches de roulement des routes. Les différentes fractions granulométriques utilisées sont : 0/0,5 mm, 0,5/2 mm, 2/7 mm et 7/15 mm. La poudrette est incorporée comme granulats dans le mélange à la fabrication de l'enrobé (en moyenne 15%).

Cette application vise à améliorer les caractéristiques acoustiques de l'enrobé. Le dosage est de l'ordre de quelques pourcents. Les poudrettes rentrent également dans la fabrication des enrobés drainant...



Figure II 20: Technique de l'asphalte caoutchouté

II.6.1. Gazon synthétique

Le gazon artificiel est composé de gazon synthétique, qui a généralement Rejoignez le lit de sable avec une couche d'agrégat libre. Cette La technologie permet au stade d'être utilisé par tous les temps et toutes les saisons car La peinture ne s'inquiète pas du givrage en hiver, de la sécheresse en été ou des inondations pluie.

Il nécessite très peu d'entretien et ne nécessite pas d'arrosage. Plus important encore, ce terrain peut Il est très similaire à la pelouse naturelle à jouer.

De nombreuses communes ont aménagé des stades municipaux avec ce gazon synthétique. De même, plusieurs clubs se sont dotés de ce type de terrain ; c'est notamment le cas de l'un des terrains

de l'équipe de France de football à Clairefontaine et d'un autre à Marcoussis pour l'équipe de France de rugby. En 2005, Alia pur a engagé, notamment avec l'Ademe et le groupement d'intérêt scientifique EEDEMS, un programme d'études scientifiques évaluant les risques environnementaux et sanitaires des matériaux de remplissage des gazons synthétiques. Il en ressort que ces revêtements n'ont aucun impact sur la santé des utilisateurs ou sur l'équilibre environnemental.

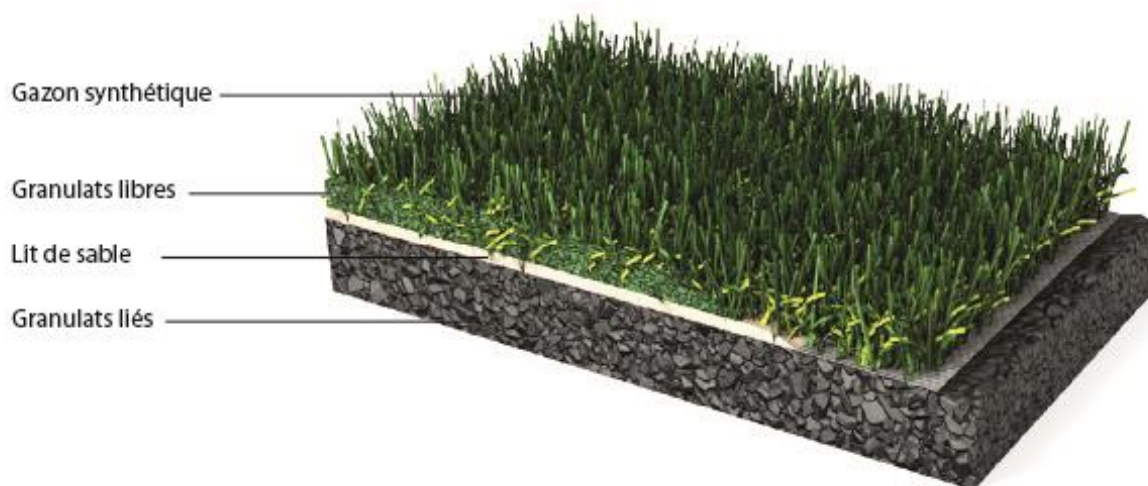


Figure II 21 : Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3ème génération.

II.6.2. Autres domaines d'application

Les miettes de caoutchouc peuvent réduire les vibrations causées par la plate-forme (Tram) Utilisez l'agrégat comme couche anti-vibration. Le premier résultat est Espérons que cela devrait conduire à des expériences. Parce qu'elle peut être à la mode Isoler la chaleur et réduire le bruit du toit, l'agrégat peut être combiné avec Adhésifs ou résines pour produits moulés, notamment sur le terrain Mobilier urbain. Ils peuvent donc être des ralentisseurs, des pads de signal, Accessoires de pistes cyclables et même fabrication de chaussures.

II.7. CONCLUSION.

Les déchets sont un vrai problème, un problème inhérent à toute vie biologique et à toutes les activités Industrie, agriculture ou ville, il faut donc vraiment trouver des solutions Pour la communauté. Par définition, le déchet est une "substance", au sens de sa chimie biophysique, La principale exigence de la mécanique et de la thermodynamique est d'y faire face.

Ce matériel n'est pas anodin. Elle a une vie, elle mute souvent dans la vie Finalement, il devient une poubelle et une décharge. Avec cette diversité moléculaire, Il est nécessaire de trouver un moyen d'extraire des fractions récupérables ou Réduisez la capacité de déranger les gens.

Plusieurs types de déchets et sous-produits peuvent être utilisés comme agrégats. Laitier Les hauts fourneaux et les cendres volantes ont été développés commercialement.

L'utilisation de divers déchets dépend de sa rentabilité opérationnelle et de sa Caractéristique. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Suivre les conclusions peut être fait baser sur les études effectuées par divers chercheurs :

- 1-** les déchets caoutchoucs peuvent être employés pour remplacer certaine quantité de sable dans un béton. Ceci contribue à réduire le poids spécifique du béton. C'est utile dans les applications exigeant le béton léger non roulement, tel que les panneaux utilisés dans les façades.
- 2-** Les déchets caoutchoucs présentent une meilleure résistance au cycle gel dégel, et au feu.
- 3-** l'effet du rapport d'eau-ciment du développement de résistance n'est pas en avant dans le cas du béton en caoutchoucs. C'est en raison du fait que les déchets en caoutchoucs réduisent le lien force de béton. Par conséquent, l'échec du béton se produit en raison de l'échec du lien entre la pâte de ciment et les déchets de caoutchouc.
- 4-** utilisation de déchets en caoutchouc aidés en gardant le refroidisseur intérieur, quand l'extérieur. La température est augmentée, par rapport au béton correspondant de commande.

CHAPITRE III : Partie expérimentale

III.1. Introduction

Nous présenterons dans cette partie pratique, qu'a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique du département génie civil.

Cette partie est consacrée à la formulation de plusieurs variantes (dix mélanges) de mortier avec différents pourcentages de substitution de sable par deux types de déchets, à savoir la poudre de verre et les déchets de pneus sous forme de granulats, introduits séparément et mélangés, l'ensemble des variantes seront soumises aux essais physicomécaniques, telles que la détermination des masses volumiques et les résistances mécaniques en flexion et en compression à différents âges (7 et 28 jours).

III.2. Les matériaux utilisés dans cette partie sont

- ✓ Le sable
- ✓ Le ciment
- ✓ L'eau potable du laboratoire
- ✓ Super plastifiant
- ✓ Caoutchouc
- ✓ Plastique

III.2.1. Le sable

III.2.1.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé*

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de Bouira, Suivant les normes françaises AFNOR.

A. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555[39]

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

a) Mode opératoire

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 760 ml. On prend un échantillon de masse 1130 g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 760 ml et on y verse 290 ml d'eau préparé préalablement dans 2^{ème} récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (**V**) ce volume. Sachant que le volume (**V_e**) d'eau versé est **290ml**, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. Volume de sable : **V₁=V- 290 (ml)** La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule : **$\rho = m/v_1$**

Avec : $M = 1130 \text{ g}$

B. Résultats obtenus

Tableau III 1: Masse volumique absolue du sable

N° d'essai	M(g)	Ve(cm ³)	V1(cm ³)	$\rho(\text{g/cm}^3)$
1	1130	290	840	2,40

C. Masse volumique apparente : NF P 18-554[40]

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existants entre les grains.

Cet essai est réalisé selon la norme **NF P 18-554[40]**

a) Mode opératoire

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un récipient ;
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec ;
- On pèse le récipient vide **M1** ;
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable ;
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit **M2** en poids ;
- Volume de récipient **Vr = 760 cm³** ;

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

$$\rho_{\text{app}} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

b) Résultats obtenus

Tableau III 2: Masse volumique apparente du sable

N° d'essai	M(g)	M2(g)	$\rho (\text{g/cm}^3)$
1	50	1180	1,48

D. Porosité : NF P 18-554[40]

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100 \rho L$$

$$P\% = \left[1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{ab}}\right] \times 100 = 38.33\%$$

E. Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau. La compacité donnée par la formule :

$$C = \left[\frac{\rho_a}{\rho_{ab}}\right] = 100 - PC = 61,66 \%$$

F. L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100 - P)} = 0,38$$

Avec P en pourcent (%)

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants :

	Porosité P%	Compacité C%	Indice des vides E
Sable	38.33	61.66	0.38

G. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique **NF P 18-560[41]**, permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

1. Tamisage.

2. Sédimentation. La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissante.
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau. Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

a. Mode opératoire

- Prélever (**1 kg**) de matériau (**sable sec**) ;
- Peser chaque tamis à vide à **1 g** près, soit mi la masse du tamis ;

- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-4-3,15-2-1-0,5-0,25-0,125-0,08** et éventuellement **0,08mm**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond ;
- Verser le matériau (**sable sec**) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis ;
- Peser chaque tamis séparément à **1 g** près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel **R1** du tamis1 ;
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur ;
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumuler du tamis 2 ($R_2=R_1+\text{Refus partiel sur tamis}$) ;
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4, Le tamisât cumuler est donné par la relation suivante : $T= 100 - R_c$ Où:
- T: Tamisât en %
- RC : Refus cumulés en %

Tableau III 3: Analyse granulométrique du sable

Ouverture des tamis (mm)	Teneur(%)	
	Refus cumulés	Tamisât cumuler
5	00,30	100
4	13.30	98.70
3 ,15	45.30	95.50
2	257.30	72,50
1	857.30	14.30
0,5	917.30	14.30
0,25	967.30	8.30
0,125	977.30	3.30
0,08	980.30	2.30
FT	100	00,00

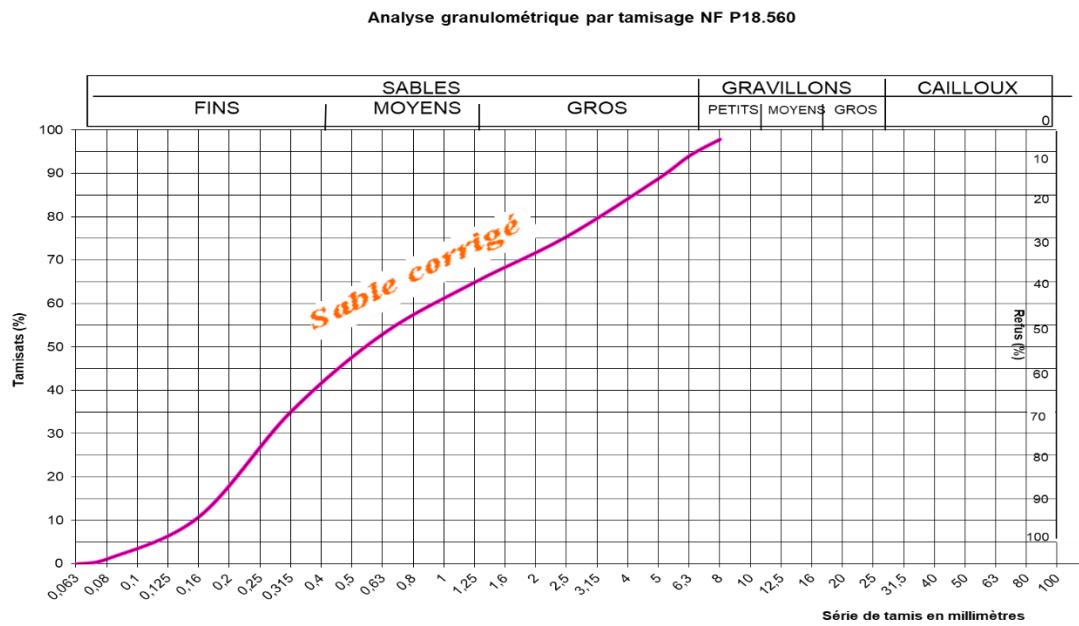


Figure III 1 : illustre la distribution granulométrique du sable utilisé dans notre travail



Figure III 2: appareil de vibration

H. Module de finesse

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0,125-0,25-0,5-1-2 et 4(mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante : $Mf=3,9$.

Les normes Algérien spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros $M_f > 2,5$
- Sable moyen $2 < M_f < 2,5$

Sable fin $1,5 < M_f < 2$

- Sable très fin $1 < M_f < 1,5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

- ✓ **Pour le sable $M_f > 2,5$: C'est un sable gros.**

III.2.2. Ciment

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment Portland composé CEM II/A-M (P-L) 42,5 N

III.2.2.1. Caractéristiques du ciment CEM II/A-M(P-L) 42,5 N

A. Descriptions du produit

Ciment Portland composé. Dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment selon la norme *NA442/2013* [42].



Figure III 3 : Ciment GICA (Sour el Ghozlane) /CEM II/A-M(P-L) 42,5 N.

B. . Constituants principaux

Les constituants principaux du ciment sont présentés dans le tableau IIV.8 suivant :

Tableau III 4: Les constituants principaux de ciment

Comp osés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	CaO _I	PAF à 1000 C°
%	20,06	03,99	03,04	61,57	01,62	00,54	00,26	00,06	<0,001	1,56	7,16

Tableau III 5: Représente les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé

Surface spécifique g/cm ²	Consistance Normal(%)	Début de prise (Heure:min)	Fin de prise (Heure:min)
4000	26,11	151	322

III.2.3. Déchets de Caoutchouc

Types de déchets de caoutchouc sont incorporé dans la masse du mortier, obtenus par le recyclage des pneus usagés rejetées dans la nature, après avoir étaient collectés, sont lavées, compressées, broyées et extrudés sous forme des grains et poudre, puis ajoutés dans la masse du mortier par rapport à la masse du sable avec des pourcentages de (10% ,20%,30%).

III.2.3.1. Déchets de pneus

Ce sont des déchets obtenus par le recyclage des pneus Figure.III.4 ils sont caractérisés par la forme des grains non compressibles :

**Figure III 4:** Déchets de pneus sous forme de granulats.

Tableau III 6: Les différentes caractéristiques des déchets de caoutchoucs utilisés

Caractéristiques	Déchet de pneus
La masse volumique absolue (g/cm ³)	0,44
La masse volumique apparente(g/cm ³)	2.4
La porosité(%)	81.66
La compacité(%)	18.33

a. L'absorption de matériau de caoutchouc

b. Mode opératoire

- Copper un morceau de caoutchouc issu de pneumatique ;
- Peser le morceau sec ;
- Mettre le morceau sec dans l'eau pendant 24h ;
- Après 24h on enlève le morceau de l'eau on le sèche et on le peser.

$$\text{Abs} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

$$\text{Abs} = \frac{33 - 32}{32} \times 100 = 0,03\%$$



Figure III 5: L'essai de l'absorption de caoutchouc.

III.2.4. Déchets de plastique

Types de déchets de plastique sont incorporé dans la masse du mortier, obtenus par le recyclage des sachets usagées rejetées dans la nature, après avoir étaient collectés, sont lavées, compressées, broyées et extrudés sous forme des grains, puis ajoutés dans la masse du mortier par rapport à la masse du sable avec des pourcentages de (10% ,20%,30%).



Figure III 6 : Déchets de plastiques sous forme de granulats

Tableau III 7 : Les différentes caractéristiques des déchets de plastiques utilisés

Caractéristiques	Déchet de plastique
La masse volumique absolue (g/cm ³)	0,46
La masse volumique apparente(g/cm ³)	0,89
La porosité(%)	48.31
La compacité(%)	51.68

III.2.5. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de laboratoire de génie civil de l'université. Associé au ciment, l'eau remplit deux fonctions : D'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte.

III.2.6 Adjuvant «super plastifiant »

L'adjuvant utilisé est un Super plastifiant / Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne « SIKA-Algérie » (Voir l'annexe). Lesikaviscocrete 665 **Figure. III.7** de forme liquide de couleur marron, d'un PH égal à $5 \pm 0,01$, de densité $1,085 \pm 0,015$ et d'une teneur en chlore $<0.1\%$



Figure III 7 : Adjuvant SIKA VISCOCRETE 665.

III.3. Conclusion

Les essais physiques, les analyses chimiques et minéralogiques effectués donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers et bétons de sable, ainsi que leurs propriétés à l'état frais et durci, qui seront étudiés dans la partie suivante. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

III.4. Préparation de mortier

Le malaxage des bétons au laboratoire a été effectué dans un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 5 L pour la confection des éprouvettes de (4×4×16) cm³. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. La même procédure de gâchage a été utilisée pour toutes les séries de béton :

1. Introduction du ciment plus Ajout de 2/3 de l'eau de gâchage mélanger avec le super plastifiants puis un malaxage pendant 30 secondes (**figure III.8**).
2. Ajout de 1/3 de l'eau de gâchage plus les déchets puis un malaxage pendant 60 secondes.



Figure III 8 : Essai de malaxage des constituants de béton de sable avec déchets.

III.4.1 Compositions des mélanges

La composition du mortier pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de projet de SABLOCRETE, 1994[46]. Les types de déchet sont incorporés dans la masse du mortier par ajout par rapport à la masse du sable avec de pourcentage de, 10%,20%,30% les bétons de sable sont réalisés et répertoriés comme suit :

BST: Béton sable témoin

BSC: Béton sable à base de déchets de caoutchouc

BSP: Béton sable à base de déchets de plastique

BSM : Mélange de béton sable (caoutchouc et plastique)

• **Caout** : Caoutchouc

PI : Plastique

Tableau III 8: Les compositions des mélanges

Variantes	E/C	Sable (%)	Sable (g)	Gra plast (%)	Gra plast (g)	Gra pneus (%)	Gra pneus (g)	Eau (g)	adj.
V-1	0.5	100 %	1350	0 %	0	0 %	0	225	4.5
V-2	0.5	90 %	1215	10 %	135	0 %	0		
V-3	0.5	80 %	1080	20 %	270	0 %	0		
V-4	0.5	70 %	945	30 %	405	0 %	0		
V-5	0.5	90 %	1215	0 %	0	10 %	135		
V-6	0.5	80 %	1080	0 %	0	20 %	270		
V-7	0.5	70 %	945	0 %	0	30 %	405		
V-8	0.5	90 %	1215	5 %	67.5	5 %	67.5		
V-9	0.5	80 %	1080	10 %	135	10 %	135		
V-10	0.5	70 %	945	15 %	202.5	15 %	202.5		

III.4.2. Fabrication et conditionnement des éprouvettes

Le béton a été coulé dans les moules prismatiques en deux couches. Les éprouvettes ont été coulées dans les moules en plusieurs couches et mises en place par vibration manuel 60 cout par couche. Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules prismatiques de dimensions **(4x4x16)cm³**, Les éprouvettes prismatiques**(4x4x16)cm³** sont réservées à la mesure de la résistance à la flexion et la compression et la masse volumique ,Après 24 heures, toutes les éprouvettes ont été démoulées et placées dans des bacs remplis d'eau dont la température est de 20°C jusqu'au jour de l'essai

III.4.3. Les essais sur les éprouvettes

Deux types d'essais réalisés sont :

- Les essais à l'état frais.
- Les essais à l'état durci

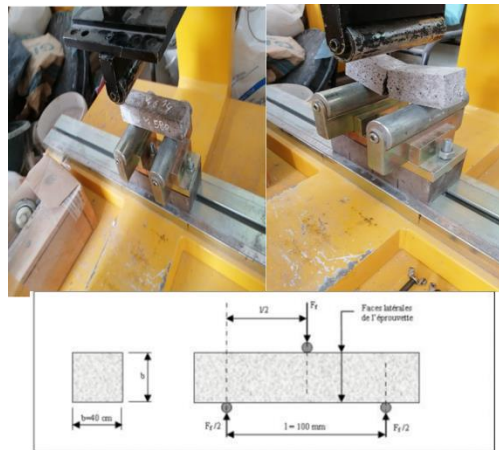


Figure III 11: Essai de flexion.

❖ **Essais de compression**

La caractérisation du comportement en compression est effectuée sur des demi-prismes d'éprouvettes prismatiques de 4×4×16 cm mûries à l'eau, conformément à la norme **EN 196-1 [45]**. Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la **figure III.12** Si FC est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$RC = \frac{Fc}{b^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

RC: Résistance à la compression en (MPa);

Fc : Charge de rupture en (N);

b: Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

La valeur de la contrainte prise en compte sera la moyenne des résultats de trois éprouvettes.

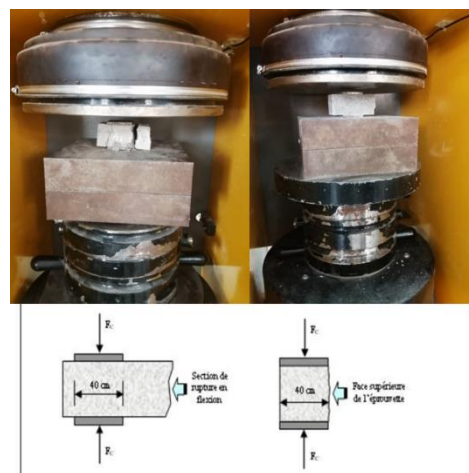


Figure III 12 : Essais de compression

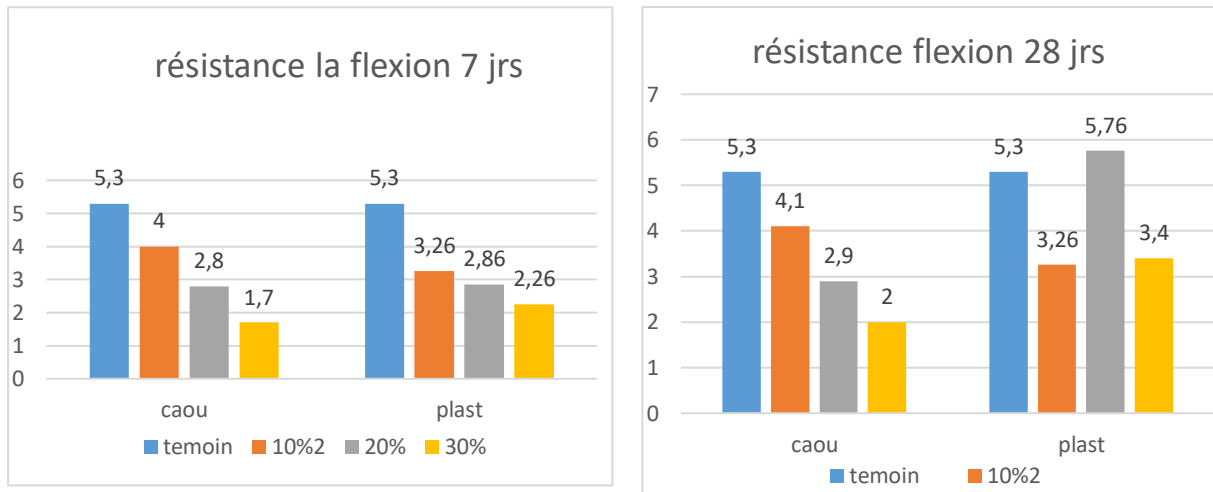
III.5.2. Résultats des essais mécaniques

A. Essais de flexion et compression

Le **tableau III.9** suivant, résume les résultats des essais mécaniques en flexion et en compression et en compression des éprouvettes des différentes variantes élaborées aux âges (7 et 28 jours), les résultats représentent la moyenne de trois essais dans chaque variante étudiée.

Tableau III 8: Résultats des essais mécanique (compression et flexion)

			Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
N°	Variantes	(7 Jours)	(7 Jours)	(28 Jours)	(28 Jours)
1	Témoins	5,3	26	4,8	35,78
2	10% cao	4	19,3	4,1	21,46
3	20% cao	2,8	12,4	2,9	13,35
4	30%cao	1,7	6,63	2	7,3
5	10%plast	3,26	24,18	3,96	31,85
6	20%plast	2,86	16,63	5,76	21,65
7	30%plast	2,26	16,58	3,4	15,4
8	5% 5%	3,3	19,93	4,06	26,33
9	10%10%	2,83	14,46	2,76	15,5
10	15%15%	2,06	12,11	2,4	13,98
11	50%50%	1,2	5,4	1,2	5,8



La Figure III, 13 représente les résistances en flexion des variantes étudiées en fonction de l'âge (7 et 28 jours)

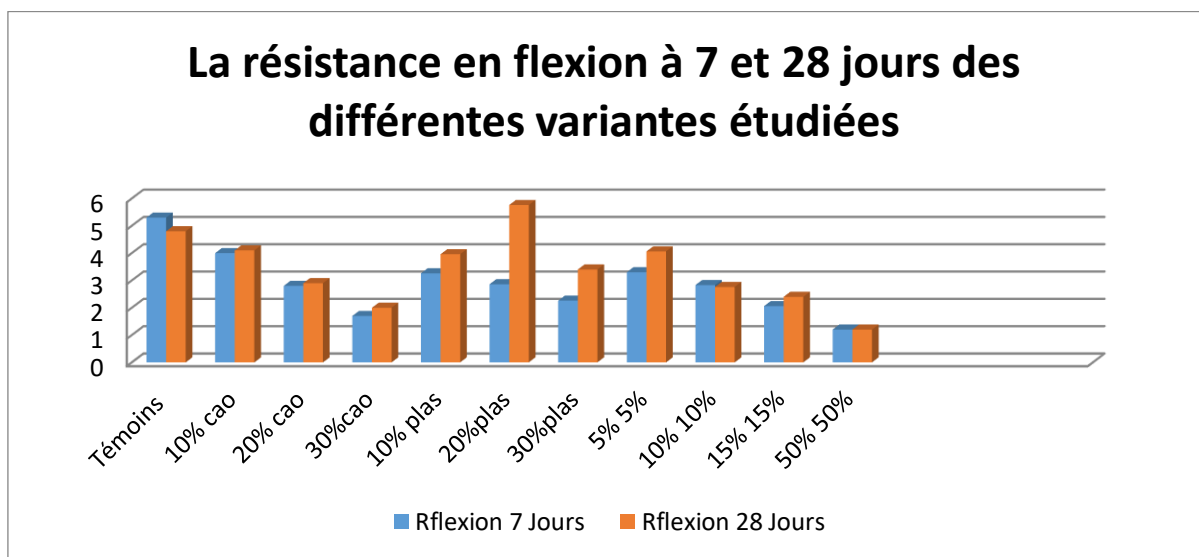
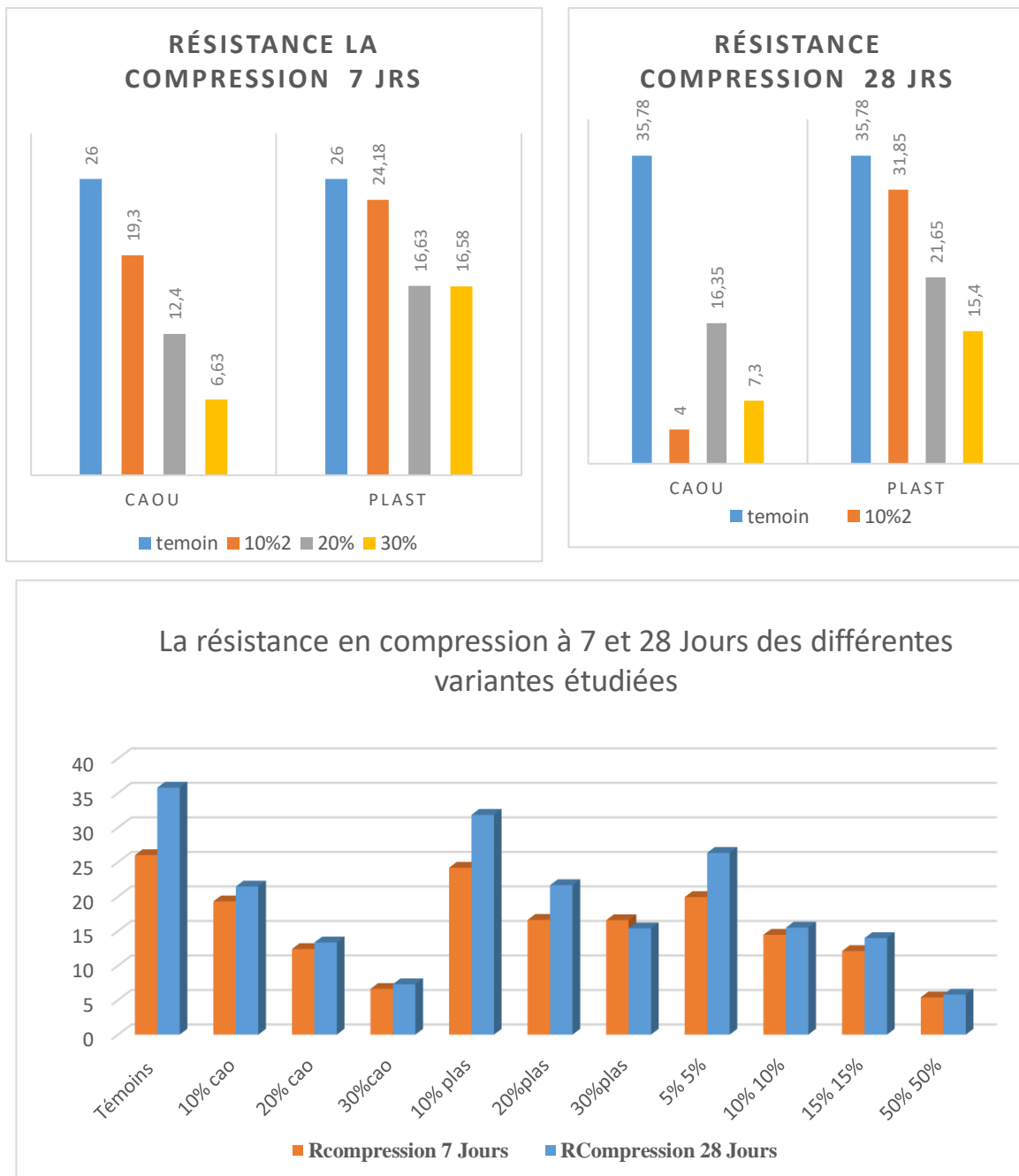


Figure III 13 : Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps



La figure III.14 représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7 et 28 jours,

❖ Remarques

❖ **Analyses statistiques des résultats**

Afin de mettre en exergue la relation entre les différents résultats, obtenus après les caractérisations physicomécaniques de l'ensemble des variantes étudiées, les écarts types entre l'ensemble des valeurs obtenues, ainsi que les coefficients de corrélation (R^2) sont estimés,

La figure III.15 suivantes représentent les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en compression,

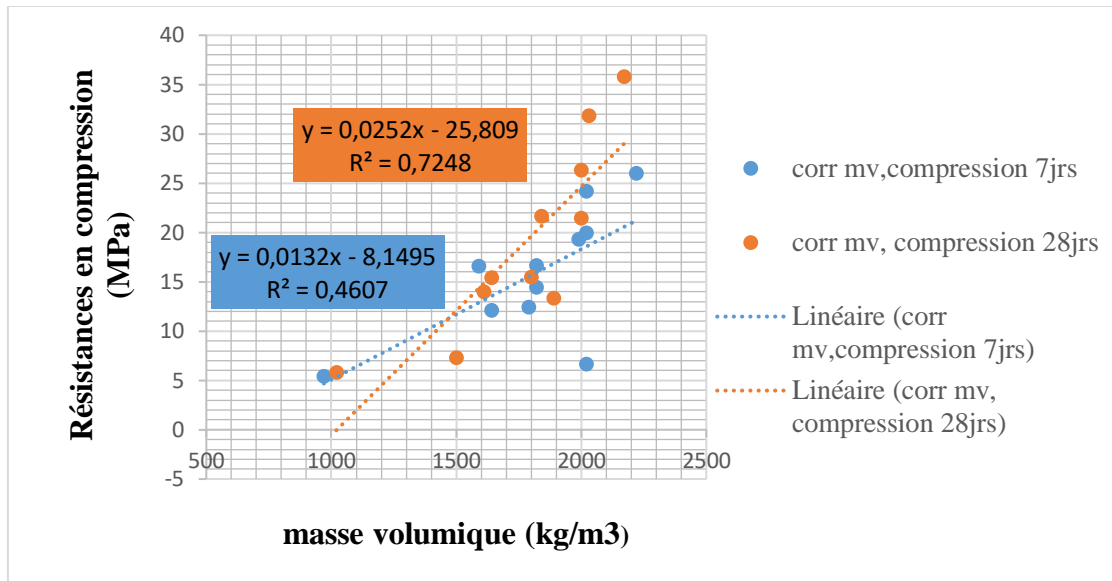


Figure III 15 : Corrélation entre les masses volumiques et la résistance en compression,

La figure III.16 suivantes représentent les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en flexion,

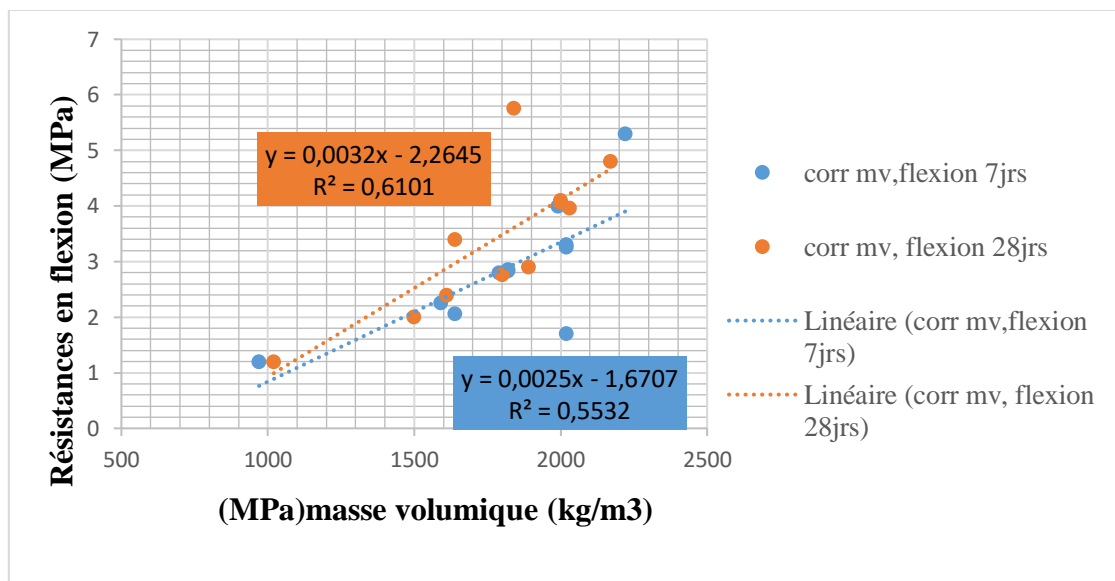


Figure III 16 : Corrélation entre les masses volumiques et la résistance en flexion,

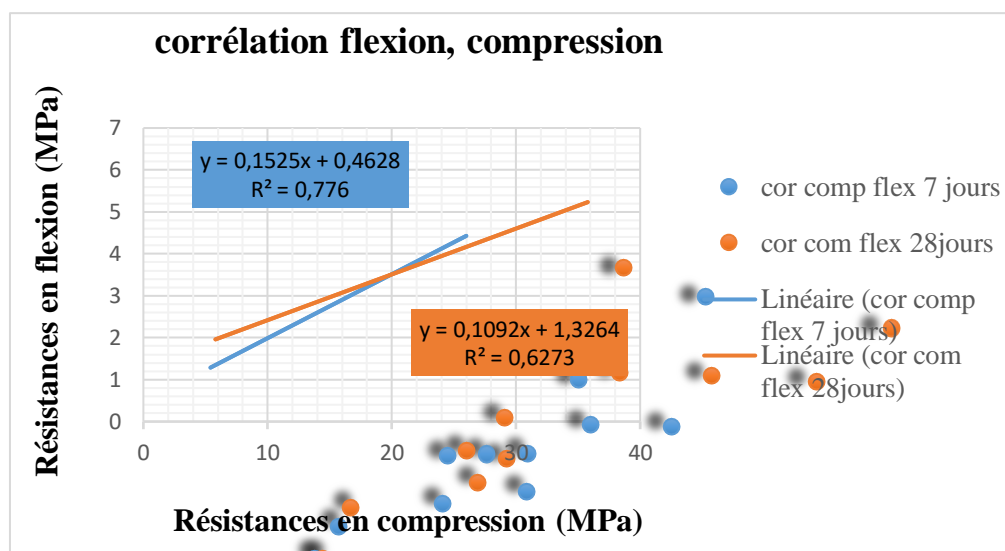


Figure III 17 : Corrélation entre la résistance en compression et en flexion.

❖ Remarques

- ❖ Une corrélation notée entre la masse volumique et les résistances en flexion en fonction des âges (7 et 28 jours), les coefficients de corrélations obtenus sont : ($R^2 = 0,55$; $R^2 = 0,61$) aux âges 7 et 28 jours respectivement.
- ❖ Une corrélation notée entre la masse volumique et les résistances en compression en fonction des âges (7 et 28 jours), les coefficients de corrélations obtenus sont : ($R^2 = 0,46$; $R^2 = 0,72$) aux âges 7 et 28 jours respectivement.
- ❖ Une corrélation notée entre les résistances en compression et les résistances en flexion en fonction des âges (7 et 28 jours) les coefficients de corrélations obtenus sont : ($R^2 = 0,776$; $R^2 = 0,627$) aux âges 7 et 28 jours respectivement

❖ Discussion et interprétation des résultats

Les résultats des propriétés mécaniques montrent que la substitution de sable par les deux types de déchets plastique et caoutchouc à différents pourcentages (10% et 20% et 30%) dans les cas de Remplacement simultané ou séparé, Montrant que :

La résistance en flexion et en compression de différentes variantes diminuées d'une manière notable aux trois pourcentages 10% et 20% et 40% de substitution de sable par le déchets plastique et caoutchouc par rapport aux variantes témoin

Rf 10% PC = 3.96 Rf 20% PC = 5.76 Rf 30% PC = 3.4 Rf témoin= 4.8
Rc 10% PC = 21.46 Rc 20% PC = 13.35 Rc 30% PC = 7.3 Rc témoin= 35.78

Dans le cas de déchets de caoutchouc la résistance en flexion et en compression diminue par rapport au témoin.

Cela est expliqué par l'interface de la pâte cimentaire avec les grains de caoutchouc ce qu'influence négativement sur l'adhérence de la pâte à cause de glissement des grains de caoutchouc ce que diminue la résistance mécanique, les chercheurs (**Kerasley E, P, et Wainwright P,J,**) [30] qui ont travaillé récemment sur les matériaux cimentaires incorporant des G.C. ont tous relevé que la substitution de granulats naturels par des G.C. entraînait inévitablement une chute de la résistance en compression.

Rf 10% DP = 4.1 Rf 20% DP = 2.9 Rf 30% DP = 2 Rf témoin= 4.8
Rc10% DP = 31.85 Rc 20% DP = 21.65 Rc 30% DP = 15.4 Rc témoin= 35.78

Dans le cas de déchets de plastique la résistance en flexion et en compression diminue par rapport au témoin

Cela est expliqué par l'interface de la pâte cimentaire avec les grains de plastiques ce qu'influence négativement sur l'adhérence de la pâte à cause de glissement des grains de plastiques ce que diminue la résistance mécanique.

Dans le cas de mélange les variantes de deux types de déchets (plastiques et caoutchouc) avec (5% et 10% et 15% et 50%) ont diminué par rapport au témoin,

Rf 10% M =4.06 Rf 20% M=2.76 Rf 30%M = 2.4 Rf 50%M= 1.2 Rf témoin= 4.8
Rc10% M= 26.33 Rc20% M = 15.5 Rc 30%M =13.98 Rc 50%M= 5.8 Rc témoin= 35.78

III.5.3. Approche de durabilité

Essai de L'absorption

Dans cet essai une estimation de la porosité par la mesure d'absorption de l'eau par les éprouvettes de mortier a base de déchets de caoutchouc, on prend des éprouvettes déjà sécher et on les pèse (m_0), après on les introduits dans un bac rempli d'eau, puis pendant chaque intervalle de temps (10jours), on note la variation massique des chaque éprouvettes (m_i), la différence de masse sera notée, et l'absorption des éprouvettes est déduite par la relation suivante:

$$Absorption = \frac{M_2 - M_1}{M_1}$$

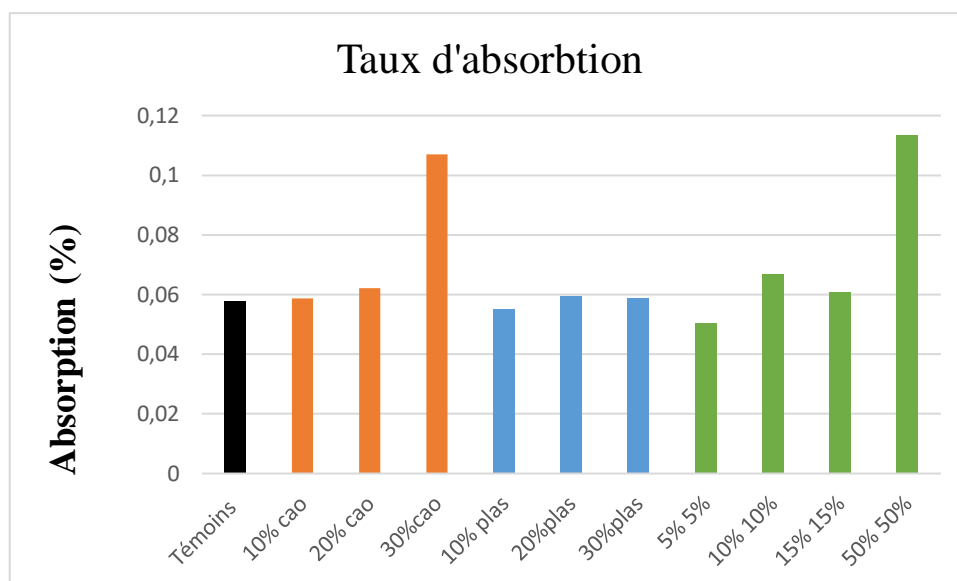


Figure III 19 : Taux d'absorption.

a. Remarques

- L'absorption des éprouvettes en différents pourcentages et diamètre des déchets de caoutchouc et plastiques (poudre et granulats) est élevée par rapport au témoin,
- Des éprouvettes élaborées avec ajout caoutchouc sous forme de poudre avec granulométrie (0-1mm) et pourcentage de 30% qui ont une absorption élevée par rapport au témoin et aux autres éprouvettes de différents diamètre et pourcentage,

b. Interprétation et discussion

D'après les résultats obtenus on remarque que la capacité d'absorption d'eau de BS à base de déchets de caoutchouc et de plastique différents diamètre la figure précédente montre que l'absorption de béton à base de déchets de caoutchouc augmente par rapport au témoin et augmente d'une manière notable au pourcentage de 30% de diamètre (0-1) de substitution de sable par caoutchouc,

Cela est expliqué par la présence de granulats de caoutchouc ce que compose des vides entre les substitutions de béton car le caoutchouc est un matériau non absorbant, Ces résultats confirment les résultats trouvés par **Benazzouk et al.[28]** et ceux de **Garros[47]** qui ont montrés que la capacité d'absorption d'eau diminue avec le taux d'incorporation des granulats caoutchoutiers, ce que les premiers auteurs expliquent par le fait que le caoutchouc n'absorbe pas l'eau et qu'elle doit par ailleurs contourner un réseau poreux plus dense symbolisant ainsi une plus grande difficulté à se propager à l'intérieur du composite cimentaire. Quant à Garros, il évoque aussi la nature hydrophobe du caoutchouc et la dimension de l'auréole de transition qui n'est pas de taille à favoriser l'ascension capillaire.

Conclusion

Conclusion

Ce travail présenté dans ce mémoire a permis d'étudier la valorisation des déchets de caoutchouc et de plastique dans le mortier.

Afin d'évaluer le potentiel d'utilisation de ces matériaux recyclés, la masse volumique, la résistance à la compression et la résistance à la flexion, l'absorption de l'eau, ont été mesurées en laboratoire.

Les essais expérimentaux réalisés dans le cadre de ce projet de recherche ont permis de dégager les conclusions suivantes :

- L'ajout des déchets de caoutchouc et de plastiques diminue la masse volumique du mortier
 $MVS=2,4 \text{ g/cm}^3$ $MVPNEU = 0.44 \text{ g/cm}^3$ $MV PLAS =0.46 \text{ g/cm}^3$
- Les performances mécaniques des mortiers (résistance à la compression, résistance à la flexion) ont diminué en fonction d'augmentation des pourcentages d'ajouts des déchets de caoutchouc et de plastique.
- L'ajout de déchets de plastique augmente la porosité des mortiers ce qui diminue l'adhérence des constituants de mortier.
- L'absorption de mortier avec les déchets augmente.

		M 1	M 2	Absorption
N°	Variantes	15-mai	25-mai	
1	Témoins	294	311	0,0578
2	30%cao	187	207	0,1069
3	30%plas	204	216	0,0588
4	15% 15%	214	227	0,0607

Recommandations et perspectives

Recommandations et perspectives

Ce travail de fin d'étude pourrait mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets de caoutchouc et de plastique, par des études complémentaires telles que :

- La valorisation simultanée des déchets de plastique et déchets de caoutchouc dans les bétons ordinaires.
- L'introduisant de différents types de déchets issu des pneumatiques (caoutchouc et fibres) dans les formulations des bétons.

Références Bibliographique

Références Bibliographique

- [1] **Article L. 541-3** Code de l'Environnement - Livre V, Titre IV – chapitre 1er relatif à L'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. 2007-2017 Le gi France p. (561-562)
- [2] **Article L. 541-1-1** Code de l'Environnement, Prévention et gestion des déchets 2007- 2017 Legi-France p. (559)
- [3] **Karim Ouamane**, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017
- [4] **L. ZEGHICHI** mémoire fin d'étude master 2 Étude des bétons basiques a base des différents granulats 2006.p (6,7,8,13)
- [5] **Chelabi Hamza . Taleb Zahir** mémoire fin d'étude master 2 amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre. P.(106)
- [6] **Benimam Samir, Debieb Farid, et all** Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton 2014
- [7]. **GAUTRON P** « Valorisation et recyclage des déchets », 2001.
- [8]. **HESTIN M** « Analyse des contraintes juridiques et techniques pour un marquage des produits portant sur les recommandations de tri », (WWW.ademe.fr), Juin 2013.
- [9] **TIETENBERG et al** « Économie de l'environnement et de développement durable », 6ème édition, 2013.
- [10] L'Agence Nationale des Déchets, <https://and.dz/indicateurs,20/04/2014,18:50>.
- [11] **BEROUK Safia**, « Des tonnes de déchets en attente de recyclage », el wattan, décembre 2016.<http://www.algerieinfos-saoudi.com/2016/12/algerie.tri-selectif-et-recyclage-des-dechets.safia-berkoug-fait-lepoint.html>, 30/11/2017
- [14]
- [13] **Sienkiewicz M.,Kucinska-Lipka J., Helena Janik H., Balas A.**, Progress in used types management in the European Union: A review, Waste Management, 32(2012) 1742-1751,
- [14]**Conférence des Partie à la Convention de BALE** sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, Directives Techniques Révisées pour une Gestion Écologiquement Rationnelle des pneus usés, (2008) pp,52,
- [15] **Rashad M,A.**, comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementations materials, International Journal of Sustainable Built Environment, 5(2016) 46–82,

Références Bibliographique

- [16] **ETRMA – European Tyre&Rubber Manufacturers’ Association** (Belgium), 2010b,UsedTyres Recovery 2010 (table) – UT/Part Worn Tyres/ELT’s Europe – Volumes Situation 2010,Data downloaded from <http://www,etrma,org/default,asp> , May 2011,
- [17] **Siddique R,, Naik T,R,,** Properties of concrete containing scrap-tire rubber –an overview,Waste Management, 24(2004) 563–569,
- [18] **Malek K,B,, Marie I,, ASI I,,** Promoting the use of crumb rubber concrete in developing
- [19] **LETTRE DE L’ECO-CONSOMMATION N°34** –question du mois novembre, 2002 (site Internet google,fr),
- [20] **CONSTANT E,** "Le problème du pneu usagé non rechapable P,U,N,R", (site Internet google,fr), Oct, 1997, – Mar, 1998,
- [20] **Seniorforums.com** (site Internet google,fr) ,2015,
- [24] **JOËL F,** "Rôle du pneumatique dans le phénomène d’adhérence", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC); 255, Avr - Mai –Juin, 2005,
- [25] **SANDRA B,, ANACLET T,, LOINS GRANJU J,** "Un composite cimentaire résistant à la fissuration : synergie « Granulats en caoutchouc – renfort par des fibres »", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC);250-251, Mai-Juin-Juil-Aout,2004countries, Waste Management, 28(2007) 2171- 2176,
- [20]**Omar MEZIDI,**" Étude comparative des caractéristiques et du comportement d’un mortier de dunes et d’un béton ordinaire modifiés à la poudre de caoutchouc, Mémoire De Magister, 2008,
- [21] **dreamstime.com/photo-stock**
- [22] **"Production mondiale de caoutchouc"** statistiques mondiales en temps réel PLANETOSCOPE (site Internet google,fr),Avril 2015,
- [23] **La production mondiale de caoutchouc,wipiv,com**
- [24] **Encyclopédie Universel ÉLASTOMÈRES ou CAOUTCHOUCS,** universalis,fr (site Internet google,fr),avril 2015,
- [25] **Turatsinze A; Bonnet S etGranjuJ,L,**"Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance", Construction and Building Materials, 21: 176-181, 2005,
- [26] **Hobbs D,W,**"The dependence of the bulk modulus, Young’s modulus, creep, shrinkage and thermal expansion of concrete upon aggregate volume concentration», Mat,Struct, 4: 107 114,1971,

Références Bibliographique

- [27] **Neville A,M**, "Propriétés des bétons", Quatrième édition, Edition française par CRIB, Editions Eyrolles, 2000,
- [28] **Benazzouk A; Douzane O et Quéneudec, T'Kint M**, "Transport of fluids in cement–rubber composites", *Cement & Concrete Composites* 26, 21–29, 2004,
- [29] **Benazzouk A et Quéneudec M**, "Effet du caractère cellulaire des granulats sur le comportement d'un composite ciment-caoutchouc aux cycles de gel/dégel", *Proceeding of CNR IUT Roanne*, publication de l'Université de St-Etienne, ISBN 2 86272 2200, Tome 2, pp, 477–87, 2001,
- [30] **Kerasley E, P, et Wainwright P, J**, "Porosity and permeability of foamed Concrete ", *Cement Concr Res*, 31: 805–12, 2001,
- [31] **DUPAIN, R, LANCHON, R, J, C, SAINTARROMAN** « granulats, sols, ciments et bétons caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition casteilla–25, ruerouge-75005 Paris 1995
- [32] **NF EN 12350-7**, « Essai pour béton frais, Partie 7 : Teneur en air occlus », AFNOR, 1999,
- [33] **NA 442, Normes Algérienne** : "Ciment-Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000
- [34] **Eldin N.N., Senouci A.B.**, "Rubber tire particles as concrete aggregate". *Journal of Material in Civil Engineering*, vol.5, N°4, 1993, p. 478-496.
- [35] **Topçu U.B.**, "The properties of rubberized concrete". *Cement & Concrete Research*, vol. 25, N°2, 1995, p. 304-310.
- [36] **Khedari J., Suttisonk B., pratinthong N., Hirunlabh J.**, "New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity" *Cement & Concrete Composites*, Vol. 23, 2001, p. 65-70
- [37] **RILEM LC2**. "Functional classification of lightweight concrete". Vol. 11, 1978, p.281-283.
- [38] **Rossi P.**, "Les bétons de fibres métalliques". Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1998.
- [39] **NF P 18-555** Norme française décembre 1990, mesure des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur en eau des sables
- [40] **NF P 18-554** Norme française décembre 1990, mesure des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux,


Références Bibliographique

- [41] **NF P 18-560** Norme française septembre 1990, analyse granulométrique par tamisage,
- [42] **NA442/2013** Norme Algérienne N° édition : 3 Date : 2005 ICS : 91, 100, 10, ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
- [43] **NF EN 12350-6** Norme française 6 juin 2019 Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique,
- [44] **NA436** Norme Algérienne 29/11/1989, Béton frais compacté - détermination de la masse volumique
- [45] **EN 196-1** Norme française septembre 2016, Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances - Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances.
- [46] **SABLOCRETE**, « Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1994), P237
- [47] **Garros M.** « Composites cimentaires incorporant des granulats caoutchouc issus du broyage de pneus usagés : optimisation de la composition et caractérisation", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2007.


Annexes

Annexes





المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر
GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIÉTÉ DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE
« S.C.S.E.G. »
ش.ذ.أ. - رأس المال الاجتماعي : 1.900.000.000 D.A.



afaq
ISO 9001
Qualité
AFNOR CERTIFICATION

N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00-028210588

Produit Commercialisé :
Ciment CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

Fiche technique

Période D'expédition :
Avril -Mai 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique		
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)
Poids spécifique	Gr/cm ³		3.09	SiO ₂		20.06
Surface spécifique Blaine	Cm ² /gr		4000	Al ₂ O ₃		3.99
Consistance normale	% H ₂ O		26.11	Fe ₂ O ₃		3.04
Temps de prise	Début	Min. ≥ 60	151	CaO		61.57
	Fin	Min.	322			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	2.79	MgO		1.62
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	238.8	K ₂ O		0.54
Refus sur tamis 45 µm	%		15.58	Na ₂ O		0.26
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	4.56	SO ₃	≤ 3.50	2.06
	07 jours	Mpa	6.12	Cl ⁻	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa	6.92	P.A.F à 1000 °C		7.16
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	CaO libre		1.56
	07 jours	Mpa				
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5			

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment CEM II / A-M (P-L) 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghoulane
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghoulane
(W) de Bouira, 10004 Algérie
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz

Le chef de Département

Données techniques	
densité	1,085 ± 0,015
pH	5 ± 1,0
Teneur en Na ₂ O Eq.	≤ 1,0%
Extrait sec	33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1%
Conditions d'application	
Dosage	Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Mise en œuvre	
	Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	
	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.
Mentions légales	
	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

