

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2019

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



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Hamlaoui Charef Amira

Moussaoui Hassiba

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

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Valorisation des déchets de caoutchouc des pneus et déchets
de verre dans le béton de sable.**

Devant le jury composé de :

HAMI Brahim	MCB	UAMOB	Président
KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Encadreur
ARIBI Chouaib	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant et le miséricordieux,

*Nous tenons à remercions vivement notre promoteur **Mr Kennouche**. Spour 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, laboratoire génie des procédés ainsi que les ingénieurs de laboratoire science de la matière

*Enfin, on n'oserait oublier de remercier nos **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.*

*Ma deuxième mère ma tante **Louiza***

*Mon très cher frère **Salem***

*Mes chères sœurs, **Kahina, nadjet et Louiza***

*Mes beaux frères **Fouade et Djamel***

*Mes neveux **Anes et Youcef** et ma nièce **Ritedj***

*Mon cher **Simba***

*Etsans oublier mes très chères sœurs **Amira, Souhila, Khadidja et Razika.***

*À tous mes amis et collègues de la promotion 2017/2018 et la promotion
2018/2019*

*Enfin pour Tous les gens qui m'estiment espérant bien
Que je n'ai oublier Personne dans cette courte page.*

Signé :

Moussaoui Hassiba

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 très chers frères Saleh et Abd Elrahman

Mes chères sœurs, Houda, Hadjer, Farah

Toute la famille Hamlaoui Charef

Etsans oublier mes très chères amies Hassiba, Souhila, Khadidja et Razika.

À tous mes amis et collègues de la promotion 2018/2019

*Enfin pour Tous les gens qui m'estiment espérant bien
Que je n'ai oublier Personne dans cette courte page.*

Signé :

Hamlaoui Charef Amira

Table des matières

Liste des figures	12
Liste des tableaux	14
Résumé.....	15
Introduction générale.....	2
CHAPITRE I : BETON DE SABLE.....	5
I.1.Introduction.....	6
I.2. Historique.....	6
I.3. Définition de béton de sable.....	8
I.4. Les constituants du béton de sable	8
A. Sables.....	8
B. Les fines d'ajout (filler).....	8
a. Filler calcaire	9
b. Fumée de silice.....	9
C. Les ciments	10
D. L'eau.....	10
E. Les adjuvants	10
I.5 propriétés des bétons de sable.....	10
I.5.1. Propriété générale	10
A. La compacité	10
B. La Maniabilité.....	11
C. Propriétés mécaniques	11
C.1 Résistance à la compression	11
C.2. Résistance à la traction	11
I.5.2.Formulation des bétons de sable	12
I.5.2.1.Définition	12
I.5.2.2.Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable.....	12
A. Dosage en fines d'un béton de sable	13
B. Dosage en eau d'un béton de sable.....	14
C. Dosage en sable	16
I.5.2.3. Méthode expérimentale de formulation	16
I.5.2.4.Exemples d'applications des bétons de sables	16
I.6.Conclusion	17
CHAPITRE II : Gestion des déchets.....	18

II.1 Introduction	18
II.2.1. Origine de la production de déchets	18
II.2.2. Constitution chimique du déchet	19
II.3. Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil.....	19
II.3.1. Les déchets	19
A. Définition des déchets	19
a)- Les déchets organiques	19
b)- Les déchets inertes.....	19
c)- Les déchets banals.....	19
d)- Les déchets spéciaux.....	19
B. La Valorisation des déchets	20
C. Méthodes de la valorisation	20
a) - Valorisation matière.....	20
b) - Valorisation énergétique	20
c) - Valorisation chimique.....	20
II.3.2. Différents déchets utilisés en génie civil	20
A) Déchets inertes	20
B) Les déchets ménagers	20
C) Les déchets industriels banals (D.I.B.).....	21
D) Déchets toxiques.....	21
II.4. L'activité du recyclage des déchets construction	21
II.4.1. Recyclage des déchets	21
II.4.1.2. Type de recyclage	21
A. Le recyclage.	21
B. Le recyclage sélectif.	21
C. Le recyclage en site fixe.	21
II.4.3. Impacts du recyclage sur l'environnement	21
II.4.4. Technique de recyclage	22
II.4.4.1. Procédés du recyclage.....	22
II.4.4.2. La chaîne du recyclage	22
a. Collecte de déchets	22
b. Transformation	22
c. Commercialisation et consommation	22
II.5. Déchets en Algérie.....	23
II.5.1. Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics	23
II.5.1.1. Pneus usagés et déchets plastiques	23

II.5.2. Déchets de la construction/démolition.....	23
II.6.Conclusion	24
Chapitre III : Déchet de caoutchouc.....	25
III.1. Caoutchouc et déchets de caoutchouc.....	26
III.1.1. Historique.....	26
III.1.2. Définition	27
III.1.3. Composition chimique d'un caoutchouc.....	27
III.1.3.4.Processus de fabrication des matières caoutchouc	27
III.2. Caoutchouc des pneus	28
III.2.1.Introduction	28
III.2.2.Généralité sur les pneus.....	28
III.2.3Définition et caractéristiques physiques des pneus	29
III.2.3.1. Définition.....	29
a)- La carcasse.....	29
b)- Le talon.....	29
c)- La bande de roulement.....	29
d)- Le flanc	30
III.2.3.2. Caractéristiques physiques et chimique des pneus.....	30
III.2.3.3. Les fonctions et la structure du pneumatique	30
III.2.3.4. Valorisation est domaine d'application des pneumatiques.....	31
a) Le réemploi	31
b) La valorisation énergétique.....	31
c) La valorisation en matière	31
d) La valorisation en travaux publics	31
e) les fibres métalliques.....	31
III.2.3.5. Propriétés de matière caoutchouc.....	31
A. Propriétés mécaniques.....	31
III.2.3.6 Durée de vie du caoutchouc	32
III.2.3.7. Chiffre	32
III.2.3.8. Recyclage de caoutchouc	33
III.3.Béton de déchets de caoutchouc.....	33
III.3.1.définition	33
III.3.2.Propriété du béton de déchets de caoutchouc.....	34
A. propriétés à l'état frais.....	34
B. Propriétés à l'état durci.....	35
a. Résistance en compression	35

b. Propriétés de transfert.....	36
c. Perméabilité.....	36
d. Absorption d'eau.....	37
III.4. Etude de Amar Benazzouk et all	38
III.5. Valorisation et réalisations en Algérie par la technique pneu sol.....	40
III.5.1. 1 ^{er} ouvrage [2005].....	40
III.5.2 ^{ième} ouvrage [2006]	41
III.5.3. Aires de jeux.....	41
III.5.4. Bassins d'infiltration	42
III.5.5. Bétons.....	42
III.5.6. Drainage	42
III.6. La recherche en Algérie sur l'utilisation poudrette de caoutchouc dans les chaussées routières. .	43
III.6.1. Gazon synthétique	44
III.6.2. Autres domaines d'application	45
III.7. CONCLUSION	45
CHAPITRE VI : VALORISATION DE DECHETS DE VERRE.....	46
IV.1. Introduction.....	46
IV.2. Définition du verre	46
IV.3. Définition de poudre de verre	46
IV.4. Valorisation de verre dont le béton	46
IV.5.-Les propriétés du verre	47
IV.5.1. Propriétés physiques.....	47
IV.5.2. Propriétés thermiques.....	48
IV.5.3. Propriétés chimiques	48
IV.6. Réaction pouzzolanique du verre	48
IV.7. Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes.....	49
IV.8. L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane	49
IV.9. Étude de la pouzzolanité	49
IV.10. Comparaison avec des courbes de dilution calculées avec la formule de Bolomey	50
CHAPITRE V : ISOLATION DES MATERIAUX.....	52
V.1. Introduction	52
V.2. Isolation thermique.....	52
V.2.1. Avantages d'isolation thermique.....	53
A) Avantage environnemental.....	53
B) Réduire le niveau de bruit	53
C) Intégrité structurale d'un bâtiment	53

D) Empêchement de condensation de vapeur.....	53
E) Protection contre le feu.....	53
V.2.2. Classification des matériaux isolants.....	53
V.2.2.1. Matériaux inorganique.....	54
A) Les isolants minéraux.....	54
V.2.2.2. Matériaux organiques	54
A. Les isolants synthétiques	54
b. L'aérogel	54
c. Brique mono-mur en terre cuite.....	55
d. Blocs mono-mur en argile expansée	55
B. Les isolants d'origine végétale	56
a. Liège expansé	56
b. Chanvre	56
c. Cellulose	56
C. Les isolants d'origine animale	56
a. Laine de mouton	56
V.2.2.3. Matériaux combinés	56
A. Laine de bois	56
V.2.3. Propriétés et performances d'un matériau isolant	57
A. Propriétés physiques.....	57
B. Propriétés environnementales.....	57
C. Propriétés de l'hygiène et de la santé	57
V.2.4. Nécessité de l'isolation thermique.....	57
V.2.5. Principe.....	57
V.3. Isolation acoustique (phonique)	58
V.3.1. L'acoustique du bâtiment	58
A. L'isolation acoustique	58
A.1. L'isolation acoustique (phonique).....	59
V.3.2. Les systèmes masse-ressort-masse	60
V.3.3. Comment obtenir un indice d'affaiblissement acoustique élevé avec une paroi double ?	60
V.3.4. Correction acoustique	61
A. Avant tout projet d'isolation acoustique	61
B. Structure du bâtiment.....	61
C. En neuf.....	62
D. En rénovation	62
V.3.5. Facteurs déterminants dans le choix de l'isolant	62

V.3.6.L'attestation de prise en compte de l'acoustique.....	63
V.3.6.1.Se protéger des bruits aériens extérieurs	63
V.3.6.2. Se protéger des bruits aériens intérieurs.....	64
V.3.6.3.Se protéger des bruits des chocs	64
CHAPITRE VI :Partie pratique.....	65
VI.1. Introduction.....	67
VI.2. Les matériaux utilisés dans cette partie sont	67
VI.2.1. Le sable	67
VI.2.1.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé	67
A. Masse volumique (absolue) : NF P 18-555	67
a. Mode opératoire.....	67
B. Masse volumique apparente : NF P 18-554.....	68
a. Mode opératoire	68
C. Porosité : NF P 18-554	68
D. Compacité.....	69
E. L'indice des vides	69
F. Equivalent de sable	69
a. Mode opératoire.....	69
G. Teneur en eau	71
a. Mode opératoire.....	71
H. Degré d'absorption d'eau	72
I. Analyse granulométrique	72
a. Mode opératoire.....	73
b. Module de finesse.....	74
VI.2.2. Ciment	74
VI.2.2.1. Caractéristiques du ciment CEM II/A-M(P-L) 42,5 N.....	74
A. Descriptions du produit	74
B. Constituants principaux	75
VI.2.3.Déchets de Caoutchouc	75
VI.2.3.1. Déchets de pneus.....	75
A. L'absorption de matériau de caoutchouc.....	76
a. Mode opératoire	76
VI.2.4. Poudre de verre	76
VI.2.5. Eau de gâchage.....	77
VI.2.6 Adjuvant «plastifiant »	77
VI.2.7 : fumée de silice	77

VI.3.Conclusion	78
VI.4. Préparation de béton de sable.....	78
VI.4.1 Compositions des mélanges	79
VI.4.2. Fabrication et conditionnement des éprouvettes	79
VI.4.3.Les essais sur les éprouvettes	80
A. Essai réalisé à l'état frais	80
a. La masse volumique	80
B. Essais réalisés à l'état durci.....	80
a. Essais de flexion EN 196-1	80
b. Essais de compression	81
VI.5.Résultats des essais	82
VI.5.1.Résultats essais physiques.....	82
A. La masse volumique.....	82
a. Remarques sur les résultats d'essais physiques.....	82
VI.5.2. Résultats des essais mécaniques.....	83
A. Essais de flexion et compression.....	83
a. Remarques.....	85
b. Analyses statistiques des résultats	86
a. Remarques.....	87
b. Discussion et interprétation des résultats	87
VI.5.3. Approche de durabilité.....	88
1. Essai de L'absorption	88
a. Remarques.....	89
b. Interprétation et discussion.....	89
2. La perte de masse	90
a. Remarque	91
b. Interprétation et discussions	91
3. L'isolation thermique de béton de sable à base de déchets de caoutchouc	91
<i>Annexes</i>	98

Liste des figures

Figure I. 1: La maison de COIGNET	6
Figure I. 2: phare de Port-Saïd 1969. (Egypte)	7
Figure I. 3: Le pont de Brooklyn 1871-72 New York	7
Figure I. 4: BS, BS chargé et BO.	8
Figure I. 5: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines	14
Figure I. 6: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable [16][17].....	15
Figure I. 7: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée.	15
Figure I. 8 : Pont de Saint-Martory .1724	17
Figure III. 1: Incendie sur le site de stockage des pneus usagés	29
Figure III. 2: Différentes sollicitations mécaniques	32
Figure III. 3: La production mondiale de caoutchouc naturel en 2014	33
Figure III. 4: Processus de recyclage de déchets de caoutchouc	33
Figure III. 5: Influence de G.C. sur l'affaissement	34
Figure III. 6: Influence de G.C. sur l'affaissement	34
Figure III. 7: Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C.	35
Figure III. 8: Défaut d'adhérence entre le caoutchouc et la matrice cimentaire vu au vidéo microscope, (grossissement x100)	36
Figure III. 9: Evolution de l'absorption d'eau en fonction du dosage en G.C.	37
Figure III. 10: Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C.	38
Figure III. 11: Masse volumique sèche des composites	38
Figure III. 12: Evolution de la résistance à la compression des composites	39
Figure III. 13 : Evolution de la résistance à la flexion des composites	40
Figure III. 14: Pose des nappes de pneus Projet pilote – Route de Bousmail.	41
Figure III. 15: Stabilité d'un glissement de terrain - Cas de TiziGhenif –	41
Figure III. 16: Bassin d'infiltration.	42
Figure III. 17: La valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage.	43
Figure III. 18: Technique de l'asphalt caoutchouté.	44
Figure III. 19: Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3ème génération.	44
Figure IV. 1: Représentation schématique plane d'un réseau vitreux	46
Figure IV. 2: Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes	49
Figure IV. 5: Résistances en compression des mortiers conservés à 20°C contenant jusqu'à 40% de verre de différentes finesses.	50
Figure V. 1: L'aérogel.	55
Figure V. 2: Brique mono-mur en terre cuite.	55
Figure V. 3: Blocs mono-mur en argile expansée.	55
Figure V. 4: Répartition des déperditions thermiques dans une habitation.	58
Figure V. 8: Différence entre une paroi isolée et une paroi non isolée.	59
Figure V. 9: Les paramètres d'installation d'un matériau isolant.	59
Figure V. 10: Les systèmes masse-ressort-masse.	60
Figure V. 11: Correction acoustique.	61
Figure V. 12: Bruits aériens extérieurs.	63
Figure V. 13: Amélioration de l'isolation d'un mur.	64
Figure V. 14: Amélioration de l'isolation d'un sol.	64
Figure VI. 1: Essai de la masse volumique absolue du sable (laboratoire Génie Civil).	68

Figure VI. 2 : Essai d'équivalent de sable visuel (laboratoire Génie Civil).	70
Figure VI. 3: Essai d'équivalent de sable avec piston (laboratoire Génie Civil).	70
Figure VI. 4: La courbe granulométrique du sable (0/5).	74
Figure VI. 5: Ciment GICA (Sour el Ghozlane)/CEM II/A-M(P-L) 42,5 N.	75
Figure VI. 6: Déchets de pneus sous forme de granulats.	75
Figure VI. 7: L'essai de l'absorption de caoutchouc.	76
Figure VI. 8: Poudre de verre.	76
Figure VI. 9: Adjuvant SIKKA VISCOCRETE 655.	77
Figure VI. 10: fumé de silice.	78
Figure VI. 11: Essai de malaxage des constituants de béton de sable avec déchets.	78
Figure VI. 12: Fabrication et conditionnement des éprouvettes.	80
Figure VI. 13: La masse volumique à l'état frais des éprouvettes.	80
Figure VI. 14: Essais de flexion.	80
Figure VI. 15: Essai de flexion.	81
Figure VI. 16: Essais de compression.	81
Figure VI. 17: Essai de compression.	81
Figure VI. 18: Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps,	82
Figure VI. 19: Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps,	84
Figure VI. 20: Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps, ...	84
Figure VI. 21: corrélation masse volumique, compression.	86
Figure VI. 22: Corrélation masse volumique, flexion.	86
Figure VI. 23 : Corrélation compression, flexion.	87
Figure VI. 31 : Eprouvettes de béton de sable après immersion dans l'eau durant 24 heures.	88
Figure VI. 24 : Taux d'absorption.	89
Figure VI. 31 : Eprouvettes de béton de sable mise dans le four durant 24 heures à 100°C.	90
Figure VI. 25: essai de l'humidité.	91
Figure VI. 26: Essai d'estimation de la perte de température.	92
Figure VI. 27: Essai de l'isolation thermique.	93
Figure VI. 28: Résultats de la conductivité thermique.	94
Figure VI. 29 : Résultats de la variation de PH pendant 28 jours.	96
Figure VI. 30 : Milieu acide après immersion des éprouvettes.	96
Figure VI. 31 : Eprouvettes de béton de sable après immersion dans l'acide HCl durant 28 jours.	96
Figure VI. 32 : Eprouvettes de béton de sable avant et après immersion dans l'acide HCl durant 28 jours.	97

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment.....	9
Tableau I. 2: Dosages et résistances à la traction des bétons de sable de dunes .	11
Tableau II. 1:Quantités de déchets produits : évolution 2008	21
Tableau III. 1: Composition moyenne d'un pneu VL en Europe .	30
Tableau III. 2: Caractéristiques physiques d'un pneu	30
Tableau III. 3: Productions, en 2010, en milliers de tonnes. Monde.....	32
Tableau III. 4:Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment-caoutchouc.	37
Tableau VI. 1: Masse volumique absolue du sable	68
Tableau VI. 2: Masse volumique apparente du sable.....	68
Tableau VI. 3: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable.	69
Tableau VI. 4: Comparaison des résultats.....	71
Tableau VI. 5: Teneur en eau du sable	72
Tableau VI. 6: Degré d'absorption du sable	72
Tableau VI. 7:Analyse granulométrique du sable	73
Tableau VI. 8: Les constituants principaux de ciment	75
Tableau VI. 9: Représente les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé	75
Tableau VI. 10: Les différentes caractéristiques des déchets de caoutchoucs utilisés	76
Tableau VI. 11: Composition chimique de la poudre de verre.....	76
Tableau VI. 12: Caractéristique physique	77
Tableau VI. 13:Les caractéristiques de la fumée de silice.	78
Tableau VI. 14: Les compositions des mélanges	79
Tableau VI. 15: Masse volumique de deux types de déchets à l'état frais et à l'état durci	82
Tableau VI.16: Résultats des essais mécanique (compression et flexion)	83
Tableau VI.17:Les différents résultats des essais physico-mécaniques de l'ensemble des variantes étudiées.....	85
Tableau VI.18:Taux d'absorption des variantes étudiées.....	89
Tableau VI.19:Les différents résultats des essais de la perte de masse de l'ensemble des variantes avec les granulats de caoutchouc.....	90
Tableau VI.20:Résultats de l'essai physique (isolation thermique).	92
Tableau VI.21: Résultats de la conductivité thermique.....	94
Tableau VI.22 : La variation de PH pendant 28 jours.	95

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 verre, en particulier dans les bétons de sable BS, trois différents échantillons de diamètre (0-1, 0,5-2,5, 2,5-4) mm de déchets de caoutchouc et (100 μ m) de déchet de verre sont ajoutés dans le BS par ajout avec des pourcentages variant de 10%. 20%. 30% et 40% par substitution de sable, les propriétés à l'état durci des différentes bétons réalisées sont analysés et comparés, les résultats expérimentaux ont révélé que :

- L'ajout de déchets de caoutchouc dans le BS est bénéfique pour les propriétés physiques (Mv) et l'amélioration de l'isolation, l'absorption et la perte de masse.
- L'ajout de déchets de verre dans les BS est bénéfique pour les propriétés mécaniques (Rc, Rf).

Mot clés : Béton de sable, déchets, caoutchouc, verre, valorisation.

Abstract

The environment is a very important issue its preservation is a common responsibility, the waste thrown by the human being a great danger to the environment, so there is reason to encourage their elimination by the recycling operation.

This project aims to study the feasibility of valorization of two types of rubber and glass waste, in particular in sand concrete, three different samples of diameter (0-1, 0.5-2.5, 2.5-4) mm of waste rubber and (100 μm) of glass waste are added to the sand concrete by adding with percentages varying by 10%. 20%. 30% and 40% by sand substitution, the hardened properties of the various concretes made are analyzed and compared, the experimental results revealed that:

- The addition of rubber waste in the sand concrete is beneficial for physical properties (Mv) and improvement of insulation, absorption and mass loss.
- The addition of glass waste in the sand concrete is beneficial for the mechanical properties (Rc, Rf).

Key words: Sand concrete, Waste, Rubber, Glass, Valuation.

ملخص

البيئة هي قضية مهمة للغاية ، فالمحافظة عليها مسؤولية مشتركة ، النفايات التي ألقاها الإنسان تشكل خطرا كبيرا على البيئة ، وهذا السبب يشجع القضاء عليها من خلال عملية إعادة التدوير

يهدف هذا المشروع إلى دراسة قابلية تدوير نوعين من نفايات المطاط والزجاج ، في BS ، ثلاث عينات مختلفة من القطر (1-0 ، 2.5-0.5 ، 2.5-4) من النفايات تتم إضافة المطاط و النفايات الزجاجية (100 ميكرون) إلى BS وذلك بإضافة بنسب تتراوح بين 10 % . 20% 30 % و 40 % . عن طريق استبدال الرمل ، يتم تحليل ومقارنة الخواص المتصلبة للخرسانة المختلفة المصنوعة أظهرت النتائج التجريبية أن:

- إضافة نفايات المطاط في BS مفيد للخواص الفيزيائية (Mv) وتحسين العزل والامتصاص وفقدان الكتلة.

- إضافة نفايات الزجاج في BS مفيد للخواص الميكانيكية (Rf ، Rc).

الكلمات المفتاحية: رمل خرساني. سدى. المطاط. الزجاج. التقييم.

Introduction générale

Introduction Générale

Les déchets sont apparus depuis l'existence de la vie sur la Terre. L'accroissement de la population, l'augmentation de la production et de la consommation et le changement du mode de vie sont la cause de multiplication de quantité, qualité et de la nocivité de ces 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 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 tons des pneus non réutilisable, un véritable problème qui menace l'environnement dans ce pays, d'un autre coté la ville de Bouira est connue par la fabrication et la consommation des pneus aussi par le recyclage de ce type des déchets.

D'un autre coté on trouve les déchets de verre qui sont aussi dangereux pour l'environnement vu qu'une bouteille de verre peut prendre 4000 ans à se décomposer. À titre d'exemple, un incendie peut être causé par l'effet loupe sur un morceau de verre, ou de petits mammifères peuvent se coincer dans les bouteilles.

Aujourd'hui les déchets posent un véritable défi pour l'homme, ce qu'il impose de réutilisés ou de faire des recherches pour la meilleure utilisation de ces types. Après plusieurs études et recherches dans le génie civil ont a montré qu'il est l'un des rares domaines qui peut traiter le sujet avec succès en l'introduisant dans la formulation du béton par exemple.

Dans ce cadre, ce travail de projet de fin d'études ayant pour thème: « Valorisation des déchets de caoutchouc des pneus et de verre dans les bétons de sable » Ayant pour objectif principe à la protection de l'environnement, ainsi que la valorisation des déchets 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 générale une partie dédiée à la synthèse bibliographique
- Les bétons de sable (définitions, constituants, formulation, essais, classification, domaines d'utilisation) font l'objet du premier chapitre.
- Généralité sur les déchets fait l'objet du deuxième chapitre.
- Valorisation des déchets pneumatiques dans les matériaux seront exposés en troisième chapitre.
- Valorisation des déchets de verre dans les matériaux seront exposés en quatrième chapitre.

Introduction Générale

- Généralité sur l'isolation acoustique dans un bâtiment fait objet du cinquième chapitre.
- Le sixième chapitre est consacré aux résultats trouvés ainsi que leurs interprétations.
- Nous clôturons ce travail par une conclusion générale et des recommandations et des perspectives.

CHAPITRE I : BETON DE SABLE

I.1.Introduction

Comme tous les pays en voie de développement, l'Algérie est un gros consommateur de granulats. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions.

D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, et notamment le sud Algérien, dispose de grands gisements de sables de différentes natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturels et artificiels. La réflexion sur la l'élaboration de nouveaux bétons, tels que les bétons de sable, est donc devenue nécessaire [1].

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable et par l'absence ou par un faible dosage en gravillon.

Il se différencie également des mortiers par un plus faible dosage en ciment et surtout par son domaine d'application. L'emploi de béton de sable en remplacement des bétons classiques peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique lorsque le sable est facilement accessible et à un coût moindre que les granulats courants [2].

I.2. Historique

Le béton de sable est un matériau utilisé bien antérieurement au béton traditionnel.

Selon POIEVIN [3], ce matériau trouve ses origines dans les années 1850-1875 sous l'appellation de "béton aggloméré". Il était alors constitué de sable, ciment, chaux et eau.

COIGNET qui est à l'origine de ce matériau construisit pour sa famille en 1851 à saint Denis (nord de Paris, France) comme le montre la figure I.1, une maison 60m de long et 7m de hauteur, du type R+4, avec mur de soutènement. Cet ouvrage fût entièrement édifié en béton aggloméré, des fondations jusqu'au toit [4].



Figure I. 1: La maison de COIGNET [5].

POITEVIN [3] rapporte encore qu'entre 1869 et 1872 un aqueduc de 40km fut partiellement construit en béton aggloméré afin de relier Fontaine bleu à Orléans

Chapitre 1 : Béton de sable

(France). Le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontaine bleue, d'une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciments) et de 0.5 part d'eau (en poids), ce qui correspond approximativement à un dosage en liant de 400kg/m^3 , plus proche de celui des bétons de sable que des mortiers. Mis en service en 1869, le phare **Figure. I.2** de Port-Saïd (Egypte) de 52m de hauteur fut également construit en béton aggloméré composé de sable d'une plage avoisinante et de chaux importé de France.



Figure I. 2: phare de Port-Saïd 1869. (Egypte) [6].

COIGNET exporte sa technique jusqu'aux USA, où son entreprise "New York and Longisland Coignet stone compagny" construit en 1871-72 en blocs de béton aggloméré le pont de Brooklyn **figure. I.3** à New York [3].



Figure I. 3: Le pont de Brooklyn 1871-72 New York [6].

Vers la fin du XIXème et au début du XXème siècle, marquant la période de l'apparition du béton utilisant des granulats de gros calibres ainsi que l'utilisation de ciment à la place de la chaux qui a engendré une augmentation de résistance (allant jusqu'à 20MPa) furent facilement obtenus. A compter de là, le béton aggloméré ancêtre du béton de sable a cédé la place au béton connu jusqu'à nos jours [7].

I.3. Définition de béton de sable

La norme Française A.F.N.O.R. NF P 18500 (juin 1995) définit le béton de sable comme suit : "Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant(s) et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons [8].

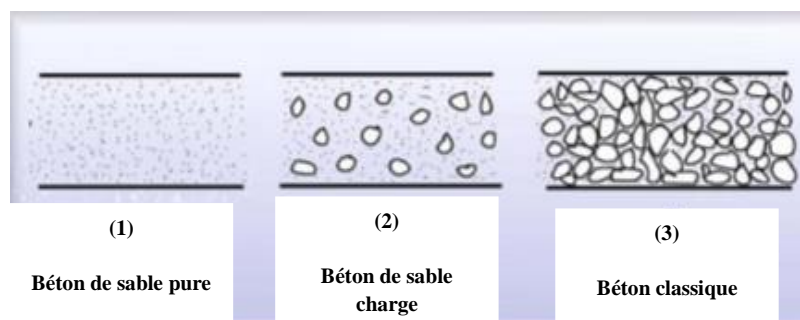


Figure I. 4: BS, BS chargé et BO[6].

Une question pourrait se poser: quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier?

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable ($D_{\max}=5\text{mm}$), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m^3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimale étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m^3 [9].

I.4. Les constituants du béton de sable

A. Sables

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes **NF P 18540** et **NF P 18-101** il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un

B. Les fines d'ajout (filler)

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont [4] :

- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- L'énergie de mise en place.

Tableau I. 1: Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment [4].

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$550/\sqrt[5]{D}$	$700/\sqrt[5]{D}$	
0/25	1,904	290	370	Béton
0/20	1,821	300	385	
0/16	1,741	315	400	
0/8	1,516	360	460	
0/6,3	1,445	380	480	Mortier
0/4	1,320	415	530	
0/2	1,149	480	610	
0/1	1,000	550	700	

On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fine calcaires, ou de broyage de roches massives.)

Les dosages en fines d'addition seront souvent importants : entre 70 et 220 Kg/m³ et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influencer grandement sur les caractéristiques de la formule employée. On peut constater que, à dosage constant en fines d'addition :

- La maniabilité est améliorée quand le rapport eau/ciment augmente.
- Pour un rapport eau/ciment fixé, la maniabilité dépend de la nature et du dosage en fines d'addition.

a. Filler calcaire

Le filler calcaire n'est pas considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif. Son avantage est sa finesse qui peut être utilisée pour optimiser la granulométrie de mélanges de béton [10].

L'addition de filler calcaires peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fin, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable. Les fillers peuvent également influencer l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton [11].

b. Fumée de silice

Les fumées de silice sont des résidés évacuées de la chambre de combustion d'un four destiné à produire de silicium ou des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de 0.1 µm, leur surface spécifique est de l'ordre de 20 et 25 m²/g, lorsque les microsphères sont bien dispersées, elles vont s'empiler dans l'espace industriel resté vide entre les grains de ciment qui possèdent un diamètre moyen environ 100 fois plus élevé. Ces fines particules améliorent les

propriétés rhéologiques du mélange (fluidité, diminution de la ségrégation et du ressuage). Leur grande finesse et leur structure vitreuse en font un produit très réactif. Elles permettent aussi d'obtenir une pâte plus dense car le squelette granulaire est plus compact.

La grande finesse et surface spécifique des fumées de silice tendant à augmenter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la même maniabilité qu'un béton sans fumée de silice. Cependant, en présence d'une superplastifiante et utilisée en petite quantité pour des bétons ayant un faible E/C, les fumées de silice peuvent augmenter quelque peu la quantité d'eau libre dans le mélange de béton et accroître sensiblement la maniabilité. De plus, les fumées de silice augmentent la cohésion du béton et diminuent donc le ressuage et la ségrégation.

L'utilisation de fumées de silice à des dosages de 5 à 10 %, par rapport à la masse de ciment, permet au béton d'atteindre des résistances mécaniques élevées, et permet aussi d'avoir des bétons plus denses et plus imperméables, donc plus durables. Cependant, étant donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton, la cure du béton doit être bien effectuée.

C. Les ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme **NF P 15-301**. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu...et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine [4].

D. L'eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à **la norme NFP18-303**. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables.

E. Les adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. [12]-[4]

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels.

Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à **la norme NF P 18-103**.

[12]-[4]

I.5 propriétés des bétons de sable

I.5.1. Propriété générale

A. La compacité

La compacité d'un béton est définie comme le volume occupé par les éléments solides rapportés au volume total. Elle est bien sûr complémentaire à la porosité.

Chapitre 1 : Béton de sable

Caquot a pu établir expérimentalement une relation mathématique pour un béton entre la porosité d'un empilement granulaire, celui-ci étant caractérisé par un diamètre d des éléments les plus fin et un diamètre D des éléments les plus gros

$$P = P_0 (d / D)^{0.2} \dots\dots\dots (1.1)$$

P_0 : constante expérimentale;

d : diamètre des éléments les plus fin;

D : diamètre des éléments les plus grands.

B. La Maniabilité

La maniabilité est une propriété physique spécifique du béton sans tenir compte des conditions particulières d'utilisation pour un type donné d'application. Elle est définie comme étant la propriété d'un mortier ou d'un béton fraîchement malaxé qui définit la facilité et l'homogénéité à être malaxé, mis en place, serré et fini [13].

Les bétons de sable demandent une quantité d'eau élevée par rapport aux bétons classiques; ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C systématiquement entre 0.6 et 0.7. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange.

C. Propriétés mécaniques

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques majeures pour un béton. De ce fait, il est indispensable pour n'importe quelles études de prendre en considération les résistances à la rupture en traction ou en compression.

C.1 Résistance à la compression

Concernant la résistance à la compression des bétons de sable, et d'après les travaux réalisés par CHAOUCH [14] qui a été constaté que les valeurs de la résistance à la compression des quatre types de bétons de sable de dunes, Ce qui nous permis de conclure, que ces derniers présentent aussi une résistance à la compression relativement inférieure par rapport à celle d'un béton normal.

C.2. Résistance à la traction

Diverses études ont été réalisées concernant la résistance à la traction des bétons de sable, nous citons les travaux réalisés par CHAOUCH [14], sur quatre types de bétons de sable de dunes dont leurs compositions ainsi que leurs résistances à la traction sont présentées dans le **Tableau (I.2)** suivant :

Tableau I. 2: Dosages et résistances à la traction des bétons de sable de dunes [14].

Constituant	Dosage en kg/m ³				Resistance en bars a 28 jours			
	Composition				Composition			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Ciment	350	400	350	300	10,25	15,67	11,50	10,67
Sable de dunes	1505	1420	1470	1560				
Eau	245	280	280	240				
E/C	0,7	0,7	0,8	0,8				

D'après les résultats donnés dans le **Tableau (I.2)**, nous constatons que la résistance à la traction des bétons de sable de dunes est relativement inférieure à celle du béton normal.

I.5.2. Formulation des bétons de sable

I.5.2.1. Définition

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, afin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques. Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème. Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique. A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, dont l'une est théorique et l'autre expérimentale, en se basant sur les deux critères principaux des bétons structuraux.

- La résistance mécanique.
- La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre.

I.5.2.2. Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci. Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot [15] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{\max}). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit :

$$V = V_0 (d / D_{\max})^{1/5} \dots\dots\dots (I.2)$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

V₀ : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;

D_{max} : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

Cette formule a innové le domaine de formulation des bétons et elle est à la base de nombreuses méthodes utilisées telles que l'approche de Faury, Bolomey, Dreux, etc. Elle trouve aussi son application aux bétons de sable pour la détermination des différents dosages des constituants, tout en faisant quelques adaptations à ce cas précis.

A. Dosage en fines d'un béton de sable

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions:

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 μm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.
2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80mm et le diamètre maximal du sable D_{max} , ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 μm provenant des fines d'ajout.

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80mm et les étendues durables comprises entre 80 μm et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot:

$$P_s = V = 0,75 (0,08/D)^{1/5} \dots\dots\dots \text{Éq. (I.3)}$$

$P_s(V)$: Porosité du sable d'étendue 80m m et D_{max}

D_{max} : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (V_0) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0,7 ; 0,8)

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement parla coupure 80m m, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80m m) et le volume des vides associé à l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout. Il suffit de combiner les deux résultats précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale résiduelle.

$$[\text{Fines}] = 0,38 (0,08/D_{\text{max}})^{1/5} \dots\dots\dots \text{Éq. (I.4)}$$

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente

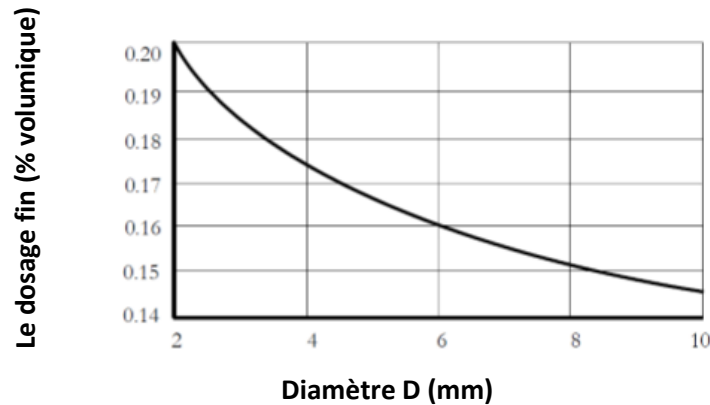


Figure I. 5: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines[16].

B. Dosage en eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v.

$$(e + v)_{\min} = 0.8 (d/D_{\max})^{1/5} \dots\dots\dots \text{Éq. (I.5)}$$

Cette formule exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du mélange (d). L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange totalement défloculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

$$d = (60 / (f)) \text{ mm} \times p \dots\dots\dots \text{Éq. (I.6)}$$

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.

p: Densité du constituant exprimée en g/cm^3 .

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères.

Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés: la dimension des floccs relevant des considérations physico-chimiques très complexes.

Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 mm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la figure (1.35) le montre :

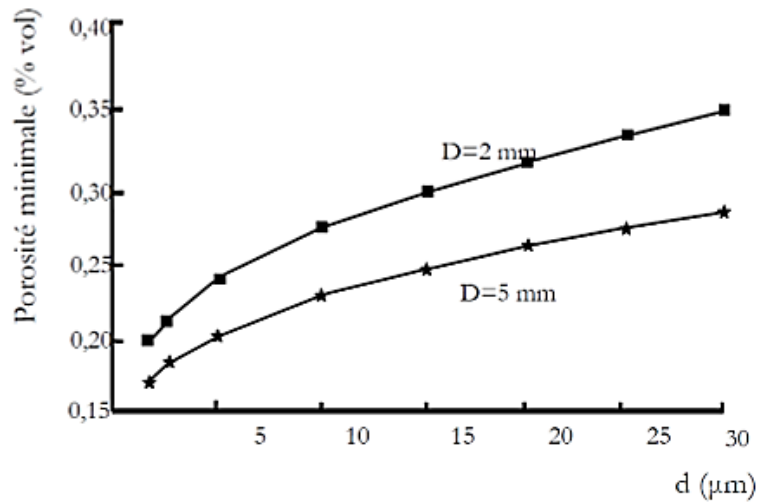


Figure I. 6: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable [16][17].

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v) En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ; la **figure 1.23** nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

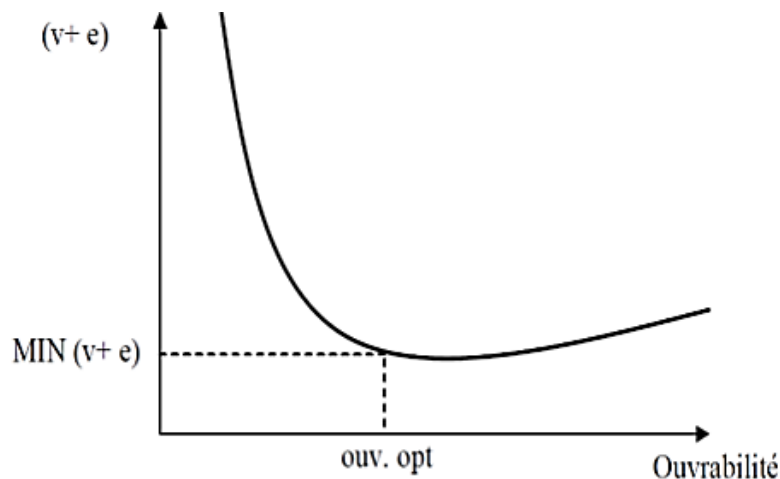


Figure I. 7: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage ($e + v$) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée.

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piègera une forte quantité d'air quel que soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité ($e+v$) supérieure à ($e+v$) min, alors pour des quantités d'eau supérieures à celle qui donne l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire.

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

$$[\text{Vides}] = K [\text{eau}] \dots\dots\dots \text{Éq. (I.7)}$$

C. Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m^3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

$$[\text{Sable}] = 1000 - [\text{fines}] - [\text{eau}] - [\text{vide}] \text{ (l/m}^3\text{)}. \dots\dots\dots \text{Éq. (I.8)}$$

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80mm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

I.5.2.3. Méthode expérimentale de formulation

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons. D'autres méthodes expérimentales existent, elles peuvent différer en fonction des approches théoriques et des habitudes de travail, toutefois, l'objectif reste le même : formuler un béton qui soit le plus compact possible, et par conséquent de bonnes performances. Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum. Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au Maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente. Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné pleine satisfaction [16].

I.5.2.4. Exemples d'applications des bétons de sables

Les BS sont employés à grand échelle dans plusieurs domaines telle que le domaine de préfabrication : bordures et toitures, tuyaux, mobilier urbain, voûtes en voiles minces, caissons de plafond, cloisons et autres éléments constructifs d'immeubles, etc. Et aussi dans le bâtiment, où le BS consiste à remplacer le BO dans des structures en béton armé coulé et vibré, ou hyper compacté : (éléments horizontaux et verticaux, dalles, fondations etc.) [18].

On trouve également des réalisations en béton de sable dans le domaine des chaussées routières et aéroportuaires ainsi que dans des travaux de calage de bourrage ou d'injection, sans oublier le plus important dans notre recherche, son utilisation dans le domaine des réparations. La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent d'avantages à ses propriétés spécifiques par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci.

Pour mettre en évidence l'utilisation des BS dans la rénovation et réparation des ouvrages, on peut citer quelques exemples d'applications ou on mentionnera quelques formulations avec caractéristiques mécaniques des bétons de sable de réparation de quelques ouvrages réhabilitation des silos à grains à Moscou : travaux de rénovation avec ferrailage de surface et une couche de béton de sable en 6 cm d'épaisseur [19].

- Réhabilitation d'une réfrigérante centrale thermique de Lynbertsy (banlieue de Moscou) 1975 [19].
- Pont de Castagnède sur le Salat (construit entre 1862 et 1867) et Pont de Saint Martory (construit entre 1724 et 1727), en France [18] : Réparation des deux grands ouvrages d'art en 1991, le problème qui s'est posé c'est l'érosion des fondations qui ne reposent plus sur le substratum, alors la réparation se fait en réalisant des corsets et des remplissages parfaits des vides qui comptent de béton de sable.

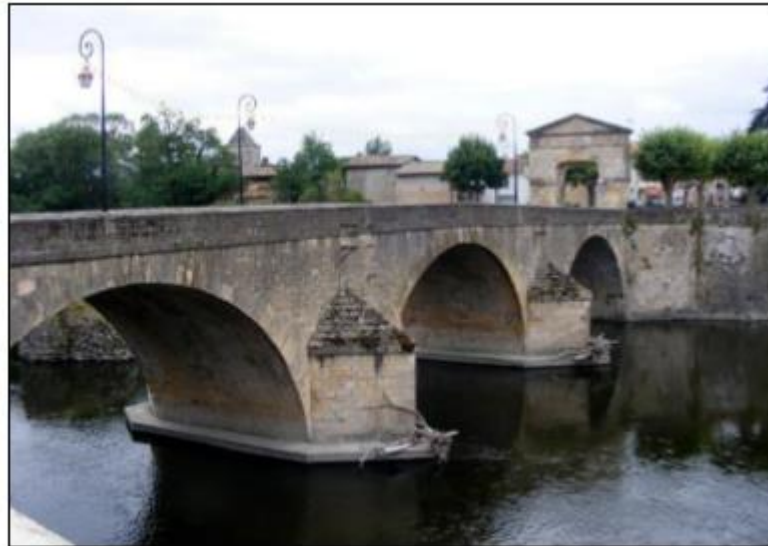


Figure I. 8: Pont de Saint-Martory .1724 [6].

- Réhabilitation structurante d'un collecteur encombré Agrippa d'Aubigné de la ville Paris [4].
- Réhabilitation structurante d'un collecteur fortement dégradé Naujaede la ville Bordeaux [4].
- Réfection de l'habillage d'un talus abrupt en bordure d'une autoroute urbaine (A10, Lormont (France).) [4].
- Réhabilitation d'une buse métallique : RN 89, ARTIGUES près de bordeaux[4].

I.6.Conclusion

Les bétons de sable peuvent être utilisés dans divers domaines tels que le bâtiment, les routes, les bétons vibrés et la projection.

CHAPITRE II : Gestion des déchets

II.1 Introduction

L'amélioration et le développement de la vie humaine nous ont imposé des sérieux problèmes sur notre environnement. La volonté de traiter ce problème a forcé les autorités nationales et régionales à définir une politique de valorisation des déchets qui sont souvent associés à la détérioration de notre écosystème et à de multiples risques pour la santé humaine.

De ce fait, il est nécessaire d'envisager des solutions de gestion favorables au niveau des déchets potentiels, à resserrer les liens dans ce domaine et à coordonner leurs actions pour promouvoir cette politique.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics. Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération.

II.2.1. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

A. Chimiques

Tout résidu d'un processus analytique, de réaction, transformation ou d'utilisation de substances ou produits chimiques dans les établissements de recherche et d'études, d'enseignement et de formation, d'activités de soin humain ou animal.

B. Technologiques

Les déchets dits technologiques résultent de l'exploitation des usines et laboratoires. Certains sont solides : gants, déchets de démantèlement... D'autres sont liquides tels que les effluents de décontamination. Même si l'activité mise en jeu est beaucoup plus faible que celle des déchets de procédés, les volumes des déchets technologiques peuvent être relativement importants, et le fait de mettre en œuvre des matières radioactives conduit, bien évidemment, à utiliser pour leur traitement une méthodologie particulière et adaptée.

C. Biologiques

Ce sont les résidus d'origine végétale ou animale qui peuvent être dégradés par les micro-organismes pour lesquels ils représentent une source d'alimentation.

D. Economiques

Tous les déchets qui ne sont pas des déchets ménagers.

E. Ecologiques

Les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.

F. Accidentelles

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

II.2.2. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [20].

II.3. Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil

II.3.1. Les déchets

A. Définition des déchets

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. »

. D'après la loi française du 15 juillet 1975 : « Est ultime un déchet résultant ou non du traitement des déchets et qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » [21].

On peut classer les déchets selon quatre grandes catégories représentant l'essentiel de la production et rendant compte de leur diversité : [22].

a)- Les déchets organiques

Ces déchets sont composés de matière organique et son issus d'organismes vivants végétaux ou animaux.

b)- Les déchets inertes

Ce sont des déchets composés d'éléments minéraux qui n'évoluent pas dans le temps (non putrescibles) et qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont les gravats, résidus d'activité extractive.

c)- Les déchets banals

Ce sont des déchets qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont des déchets ménagers et les déchets qui leur sont assimilables et peuvent être traités de la même façon. Ce sont les emballages, les déchets de bois, de plastiques...

d)- Les déchets spéciaux

Ces déchets contiennent des éléments nocifs en quantités variables impliquant des précautions particulières d'élimination. Ce sont les solvants, les produits phytosanitaires; certains déchets spéciaux doivent être stabilisés avant stockage. Un déchet est considéré comme stabilisé

quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon à respecter certains seuils pour différents paramètres (pH, siccité, fraction soluble...).

B. La Valorisation des déchets

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances " [22].

C. Méthodes de la valorisation

a) - Valorisation matière

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet. Dans ce cas, il n'y a pas de destruction majeure de la structure chimique du polymère [22].

b) - Valorisation énergétique

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique [21].

Plusieurs techniques permettent d'atteindre cet objectif dont les plus connus sont l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur place ou transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement [22].

c) - Valorisation chimique

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique ou l'industrie de la transformation des matières plastiques [22]

II.3.2. Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous-produits industriels dans des conditions spécifiques [23].

A) Déchets inertes

Tout déchet qui ne produit pas de réaction physique ou chimique tels les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou par d'autres éléments.

B) Les déchets ménagers

Les déchets ménagers englobent tous les déchets produits par les ménages et assimilés (certaines collectivités et certains commerçants). Ce sont donc les déchets que tout particulier produit dans sa vie quotidienne. Les déchets ménagers regroupent les ordures ménagères (non recyclables ou pas encore recyclées), les déchets recyclables secs (journaux, papiers, carton,

magazines, verre, aluminium, plastique) et les recyclables dits humides, organiques ou fermentescibles (déchets alimentaires, herbes, bois...)

C) Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.

Tableau II. 1:Quantités de déchets produits : évolution 2008 [24].

Catégorie de déchets	Production de déchets en tonnes
Bois	5 529 740
Métaux	3 960 337
déchets en mélange	2 160 388
papiers cartons	1 997 818
Plastiques	467 333
Verre	305 495
Caoutchouc	81 220
Textile	22 877
TOTAL DECHETS BANALS	14 25 208

D) Déchets toxiques

Un déchet toxique est un déchet, qui peut s'avérer nuisible à la santé d'un être vivant. Les déchets toxiques sont généralement rejetés par les usines ou les puissances industrielles.

II.4. L'activité du recyclage des déchets construction

II.4.1. Recyclage des déchets

Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dits des trois R :

- Réduire,
- Réutiliser,
- Recycler.

II.4.1.2. Type de recyclage

Il existe trois types de recyclage

- A. Le recyclage.
- B. Le recyclage sélectif.
- C. Le recyclage en site fixe.

II.4.3. 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.
- 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 ;
- 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 1 L d'eau et 2,5W d'électricité en plus de 15 g de bois [25].

II.4.4. Technique de recyclage

II.4.4.1. 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.

II.4.4.2. La chaîne du recyclage

a. 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.

b. Transformation

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.

c. 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

c. 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.

II.5. Déchets en Algérie

II.5.1. Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics

II.5.1.1. 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 [26].

II.5.2. Déchets de la construction/démolition

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel.

La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [27].

II.6.Conclusion

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition « matière » et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont appelés pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Chapitre III : Déchet de caoutchouc

III.1. Caoutchouc et déchets de caoutchouc

III.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 séminale), 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.

- 1870 : Apparition des premiers préservatifs à base de caoutchouc de latex.
- 23 juillet 1888 : John Boyd Dunlop dépose un brevet qui permet d'utiliser le caoutchouc pour la fabrication de pneus². C'est la naissance du pneu à valve. L'invention des pneus (appuyée plus tard par l'explosion de la production automobile) et le succès des bicyclettes provoquent le boom de la production du caoutchouc à la fin du XIXe siècle
- . 24 juillet 1904 : Création d'une commission internationale pour enquêter sur les pratiques utilisées dans la production du caoutchouc.
- 1907 : Synthèse de caoutchouc par l'Allemand Fritz Hofmann.
- 1980 : Le guayule naturel mexicain peut être mécanisable avec un rendement supérieur à l'hévéa.
- 2003 : Amerityre Corporation développe les pneus increvables (no-flat, air-no-air), basés sur le polyuréthane.

III.1.2. Définition

La matière caoutchouc ou familièrement un caoutchouc désigne un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un produit semi-fini ou à un objet. Comme les matières plastiques, ils sont souvent issus d'un combustible fossile. Un élastomère possède une meilleure déformation élastique sous contrainte que la plupart des matériaux et revient à sa forme initiale sans aucune déformation permanente.

Un élastomère est un polymère présentant des propriétés « élastiques », obtenues après réticulation. Il supporte de très grandes déformations avant rupture. Le terme de caoutchouc est un synonyme usuel d'élastomère.

III.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.

III.1.3.4. 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 polymères⁴ 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.

III.2. Caoutchouc des pneus

III.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 [28], [29].

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 [30] [31].

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,...) [32], [33].

III.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 a un pouvoir calorifique élevé. Une directive européenne interdit la mise en décharge de pneus entiers à partir de 2003 [34]. 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 quelque soit sa nature et en particulier les pneus, tout en respectant l'environnement. Mais de part 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) [35].

Dans cette 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 III. 1:Incendie sur le site de stockage des pneus usagés [36].

III.2.3 Définition et caractéristiques physiques des pneus

III.2.3.1. 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 : [33]

a)- La carcasse

Elle constitue le squelette du pneu, l'ossature du pneu est composée de couches de câble de différents types (nylon, acier, rayonne, polyester, aramide,...).

b)- Le talon

Est l'élément rigide de la liaison entre la jante et le pneu. Il est composé d'une tringle de câble d'acier à haute adhérence.

c)- La bande de roulement

Elle est composée d'un mélange de caoutchouc devant résister aux chocs, aux coupures, aux échauffements, à l'abrasion...

d)- Le flanc

Il est constitué de plusieurs types de caoutchouc ; son rôle est double : il doit, dans sa partie supérieure protéger la carcasse contre les échauffements et l'abrasion, et dans sa partie inférieure (plus épaisse) protéger la carcasse des contacts avec le rebord de la jante.

III.2.3.2. 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 zincodorants) [45]. 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.

Le tableau (III.1), donne la composition moyenne d'un pneu pour véhicule léger (VL) :

Tableau III. 1: Composition moyenne d'un pneu VL en Europe [35].

Matériaux /éléments	Pourcentage massique
Caoutchouc	48
Noir de carbone	22
Acier	15
Textile	5
Oxyde de zinc	1
Soufre	1
Additif	8

Le tableau (III.2), présente aussi d'autres caractéristiques des pneus telles que :

Tableau III. 2: Caractéristiques physiques d'un pneu [35].

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

III.2.3.3. 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. [37]

III.2.3.4. 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 : [35]

a) Le réemploi

Rechapage, revente d'occasion, réutilisation en ensilage par les agriculteurs.

b) La valorisation énergétique

Le caoutchouc a un pouvoir calorifique élevé. Les déchets de pneus peuvent donc servir de combustible de qualité dans les cimenteries et chaudières industrielles. [35]

c) La valorisation en matière

Broyage en poudrette pour une utilisation en revêtement de sol. [35]

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 [38].

e) les fibres métalliques

Peuvent être utilisées comme renfort, c'est l'objectif de notre étude.

III.2.3.5. 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. [39]

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.

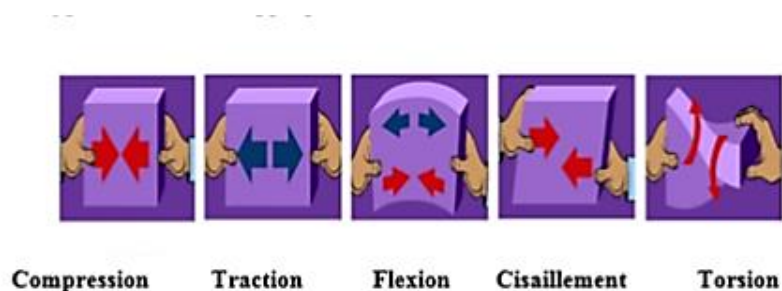


Figure III. 2: Différentes sollicitations mécaniques [40].

III.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 permet 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 [39].

III.2.3.7. 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 [41].

Tableau III. 3: 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

[50]. 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%.

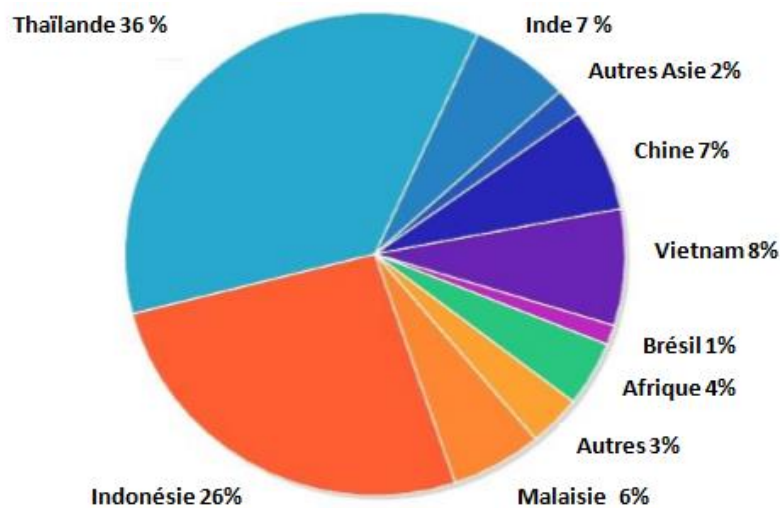


Figure III. 3: La production mondiale de caoutchouc naturel en 2014 [43].

III.2.3.8. 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 III. 4: Processus de recyclage de déchets de caoutchouc [44].

III.3. Béton de déchets de caoutchouc

III.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.

III.3.2. Propriété du béton de déchets de caoutchouc

A. propriétés à l'état frais

Güneyisi et al. [45] 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 III. 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. [46] 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 III.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.

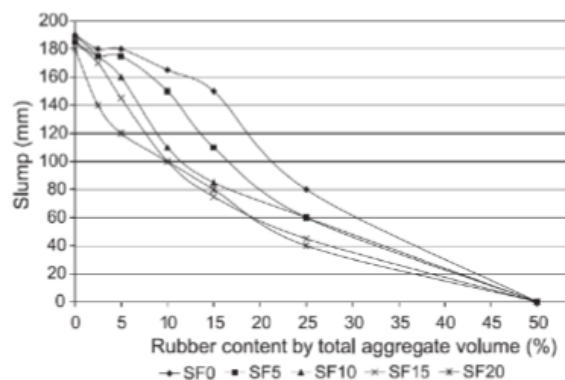


Figure III. 5: Influence de G.C. sur l'affaissement [45].

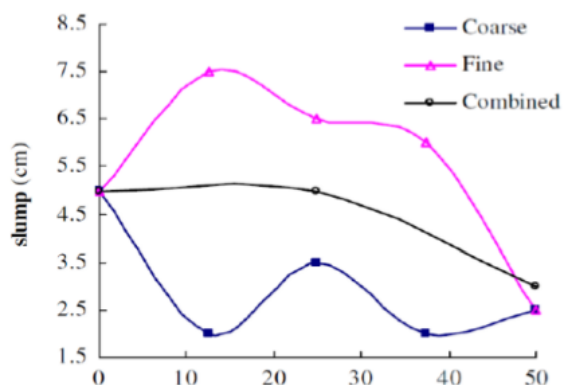
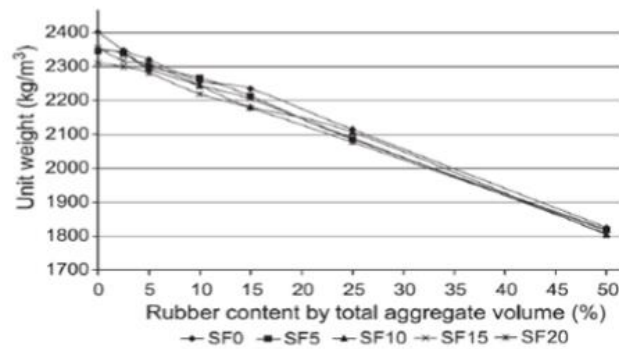


Figure III. 6: Influence de G.C. sur l'affaissement [46].

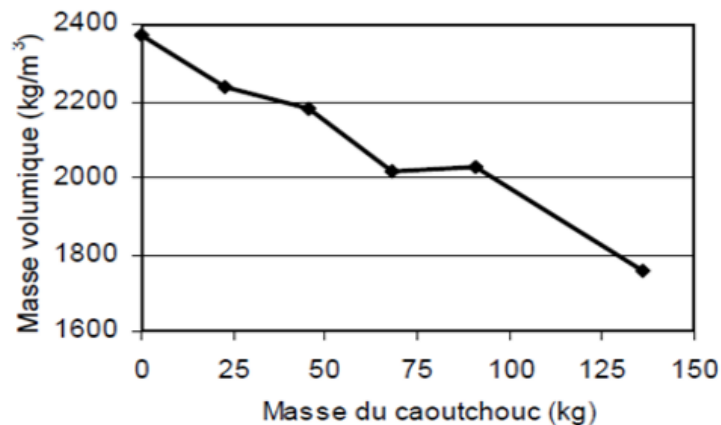
La masse volumique d'un béton dépend de sa composition en particulier de la densité des granulats utilisés. Le béton incorporant des G.C. en substitution des granulats naturels a naturellement une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire. Si on se réfère à

la classification des bétons légers établie par l'ACI Comité 213 [47], avec l'incorporation de G.C. on peut envisager la production de bétons légers de structure.

Comme le montre la **Figure III.7** (a), Güneyisi et al. [45] 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 III.5**. Kaloush et al. [47] 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 III-14**(b).



(a)



(b)

Figure III. 7: Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C [51] -a,[48]-b.

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. [49].

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 III.8** montre cet état qui contribue sans doute aussi à l'augmentation de la porosité globale du composite et à la chute de la résistance en compression [50].



Figure III. 8:Défaut d'adhérence entre le caoutchouc et la matrice cimentaire vu au vidéo microscope, (grossissement x100) [49].

b. 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 Benazzouk et al. [51] 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. [49]

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[51] peut être rapprochée des observations de Kerasley et Wainwright[52] 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 III. 4: Coefficient de perméabilité à l'air du composite ciment-caoutchouc[51].

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

d. Absorption d'eau

S'agissant de l'absorption d'eau, on trouve une convergence entre les résultats de Benazzouk et al. [51] et ceux de Garros [53] mais avec des explications partiellement communes. Leurs résultats sont illustrés sur les **Figure III.9** et **Figure III.10** 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. Quand 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.

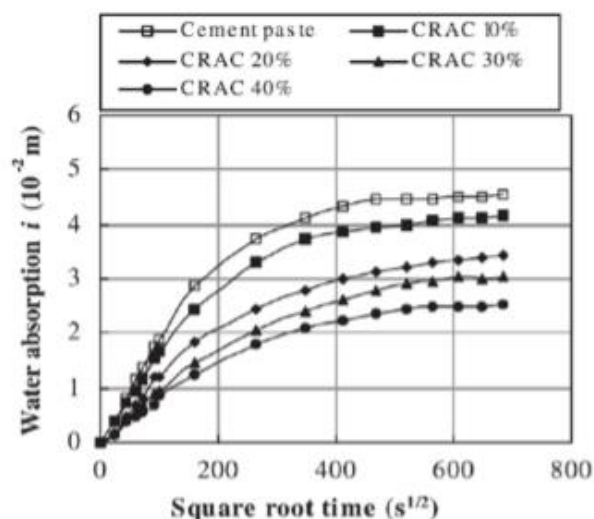


Figure III. 9: Evolution de l'absorption d'eau en fonction du dosage en G.C[51].

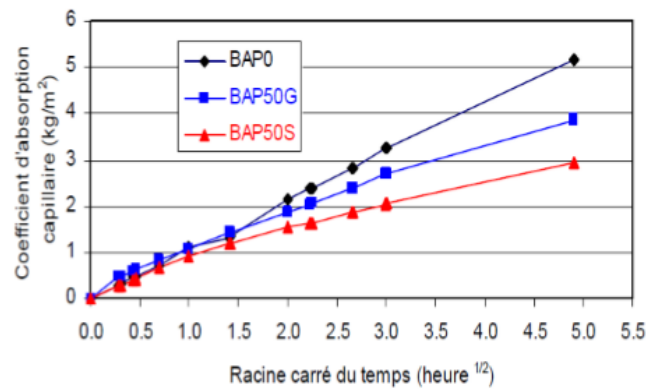


Figure III. 10: Evolution de l'absorption capillaire en fonction du taux d'incorporation et de la taille des G.C[53].

III.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 III. 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[79], Topçu, 1995[80]).

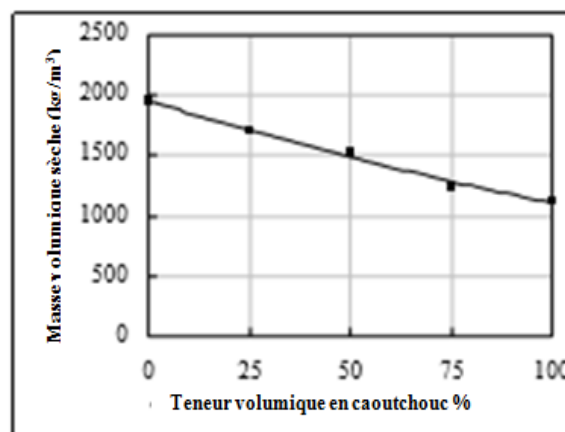


Figure III. 11: Masse volumique sèche des composites

La variation de la résistance à la compression du composite, à 28 jours, à différentes formulations, est donnée par la **Figure III.12**. 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.

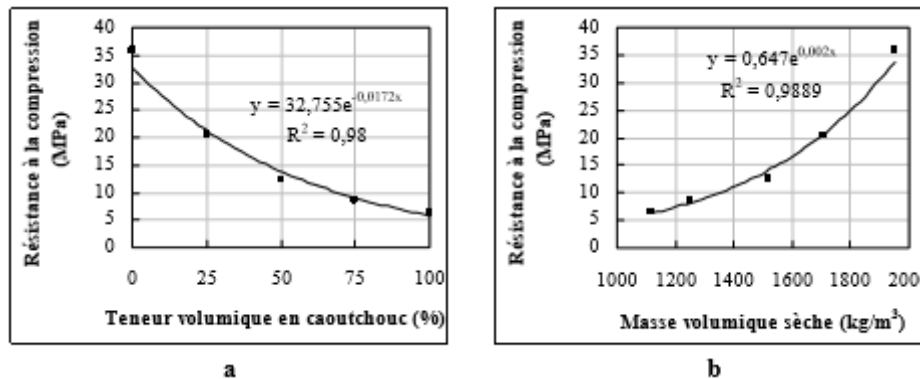


Figure III. 12: Evolution de la résistance à la compression des composites

Cette eau excédentaire est caractérisée par l'augmentation de l'affaissement, suivant le tableau 1. 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 III. 13**, 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)[81]. 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)[82].

Figure III. 13 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 conséquences, les propriétés mécaniques du matériau puisque le dosage en eau est étroitement lié à la porosité[83].

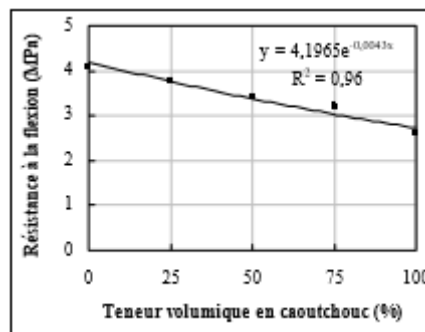


Figure III. 13 : Evolution de la résistance à la flexion des composites

III.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.

III.5.1. 1^{ier} 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 Bousmail 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 III. 14: Pose des nappes de pneus Projet pilote – Route de Bousmail.

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 montrés un comportement et une stabilité parfaite jusqu'à l'heure actuelle.

III.5.2^{ième} 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 III. 15: Stabilité d'un glissement de terrain - Cas de TiziGhenif – Wilaya de TiziOuzou Algérie

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

III.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.

III.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 III. 16: Bassin d'infiltration.

III.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.

III.5.6. Drainage

Une étude de faisabilité sur la valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage. Les broyats de pneumatiques usagés possèdent en effet une conductivité hydraulique élevée, équivalente à celle des granulats naturels que sont les graviers. Ainsi, le recours aux broyats

pourrait être une opportunité intéressante, notamment dans les installations de stockage de déchets.

L'étude actuellement menée vise à établir des préconisations et des recommandations d'utilisation de broyats de pneus issus de poids lourds et de véhicules légers en couche drainante. Cette étude porte également sur les prescriptions techniques minimales pour assurer la pérennité technique et l'innocuité environnementale.



Figure III. 17:La valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage.

III.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 III. 18: Technique de l'asphalt caoutchouté.

III.6.1. Gazon synthétique

Le gazon synthétique est composé d'un tapis d'herbe synthétique dans lequel a généralement été ajouté un lit de lestage en sable recouvert d'une couche de granulats libres. Cette technologie permet une utilisation du stade par tous les temps et en toute saison, puisque ce revêtement ne craint ni le gel en hiver, ni la sécheresse en été, ni les inondations dues aux pluies.

Il exige un entretien très limité et ne requiert pas d'arrosage. Surtout, ce terrain permet des sensations de jeu très proches d'une pelouse naturelle.

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, Aliapur 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.

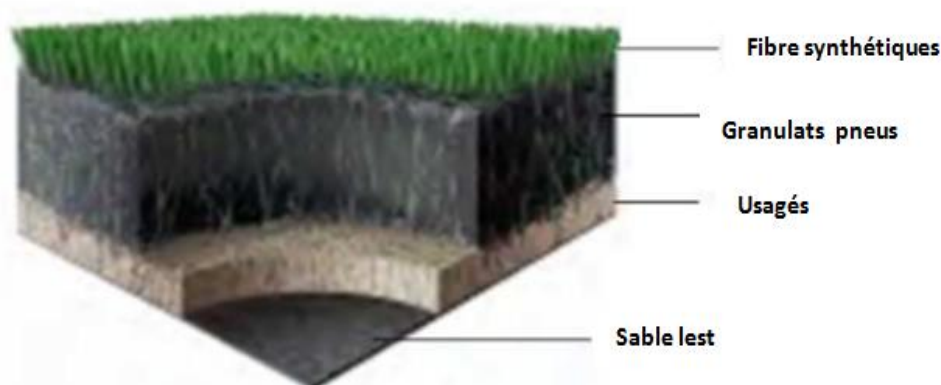


Figure III. 19: Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3ème génération.

III.6.2. Autres domaines d'application

La poudrette de caoutchouc peut réduire les vibrations induites par les plates-formes (tramway) en utilisant les granulats comme couche anti vibratile. Les premiers résultats sont prometteurs et devraient déboucher sur une expérimentation. Comme elle peut être un mode d'isolation et pour réduire les bruits pour les toitures, les granulats peut être mélangés à des liants ou des résines, pour l'application dans les objets moulés, en particulier dans le domaine du mobilier urbain. Ils peuvent ainsi devenir des ralentisseurs, des plots de signalisation, des accessoires d'aménagement sur voie cyclable et même la fabrication des chaussures.

III.7. CONCLUSION

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition «matière» et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement.

L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. 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 VI : VALORISATION DE DECHETS DE VERRE

IV.1.Introduction

De fait de sa nature amorphe et qu'il contient des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation de verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons se gonflent et se fissurent. [54], [55].

Depuis, l'idée a été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation de verre recyclé dans le ciment et béton a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études [55],[56].

IV.2. Définition du verre

Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant.

Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.

- Que ce matériau a une structure particulière (aspect structural) le verre est un solide non cristallin (amorphe).

Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnement des atomes et existence d'une maille cristalline).

C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.

- Que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel) : le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu. [57]

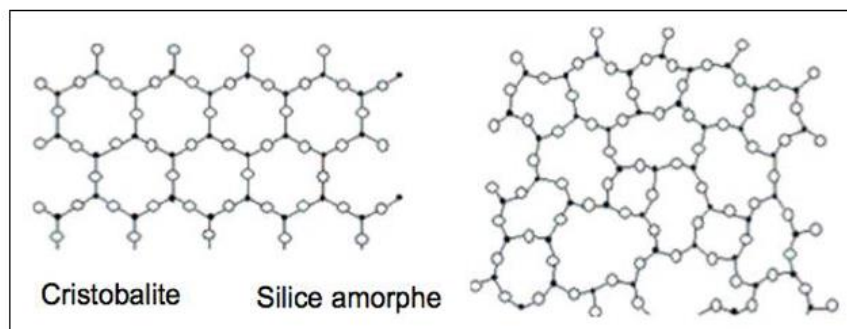


Figure IV. 1: Représentation schématique plane d'un réseau vitreux [57].

IV.3. Définition de poudre de verre

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré.

Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de ciment en vertu de ses propriétés pouzzolaniques.

IV.4. Valorisation de verre dans le béton

Le verre est un matériau à plusieurs vies et peut être recyclé plusieurs fois. Cependant, il est nécessaire que le verre provenant de la collecte sélective soit préalablement séparé en fonction

de la couleur pour être transformé en calcaire pour être réutilisé dans la fabrication d'emballages en verre.

La plupart du temps, le verre récolté est un produit mixte et sa réutilisation peut devenir difficile. Dans ce cas-ci, il est employé pour d'autres applications (abrasif routier, laine de verre, filtrations municipales...) ou stocké en décharge.

Des travaux ont montré que l'utilisation du verre dans les bétons semble être une piste prometteuse

❖ Pour un recyclage massif

- En subissant un léger concassage, le verre peut être utilisé comme granulats dans le béton. Ce traitement a l'avantage de présenter un faible coût mais peut entraîner une réaction néfaste pour la structure. Qualifiée de "cancer des bétons", la réaction alcali-silice (RAS) est le résultat de la réaction de la silice amorphe d'un granulats avec les ions hydroxydes et alcalins présents dans la solution interstitielle du béton. Cette réaction donne naissance à un gel gonflant provoquant la fissuration du béton et dans certains cas sa destruction.

- Un broyage prononcé laisse envisager une utilisation en tant que liant.

Dans ce cas-ci, la silice du verre réagit avec la chaux produite par la réaction du ciment, créant des composés dotés de propriétés liantes: c'est la réaction pouzzolanique.

En considérant la pathologie qu'entraînent les granulats de verre, il est vraisemblable que la valorisation du verre ne soit possible qu'à travers un broyage accentué. Cependant, le coût qu'engendre une telle opération peut freiner cette voie de valorisation.

Pour freiner la RAS, des études ont proposé la combinaison du verre à des pouzzolanes tels que: les fumées de silice, les cendres volantes ou le métakaolin.

Il est vrai que ces pouzzolanes ont montré leur efficacité mais elles restent souvent coûteuses et ne sont pas toujours disponibles localement[58].

IV.5.-Les propriétés du verre

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence.

IV.5.1. Propriétés physiques

La transparence : mais il peut être opaque ou opalescent.

La dureté : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent.

La densité : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5.

Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.

La résistance et l'élasticité : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord.

Résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.

L'imperméabilité : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

IV.5.2. Propriétés thermiques

La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.

Il est ininflammable et incombustible.

IV.5.3. Propriétés chimiques

L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.

L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent où se décolorent.

L'action des acides : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout. [59]

IV.6. Réaction pouzzolanique du verre

L'activité pouzzolanique du verre peut être évaluée par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux notamment par ; l'essai Chapelle, ATG et DRX. **La Figure (IV-2)** rassemble les résultats de quelques travaux effectués entre les années 2000 et 2008 qui traitent de l'activité pouzzolanique du verre. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec ajout de verre à la résistance du mélange témoin. [60]

Il a été difficile, voire impossible, de rassembler tous les travaux élaborés dans les mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

1. La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique : plus les grains de verre sont fins, meilleure est son activité pouzzolanique.
2. La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente.

3. L'activité é pouzzolanique varie d'un verre à un autre, selon leur couleur, le verre brun est le verre qui possède la plus faible activité, par contre le verre vert et le verre blanc présentent une activité pouzzolanique considérable. [54]

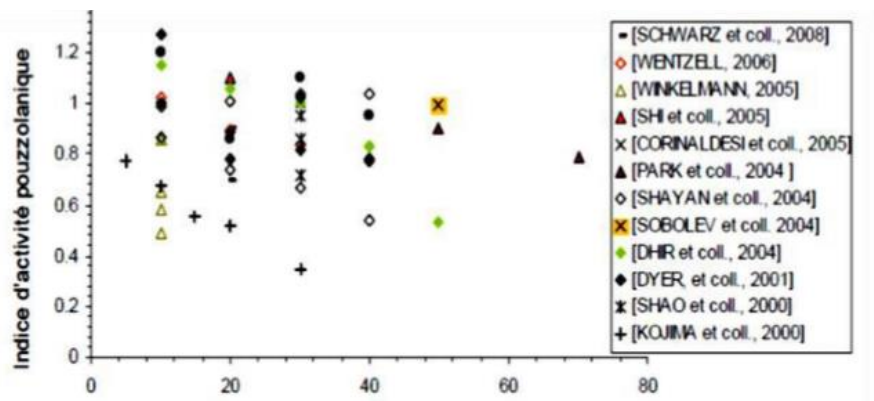


Figure IV. 2: Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes [60].

IV.7. Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes

La cinétique de la réaction du verre est plus rapide que celle des cendres volantes qui ne réagissent qu'après une à plusieurs semaines, lorsque la concentration des alcalins dans la solution interstitielle est devenue suffisante : en effet, dans le cas du verre, celui apporte lui-même les alcalins nécessaire au déclenchement de la réaction.

Par exemple, une substitution de 30% du ciment dans les bétons affiche une meilleure résistance en compression que ceux confectionnés avec de la cendre volante.

Ces auteurs ont montré qu'à trois jours de cure, la résistance des mortiers comportant 20% de verre en remplacement de ciment est 70% plus importante que celle de mortiers confectionnés avec de la cendre volante Cela pourrait s'expliquer notamment par les alcalins qui sont disponibles plus rapidement et en plus grand nombre dans le cas du verre qu'ils ne le sont dans celui de la cendre volante. [61]

IV.8. L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane

Concernant ce point, plusieurs études en laboratoire ont été conduites.

L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane notamment la fumée de silice, la cendre volante ou même le métakaolin en remplacement d'une fraction du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. Ainsi l'utilisation du verre serait plus intéressante que son emploi individuel. [60]

IV.9. Étude de la pouzzolanité

La **figure IV.3** présente les résistances en compression des mortiers contenant les différentes classes de verre.

Comme on peut le constater, les résistances dépendent de la finesse et de la teneur en verre. Des résistances importantes sont obtenues pour les particules les plus fines (C8), avec des

valeurs dépassant parfois celles de la référence sans verre quel que soit le taux de remplacement utilise(jusqu'a 40 %).

Néanmoins, la tendance générale est que le remplacement du ciment par le verre conduit à une baisse de résistance en compression, principalement en raison de l'effet de dilution. Le calcul des courbes de dilution a été effectuée par la loi de Bolomey(Equation 1), en considérant uniquement la quantité de ciment utilise dans les mortiers (par exemple10 % de verre signifie que seulement90 % de ciment peut contribuer au développement de la résistance)

$$\delta = \left(K_b \frac{C}{w+v} - 0,5 \right) \dots\dots\dots(\text{Equation 1})$$

Ou σ est la résistance à la compression du mortier, C, W et V sont respectivement les masses du ciment (sans tenir compte du verre), d'eau et des vides (pris égale à 10 % de la teneur en eau), et K_b est un coefficient qui prend compte la nature du ciment et des granulats.

Ce coefficient a été calculé pour chaque échéance en utilisant la résistance en compression du mortier témoin sans verre. [58]

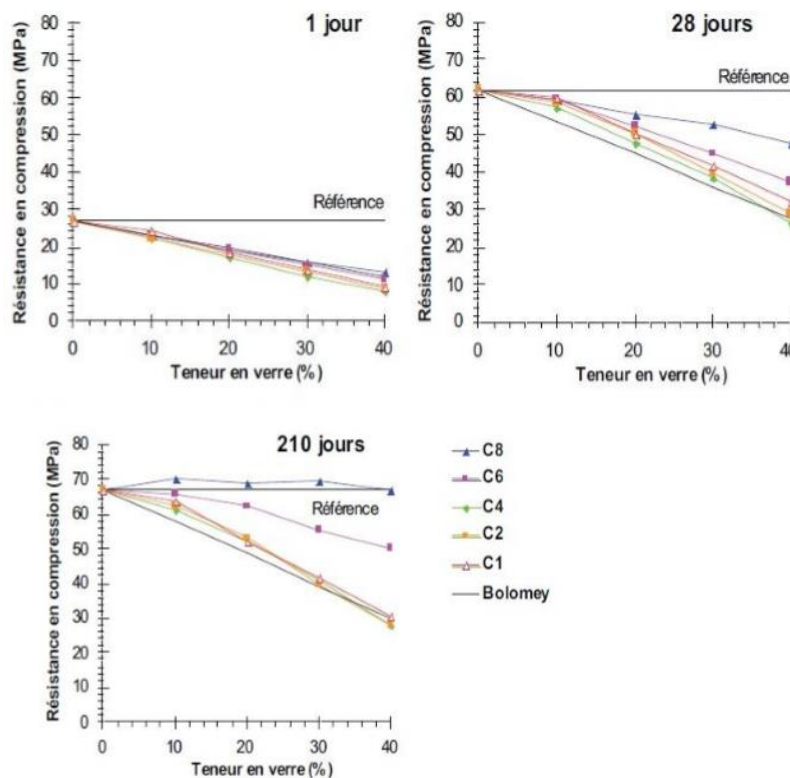


Figure IV. 3: Résistances en compression des mortiers conservés à 20°C contenant jusqu'à 40% de verre de différentes finesses.

IV.10.Comparaison avec des courbes de dilution calculées avec la formule de Bolomey

La (figure IV.3) présente les résistances relatives (rapport des résistances des mortiers avec et sans verre) jusqu'à 210 jours pour tous les mortiers avec verre en fonction de la surface spécifique du verre. Les courbes inertes ont été calculées avec la loi de Bolomey (Equation 1). On peut remarquer que jusqu'à 30 % du verre, les résistances relatives sont plus élevées que

les courbes inertes (sauf pour 1 jour), ce qui signifie qu'il y a une activité non négligeable pour toutes les tailles de particules de verre, y compris les plus grossières[58].

A 1 jour et pour une teneur de 10 % de verre, l'effet de la finesse est limité, toutes les classes de verre ont des résistances relatives comparables à la courbe de dilution. Seule la classe la plus fine se détache des autres courbes à long terme (90 et 210 jours).

Cela signifie que le ciment peut-être remplacé par n'importe quelle taille de verre sans pour autant nuire à l'activité, la résistance relative restant toujours supérieure à 0.9 dans tous les cas. Avec 20, 30 et 40% de verre, un changement progressif de comportement, lié à l'effet de taille du verre est observé. Cet effet devient plus important avec l'augmentation de la teneur en verre.

1- La résistance relative des mortiers avec les grosses particules (C1, C2 et C4) tend vers la courbe inerte mesure que la teneur en verre augmente : 20% de verre reste toujours meilleur que la courbe inerte mais 40 % de verre se comporte, au mieux, comme un matériau inerte.

Cela signifie que pour une teneur en verre de 40 %, les résistances des classes C1, C2 et C4 sont uniquement dues au ciment, sans aucun effet perceptible de l'activité du verre.

2- Une activité pouzzolanique importante, qui semble évoluer dans le temps pour les deux classes plus fines (C6 et C8), est mise en évidence par l'augmentation de la résistance relative en fonction du temps. A 210 jours, la résistance relative reste autour de 1 pour les mortiers-C8 contenant jusqu'à 40 % de verre[58].

CHAPITRE V : ISOLATION DES MATERIAUX

V.1.Introduction

La recherche des conditions de confort de l'habitat passe par une meilleure connaissance des comportements hydrique et thermique des parois. Les constructeurs s'intéressent, surtout, à la pérennité des constructions par l'emploi de matériaux efficaces en termes de résistance mécanique et de durabilité. Les aspects de confort (thermique, hydrique, acoustique) sont en général traités à posteriori par la juxtaposition de différents matériaux (isolants thermiques et acoustiques, pare-vapeur...) ayant chacun une tâche dévolue. Cette accumulation de matériaux augmente le coût de la construction et occupe un volume non négligeable. Pour minimiser ce coût et lutter contre le gaspillage d'énergie, en même temps, il est nécessaire de mettre en œuvre une isolation thermique adéquate des parois qui composent l'enveloppe. Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'effectuer une analyse plus réaliste conduisant à un coût réduit de consommation de l'énergie dans les immeubles. Les préoccupations actuelles sont de favoriser des produits composites capables de remplir plusieurs usages. L'ajout d'un enduit ou d'une peinture en surface vient en complément de ces produits composites et permet d'améliorer les performances de l'ensemble d'une paroi. Le développement actuel des bétons (bétons allégés,...) montre bien cette tendance qui consiste à surmonter les faiblesses du béton ordinaire en conservant ses performances mécaniques tout en intégrant d'autres composants non conventionnels. Ces derniers présentent de nouvelles propriétés physiques (mécaniques, thermo hydriques, acoustiques,...). On peut notamment trouver dans la littérature scientifique des travaux montrant l'intérêt d'améliorer les bétons existants en additionnant aux mélanges classiques des matériaux possédant des propriétés physiques différentes. Ces matériaux doivent être économiquement viables, intégrer les problématiques liées au confort et au développement durable (coût de l'énergie, recyclabilité,...).

V.2. Isolation thermique

L'isolation thermique joue un rôle principal dans la réduction des consommations énergétiques et également dans la création d'un espace de vie sain et plus confortable dans le bâtiment. En effet, une bonne isolation thermique entraîne le choix d'équipements de climatisation moins puissants donc plus économiques [62].

Selon la littérature [63], l'isolation thermique est une technique ou un moyen matériel (un matériau ou combinaison de matériaux) de limiter les transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre l'extérieur et l'intérieur d'un logement. Il retarde le flux de chaleur à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment en raison de sa haute résistance thermique. C'est un acte essentiel pour obtenir un niveau de bien être thermique satisfaisant. En fait, la notion de bien être thermique est plus large que celle de confort thermique. Au-delà de ce

dernier qui correspond à l'absence de sensations physiques désagréables-« avoir froid, avoir chaud »-, le bien-être thermique fait intervenir des facteurs culturels et psychologiques [64]

V.2.1. Avantages d'isolation thermique

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées [63]. En plus de confort thermique, il existe également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit [63] :

Avantage économique: Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.

A) **Avantage environnemental**

L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

B) **Réduire le niveau de bruit**

L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

C) **Intégrité structurale d'un bâtiment**

Les fortes variations de température peuvent causer des mouvements thermiques indésirables, ce qui pourrait endommager la structure du bâtiment. La préservation des bâtiments avec des fluctuations minimales de température contribue à la préservation de l'intégrité des structures de bâtiments. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'une isolation thermique appropriée en augmentant ainsi la durée de vie des structures du bâtiment.

D) **Empêchement de condensation de vapeur**

Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment. Cependant, il faut faire attention à éviter les effets néfastes de la structure du bâtiment dommageable, qui peuvent résulter de mauvaise installation de matériaux d'isolation ou une mauvaise conception. En plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher la pénétration d'humidité dans un isolant à basse température.

E) **Protection contre le feu**

Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie.

V.2.2. Classification des matériaux isolants

Les matériaux d'isolation peuvent être classés en trois groupes essentiels; à savoir :

Les matériaux inorganiques (isolants minérales), organiques (isolants synthétique, végétales et animales) et les matériaux combinés (comme la laine de bois) [65].

V.2.2.1. Matériaux inorganique

A) Les isolants minéraux

Les isolants minéraux sont fabriqués à partir de matières naturelles inorganiques. Ils regroupent : le verre cellulaire, la laine de verre, la laine de roche (basalte en particulier), la perlite, la vermiculite, l'argile expansé [64], [66].

Elles présentent de bonnes performances thermique, très résistant au feu, ils sont stables et solides, ils sont couramment utilisés dans tous les domaines de construction; et peuvent être fabriqués sous différentes formes (matelas ou panneaux) [64]. La laine de roche et la laine de verre sont les isolants les plus communément utilisés [66].

V.2.2.2. Matériaux organiques

A. Les isolants synthétiques

Les isolants synthétiques sont généralement utilisés pour l'isolation extérieure. **Cabeza et al** [67] ont étudiés les propriétés d'isolation des panneaux de polyuréthane, polystyrène, en vue de les utiliser comme isolant extérieur dans le bâtiment. Ils ont montré que ces matériaux présentent des caractéristiques thermiques intéressantes. Néanmoins, il existe plusieurs types des isolants synthétiques ; on peut citer le polystyrène, le polyuréthane, les mousses urée formol, les mousses phénoliques, les mousses de polychlorure de vinyle, les polyesters [64], [68]. Parmi les isolants synthétiques, il existe aussi une nouvelle génération d'isolants spécialement conçus pour offrir de hautes performances, comme le PIV (panneau d'isolants sous vide), l'aérogel, le brique mono-mur en terre cuite, les blocs mono-mur en argile expansée, ...etc[66].

a. Le PIV (panneaux d'isolants sous vide)

Le PIV est composé d'un matériau « âme » confiné dans un film étanche et mis en dépression. Les panneaux isolants sous vide présentent des qualités thermiques exceptionnelles, leur conductivité thermique se situe entre $0.0042 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $0.0050 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Ils possèdent une bonne capacité de réduction des nuisances sonores et une bonne résistance à la compression.

b. L'aérogel

Mis au point en 1931 par un chimiste Américain, le procédé de fabrication à été développé par la NASA pour l'isolation des satellites. Il consiste à extraire l'eau d'un gel de silice et à la remplacer par de l'air [69]. Les aérogels présentent des caractéristiques d'isolation exceptionnelles, composés de 99.8% d'air, ils sont extrêmement légers et plus proches de l'apparence d'un nuage de poussière que d'un matériau isolant classique ; ils possèdent un excellent coefficient de conductivité thermique, entre $0.011 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $0.013 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. A titre de comparaison, il est trois fois plus isolant que la laine de verre.

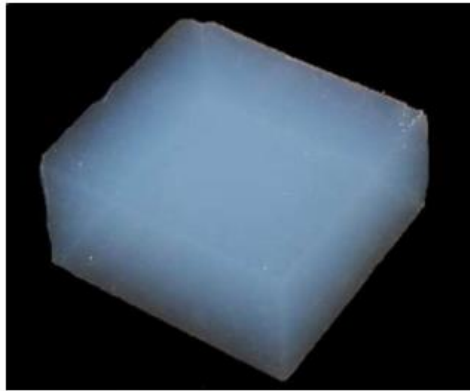


Figure V. 1: L'aérogel.

c. Brique mono-mur en terre cuite

C'est un matériau de maçonnerie en terre cuite qui se met en œuvre de manière classique, sa conductivité thermique varie entre $0.12 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $0.18 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, et peut descendre jusqu'à $0.07 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ avec le remplissage des alvéoles par un matériau isolant comme la laine de roche. Il offre également une faible inertie thermique et régule par sa structure microporeuse l'humidité de l'habitat.

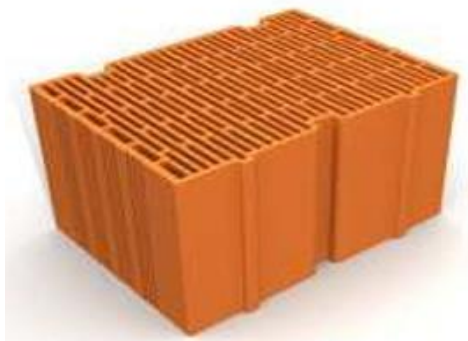


Figure V. 2: Brique mono-mur en terre cuite.

d. Blocs mono-mur en argile expansée

Il s'agit de blocs fabriqués à partir de billes d'argile expansée, cuites, calibrées, puis mélangées à du ciment. Par ailleurs, son coefficient de conductivité thermique est de $0,11 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. L'argile expansée en elle-même n'est pas un matériau très isolant, mais elle fait preuve de grandes capacités de résistance face au feu, à l'eau ainsi qu'à la compression. C'est la raison pour laquelle ce matériau est très utilisé dans la construction.



Figure V. 3: Blocs mono-mur en argile expansée.

B. Les isolants d'origine végétale

Les isolants d'origine végétale sont de plus en plus utilisés dans le domaine d'isolation grâce à leurs caractéristiques intéressantes et leurs disponibilités. Parmi les matériaux isolants disponibles et les plus répandues, on trouve: Les laines de bois, laine de coton, laine de lin, laine de coco, cellulose, la paille, le torchis, le liège expansé et le chanvre (laines et bétons de chanvre). Nous allons décrire quelques isolants, les plus répandus, dans cette partie.

a. Liège expansé

Cette matière est réduite en granules puis expansée à la vapeur à haute température (300°C) en four autoclave, durant cette opération, les granules se dilatent et s'agglomèrent entre elles par l'effet de la résine qu'ils contiennent. L'aggloméré est ensuite découpé selon les épaisseurs souhaitées. Il se présente en granules, en panneaux, ou en éléments composites préfabriqués [64].

b. Chanvre

A la fin des années 80, le chanvre devient un matériau de construction et d'isolation, en France. Un maçon Italien, M. Rasetti, eut l'idée de soumettre les particules issues de la partie centrale de la tige (la chènevotte) qui sont entourées par les fibres longues, a traitement d'imprégnation par les silicates. Il existe en granules de chènevotte, en granules et fibres longues, en fibre longues seules (laines de chanvre) [64].

c. Cellulose

La laine de cellulose provient du papier recyclé, obtenu à partir de journaux non utilisés. Le papier est défibré et réduit en flocons, puis stabilisé par incorporation de divers agents de texture, variable selon les fabricants : gypse, sel de bore, sel de Sodium, de Calcium,..., etc. elle se présente en panneaux isolants texture ou en panneaux d'agencement. Elle est utilisée comme isolant depuis les années 30 aux Etats-Unis et en Scandinavie (région en Europe) [64], [68].

C. Les isolants d'origine animale

a. Laine de mouton

Depuis 1990, dans les pays germaniques, la laine de mouton a été conditionnée industriellement pour devenir un matériau homologué du bâtiment. Elle peut être utilisée comme isolant de remplissage à disposer manuellement [64], [68].

V.2.2.3. Matériaux combinés

A. Laine de bois

Les panneaux de laine de bois sont élaborés à partir de fibre de bois, le liant étant la lignine de bois. Ce matériau naturel possède une conductivité thermique similaire aux autres laines isolantes, une structure rigide à assemblage rainuré garantissant une très grande longévité [62].

Ils sont utilisés comme isolant ou comme panneaux techniques complémentaires d'isolation [68].

V.2.3. Propriétés et performances d'un matériau isolant

La conductivité thermique n'est pas la seule propriété à prendre en compte dans le choix d'un isolant. En effet, les propriétés d'un matériau isolant sont subdivisées en trois groupes essentiels [65], [68]:

A. Propriétés physiques

Elles décrivent le comportement du matériau en termes de densité, de la résistance mécanique, de la capacité d'isolation thermique, de l'absorption acoustique, la résistance à l'humidité et au feu, stabilité dimensionnelle, etc.

B. Propriétés environnementales

Ce deuxième groupe comprend des propriétés comme l'énergie intrinsèque primaire, la quantité d'énergie totale qu'il a fallu prendre pour produire, transporter et à terme recycler le matériau, les émissions de gaz pour la production de la matière, l'utilisation d'additifs contre les effets biologiques, .etc.

C. Propriétés de l'hygiène et de la santé

Le troisième groupe s'intéresse à la santé publique durant la production, l'utilisation et l'étape finale de disposition des matériaux (par rapport aux besoins en oxygène, à l'élimination des odeurs, fumées et gaz nocifs divers). Chaque matériau peut avoir des conséquences sur la santé, à titre d'exemple le rejet de poussières ou particules (comme la laine de verre).

V.2.4.Nécessité de l'isolation thermique

Les deux critères nécessaires de la conception thermique des bâtiments sont la protection des occupants d'une manière automatique et passive, des facteurs climatiques pluies, vent, rayonnement, chaud ou froid de diverses parois, et l'optimisation de la consommation énergétique. Le concepteur doit faire en sorte que cette consommation (production de chaud ou de froid) reste dans les limites fixées par la réglementation et les possibilités financières des occupants, tout en assurant un niveau de confort défini par le maître d'ouvrage. L'isolation thermique introduite par les différents éléments de l'enveloppe de bâtiment constitue un important critère de performance énergétique. Elle permet de réduire les déperditions de chaleur, de réaliser des économies de chauffage, de limiter les émissions de gaz à effet de serre, et de bénéficier d'un meilleur confort de vie.

V.2.5.Principe

Dès que deux éléments en contact possèdent des températures différentes, il se produit un échange de chaleur entre eux jusqu'à ce que leurs températures deviennent identiques. Le but de l'isolation est de freiner cet échange de thermique, et de permettre ainsi de garder les parois de l'habitation à une température la plus proche possible de celle de l'air intérieur.

La répartition des déperditions dans une habitation non isolée est illustrée par la figure1-1

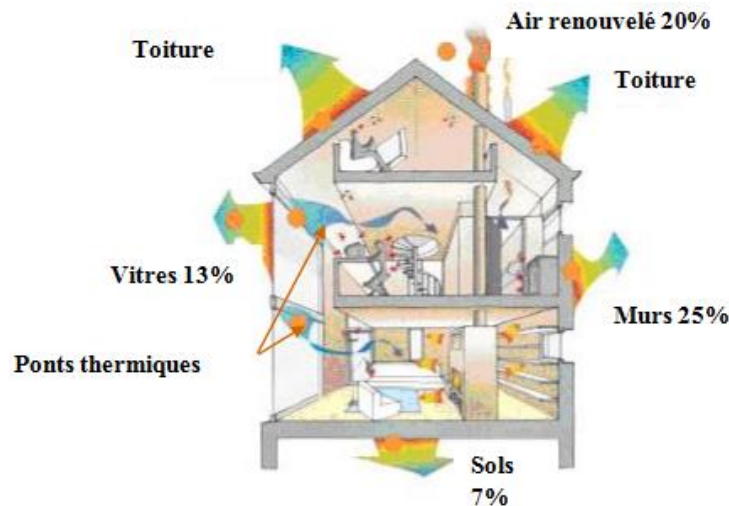


Figure V. 4: Répartition des déperditions thermiques dans une habitation.

On compte approximativement des valeurs de déperditions thermiques l'ordre de :

- Toits : 30 %,
- Murs : 25 %,
- Renouvellement d'air : 20 %,
- Portes fenêtres : 13 %,
- Sols : 7 %,
- Ponts thermiques : 5 %.

Une grande partie de déperdition de chaleur se faisant par les toits et les murs, par conséquent une bonne isolation thermique des parois permet de réduire les consommations énergétiques dans les bâtiments de plus de 60%.

V.3.Isolation acoustique (phonique)

Le bruit concerne tout le monde. Il est partout... dans la rue, sur les chantiers, dans les gares ou les aéroports mais aussi chez soi.

Nous sommes tous sensibles au bruit que ce soit au travail, à notre domicile, seul ou en communauté. Ce phénomène bien connu des citoyens entraîne un certain nombre de pathologies comme des troubles du sommeil, du stress ou des pertes de concentration. Le confort acoustique est un élément essentiel de la qualité de vie.

V.3.1.L'acoustique du bâtiment

Il existe deux types de traitements acoustiques dans le bâtiment :

A.L'isolation acoustique

Pour réduire la transmission du bruit à travers les murs, cloisons, planchers ou plafonds (directement ou indirectement).

Lacorreption acoustique : pour réduire le bruit d'une pièce à l'aide de matériaux absorbants

A.1.L'isolation acoustique (phonique)

L'isolation phonique est un sujet complexe pour lequel il est indispensable de connaître quelques notions théoriques avant de pouvoir intervenir. En revanche, son but est simple : réduire le bruit qui agresse nos oreilles.

L'isolation acoustique est l'action d'isoler, elle est donc constituée par l'ensemble des moyens pris pour réduire la transmission d'énergie acoustique émise par des sources aux endroits à protéger. Les moyens mis en œuvre sont variés et leur efficacité dépend du type de bruits dont on veut se prémunir : bruits aériens, bruits d'impacts ou encore vibrations.

On représente généralement l'isolement acoustique par un spectre déterminé à partir de méthodes d'essais normalisées (de la série des normes NBN EN ISO 140), spectre que l'on peut ensuite convertir en un indice d'évaluation « unique » en suivant une méthode de calcul normalisée également, la norme NBN EN ISO 717 (1997).

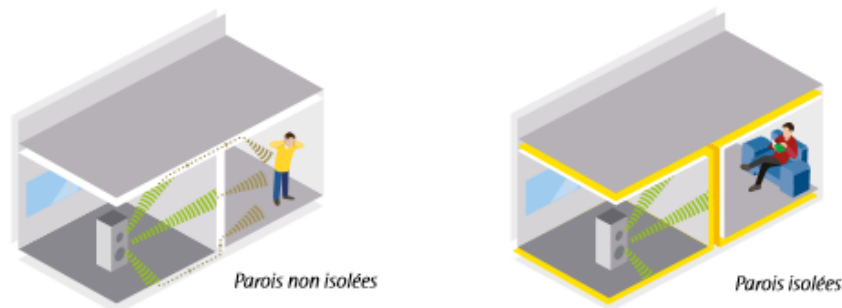


Figure V. 5: Définition d'une paroi isolée et d'une paroi non isolée.

La performance acoustique recherchée pour un local par rapport aux locaux voisins se traduit par l'isolement. Il dépend de trois paramètres : les propriétés acoustiques des produits et systèmes utilisés Les techniques de mise en œuvre et la qualité d'installation Le contexte architectural : jonction entre les parois, matériaux de structure.

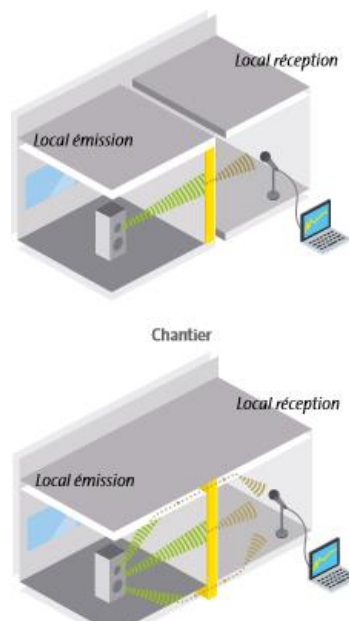


Figure V. 6: Les paramètres d'installation d'un matériau isolant.

Comment réaliser un isolement aux bruits aériens efficace ?

La lutte contre le bruit aérien passe par deux actions :

- Identifier l'origine des bruits
- Réaliser le traitement adéquat de la paroi en prenant en compte les fréquences émises.

V.3.2. Les systèmes masse-ressort-masse

Principe : Afin d'optimiser la performance acoustique des parois et d'en limiter le poids et l'épaisseur, il est possible de recourir à des systèmes à doubles parois (dites parois légères). Elles sont constituées de deux parois simples, séparées par un espace. Pour un meilleur isolement acoustique, la cavité créée entre les deux parois sera remplie d'un isolant.

Ces parois répondent au principe dit de « masse-ressort-masse » :

- 1 La première paroi joue le rôle de masse (comme dans le cas des parois simples) : elle réfléchit une partie du bruit et en laisse passer une autre.
- 2 Le bruit est transmis dans l'isolant souple, il intervient comme amortisseur, absorbe et réduit ainsi l'amplitude des ondes.
- 3 La seconde paroi réfléchit de nouveau une partie du bruit à l'intérieur de l'isolant (qui l'absorbera de nouveau).
- 4 Et transmettra enfin le bruit atténué dans le local adjacent.

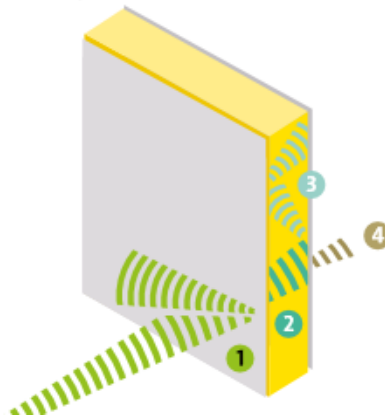


Figure V. 7: Les systèmes masse-ressort-masse.

V.3.3. Comment obtenir un indice d'affaiblissement acoustique élevé avec une paroi double ?

1. La présence ou non d'un isolant dans la cavité : l'ajout d'un isolant dans la cavité aura un impact positif et majeur sur le résultat.
2. La nature de cet isolant (isolant souple / isolant rigide) : un isolant fibreux souple permettra d'obtenir des indices élevés d'affaiblissement acoustique, meilleurs qu'avec un isolant rigide. Une augmentation de la masse volumique d'un isolant fibreux n'améliore pas les performances, voire risque de légèrement les détériorer. Le calfeutrement par l'isolant sera moins bon.

3. Une augmentation de l'épaisseur de la cavité remplie d'isolant aura un impact positif. L'isolant doit avoir une épaisseur équivalente à l'espace entre parements et ne doit pas être comprimé.

4. La nature et la masse surfacique de chaque parement ou paroi et les liaisons entre elles : ce dernier point sera développé dans la partie « Pour aller plus loin »

V.3.4. Correction acoustique

Outre le traitement des transmissions de sons à travers une paroi, il peut être intéressant de réduire ou de maîtriser la propagation des sons au sein d'une pièce. C'est le rôle de la correction acoustique. Celle-ci fait appel à la notion d'absorption acoustique, afin de diminuer la part de réflexion du son sur les parois alentours. La correction acoustique permet en réduisant la réverbération de contrôler le niveau sonore, d'optimiser les qualités d'écoute dans l'ensemble du volume (salle de classe par exemple) et de gérer l'intelligibilité de la parole.

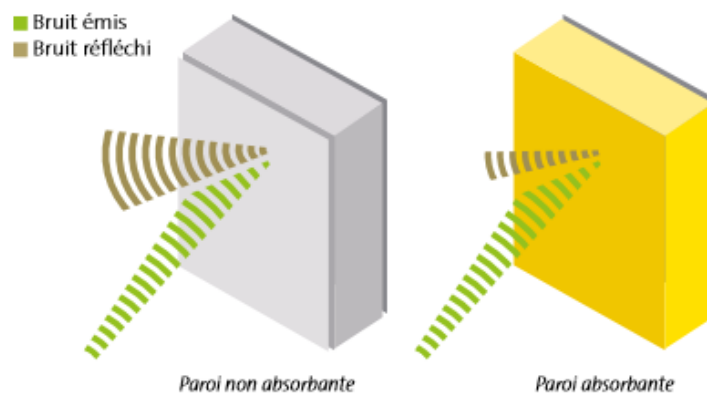


Figure V. 8:Correction acoustique.

Coefficient d'absorption L'absorption des matériaux isolants est caractérisée par un coefficient d'absorption, noté α_w . Ce coefficient est compris entre 0 et 1.

Plus α_w est proche de 1, plus le matériau est absorbant. A contrario, plus α_w est proche de 0, moins le matériau est absorbant, autrement dit plus il réfléchit le bruit dans la pièce.

A. Avant tout projet d'isolation acoustique

Il est nécessaire de se poser des questions simples, aussi bien pour des travaux d'isolation acoustique en neuf qu'en rénovation.

B. Structure du bâtiment

Il est essentiel de prendre en compte, dès le stade avant-projet sommaire de l'ouvrage, l'encombrement des planchers intégrant la surépaisseur correspondant à la solution mise en œuvre au traitement acoustique. La performance acoustique des planchers est conditionnée pour toute la vie du bâtiment. En effet, les solutions retenues ne pourront plus être modifiées,

notamment dans le neuf. Après la construction, la hauteur sous plafond, souvent 2,5 m en résidentiel, ne permet plus de traitement.

1. Tenir compte de la nature des bruits en jeu (bruits de chocs, bruits aériens intérieurs et extérieurs, bruits d'équipements)
2. Tenir compte des transmissions directes et indirectes
3. Traiter l'isolement acoustique des locaux par des solutions d'isolation adaptées au contexte constructif
4. Traiter le confort acoustique au sein d'un même local par des solutions de correction acoustique adaptées

C. En neuf

1. Vérifier les exigences réglementaires qui s'appliquent aux locaux à traiter
2. Viser des performances supérieures aux exigences de manière à prendre en compte les pertes latérales et à assurer un confort aux occupants
3. Choisir les principes constructifs en fonction des performances recherchées et de la structure du bâtiment
4. Définir pour chaque paroi le système le plus adapté

D. En rénovation

1. Identifier la nature du bruit (bruit aérien venant de l'intérieur du bâtiment, de l'extérieur du bâtiment, bruit d'impact, bruit d'équipement)
2. Repérer les parois à traiter, transmettant ce bruit
3. Identifier la nature de ces parois : quel matériau, quelle jonction avec les parois adjacentes
4. Choisir la solution d'isolation adaptée aux objectifs souhaités, en s'inspirant des exigences réglementaires pour les constructions neuves, et en choisissant des systèmes dont l'indice d'affaiblissement R_w est supérieur de 5 dB à l'isolement recherché, afin de prendre en compte les pertes latérales et d'assurer le confort.

V.3.5. Facteurs déterminants dans le choix de l'isolant

Le choix de l'isolant dans le cadre d'une construction ou d'une rénovation n'est pas simple. Les produits disponibles sont nombreux, les techniques de mise en œuvre également.

Un certain nombre de critères doivent être pris en considération :

- les performances phoniques (tous les isolants thermiques ne protègent pas du bruit) et la longévité de l'isolant sont des facteurs importants. En effet, certains isolants résistent à l'humidité, d'autres au tassement et d'autres encore aux rongeurs ;
- la connaissance des risques éventuels sur la santé des matériaux utilisés : certains produits contiennent des fibres irritantes pour la peau, les yeux et les poumons, d'autres produisent des gaz toxiques en cas d'incendie. Certains sont totalement neutres à tous les points de vue ;
- le caractère inflammable ou non de l'isolant choisi, auquel il devra être protégé du feu ;

- la facilité de pose : en général, un produit qui se pose facilement est plus efficace car il évite les ponts thermiques ;
- la régulation hygrométrique : certains isolants ont la capacité d'absorber de grandes quantités de vapeur d'eau et de les restituer quand l'air ambiant est plus sec, cela sans perdre leurs caractéristiques isolantes ;
- le prix : certainement l'un des facteurs les plus pris en compte.

V.3.6.L'attestation de prise en compte de l'acoustique

Dans les logements neufs a été rendue obligatoire par l'arrêté du 27 novembre 2012 qui définit en outre la méthodologie du choix des mesures acoustiques à réaliser lors de l'achèvement des travaux. Le décret n° 2016-798 du 14 juin 2016, applicable depuis le 1er juillet 2017, a étendu les obligations réglementaires aux bâtiments existants lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants.

V.3.6.1.Se protéger des bruits aériens extérieurs

L'isolement acoustique de la maison aux bruits aériens est assuré par son enveloppe : les murs, le toit, les fenêtres, les portes. Le principe de base est que plus une paroi est épaisse et dense, plus elle est isolante; c'est le cas des murs. La faiblesse vient donc principalement des fenêtres pour deux raisons : l'épaisseur du vitrage et les joints autour de la fenêtre, le bruit étant transporté par l'air.

Autres points de faiblesse éventuels : la cheminée à feu ouvert et les entrées de ventilation.

•Pour renforcer l'isolation acoustique des fenêtres : - calfeutrer le pourtour pour empêcher le passage de l'air.

- remplacer le vitrage simple (en général un verre de 3 mm d'épaisseur) par un vitrage épais (une glace de 6 ou 8 mm d'épaisseur). • Pour la cheminée : l'équiper d'une trappe qui obstrue le conduit de fumée quand il n'est pas utilisé

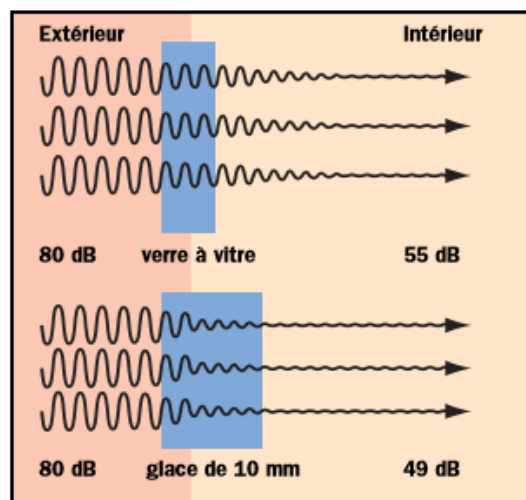


Figure V. 9: Bruits aériens extérieurs.

V.3.6.2. Se protéger des bruits aériens intérieurs

Le bruit se transmet par les cloisons et les portes.

- Pour réduire la transmission du bruit au travers d'une cloison, il faut augmenter son indice d'affaiblissement acoustique soit en augmentant sa masse (construire une seconde cloison en parpaings ou en carreaux de plâtre), ce qui est rarement possible, soit en la doublant d'un matériau isolant phonique, par exemple des panneaux de laine de roche.
- On améliore l'isolation d'une porte en posant un joint d'étanchéité périphérique

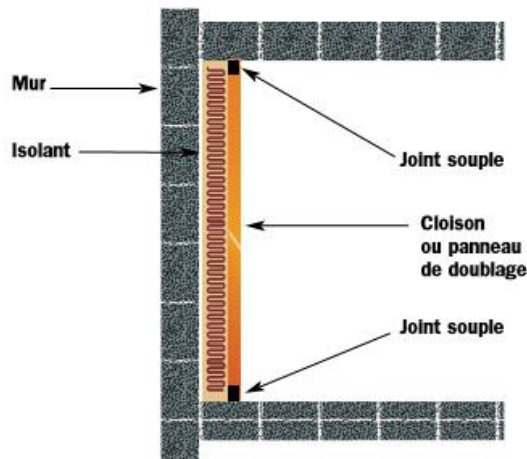


Figure V. 10: Amélioration de l'isolation d'un mur.

V.3.6.3. Se protéger des bruits des chocs

Il est facile de réduire la transmission des bruits de choc du côté où ils sont produits, mais il est presque impossible d'avoir une intervention efficace du côté où ils sont perçus; ce qui signifie que si le voisin du dessus fait du bruit en marchant, il faut intervenir... chez lui! • On améliore l'isolation d'un plancher en posant : - un revêtement de sol plastique souple épais ou une moquette, - un carrelage sur une souscouche souple, - un parquet flottant sur une souscouche résiliente

- On améliore (assez peu) l'isolation d'un plafond par un plafond suspendu avec un matelas de laine de rocheux-dessus

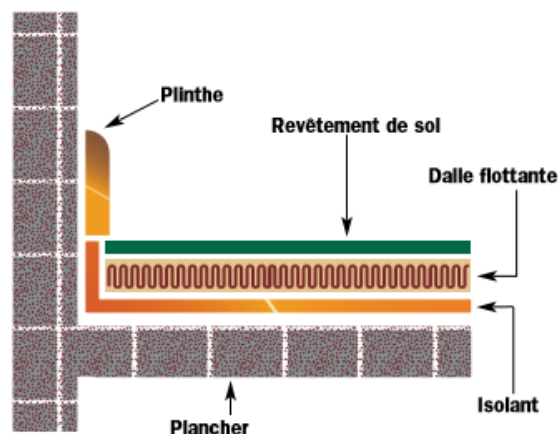


Figure V. 11: Amélioration de l'isolation d'un sol.

CHAPITRE VI :Partie pratique

VI.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 (sept mélanges) de béton de sable 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 (7et 28 jours).

VI.2. Les matériaux utilisés dans cette partie sont

- Le sable
- Le ciment
- L'eau potable du laboratoire.
- Fumé de silice
- Super plastifiant
- Caoutchouc
- Poudre de verre

VI.2.1. Le sable

VI.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[70]

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 1000ml. On prend 03 échantillons de masse 300g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 300 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 **300 ml**, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable : **V₁ = V - 300 (ml)**

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule : $\rho = \frac{m}{v_1}$

Avec : M = 300 g

b. Résultats obtenus

Tableau VI. 1: Masse volumique absolue du sable

N° d'essai	M (g)	Ve (cm ³)	V1 (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	300	130	2,30	2,30
2	300	300	131	2,29	
3	300	300	129	2,32	



Figure VI. 1: Essai de la masse volumique absolue du sable (laboratoire Génie Civil).

B. Masse volumique apparente : NF P 18-554[71]

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[71]**

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 = 600cm³** ;

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

$$\rho_{app} = \left(\frac{M2 - M1}{Vr} \right)$$

Tableau VI. 2: Masse volumique apparente du sable

N° d'essai	M (g)	M2(g)	ρ(g/ cm ³)	ρ _{moy} (g/ cm ³)
1	51	1027	1,62	1,62
2	51	1025	1,62	
3	51	1029	1,63	

C. Porosité : NF P 18-554[71]

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

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

$$P\% = \left[1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{ab}} \right] \times 100 \quad P\% = 30,43 \%$$

D. 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 :

$$C = \left[\frac{\rho_a}{\rho_{ab}} \right] = 100 - PC = 69,75 \%$$

E. L'indice des vides

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

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100 - P)} = 0,43\%$$

Avec P en pourcent (%)

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

Tableau VI. 3: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable.

	Porosité P%	Compacité C%	Indice des vides E
Sable	30,43	69,75	0,43

F. Equivalent de sable

NF P 18-598[72] Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultra fines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

a. Mode opératoire

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g) ;
- Prendre une pesée de 120 g ;
- Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au premier repère (10cm) ;
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon ;
- Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique ;
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vente au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci ;

- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

❖ Equivalent de sable visuel (ESV)

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.



Figure VI. 2 : Essai d'équivalent de sable visuel (laboratoire Génie Civil).

$$ESV = \frac{h2}{h1} * 100[\%]$$

Où : $h2 < h1$ avec : $h1$: sable propre + éléments fins

❖ Equivalent de sable avec piston (ESP)

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette ;
- Introduire le réglett dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit 2 h' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

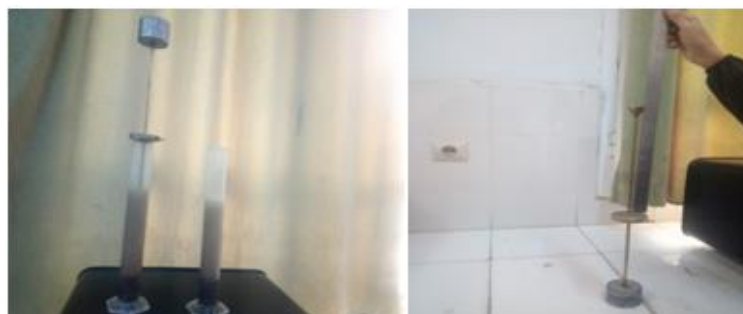


Figure VI. 3: Essai d'équivalent de sable avec piston (laboratoire Génie Civil).

$$ESP = \frac{h2'}{h1} \times 100[\%]$$

Où 2 h' : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$ ')

$$(ESV)_{\text{moy}} = 78\%$$

$$(ESP)_{\text{moy}} = 71\%$$

Donc:

$$ESV > 65 \quad ESP > 60$$

Tableau VI. 4: Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 < ES < 75	65 < ES < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualités.
ES ≥ 85	ES > 80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Pour le sable

Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualités.

G. Teneur en eau

NF P 18-555[70] Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

a. Mode opératoire

- ◆ Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (**500 g**) ;
- ◆ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110 °C** pendant **24**heures ;
- ◆ Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids ;

La teneur en eau (w) du sable est :

$$w = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100[\%]$$

Où :

- M_h : Poids du sable humide en (g).
- M_s : Poids du sable sec en (g).

Tableau VI. 5: Teneur en eau du sable

N° d'essai	M h (g)	Ms (g)	W (%)	W _{moy} (%)
1	38	37	2,63	3,50
2	38	36	5,26	
3	38	37	2,63	

H. Degré d'absorption d'eau

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures à 22° C à la masse sèche de l'échantillon conformément à **la norme NF P 18-555[70]**. Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante :

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100[\%]$$

Tableau VI. 6: Degré d'absorption du sable

N° d'essai	M 1 (g)	M2 (g)	A (%)	A _{moy} (%)
1	208	220	5,76	4,17
2	208	217	4,32	
3	208	213	2,40	

Selon le mode opératoire défini dans les normes **NF P18- 554[71]**.et **NF P18- 555[70]**., la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est -à- dire $A_b < 5\%$ Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée. La norme **NF P 18 541[73]** fixe comme valeur maximale 5%, pour les bétons classiques.

I. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique **NF P 18-560[74]**, 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 croissantes.
- 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 (**1,5 kg**) de matériau (**sable sec**) ;
 - Peser chaque tamis à vide à **1 g** près, soit m_i la masse du tamis ;
 - Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** 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 R_1 , soit R_2 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 R_3, R_4, \dots . Le tamisât cumuler est donné par la relation suivante : **$T = 100 - R_c$**
- Où :
- T : Tamisât en %
 - R_c : Refus cumulés en %

Tableau VI. 7: Analyse granulométrique du sable

Ouverture des tamis (mm)	Teneur(%)	
	Refus cumulés	Tamisât cumuler
6,3	00,00	100,00
5	00,30	99,70
4	00,60	99,40
3,15	03,80	96,20
2,5	13,90	86,10
2	28,00	72,00
1,25	50,90	49,10
0,63	69,30	30,70
0,53	72,60	27,40
0,5	76,80	23,20
0,315	84,30	15,70
0,16	92,00	08,00
0,08	95,80	04,20
FT	100	00,00

La figure VI. 4, illustre la distribution granulométrique du sable utilisé dans notre travail.

Analyse granulométrique par tamisage NF P18.560

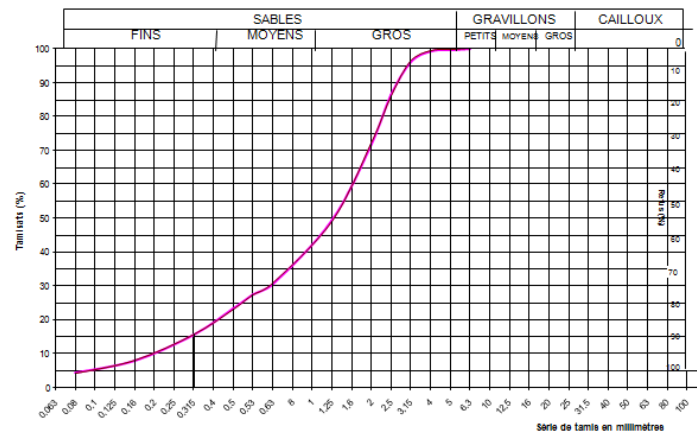


Figure VI. 4: La courbe granulométrique du sable (0/5).

b. 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 : [0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

Où : **RC** : Refus cumulé. Et le refus dont le tamis **0,16 = 89,53%** Pour le sable de : **Mf=3,14**. Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros $Mf > 2,5$
- Sable moyen $2 < Mf < 2,5$
- Sable fin $1,5 < Mf < 2$
- Sable très fin $1 < Mf < 1,5$

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

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

VI.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

VI.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 [75]**.



Figure VI. 5: 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 VI. 8: Les constituants principaux de ciment

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	CaOl	PAF à1000 C°
%	20,06	03,99	03,04	61,57	01,62	00,54	00,26	00,06	<0,001	1,56	7,16

Tableau VI. 9: Représente les Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé

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

VI.2.3.Déchets de Caoutchouc

Types de déchets de caoutchouc sont incorporé dans la masse du béton de sable, 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 béton de sable par rapport à la masse du sable avec des pourcentages de (20%,40%)

VI.2.3.1. Déchets de pneus

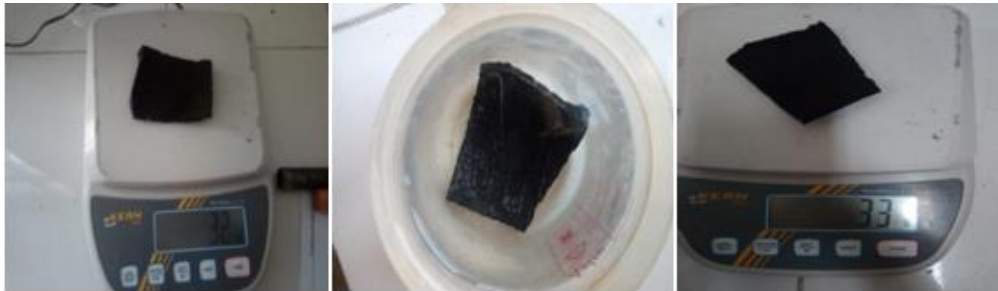
Ce sont des déchets obtenus par le recyclage des pneus **Figure.VI.6** ils sont caractérisés par la forme des grains non compressibles:



Figure VI. 6: Déchets de pneus sous forme de granulats.

Tableau VI. 10: Les différentes caractéristiques des déchets de caoutchoucs utilisés

Caractéristiques	Déchets de pneus
La masse volumique absolue (g/cm ³)	0,38
La masse volumique apparente (g/cm ³)	0,62
La porosité (%)	78
La compacité (%)	22

A. L'absorption de matériau de caoutchouc**Figure VI. 7:** L'essai de l'absorption de caoutchouc.**a. 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 pèse.

$$\text{Abs} = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

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

VI.2.4. Poudre de verre

Obtenue par broyage des bouteilles et vitres brisés, c'est un verre incolore (blanc)

**Figure VI. 8:** Poudre de verre.**Tableau VI. 11:** Composition chimique de la poudre de verre

Composant poudre de verre	%
SiO ₂	70,26
CaO	8,92
Al ₂ O ₃	0,85
Na ₂ O	5
MgO	1,71
K ₂ O	0,58
Fe ₂ O ₃	2,03

Tableau VI. 12: Caractéristique physique

Caractéristiques	Poudre de verre
La masse volumique absolue (g/cm ³)	2,1
Surface spécifique (g /cm ³)	3500
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1,08
La porosité (%)	44,26
La compacité (%)	55,74

VI.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.

VI.2.6 Adjuvant «plastifiant »

L'adjuvant utilisé est un Super plastifiant / Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne « SIKA-Algérie » (Voir l'annexe). Lesikaviscocrete 6655 Figure. VI.9 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 <01%.



Figure VI. 9: Adjuvant SIKA VISCOCRETE 655.

Dans notre travail l'ajout fin utilisé, c'est la fumée de silice (figure IIV.7), ses caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau IIV.14.

VI.2.7 : fumée de silice



Figure VI. 10: fumé de silice.

Tableau VI. 13: Les caractéristiques de la fumée de silice.

Caractéristiques	Fumée silice
Coloris	Gris
Densité apparente	$0,65 \pm 0,10$
Densité réelle (hélium)	2,24
Teneur en Cl-	0,06% ($\leq 0,20\%$)

VI.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.

VI.4. Préparation de béton de sable

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 $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$.

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 sable et du ciment plus fumée de silice et les déchets ; puis un malaxage à sec pendant 30 secondes (**figure VI.11**).
2. Ajout de 2/3 de l'eau de gâchage puis un malaxage pendant 30 secondes
3. Continuer à malaxer en introduisant le plastifiant avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire jusqu'à 2 min



Figure VI. 11: Essai de malaxage des constituants de béton de sable avec déchets.

VI.4.1 Compositions des mélanges

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de projet de SABLOCRETE, 1994[4]. Les types de déchet sont incorporés dans la masse du béton de sable par ajout par rapport à la masse du sable avec de pourcentage de, 20%,40% les bétons de sable sont réalisés et répertoriés comme suit:

BST : Béton sable témoin

BSC: Béton sable à base de déchets de caoutchouc

BSV: Béton sable à base de déchets de verre

BSM : Mélange de béton sable (caoutchouc et verre)

Caout : Caoutchouc

Pv : Poudre de verre

Tableau VI. 14: Les compositions des mélanges

	Béton sable								
	BST	BSC		BSV		BSM			
		20%	40%	20%	40%	20%		40%	
%					10% caout	10% Pv	20% caout	20% pv	
Déchets kg/ m ³		240	480	240	480	120	120	240	240
Sable kg/m ³	1200	960	720	960	720	960		720	
Ciment kg/m ³	350								
Plastifiant *	0,4%								
Fumée de silice kg/m ³	85								
Eau l/m ³	300								

(* % par rapport à la masse du ciment)

VI.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,et (4x4x25)cm³et des moules dimensions (4x20x20)cm³Les éprouvettes prismatiques(4x4x16)cm³sont réservées à la mesure de la résistance à la flexion et la compression et la masse volumique , les éprouvettes(4x4x25)cm³sont destinées aux essais de perte de masse et absorption , Les éprouvettes(4x20x20)cm³destinées aux essais de l'isolation phonique et thermique.

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



Figure VI. 12: Fabrication et conditionnement des éprouvettes.

VI.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

A. Essai réalisé à l'état frais

a. La masse volumique

La masse volumique du béton de sable a été mesurée selon la norme **NF EN 12350-6 [76]** **NA436 [77]**.



Figure VI. 13: La masse volumique a l'états frais des eprouvettes.

B. Essais réalisé à l'état durci

a. Essais de flexion EN 196-1 [78]

Cet essai est exécuté par une machine désignée pour les tests de flexion sur les éprouvettes de béton de sable ou de mortier **(4×4×16)cm³**.

$$R_f = \frac{1.5F_f * l}{b^3} \dots \dots \dots (2.3)$$

R_f: Résistance à la flexion en (MPa);

F_r: Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N);

L: Longueur qui sépare les deux appuis en (mm);

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

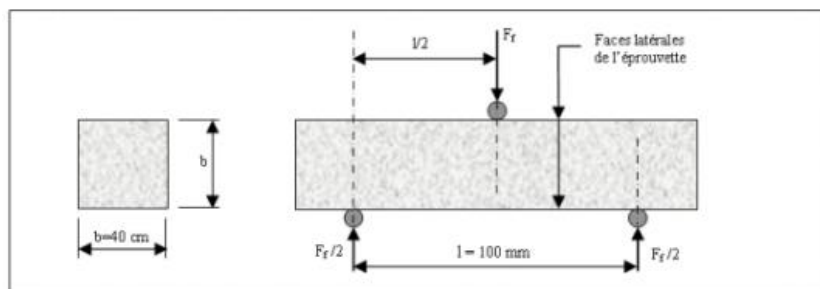


Figure VI. 14: Essais de flexion.



Figure VI. 15: Essai de flexion.

b. 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** [78].

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 VI.17**

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

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

RC: Résistance à la compression en (MPa);

F_c : 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.

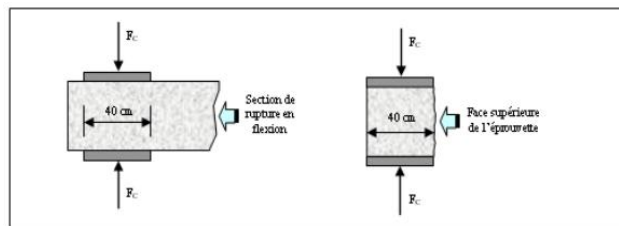


Figure VI. 16: Essais de compression.



Figure VI. 17: Essai de compression.

VI.5. Résultats des essais

VI.5.1. Résultats essais physiques

A. La masse volumique

Le tableau IV.15 suivant, résume les résultats des essais physiques, à savoir les masses volumiques à l'état frais et à l'état durci de chaque variante élaborée aux âges (7 et 28 jours), il y'a lieu de signaler que les résultats représentent la moyenne de trois mesures dans chaque cas.

Tableau VI. 15: Masse volumique de deux types de déchets à l'état frais et à l'état durci

Variantes	Masse volumique (g/cm ³)				
	Etat	Etat frais		Etat durci	
		Age	7jr	28jr	7jr
Témoins		6,40	6,64	2,12	2,06
20 % sub caoutchouc		4,49	4,64	1,49	1,58
40 % sub caoutchouc		4,92	5,01	1,31	1,28
20% sub poudre de verre		6,05	6,21	1,98	2,01
40 % sub poudre de verre		6,21	6,25	2,05	2,04
20% sub mélange		5,54	5,19	1,82	1,79
40% sub mélange		5,07	5,46	1,66	1,69

L'histogramme de la figure VI.18 représente les variations des masses volumiques des variantes étudiées, en fonction du temps à savoir 7 et 28 jours,

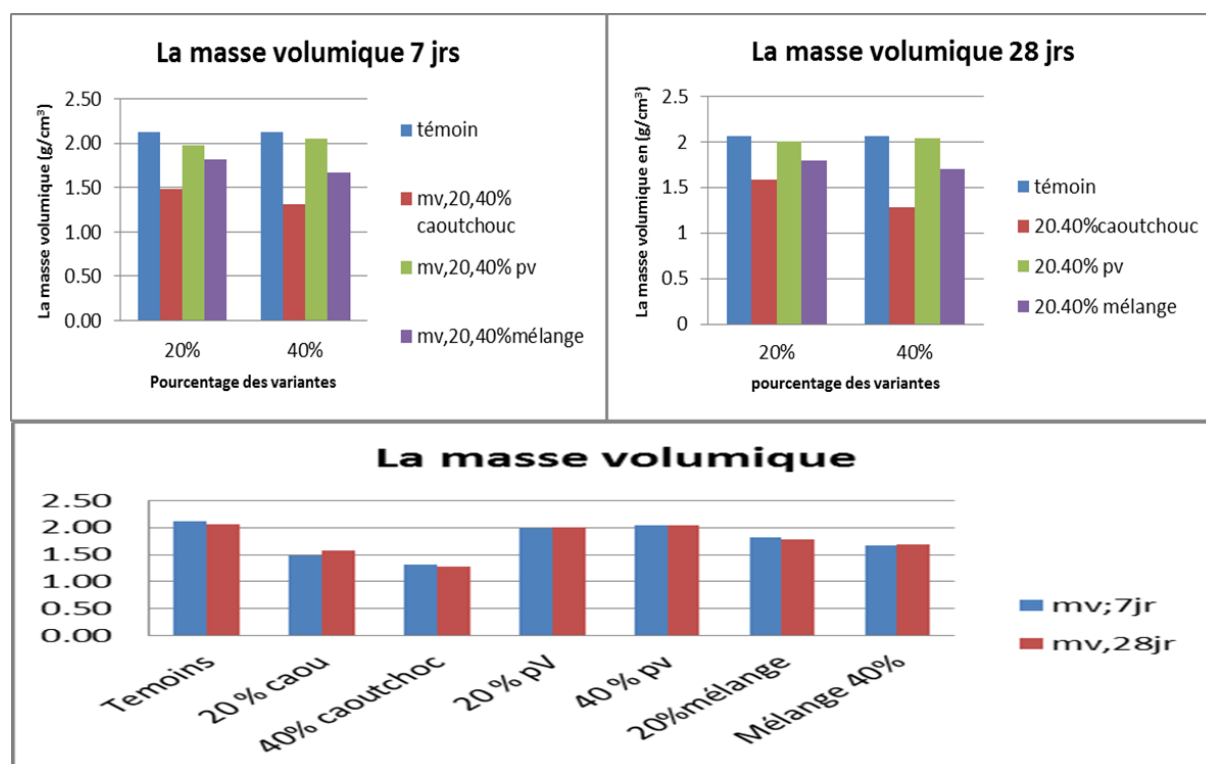


Figure VI.18: Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps,

a. Remarques sur les résultats d'essais physiques

- En fonction de pourcentage et nature des déchets
- La masse volumique diminue en fonction des taux d'introduction des différents pourcentages des deux déchets (caoutchouc et poudre de verre) par rapport au témoin,

- La masse volumique diminue en fonction de l'augmentation des pourcentages de déchets de caoutchouc (40%)
- La masse volumique augmente en fonction de l'augmentation des pourcentages de déchets de poudre de verre (40%)
- En fonction de l'âge
 - La masse volumique augmente en fonction de l'âge (7 et 28 jours) dans le cas de pourcentage (20% caoutchouc, 20% poudre de verre et 40% mélange),
 - La masse volumique diminue en fonction de l'âge (7 et 28 jours) dans le cas de pourcentage (40% caoutchouc et 20% mélange),
 - La masse volumique reste stable en fonction de l'âge (7 et 28 jours) dans le cas de pourcentage 40% de déchets poudre de verre,

VI.5.2. Résultats des essais mécaniques

A. Essais de flexion et compression

Le **tableau VI.16** 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 VI.16: Résultats des essais mécanique (compression et flexion)

N°	Variantes	Résistance à la flexion (MPa) (7 Jours)	Résistance à la compression (MPa) (7 Jours)	Résistance à la flexion (MPa) (28 Jours)	Résistance à la compression (MPa) (28 Jours)
01	Témoin	2,97	14,67	1,66	18,43
02	BS-Sub-20% Caoutchouc	1,30	6,97	1,70	7,60
03	BS-Sub-40% Caoutchouc	1,20	5,83	1,23	5,50
04	BS-Sub-20%PV	2,17	15,00	4,43	9,96
05	BS-Sub-40%PV	4,30	18,43	3,30	28,30
06	BS-Sub-20% mélange	1,97	10,90	2,63	11,56
06	BS-Sub-40% mélange	1,87	8,27	3,83	18,56

La Figure VI, 19 représente les résistances en flexion des variantes étudiées en fonction de l'âge (7 et 28 jours),

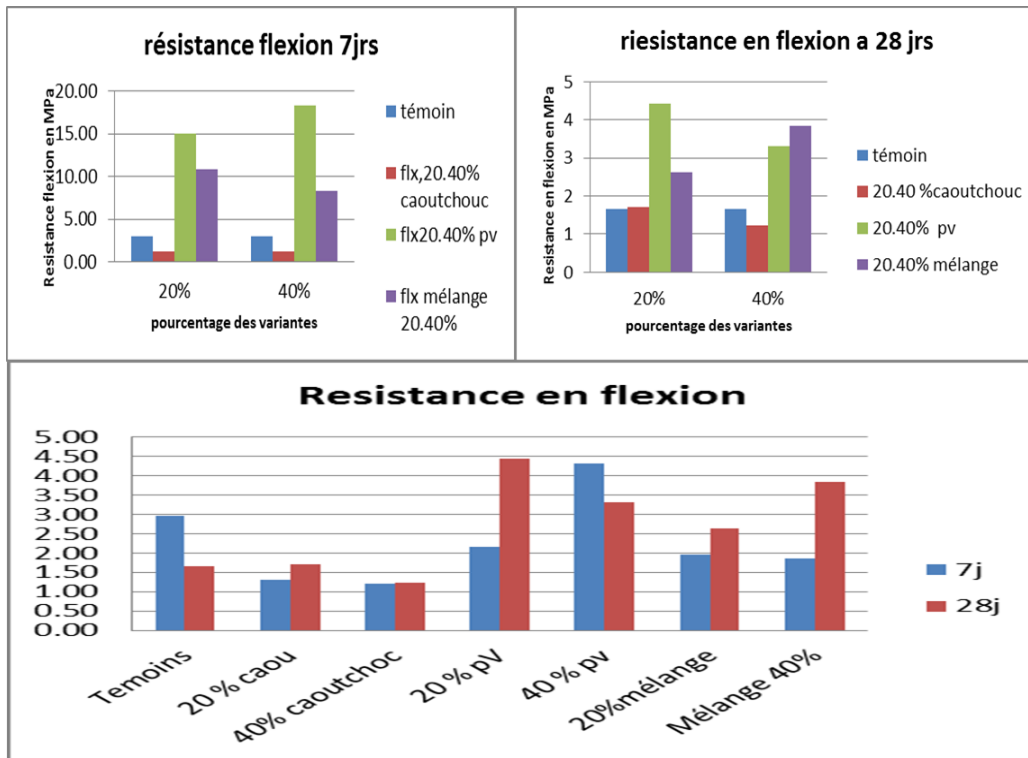


Figure VI.19: Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps, La figure VI.20 représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7 et 28 jours,

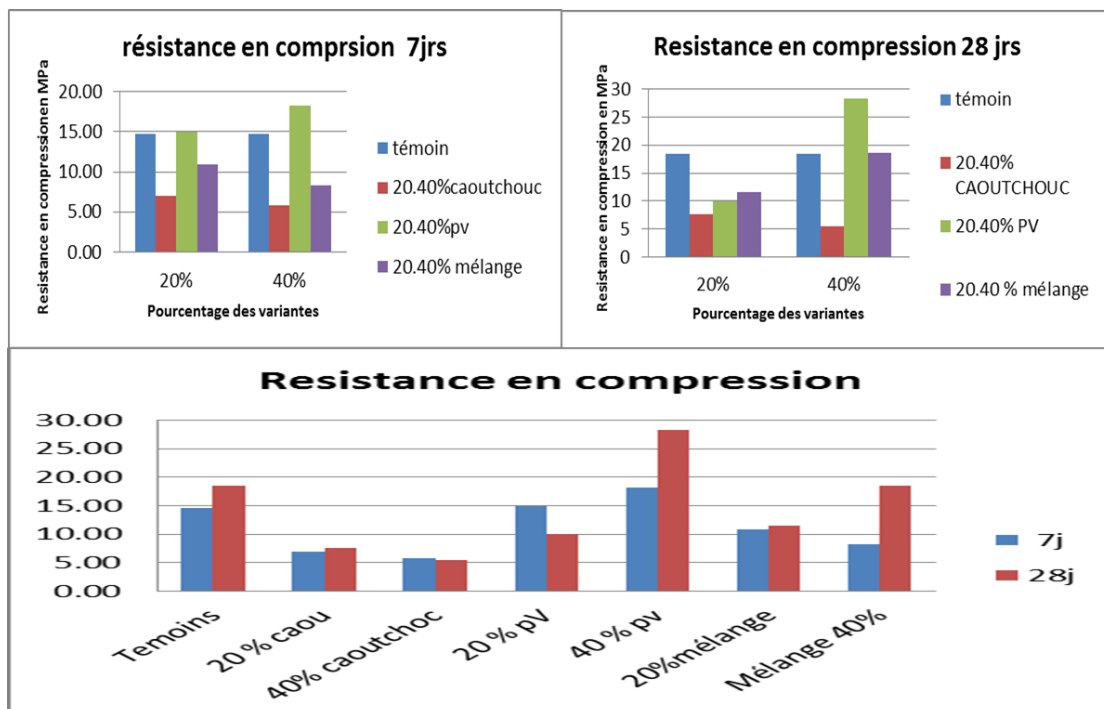


Figure VI.20: Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps,

a. Remarques

Les histogrammes des résultats d'essais mécaniques en flexion et en compression, montrent un effet différent lors de la substitution du sable par les deux déchets, notamment avec l'âge (7 et 28 jours), les variantes à base de caoutchouc ont donné une faible résistance par rapport aux variantes témoins et celle de poudre de verre, ses dernières ont donné les plus grandes valeurs de résistances en flexion et en compression,

Tableau VI.17: Les différents résultats des essais physico-mécaniques de l'ensemble des variantes étudiées.

Réf	Numéro	7 jours			28 jours		
		MV (g/cm ³)	Flexion	Comp	MV (g/cm ³)	Flexion	Comp
Témoins	1	2,13	2,70	14,30	2,06	1,90	18,9
	2	2,13	3,20	15,10	2,07	1,30	19,2
	3	2,10	3,00	14,60	2,06	1,80	17,2
	Moyenne	2,12	2,97	14,67	2,06	1,66	18,43
40% caoutchouc	1	1,33	1,20	5,80	1,30	1,20	5
	2	1,32	1,20	5,90	1,27	1,20	5,80
	3	1,30	1,20	5,80	1,28	1,30	5,70
	Moyenne	1,31	1,20	5,83	1,28	1,23	5,50
20 % caoutchouc	1	1,48	1,30	7,20	1,62	1,70	7,70
	2	1,49	1,30	7,00	1,57	1,80	7,70
	3	1,50	1,30	6,70	1,55	1,60	7,40
	Moyenne	1,49	1,30	6,97	1,58	1,70	7,60
40 % poudre de verre	1	2,07	7,20	18,00	2,04	3,20	33,40
	2	2,02	2,70	20,70	2,04	3,40	26,20
	3	2,06	3,00	16,00	2,05	3,30	25,30
	Moyenne	2,05	4,30	18,23	2,04	3,30	28,30
20 % poudre de verre	1	1,97	1,90	14	2	7,40	10,20
	2	1,99	2,60	16,30	2,01	3,30	10,20
	3	1,98	2	14,70	2,02	2,60	9,50
	Moyenne	1,98	2,17	15,00	2,01	4,43	9,96
20% mélange	1	1,81	2,10	12,90	1,78	3	10,60
	2	1,83	2,10	12,00	1,80	2,40	12,40
	3	1,82	1,70	7,80	1,80	2,50	11,70
	Moyenne	1,82	1,97	10,90	1,79	2,63	11,56
Mélange 40%	1	1,66	1,60	8,60	1,70	4,30	17
	2	1,66	1,70	8,40	1,70	3,70	18
	3	1,67	2,30	7,80	1,69	3,50	20,70
	Moyenne	1,66	1,87	8,27	1,69	3,83	18,56

b. 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 VI.21 suivante représente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistances en compression,

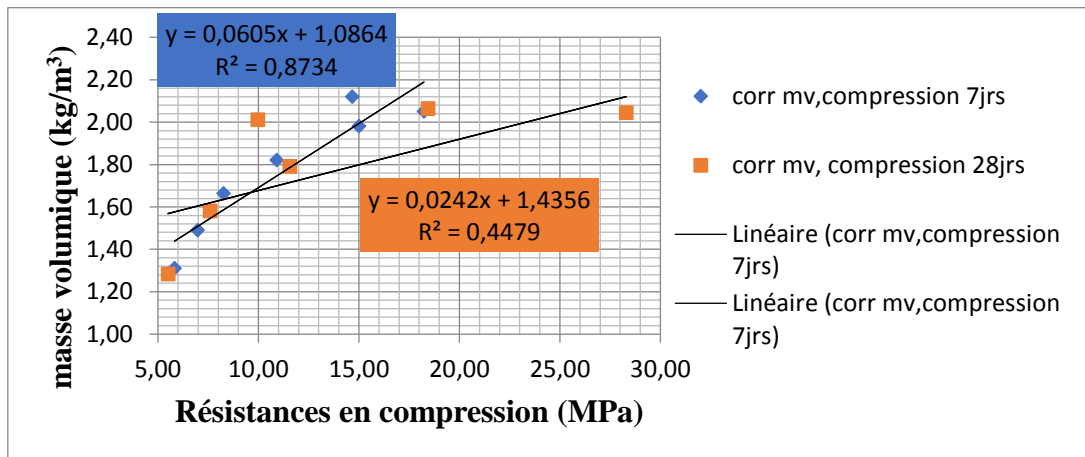


Figure VI.21: corrélation masse volumique, compression.

La figure VI.22 suivante représente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistances en flexion,

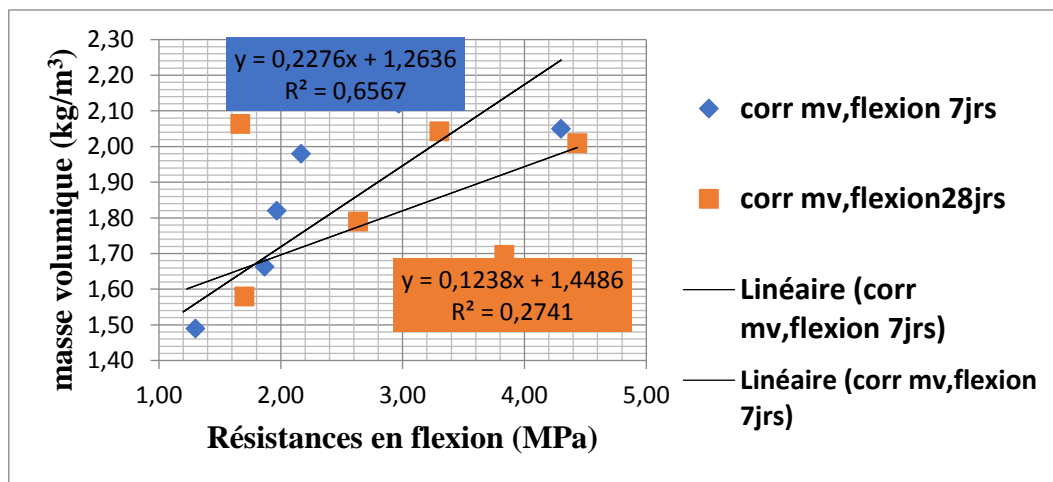


Figure VI.22: Corrélation masse volumique, flexion.

La figure VI.23 suivantes représente les résultats de corrélation entre les résistances en flexion et celles en compression.

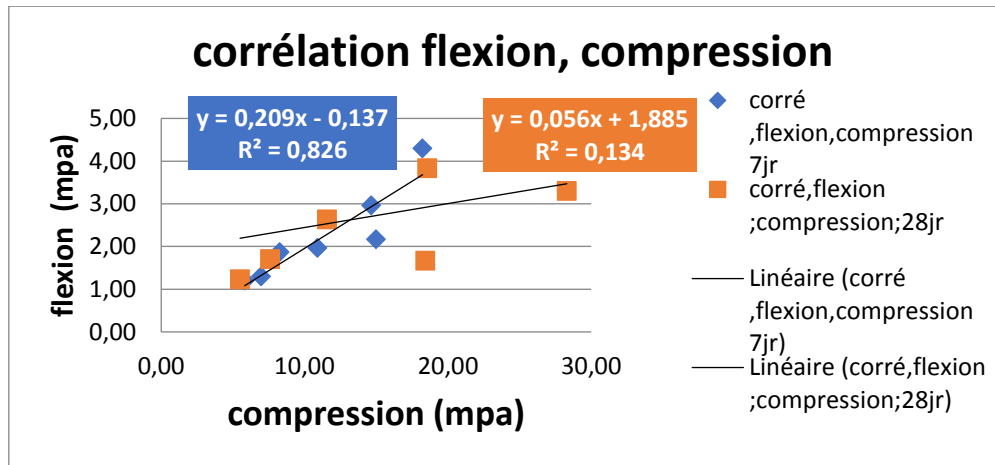


Figure VI.23 : Corrélacion compression, flexion.

a. Remarques

- Une corrélacion notée entre la masse volumique et les résistances en flexion en fonction des âges (7 et 28 jours), les coefficients de corrélacions obtenus sont :
($R^2 = 0,27$; $R^2 = 0,65$) aux âges 7 et 28 jours respectivement.
- Une corrélacion notée entre la masse volumique et les résistances en compression en fonction des âges (7 et 28 jours), les coefficients de corrélacions obtenus sont :
($R^2 = 0,44$; $R^2 = 0,87$) aux âges 7 et 28 jours respectivement.
- Une corrélacion notée entre les résistances en compression et les résistances en flexion en fonction des âges (7 et 28 jours) les coefficients de corrélacions obtenus sont :
($R^2 = 0,134$; $R^2 = 0,826$) aux âges 7 et 28 jours respectivement.

b. Discussion et interprétation des résultats

Les résultats des propriétés mécaniques montrent que la substitution de sable par les deux types de déchets poudre et caoutchouc à différents pourcentages (20% et 40%) dans les cas d'addition simultané ou séparé, Montrant que :

La résistance en flexion et en compression de différentes variantes augmente d'une manière notable aux deux pourcentages 20% et 40 % de substitution de sable par la poudre de verre par rapport aux variantes témoin

$$R_f \text{ 20\%PV} = 4,43 \quad R_f \text{ 40\%PV} = 4,30 \quad R_f \text{ témoin} = 2,97$$

$$R_c \text{ 20\%PV} = 15,00 \quad R_c \text{ 40\%PV} = 28,3 \quad R_c \text{ témoin} = 18,56$$

Cela est expliqué par la diminution de la porosité car la poudre de verre utilisée dans ce travail est très fine ($\leq 100 \mu\text{m}$), cela va favoriser le remplissage des pores dans le matériau, cela pourra être un avantage pour la durabilité du matériau vis-à-vis les agents agressifs telles les gaz carboniques, les sulfates et les sels,

Dans le cas de déchets de caoutchouc la résistance en flexion et en compression diminue par rapport au témoin et celle avec le déchet de verre de verre,

Rf 20% caoutchouc= 1,7 Rf 40% caoutchouc= 1,23 Rf témoin= 2,97

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,**) [50] 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.

Dans le cas de mélange les variantes de deux types de déchets (poudre de verre et caoutchouc) avec (20et 40%) ont diminué par rapport au témoin,

Rf 20% mélange= 2,63 Rf 40% mélange= 3,83 Rf témoin= 2,97

Cela est expliqué par la présence de déchets de caoutchouc,

NB : durant les essais mécaniques en flexion des variantes à base de déchets caoutchouc on a remarqué la présence d'humidité dans les éprouvettes ; afin de vérifier la source de cette humidité on a réalisé d'autres essais complémentaires (l'absorption à l'eau et essai d'humidité) des échantillons de cette variante.

VI.5.3. Approche de durabilité

1. Essai de L'absorption

Dans cet essai une estimation de la porosité par la mesure d'absorption de l'eau par les éprouvettes de béton de sable 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 (1 h, 2h ,4h,24h), 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 :

$$Absorption = \frac{M2 - M1}{M1}$$



Figure VI.24 : Echantillons de béton de sable après immersion dans l'eau durant 24 heures.

Tableau VI.18:Taux d'absorption des variantes étudiées.

		Degré d'Absorption
0-1 mm	10%	6,42%
	20%	6,73%
	30%	15,11%
0,5-2,5 mm	10%	7,85%
	20%	7,43%
	30%	8,76%
2,5-4 mm	10%	7,73%
	20%	8,30%
	30%	9,61%
Témoin	Témoin	5,95%

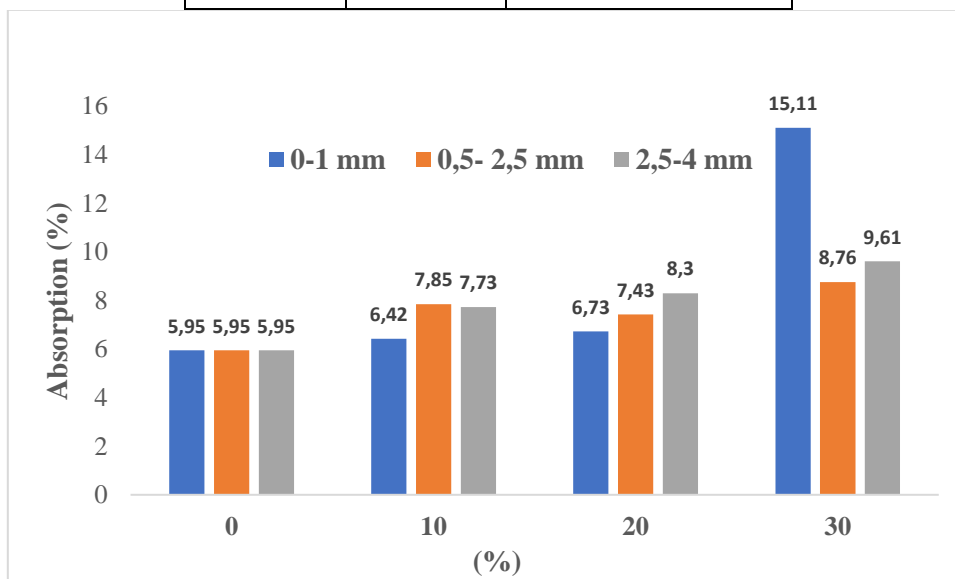


Figure VI.25 : Taux d'absorption.

a. Remarques

- L'absorption des éprouvettes en différents pourcentages et diamètre des déchets de caoutchouc (granulats et poudre) 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 de 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.[48]** et ceux de **Garros[84]** 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. Quand 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.

2. La perte de masse

Dans cet essai de mesure de la perte de masse de béton, on prend des éprouvettes et on les pèse (m_0), après on les place dans un four avec 100 C° pendant chaque intervalle de temps (1 h, 2h, 4h., 24h, on remeure les éprouvettes (m_i), le différent de poids c'est le poids de la perte de masse.

$$\text{absorption} = \frac{M_2 - M_1}{M_1}$$



Figure VI.26 : Eprouvettes de béton de sable mise dans le four durant 24 heures à 100 C° .

Tableau VI.19: Les différents résultats des essais de la perte de masse de l'ensemble des variantes avec les granulats de caoutchouc.

		Perte de masse
0-1 mm	10%	6,73%
	20%	6,55%
	30%	6,57%
0,5-2,5 mm	10%	5,94%
	20%	6,18%
	30%	5,93%
2,5-4 mm	10%	5,76%
	20%	6,78%
	30%	5,97%
Témoin	Témoin	7,87%

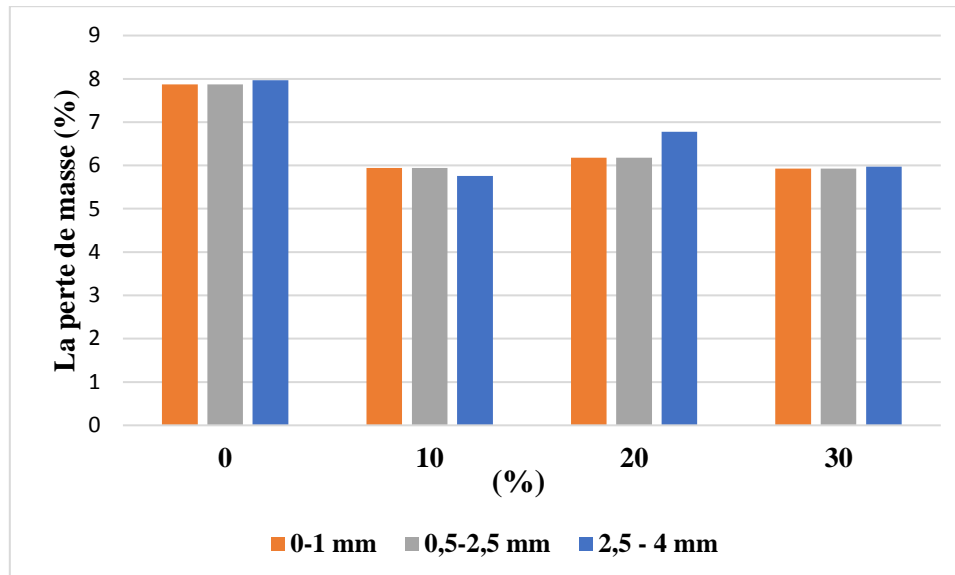


Figure VI.27: essai de l'humidité.

a. Remarque

- La perte de masse des éprouvettes aux différents pourcentages et diamètres de déchets de caoutchouc ont tous diminués par rapport au témoin.
- La perte de masse est diminuée beaucoup plus dans l'éprouvette qui contient 10% de déchets de caoutchouc diamètre 2,5-4 par rapport aux autres éprouvettes,
- Des éprouvettes élaborées avec ajout caoutchouc sous forme de granulats avec granulométrie (2,5-4mm) et pourcentage de 10% qui ont une perte de masse diminuée par rapport au témoin et aux autres éprouvettes de différents diamètres et pourcentage,

b. Interprétation et discussions

La figure précédente représente l'évaluation de perte de masse de béton de sable à base de déchets de granulats de caoutchouc de différents diamètres par substitution de sable par les déchets, on constate que quel que soit le diamètre de déchets de caoutchouc, la perte de masse est toujours permanente durant l'échauffement et que la perte de masse des BS à base de déchets de caoutchouc est toujours plus importante que celle du béton de sable témoin, ces pertes de masse sont dues à la déshydratation progressive de béton et l'évaporation de l'eau absorbé à 100° ,

Ceci confirme les résultats d'autres chercheurs qui ont constaté que la masse de béton dans les éprouvettes est toujours diminuée avec l'augmentation de température, **Guendouzet al[85]** ont trouvé les mêmes résultats pour son étude sur l'effet de l'évaluation de la température sur la caractéristique de BS à base de déchets plastique.

3. L'isolation thermique de béton de sable à base de déchets de caoutchouc

Le caractère isolant du caoutchouc, peut donner une isolation thermique au béton de sable, qui peut être utilisé comme matériau dans le climat chaud, dans ce sens des essais sont effectués

avec les moyens de bords au niveau du laboratoire, l'essai consiste à mesurer la température à l'aide d'un thermomètre à laser **Figure VI.26** sur les surfaces de l'éprouvette, qu'est en contact avec une plaque chauffante dont sa température est fixée à 80 C°, et faire des mesures après 5 heures d'exposition, cet essai est réalisé sur trois variantes d'éprouvettes de béton de sable a base de déchets de caoutchouc avec différent pourcentage à 10 20 et 30 %, qui sont comparés à un échantillon témoins.



Figure VI.28: Essai d'estimation de la perte de température.

Le **Tableau VI.20**, et la **figure VI.27**, résumet et illustrent les résultats de l'essai physique (perte de température), obtenus lors de la campagne d'essais réaliser sur les différentes éprouvettes avec les déchets de caoutchouc

Il y'a lieu de signalé que les résultats représentent la moyenne de cinq mesures dans chaque cas.

Tableau VI.20: Résultats de l'essai physique (isolation thermique).

	%	C°	Gain en température C°
0-1	10	40,6	12,39
	20	39,8	13,19
	30	38,5	14,49
0,5-2,5	10	45,13	7,86
	20	38,77	14,22
	30	38,14	14,85
2,5-4	10	48,12	4,87
	20	44,67	8,32
	30	43,34	9,65
Témoin		52,99	0

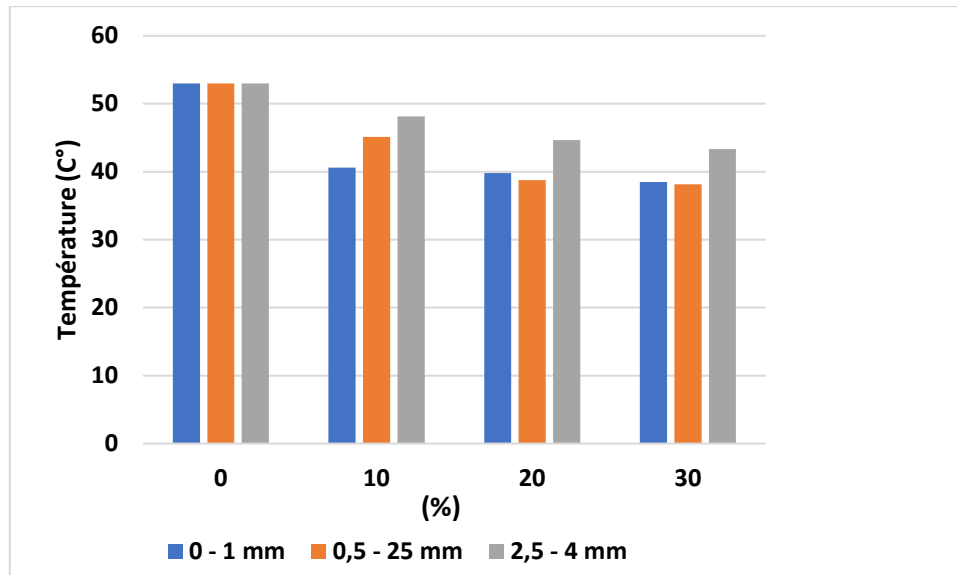


Figure VI.29:Essaie de l'isolation thermique.0

a. Remarques

- Une chute de la température des éprouvettes avec différents pourcentages de substitution de sable et diamètre de gains de caoutchouc, par comparaison avec l'échantillon témoins.
- Un gain en température durant cinq heures d'exposition.

b. Interprétation et discussion des résultats

- La porosité des bétons de sable à base des déchets de caoutchouc est plus élevée que celle du béton de sable de référence à cause de de la mauvaise adhérence, ce qui crée un réseau de défauts entre la matrice cimentaire et les grains de caoutchouc. Cela est confirmé par plusieurs chercheurs [86][87][88], qui affirment que l'incorporation des déchets plastiques dans le mortier soit par ajouts, soit par substitution de sable augmente la porosité d'une façon considérable. Ses vides seront occupés par l'air, qu'est considéré comme un bon isolant, ce qui favorise d'avantage l'isolation du béton de sable, cela est confirmé par Benazzouk [48]. D'après cet auteur, l'air entraîné lors du malaxage conduit à une porosité fermée dans la matrice cimentaire ce qui améliore encore les performances d'isolation du composite cimentaire incorporant des granulats de caoutchouc.

-La conductivité thermique

Une estimation de la conductivité thermique est effectuée selon l'équation (1), dont on n'a pas pris en charge les pertes de chaleurs entre la plaque et les éprouvettes, en considérant que l'éprouvette reçoit la totalité de la quantité de chaleur.

Le Tableau VI.21, et la figure VI.27 résumant et illustrent les résultats de la conductivité thermique.

$$\lambda = \frac{e \times Q}{\Delta T} \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

Q = la puissance de la plaque chauffante = 825 W.

E = 0,04mm.

$\Delta T = (T_{pc} - T_{sep})$.

T_{pc} : température de la plaque chauffante.

T_{sep} : température de la surface de l'éprouvette.

T [K°] = T [C°] + 273,15.

Tableau VI.21: Résultats de la conductivité thermique.

	% des déchets	Température (C°)	ΔT (k°)	λ (w/mk°)
Témoin		52,99	300,16	0,11
2,5-4 mm	10	48,12	305,03	0,108
	20	44,67	308,48	0,107
	30	43,34	309,81	0,106
0,5-2,5 mm	10	45,13	308,02	0,107
	20	38,77	314,38	0,105
	30	38,14	315,01	0,104
0-1 mm	10	40,6	312,55	0,106
	20	39,8	313,35	0,105
	30	38,5	314,65	0,104

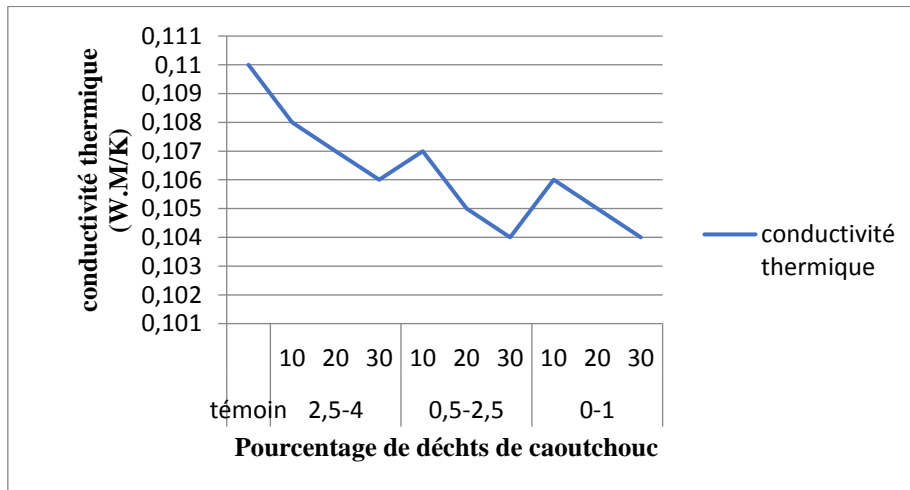


Figure VI.30: Résultats de la conductivité thermique.

a. Remarque

On remarque que :

- La conductivité thermique de béton de sable à base de déchets de caoutchouc diminue par rapport au témoin.

-La conductivité thermique diminue en fonction de de l'augmentation des pourcentages des déchets.

b. Interprétation et discussion des résultats

Les résultats obtenus montrent que les déchets de caoutchouc ont un effet positif sur conductivité thermique des bétons de sable.

Cela explique par plusieurs facteurs selon plusieurs auteurs, qui sont énumérés comme suit :

- La nature minéralogique des constituants du composite affecte grandement la conductivité thermique du béton [47].

-Le caoutchouc représente une structure amorphe et sa conductivité thermique de l'ordre de 0,4 W/mc°[89] est faible devant celle des granulats naturels qui représentent une structure cristalline et une conductivité thermique généralement supérieure à 1,5 W/ mc°

-La porosité du béton est plus importante avec l'adjonction de granulats de caoutchouc.

-L'air ayant une conductivité thermique beaucoup plus faible (0,023 W/ mc°) remplit les pores du béton et limite la conduction de la chaleur

Ces résultats aussi sont cités par plusieurs auteurs comme Gül et al. [90], Blanco et al. [91], ou Demirboğa et Gül [90], la conductivité thermique du béton diminue avec la diminution de sa densité. On peut étendre cette conclusion aux bétons incorporant des granulats de caoutchouc tout en gardant à l'esprit que dans ce dernier cas, la chute de la densité n'est pas seulement due à l'augmentation de la porosité, mais aussi à la faible densité du caoutchouc.

Néanmoins, l'essai réaliser est à titre indicatif, vue le manque de moyen technique pousser, afin d'avoir des résultats plus performants.

4- essaie de durabilité(résistance en milieu acide HCL)

La durabilité des matériaux, est aussi une importance majeure, pour les ingénieurs en matériaux, dans ce sens des essais de durabilité sont en cours de réalisation, dans cette campagne d'essai les éprouvettes des différentes variantes sont soumises aux attaques des acides, l'ensemble des éprouvettes sont immergés dans un milieu acide HCl, avec un PH = 0,23, et des mesures du PH du milieu sont effectué chaque deux jours pendant 28 jours (les essais sont en cours de réalisation).

Le tableau VI.22 et la figure VI.28 illustre les valeurs du PH mesurés durant 28 jours.

Tableau VI.22 : La variation de PH pendant 28 jours.

Jours	0	4	6	8	12	14	16	20	22	24	28
Ph	0,23	1,42	2,51	3,75	4,59	5,27	6,19	6,72	7,52	7,62	7,7

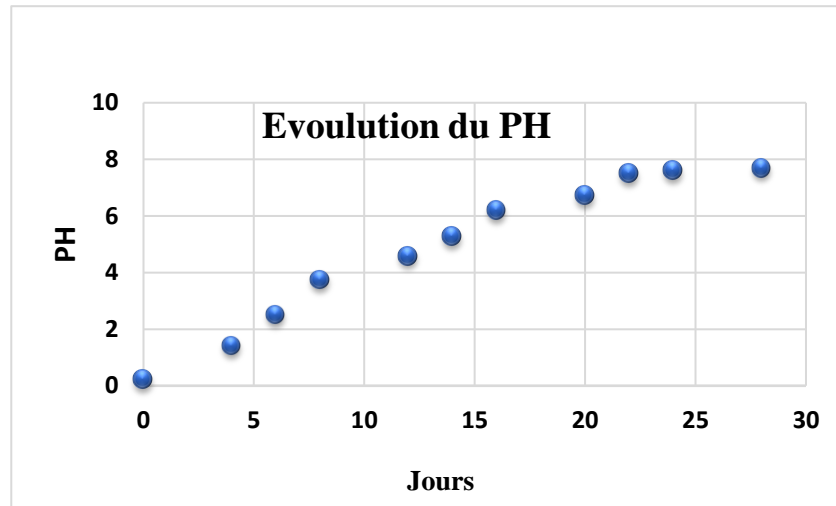


Figure VI.31 : Résultats de la variation de PH pendant 28 jours.

a. Remarque

- Le PH du milieu évolue progressivement dans le temps de 1,42 à 4 jours atteignant 7,7 à 28 jours.
- L'aspect visuel du milieu a changé de couleur du claire vers la couleur sombre.



Figure VI.32 : Milieu acide après immersion des éprouvettes.

- Une dégradation des éprouvettes du béton de sable accompagné d'un changement de couleur



Figure VI.33 : Epreuves de béton de sable après immersion dans l'acide HCl durant 28 jours.



Figure VI.34 : Eprouvettes de béton de sable avant et après immersion dans l'acide HCl durant 28 jours.

Cet essai nous a permis d'avoir une information sur l'effet des attaques des acides sur les mortiers, et cela est noté par la variation des valeurs du PH, car le milieu acide contenant des ions H^+ , par la suite après 28 jours d'immersion le PH a augmenté, ce qui signifie une réaction entre le milieu acide et les composants du béton de sable.

Conclusion générale

Conclusion générale

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

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, la perte de masse, l'absorption de l'eau, l'isolation thermique, la durabilité 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 diminue la masse volumique de béton de sable.
- Les performances mécaniques des bétons de sable (résistance à la compression, résistance à la flexion) sont diminuées en fonction d'augmentation des pourcentages d'ajouts des déchets de caoutchouc, et augmentent en fonction d'augmentation des pourcentages d'ajouts des déchets de verre.
- L'ajout de déchets de verre diminue la porosité de béton de sable ce qui améliore l'adhérence des constituants de béton.
- La masse du béton de sable à base de déchets de caoutchouc est diminuée avec l'augmentation de la température.
- L'absorption de béton de sable augmente.
- L'ajout des déchets de caoutchouc dans les bétons de sable diminue la conductivité thermique et améliore l'isolation thermique.
- Un gain économique lors du remplacement des quantités de sable par les déchets de verre et de caoutchouc ce qui va influencer positivement les coûts de réalisation des projets.
- Une possible amélioration de la durabilité des bétons de sable, sous l'effet d'activité pouzzolanique des poudres de verre.

Recommandations et perspectives

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets de caoutchouc et de verre. Pour cela on recommande les étudiants d'approfondir dans ces recherches et surtout d'étudier :

- La valorisation de déchets de caoutchouc dans les bétons ordinaires.
- La valorisation de déchets de verre et déchets de caoutchouc dans les autres types de béton (bétons spéciaux).
- L'introduisant de différents types de déchets issu des pneumatiques (caoutchouc et fibres) dans les formulations des bétons.
- Utilisation de déchets de caoutchouc dans les plâtres.
- Valorisation de déchets de caoutchouc dans les matériaux de finition (carrelage, faïence...).
- Etude de la durabilité de béton de sable à base de déchets de caoutchouc et déchets de verre.
- L'isolation phonique de béton ou de mortier à base de déchets de caoutchouc.

Références Bibliographique

- [1] **Benaïssa A ; Morlier P ; Viguière C ; Cauvin J,J,**«Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable,"Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics, juin 1992, P10
- [2] **ERIC F; STEPHANE F,**"Le béton de sable appliqué aux chaussées routières", infrastructure, Montréal, Crein, Vol,9, 5 Juill-Août, 2002.
- [3]**BENMALEK, M, L,** Contribution à l'étude des bétons de sables dunaires pour éléments de structures", Thèse de magister, Université de Constantine, Oct1992, P472
- [4] **SABLOCRETE,** « Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1994), P237
- [5] **La maison de COIGNET** wikimedia.org (site Internet google,fr),2015
- [6] **Wikipedia.org** (site Internet google,fr),2015
- [7] **CHAOUACH A,A,**"Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes", Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique (ENP), juillet 1993,
- [8] **AFNOR,**"Bétons-Bétons de sable», Projet PP 18-500,
- [9] **Omar MEZIDI,** "Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudre de caoutchouc, Mémoire DeMagister, 2008. P161.
- [10] **Yanéric Roussel,** «Béton auto plaçant avec fibres comme matériau de réparation du béton "Mémoire de maîtrise ès science appliquées, Université Sherbrooke (Québec) CANADA (2000),
- [11] **Sandrine Catinard,**"Durabilité à long terme de matériaux cimentaires, avec ou sans fillers calcaire en contact avec des solutions salines ", Thèse (P,H,D), Université LAVAL (Québec), CANADA (2000),
- [12] **Mélanie SHINK** «, Fissuration des matériaux cimentaires renforcés de microfibres d'aciers», Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Université LAVAL CANADA (2000),
- [13] **BELFERRAG Allaoua,** Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Mémoire MAGISTER juin 2006,
- [14] **J,J,Chauvin et G,Grimaldi,**"Les bétons de sables"Bulletin liaison laboratoire, Ponts et chaussées N°157, Ref 3336, 1998, PP:9-15,
- [15] **MICHEL M,**"Valorisations des déchets et des sous-produits industriels "Ed Massion, Paris (1981),
- [16] **SABLOCRETE,** « Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1994),
- [17] **planete-gaia,e-monsite,com,** les déchets et l'homme(site Internet google,fr) ,2015,
- [18] **Véronique le Mastère,**«, Utilisation des bétons de sable : comblement cavités sous pile de pont, "ITPE-DDE de Haute Garonne, Cellule, Ouvrage d'art N° : 22, 1995, PP : 29-33,

- [19] **J,J,Chauvin**, Le béton de sable en Union Soviétique", Bulletin liaison laboratoire Ponts et Chaussées, N° : 174, 1991, PP : 61-68,
- [20] **planete-gaia**, e-monsite.com, les déchets et l'homme (site Internet google,fr) ,2015
- [21] **MICHEL M**, " Valorisations des déchets et des sous-produits industriels "Ed Massion, Paris (1981),
- [22] **LANGUEDOC R**, "Guide pratique des déchets" (site Internet google,fr), 2001,
- [23] **CourardL**, "Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil" Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux de Construction, 1998), 195 p,
- [24] **institut national de la statique et des études économiques**,www.insee.fr. (site Internet google,fr) 2008.
- [25] **Recyclage** " Encyclo-ecolo.com " l'encyclopédie écologique, 2014,
- [26] **Ministère des Travaux Publics** : valorisation des pneus usagés et les déchets plastiques dans le domaine des travaux publics, journée scientifique, novembre 2005,
- [27] **BOURMATTE N** : granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de magister, université de Constantine, 2004,
- [28] **Sienkiewicz M,,Kucinska-Lipka J,, Helena Janik H,, Balas A.**, Progress in used typesmanagement in the European Union: A review, Waste Management, 32(2012) 1742- 1751,
- [29] **Conférence des Partie à la Convention de BALE** sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, Directives Techniques Révisées pourune Gestion Ecologiquement Rationnelle des pneus usés, (2008) pp,52,
- [30] **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,
- [31] **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,
- [32] **Siddique R,, Naik T,R,,** Properties of concrete containing scrap-tire rubber –an overview,Waste Management, 24(2004) 563–569,
- [33] **Malek K,B,, Marie I,, ASI I,,** Promoting the use of crumb rubber concrete in developing
- [34] **LETTRE DE L’ECO-CONSOMMATION N°34** –question du mois novembre, 2002 (site Internet google,fr),
- [35] **CONSTANT E**, "Le problème du pneu usagé non rechapableP,U,N,R", (site Internet google,fr), Oct, 1997, – Mar, 1998,
- [36] **Seniorforums,com** (site Internet google,fr) ,2015,

- [37] **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,
- [38] **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, 2004, Waste Management, 28(2007) 2171- 2176,
- [39] **Omar MEZIDI**, " Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudre de caoutchouc, Mémoire De Magister, 2008,
- [40] **dreamstime.com/photo-stock**
- [41] "**Production mondiale de caoutchouc**" statistiques mondiales en temps réel PLANETOSCOPE (site Internet google.fr), Avril 2015,
- [42] "**CAOUTCHOUCS SYNTHÉTIQUES**", Société chimique de France, fr (site Internet google.fr), février 2012,
- [43] **La production mondiale de caoutchouc, wipiv.com**
- [44] **Encyclopédie Universel ÉLASTOMÈRES ou CAOUTCHOUCS**, universalis.fr (site Internet google.fr), avril 2015,
- [45] **Turatsinze A; Bonnet S et Granju J, L**, "Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance", Construction and Building Materials, 21: 176-181, 2005,
- [46] **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,
- [47] **Neville A, M**, "Propriétés des bétons", Quatrième édition, Edition française par CRIB, Editions Eyrolles, 2000,
- [48] **Benazzouk A; Douzane O et Quéneudec T; Kint M**, "Transport of fluids in cement-rubber composites", Cement & Concrete Composites 26, 21-29, 2004,
- [49] **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,
- [50] **Kerasley E, P, et Wainwright P, J**, "Porosity and permeability of foamed Concrete ", Cement Concr Res, 31: 805-12, 2001,

- [51] **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
- [52] **NF EN 12350-7**, « Essai pour béton frais, Partie 7 : Teneur en air occlus », AFNOR,1999,
- [53] **NA 442, Normes Algérienne** : "Ciment-Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000,
- [57] **ABDELKIBIRE Messaod et BEN OUELHA Fayçal-Mémoire de fin d'études** valorisation des déchets de verre comme sable dans la confection des bétons,UNIVERSIT2 MOUHAMED BOUDAIF-M'SILA,2005.
- [58] **Rachida IDIR *Martin CYR Arezki TAGNIT-HAMOU (DECEMBRE 2010)** Peut-on valoriser massivement le verre dans les bétons ? Etude des propriétés des bétons de verre, rapport, Centre d'Etudes Techniques Université de Toulouse France.
- [59] <http://www.infovitrail.com/index,php/fr/le-verre>.
- [60] **H ,SCHOLZE**, Le verre, nature, structure et propriétés ; institut du verre, Paris 1980
- [61] **KOJIMA, T,, TAKAGI, N, et HARUTA, K**,Expandingcharacteristics of mortar in glass powderproducedfromwastebottles, 11th international conference on Alkali AggregateReaction, Quebec,2000, moire de maîtrise ès sciences appliquées, Université LAVAL CANADA (2000),
- [62]**P. Meukam**, "Valorisation des des briques de terre stabilisées en vue de l'isolationthermique de bâtiments," Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2004, pp. 157.
- [63]**Dr. Mohammad S. Al-Homoud**, "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials," Building and Environment, vol. 40, pp. 353-366, 2005.
- [64]**J.-P. Oliva**, L'isolation écologique: conception, matériaux, mise en oeuvre: terre vivante, mens, france,2001,2007.
- [65]**A. M. Papadopoulos**, "State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments," Energy and Building, vol. 37, pp. 77-86, 2005.
- [66]**MM.fragos and Trouillez**, Le guide de l'isolation: Fine Media, Paris, 2012.contacte@finemedia.fr.
- [67] **L.F. Cabeza, A. Castell, M. Medrano, I. Martorell, G. Pérez, and I. Fernandez**, "Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction," Energy and Buildings, vol. 42, pp. 630–636, 2010.
- [68]**M. Chikhi**, "Métrologie et modélisation des transferts dans les composites naturels a faible cout pour l'isolation thermique dans les panneaux solaires," Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar de Batna, 2013, pp. 163.

- [69] **"Guide des matériaux isolants,"** Espace info: Energie C.A.U.E. de la Haute-Loire, 16 rue Jean Solvain, 43000 Le Puy En Velay
- [70] **NF P 18-555** Norme française décembre 1990, mesure des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur en eau des sables
- [71] **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,
- [72] **NF P 18-598** Norme française octobre 1991, équivalent de sable
- [73] **NF P 18 541** Norme française mai 1994, Granulats - Granulats pour béton hydrauliques – Spécifications,
- [74] **NF P 18-560** Norme française septembre 1990, analyse granulométrique par tamisage,
- [75] **NA442/2013** Norme Algérienne N° édition : 3 Date : 2005 ICS : 91, 100, 10, ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
- [76] **NF EN 12350-6** Norme française 6 juin 2019 Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique,
- [77] **NA436** Norme Algérienne 29/11/1989, Béton frais compacté - détermination de la masse volumique
- [78] **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.
- [79] **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.
- [80] **Topçu U.B.,** "The properties of rubberized concrete". Cement & Concrete Research, vol. 25, N°2, 1995, p. 304-310.
- [81] **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
- [82] **RILEM LC2.** "Functional classification of lightweight concrete". Vol. 11, 1978, p.281-283.
- [83] **Rossi P.,** "Les bétons de fibres métalliques". Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1998.
- [84] **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.
- [85] **GUENDOUZ Mohamed, DEBIEB Farid** "Etude du comportement de béton de sable à base de déchets plastiques" 3^{ème} conférence internationale sur les matériaux et les structures en composites, 02 ET 03 Décembre 2014 A ORAN.

[86] **Saikia N, De Brito J.** Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: a review. *Constr Build Mater* 2012;34:385–401.

[87] **F. Iucolano, B. Liguori, D. Caputo, F. Colangelo, R. Cioffi.** Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties, *Materials and Design* 2013 ,52 , 916–922.

[88] **Barbara Liguori, Fabio Iucolano, Ilaria Capasso, Marino Lavorgna, Letizia Verdolotti**” The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars, *Materials and Design* 2014 ,57 , 578–584.

[89] **Document Technique Unifié,** Règle de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Etablies par Le Groupe de coordination des textes techniques. Novembre 1977.

[90] **Gül R., Uysal H. and Demirboğa R.,** Investigation of The Thermal Conductivity of Lightweight Concrete Made with Kocapınar’s Pumice aggregate (Kocapınar Pomzası ile Üretilen Hafif Betonların ısı iletkenliklerinin Araştırılması), *Advanced in Civil Eng. III. Technical Congress*, vol. 2, METU, Ankara, Turkey, pp. 553–562, 1997 (in Turkish).

[91] **Blanco F., Garcia P., Mateos P. and Ayala J.,** Characteristics and properties of **lightweight** concrete manufactured with cenospheres. *Cement Concrete Research* 30, pp. 1715–1722, 2000

Annexes

Les quantités des constituants de béton de sable

❖ Pour le béton de sable Témoin :

Sable : 1200g

Ciment : 350g

Eau : 300ml

E/C= 0,85

Adjuvant : 0,4% de poids de ciment

350g \Longrightarrow 100%

X \Longrightarrow 0,4% $X = (0,4*350) / 100 = 1,4g$

❖ Pour Béton de sable avec caoutchouc (par substitution) :

Sable : 1200g

Ciment : 350g

Eau : 300ml

E/C= 0,85

Adjuvant : 0,4%

a- pour 20% de caoutchouc :

1200g \Longrightarrow 100%

X \Longrightarrow 20% $X = (1200*20) / 100 = 240g$

1200-240=960g (sable)

b- Pour 40% de caoutchouc :

1200g \Longrightarrow 100%

X \Longrightarrow 40% $X = (1200*40) / 100 = 480g$

1200-480=720 (sable)

❖ Pour Béton de sable avec poudre de verre (par substitution) :

a- pour 20% de poudre de verre :

1200g \Longrightarrow 100%

X \Longrightarrow 20% $X = (20*1200) / 100 = 240g$

1200-240=960g (sable)

b- Pour 40% de poudre de verre :

1200g \Longrightarrow 100%

X \Longrightarrow 40% $X = (1200*40) / 100 = 480g$

1200-480=720g (sable)

Pour Béton de sable avec mélange de caoutchouc et poudre de verre (par substitution)

a- Pour 20% (10% poudre de verre+ 10% caoutchouc) de mélange :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 20\% \quad X = (1200 \cdot 20) / 100 = 240\text{g}$$

$$1200 - 240 = 960\text{g (sable)}$$

b- Pour 40% de poudre de verre :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 40\% \quad X = (1200 \cdot 40) / 100 = 480\text{g}$$

$$1200 - 480 = 720\text{g (sable)}$$

Pour l'essai de l'isolation

a- 10% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 10\% \quad X = (10 \cdot 1200) / 100 = 120\text{g}$$

$$1200 - 120 = 1080 \text{ (sable)}$$

b- 30% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 30\% \quad X = (30 \cdot 1200) / 100 = 360\text{g}$$

$$1200 - 360 = 840 \text{ (sable)}$$

c- 50% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 50\% \quad X = (50 \cdot 1200) / 100 = 600\text{g}$$

$$1200 - 600 = 600 \text{ (sable)}$$

Pour les essais de l'absorption et la perte de masse :

a- 10% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 10\% \quad X = (10 \cdot 1200) / 100 = 120\text{g}$$

$$1200 - 120 = 1080 \text{ (sable)}$$

b- 20% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 20\% \quad X = (20 \cdot 1200) / 100 = 240\text{g}$$

$$1200 - 240 = 960 \text{ (sable)}$$

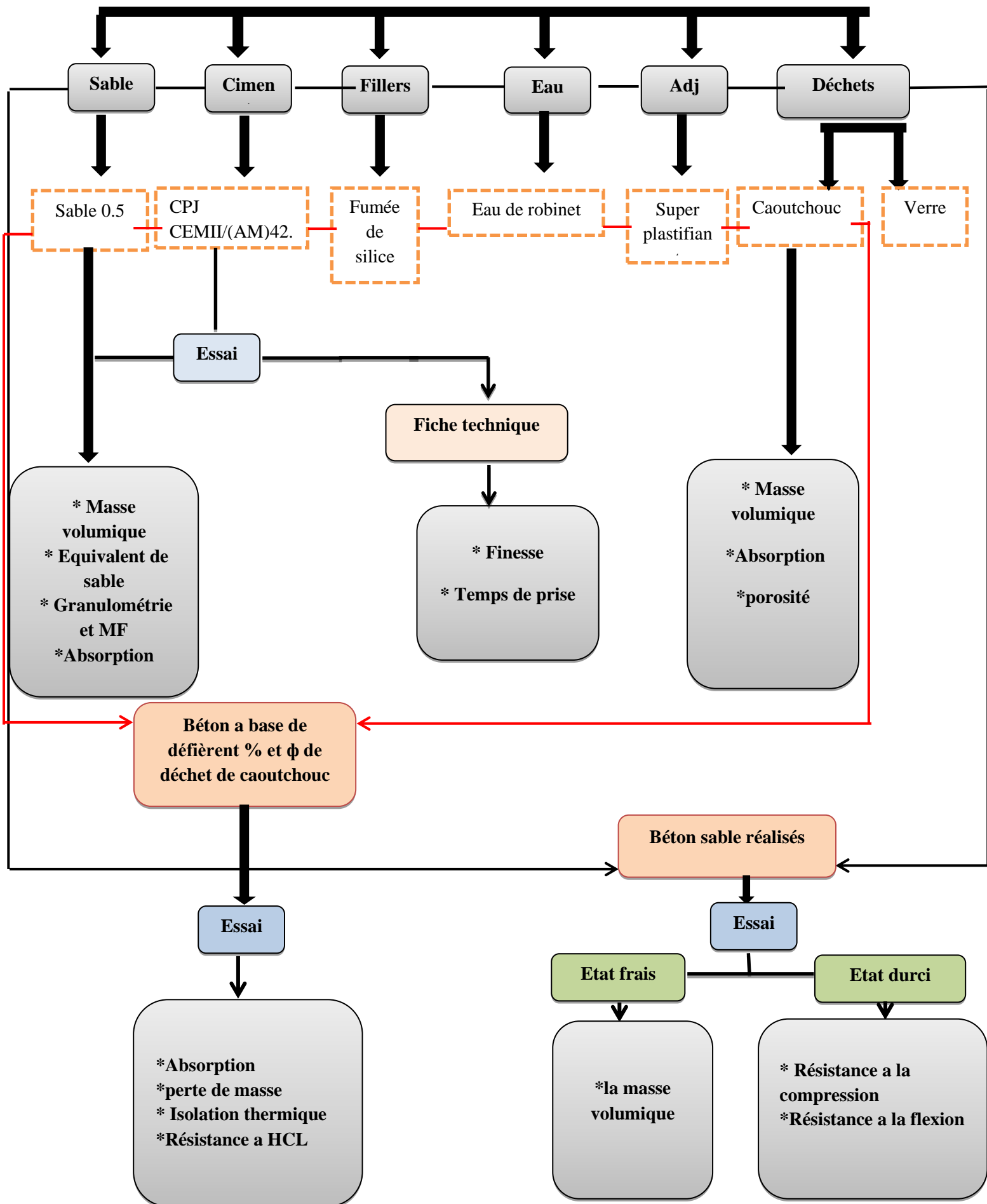
a- 30% de granulats de caoutchouc (0,5-2,5) :

$$1200\text{g} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 30\% \quad X = (30 \cdot 1200) / 100 = 360\text{g}$$

$$1200 - 360 = 840 \text{ (sable)}$$

Essais	Appareil	Dimension des éprouvettes (cm)
Compression	La presse	4x4x16
Flexion		
Capacité d'absorption d'eau	Essaie d'absorption	4x4x25
Perte de masse	Four	4x4x16
Les propriétés thermiques	Thermomètre et plaque chauffante	20x20x4
Résistance en milieu acide HCL	Ph mètre	4x4x16

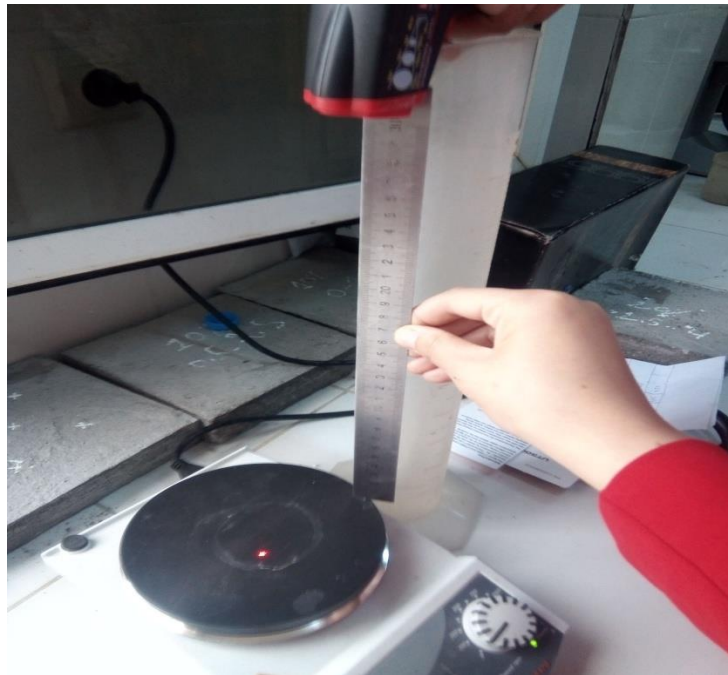


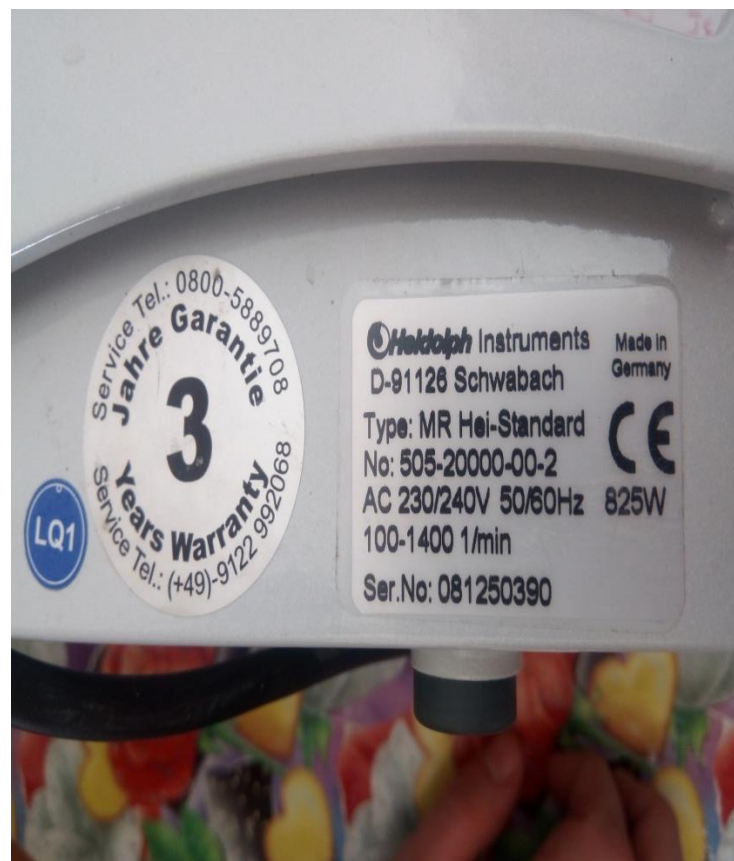














المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIÉTÉ DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE

« S.C.S.E.G. »

S.P.A. au capital social de : 1.900.000.000 D.A. : ش.ذ.أ. - رأسمالها الاجمالي :



N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'Imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00-0282105898

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	CaO		61.57
	Fin	Min.	322			
Expansion à chaud	mm		≤ 10	MgO		1.62
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)		270	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 Na₂O 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

