

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies

Département des Sciences et Technologie

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : Génie Civil.

Spécialité : Structure.

Par :

ZAHY Abdelmounaim;

ZAHY Abderraouf.

Thème

Contribution à l'élaboration d'un béton de sable, à base de sable dunaire et déchets plastique (bouteilles en PET)

Soutenu publiquement le : 29 / 09 / 2020

Devant le jury :

Mr. AZIEZ Mohammed Nadjib	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
M^{elle}. DEHANE Sarah	Magister	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
Mr. SAITI Issam	MAA	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A ceux qui m'ont soutenu au long de mes études, qui m'ont toujours poussé vers le chemin du savoir, à ma source d'amour et d'affection, les deux êtres les plus chères au monde.

Mes Chers parents

À mes frères.

À mes sœurs.

À ma grande famille: ZAHY.

À mon Binôme.

À tous mes amis.

À mes amis de l'université de GHARDAIA.

À tous les étudiants de génie civil.

À tous ceux qui me sont cher(e)s.

Mr. Abdelmounaim Zahi.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A ceux qui m'ont soutenu au long de mes études, qui m'ont toujours poussé vers le chemin du savoir, à ma source d'amour et d'affection, les deux êtres les plus chères au monde.

Mes Chers parents

À mes frères.

À mes sœurs.

À ma grande famille : ZAHH.

À mon Binôme.

À tous mes amis.

À mes amis de l'université de GHARDAIA.

À tous les étudiants de génie civil.

À tous ceux qui me sont cher(e)s.

Mr. Abdraouf Zahi

Remerciement

Nous remercions DIEU tout puissant qui nous a protégés le long de notre cursus d'étude.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadreur Monsieur SAITI ISSAM, qui nous a aidé pour faire ce travail et sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence.

Nous tenons à remercier infiniment Monsieur le Directeur Abdennacer AMIEUR et tous les personnels de laboratoire travaux publics Sud, pour la disponibilité, l'esprit de partage et la grande conscience professionnelle.

Nous tenons remercier vivement Monsieur le président et les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Pour finir nous remercions vont également à tous ceux qui de près ou de loin ma apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Sommaire

REMERCIEMENT

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : REVUE SUR LA DOCUMENTATION

I.1. Introduction	3
I.2. Aperçu général sur les Bétons de sable	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Spécificité du béton de sable	4
I.2.3. Composants du béton de sable	4
I.2.3.1. Sables.....	4
I.2.4. Ciments.....	5
I.2.5. Eau	5
I.2.6. Adjuvants.....	5
I.2.7. Autres ajouts	6
I.2.5.1. Fibres	6
I.2.5.2. Gravillons	6
I.2.5.3. Colorants.....	6
I.2.8. Formulation des bétons de sable.....	6
I.2.9. Propriétés du béton de sable	7
I.2.9.1. Compacité.....	7
I.2.9.2. Maniabilité du béton frais.....	9
I.2.10. Comportement mécanique du béton de sable	10
I.2.11. Durabilité.....	10
I.2.12. Retrait	11
I.2.13. Fluage	12
I.3. Déchets plastiques	13
I.3.1. Déchets plastiques en chiffres	13
I.3.2. Origine des déchets plastiques.....	14
I.3.2.1. Déchets automobiles.....	14
I.3.2.2. Déchets de l'industrie des chaussures et pneu usagé.....	14
I.3.2.3. Déchets de constructions et bâtiments.....	16
I.3.2.4. Déchets de l'agriculture.....	16
I.3.2.5. Déchets d'emballages	16
I.3.2.5.1. Polyéthylène basse densité (PEBD)	17
I.3.2.5.2. Polyéthylène haute densité (PEHD).....	17
I.3.2.5.3. Polystyrène (PS)	17
I.3.2.5.4. Polypropylène.....	17
I.3.2.5.5. Polyéthylène téréphtalate (PET).....	19
I.3.2.5.5.1. Types des PET	20
I.3.2.5.5.2. Masse spécifique	21
I.3.2.5.5.3. Propriétés thermiques et électriques	21
I.3.2.5.5.4. Résistance au feu	21
I.3.2.5.5.5. Comportement mécanique.....	22
I.3.2.5.5.6. Résistance au choc.....	22
I.3.2.5.5.7. Résistance aux agents chimiques et aux intempéries	23
I.3.2.5.5.7. Densité	23
I.4. Valorisation des déchets plastiques dans les matériaux cimentaires.....	24

I.4.1. Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires.....	25
I.4.1.1. Etats frais	25
I.4.1.2. Etats durci	26
I.4. Conclusion	27
CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES	
II.1. Introduction	30
II.2. Caractérisation des matières premières	30
II.2.1. Sable de dunes	30
II.2.1.1. Masses volumiques absolue et apparente (NF P 18-555)	31
II.2.1.2. Analyse granulométrique (NF P94-056)	32
II.2.1.3. Analyse chimique	34
II.2.1.4. Equivalent de sable (NF P 18-597)	34
II.2.1.5. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	35
II.2.2. PET.....	36
II.2.2.1. Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumiqueabsolus.	37
II.2.3. Ciment	37
II.2.4. Eau de gâchage.....	38
II.3. Techniques expérimentales	39
II.3.1. Essais de flexion et compression sur éprouvettes 40x40x160 mm	39
II.3.2. Masse volumique apparente béton	41
II.4. Conclusion.....	41
CHAPITRE III : DISCUSSION ET RESULTATS EXPERIMENTAUX	
III.1. Introduction.....	43
III.2. Matériaux	43
III.2.1. Composition des bétons de sable BSD	43
III.2.2. Composition des bétons de sable BSDPET	44
III.2.3. Mode de préparation des échantillons	44
III.2.3.1. Malaxage.....	44
III.2.3.2. Mise en moule.....	45
III.2.3.2. Mode de conservation	46
III.2.4. Elaboration du béton de sable BSDPET	46
III.2.5. Mode de malaxage et préparation des éprouvettes	46
III.3. Résultats expérimentaux	47
III.3.1. Masse volumique apparente sèche.....	47
III.3.2. Etude de la résistance à la compression du béton de sable BSDPET	48
III.3.3. Résistances à la traction par flexion	52
CONCLUSION GENERALE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

Liste des tableaux

Tableau I.1. Application de polyurethane dans l'automobile.....	14
Tableau II.1. Caracteristiques physiques du sable de dune.....	32
Tableau II.2. Analyse chimique du sable de dunes.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
Tableau II.3. Equivalent de sable moyen.....	34
Tableau II.4. Nature de sol.....	36
Tableau II.5: Caracteristiques physiques du PET.....	37
Tableau II.6. Caracteristiques physiques du ciment utilise.	38
Tableau II.7. Composition chimique du ciment utilise.....	38
Tableau II.8. Composition mineralogique du ciment utilise.....	38
Tableau II.9: Composition chimique de l'eau de gachage.	38
Tableau III.1. Composition des melanges a elaborer (3 eprouvettes 4x4x16 cm ³).	44
Tableau III. 2. Moyennes des masses volumiques apparentes seches en fonction du pourcentage du pet utilise.	47

Liste des figures

FIGURE I.1. Schema explicatif de l'apparence du bs pur, bs charge et du beton traditionnel	3
FIGURE I.2. Effet des dosages en fines sur la compacite du beton de sable.....	8
FIGURE I.3. Temps d'ecoulement en fonction du module de finesse	8
FIGURE I.4. Variation du temps d'ecoulement en fonction de (E/C)	9
FIGURE I.5. Influence du rapport e/c sur la maniabilite d'un beton de sable dunaire	9
FIGURE I.6. Retrait d'auto-dessiccation.	11
FIGURE I.7. Retrait total	12
FIGURE I.8. Fluage d'auto-dessiccation.....	12
FIGURE I.9. Fluage total.....	13
FIGURE I.10. Dechets de semelles de chaussure usagee.....	15
FIGURE I.11. Stock de pneus usages.....	16
FIGURE I.12. Composition chimique de PET	19
FIGURE I.13. Bouteilles en PET	19
FIGURE I.14. Differents types de dechets d'emballages en plastique.....	18
FIGURE I.14. Exemple des differentes etapes du recyclage des PET	18
FIGURE I.14. PET agregats fins et grossiers.....	20
FIGURE I.15. PET d'une forme angulaire.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE I.16. Densite du mortier a base de dechets plastiques (PP ET PF)	26
FIGURE I.16 La reduction de la densite du mortier a base de dechets plastiques (PET ET PC)	26
FIGURE I.5. Resistance a la compression de beton a base de dechets plastique (PET) ..	27
FIGURE II.1. Situation de la commune de Hassi El F'ehal.....	31
FIGURE II.2. Tamis en mm	33
FIGURE II.3. Courbe granulometrique du sable de dune.	33
FIGURE II.4. Determination de l'equivalent de sable.	34
FIGURE II.5. Analyse de bleu methylene.	35
FIGURE II.6. PET utilise.....	37
FIGURE II.7. Dispositif de flexion par trois points.....	40
FIGURE II.8. Ruptures en compression.	40

FIGURE III.1. Malaxeur normalise pour pate et mortier.	45
FIGURE III.2. Moule normalise de 4x4x16 cm².	45
FIGURE III.3. Mode de conservation des eprouvettes.	46
FIGURE III.4. Évolution de la masse volumique seche en fonction du pourcentage du PET.	48
FIGURE III.5. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (TEMOIN).	49
FIGURE III.6. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (5% PET).	49
FIGURE III.7. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (10% PET).	50
FIGURE III.8. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (15% PET).	50
FIGURE III.9. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (20% PET).	51
FIGURE III.10. Evolution de la resistance a la compression en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (25% PET).	51
FIGURE III.11. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (0% PET).	52
FIGURE III.12. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (5% PET).	53
FIGURE III.13. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (10% PET).	53
FIGURE III.14. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (15% PET).	54
FIGURE III.15. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (20% PET).	54
FIGURE III.16. Evolution de la resistances a la traction par flexion en fonction du rapport E/C D (A 28JOURS), (25% PET).	55

Liste des symboles et abréviations

BS	Béton sable
%	Pour cent
°C	Dégré Celsius
ADE	Algérienne des eaux
b	Largeur
BSDPET	Béton sable dune Polyéthylène téréphtalate
C	Ciment
c	Compacité
Ca²⁺	Calcium
CaCO₃	Carbonate de Calcium
Cl	Chlore
cm	Centimètre
d	Diamètre
Dmax	Diamètre maximale
DP	Début de prise
E	Eau
ENPC	Enterprise national Plastiques & Caoutchoucs
f	Dégré Fahrenheit
F	Force
FC	Force compression
Ff	Force flexion
FP	Fin de prise
G	Gravillon
g	Gramme
g/cm³.	Gram centimètre cube
h	Hauteur
h	Heure
HCO₃⁺	Bicarbonate
HR	Humidité
K⁺	Potassium
kg	Kilo gramme
KN	Kilo newton
L	Longueur
M	Masse

Mf	Module de finesse
Mg²⁺	Magnésium
MgO	Oxyde de magnésium
ml	Milli litre
mm	Millimètre
MO	Matières organiques
Mpa	Méga pascal
N	Newton
Na⁺	Sodium
NO₃²⁺	Nitrate
O₂	Oxygène
p	Porosité
PC	P26
PEBD	Polyéthylène basse densité
PEHD	Polyéthylène haute densité
PET	Polyéthylène téréphtalate
pH	Potentiel hydrogène
PP	Polypropylène
PU	Polyuréthanes
PVC	Poly vinyle chlorid
R	Résistance compression
RC	Résistance compression
RC	Résistance à la compression
Rt	Résistance à la traction
S	Sable
s	Seconde
SiO₂	Silicone dioxine
SO₃	Sulfate
SO₄	Sulfate
SSB	Surface spécifique Blaine
T	Température
TAC	Titre alcalimétrique complet
tr	Tour
vabs	Volume absolue
vapp	Volume apparente

VBS	Valeur bleu sole
VBS	Valeur bleu sole
ρ	Mesure de la densité
ρ_{abs}	Masses volumiques absolue
ρ_{app}	Masses volumiques

Résumé

Ce travail vise la valorisation des matériaux locaux en Algérie, le sable de dunes et le recyclage des déchets plastiques dans le béton.

Les résultats expérimentaux montrent que la densité du béton de sable diminué en fonction de l'augmentation en pourcentage d'ajout des déchets plastiques.

Les déchets plastiques contribuent nettement à l'amélioration de la résistance du béton de sable. Le déchet plastique dans le sable de dune est conseillé pour améliorer la résistance mécanique et la maniabilité du béton de sable.

Mots clés : PET, béton de sable, sable de dune, déchet plastique, eau.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تعزيز استعمال المواد المحلية في الجزائر (رمل الكثبان) وإعادة استخدام النفايات البلاستيكية في الخرسانة. أظهرت النتائج التجريبية أن كثافة الخرسانة الرملية تنخفض مع زيادة نسبة مسحوق البلاستيك المضاف.

تساهم الألياف البلاستيكية بشكل واضح في تحسين مقاومة الخرسانة الرملية. يوصى باستخدام الألياف البلاستيكية في رمل الكثبان لتحسين القوة الميكانيكية عملية الخرسانة الرملية.

كلمات مفتاحية : الخرسانة الرملية ، الكثبان الرملية ، النفايات البلاستيكية ، الماء.

Abstract

This work aims to enhance local materials in Algeria, sand from dunes and reuse plastic waste in concrete.

Experimental results show that the density of sand concrete decreased with the increase in the percentage of powder and plastic fibers added.

Plastic fibers clearly contribute to improving the tensile strength and decreasing shrinkage of sand concrete. the plastic fibers in dune sand and in all other types of sand are recommended to improve the mechanical strength and durability of sand concrete.

Keywords: PET, Sand concrete, Dune sand, Plastic waste, Water.

Introduction

générale



Introduction générale

La demande en matériaux de construction connaît une croissance considérable en rapport avec le développement du pays en Algérie. Cette demande, estimée à des chiffres très élevés, demeure insatisfaite devant une offre insuffisante. Ce déséquilibre ne peut être surmonté qu'en assurant une exploitation rationnelle des matériaux locaux dont dispose notre pays.

Les grandes quantités de déchets résultants quotidiennement des différents travaux industriels constituent une gêne environnementale et soulèvent des problèmes particulièrement difficiles à résoudre. La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques. Parmi ces déchets on peut citer les déchets en matières plastiques, qui représentent une part importante des déchets solides municipaux, et qui posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie élevée et parce que ce sont des déchets voyants. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération.

Toutefois, la croissance exponentielle de déchets plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage. La réutilisation de ces déchets dans la construction pourra résoudre un double problème : d'une part les problèmes environnementaux et d'autre part les problèmes économiques et techniques rencontrés dans le domaine de la construction. En effet, certains déchets plastiques possèdent des qualités très importantes et leur introduction dans certains matériaux cimentaires de construction améliore certainement leurs propriétés mécaniques ou thermiques.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers. La valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets de différentes natures comme le plastique font actuellement l'objet de plusieurs recherches.

Notre présente étude s'inscrit dans cette politique de valorisation du sable de dune et les déchets plastique. Cette exploitation dans le secteur de génie civil présente un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie.

L'objectif essentiel de cette étude est d'évaluer expérimentalement l'influence et les effets des déchets de plastique sur les caractéristiques physico-mécaniques, et de la durabilité des bétons de sables de dune dans la zone de la commune de Hassi EL F'ehal.

Pour atteindre cet objectif, notre étude a été scindée en trois chapitres :

Premier chapitre : « Revue sur la documentation », Nous présentons tous les éléments bibliographiques et la revue sur la documentation recueillis des travaux de chercheurs qui sont utile dans l'analyse du comportement des matériaux à élaborer dans cette recherche regroupant en général la valorisation des déchets plastique et l'activité de recyclage en construction.

Deuxième chapitre : « Caractérisation des matières premières et techniques expérimentales », constitue une description des techniques expérimentales utilisées et la caractérisation des matières premières.

Le troisième chapitre : « Discussion et résultats expérimentaux », été consacré à l'analyse et discussion des résultats expérimentaux relatifs au comportement physico-mécanique du béton de sable de dune et les déchets plastiques.

Enfin, et sur la base des résultats obtenus, une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :
Revue sur la
documentation

I.1.Introduction

Ce chapitre est consacré aux différentes connaissances générales concernant les définitions et les propriétés des matériaux qui font l'objet de cette recherche.

Nous présentons tous les éléments bibliographiques et la revue sur la documentation recueillis des travaux de chercheurs qui sont utile dans l'analyse du comportement des matériaux à élaborer dans cette recherche.

I.2. Aperçu général sur les Bétons de sable

I.2.1. Définition

Selon la norme française NF P 18-500 [1], le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le BS comporte habituellement un (ou plusieurs) adjuvant.

Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange.

L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation «béton de sable» tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7 (G = gravillon ; S = sable) : on parle alors de béton de sable chargé[2].

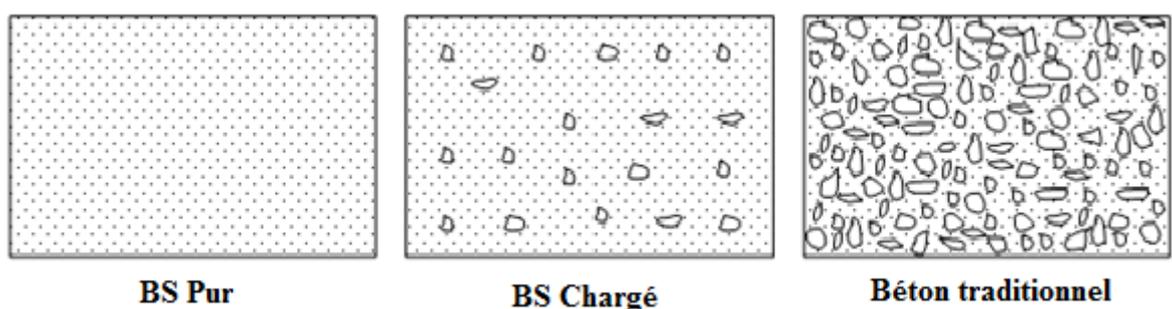


Figure I.1. Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel. [2]

On peut admettre l'emploi d'un granulat à granulométrie continue de 0 mm à un maximum de 8 mm tant que le rapport pondéral entre les éléments supérieurs à 4 mm et les éléments inférieurs à 4 mm reste également inférieur à 0,7.

I.2.2. Spécificité du béton de sable

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable(s), l'absence ou le faible dosage de gravillons et l'incorporation d'addition(s).

Le béton de sable se distingue d'un mortier par sa composition, le mortier est en général fortement dosé en ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition, et surtout par la destination : les bétons de sable sont essentiellement destinés aux usages traditionnels du béton [3]

I.2.3. Composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certain usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants [11].

I.2.3.1. Sables

Par sables on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-101 et NF P 18-301. Il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulaire n'est à priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut utiliser aussi bien un sable fin même (holométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de type (0/D) de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté.

Même si des études ont été faites sur les sables- pollués, aucune application n'a été réalisée avec ces sables. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau de gâchage, ce qui entraîne une chute de la résistance. Mais il est plus prudent à ce stade de se limiter à l'utilisation des sables propres tels qu'ils sont employés pour les bétons classiques[2].

- Classification des sables selon leurs provenances

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit [2]:

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

I.2.4.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 [2].

I.2.5. 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 [2].

I.2.6. 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 [2].

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiant ou super plastifiant : ils améliorent la maniabilité, le

plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui ont été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103 [2].

I.2.7. Autres ajouts

I.2.5.1. Fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout. On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe [2].

I.2.5.2. Gravillons

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70 ($G/S < 0,70$) [3].

I.2.5.3. Colorants

Dans certains usages particuliers du béton de sable, les colorants utilisés dans le béton classiques peuvent également être utilisés, à condition de prendre soin de l'homogénéisation et la stabilité de la teinte au cours du temps, pour cela il est recommandé de procéder à une formulation appropriée à ce cas [2].

I.2.8. Formulation des bétons de sable

Le béton de sable de dune est un matériau nouveau encore au stade de la recherche. Le principal problème posé par son emploi est la conception de méthode de compositions compatibles avec les divers usages qu'on en fait [3].

Les performances d'un béton de sable sont extrêmement dépendantes de la qualité et de la rigueur de la formulation. Quelques exemples de formulations théoriques, qui fournissent des ordres de grandeurs très plausibles des dosages des différents constituants, ont

été proposés pour des matériaux bien déterminés. La démarche, dans la plupart des cas de ces formulations, demeure très empirique. Elle consiste à optimiser la compacité du béton et à estimer ensuite ses performances potentielles. L'estimation de la résistance a été menée en vue d'une optimisation du dosage en fillers [3].

La formulation dispose alors de la possibilité, pour un jeu de constituants donné, de faire varier le dosage en ciment pour affiner la résistance, en demeurant à la compacité optimale [3].

Ces méthodes théoriques de formulation, malgré les limitations faites de nombreuses hypothèses qui la jalonnent, constituent une base pour la mise au point d'une formule de béton de sable qui doit ensuite être validée et ajustée expérimentalement [3].

Il existe d'autres méthodes expérimentales qui peuvent différer en fonction de l'approche théoriques adoptées à la base. Toutefois, l'objet reste le même : formuler un béton de sable qui soit le plus compact possible en accord avec les autres caractéristiques recherchées (possibilité de pompage, facilité de moulage et aptitude à la projection). [4]

Les approches de formulation des bétons de sable sont complétées par, la méthode de formulation théorique basée sur l'optimisation de la compacité de squelette granulaire, et la méthode expérimentale basée sur la réalisation de gâchées successives. [3]

I.2.9. Propriétés du béton de sable

I.2.9.1. Compacité

La compacité est une qualité essentielle qui influe sur les performances du béton. L'optimisation de la compacité relève d'une démarche visant à minimiser la quantité d'eau à ajouter au mélange sec et à optimiser la teneur des ajouts.[3]

- **Effet de la granulométrie du sable sur la compacité**

D'après plusieurs études expérimentales [3], il a été montré qu'un sable alluvionnaire ($D_{max} \cong 5\text{mm}$) nécessite moins de fines qu'un sable de dune ($D_{max} < 1\text{mm}$).

Ceci pourra s'expliquer par le fait que la porosité dépend de la granulométrie du sable qui est une fonction de la nature du sable, et plus le sable est poreux (le cas d'un sable dunaire) plus on a besoin de fines. Bien que dans ce cas cet inconvénient soit compensé par

l'ajout de fines qui améliore la compacité, le béton de sable reste toujours moins compact que le béton ordinaire [3].

- **Effet de l'addition des fines**

En fonction de la finesse, du dosage en fines et du dosage en ciment, on a pu remarquer qu'il existe un dosage optimal à partir duquel la compacité commence à diminuer (figure I.2).

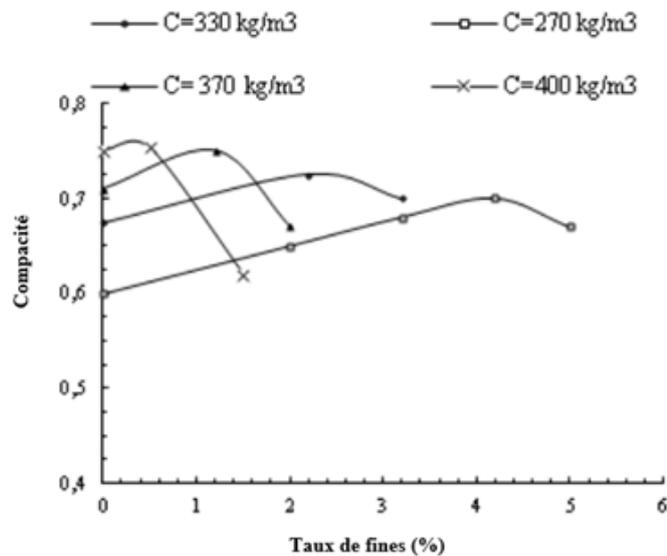


Figure I.2. Effet des dosages en fines sur la compacité du béton de sable [5]

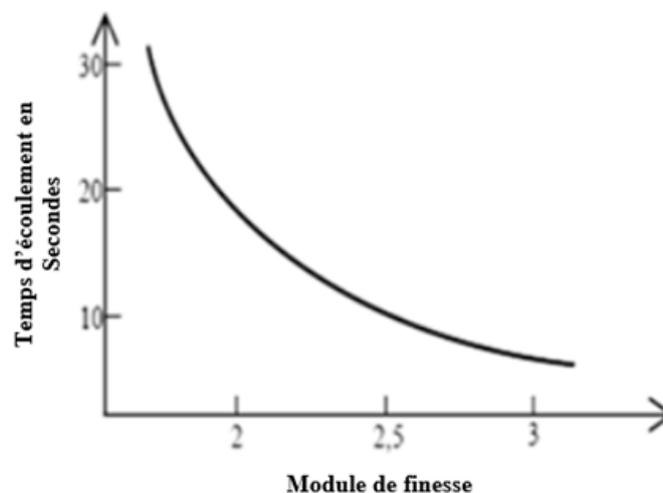


Figure I.3. Temps d'écoulement en fonction du module de finesse [6]

I.2.9.2. Maniabilité du béton frais

La maniabilité est l'une des caractéristiques de grande importance, elle dépend essentiellement de la qualité et de la quantité d'eau utilisée.

La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la figure I.4 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité [3].

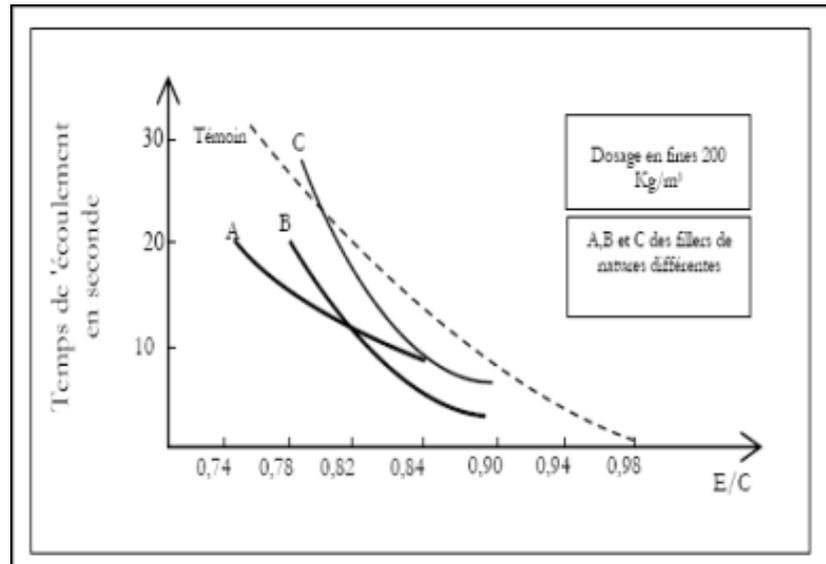


Figure I.4. Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C) [4].

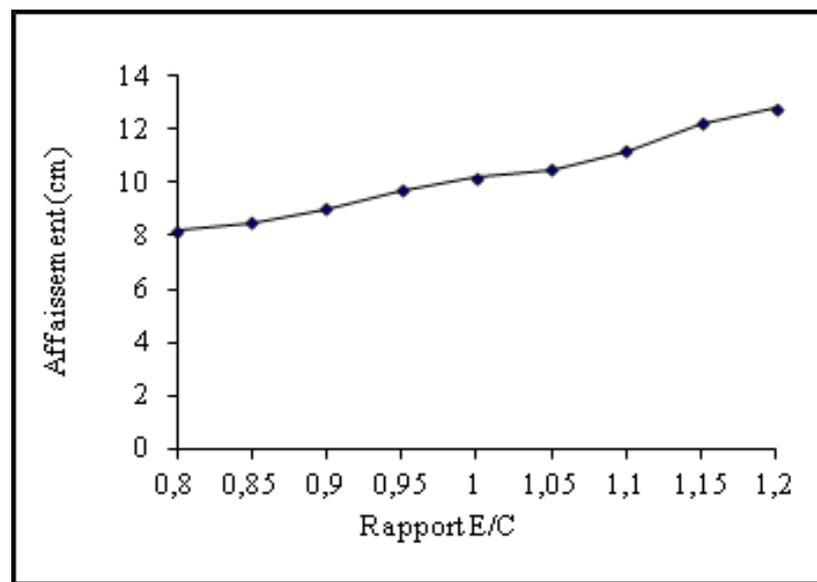


Figure I.5. Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire [8]

La figure I.4 montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport E/C augmente. Cependant, pour un rapport E/C fixe, la maniabilité dépend de la nature des fines d'ajout.

La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à une bonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétons traditionnels, vis-à-vis de la ségrégation [3].

En suivant les règles de formulation, basée sur une optimisation complète de la compacité, les bétons de sable doivent présenter une bonne ouvrabilité, de l'ordre de 7 à 10 secondes au maniabilimètre LCL à mortier [7].

D'après la figure I.5 ci-dessous, la maniabilité des bétons de sable dunaire augmente considérablement si on augmente E/C[3].

I.2.10. Comportement mécanique du béton de sable

Les performances mécaniques ne sont pas les seuls critères de jugement de la qualité d'un béton, même si la classification des bétons selon des performances mécaniques reste un repère dans l'esprit des utilisateurs. Aussi, même s'il est vrai que les résistances des bétons de sable sont en général inférieures à celles des bétons classiques d'une part, et que la cinétique de montée en résistance est plus lente ce qui peut en limiter l'usage pour des ouvrages mis en charge précocement, d'autre part, il est aisé d'obtenir des bétons de sable à hautes performances mécaniques, même à court terme.

La résistance dépend d'un certain nombre de paramètres tels que : La finesse des fines d'addition, la nature de fines d'addition, la dimension du D max. [3]

I.2.11. Durabilité

Les paramètres tels que porosité, répartition géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité.

D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons traditionnels. Leurs pores sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Cette distribution poreuse particulière contribue pour une bonne part à leur bon comportement vis à vis des essais de durabilités [3].

I.2.12. Retrait

Il existe deux sortes de retraits :

- **Le retrait endogène** : ce retrait est caractérisé par une cinétique semblable aux autres gammes de béton, une différence de l'ordre de 10% environ par rapport à ce dernier;
- **Retrait de dessiccation (retrait de séchage)**: ce retrait a lieu en milieu ambiant et peut atteindre des valeurs deux fois plus importantes que celles des bétons classiques du moins pendant les deux premiers mois, ensuite il y'a une tendance à la stabilisation. Ce phénomène semble être lié à la taille et à la distribution des pores dans les bétons[9].

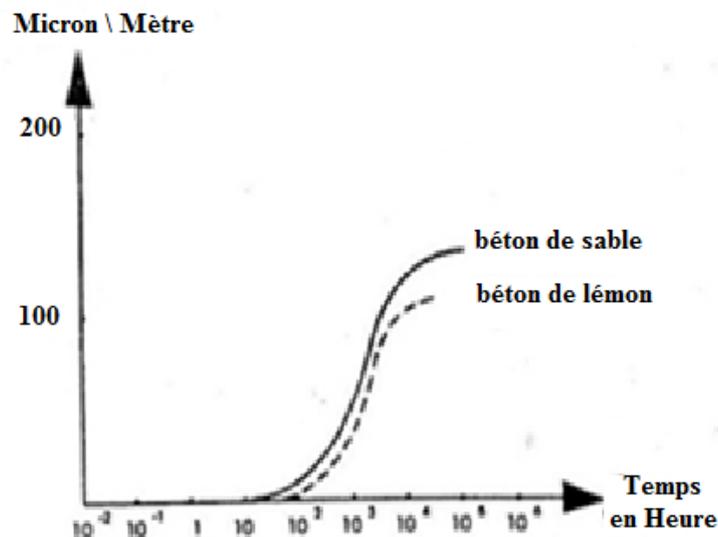


Figure I.6. Retrait d'auto-dessiccation [4].

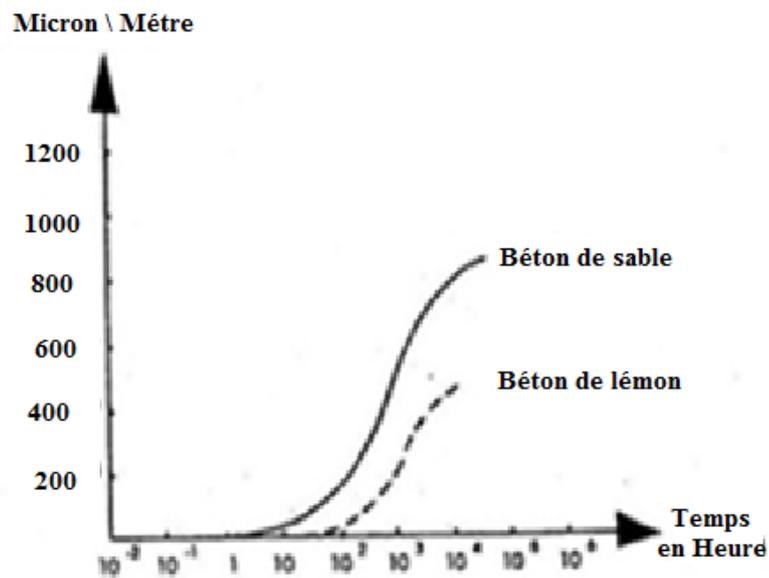


Figure I.7. Retrait total [7]

I.2.13. Fluage

La cinétique de fluage propre n'est pas très différente des bétons ordinaires aux bétons de sable, alors que le fluage de dessiccation du béton de sable a une cinétique extrêmement rapide, deux fois plus importantes.

Les valeurs du fluage du béton de sable, sont deux fois que celles du béton ordinaire (figures I.8 et I.9). Ces résultats correspondent à un niveau de résistance en compression de 25MPa.

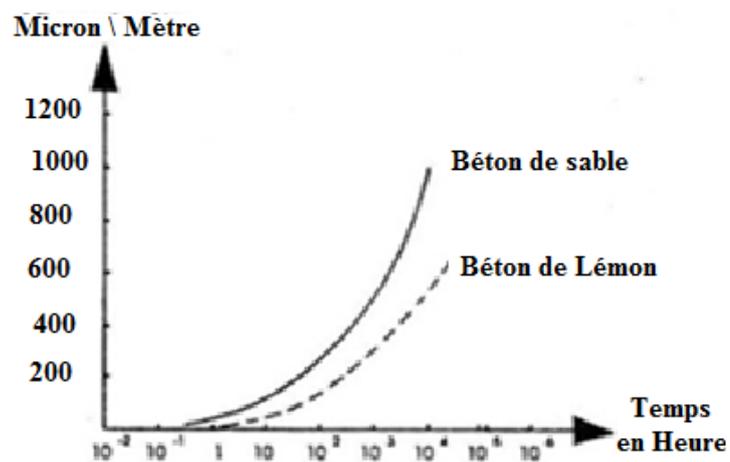


Figure I.8. Fluage d'auto-dessiccation. [7]

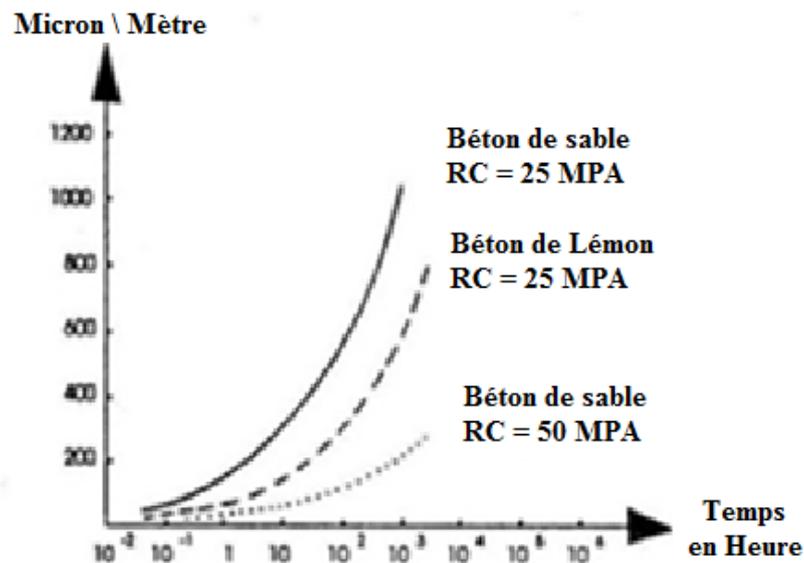


Figure I.9. Fluage total. [7]

I.3. Déchets plastiques

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie, leur quantité et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social.

La consommation des matières plastiques ne cessent d'augmenter dans le monde y compris dans l'Algérie, et cela à cause de leur utilisation dans divers domaines : emballage, automobiles, construction...etc. Ces matières génèrent après utilisation un grand volume de déchets dans les décharges [10].

I.3.1. Déchets plastiques en chiffres

Les matières plastiques sont des matériaux relativement nouveaux qui n'ont été introduits dans la production industrielle qu'en 1907.

Ils sont actuellement omniprésents dans les produits industriels et les biens de consommation, et la vie moderne est inimaginable sans eux. Dans le même temps, les caractéristiques qui rendent les matières plastiques si utiles, tels que leur durabilité, leur légèreté et leur faible coût, compliquent leur élimination.

280 millions de tonnes de plastique sont produits dans le monde en 2012, soit plus près de 8.880 kilos de plastique par seconde (compteur), consommant 8% environ de la production mondiale de pétrole. 25 millions de tonnes de déchets plastiques collectés en Europe chaque année dont seulement 25% sont recyclés

La production des matières plastiques croît avec le PIB12 et s'accompagne d'une augmentation globale du volume de déchets plastiques de 5,7 Mt (23 %) entre 2008 et 2015. Cela est dû principalement à une hausse de 24 % dans le secteur de l'emballage, et s'inscrit dans un accroissement continu du volume de déchets plastiques en Europe. Sans une meilleure conception des produits et une meilleure gestion des déchets, les déchets plastiques ne feront qu'augmenter dans l'Union, au même rythme que la production [10]

I.3.2. Origine des déchets plastiques

Les déchets plastiques se répartissent en 5 grandes familles [10]:

I.3.2.1. Déchets automobiles

Les principaux polymères utilisés dans l'automobile sont : le polypropylène (PP) et les polyuréthanes (PU). Le polypropylène est utilisé pour fabriquer les pare-chocs, les tableaux de bord et habillage de l'habitacle. Comme le PP, le polyuréthane est très appliqué dans le domaine automobile, il peut se trouver sous plusieurs formes selon son utilisation (mousse souple, mousse rigide et mousse semi rigide). Le tableau suivant résume les différentes formes du PU et ses applications dans l'automobile.

Tableau I.1. Application de polyuréthane dans l'automobile [10]

Désignation	Applications
Mousse souple	Matelassures de sièges-Insonorisant
Mousse semi-rigide	Remplissage de planches de bord- Accoudoirs
Mousse rigide	Tablettes arrière (sous tissus)-Panneaux de porte Remplissage de corps creux

I.3.2.2. Déchets de l'industrie des chaussures et pneu usagé

Le marché de la chaussure dans le monde est un marché porteur. La consommation de chaussures par les ménages français par exemple atteignait 350 millions de paires, soit une moyenne de plus de 5 paires de chaussures par an et par habitant. L'Algérie importe

annuellement une moyenne de 70 millions des paires de chaussures et ne produit qu'un million de paires. Ces produits ayant une durée de vie très variable, dépendant de leur utilisation, mais aussi en grande partie des effets de mode, représentent en fin de vie un gisement annuel de déchets potentiels énorme qui reste à ce jour un chiffre inconnu (Figure I.10).



Figure I.10. Déchets de semelles de chaussure usagée

L'utilisation des pneus en caoutchouc augmente chaque année. On peut citer quelque cas : la France, en 2008, plus de 366.000 tonnes de pneumatiques ont été collectés ce qui constitue une progression de 36% par rapport à 2004; la Thaïlande, un pays asiatique, le bilan de la seule année 2000 indique une consommation d'environ 94.000 tonnes de pneus.

Ces chiffres continuent à augmenter chaque année avec le nombre de véhicules dans tous les pays [10].

L'expérience montre que l'incendie des pneumatiques devient rapidement non maîtrisable. Ainsi, les sites de stockage constituent un risque pour l'eau en surface, ainsi que pour l'eau souterraine. Ils représentent aussi un danger sanitaire car ils constituent un habitat privilégié des insectes.

En général, la moins chère et la plus simple des solutions pour décomposer les déchets ou les pneus usagés est de les brûler. Cependant, la pollution et la quantité énorme de fumée produites par cette méthode est inacceptable et, dans certains pays il est interdit par des lois de procéder ainsi. En conséquence, la valorisation de pneus usagés est un sujet important pour la planète entière [11].



Figure I.11. Stock de pneus usagés.

I.3.2.3. Déchets de constructions et bâtiments

Ce secteur est le second plus gros consommateur de plastique après le secteur d'emballage et conditionnement. Ces produits sont caractérisés par des durées de vie importantes (30 à 50 ans). Les plastiques les plus utilisés sont le polychlorure de vinyle, le polystyrène, le polystyrène expansé, le polyéthylène et le polyuréthane. Ces produits sont essentiellement utilisés pour l'isolation des bâtiments, fabrication de revêtement de sols et de murs, fabrication de tuyaux et conduites [10].

I.3.2.4. Déchets de l'agriculture

Les matières plastiques occupent une place importante dans l'agriculture algérienne. Dans la région de Bejaia d'après le service agricole, environ 70 à 100 hectares en moyennes sont exploitées chaque année depuis 1990, ce qui correspond à environ 1750 à 2500 serres (année 2006). Le principal polymère utilisé dans la production des films agricoles est le PEBD. La majeure partie des films agricoles utilisée est produites par l'ENPC de Sétif et les unités de production de Jijel et Biskra [10].

I.3.2.5. Déchets d'emballages

Ce domaine représente la plus grandes partie des déchets, la durée de vie de ces produits à l'utilisation est courte et varie de quelques jours à quelques mois. Les différentes résines utilisées dans le domaine d'emballage sont [10] :

I.3.2.5.1. Polyéthylène basse densité (PEBD)

Le PEBD est très utilisé pour la fabrication des produits souples tels que les sacs, sachets, sacs poubelles, bouteilles (ketchup, shampoing). Les principaux producteurs de ces emballages sont : Soummam Plast, Multiplast, All plast et EURL Plastimeral.

I.3.2.5.2. Polyéthylène hautes densité (PEHD)

Les différents emballages à base de PEHD sont produits par Akbou plastiques, Soummam plast, ENCG et Meriplast. Le PEHD est utilisé pour des objets plastiques rigides on le trouve par exemple sous forme de bouteilles (lait, yaourt), flacons (lessives, détergents, huiles) et des bacs poubelles.

I.3.2.5.3. Polystyrène (PS)

Très utilisé pour l'emballage des pots de yaourt, les verres en plastiques, ce type d'emballage est produit par Soummam, Danone, Batelec et All plast.

I.3.2.5.4. Polypropylène

En raison de son aspect brillant et de sa résistance le PP est utilisé pour les emballages alimentaires tels que les films, barquettes de margarine et caisse pour fruit et légumes qui sont fabriqués par All plast et Betelec.

I.3.2.5.5. Polyéthylène téréphtalate (PET)

Ce polymère est très utilisé pour l'emballage de boissons (eau minérale, jus, soda, huiles), les principaux producteurs sont : Toudja, Ifri, Cevital.

La figure ci-dessous donne un aspect général sur les différents types d'emballage plastiques:



Figure I.14. Différents types de déchets d’emballages en plastique [10]

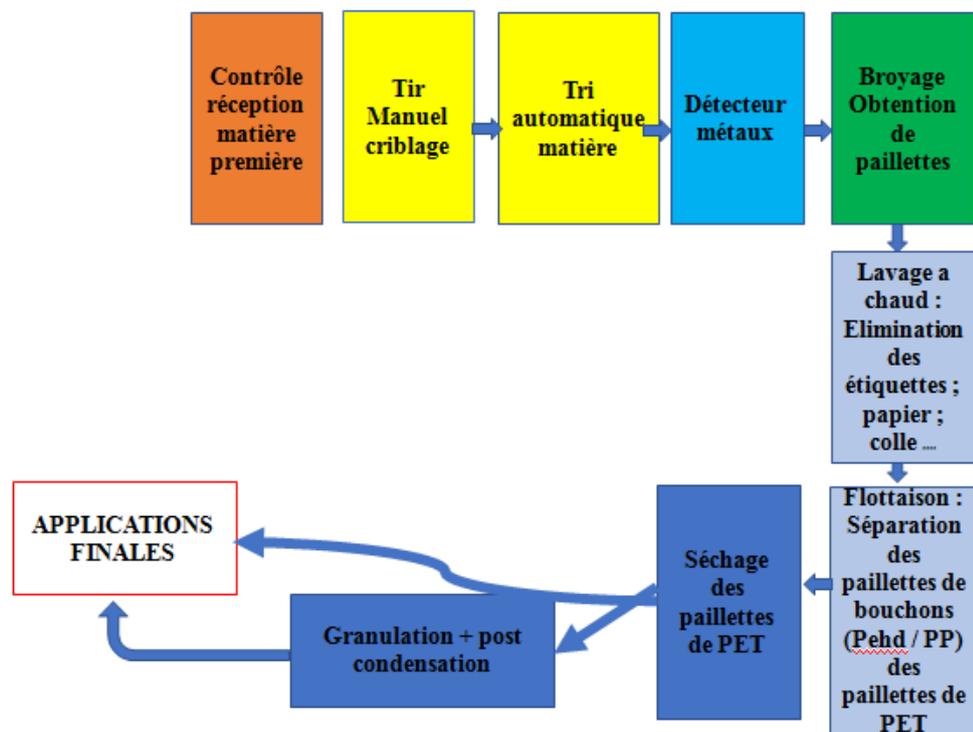


Figure I.14. Exemple des différentes étapes du recyclage des PET [12].

I.3.3. Polyéthylène téréphtalate (PET)

C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol (Figure I.12). Les chaînes vont s'arranger et former des fibres résistantes. Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles (Figure I.13). L'inventeur des bouteilles en PET, Nathaniel Wyeth voulait faire une bouteille incassable. Cependant, ce plastique devient mou à moyenne température et présente une bonne résistance thermique jusqu'à 260 °C. Cette propriété empêche de consigner les bouteilles en PET car il faut les laver à une température trop haute. Pour cette même raison, on ne peut pas l'utiliser pour les confitures qui sont coulées chaudes dans les pots.

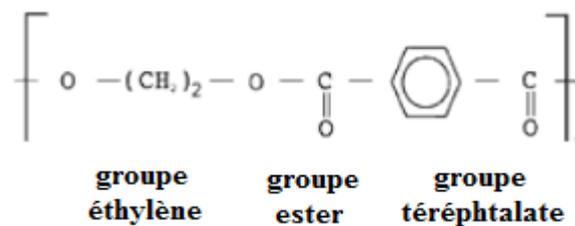


Figure I.12. Composition chimique de PET [13]



Figure I.13. Bouteilles en PET.

I.3.1. Types des PET

A. Fibre en plastique

Ils existent les mono filaments PET qui peuvent être soit signalables, soit non flagellables, droits ou sertis, avec différents profils et diamètres, allant de 0,12 mm à 2,00 mm.[14]

B. Fines particules des PET

On obtient la poudre des bouteilles de PET par l'écrasement de sa dernière.

Les tailles moyennes des particules de PET étaient respectivement de 0,25 et 0,50 cm (respectivement petits et grands) et ont été estimées sur la base de mesures effectuées sur des micrographies au moyen d'une loupe électronique [15]

C. Agrégats

Le granulé en plastique est produit à partir de flops en plastique. Ce matériau est constitué de prédécesseurs et des grains de PET de taille égale, exempts de niveau microscopique. Ils existent :

- Le granulat déchiqueté (une forme angulaire)
- Agrégats de PET fins et grossiers.
- Agrégat de PET en forme de pastille.



Figure I.14. PET agrégats fins et grossiers [16].

I.3.2. Propriétés des PET

- **Masse spécifique**

La masse spécifique de la plupart des plastiques est bien plus faible que celle des métaux, ce qui est très utile lorsqu'on veut obtenir une diminution de poids car certains plastiques sont, à poids égal, plus résistants que les métaux. Cependant, à volume égal, c'est habituellement le contraire qui se produit. La masse spécifique des polymères et des plastiques se situe normalement entre 0.83 et 2.50 g/cm³. Pour les plastiques alvéolaires elle peut descendre jusqu'à 0.01 g/cm³ et pour les plastiques contenant des charges, elle peut atteindre 3.50 g/cm³ [17].

- **Propriétés thermiques et électriques**

En tant que matériaux organiques, les polymères et les plastiques ont, à quelques exceptions près, une stabilité thermique bien plus faible que celle des métaux, surtout au contact de l'oxygène. Lorsqu'ils sont chauffés à des températures de plus en plus élevées, les matériaux thermoplastiques passent lentement de l'état solide plus ou moins rigide à l'état de liquide très visqueux. Même si sous l'effet de la chaleur les matériaux thermodurcissables ne perdent pas leur rigidité de façon appréciable, un chauffage trop intense ou prolongé provoque un durcissement excessif, une contraction, une carbonisation ou une désintégration. Les coefficients de dilatation thermique des plastiques (de 4 à 20 x 10⁻⁵/°C ; de 2 à 11 x 10⁻⁵/°F) sont beaucoup plus élevés que ceux des métaux ordinaires (de 1.0 à 2.5 x 10⁻⁵/°C ; de 0.6 à 1.4 x 10⁻⁵/°F). En général, les polymères et les plastiques dérivés sont de bons isolants électriques, certains excellents même, comme le polytétrafluoréthylène [17].

- **Résistance au feu**

Les plastiques se comportent différemment sous l'action du feu, certains s'enflamment, d'autres brûlent rapidement ou lentement, et d'autres sont auto extinguibles. La nature des polymères et des substances comme les charges, les matériaux de renforcement, les plastifiants ou les adjuvants ignifugeants, déterminent le degré d'inflammabilité. Les polymères halogénés, tel que le PVC ou le PVC chloruré, sont naturellement ignifuges, lorsqu'ils sont chauffés, ils libèrent des gaz halogènes qui interrompent la réaction d'oxydation en chaîne par radicaux libres [17].

Cependant, si l'on ajoute des plastifiants, le PVC devient inflammable. La résistance au feu des plastiques peut être améliorée par l'adjonction d'adjuvants appropriés ou par l'emploi de polymères naturellement ignifugeants [17].

- **Comportement mécanique**

Les matériaux polymères sont utiles principalement en raison de leurs propriétés mécaniques. Par rapport aux métaux, les polymères et les plastiques ont un faible module d'élasticité et leur rapport résistance/poids est plus élevé. Les objets et structures en plastique ont des degrés de résistance au choc très variables, allant de très fragile à très tenace.

Le comportement des polymères à la déformation diffère de celui des métaux de construction en ce qu'il n'est pas seulement fonction de l'ordre de grandeur de la contrainte, mais également de la durée d'application. Le fluage des polymères et des plastiques peut être important, même à la température ambiante, alors que pour les métaux, il ne l'est jamais au-dessous de 500°C. De plus, la température et le mode d'application de la contrainte affectent beaucoup plus les propriétés mécaniques des polymères et des plastiques que celles des métaux.

Ces propriétés peuvent aussi être influencées par le procédé de fabrication, un traitement ultérieur et l'âge du produit fini. Les polymères n'obéissent pas à la loi de Hooke, mais ont un comportement dit viscoélastique.

Le préfixe "visco" veut dire que le matériau possède certaines des caractéristiques des liquides visqueux, ce qui implique une dépendance du facteur temps. Suivant ce comportement, les polymères amorphes peuvent avoir 3 types de réaction à la déformation par contraintes non destructives (relativement faibles), selon la durée de l'application de celles-ci: élasticité instantanée (ou de Hooke), élasticité retardée ou différée (haute élasticité) et écoulement visqueux [17].

- **Résistance au choc**

La résistance au choc donne une mesure de la ténacité ou de la capacité du matériau de résister à la rupture sous l'effet d'un impact à grande vitesse. Dans des conditions normales d'utilisation, les polymères peuvent être soit fragiles soit tenaces. Par exemple, le polystyrène, le poly (méthacrylate de méthyle) ainsi que le PVC non modifié et non plastifié sont

habituellement fragiles ; ils se cassent brusquement. La résistance au choc des polymères et des plastiques correspondants dépend de l'écart entre leur température de transition vitreuse (T_v) et la température d'utilisation ainsi que de leur taux de cristallinité [17].

- **Résistance aux agents chimiques et aux intempéries**

La résistance aux agents chimiques des matériaux polymères dépend de la nature du polymère. Les acides fortement oxydants peuvent s'attaquer aux plastiques et les décolorer ou les rendre fragiles. Les liquides organiques attaquent la plupart des polymères et des plastiques. Par exemple, les fuel-oils, les huiles et divers solvants organiques peuvent attaquer les plastiques et occasionner leur gonflement, leur amollissement ou les dissoudre. La température et la composition des plastiques déterminent leur résistance à ces agents chimiques. La plupart des plastiques peuvent être utilisées comme matériaux de protection contre la corrosion. Cependant, en raison de leur résistance variable en fonction du milieu, il convient de bien choisir le plastique qui résiste le mieux à la corrosion dans les conditions particulières. La résistance des polymères aux intempéries, surtout à l'action du soleil varie considérablement. Par exemple, certains polymères et les plastiques correspondants ont fait preuve d'une très grande résistance aux intempéries, contrairement à d'autres dont la résistance s'est révélée très faible.

Cependant, la plupart des "compounds" plastiques commerciaux peuvent être formulés de façon à offrir une bonne résistance aux intempéries [17].

- **Densité**

Les plastiques ont tous une densité différente ce qui permet aussi de les identifier partiellement. Pour pouvoir faire l'expérience, découpez des fragments d'emballage dans des parties pleines (les poches d'air fausseraient la densité) et disposez-les dans un verre transparent rempli d'eau. Les plastiques qui flottent sont le PP et le PE car ils ont une densité inférieure à 1.

Le PS expansé flotte également grâce aux nombreuses bulles d'air qui y sont incluses.

Lorsqu'on ajoute du sel à l'eau, on remarque que les autres bouts de plastique s'élèvent progressivement : dans l'ordre on a le polystyrène (non expansé), le PVC et le PET[1].

I.4. Valorisation des déchets plastiques dans les matériaux cimentaires

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie. Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids.

Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est, dans la plupart des cas, faible. Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage.

La valorisation ou le recyclage des déchets plastique est très vaste à cause de la diversité de leurs types et de leur procédé de recyclage. Elles représentent jusqu'à 30% de la masse totale des ordures ménagères. Malheureusement, la multiplicité des types de matières plastiques, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation.

Les études antérieures ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et ou de construction [17].

On peut valoriser des déchets plastiques :

- Pour la fabrication des matériaux de construction tels que la tuile, la brique et le pavé autobloquant.
- Pour produire de nouveaux matériaux, tels que les composites de ciment en substituant le PVC, le polystyrène, le polypropylène, ou les PET sous forme de fibre, de poudre ou d'agréats dans le but d'améliorer certaines propriétés. Cette méthode apparaît comme l'une des meilleures solutions pour l'élimination des déchets plastiques, en raison de son avantage économique et écologique.

I.4.1. Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires

I.4.1.1. Etats frais

a) L'ouvrabilité

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

Da Silva et al [18] ont étudié l'influence de substitution du sable par déchets plastique fins (PET, polyfilin et polypropylène) sur la maniabilité du mortier du ciment. Ils ont trouvés que la maniabilité du mortier est augmentée en fonction d'augmentation de tous les pourcentages du plastique.

Al-Hachemi et al. [19] ont trouvé aussi que la substitution du sable par un pourcentage de 80% de polyéthylène et 20% de polystyrène induit une augmentation considérable de la maniabilité du béton.

b) Densité

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

Iucolano et al. [20] ont trouvé que la densité du mortier est diminuée d'une façon considérable en fonction de substitution de 10%,15% ,20% ,25% et 50 % du sable par la poudre en plastiques recyclé (type polyéthylène et polypropylène).

Da Silva et al [21] ont étudié l'influence de substitution du sable par déchets plastique fins (polyfilin et polypropylène) sur la densité du mortier du ciment. Ils ont trouvés que la densité de mortier est diminuée en fonction d'augmentation de tous les pourcentages du plastique

Hannawi et al.[22] ont aussi trouvé que la substitution du 3% ,10% ,20% et50% du sable par des déchets de grains plastiques (PET et Polycarbonate)induit une diminutionconsidérable de la densité du moirer.

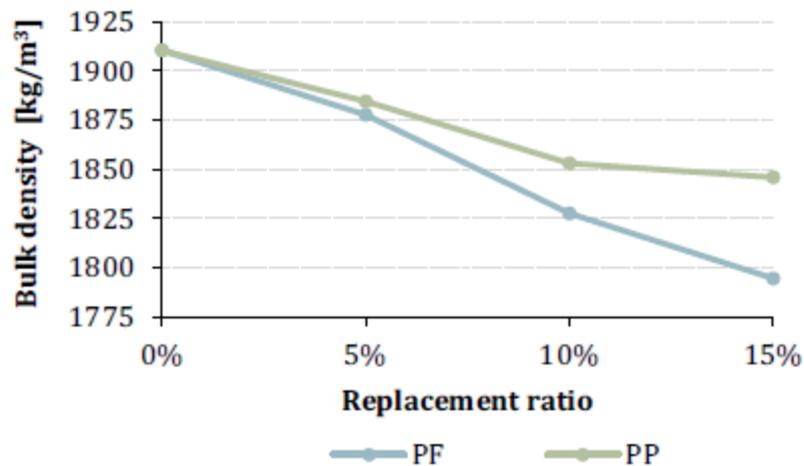


Figure I.16. Densité du mortier à base de déchets plastiques (PP et PF)[18]

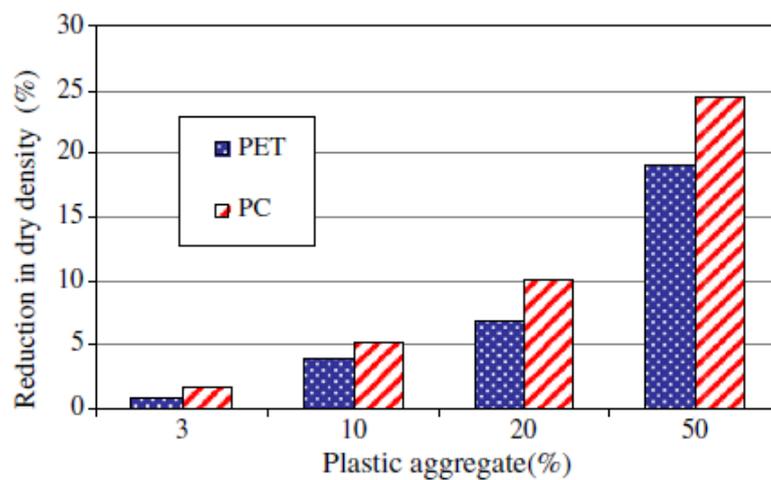


Figure I.16 La réduction de la densité du mortier à base de déchets plastiques (PET et PC) [22]

I.4.1.2. Etats durci

a) Résistance à la 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 [17].

Rahmani et al [23] ont étudié l'influence des déchets plastiques (PET) sur la résistance à la compression du béton. Ils ont observé une augmentation de la résistance à la compression en fonction de substitution de 5 % de PET par le sable.

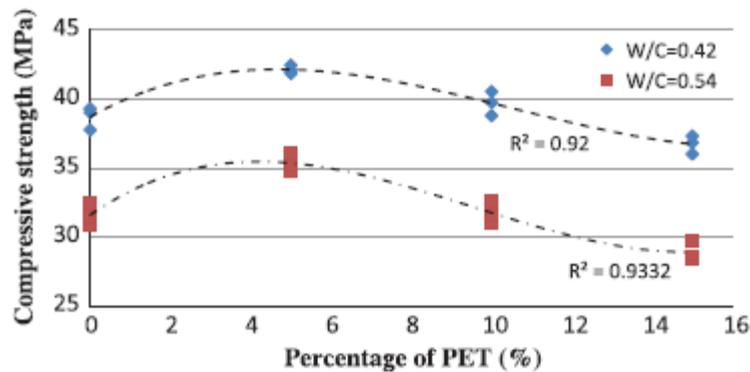


Figure I.5. Résistance à la compression de béton à base de déchets plastique (PET) [23].

I.4. Conclusion

Nous avons présenté tous les éléments bibliographiques et la revue sur la documentation recueillis des travaux de chercheurs qui sont utiles dans l'analyse du comportement des matériaux à élaborer dans cette recherche. Ainsi que nous avons passé en revue la valorisation dite matière sous forme de granulats plastique dans les matériaux du béton de sable.

A travers les différents documents et exemples disponibles dans la littérature, nous nous sommes rendu compte que l'adjonction des déchets plastiques aux matériaux cimentaire peut constituer une solution pour concevoir un composite cimentaire offrant de meilleures performances.

Chapitre II :
Caractérisation
des matières
premières et
techniques
expérimentales

II.1. Introduction

Ce chapitre a été consacré à la présentation des essais de caractérisation du matériau étudié, du matériel associé ainsi qu'à l'élaboration des composites qui font l'objet de cette étude. L'étude de la composition du béton de sable et les résultats des essais physico-mécaniques et des bétons de PET élaborés, sont étudiés au chapitre suivant à savoir :

- Mesure de la densité (ρ)
- Mesure de la résistance à la traction (R_t)
- Mesure de la résistance à la compression (R_c)

Notre matière première se compose donc de :

- Sable de dunes.
- Ciment.
- Polyéthylène téréphtalate (PET)
- Eau.

En ce qui suit nous allons donner toutes les caractéristiques physiques, chimiques de ces matériaux qu'on a faits au laboratoire suivant les techniques expérimentales expliqués ci-dessous dans ce chapitre. Notons que tous les essais expérimentaux ont été effectués au laboratoire des travaux public sud - Ghardaïa.

II.2. Caractérisation des matières premières

II.2.1. Sable de dunes

Le sable de dunes utilisé au cours de cette expérimentation, provient de la région sud de la commune de Hassi El F'ehal située à 113 km au sud de wilaya de Ghardaïa.

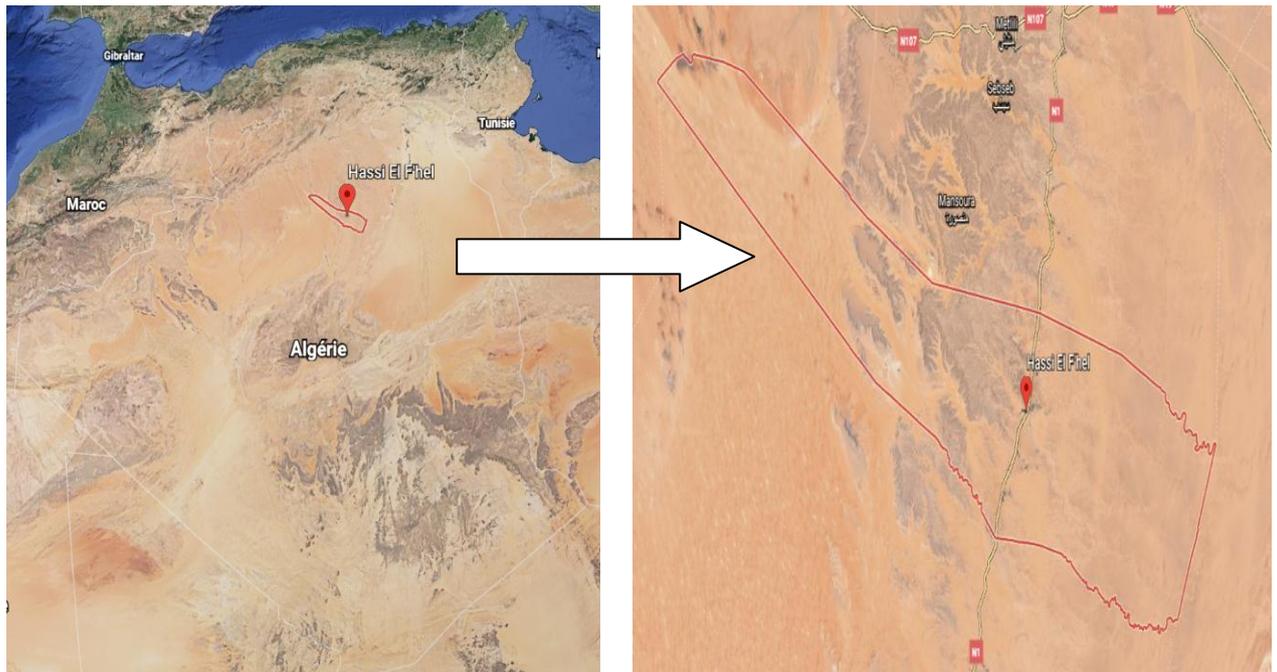


Figure II.1. Situation de la commune de Hassi El F'ehal [24].

II.2.1.1. Masses volumiques absolue et apparente (NF P 18-555)

Elles sont exprimées en Kg/m^3 la masse volumique absolue est la masse par unité de la matière qui constitue l'agrégat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

$$\rho_{\text{app}} = \frac{M}{V_{\text{app}}} \rho_{\text{abs}} = \frac{M}{V_{\text{abs}}}$$

Les méthodes utilisées sont le récipient pour la masse volumique apparente et pour la masse volumique absolue on a utilisé les méthodes de l'éprouvette graduée et le pycnomètre. Pour les liants on a utilisé le volumènomètre de Le Chatelier (ASTM C 188-72) et un liquide inerte vis-à-vis de la poudre (liant) ce sera par exemple du tétrachlorure de carbone ou du benzène.[3]

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M2 - M1}{V2 - V1}$$

- M1: Masse de (cellule+benzène) ;
- M2: Masse de (cellule+benzène+liant);
- V1: le volume du benzène initial ;

- V2: le volume du benzène final (après l'introduction du liant);
- **Compacité et Porosité (NF P 18-555)**

On définit la compacité d'un matériau comme le rapport du volume solide sur le volume total. Et la porosité comme le rapport du volume des vides sur le volume total. La compacité et la porosité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 100% :

$$P + C = 1$$

Si l'on connaît la masse volumique apparente et absolue du matériau, il est aisé alors de calculer sa compacité et sa porosité selon la formule suivante :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}$$

Les caractéristiques physiques de ce sable sont regroupées dans le tableau suivant.[3]

Tableau II.1. Caractéristiques physiques du sable de dune

Masse volumique absolue (kg/m ³)	$\rho_s = 2660$
Masse volumique apparente (kg/m ³)	$\rho_a = 1490$
Porosité (%)	$P = 43$

II.2.1.2. Analyse granulométrique (NF P94-056)

L'analyse granulométrique permet de classer et de définir la granulométrie des matériaux employés dans la construction, d'après la grosseur des grains et la forme de la courbe granulométrique. [3]



Figure II.2. Tamis en mm

D'après cet essai on peut aussi identifier la finesse du granulat soumis à l'essai grâce au module de finesse (NF P 18-360) noté M_f et donné par la formule suivante :

$$M_f = \frac{\Sigma \text{ refus cumulée en \% pondéral des tamis (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5mm)}}{100}$$

L'analyse granulométrique qu'on a réalisée selon la norme NF P18-056, a montré que ce sable est un sable fin présentant une granulométrie serrée. Le diamètre maximal est 0,63 mm.

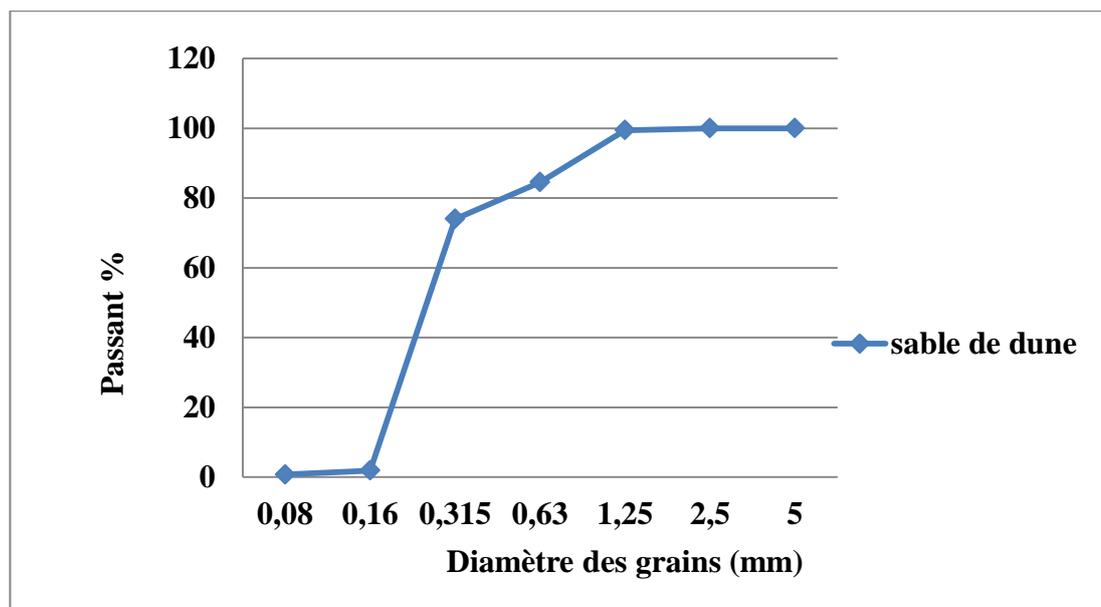


Figure II.3. Courbe granulométrique du sable de dune.

II.2.1.3. Analyse chimique

Le résultat de l'analyse chimique sommaire de ce sable de dunes est donné dans le tableau qui suit :

Vu le taux important d'insolubles (silice SiO_2 +silicates=98,10 %), Ce sable est de nature siliceuse.

II.2.1.4. Equivalent de sable (NF P 18-597)

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée. Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins. L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés).[3]

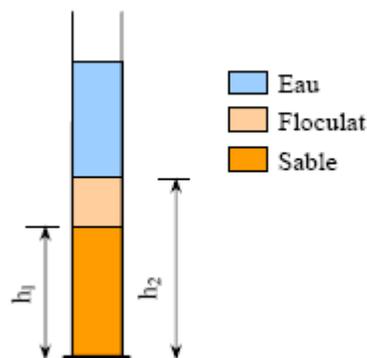


Figure II.4. Détermination de l'équivalent de sable.

Tableau II.3. Equivalent de sable moyen.

	Echantillon	
	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H2	10,6	10,4
Hauteur de sable H1	6,5	6,7
Equivalent de sable (%)	61,32	64,42
Equivalent de sable moyen (%)	62,87	

II.1.1. 5. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et interne des feuillets d'argile, la quantité de bleu adsorbée par 200 gramme de sol s'appelle « Valeur Au Bleu » du sol et est notée VBS, la VBS reflète globalement [25]:

- La teneur en argile (associée à la surface externe des particules).
- L'activité de l'argile (associée à la surface interne).



Figure II.5. Analyse de bleu méthylène.

L'essai est réalisé selon la norme consiste à déterminer la quantité du bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir d'une couche mono moléculaire la surface des particules d'un matériau en suspension dans l'eau. La capacité d'adsorption du matériau est déterminée à l'aide du test de la tache. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est le dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide en générale incolore. L'excès du bleu se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole d'un bleu clair. Le test est alors positif. [25]

$$\text{la valeur de bleu VB} = \frac{\text{quantité du bleu adsorbé (cm}^3\text{)}}{\text{poids sec de la prise}}$$

Tableau II.4. Nature de sol.

Valeur de bleu de sol	Nature de sol
< 0,2	Sols sableux
0,2 - 2,5	Sols limoneux
2,5- 6	Sols limoneux – argileux
6-8	Sol argileux
>8	Sol très argileux

- **Application numérique :**

$$VB = \frac{15 \text{ (cm}^3\text{)}}{199,88}$$

$$VB = 0,07$$

Cet essai a le même but que l'essai précédent, mais son avantage est d'être à la fois quantitatif et qualitatif.

- Quantitatif : à nature de fines donnée, plus la teneur en fines sera importante plus la valeur du bleu sera forte.
- Qualitatif : à teneur en fines donnée, plus les fines seront 'actives' plus la valeur de bleu sera également importante.

II.2.2. PET

Le polymère utilisé dans cette étude, est le poly-téréphtalate d'éthylène connus sous le nom commercial PET. Il s'agit d'un déchet ramené de l'usine AMMOURI situé dans la région ouest de Laghouat. Ce PET est obtenu par le broyage très des bouteilles de boissons . Il possède une température de fusion d'environ 248 °C.



Figure II.6. PET utilisé.

Avant son utilisation dans la confection des bétons, le polytéréphtalate d'éthylène broyé a été soumis à des essais de laboratoire à savoir : les masses volumiques apparente et absolu.

II.2.2.1. Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus.

Les essais de caractérisation des PET sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud GHARDAIA (LTPS SUD) sont regroupées sur le tableau II.6 ci-dessous .L'essai est réalisé selon la Norme NFP18-555.

Tableau II.5: Caractéristiques physiques du PET

Masse volumiques absolue (kg/m ³)	Masse volumiques apparente (kg/m ³)
0.20	1.16

II.2.3. Ciment

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II /A 42.5 NA 442 (MATINE). Provenant de la

cimenterie de LAFARGE usine de Msila, dont les caractéristiques sont regroupées dans les tableaux qui suivent [25]:

Tableau II.6. Caractéristiques physiques du ciment utilisé.

Masse volumique absolue (ρ_s)	3100 kg/m ³
Masse volumique apparente (ρ_a)	1030.05 kg/m ³
Consistance normale (E/C)	0.25-0.28
Début de prise (DP)	150-170 minute
Fin de prise (FP)	3:30-4:30 (h:mn)
Surface spécifique Blaine (SSB)	3700cm ² /g

Tableau II.7. Composition chimique du ciment utilisé.

Perte au feu %	5.50-6.50
Résidus insolubles %	0.70-1.50
Teneur en sulfate (SO ₃)%	1.80-2.30
Teneur en oxyde de magnésium(MgO)%	1.60-1.80
Teneur en chlorures %	0.01-0.02
Teneur équivalent en alcalis %	0.40-0.50

Tableau II.8. Composition minéralogique du ciment utilisé.

C3S	60% à 64%
C3A	14% à 18%
C2S	6% à 8%
C4AF	10% à 12%

II.2.4. Eau de gâchage

On ne pourra utiliser n'importe quelle eau pour le gâchage du béton, un excès d'impuretés peut affecter les propriétés du béton frais et durci. Nous avons utilisé pour la totalité de nos essais une eau potable du réseau domestique sans aucun traitement supplémentaire. Le PH mesuré régulièrement est voisin de 7,5. Si le choix a été porté sur cette eau c'est de par sa pureté et l'absence des excès des teneurs de sels, de sulfates et d'acides et ceux-ci on se basant sur le rapport fourni par le laboratoire ADE de Ghardaïa (Algérienne des eaux de Ghardaïa). [26]

Tableau II.9: Composition chimique de l'eau de gâchage.[26]

Nombre du point d'eau		Robinet		
Ca ⁺² en mg/l	104	Balance		5,20
Mg ⁺² en mg/l	97	cations		8
Na ⁺ en mg/l	102,3	m.eq/l		4,45
K ⁺ en mg/l	646	17,81		0,14
Cl ⁻ en mg/l	148	Balance		4,17
SO ₄ ²⁼ en mg/l	520	Anions		10,82
HCO ₃ ⁺ en mg/l	94	m.eq/l		/
NO ₃ ⁺² en mg/l	12,4	16,74		0,2
Résidu sec à 105 °C	pH	conductivité en l/10 mm à 25 °C		dureté totale
1576 mg/l	7,70	16,77		43,25
Test chlore (ml d'eau de Javel à 15°/m ³)		TAC	SAF	I.S
0,96 ml/l		7,8°F	75°F	62,3°F
Minéralisation	M.O milieu Acide en O ₂	SiO ₂		Somme des ions
1010,60	8,53	4,45 mg/l		1084 mg/l
Cations	Ca ⁺² 15%=	Mg ⁺² =4,5%	Na ⁺ + K ⁺ =4,5%	
Anions	HCO ₃ ⁺ =4,5%	SO ₄ ²⁼ =4,5%	Cl ⁻ + NO ₃ ⁺² =4,5%	

II.3. Techniques expérimentales

II.3.1. Essais de flexion et compression sur éprouvettes 40x40x160 mm

Le comportement mécanique de tous les mortiers a été étudié en flexion simple (3 points) et en compression uni axiale sur des éprouvettes prismatiques 40×40×160 mm.

A chaque échéance, trois échantillons sont testés en flexion simple sur une machine d'essais de résistance à la flexion de marque "CONTROLS" permettant d'appliquer des charges jusqu'à 100 KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ±10N/s. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé sur la figure II.8[11].

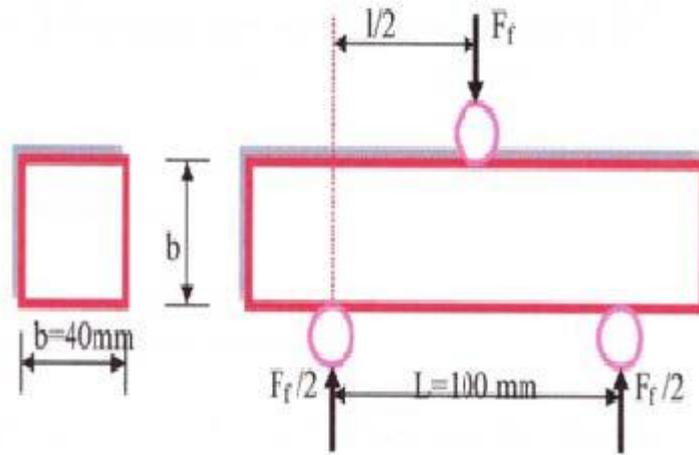


Figure II.7. Dispositif de flexion par trois points [3].

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure ci-dessus. Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_t = \frac{1,5 F_f l}{b^3}$$

Les six morceaux d'éprouvettes obtenus après rupture en flexion sont alors soumis à une compression uni axiale sur le bâti de compression de la même presse avec une vitesse de mise en charge de $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/}$ [11].

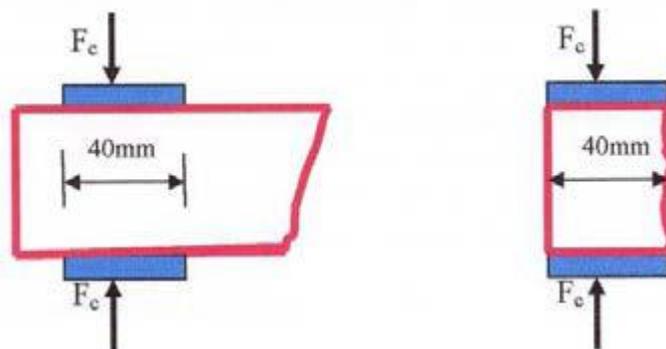


Figure II.8. Ruptures en compression.

La contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

II.3.2. Masse volumique apparente béton

Par définition la masse volumique apparente sèche ρ est le rapport de la masse de l'échantillon M à son volume apparent à l'état sec V_t . L'état sec est obtenu par séchage de l'échantillon dans l'étuve ventilé jusqu'à masse constante. Les pesées sont effectuées à 0.01g près et les dimensions des échantillons sont déterminées à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de 0,01 cm, la masse volumique apparente est la moyenne des mesures effectuées sur 3 éprouvettes de chaque composition [3].

II.4. Conclusion

L'étude concernant le présent chapitre nous a permis de décrire les différents matériaux utilisés dans ce travail et de donner une idée générale sur les procédés expérimentaux sur le mortier.

- Le sable est de nature siliceuse.
- Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
- Notre essai est de nature de valeur de bleu de notre sol est sols sableux.
- Tous les résultats et leurs interprétations des différents essais sont représentés dans le chapitre suivant.

Chapitre III :
Discussion et
résultats
expérimentaux

III.1.Introduction

Notre étude consiste à l'élaboration d'un béton léger à base de sable de dune et déchet de plastique (polyéthylène téréphtalate) comme granulats léger substitué dans le sable. Ce composite sera appelé **BSDPET** donc le travail expérimental mené est subdivisé en trois volets :

En premier lieu : on cherche à voir l'influence de la substitution de PET sur le béton de sable pour chaque pourcentage du PET (5%,10%,15%,20%,25%).

En deuxième lieu : on optimise les rapports E/C pour chaque pourcentage de PET puis on déduit le pourcentage optimal ayant la meilleure résistance à la compression.

Le troisième volet consiste à discuter les résultats des propriétés physico-mécaniques de la composition choisie pour l'étude.

III.2. Matériaux

Pour la recherche de la composition optimale de notre béton de sable, une méthodologie a été adoptée : nous avons fixé le rapport C/S =2/3. En sachant que, plus le béton est compact, plus il est résistant et imperméable [3].

III.2.1.Composition des bétons de sable BSD

L'étude de la composition d'un béton de sable consiste à définir le mélange optimal des différents constituants dont on dispose ainsi que le dosage en eau et fines. Pour l'élaboration du béton de sable à étudier, nous avons choisi la composition de rapport :

$$C/S = 2/3$$

Pour cette composition on a cherché à déterminer le rapport E/C correspondant à une résistance de compression acceptable (après 28 jours). Le béton de sable de base se compose de ciment, de sable de dune et d'eau. Le tableau III.1 récapitule la composition des mélanges en vue de la recherche de la composition optimale [3].

Tableau III.1. Composition des mélanges à élaborer (3 éprouvettes 4x4x16 cm³).

Composition	Sable dunaire	Ciment CPJ CEMII 42,5	E/C variable par pas de 5%
2/3	1/3	2/3	0,40 à 0,55

III.2.2. Composition des bétons de sable BSDPET

Cette phase on a fait substituer le sable avec des pourcentages variables de PET allant de 5% à 25% par pas de 5% par rapport à la masse du ciment, avec un rapport E/C variable (phase précédente).

Le mélange optimal est celui qui procure au mélange durci la résistance à la compression à 28 jours optimale.

III.2.3. Mode de préparation des échantillons

III.2.3.1. Malaxage

Nous avons adoptées pour les bétons de sable un malaxage normalisé selon la norme européenne EN 196-1 [27] et nous avons fait en sorte qu'avec ce malaxage, le mélange soit le plus homogène possible. Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur à capacité de 5 litres Figure III.1.

Il comporte une palette permettant un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses (dites lente et rapide) :140 et 285 tr/mn. Des moules normalisés ont été utilisés. Ces moules servent au moulage de 3 éprouvettes prismatiques de béton de dimension 4x4x16 cm³.



Figure III.1. Malaxeur normalisé pour pâte et mortier.

III.2.3.2. Mise en moule

La mise en moule du béton de sable est effectuée en introduisant celui-ci en deux couches avec application au moule de 60 coups pour chaque couche. Le surplus du béton dans les moules est arasé à l'aide d'une truelle. Après finitions, les moules sont recouverts d'une toile en plastique afin d'éviter la dessiccation rapide du béton et sont conservés dans les conditions de laboratoire (température de $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de $85\pm 5\%$) durant 24h.[3]



Figure III.2. Moule normalisé de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^2$.

III.2.3.2. Mode de conservation

Après démoulage, les éprouvettes sont conservées dans une chambre spéciale pour la cure au laboratoire dans des conditions [3]:

- Humidité HR=85± 5 % ;
- Température T=22± 3 °C;
- Pendant 28 jours.

Avant d'effectuer les différents essais physicomécaniques, les éprouvettes sont séchées en étuve à T=105°C jusqu'à masse constante.



Figure III.3. Mode de conservation des éprouvettes.

III.2.4. Elaboration du béton de sable BSDPET

Après avoir déterminé la composition optimale du béton de sable, on a fait varier la quantité de PET 5% à 25%. Les propriétés des bétons élaborés seront bien entendu confrontées aux mêmes propriétés des bétons témoins et confectionnés selon les mêmes procédés de mise en œuvre et de dosage en sable, ciment, PET et eau [3].

III.2.5. Mode de malaxage et préparation des éprouvettes

Le mélange, sable, PET, et ciment est malaxé à sec pendant deux minutes à vitesse lente à l'aide d'un malaxeur à mortier normalisé. L'eau de gâchage est graduellement versée

dans le mélange, sans interrompre le malaxage. La durée de malaxage en phase humide est fixée à quatre minutes : deux minutes de malaxage à vitesse lente, puis un arrêt pour racler les parois et surtout le fond de la cuvette pour homogénéiser le mélange. On reprend ensuite le malaxage pendant deux minutes à vitesse rapide. On arrête une deuxième fois le malaxage pour pouvoir ajouter les particules des PET, puis on redémarre le malaxage pendant une minute à vitesse lente suivie d'une minute à vitesse rapide. La mise en moule doit se faire immédiatement après la fin de malaxage.

Après la mise en moule, les éprouvettes sont conservées dans une salle de conservation (HR=85±5 % ; T =22±3 °C). Au bout de 24 heures. Après 24 heures on démoule les éprouvettes et en les placent dans leur milieu de conservation (HR=85±5 % ; T=22±3 °C) pendant 28 jours [3].

III.3. Résultats expérimentaux

III.3.1. Masse volumique apparente sèche

La masse volumique des bétons PET est l'une des caractéristiques les plus importantes. Sur la base de cette caractéristique nous pouvons classer notre béton et indiquer son domaine d'application. Elle est définie comme le rapport de la masse de l'échantillon à son volume apparent à l'état sec.

Les masses sèches des bétons durci ont été déterminées par pesée à l'âge de 28 jours après séchage à l'étuve à 55°C jusqu'à masse constante.

Tableau III. 1. Moyennes des masses volumiques apparentes sèches en fonction du pourcentage du PET utilisé.

Pourcentage du PET	Masse volumique sèche (kg/m ³)
Témoin (0% PET)	2172,66
5%	2160,35
10%	2155,66
15%	2147,66
20%	2135,55
25%	2111,72

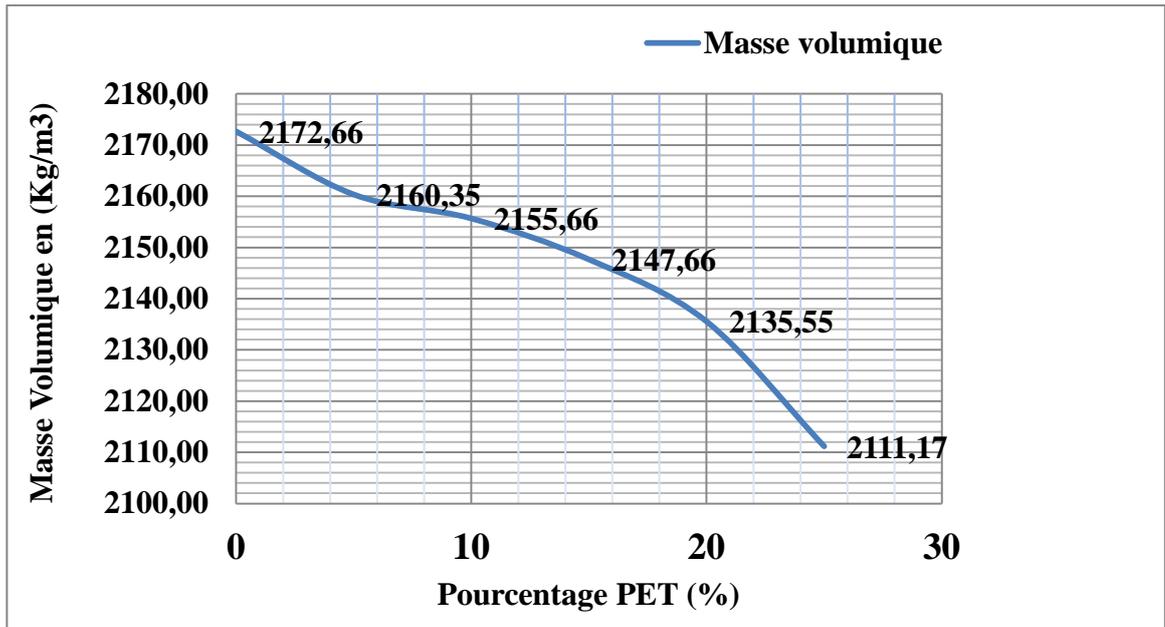


Figure III.4. Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET.

La figure permet de constater que la masse volumique apparente sèche du matériau étudié diminue lorsque le dosage en PET substitué dans le sable des béton BSDPET augmente.

La diminution de la masse volumique est respectivement pour les dosages en PET (5%, 10%, 15%, 20% et 25%). Notons que cette légère diminution est aussi confirmée dans la littérature.

Quoique ce taux de réduction est faible ; on observe plus la quantité des granulats PET augmente, plus la densité diminue, cela est dû à la nature légère des granulats de PET.

III.3.2. Etude de la résistance à la compression du béton de sable BSDPET

Les résultats de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C sont illustrés dans les figures ses dessous.

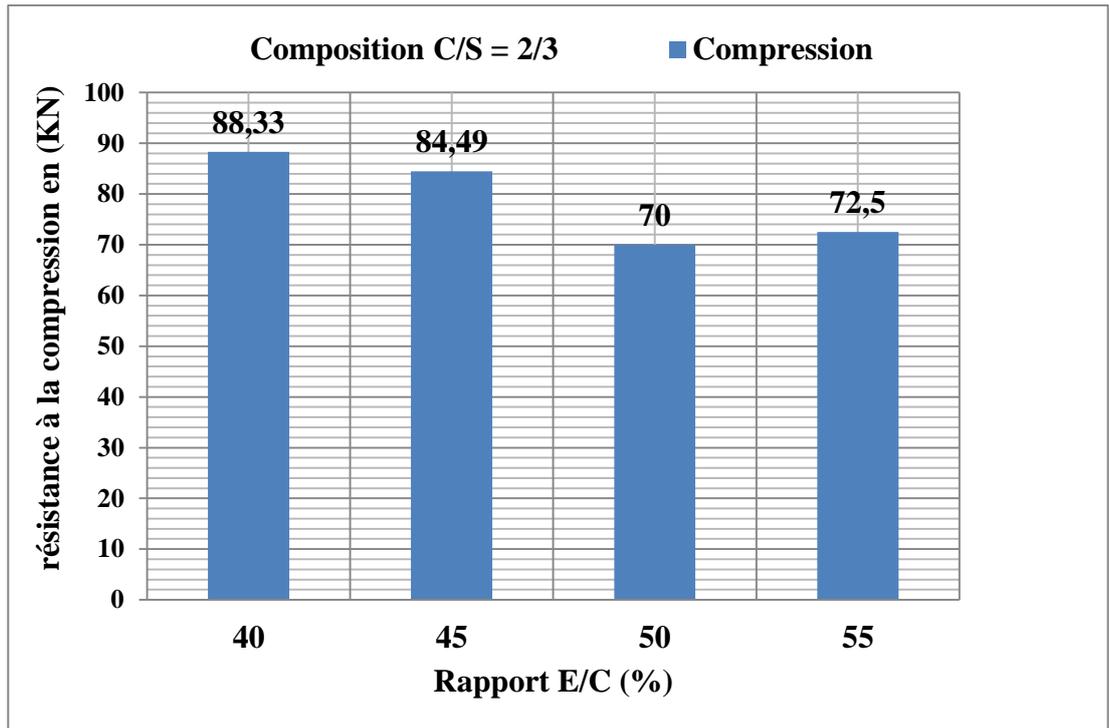


Figure III.5. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (Témoin).

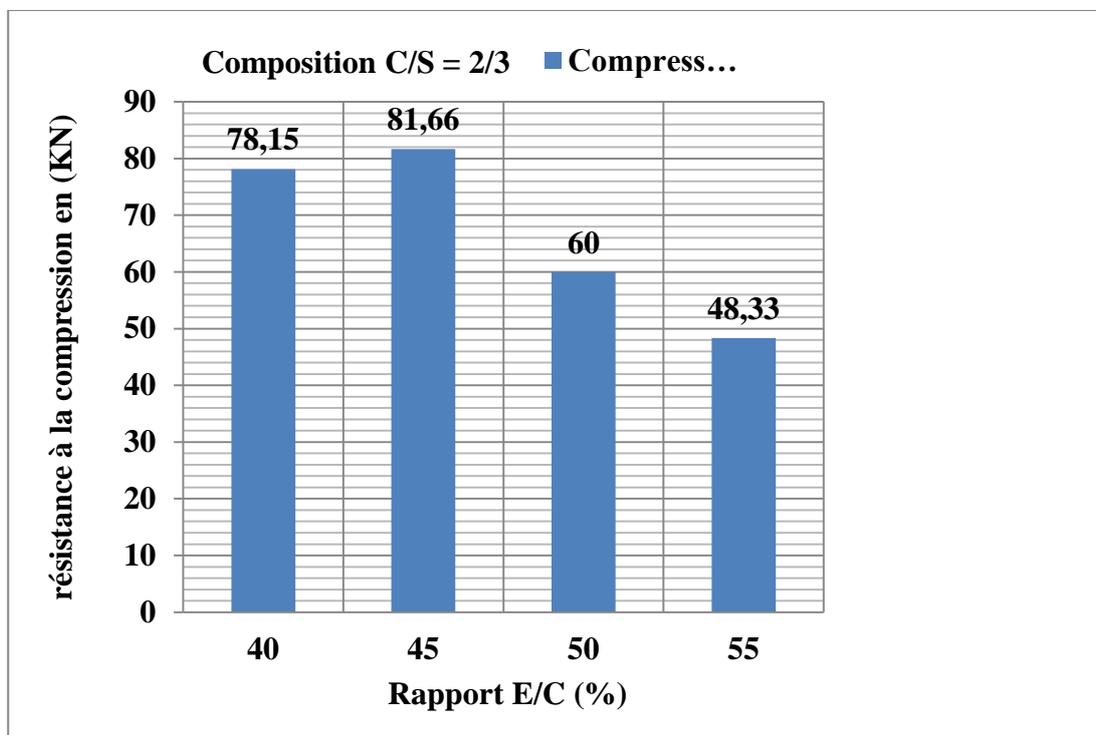


Figure III.6. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (5% PET).

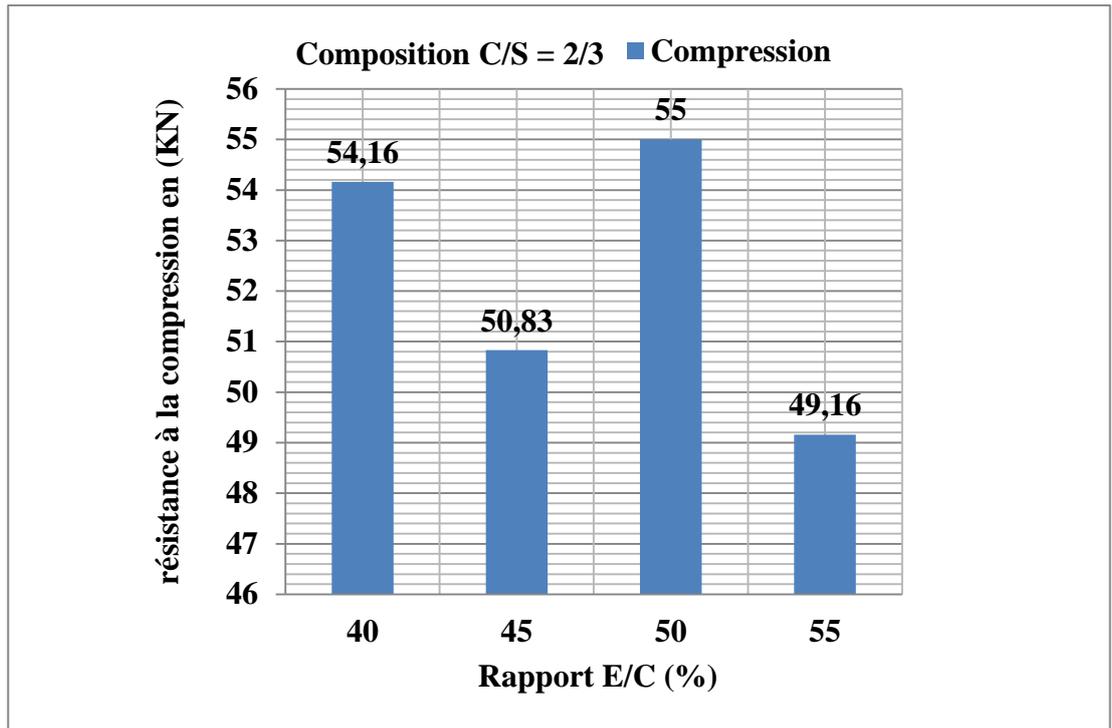


Figure III.7. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (10% PET).

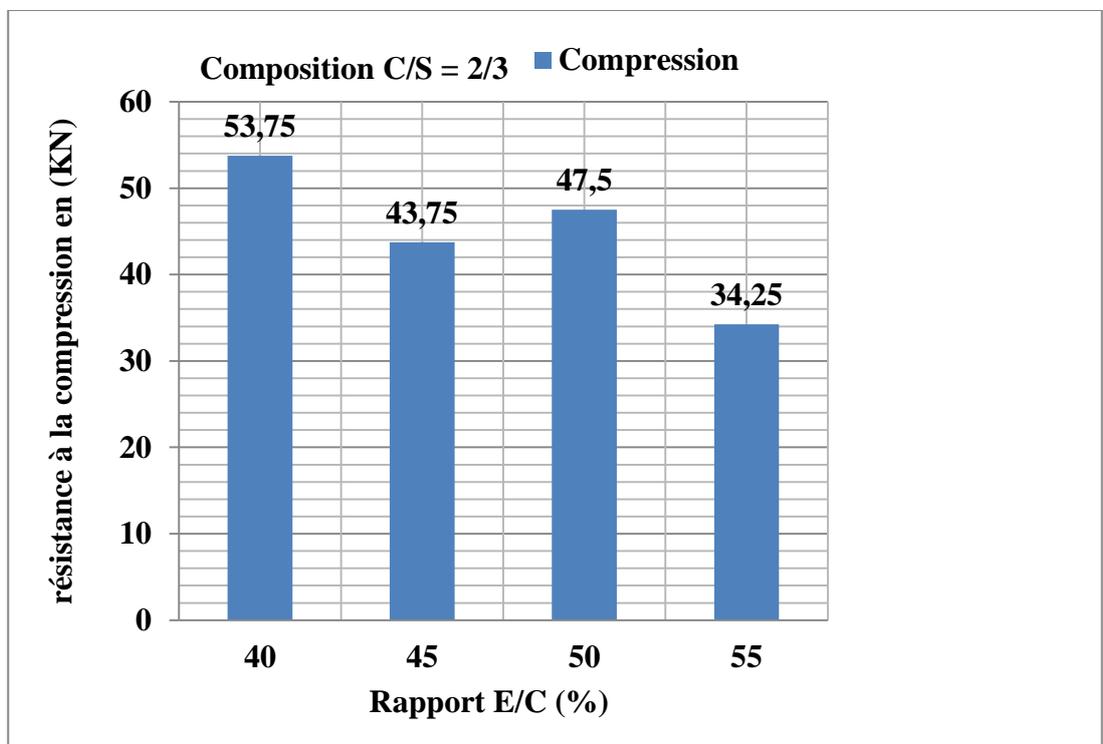


Figure III.8. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (15% PET).

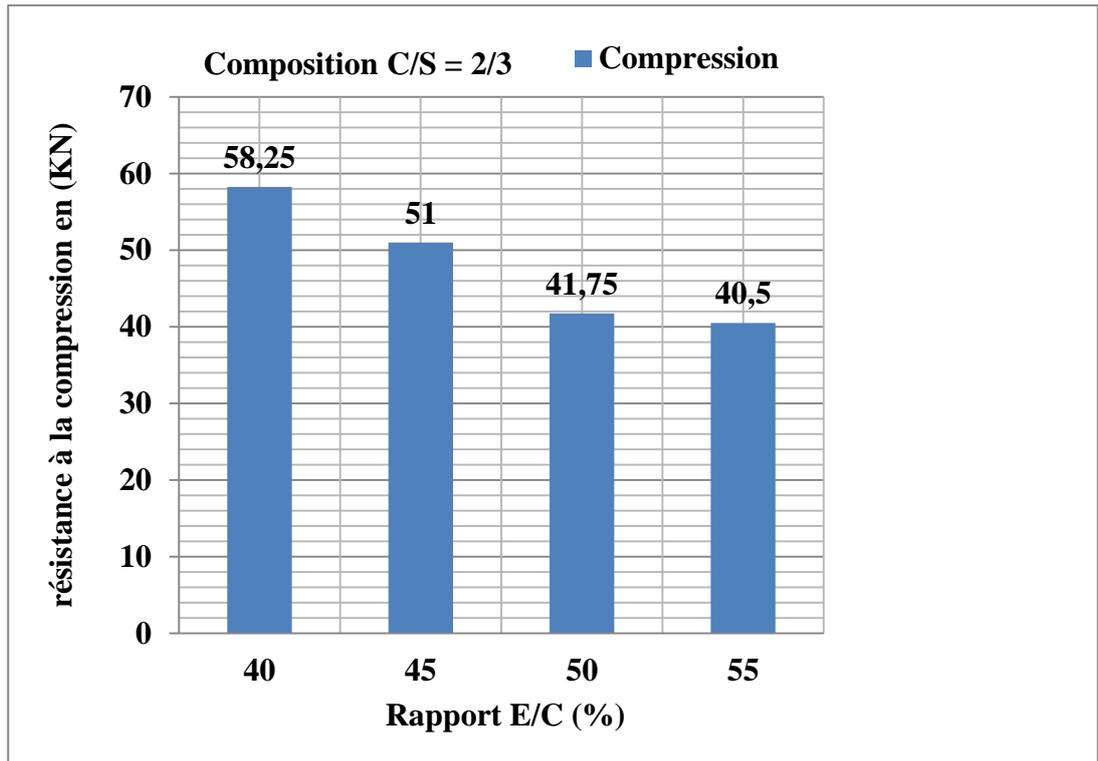


Figure III.9. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (20% PET).

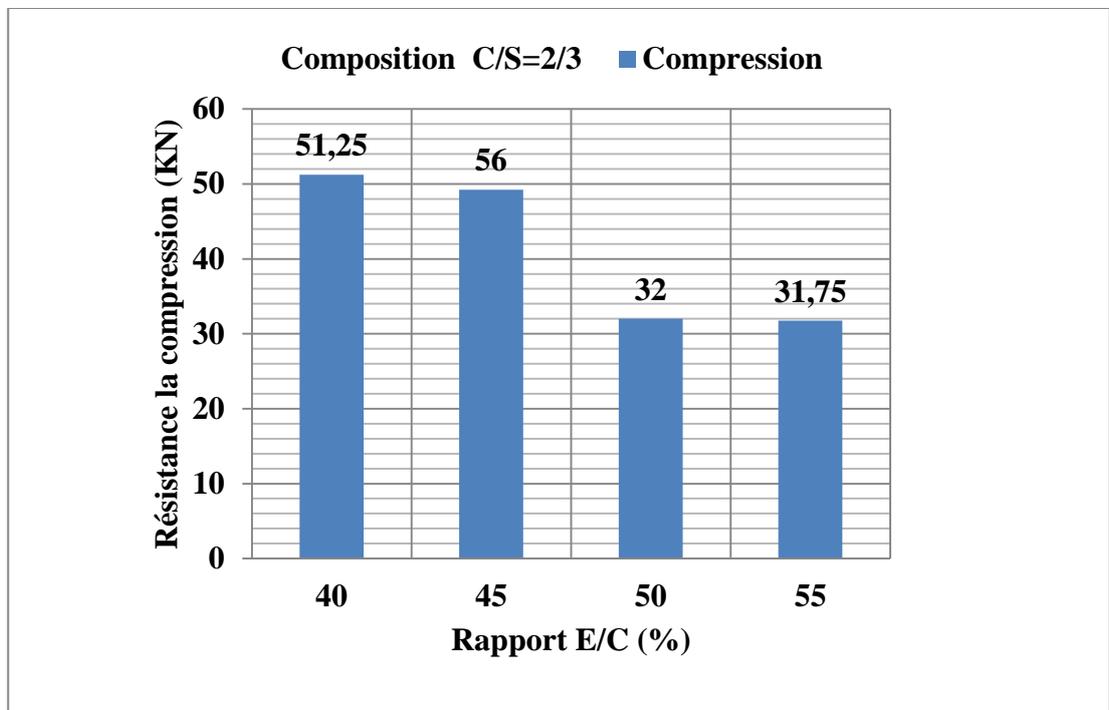


Figure III.10. Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (25% PET).

Le remplacement partiel du sable avec le PET aboutit aux résistances à la compression aux premiers pourcentages qui sont considérablement au-dessous de ceux du béton de sable témoin.

Nos résultats sont en accord avec[22], qui explique que les facteurs qui peut être responsable de la faible résistance à la compression du béton contenant un pourcentage élevé des agrégats de plastique sont: (1) la très faible force d'adhérence entre la surface des déchets plastiques et la pâte de ciment;(2) la nature hydrophobe des déchets plastiques, qui peuvent inhiber la réaction d'hydratation du ciment en limitant le mouvement de l'eau.

III.3.3. Résistances à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence (Ciment, Sable et PET).

L'analyse des résultats est faite de la même façon que la résistance à la compression.

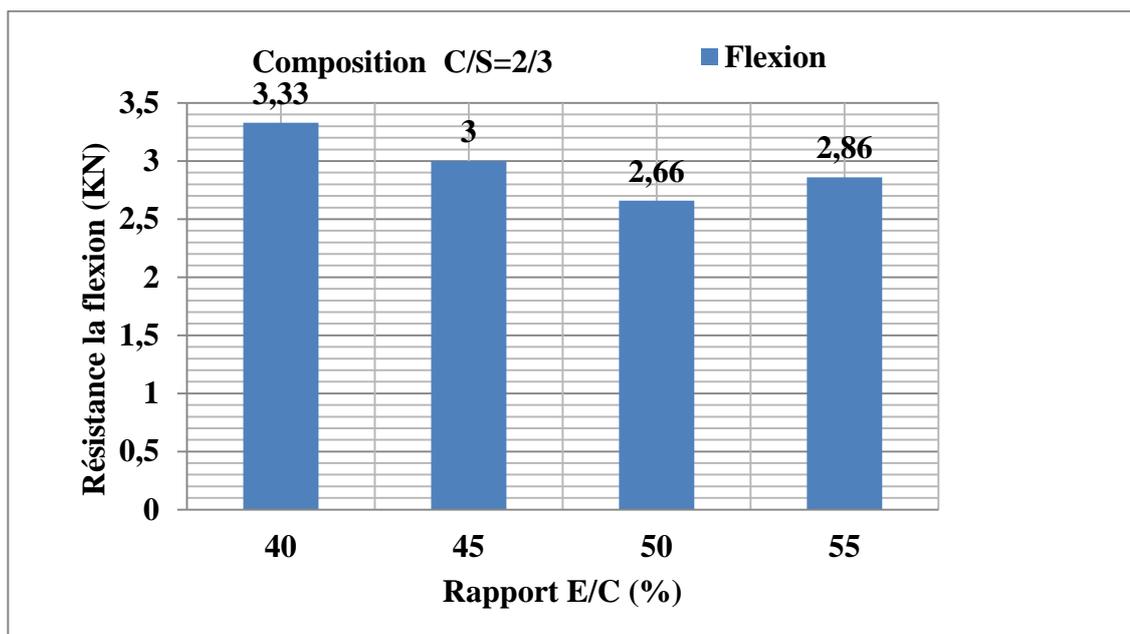


Figure III.11. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (0% PET).

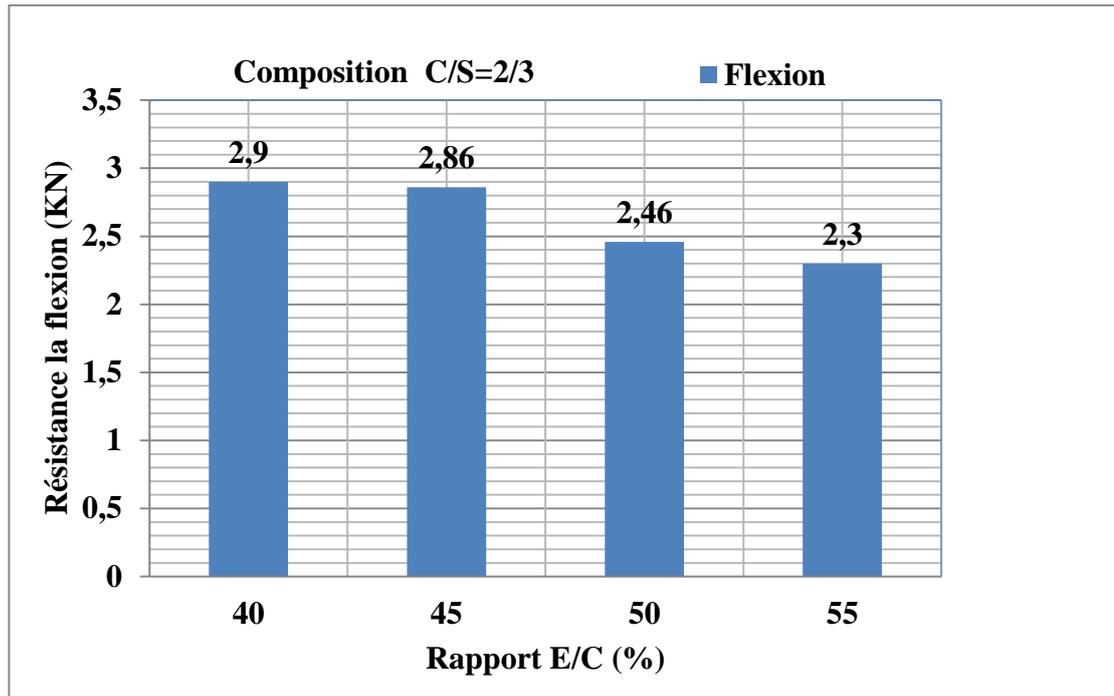


Figure III.12. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (5% PET).

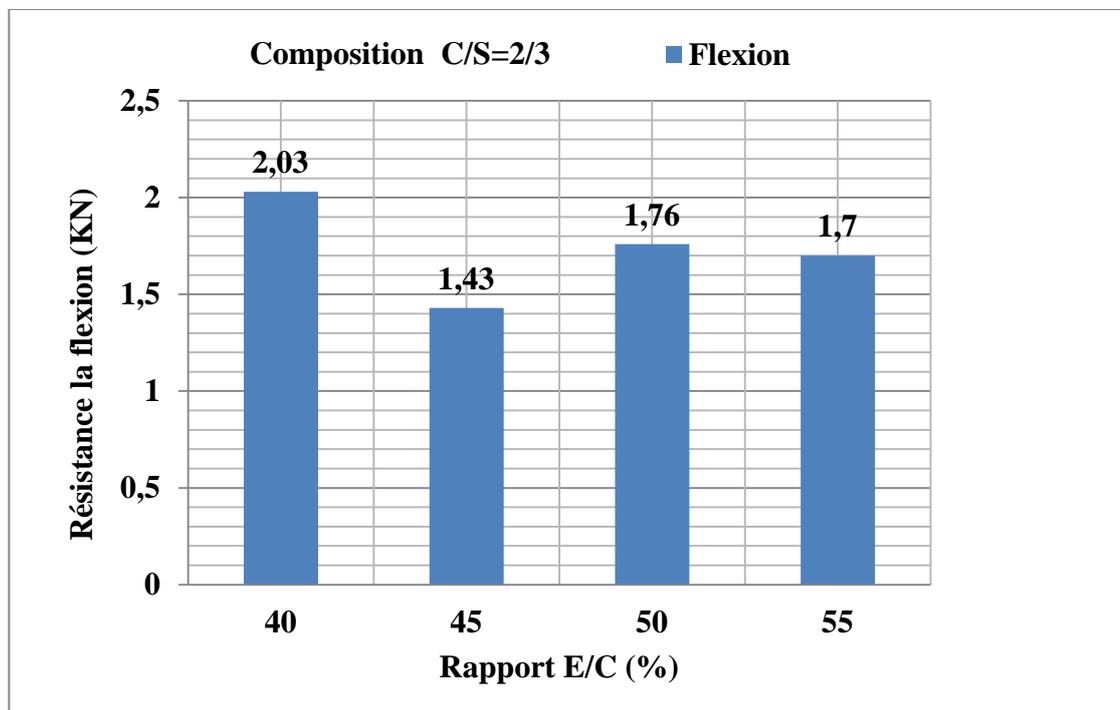


Figure III.13. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (10% PET).

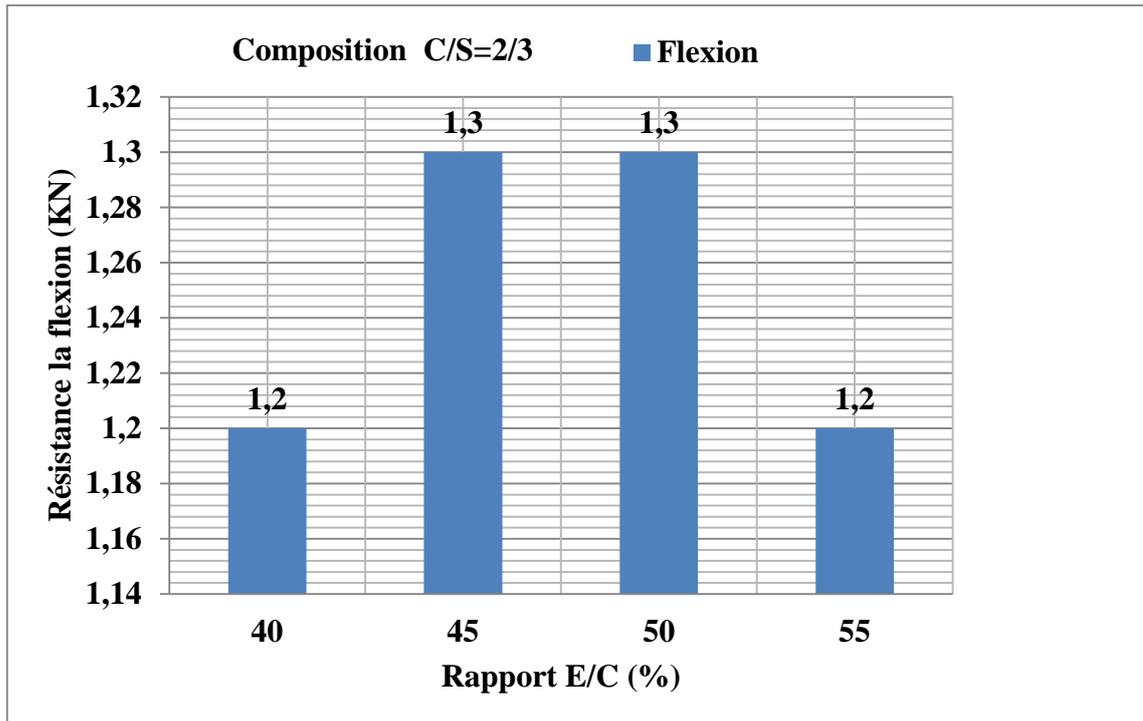


Figure III.14. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (15% PET).

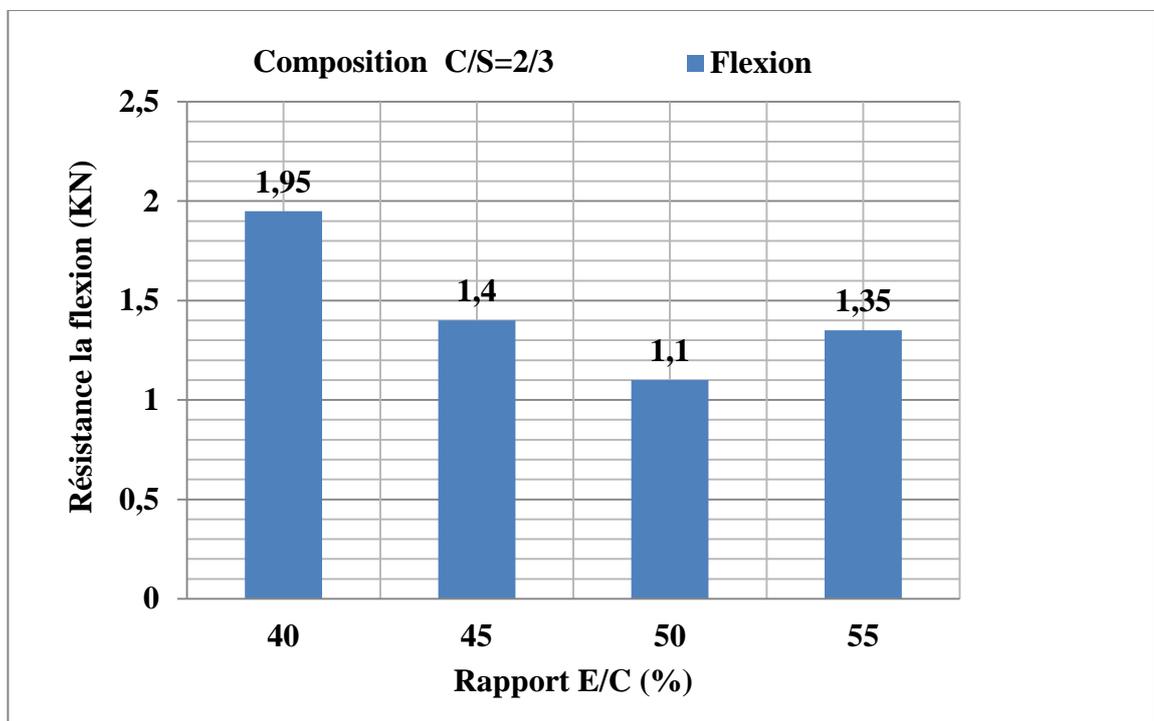


Figure III.15. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (20% PET).

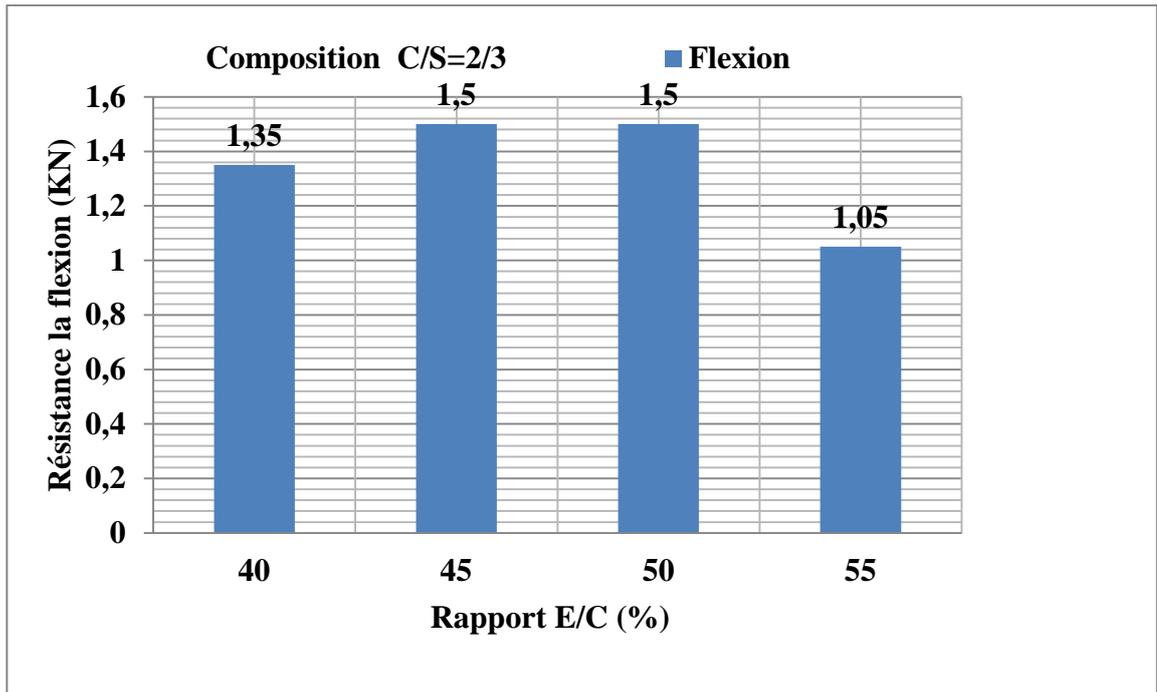


Figure III.16. Evolution de la Résistances à la traction par flexion en fonction du rapport E/C d (à 28jours), (25% PET).

Les figures III.9, III.16, présentant les variations de la résistance à la traction des bétons BSDPET en fonction du rapport E/C, montre que le remplacement partiel du sable avec le PET aboutit aux résistances à la traction optimale.

La résistance augmente jusqu'à un optimum de rapport E/C après cet optimum la résistance diminue, cette diminution est due à le taux élevée du remplacement partiel du sable avec le PET.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux de recherche de la présente mémoire ont été menés dans le but d'atteindre deux principaux objectifs, le premier concerne la valorisation des sables locaux disponible en Algérie tels que le sable de dunes. Ce dernier très abondant dans le sud Algérien et constitue un matériau très économique qui ne nécessite pas une grande énergie dans son exploitation. Le deuxième objectif est d'étudier l'influence des déchets plastiques recyclés sur le comportement mécanique et sur la durabilité du béton de sable.

Afin d'atteindre cet objectif, on a travaillé sur la détermination d'une composition optimale du mélange ciment-sable de dune et PET à partir de la résistance mécanique

Les résultats expérimentaux de cette étude ont permis de conclure ce qui suit :

- La densité a été allégée en augmentant le pourcentage des déchets ajoutés.
- La résistance à la traction avait un optimum avec 0% d'ajout de déchets plastique. La résistance à la traction diminue en fonction de pourcentage des déchets ajoutés.
- La résistance à la compression diminue en fonction l'augmentation de pourcentage de déchets de plastique ajoutés.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que ce nouveau composite des déchets plastiques avec les matériaux locaux (sables de dunes) semble offrir un alternatif économique, environnementale et technologique , ils aideraient à résoudre certains problèmes relatifs à la gestion des déchets solides créés par la production des plastiques et pourraient être un facteur économique générateur de valeurs ajoutés, aussi ils peuvent répondre à certaines demandes moins coûteuses dans le secteur de la construction urbaine.

Recommandations et perspectives de recherches

- Pour les futures recherches, nous recommandons d'utiliser les déchets plastique avec la composition C/S=1/3.
- L'utilisation des fine d'ajout tels que les fines de brique et l'argile calcinée dans le composite pour améliorer les performances mécaniques.

- pour rassurer la durabilité de ce types de composites, L'étude de l'attaque sulfatique à long terme et l'étude d'autre saltérations du béton ; carbonatation et pénétration des ions chlorures...est nécessaire.

Enfin nous espérons que modeste travail sera une référence pour les études des bétons de sable et les études génie civil en général.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] AFNOR, "Bétons- Bétons de sable", Projet P 18-500
- [2] REZIG. S, Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux. Thèse de Magister, Université Mohamed Khider –Biskra.
- [3] SAITI Issam, Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable de dune de la région de GHARDAIA (2014).
- [4] A. Benaïssa, P. Morlier, V. Tram : "Le béton de sable, un matériau non fissurant", Algérie équipement, (1992) N°6, pp7-11 Oct.
- [5] A. Batata, M. Zerouni : "Le béton de sable de dune: sa performance et ses propriétés"; MATLOC 91, Séminaire à Biskra (CNERIB) (3-4 déc.1991).
- [6] Ghrieb. A, Etude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques. Thèse de magister, ENSP (2003).
- [7] SABLOCRETE, « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1994, France.
- [8] M. Benmalek, A. Bali, "Le béton de sable de dune, un matériau de construction performant pour le monde arabe" ; C.A.M, à DAMAS, Syrie (1-3 juin 1997).
- [9] Benmalek. M.L., Derbala .R : Elaboration et caractérisation d'un béton à base de sable dunaire et de sous –produits industriels ; université de Guelma (Algerie) (9-11 février 2009).
- [10] Salima KHELOUFI., " étude de possibilités de recyclage de Déchets plastiques de la wilaya de Bejaia ", Thèse de magistère, Université A.MIRA –BEJAIA, Algérie, 2012.
- [11] Réduction de la pollution de l'environnement par le recyclage et la valorisation des pneus usagés, tiré de : <https://docplayer.fr/15441963-Reduction-de-la-pollution-de-l-environnement-par-le-recyclage-et-la-valorisation-des-pneus-usages.html>
- [12] Environment and Plastics Industry Council: <http://www.plastics.ca/epic/>;
- [13] Dossier Enseignant., « Voyage en industrie », CAP SCIENCES 2006.

- [14] Sukontasukkul 06: Sukontasukkul P and Chaikaew C., Properties of concrete pedestrian block mixed with crum rubber. *Construction and Building Materials*, 20,2006, pp. 450–457.
- [15] Albano et Al, Influence of content particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratio, 2009.
- [16] Saikia et Brito, Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates, 2012.
- [17] GUENDOOUZ Mohamed, (Contribution à la formation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base de déchets plastiques : application au béton de sable), Avril 2017.
- [18] Alexandra M., da Silva., Jorge de Brito., RosárioVeiga., Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars, *Construction and Building Materials*, 71, 2014,226–236
- [19] Ismail ZZ., Al-HashmiEA., Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Manage*, 28, 2008, 2041–7
- [20] 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*, 52, 2013, 916–922
- [21]Hannawi K., Kamali-Bernard S., Prince W. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Manage*, 30, 2010, 2312–20
- [23] E. Rahmani., M. Dehestani., M.H.A. Beygi., H. Allahyari., I.M. Nikbin., On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, 47, 2013, 1302–1308.
- [24] www.google.com/intl/ar/earth/, 2020.
- [25] Balhachemi Sarra et Berrafa Fatouma Imane, La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique, 2017.
- [26] Laboratoire ADE de Ghardaïa (Algérienne des eaux de Ghardaïa). 2020.
- [27] Normes AFNOR, EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments.

Annexes

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI AU BLEU DE METHYLENE
NF P 94-068 Novembre 1993

Structure : U/G

Lieu de travail : S^{CE} ID

N° Dossier interne : RECHERCHE

Date : 25 / 11 / 2019

Echantillon : **Sable de dune**

Opérateur : ZAHY / AR - AM

Équipements utilisés : **BALANCE / ETUVE**

N° D'inventaire : L21.09.15 / L49.01.91

GRANULOMETRIE (PASSANTS A)				LIMITES D'ATTERBERG		ES	VB	VB ₁
05 mm	02 mm	0.4 mm	0.08 mm	WL	IP			
								/
PRISE D'ESSAI M ₀ = 200grs				VOLUME DE BLEU INJECTE DANS LA PRISE				
CALCUL DE LA TENEUR EN EAU				D'ESSAI V = 15 cm ³				
TARE N°	G ₂₅		E					
PT	120.14		126.75	VALEUR AU BLEU DE LA PRISE D'ESSAI				
Ph + T	215.25		220.38	PASSANT A :				
P _s + T	215.18		220.34					
P _s	95.04		93.59	$VB = \frac{V}{M_s} = \frac{15}{199.88} = 0.07$				
W (%)	0.07		0.04					
W _{moj} (%)	0.06							
CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA				VB ₁ = $\frac{VB \times \% t}{100} = /$				
PRISE D'ESSAI M _s :								
$W \% = \frac{Ph - P_s}{P_s} \cdot 100 = 0.06$								
$P_s = \frac{Ph \times 100}{100 + W \%} = 199.88$								

L'Opérateur

Visa du responsable

مدير الأعمال المعمورة في جنوب السودان
كا و حيا
مصلحة التشخيص

F-5-5ah.03

Annexe I : Essai au bleu de méthylène.

MASSES VOLUMIQUES

Opérateur : ZAHY / AM - AR

Équipements utilisés :/.....

N° D'inventaire :

Masse volumique apparente :

- Volume du récipient $V = 2000 \text{ g}$
- Poids $P = 1810$
- $P_1 + T = 4733,2$, $P_1 = 2943,2$
- $P_2 + T = 4798,2$, $P_2 = 2988,9$
- $P_3 + T = 4739$, $P_3 = 2980$
- $P_4 + T = 4786,3$, $P_4 = 2976,3$
- Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 2972$
- Masse volumique apparente $P/V = 1,49$

Masse volumique absolue :

- Poids des agrégats secs $P_1 = 400$
- Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 2192,2$
- $P_3 = P_1 + P_2 = 2592,60$
- Poids récipient + agrégats + eau = 1
- $P_4 = 2427,8$
- Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 150$
- Masse volumique absolue $P1/V = 2,66$

L'Opérateur

ÉQUIVALENT DE SABLE

Opérateur : ZAHY / AM - AR

Équipement utilisé :/.....

N° d'inventaire :

	Échantillon n° 1		Échantillon n° 2		Échantillon n° 3	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1(cm)	10,6	10,4				
Hauteur de sable H2(cm)	6,5	6,7				
$ES = \frac{H2}{H1} \times 100$	61,32	64,42				
ES moyen (%)	62,87%					
Observation						

L'Opérateur

Visa du responsable

[Signature]
 رئيس مصلحة للتقنية
 بلمختار معطاله

Annexe II: Masse volumique.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

COMPOSITION DE BETON

(sable)

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE NF P 18-554 Décembre 1990
- MASSES VOLUMIQUES MODE OPERATOIRE COURS DE
LABORATOIRE R.LAUCHON BTS.DUT
- ÉQUIVALENT DE SABLE NF P 18-598 Octobre 1991

Structure :
 N° Dossier interne :
 Classe granulométrique : **013**

Lieu de travail :

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Prise d'essai : **4200g**
 Équipements utilisés :

Opérateur : **ZAHILAMLAB**
 N° D'inventaire :

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8					
6.3					
5	00	0	0	100	
2.5	00	0	0	100	
1.25	615	615	0,54	99,46	
0.63	179,13	185,18	15,48	84,52	
0.315	126,1	311,9	25,99	74,01	
0.160	86,1	1178,0	98,15	1,84	
0.080	13,3	1191,3	99,245	0,725	

L'Opérateur

Annexe III : Composition de béton.

*Contribution à l'élaboration d'un béton de sable, à base de sable dunaire et déchets
plastique.*

Rouge

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : Unité Ghardaïa
N° Dossier interne :
Équipements utilisés : Balance- Etuve-Four.

Lieu de travail : Service chimie
Date : 29/12 / 2019

Échantillon :
Opérateur: BOUCHRIA-M
N° D'inventaire : L 21.06.01 -L49.25.15 – L042.16.S.002

ÉCHANTILLON	SABLE I	Creuset+précipité		Test 1		Test 2		Test 1		Test 2		Test 1		Test 2	
		Creuset vide	Poids du résidu	% Insolubles	Creuset+précipité	Creuset vide	Poids du résidu	% SO ₃ ²⁻	V NaOH	% CaCO ₃	PH _i (initial)	PH _i (titrage)	V AgNO ₃	Vm (moyen)	% Cl
INSOLUBLES NFP 15-461	30.924 29.943 0.981 98.1														
SULFATES BS 1377	20.735														
CARBONATES NFP 15-461	00														
CHLORURES Méthode de Mohr															
MATIERE ORGANIQUE NFP 94-055															
AUTRES ESSAIS															

L'Opérateur *Road*

Visa du responsable
 محمد البقال المصطفى
 وحيد الكيمياء
 مصلحة الكيمياء
 F-5-5ca.03

Annexe IV: Analyse chimique.



ماتين MATINE

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/A-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

LH A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES ✓

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE 🪣

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
	50kg	0/5	8/15mm / 15/25mm	
Dosage pour béton c25/30	X 1	+ X7	+ X5 + X4	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES 🔍

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	8.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,02-0,05

Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7,5±1

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ ⚠️

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

A member of LafargeHolcim



Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
 les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
 tél: + 213 (0) 21 98 54 54
 Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
 www.lafargealgerie.com
 dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
 Tél: 021 98 55 55



Annexe IV: Fiche technique ciment LAFARGE Matine.