

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaia

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'Hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Génie Civil

Spécialité : *Structure*

Par : M^r Bendekken Mohammed Abdelatif & M^{lle} Boutebba Houria

Thème

**Contribution à l'élaboration d'un béton de sable, à base
du sable de dune et déchets plastiques
(Ceintures de cerclage en PET)**

Soutenu publiquement le 30/09/2020

Devant le jury :

Mr. AZIEZ Med Nadjib	M.A.B	Univ. Ghardaia	Président
Mr. AMIEUR Abdenacer	D.T	LTPS	Examineur
Mr. SAITI Issam	M.A.A	Univ. Ghardaia	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*À toutes celles et ceux qui ont toujours veillé sur nous
À nos chères mères, et à nos très chers pères.*

*À toutes nos familles, nos frères, nos sœurs, et
à tous nos amis.*

*À l'ensemble des enseignants du département Génie Civil de
l'Université de Ghardaïa,*

À Toute la promotion de Génie Civil 2020.

HOURIA

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :

À celles et ceux qui ont veillé toujours sur nous.

À nos chères mères, et À nos très chers pères,

À toutes nos familles, nos frères, nos soeurs,

et à tous nos amis

À l'ensemble des enseignants du département

Génie Civil de l'Université de Ghardaïa

À Toute la promotion de Génie Civil 2020.

Med. Abdelatif



Remerciements

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

*Nous voudrions saisir cette occasion pour remercier chaleureusement notre promoteur
Mr SAITI ISSAM enseignant à l'Université de Ghardaïa, pour son dévouement, ses
conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire.*

*Nos grands remerciements vont à l'ensemble du personnel du laboratoire des travaux
publics du sud Ghardaïa (**LTPS SUD**) pour leurs aide et leur disponibilité.*

*À nos fidèles et sincères collègues qui nous ont accompagnés tout au long des
études universitaires.*

Nous remercions également les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de
près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



Tables des matières :

<i>Dédicace</i>	<i>I</i>
<i>Remerciements</i>	<i>III</i>
<i>Tables des matières</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des tableaux :</i>	<i>VIII</i>
<i>Liste des figures :</i>	<i>IX</i>
<i>Liste des photos :</i>	<i>XI</i>
<i>Liste Des Abréviations</i>	<i>XII</i>
<i>Résumé</i>	<i>XIII</i>

INTRODUCTION GENERALE

<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
------------------------------------	----------

CHAPITRE I : ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE

<i>I.1- Introduction :</i>	<i>2</i>
<i>I.2- Généralités sur les bétons de sable:</i>	<i>2</i>
I.2.1 - Définition du béton de sable:	2
I.2.2- Historique:	2
I.2.3 – Domaine d’application du béton de sable :	4
I.2.4- Inconvénients des bétons de sable :	5
I.2.5 - Propriétés de béton de sable :	5
I.2.5.1 –Compacité :	5
I.2.5.2 – Maniabilité:	7
I.2.5.3 – Retrait et Fluage	7
I.2.5.4–Résistance au gel et au dégel :.....	8
I.2.5.5 Durabilité des bétons de sable :.....	9
<i>I.3- Les déchets Plastique :</i>	<i>9</i>
I.3.1- Introduction	9
I.3.2- L’impact des déchets plastiques sur l’environnement	9
I.3.3- La gestion des déchets plastiques :	10
I.3.4- Les déchets légers et leurs applications dans le domaine de Génie civil	11

I.3.5- Types de valorisation des déchets en génie civil	11
I.3.5.1- Valorisation des Pneus usés :	12
I.3.5.2- Valorisation des déchets de la construction/démolition :	12
I.3.5.3- Valorisation des déchets plastiques :	14
I.3.6- Définition des PET :	15
I.3.6.1- Types des PET	15
I.3.6.2- Masse spécifique	17
I.3.6.3- Propriétés thermiques et électriques	17
I.3.6.4- Résistance au feu	18
I.3.6.5- Comportement mécanique	18
I.3.6.6- Résistance au choc	19
I.3.6.7- Résistance aux agents chimiques et aux intempéries.....	19
I.3.6.8- La densité	19
I.3.6.9- Propriétés Physico-chimiques du PET	21
I.3.6.10 Propriétés Mécaniques et Thermiques du PET	21
I.4- Propriétés des bétons avec déchets plastique.....	22
I.4.1- La maniabilité.....	22
I.4.2- La densité	23
I.4.3- La résistance à la compression.....	24
I.4.4- La résistance à la traction par flexion	25
I.4.5- La conductivité thermique.....	26
I.4.6- L'absorption capillaire	27
I.4.7- Retrait.....	27
I.5- Conclusion :.....	28
CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROCEDURES	
D'ESSAIS	
II.1- Introduction.....	29
II.2- Caractérisation des matières utilisées :	29
II.2.1- Sable :.....	29
II.2.1.1- Analyse granulométrique [NF EN 933-1]	29

II.2.1.2- Module de finesse [NF EN 12620] :.....	30
II.2.1.3- Equivalent de sable [NF EN 933-8] :	31
II.2.1.4- Analyse chimique de Sable de dune [EN P 15 – 461] :.....	33
II.2.1.5- Masses volumiques :.....	33
II.2.1.6- Compacité : [NF P 18-554]	34
II.2.1.7- porosité : [NF P 18-554].....	35
II.2.2- Ciment [EN 196-3, EN 196-7]	35
II.2.2.1- Essai de Consistance (NF EN 196-3)	35
II.2.2.2- Essai de Prise [NF EN 196-3]	37
II.2.3- Eau de gâchage :	39
II.2.4- PET.....	39
II.2.4.1- Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus :	40
II.2.4.2- l’analyse granulométrique du polyéthylène téréphtalate (PET)	40
II.5- Conclusion :	42

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1- Introduction	43
III.2- Composition du béton témoin.....	43
III.3- Composition du béton du déchet de plastique BSPET :.....	43
III.4/ Mode de préparation des échantillons : [NF EN196-1].....	45
III.5- Essais expérimentaux effectués :.....	47
III.5.1- Essais à la traction par de flexion : [NF P15-471].....	47
III.5.2- Essais à la compression : [NF P 15-471].....	48
III.5.3- Masse volumique apparente béton:	49
III.5.4- Masse volumique apparente sèche:	50
III.6- Influence de pourcentage de plastique sur les propriétés mécaniques du béton renforcé par des déchets de plastique :	52
III.6.1 Effet des déchets plastiques sur la résistance à la compression :	52
III.6.2- Effet des déchets plastiques sur la résistance à la Flexion :	54
III.7- Conclusion :	56

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale 57

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographie :..... 58

ANNEXES

Annexes: 64

Liste des tableaux :**Chapitre I : Etude théorique et bibliographique**

<i>Tableau.I. 1.certaine propriété des matières plastiques.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau.I. 2.Propriétés mécaniques et thermiques des PET</i>	<i>21</i>

**CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROCEDURES
D'ESSAIS**

<i>Tableau.II. 1.Nature et qualité du sable.</i>	<i>32</i>
<i>Tableau.II. 2.Pourcentage d'impureté dans le sable.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau.II. 3.Analyse chimique de Sable de d une</i>	<i>33</i>
<i>Tableau.II. 4.caractéristiques physiques et mecaniques de ciment.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau.II. 5.caractéristiques chimique de ciment.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau.II. 6.Composition chimique de l'eau de gâchage :</i>	<i>39</i>
<i>Tableau.II. 7.Caractéristiques physiques du PET</i>	<i>40</i>

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

<i>Tableau.III. 1.composition du béton témoin</i>	<i>43</i>
<i>Tableau.III. 2.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 5 %.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau.III. 3.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 10 %.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau.III. 4.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 15 %.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau.III. 5.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 20%.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau.III. 6.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 25 %.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau.III. 7.Moyennes des masses volumiques apparentes sèches en fonction du pourcentage du PET utilisé.....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau.III. 8.Les résultats des essais de compression</i>	<i>52</i>
<i>Tableau.III. 9.Les résultats des essais de flexion</i>	<i>54</i>

Liste des figures :**CHAPITRE I : ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE**

<i>Figure.I. 1.Variation de la compacité avec les fines pour différents dosages en ciment</i>	<i>6</i>
<i>Figure.I. 2.Temps d'écoulement en fonction du module de finesse.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure.I. 3.Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure.I. 4.Retrait total</i>	<i>Figure.I. 5..Retrait d'auto-dessiccation.</i>
<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Figure.I. 6.Microstructure du poly (d'éthylène téréphtalate)</i>	<i>15</i>
<i>Figure.I. 7.La relation entre la maniabilité et le taux de déchets plastique incorporés.</i>	<i>22</i>
<i>Figure.I. 8.Densité à sec par rapport au volume de sable remplacé par les PET.</i>	<i>23</i>
<i>Figure.I. 9.Densité du mortier à base de déchets plastiques (PF=PET flakes ;PP=PET pellets.</i>	<i>23</i>
<i>Figure.I. 10.La résistance à la compression en fonction du volume de sable remplacé par le PET.</i>	<i>24</i>
<i>Figure.I. 11.Resistance a la traction en fonction du pourcentage des agrégats plastique</i>	<i>26</i>
<i>Figure.I. 12..La Conductivité thermique en fonction du volume de sable remplacé par PET.</i>	<i>26</i>
<i>Figure.I. 13.Absorption d'eau d'un mortier contenant PET.....</i>	<i>27</i>

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROCEDURES**D'ESSAIS**

<i>Figure.II. 1.Courbe granulométrique du sable de dune.</i>	<i>30</i>
<i>Figure.II. 2.Equivalent de sable à vue et à piston.</i>	<i>31</i>
<i>Figure.II. 3.Appareil de Vicat manuel.</i>	<i>37</i>
<i>Figure.II. 4.Les résultats de cette analyse</i>	<i>41</i>

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

<i>Figure.III. 1.Dispositif de flexion à trois points.</i>	<i>48</i>
<i>Figure.III. 2.Dispositif de rupture en compression.</i>	<i>49</i>
<i>Figure.III. 3.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=40%.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure.III. 4.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=45%.....</i>	<i>51</i>

<i>Figure.III. 5.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=50%</i>	51
<i>Figure.III. 6.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=55%</i>	51
<i>Figure.III. 7.Variation de la résistance a la compression en fonction du Pourcentage des déchets plastique pour E/C=40%</i>	52
<i>Figure.III. 8.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=45%</i>	53
<i>Figure.III. 9.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=50%</i>	53
<i>Figure.III. 10.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=55%</i>	53
<i>Figure.III. 11.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage</i>	54
<i>Figure.III. 12.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage.</i>	55
<i>Figure.III. 13.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage</i>	55
<i>Figure.III. 14.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage</i>	55

Liste des photos :

CHAPITRE I : ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE

<i>Photo.I. 1.phare de Port-Saïd 1869. (Egypte)</i>	3
<i>Photo.I. 2.La maison de COIGNET</i>	3
<i>Photo.I. 3.Le pont de Brooklyn1871-1872New York.</i>	4
<i>Photo.I. 4.Métro de Saint-Pétersbourg</i>	4
<i>Photo.I. 5..PET agrégats fins et grossiers (44).</i>	16
<i>Photo.I. 6.PET d'une forme angulaire (à gauche) et forme de pastilles (à droite) [44].</i>	17
<i>Photo.I. 7.Images SEM montrant le contact entre PET et la matrice et le contacte entre grain de sable et la matrice</i>	25

**CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROCEDURES
D'ESSAIS**

<i>Photo.II. 1.Le sable utilisé.</i>	29
<i>Photo.II. 2.Ciment CRS de lafarge</i>	35
<i>Photo.II. 3.PET utilisé</i>	40
<i>Photo.II. 4.Les tamis utilisés de l'analyse granulométrique du PET</i>	41

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

<i>Photo.III. 1.Malaxeur normalisé pour pâte et mortier</i>	46
<i>Photo.III. 2.Moule normalisé de 4x4x16 cm2</i>	46
<i>Photo.III. 3.Appareil à chocs.</i>	47
<i>Photo.III. 4.Essai de résistance à la flexion (3 points).</i>	48
<i>Photo.III. 5.Essai de résistance à la compression.</i>	49

Liste Des Abréviations

CRS-CEM I 42.5N-SR: ciment résistance aux sulfates.

BS : Béton de sable.

PET : Polyéthylène Téréphtalate.

ESp : Equivalent de Sable au piston.

ESv : Equivalent de Sable au visuel.

Mf : Module de finesse.

M : Masse du matériau.

C : Compacité.

P : Porosité.

S : Sable.

T : Température (°C).

E/C : Rapport massique de l'eau sur ciment.

ρ_{app} : Masse volumique apparente.

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

E : Masse d'eau.

SD : Sable de Dune.

Rf : Résistance à la flexion.

Rc : Résistance à la compression.

Résumé

Cette étude vise à utiliser l'un des matériaux qui sont abondants dans la nature, à savoir les dunes de sable, où ce dernier se trouve en grande quantité dans le désert de notre pays et à exploiter les déchets plastiques (ceintures d'attache) rejetés dans la nature en les décomposant et en les utilisant comme gravier afin de produire un matériau solide et avancé qui répond aux exigences économiques et environnementales.

Le principe de notre travail est basé sur le remplacement partiel des dunes de sable par des résidus plastiques broyés dans différentes proportions de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% et de montrer dans quelle mesure les propriétés de ce composé sont améliorées.

Les résultats ont montré que les propriétés mécaniques du béton BSPET diminuaient en résistance à la compression avec une augmentation du pourcentage de déchets plastiques, avec un résultat important enregistré comme une augmentation tangible de la résistance à la traction par flexion lorsque le pourcentage de plastique augmentait.

Mots clés: sable de dune, sable de béton, résidus de plastique, résistance à la compression, résistance à la flexion.

المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى استخدام إحدى المواد المتواجدة بكثرة بالطبيعة ألا و هو رمل الكثبان حيث يتواجد هذا الأخير بكميات هائلة في صحراء بلادنا و استغلال النفايات البلاستيكية (أحزمة الربط) المهملة في الطبيعة بتفتيتها و استعمالها كحصى من أجل إنتاج مادة قوية و متطورة تستجيب إلى المتطلبات الاقتصادية و البيئية.

يرتكز مبدأ عملنا هذا في استبدال رمل الكثبان جزئيا ببقايا البلاستيك المطحونة بنسب مختلفة من 05%, 10%, 15%, 20%, 25% و إظهار مدى تحسين خصائص هذا المركب الناتج عنه.

أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية لخرسانة BSPET انخفضت في المقاومة بالضغط مع زيادة نسبة النفايات البلاستيكية مع تسجيل نتيجة هامة تتمثل بزيادة ملموسة بالمقاومة الشد بالانحناء كلما زادت نسبة البلاستيك .
الكلمات المفتاحية: رمل الكثبان ,خرسانة الرمل، بقايا البلاستيك، ، مقاومة الانضغاط، مقاومة الانحناء .

Abstract:

This study aims to use one of the materials that are abundant in nature, namely sand dunes, where the latter is found in huge quantities in the desert of our country and exploit plastic waste (tie belts) discarded in nature by breaking it up and using it as gravel in order to produce a strong and advanced material that responds to economic requirements And environmental.

The principle of our work is based on partially replacing sand dunes with crushed plastic residues in different proportions of 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and to show the extent to which the properties of this compound are improved.

The results showed that the mechanical properties of BSPET concrete decreased in compressive strength with an increase in the percentage of plastic waste, with an important result being recorded as a tangible increase in bending resistance as the percentage of plastic increased.

Key words: dune sand, sand concrete, plastic residue compressive strength, flexural strength

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les déchets, d'origine plastique, constituent un des problèmes graves. En effet, l'augmentation de la population mondiale et sa concentration dans les villes, ainsi que le développement d'équipements industriels et de biens de consommation génèrent des quantités astronomiques de résidus plastiques. La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable afin de résoudre ce problème de pollution qui va croître d'année en année. Il est donc important de penser à l'élaboration de matériaux composites mortier-polymère à base d'agrégats légers artificiels provenant de déchets plastiques. [63]

Dans ce cadre et dans un contexte d'épuisement progressif des gros granulats dans certaines régions, du coût élevé du transport et de l'abondance des sables, il était aisé d'entrevoir, dès l'origine, l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des sables locaux, peu ou pas exploités, pour la réalisation de béton dont les sables seraient le constituant principal.

Les bétons de sable sont une nouvelle gamme de matériaux de construction confectionnés essentiellement à partir d'un ou plusieurs sables, de ciment, d'eau et des fines d'ajouts minérales naturelles ou industrielles qui peuvent présenter une bonne alternative pour remplacer les bétons classiques dans la confection de certains éléments de construction.

L'objectif de ce travail consiste à étudier les caractéristiques mécaniques d'un béton à base de sable de dunes contenant différents dosages en déchets plastique de 5 % 10% ,15% ,20% et 25% de la quantité de sable. Les essais sont effectués sur des éprouvettes normalisés (4*4*16). Cette présente étude comprend trois principaux chapitres :

- **Le premier chapitre** : est consacré à des généralités sur le béton de sable, généralités sur les Agrégats du PET suivie d'une revue sur la documentation de l'effet de l'ajout de ce type d'agrégats sur les propriétés du béton de sable.
- **Le deuxième chapitre** : constitue une description des techniques expérimentales utilisées et la caractérisation des matières premières.
- **Le troisième chapitre** : est une interprétation et une analyse des résultats des propriétés

mécaniques obtenus à partir de l'expérimentation sur l'ensemble des bétons.

Enfin, L'étude se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I
ETUDE THEORIQUE ET
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1- Introduction :

La richesse d'un pays dans le domaine de la construction dépend de l'utilisation de ses ressources locales. Connaissant un déficit en logements et une pénurie de graviers il est devenu impératif de construire au moindre cout en valorisant les matériaux locaux. Parmi ces matériaux se distinguent les bétons de sable qui ont fait l'objet de plusieurs recherches.

Le béton de sable est une technique ancienne utilisée par plusieurs pays .Cependant il reste un matériau nouveau de par ses qualités de finesse et de mise en œuvre et de par l'intérêt que lui porte plusieurs chercheurs et industriels qui cherchent à le substituer aux bétons traditionnels [1].

Ce chapitre présente les diverses connaissances générales, telles que les définitions et les propriétés matériaux, rencontrés dans cette recherche.

L'analyse du comportement des matériaux est définie par les éléments bibliographiques des travaux des chercheurs.

I.2- Généralités sur les bétons de sable:

I.2.1 - Définition du béton de sable:

La norme Française A.F.N.O.R. **NF P18 500** (juin 1995) [2] définit le béton de sable comme suit : « Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant(s) et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons. 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 »

I.2.2- Historique:

Depuis l'apparition des premiers bétons, la technique du béton de sable n'en était pas loin. En1853, le béton de sable trouve ses origines dans « **le béton aggloméré** », il était confectionné par l'ingénieur François Coing et. Le béton aggloméré s'agissait à l'époque d'un mélange de sable, de cendres, de chaux et d'eau. Les premières applications de cette technique étaient réalisées sur : le mur de soutènement à Passy [3.4] , la maison Coing et à Saint-Denis, la réalisation de la tour de port Saïd en Egypte de 52 m d'hauteur, et un pont à

Brooklyn. En 1918 une expérience très originale fut faite par Nicolas Rochefort, à Saint-Pétersbourg. Elle consistait à broyer ensemble du sable et du clinker à parts égales puis à mélanger ce produit à du sable dans un rapport de 1 produit broyé à 3 sable. Les réalisations à base de ce type de matériau sont nombreuses: Les pistes d'aérodromes militaires de Pevec et Arkhangelsk, Route et autoroutes (ex: Serpoukhov – total), bâtiments (toitures à plis, éléments divers préfabriqués) et tunnels et métros (ombrelles d'étanchéité) ... [4].



Photo.I. 1.phare de Port-Saïd 1869. (Egypte)



Photo.I. 2.La maison de COIGNET



Photo.I. 3.Le pont de Brooklyn1871-1872New York.



Photo.I. 4.Métro de Saint-Pétersbourg

I.2.3 – Domaine d’application du béton de sable :

Le béton de sable est un nouveau matériau créé pour remplacer le béton classique dans certains éléments de structure. Ces principaux domaines d’utilisation sont :

- **Travaux exécutés avec du béton de sable in situ..**
 - Travaux avec du béton injecté.
 - Travaux avec un fort cadrage .
 - Pilots de béton armé coulé sur place.
 - Couches de béton de résistance pour les chemins régionaux.

- Couches de résistance et usure des chemins locaux.
- Certains travaux de fondations pour les constructions.
- Trottoirs et allées piétonnes.
- Carrelage dans certains bâtiments industriels .
- Travaux pour terrasses.
- Murs de béton armé in situ.

➤ **Travaux en béton de sable préfabriqué.**

- Dalles préfabriqué pour pavage et trottoirs.
- Tuyaux de canalisation en béton simple ou armé.
- Petits blocs de maçonnerie.
- Panneaux préfabriqués pour les murs extérieurs autoportants.
- Panneaux préfabriqués pour les murs intérieurs et extérieurs portants.
- Panneaux en béton décoratif.
- Panneaux de planchers.

I.2.4- Inconvénients des bétons de sable :

Les bétons de sable sont très utilisés malgré leurs inconvénients, par exemple :

- La grande teneur en grains fins donne une grande surface spécifique, cela conduit à la difficulté d'assurer une bonne enveloppe de pâte de ciment pour les grains de sable, donc le dosage en ciment augmente.
- Les grains très fins du sable peuvent abaisser l'activité du ciment ; donc la résistance mécanique du béton va diminuer.
- Augmentation de l'absorption capillaire à cause de la grande surface spécifique du ciment ; par conséquent l'imperméabilité du béton durci va diminuer et le retrait va augmenter .

I.2.5 - Propriétés de béton de sable :

I.2.5.1 –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 ajouté au mélange sec et à optimiser la teneur des ajouts.

➤ **Effet de la granulométrie du sable sur la compacité :**

Dans le béton de sable l'étendue granulaire est borné supérieurement par l'absence de gros granulats, il apparaît alors évident qu'un mélange ciment –sable présentera une porosité plus élevée que la porosité du béton traditionnel [5], cet inconvénient est compensé par l'ajout de fines qui améliore la compacité. La différence entre un béton classique et un béton de sable

réside principalement dans La différence granulométrie .Plus le sable est poreux, plus le besoin en fines est élevé, et plus le diamètre des plus gros grains diminue plus la porosité augmente la compacité du béton de sable est en conséquence plus faible que pour le béton traditionnel [5].

➤ **Effet des fines d'ajouts:**

Le dosage en fines d'ajouts augment, la compacité s'améliore. Dans le cas du béton de sable une partie des vides du sable est comblée d'abord par des fines d'ajouts.

La rigidité est ensuite assurée par un complément en ciment correspondant aux dosages habituellement employés pour les bétons traditionnels (**Figure I.1, Figure I.2**).

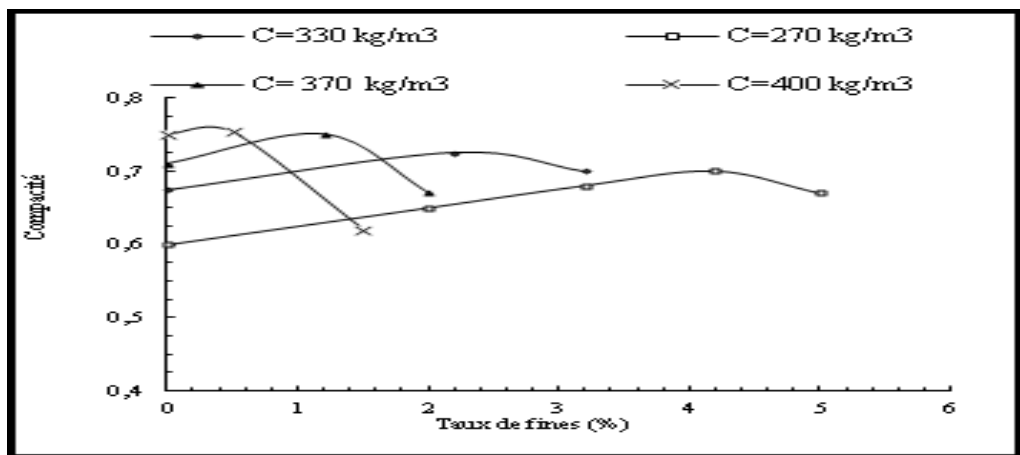


Figure.I. 1.Variation de la compacité avec les fines pour différents dosages en ciment [6]

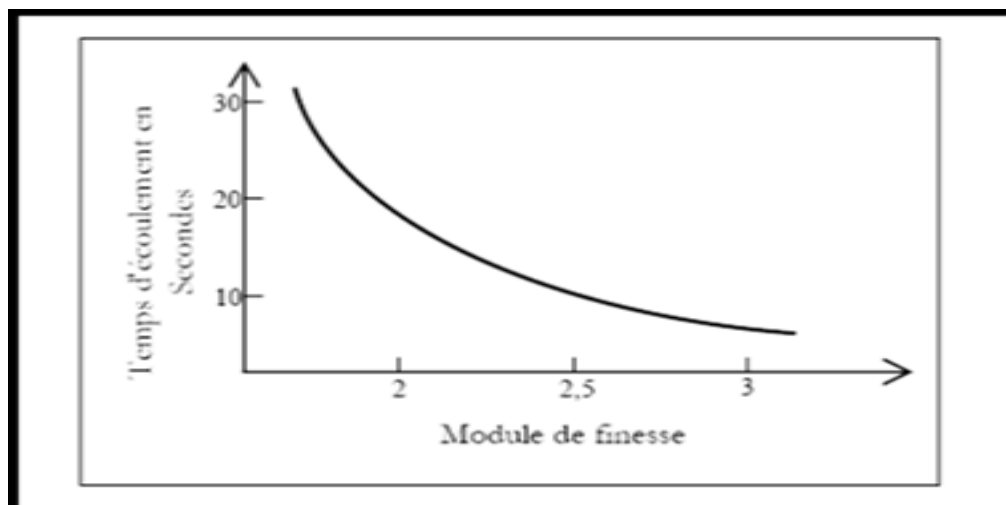


Figure.I. 2.Temps d'écoulement en fonction du module de finesse [7]

I.2.5.2 – Maniabilité:

Une formulation assurant une bonne maniabilité facilite la mise en œuvre, Ce qui augmente la compacité et par conséquent la résistance.

La maniabilité est l'une des caractéristiques de grande importance, elle dépend essentiellement de la qualité et de la quantité d'eau utilisée. Pour le cas des bétons de sable le rapport E/C est nettement supérieur à celui des bétons classiques (entre 0.6-0.7).

➤ Effet du rapport E/C:

Ce rapport joue un rôle important, comme pour tous les autres types de béton.

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

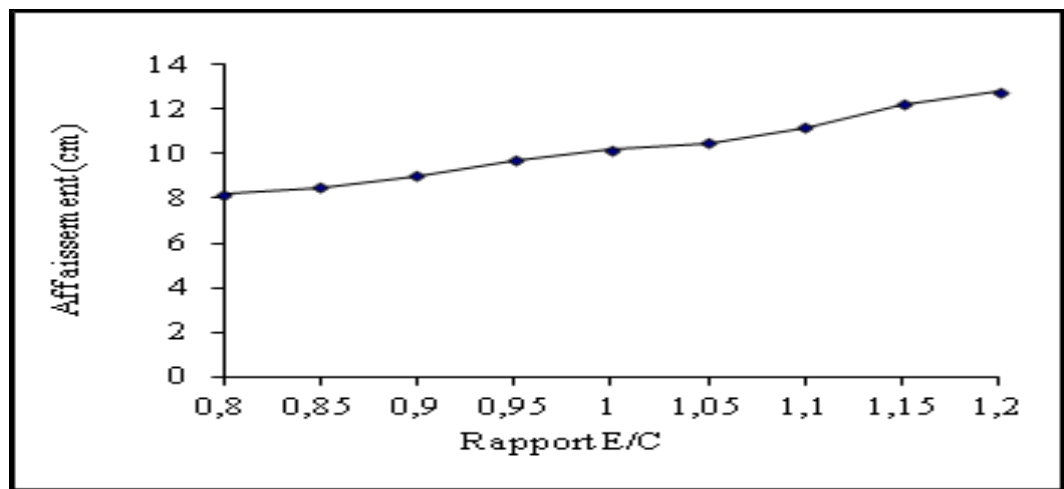


Figure.I. 3. Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire [8]

I.2.5.3 – Retrait et Fluage

En général le phénomène du retrait dépend de l'environnement, de la durée de la cure et de la finesse d'ajout. Des travaux de retrait et de fluage ont été réalisés sur le béton de sable en comparaison avec un béton classique [9.10].

Le retrait de dessiccation des bétons de sable est caractérisé par une cinétique semblable aux autres gammes de bétons. D'après BENAÏSSA [9], on suppose qu'en équilibre hygrométrique, les volumes hydratés formés dans les bétons de sable et les bétons classiques sont sensiblement les mêmes.

Le retrait total, peut atteindre des valeurs doubles de celui d'un béton ordinaires (**Figure I.4- Figure I.5**).

Le phénomène peut être expliqué par une distribution et une taille des vides différentes entre les deux matériaux .

Par contre, pour le fluage on observe un phénomène analogue lié toujours à la structure des matériaux (**Figure I.6- Figure I.7**), que peut confirmer par ailleurs les valeurs du module d'élasticité très différente entre béton de sable et béton ordinaire .

Notons que le fluage est aussi lié à la résistance du béton de sable, en effet pour un béton plus résistant on observe un fluage plus faible, voisin de celui d'un béton classique.

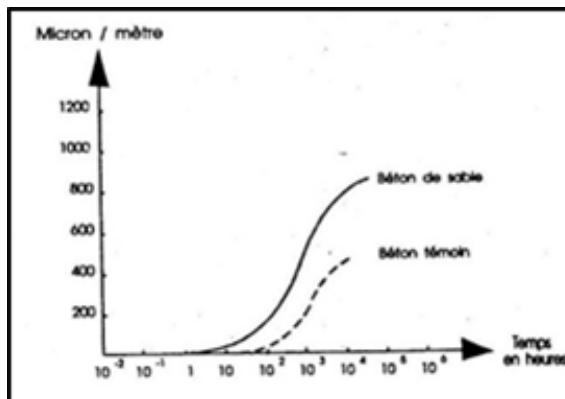


Figure.I. 4.Retrait total [4]

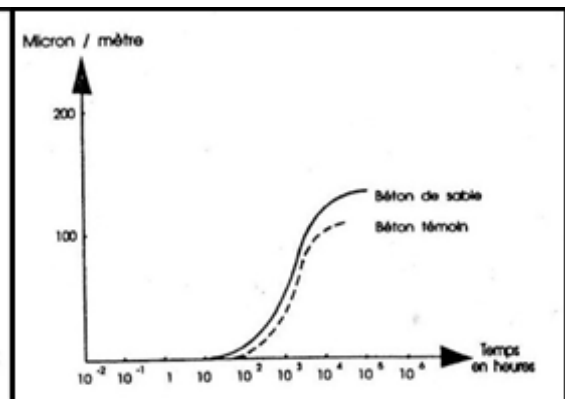


Figure.I. 5..Retrait d'auto-dessiccation. [4]

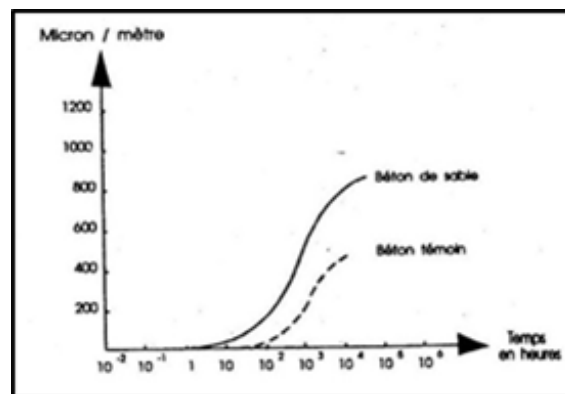


Figure.I. 6.Fluage total. [4]

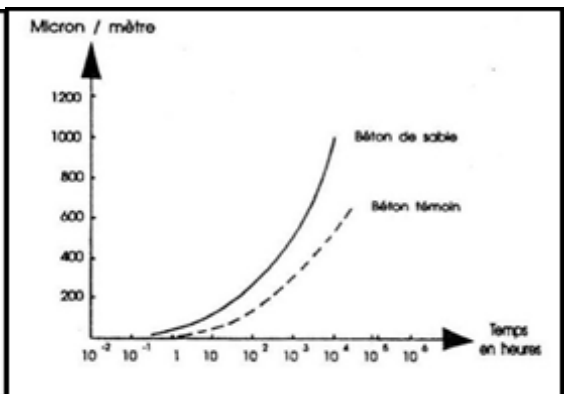


Figure.I. 7.Fluage d'auto-dessiccation. [4]

I.2.5.4–Résistance au gel et au dégel :

De même, la tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants. Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalent aux bétons classiques les

plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte

pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qu'est en général, caractérisée par une bonne répartition de micropores [4].

I.2.5.5 Durabilité des bétons de sable :

Conventionnellement, la durabilité d'un béton est reliée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur. De ce fait, il est évident que les paramètres tels que la porosité, l'organisation géométrique des pores et la perméabilité sont des paramètres physiques du premier ordre de la durabilité. De même les phénomènes internes tels que l'alcalisation ou l'attaque sulfatique différée sont aussi des processus d'altération du béton accélérés par les échanges hydrauliques avec le milieu extérieur.

Le béton de sable se distingue des bétons classiques par un fort dosage en sable ; de ce fait il contient généralement plus de pores de faible taille, donc un taux de vide élevé par rapport aux bétons classiques [39].

La perméabilité varie en fonction de la taille des pores et de leurs continuités ; de ce fait un matériau ayant un taux de pores élevés, de tailles grandes et continues présente une perméabilité forte, ce qui conduit à une durabilité faible. En suivant cette hypothèse un béton de sable aura une perméabilité moins élevée d'où une durabilité plus forte [39].

I.3- Les déchets Plastique :

I.3.1- Introduction

Les déchets, d'origine plastique, constituent un des graves problèmes .En effet, l'augmentation de la population mondiale et sa concentration dans les villes, ainsi que le développement d'équipements industriels et de biens de consommation génèrent des quantités astronomiques de résidus plastiques. La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable en vue de résoudre ce problème de pollution qui va croître d'année en année. Il est donc important de penser à l'élaboration de matériaux composites mortier-polymère à base d'agrégats légers artificiels provenant de déchets plastiques.

I.3.2- L'impact des déchets plastiques sur l'environnement

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie, la quantité de plastiques consommés annuellement se développe considérablement. La légèreté, la

résistance, la conception facile, la durabilité, et son coût bas sont les facteurs derrière une telle croissance phénoménale de leurs utilisations.

Les déchets plastiques sont considérés comme un sérieux problème environnemental et universel. La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

Le plus grand composant de ces déchets plastiques est le polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17,3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18,5% de polypropylène (PP), 12,3% du polystyrène (PS), 10,7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8,5% polyéthylène téréphtalate (PET) et 9,7% d'autres types de déchets [11].

I.3.3- La gestion des déchets plastiques :

La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable afin de pallier à ce problème de pollution qui ne cesse de croître d'années en années. Toutefois, cela nécessite la mise en place des filières de traitement ou de valorisation des déchets. afin d'engager une politique de gestion et de valorisation des déchets pour limiter les dégâts écologiques il demeure nécessaire une politique de transformation nécessitant une main d'œuvre qualifiée..

De nombreux travaux de recherche ont été menés à travers le monde sur l'utilisation des produits plastiques. Ce domaine de recherche occupe une place importante dans le contexte des matériaux de construction durables [12]. Dans ce contexte, les déchets plastiques tels que le polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), le caoutchouc, sont utilisés comme agrégats dans les mortiers et bétons. L'Algérie reste loin derrière la plupart des pays en termes de recherches et d'applications des matériaux de construction durables tels que la substitution des agrégats par les plastiques dans le béton ou mortier.

Toutefois, l'absence de procédés de transformation de ces matériaux peut fortement empêcher leur application dans le domaine de la construction. L'utilisation des déchets

plastiques dans le domaine de la construction peut jouer un rôle important dans le contexte économique du pays.

I.3.4- Les déchets légers et leurs applications dans le domaine de Génie civil

Parmi les différents types d'approches de la gestion des déchets, on cite la réutilisation des déchets matières plastiques recyclées dans l'industrie de la construction, qui est considérée comme une méthode idéale pour l'élimination des déchets plastiques.

Divers types des matières recyclables d'origine industrielle sont actuellement utilisées dans les applications de génie civil telles que : les particules de déchets polymériques (caoutchouc [13], le polychlorure de vinyle PVC [14, 15], le polyéthylène téréphtalate PET [16-17], les fibres de PET [18], le polyéthylène à haute densité PEHD [19, 20], la mousse du polyuréthane rigide PUR [21]...etc.), la céramique [22], le polystyrène expansé PSE [23, 24], le bois [25], le verre [26, 27], le liège [28, 29], les fibres d'acier [30], les coproduits issus de l'exploitation agricole (lin [31], olive [32], coquille de riz [33], jute [34], fibre de palmier [35,36]...etc.). Chacun de ces déchets a donné un effet spécifique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci.

L'utilisation des matériaux plastiques dans le mortier et le béton a fait l'objet de nombreuses recherches. Dans le passé, les plastiques étaient principalement utilisés dans le béton sous deux formes : (1) les granulats plastiques, qui remplaçaient les granulats naturels et (2) les fibres plastiques, utilisés dans le béton fibré. Par ailleurs, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontés, à terme, à l'épuisement. Il est donc important de penser à l'élaboration de matériaux composites à base des agrégats légers provenant des déchets industriels et agricoles.

I.3.5- Types de valorisation des déchets en génie civil

Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique. Différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats[37]. Certains procédés de valorisation ou de recyclage sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés [38].

I.3.5.1- Valorisation des Pneus usés :

Cependant les pneus usés peuvent suivre différentes filières de Valorisation :

- **Le réemploi** : Rechapage, revente d'occasion, réutilisation en ensilage par les agriculteurs.
- **La valorisation énergétique** : Le caoutchouc à un pouvoir calorifique élevé. Les déchets de pneus peuvent donc servir de combustible de qualité dans les cimenteries et chaudières industrielles.
- **La valorisation en matière** : Broyage en poudrette pour une utilisation en revêtement de sol.

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la microfissure.

Le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité.

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil.

La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie [38]

Le broyage de pneus utilisés comme : remblais, confortement de digue et le recyclage sous forme de déchetés, granulats dans les applications du type enrobés, etc.

Utilisation de granulats en caoutchouc issus de broyage de pneus usagés, en substitution volumique des granulats naturels dans la confection du béton [39].

I.3.5.2- Valorisation des déchets de la construction/démolition :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels

déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, de durabilité et de résistance à l'action du gel-dégel.

➤ **Valorisation des déchets de briques :**

Il y a eu plusieurs recherches dans les possibilités d'utiliser la brique concassée comme granulats en béton. Les travaux, qui ont été réalisés en utilisant les types de brique qui sont utilisés communément dans la construction. Aujourd'hui, se sont concentrés plus sur les propriétés mécaniques du béton du granulat de brique, plutôt que sur les propriétés du granulat de la brique lui-même.

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées [38].

➤ **Valorisation des Sous-produits provenant des centrales thermiques :**

Comme les Mâchefer, Scories de sole et les Cendres volantes. La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de « mâchefer ». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées « cendres volantes ». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon.

➤ **Valorisation des déchets provenant de l'exploitation de mines et de carrières :**

L'exploitation des mines et des carrières produit de grandes quantités de déchets. Les déchets de minerais ne sont pas encore très utilisés étant donné qu'ils proviennent d'endroits très éloignés des régions peuplées. Ils pourraient cependant être utilisés pour la fabrication de briques, et de blocs de béton autoclave ou à granules légers. Un des problèmes relatifs à l'usage de ces déchets découle de la diversité de leur composition.

I.3.5.3- Valorisation des déchets plastiques :

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.

- On peut valoriser des déchets plastiques
- pour la fabrication des matériaux de construction tels que la tuile, la brique et le pavé autobloquant [40].
- Et 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'agrégats 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.3.6- Définition des PET :

Le polyéthylène téréphtalate PET utilisé principalement pour les emballages de boisson, est produit à partir de pétrole de la famille des thermoplastiques, il remplace progressivement le verre grâce à sa résistance aux chocs.

Les PET sont constitués d'unité polymérisation du monomère téréphtalate d'éthylène avec des unités répétitive $C_{10}H_8O_4$ et, par conséquent, la formule moléculaire du PET peut être représentée par $(C_{10}H_8O_4)_n$ [41].

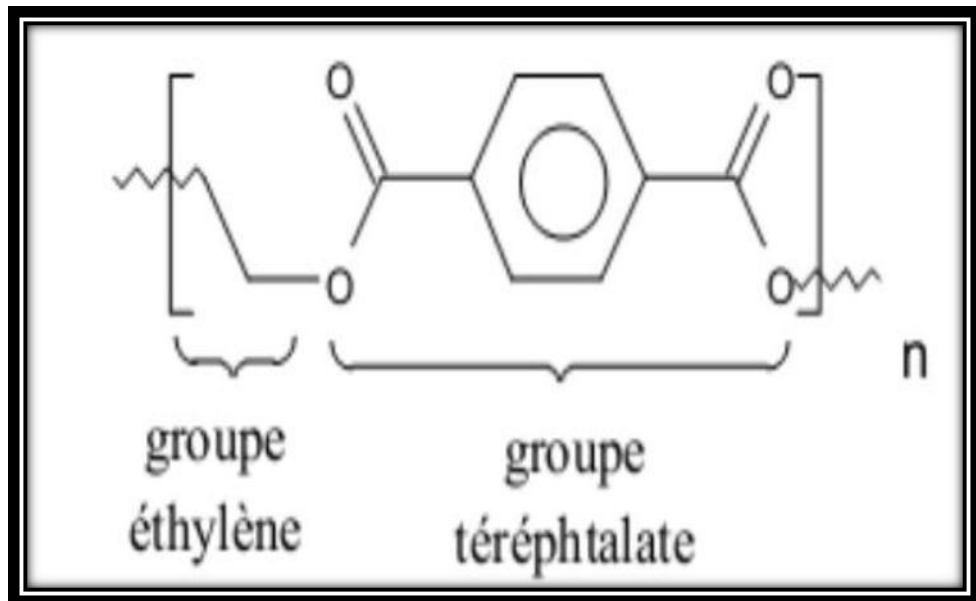


Figure.I. 5. Microstructure du poly (d'éthylène téréphtalate [42]

Le PET, C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol. 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.

I.3.6.1- Types des PET

➤ Fibre en plastique :

On les trouve sous des formes et des dimensions diverses. Parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des matériaux du Génie Civil et les Travaux Publics on peut citer : Les fibres de polypropylène, d'amiantes, de carbone, de verres, les fibres végétales et métalliques [39]. Ils existent les monofilaments 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.

➤ **Les fines particules des PET**

On obtient la poudre des bouteilles de PET par l'écrasement de ses dernières. Les tailles moyennes des particules de PET étaient respectivement de 0,26 et 1,14 cm (respectivement petits et grands) et ont été estimées sur la base de mesures effectuées sur des micrographies au moyen d'une loupe électronique [43].

➤ **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 [44].

Ils existent :

- Les granulats déchiquetés (une forme angulaire) (photos 4.)
- Agrégats de PET fins et grossiers (photo 5)
- Agrégat de PET en forme de pastille.



Photo.I. 5..PET agrégats fins et grossiers (44).



Photo.I. 6.PET d'une forme angulaire (à gauche) et forme de pastilles (à droite) [44].

I.3.6.2- 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.

I.3.6.3- 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.

I.3.6.4- 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 extingibles. 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 tels 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.

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.

I.3.6.5- 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.

I.3.6.6- 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.

I.3.6.7- 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 utilisés 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.

I.3.6.8- La 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

Tableau.I. 1.certaine propriété des matières plastiques.

Type de plastique	Propriétés générales
Polyéthylènes à haute densité	<ul style="list-style-type: none"> -Excellentes propriétés de barrière contre l'humidité -Excellente résistance chimique -résistantes au stress -Surface lisse et cireuse -Les films HDPE se plissent au toucher -Bouteilles pigmentées résistantes au Stress
Polychlorure de vinyle	<ul style="list-style-type: none"> -Excellente transparence -Dur, rigide (flexible lorsqu'il est plastifié) -Bonne résistance chimique -Stabilité à long terme -Bonne aptitude aux intempéries -Propriétés électriques stables -Faible perméabilité aux gaz
Polyéthylène de Basse densité	<ul style="list-style-type: none"> -Dur et flexible -Surface cireuse -Doux - rayures facilement -Bonne transparence -Bas point de fusion -Propriétés électriques stables
Polypropylène	<ul style="list-style-type: none"> -Excellente résistance chimique -Haut point de fusion -Dur, mais flexible -Surface cireuse -Translucide

I.3.6.9- Propriétés Physico-chimiques du PET

Le PET possède une température de transition vitreuse se situant autour de 80°C et une température de fusion élevée, environ 260°C, grâce à la présence d'un noyau benzénique. Le noyau confère aussi un aspect semi rigide au PET. Il possède également de bonnes propriétés mécaniques et thermiques, une grande résistance chimique et une faible perméabilité aux gaz. Le PET est un polymère semi-cristallin, la masse volumique de la phase cristalline est de 1,515 g.cm⁻³ et celle de la phase amorphe est de 1,335 g.cm⁻³. Le polytéréphtalate d'éthylène broyé doit être soumis à des essais de laboratoire, à savoir l'analyse granulométrique [45].

I.3.6.10 Propriétés Mécaniques et Thermiques du PET

Les propriétés mécaniques et thermiques du polymère polytéréphtalate d'éthylène sont exhibées par le Tableau suivant :

Tableau.I. 2.Propriétés mécaniques et thermiques des PET [46].

Point de fusion	254 °C
La conductivité thermique	0.13 W/m. K
La capacité thermique de masse	1.1-1.3 kJ / kg K
Champ d'application	-20 à +100 °C
La résistance à la traction	70 MPa
L'allongement à la rupture	70%
Le module de flexion (rigidité)	2.0 MPa
Densité	1.34 kg/dm ³
Perméabilité aux gaz	Médiocre
Perméabilité à l'humidité	Très bonne.
Module de traction	2.9 GPa
Résistance au choc	De 0 à +100°C
Température de mise en oeuvre	280 à 320°C.

I.4- Propriétés des bétons avec déchets plastique :

I.4.1- La maniabilité :

Il y a deux points de vue parallèles sur le comportement de la maniabilité du béton contenant des agrégats plastique.

Dans plusieurs études par exemple [47] et [48], une valeur inférieure d'affaissement du béton frais a été observée à raison de l'incorporation de plusieurs types de granulats plastiques de celle du mélange du béton conventionnel, il a été observé qu'une addition de plus en plus importante en matière plastique abaisse encore le taux d'affaissement.

D'autre part, dans quelques études [49] et [50] une augmentation de la valeur de l'affaissement due à l'incorporation de granulats en plastique est également signalée, l'augmentation de l'affaissement des mélanges de béton en raison de l'incorporation d'agrégats plastiques est due à la présence d'eau libre plus importante dans les mélanges contenant du plastique que dans le mélange de béton contenant un agrégat naturel, donc à la différence des granulats naturels, les agrégats en plastique ne peuvent pas absorber de l'eau lors du gâchage [51].

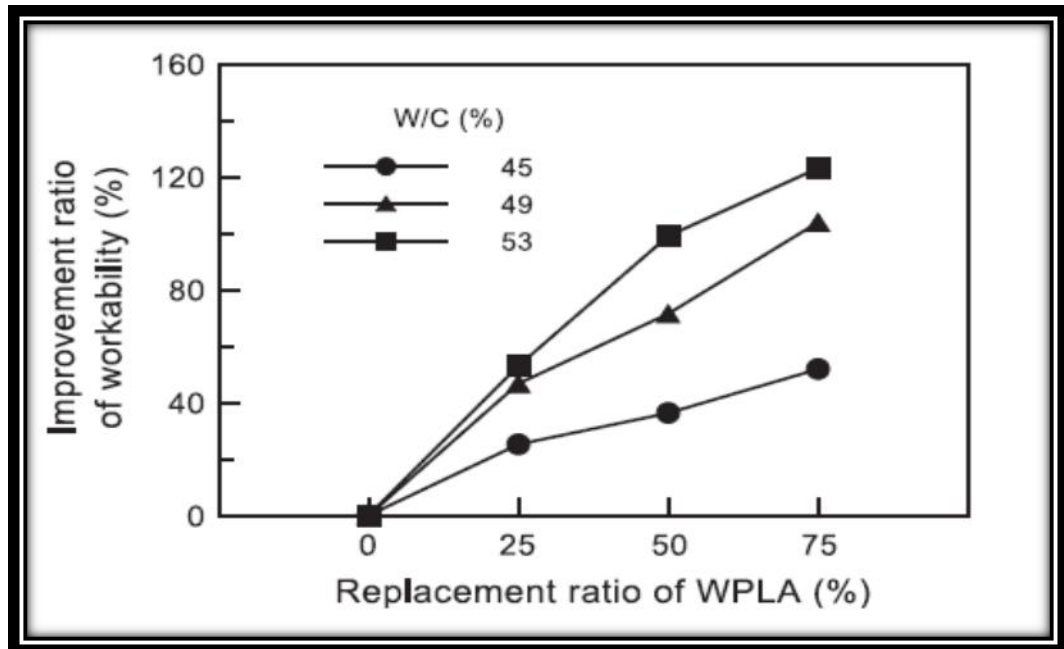


Figure.I. 6. La relation entre la maniabilité et le taux de déchets plastiques incorporés [50].

I.4.2- La densité :

La masse volumique d'un béton dépend de sa composition en particulier de la densité des granulats utilisés. Selon plusieurs chercheurs [52], [44], l'incorporation de matières plastiques comme agrégat diminue généralement les densités à l'état frais et durci du béton résultant du fait de la légèreté de l'agrégat en plastique.

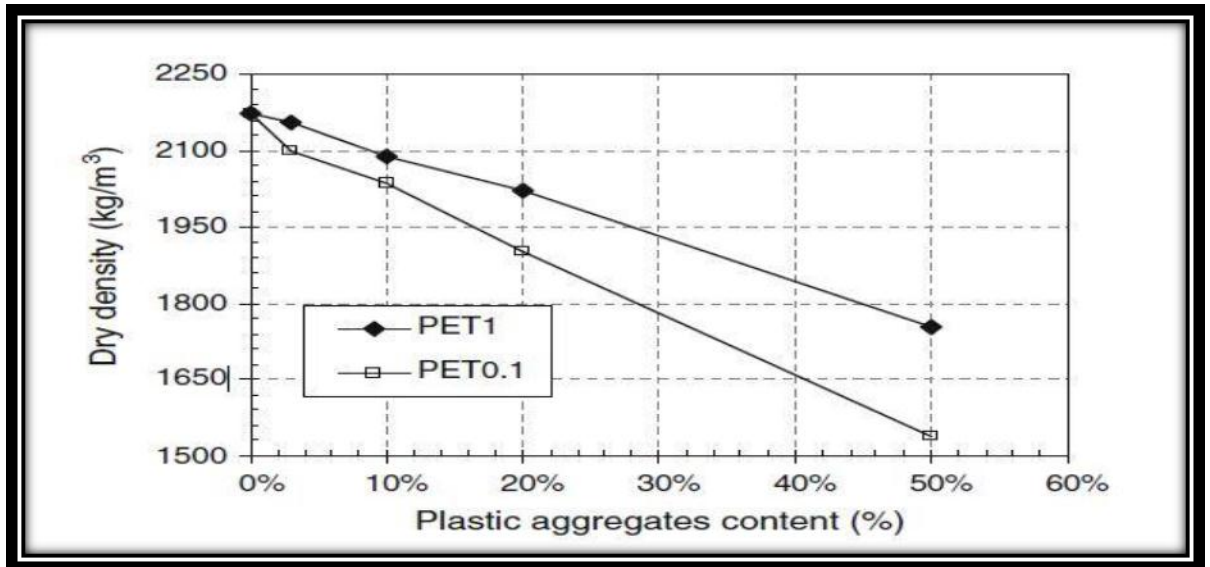


Figure.I. 7.Densité à sec par rapport au volume de sable remplacé par les PET [52].

[53] a montré que les densités à l'état frais et durcis des composites contenant des déchets plastiques ont diminué avec l'augmentation de la quantité d'agrégats de PET dans le mélange de béton. La réduction des poids unitaires peut s'expliquer par la faible masse volumique du plastique PET par rapport à l'agrégat conventionnel.

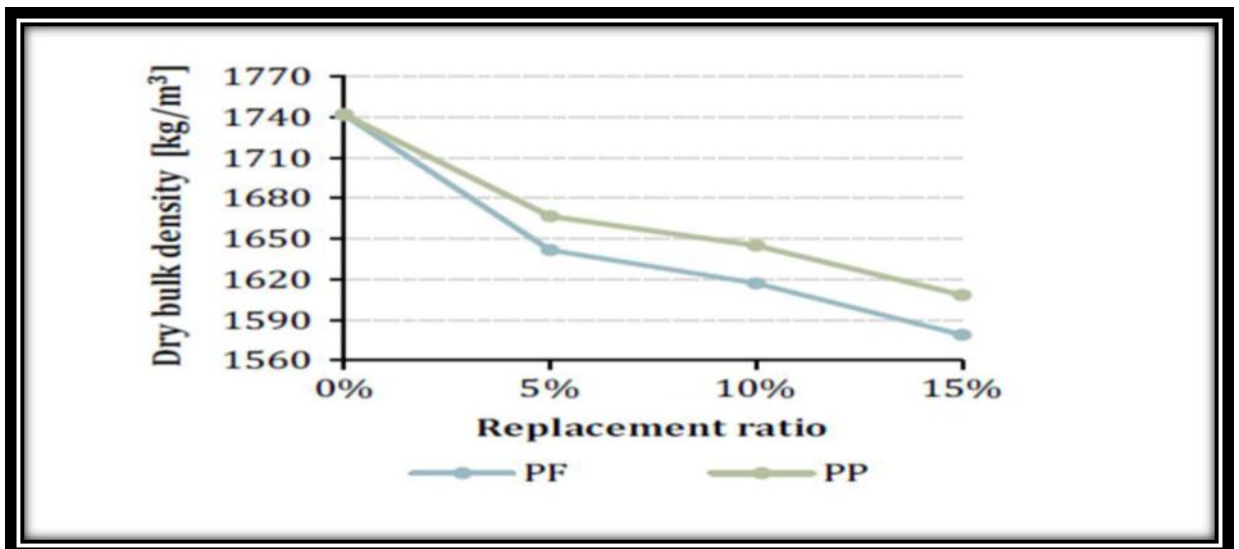


Figure.I. 8.Densité du mortier à base de déchets plastiques (PF=PET flakes ;PP=PET pellets[54]).

I.4.3- La résistance à la compression

La résistance à la compression du béton et du mortier de ciment est une propriété fondamentale qui a été étudiée en détails dans la plupart des travaux de recherche liées aux agrégats en plastique [53] et [55]. Dans toutes ces études, il a été montré que l'incorporation des agrégats de plastique a diminuée la résistance à la compression du béton / ou mortier résultant [56].

Selon [52] les résultats des essais de résistance à la compression pour les mélanges de mortier en plastique usagés montrent une diminution de la résistance à la compression en fonction du taux de déchets plastiques incorporés (**Figure I.12**). Cette tendance peut être attribuée à la diminution de la force d'adhérence entre la surface du plastique utilisé et la pâte de ciment comme il est montré dans la **photo (I.7)**.

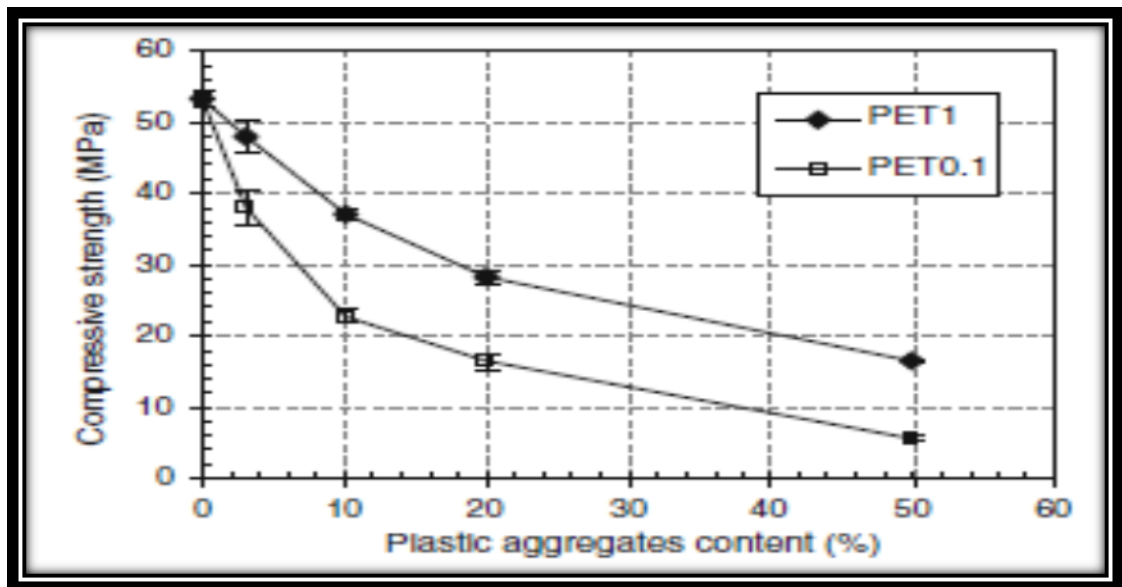


Figure.I. 9.La résistance à la compression en fonction du volume de sable remplacé par le PET.

D'après [57], la diminution de la résistance à la compression en fonction du taux de déchets plastiques incorporés dans le béton a été liée à la mauvaise liaison entre la matrice et le PET, ou due à la faible ductilité du PET.

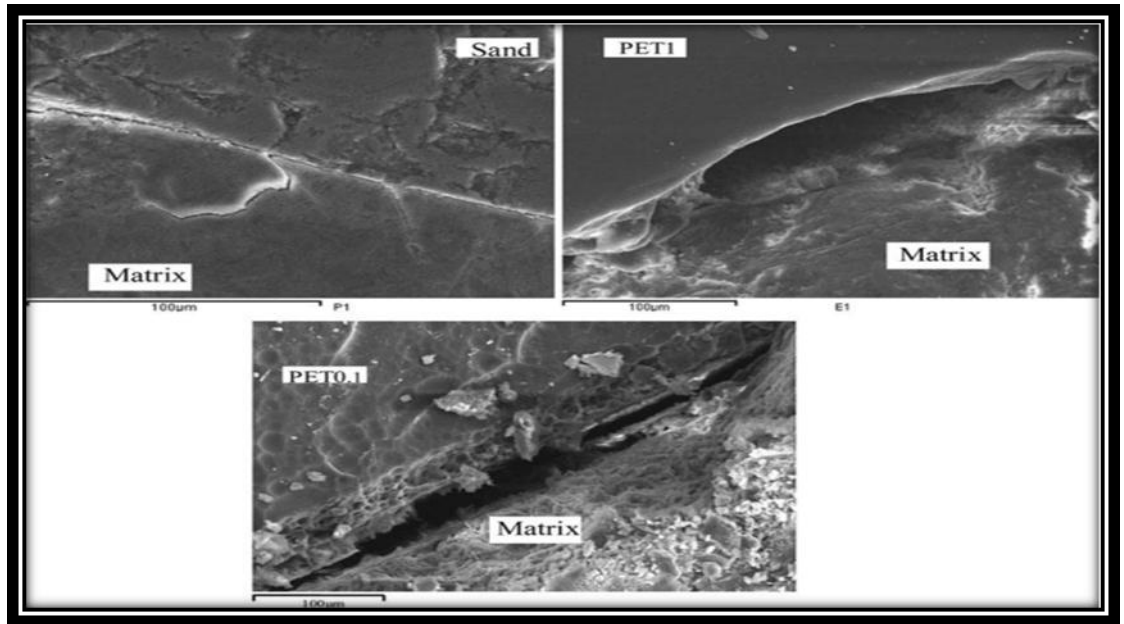


Photo.I. 7. Images SEM montrant le contact entre PET et la matrice et le contact entre grain de sable et la matrice [52].

I.4.4- La résistance à la traction par flexion :

Par rapport à la résistance à la compression, la résistance à la traction du béton est relativement faible mais on a parfois besoin de la connaître [58]. De manière similaire au comportement de la résistance à la compression, l'incorporation de tout type d'agrégat plastique abaisse la résistance à la traction par flexion du béton selon plusieurs études faites en ce type d'agrégats.

Selon [59] la diminution de la résistance à la traction par flexion est due à la porosité accrue du béton causée par l'incorporation de granulats PET ainsi que l'augmentation du rapport E/C. [50] Concluent après une enquête en utilisant le polyéthylène téréphtalate (PET) comme des agrégats que les résistances des mélanges de béton ont diminués de 19%, 31% et 54% avec l'augmentation des agrégats de PET de 25%, 50% et 75% respectivement.

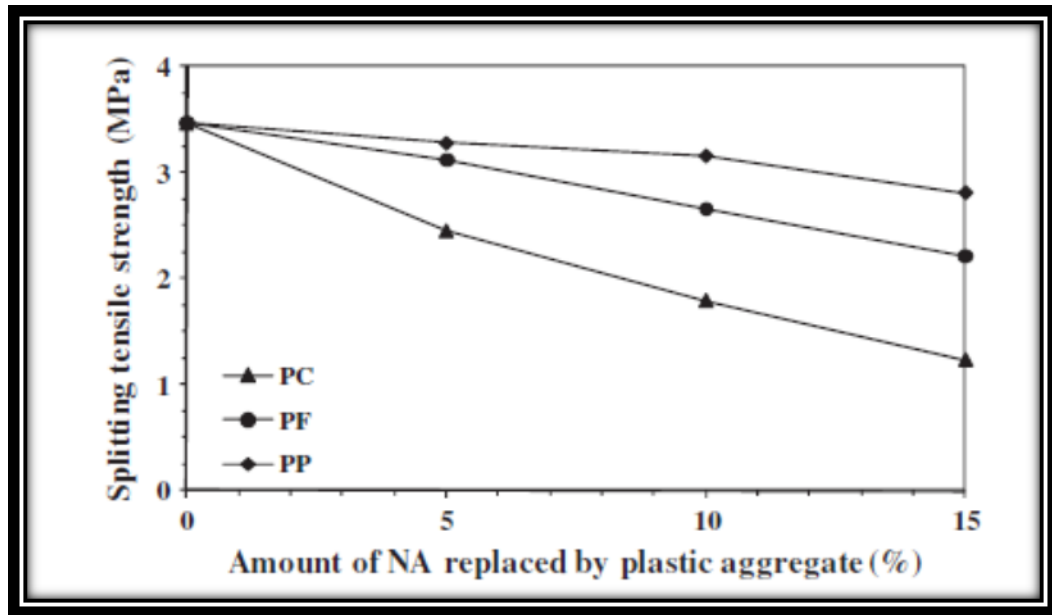


Figure.I. 10.Resistance a la traction en fonction du pourcentage des agrégats plastique [50]

I.4.5- La conductivité thermique :

D'après [52], les agrégats plastiques ont tendance à ralentir la propagation de la chaleur qui à son tour diminue la conductivité thermique du composite. En outre, l'incorporation des agrégats plastiques cause une augmentation du volume des vides d'air, la conductivité globale a diminué en raison de la très faible conductivité thermique de l'air (0,024 W / m.K). Figure I.14 présente une relation entre la conductivité thermique et la densité sèche des composites.

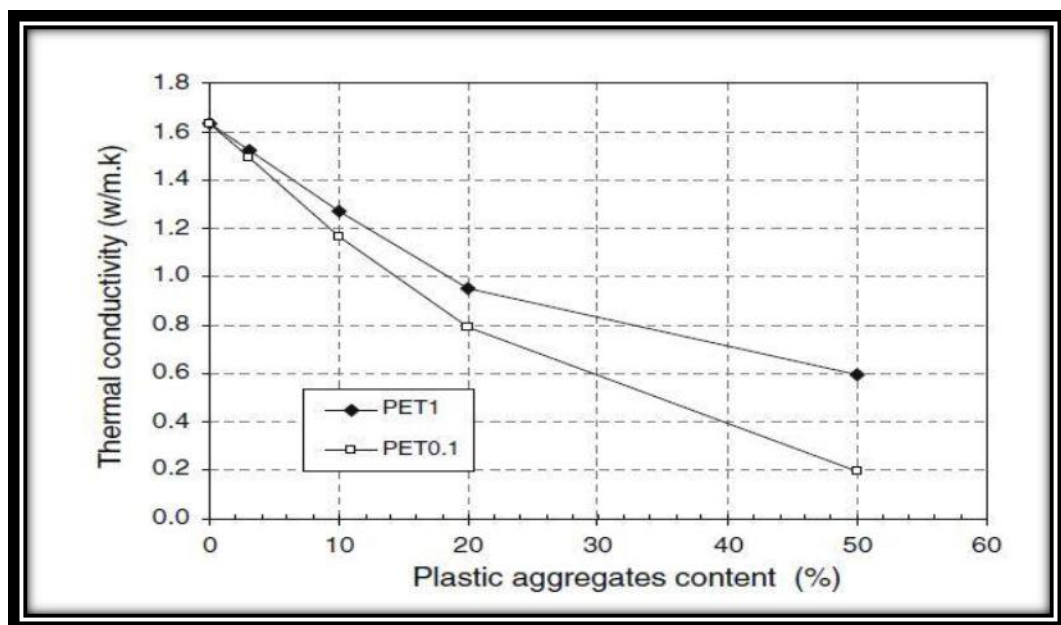


Figure.I. 11..La Conductivité thermique en fonction du volume de sable remplacé par PET [52].

I.4.6- L'absorption capillaire :

D'après [Ge, Z., Huang 60], l'absorption d'eau des mortiers fabriqués par PET a été faible, les éprouvettes ont été émergées dans l'eau pendant 7 jours, le taux d'absorption a été très faible par rapport au mortier normal (<0.47% de la masse). Les chercheurs suggèrent qu'en raison de sa haute résistance à l'érosion, il pourrait être utilisé dans des environnements agressifs.

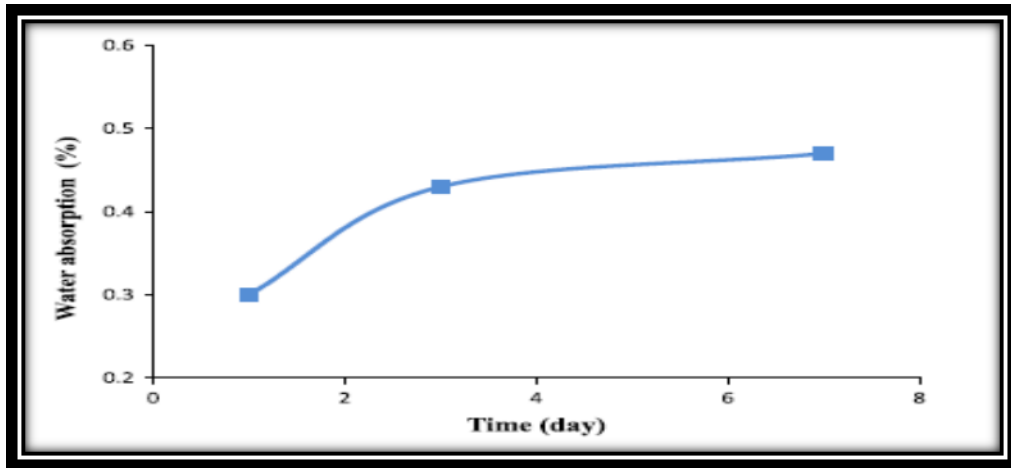


Figure.I. 12.Absorption d'eau d'un mortier contenant PET [60].

Alors que [54] ont étudié l'effet de substitution du sable par les déchets plastique. Ils ont trouvé que l'absorption capillaire des mortiers a augmenté en fonction d'augmentation des déchets plastiques. Cette augmentation de la perméabilité est probablement liée à l'augmentation de la porosité interne due à la faible connexion de la matrice et de l'agrégat.

[59] aussi ont signalé que l'absorption d'eau est plus élevée pour les bétons contenant des granulats de PET par rapport aux bétons contenant uniquement les granulats naturels. L'absorption d'eau est en outre proportionnelle à la teneur croissante de PET dans le béton, l'augmentation de la taille des agrégats de PET et l'augmentation du rapport E/C.

Selon les auteurs, la différence de la distribution granulométrique ainsi que la forme des granulats en plastique en comparaison avec l'agrégat fin naturelle étaient responsables de ce comportement.

I.4.7- Retrait

Le phénomène de retrait est un facteur très important dans la pratique. Il correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant et après la prise des bétons.

(Akçaözöglu, S.. 53) ont trouvé que l'incorporation du PET dans le béton provoque une augmentation du retrait des bétons légers, ce résultat est confirmé par autre études ainsi que [61].

[Frigione, M.. 48] a mesuré la propriété de retrait d'un béton durci contenant du granulats de PET. Il a trouvé une augmentation dans les valeurs de retrait en raison de l'incorporation de granulats de PET dans le béton. Selon l'auteur, ce comportement est principalement dû au module d'élasticité inférieur de béton contenant un agrégat plastique que celui des bétons courants [54] et [62], [54].

Expliquent cette diminution par la légère diminution de la capacité de séchage. Au fur et à mesure que l'évaporation de l'eau des capillaires entraîne un rétrécissement, une évaporation plus lente conduit à un rétrécissement plus faible, correspondant également à un rétrécissement plus faible, en raison du gain de rigidité avec le temps d'hydratation.

[Soroshian ,62] explique les résultats obtenus du mélange optimal en raison de la capacité du plastique à réduire la largeur de la fissure de retrait car il se comporte comme des fibres et arrête les microfissures et pont à travers les fissures pour restreindre leur élargissement.

I.5- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude bibliographique qui repose sur deux points :

1 / la synthèse de bétons de sable, ses propriétés, caractéristiques et leur utilisation...etc.

2 / la synthèse des connaissances actuelles sur les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons de sable avec les déchets plastiques.

Nous avons retenu que les recherches sur les bétons de sable déterminent la composition optimale et les performances potentielles grâce à l'utilisation des déchets PET.

Les sables de dunes présentent des caractéristiques chimiques et physiques utilisable en construction (propreté et présence de silices).

Cette recherche bibliographique montrera l'influence notable des granulats PET sur les performances à l'état frais et à l'état durcie des bétons. La différence entre un béton à granulats légers par rapport à bétons à granulats rigides est la plus faible masse volumique qui diminue le module élastique et la résistance du béton.

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES
MATERIAUX ET
PROCEDURES D'ESSAIS

II.1- Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude.

Le béton de sable est constitué du sable de dunes, du ciment, de l'eau, et des déchets plastiques (Les ceintures de sertissage).

Les essais effectués sur ces produits sont réalisés au niveau des laboratoires des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD).

II.2- Caractérisation des matières utilisées :

II.2.1- Sable :

Le sable utilisée dans cette recherche expérimentale est le sable de dune ramené de la région Hassi Elfehl.



Photo.II. 1.Le sable utilisé.

II.2.1.1- Analyse granulométrique [NF EN 933-1]

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.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamises sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

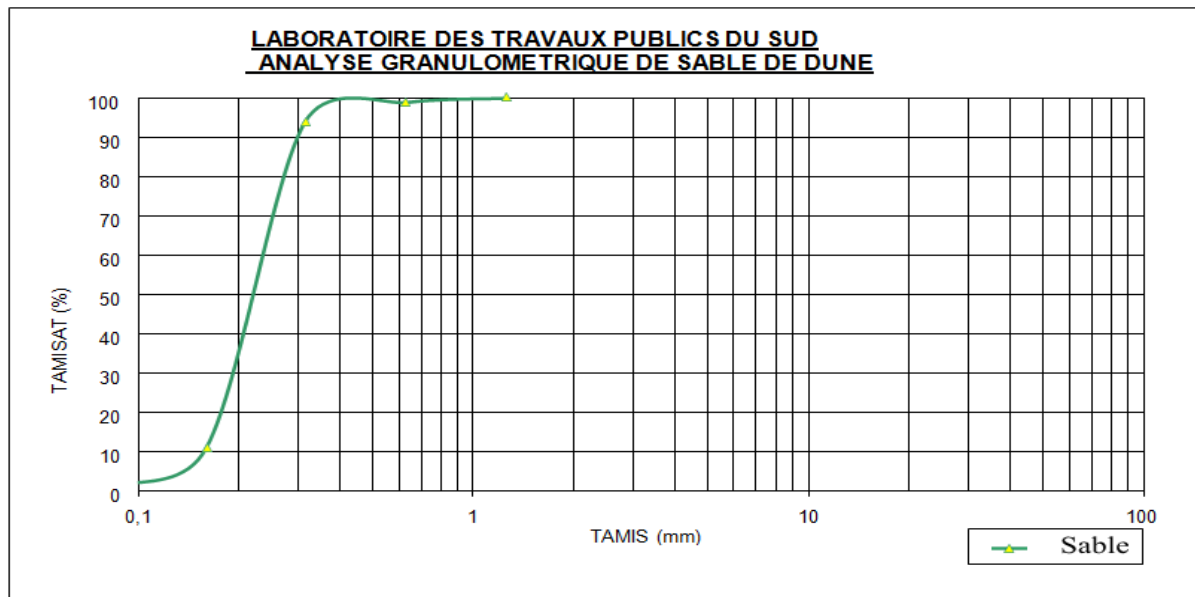


Figure.II. 1.Courbe granulométrique du sable de dune.

II.2.1.2- Module de finesse [NF EN 12620] :

Ce module de finesse (Mf) pour un granulat est égal au centième (1/100) de la somme des refus cumulé exprimé en (%) sur les tamis de la série suivante :

(0.16–0.315 –0.63–1.25 –2.5 –5mm).Ce module est donné par la formule suivante :

$$Mf = \frac{\sum \text{refus cumulée en \%}}{100}$$

D'après la formule **Mf = 0.95**

A partir de ces résultats on peut déduire que le sable de dune est constitué essentiellement de grains fins et la courbe est continue.

II.2.1.3- Equivalent de sable [NF EN 933-8] :

Cet essai permet de mesurer la propreté d'un sable, et est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. [63]

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

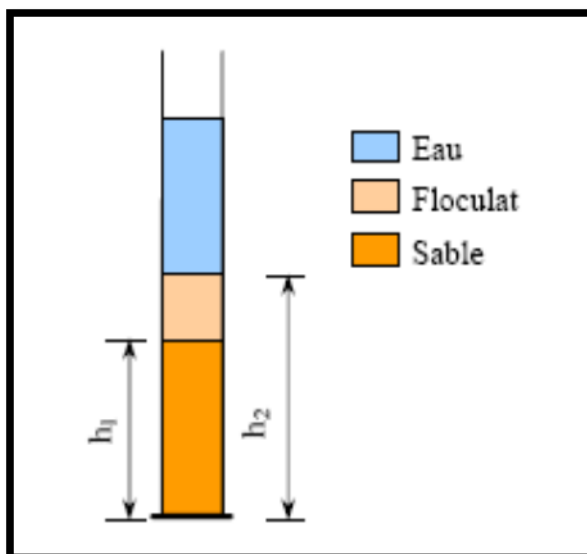
$$ES = (h_2/h_1) \times 100$$

- Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

L'équivalent de sable permettant de déterminer le degré de propreté du sable

Selon que la hauteur H_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV

(Équivalent de sable visuel) ou ESP (équivalent



.de sable au piston)

Figure.II. 2.Equivalent de sable à vue et à piston.

Tableau.II. 1.Nature et qualité du sable.

ESv	ESpiston	Nature et qualité du sable
ESv < 65	SE<60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
65 ≤ ESv < 75	60 ≤ SE<70	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
75 ≤ ESv < 85	70 ≤ SE <80	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ESv ≥ 85	SE >80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuse Risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau.II. 2.Pourcentage d'impureté dans le sable.

paramètre	Unité	Equivalent de sable visuel	Equivalent de sable piston
h1	Cm	10.4	10.5
h2	Cm	9	8.9
ES	%	97	95

On constate que le sable utilisé est Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuse .

II.2.1.4- Analyse chimique de Sable de dune [EN P 15 – 461] :

Tableau. II. 3. Analyse chimique de Sable de dune

échantillon	Sable de dune
Creuset +précipité	30.924
Creuset vide	29.943
Poids du résidu	0.981
% Insolubles	98.1
Creuset +précipité	
Creuset vide	20.735
Poids du résidu	
% SO ₃ ²⁻	
V NaOH	
% CaCO ₃	00
PHi (initial)	
PHt (titrage)	

II.2.1.5- Masses volumiques :

Les masses volumiques apparentes et spécifiques des différents granulats sont calculée.

➤ **Masse volumique apparente (ρ_{app}) : [NF EN 1097-6]**

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent du corps. C'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient, elle est donnée par la formule suivante:

$$\rho_{\text{app}} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

ρ_{app} : Masse volumique apparente.

V : volume total du matériau.

M_1 : masse de la mesure vide.

M_2 : masse de matériau (sable).

Le résultat obtenu est : (ρ_{app}) = **1494 kg/m³**

➤ **Masse volumique absolue (ρ_{ab}) : [NF EN 1097-7]**

On entend par la masse spécifique la masse d'un corps par unité de volume total en ayant déduit les vides entre les grains.

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

ρ_{ab} : Masse volumique absolue

M : Masse du corps (sable)

V : ($v_2 - v_1$) : volume absolu.

Le résultat obtenu est : (ρ_{ab}) = **2666 kg/m³**

II.2.1.6- Compacité : [NF P 18-554]

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{\text{app}}}{\rho_{\text{ab}}} = 100 - p$$

Le résultat obtenu est :

Compacité : $C = \frac{\rho_{\text{app}}}{\rho_{\text{ab}}} = 56.03 \%$

II.2.1.7- porosité : [NF P 18-554]

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

$$P (\%) = (1 - \rho_{app} / \rho_{ab}) \times 100$$

Le résultat obtenu est :

Porosité : $P = 1 - C = 43.96 \%$

II.2.2- Ciment [EN 196-3, EN 196-7] :

Le ciment utilisé est un ciment résistance aux sulfates **MOKAOUEM PLUS CRS-CEM I 42.5N-SR**, ses caractéristiques mécaniques et chimiques sont données par la fiche technique [annexe A] et sont résumées dans les tableaux (2) et (3).



Photo.II. 2.Ciment CRS de lafarge

II.2.2.1- Essai de Consistance (NF EN 196-3)

L'essai consiste à déterminer la quantité d'eau de gâchage optimale qui définit une consistance dite normalisée elle est fonction du rapport E/C.

L'essai a été réalisé avec l'appareil de Vicat selon la norme EN 196-3 (Figures II.4).

➤ **Objectif de l'essai :**

La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps. Pour pouvoir apprécier cette évolution qui est fonction de la teneur en ajout (calcaire) dans le ciment et la quantité d'eau de gâchage ; il faut partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées.

➤ **Principe de l'essai :**

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement d'une aiguille cylindrique de ($\varnothing = 10$ mm) sous l'effet d'une charge constante (300g). L'enfoncement est d'autant plus rapide et important que la consistance est plus fluide. (Figure II.4).

Conduite de l'essai :

✓ Verser la quantité d'eau dans la cuve du malaxeur. La température dans la salle doit être de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et une humidité relative supérieure ou égale à 50%.

✓ Verser 500 g de ciment au centre de la cuvettes un temps compris entre 5 et 10 secondes.

La fin du versement correspond au temps 0.

✓ Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 s.

✓ Arrêt du malaxage pendant 30 s, faire le raclage de la pâte.

✓ Remettre le malaxeur en marche pendant 90s à vitesse lente.

✓ Introduire la pâte immédiatement dans le moule tronconique de hauteur 40mm et de diamètre 70 et 80 mm posé sur une plaque en verre huilée sans tassement ni vibration excessive.

✓ Enlever l'excès de la pâte par un mouvement de va et vient avec une truelle maintenue

Perpendiculairement à la surface du moule.

✓ Placer l'ensemble sur la platine de l'appareil de Vicat.

✓ La sonde de diamètre $\varnothing = 10$ mm est amené à la surface de la pâte et lâchée sans vitesse initiale. La sonde s'enfonce dans la pâte. Quand elle s'immobilise ; ou au plus tard 30s après l'avoir relâchée.

✓ Mesurer la distance d entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule, cette distance caractérise la consistance. Si $d = 6\text{mm} \pm 2$; c'est la consistance normalisée Si d est différente

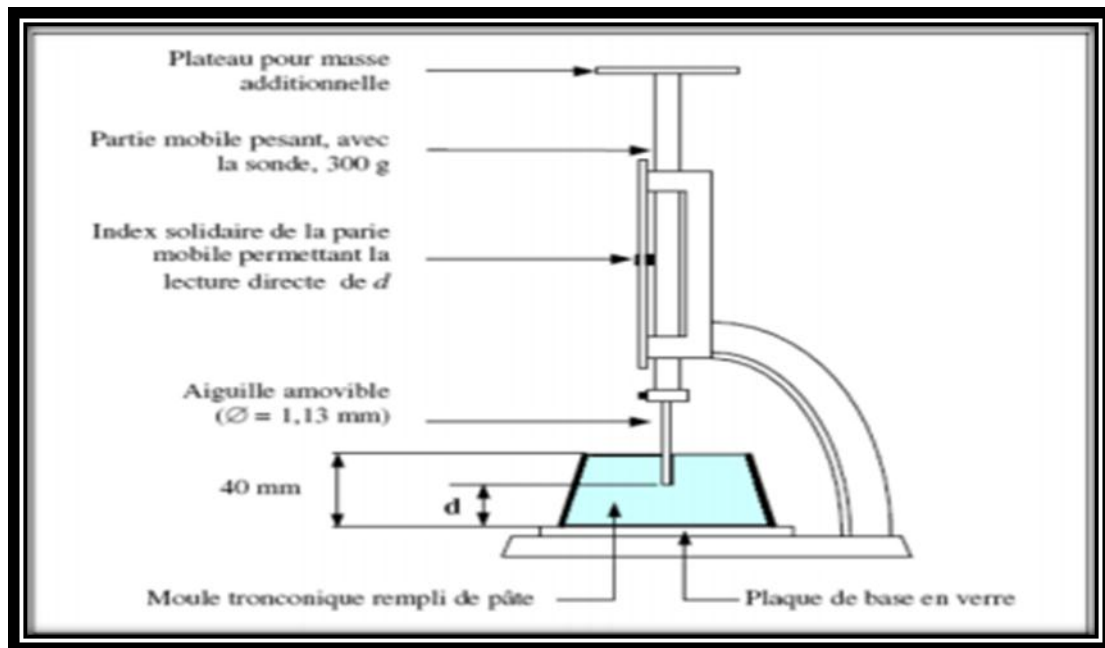


Figure.II. 3.Appareil de Vicat manuel.

de cette valeur, on refait l'essai avec un nouveau rapport E/C jusqu'à l'obtention de la valeur recherchée.

II.2.2.2- Essai de Prise [NF EN 196-3]

➤ Objectif de l'essai :

Il consiste à déterminer le début et la fin de prise des pâtes pures des ciments étudiées Conformément.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à suivre l'évolution de la viscosité de la pâte en utilisant l'appareil de Vicat manuel ou automatique.

Le Vicat manuel équipée d'une aiguille de 1.13mm de diamètre ; sous l'effet d'une charge de 300g l'aiguille s'enfonce à une distance d du fond du moule.

Si $d = 6\text{mm} \pm 3$ On dit que c'est le début de prise, le temps est mesuré à partir du temps 0 du début de malaxage.

Si l'enfoncement de l'aiguille dans la pâte vaut $d = 0.5\text{mm}$. On dit que c'est la fin de prise, alors la pâte devient un bloc rigide.

➤ Conduite de l'essai :

Le temps zéro est celui où le ciment a fini d'être ajouté à l'eau dans la cuve du malaxeur

L'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans vitesse initiale.

Lorsqu'elle s'immobilise (ou après 30s d'attente).

On relève la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille à la plaque de base.

On recommence l'opération à intervalle de temps convenablement espacés jusqu'à ce que $d = (6 \pm 3)$ mm cet instant mesuré à 5 mn près correspond au temps de début de prise.

On continue l'opération en faisant tourner le moule sur l'autre face le temps de fin de prise correspond à l'enfoncement de l'aiguille dans la pâte que de 0.5mm pour la première fois.

Résultats caractéristiques du ciment dans les Tableaux suivant :(II.4, II.5) ont été réalisées au laboratoire de l'usine de fabrication du ciment selon la norme [EN 196-3, EN 196-7].

Tableau.II. 4.caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé.

Propriétés physiques et mécaniques	CRS-CEM I 42.5N-SR
Début de prise heure/min	2h :50min
Fin de prise heure/min	3h :48min
Rc28 (MPa)	≥ 42.5
Rc2 (MPa)	≥ 10.5

Tableau.II. 5. L'analyse chimique du ciment.

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (NA5042) (%)	3.00 ± 1.8
Teneur en sulfates (SO ₃) (%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	0.01 ± 0.05
Teneur en chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.09

II.2.3- Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de laboratoire des travaux publics du sud (LTPS SUD) Ghardaïa, L'analyse chimique de l'eau a été effectuée à L'Algérienne des Eaux (unité Ghardaïa).

Tableau.II. 6.Composition chimique de l'eau de gâchage :

Composition	
Tur	0.840
Cond	2070
Sol	1.1
TDS	1178
TC°(25°c)	20.4
PH($\geq 6.5 \leq 9$)	7.34
TH (mg/l)	772
TAC(mg/l)	273.28
Ca2+(mg/l)	176.352
Mg2+(mg/l)	80.672
Cl-(mg/l)	385.728
No3-(mg/l)	21.28
Fe2+(mg/l)	0.034
Hco3-(mg/l)	183
K+(mg/l)	14.54
Na+(mg/l)	190
So4-2(mg/l)	455.585
R.S(mg/l)	2125

II.2.4- 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 fin des ceintures de sertissage.

Il possède une température de fusion d'environ 248 °C.



Photo.II. 3.PET utilisé

Avant son utilisation dans la confection des bétons, le polytéréphtalate d'éthylène broyé est soumis à des essais de laboratoire à savoir : les masses volumiques apparentes et absolues .

II.2.4.1- 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 Ghardaïa (**LTPS SUD**) et sont regroupées sur le tableau(**II.6**) ci-dessous

Tableau.II. 7.Caractéristiques physiques du PET

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

II.2.4.2- l'analyse granulométrique du polyéthylène téréphtalate (PET)

L'analyse granulométrique a été réalisé selon la norme (**EN933-1 et EN 933-2**)
On a utilisé des tamis des différents diamètres selon la granulométrie de PET comme dans la **figure** ci -dessous.



Photo.II. 4. Les tamis utilisés de l'analyse granulométrique du PET

Les résultats de cette analyse sont présentés sur la **figure II.5** ci-dessous.

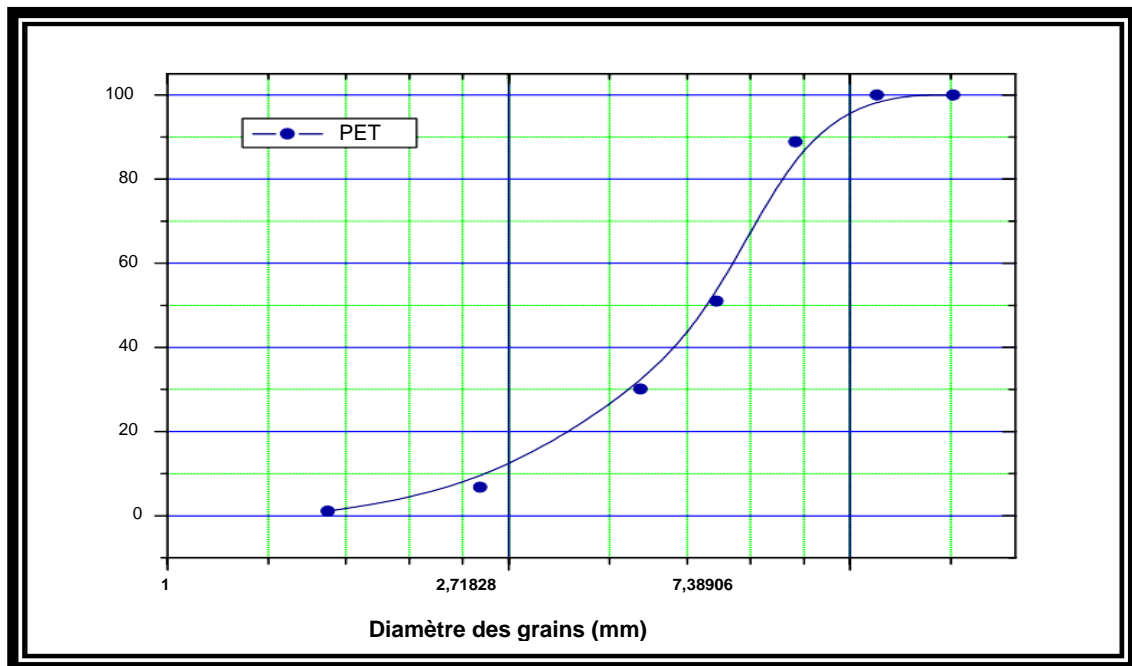


Figure.II. 4. Les résultats de cette analyse

Selon la courbe granulométrique on remarque que les PET possèdent une granulométrie continue qui s'étale entre 1 à 8mm ($D_{max} = 8\text{mm}$).

II.5- Conclusion :

D'après la caractérisation des constituants utilisée pour la confection du béton de sable renforcé par des déchets plastiques, et d'après les essais effectués on peut tirer les conclusions suivantes :

- Le sable utilisé est très propre.
- L'eau de gâchage est l'eau potable du robinet, peut être utilisée pour la composition de notre béton étudié.
- Le ciment utilisé est un ciment résistance aux sulfates **MOKAOUEM PLUS**
- Le type de déchet plastique utilisé : Les ceintures de sertissage des différents emballages.

CHAPITRE III
RESULTATS ET
DISCUSSION

III.1- Introduction

Dans un but de la valorisation des matériaux locaux dans la fabrication d'une nouvelle gamme de béton de sable et l'amélioration de ses propriétés, ce chapitre permet d'analyser et à évaluer l'influence de la nature des sables et le taux de déchet plastique sur le comportement mécaniques.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différents résultats obtenus à partir des essais expérimentaux qui portent sur les résistances mécaniques (Compression et flexion)

III.2- Composition du béton témoin

La composition optimale du béton de sable témoin sera :

Tableau.III. 1.composition du béton témoin

E/C	Eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Ciment (g/cm ³)
40 %	322.4	1352	806
45 %	362.7	1352	806
50 %	403	1352	806
55 %	443.3	1352	806

III.3- Composition du béton du déchet de plastique BSPET :

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux on a utilisé dans notre recherche expérimentale une méthode empirique pour la formulation du béton de sable, cette méthode est basée sur variation le rapport E/C (40 %.45% .50%.55%)Les déchet plastique sont introduits avec les différents pourcentages en volume suivantes : 5 %.10% .15% .20% .25% de la quantité de sable .

Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

Tableau.III. 2.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 5 %

E/C	Plastique 5 %			
	Eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Plastique (g/cm ³)	ciment (g/cm ³)
40 %	322.4	1284	34.06	806
45 %	362.7	1284	34.06	806
50 %	403	1284	34.06	806
55 %	443.3	1284	34.06	806

Tableau.III. 3.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 10 %

E/C	Plastique 10 %			
	Eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Plastique (g/cm ³)	Ciment (g/cm ³)
40 %	322.4	1216.8	68.1	806
45 %	362.7	1216.8	68.1	806
50 %	403	1216.8	68.1	806
55 %	443.3	1216.8	68.1	806

Tableau.III. 4.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 15 %

E/C	Plastique 15 %			
	Eau (g/cm ³)	Sable (g/cm ³)	Plastique (g/cm ³)	Ciment (g/cm ³)
40 %	322.4	1149.2	102	806
45 %	362.7	1149.2	102	806
50 %	403	1149.2	102	806
55 %	443.3	1149.2	102	806

Tableau.III. 5.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 20%

E/C	Plastique 20 %			
	Eau (g/cm3)	Sable (g/cm3)	Plastique (g/cm3)	Ciment (g/cm3)
40 %	322.4	1081.6	136.24	806
45 %	362.7	1081.6	136.24	806
50 %	403	1081.6	136.24	806
55 %	443.3	1081.6	136.24	806

Tableau.III. 6.Optimisation de compositions pour pourcentages Plastique 25 %

E/C	Plastique 25 %			
	Eau (g/cm3)	Sable (g/cm3)	Plastique (g/m3)	Ciment(g/cm3)
40 %	322.4	1014	170	806
45 %	362.7	1014	170	806
50 %	403	1014	170	806
55 %	443.3	1014	170	806

III.4/ Mode de préparation des échantillons : [NF EN196-1]

a)Malaxage :

Le mélange ciment-eau est mélangé pendant 30 secondes à vitesse lente à l'aide d'un Malaxeur à mortier normalisé (photo **III.1**). Le mélange sable -PET bien homogénéisé est ensuite introduit graduellement pendant 30 secondes, on reprend le malaxage pendant 30 seconde a vitesse rapide puis un arrêt pour racler les parois et le fond de la cuve pendant 15 Secondes. On reprend ensuite le malaxage pendant 1.30 minute à vitesse lente puis 02 minute à vitesse rapide afin d'homogène la pâte.

La mise en moule doit se faire immédiatement après l'essai de maniabilité dans notre cas dans des moules normalisés photo(N° **III.2**).

Ces moules servent au moulage de 3 éprouvettes prismatiques de béton de dimension 4x4x16 cm³, puis ils sont conservés dans les conditions de laboratoire ($T=15\pm 5^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de $60\pm 5\%$) durant 24h.



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



Photo.III. 2.Moule normalisé de 4x4x16 cm²

b) vibration :

Après le malaxage on fait couler le mortier dans des moules normalisés (4x4x16) préalablement graissés. Le moule rempli de mortier Photo (III. 2) est placé sur la table à choc, avec un nombre de coups égale à 60 coup/mn.

Après la vibration le moule est retiré , rempli de nouveau jusqu'au débordement, arasage de l'excès et remi sur la table à choc pour compléter l'homogénéisation.



Photo.III. 3.Appareil à chocs.

c) Mode de conservation :

Après 24 heures, on démoule les éprouvettes et on les place dans la chambre de conservation conditionnée à la température de $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ et à l'humidité relative de $97\pm 5\%$ pour une durée de 28 jours.

III.5- Essais expérimentaux effectués :

III.5.1- Essais à la traction par de flexion : [NF P15-471]

C'est l'essai généralement le plus utilisé dans la caractérisation des matériaux.

L'essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques $40\times 40\times 160$ mm, a l'âge 28 jours

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation:

$$R_t = 1,5F_f . L / b^3 \text{ (MPa)}$$

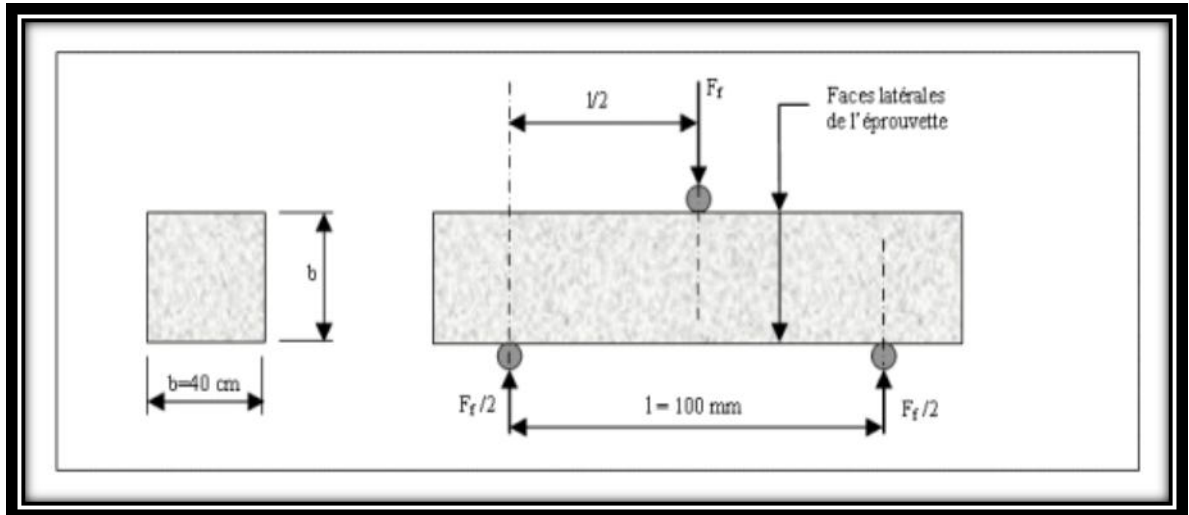
R_t : Résistance à la traction en MPa.

F_t : Charge à la rupture en N.

L : Distance entre axes des rouleaux d'appuis de l'éprouvette $40\times 40\times 160$ mm (L= 100 mm)

b : Largeur de la section carrée du prisme en mm (b = 40 mm)

La figure (III. 1) et la photo (III. 4) montrent le dispositif de flexion :



. Figure.III. 1.Dispositif de flexion à trois points



Photo.III. 4.Essai de résistance à la flexion (3 points).

III.5.2- Essais à la compression : [NF P 15-471]

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette, et Les demi-prismes d'éprouvettes obtenues après la rupture en flexion qui seront rompus en compression.

La résistance à la compression est calculée selon l'équation :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c : résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

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

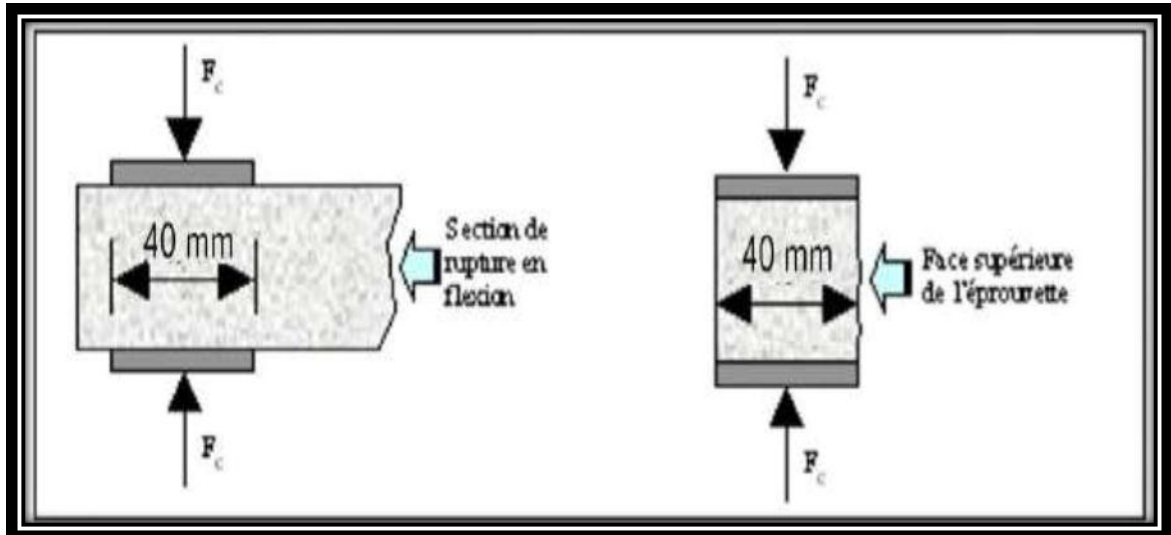


Figure.III. 2.Dispositif de rupture en compression.

Photo.III. 5.Essai de résistance à la compression.

III.5.3- 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 effectués sur 3 éprouvettes de chaque composition.

III.5.4- Masse volumique apparente sèche:

La masse volumique des bétons légers 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 durcis ont été déterminées par pesée après 28 jours de séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

Tableau.III. 7.Moyennes des masses volumiques apparentes sèches en fonction du pourcentage du PET utilisé

Plastique E/C	0%	5%	10%	15%	20%	25%
40 %	2.14	2.22	2.21	2.04	2.09	2.05
45 %	2.16	2.20	2.13	2.01	2.05	1.99
50 %	2.07	2.13	2.08	2.09	2.02	1.97
55 %	2.05	2.09	2.03	2.11	1.99	1.88

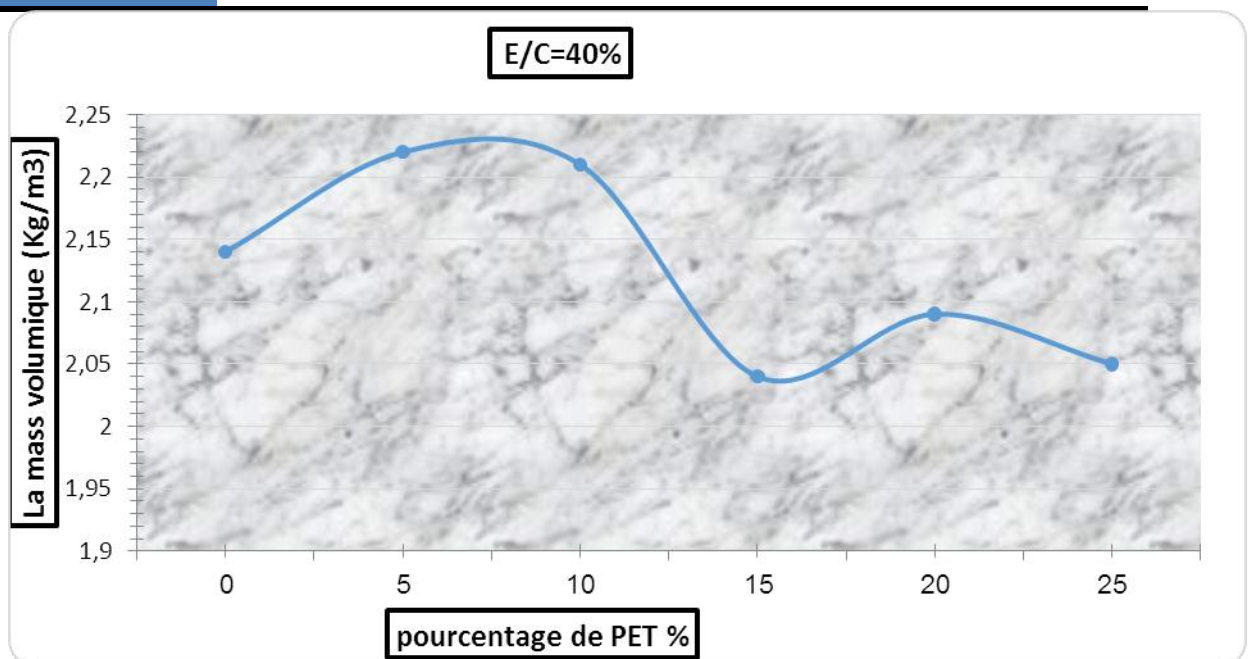


Figure.III. 3.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=40%

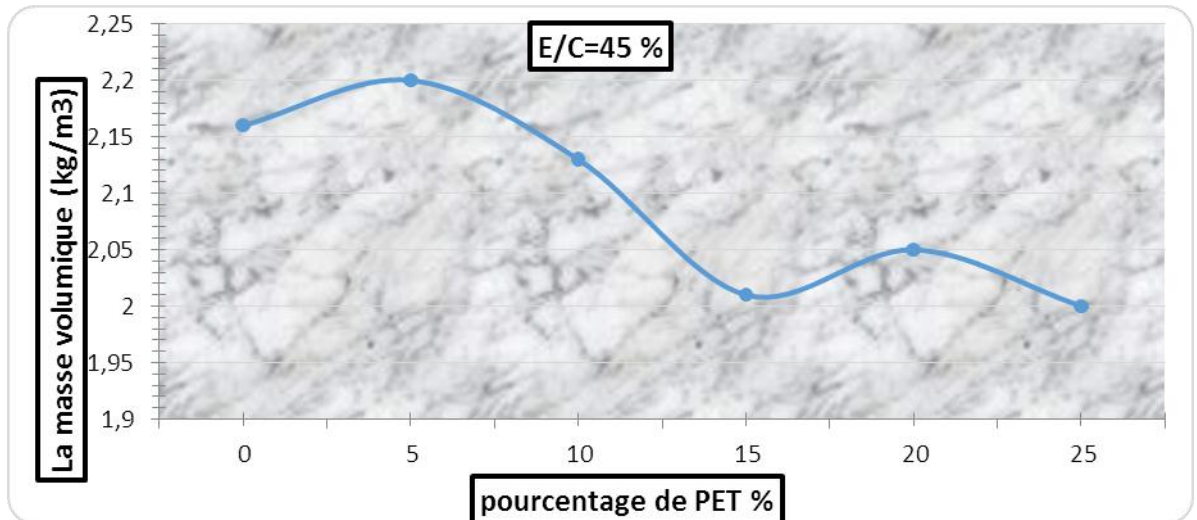


Figure.III. 4.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=45%

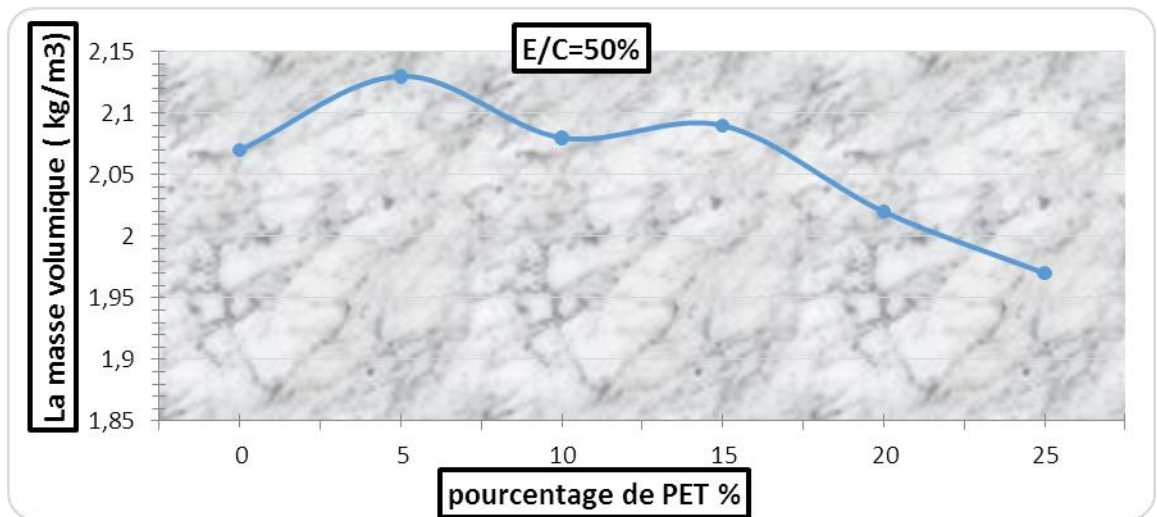


Figure.III. 5.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=50%

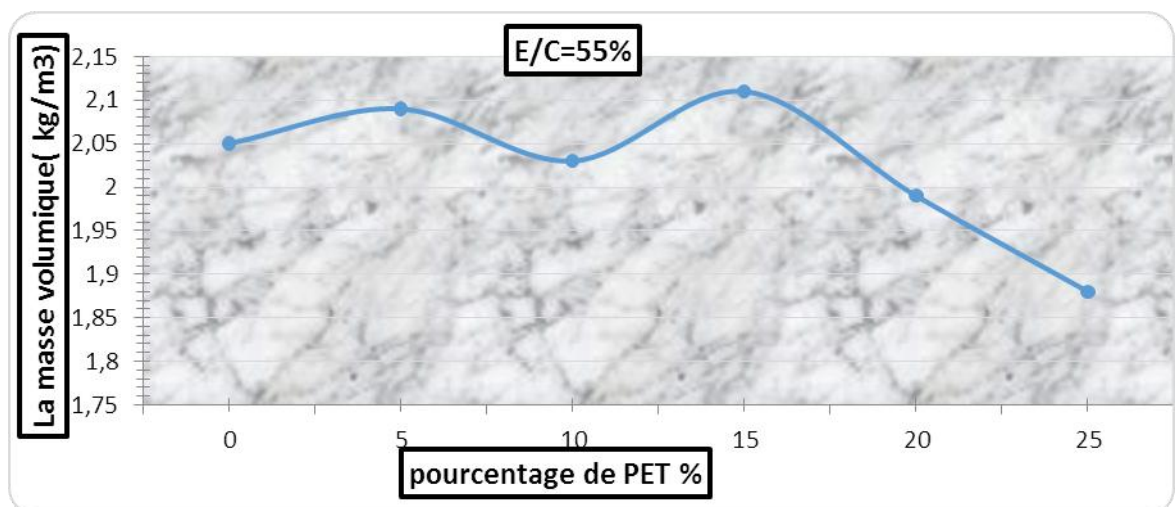


Figure.III. 6.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage du PET pour E/C=55%

D'après les **Figure III.3, III.4, III.5, III.6** on remarque que la diminution de la masse volumique affiliée pour les dosages en PET (5%, 10%, 15%, 20% et 25%). Notons que cette diminution est aussi confirmée dans la littérature [55]. Quoique ce taux de réduction est faible on observe que plus la quantité des granulats PET augmente, plus la densité diminue, cela est dû à la nature légère des granulats de PET. Ces résultats sont en accord avec les résultats de [44] et [53].

III.6- Influence de pourcentage de plastique sur les propriétés mécaniques du béton renforcé par des déchets de plastique :

III.6.1 Effet des déchets plastiques sur la résistance à la compression :

Les résultats des essais de compression, sont représentés dans le tableau III-8 suivant :

Tableau.III. 8.Les résultats des essais de compression

E/C	La résistance à la compression (MPA)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Plastique						
40 %	55,31	54,53	47,34	46,09	44,84	43,75
45 %	54,37	55,31	55,46	42,96	42,5	36,4
50 %	47,34	45,93	40,78	39,06	35,31	34,37
55 %	43,59	41,25	36,09	38,59	28,9	27,5

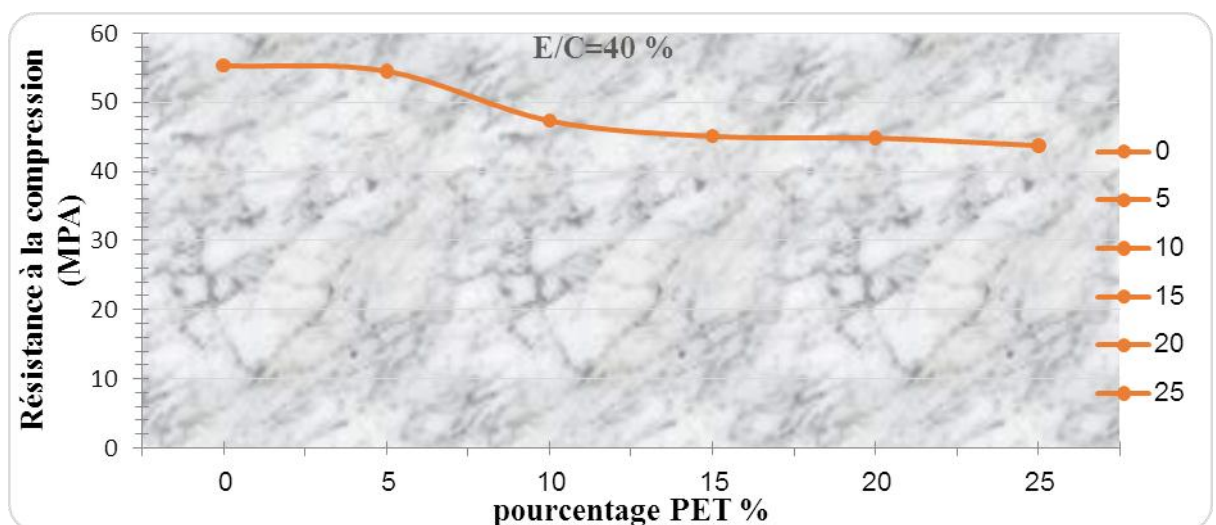


Figure.III. 7.Variation de la résistance a la compression en fonction du Pourcentage des déchets plastique pour E/C=40%

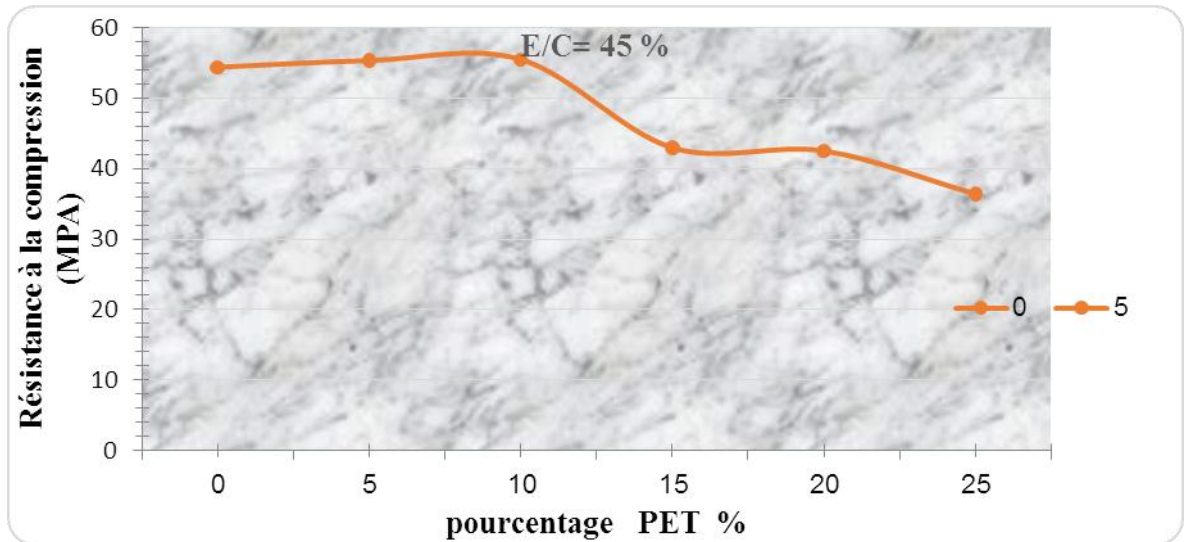


Figure.III. 8.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=45%

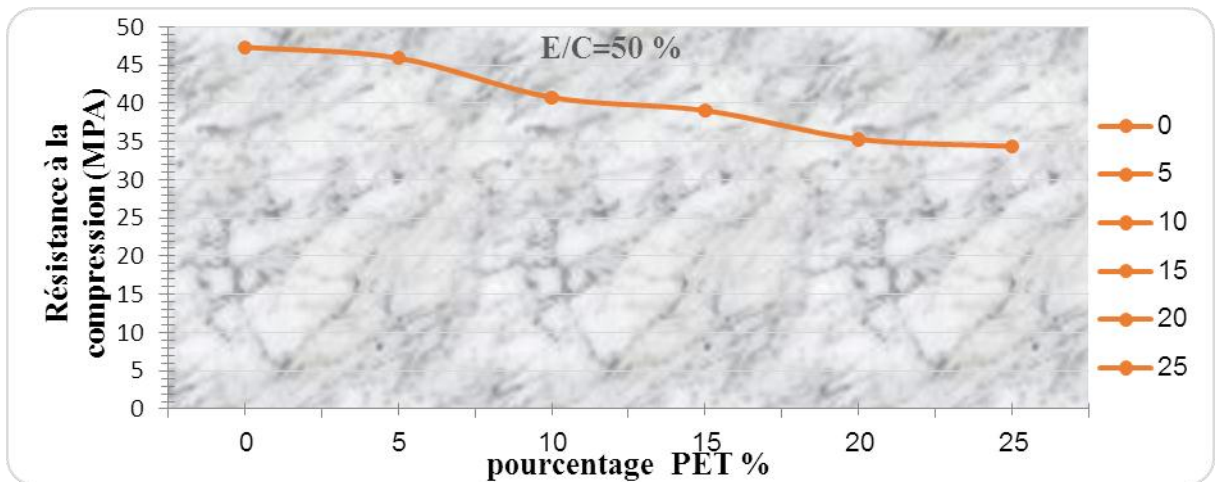


Figure.III. 9.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=50%

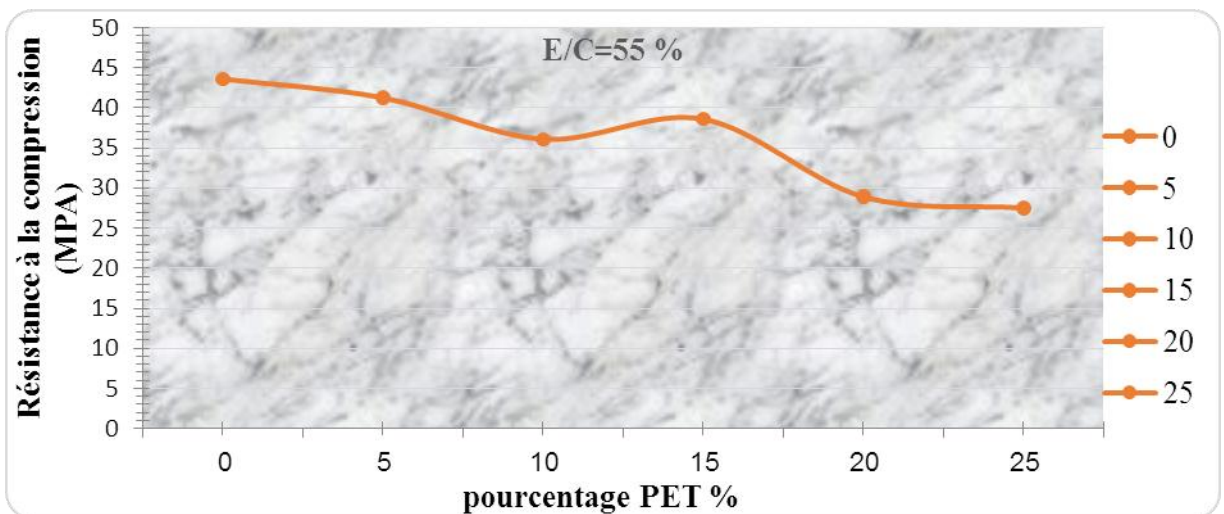


Figure.III. 10.Variation de la résistance a la compression en fonction du pourcentage des déchets plastique pour E/C=55%

Les résultats présentés dans les figures III.7- III.8 -III.9 - III.10 montrent que la résistance à la compression diminue en augmentant le pourcentage des PET quel que soit le rapport E/C .Cette diminution est principalement due à l’augmentation du volume des vides et sans doute, le béton le moins compact est le moins résistant.

les facteurs qui peuvent être responsable de la faible résistance à la compression sont: la très faible force d'adhérence entre la surface des déchets plastiques et la pâte de ciment et la nature hydrophobe des déchets plastiques, qui peuvent inhiber la réaction d'hydratation du ciment en limitant le mouvement de l'eau. Les résultats sont en accord avec [44].

III.6.2- Effet des déchets plastiques sur la résistance à la Flexion :

Les résultats des essais de flexion, sont représentés dans le tableau III-9 suivant :

Tableau.III. 9.Les résultats des essais de flexion

E/C		la résistance à la Flexion (MPA)					
Plastique		0%	5%	10%	15%	20%	25%
40 %		4,69	6,37	1,87	3,6	5,1	4,69
45 %		4,5	5,15	3,42	2,95	4,83	5,25
50 %		5,15	2,95	3,14	2,9	3,33	4,97
55 %		5,29	2,81	1,96	2,53	3,18	3,89

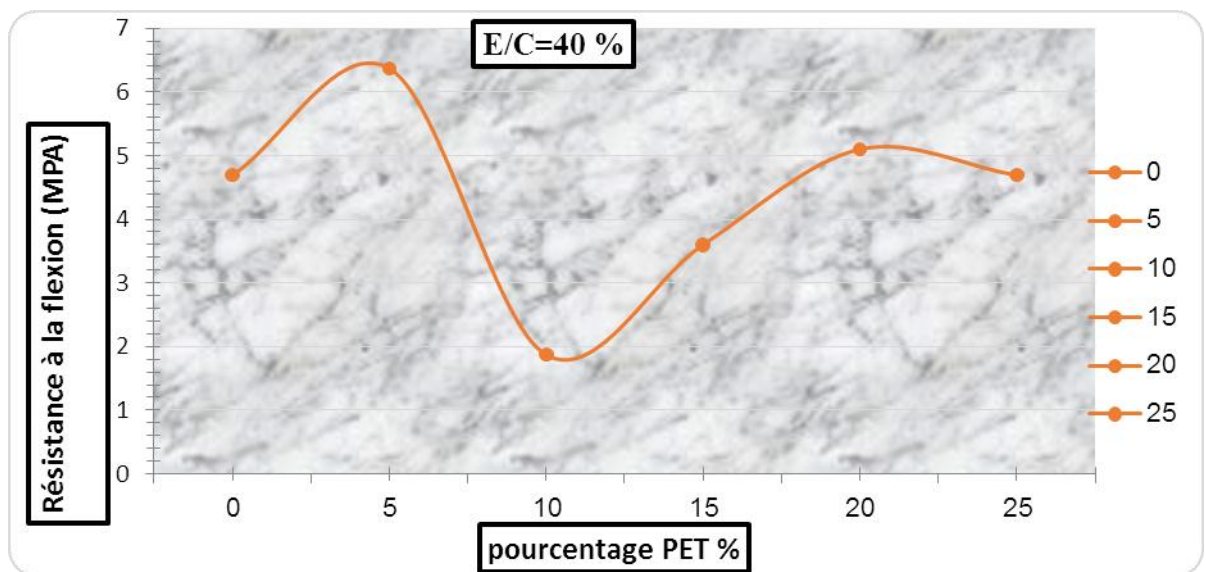


Figure.III. 11.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage

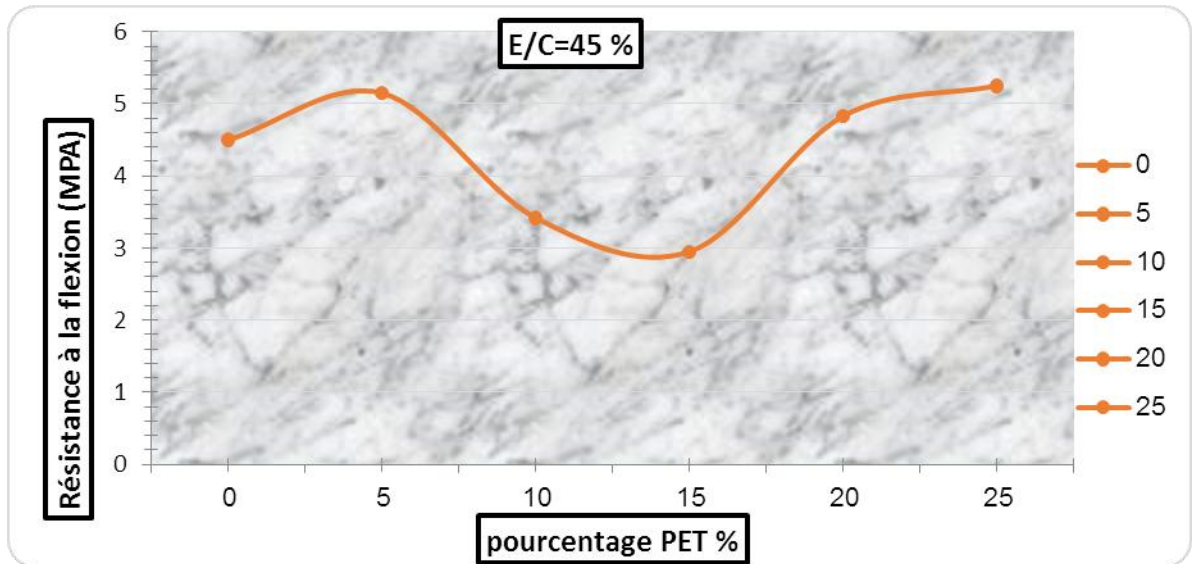


Figure.III. 12.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage.

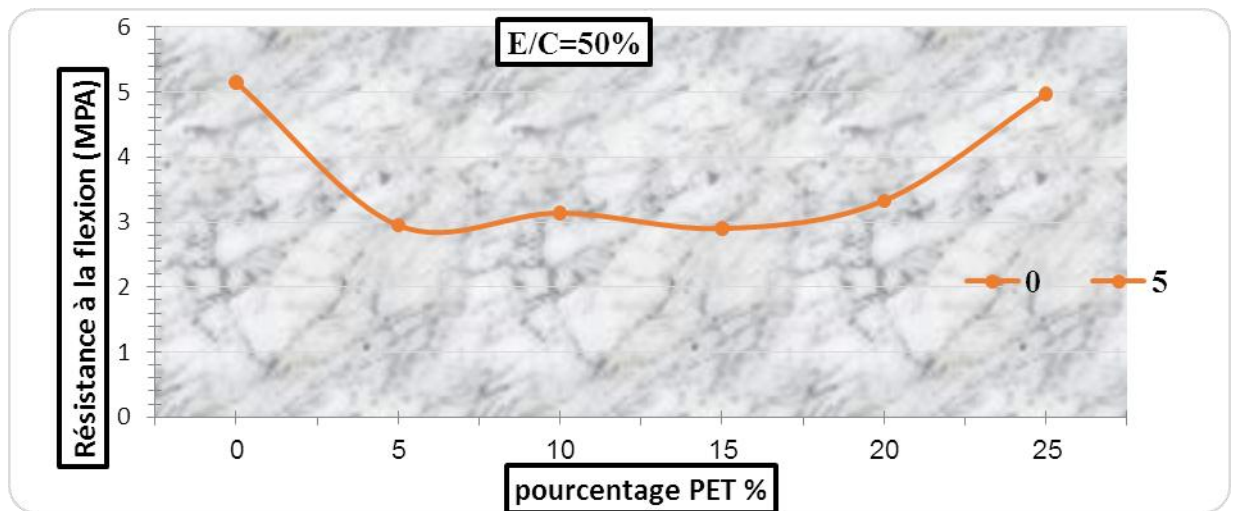


Figure.III. 13.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage

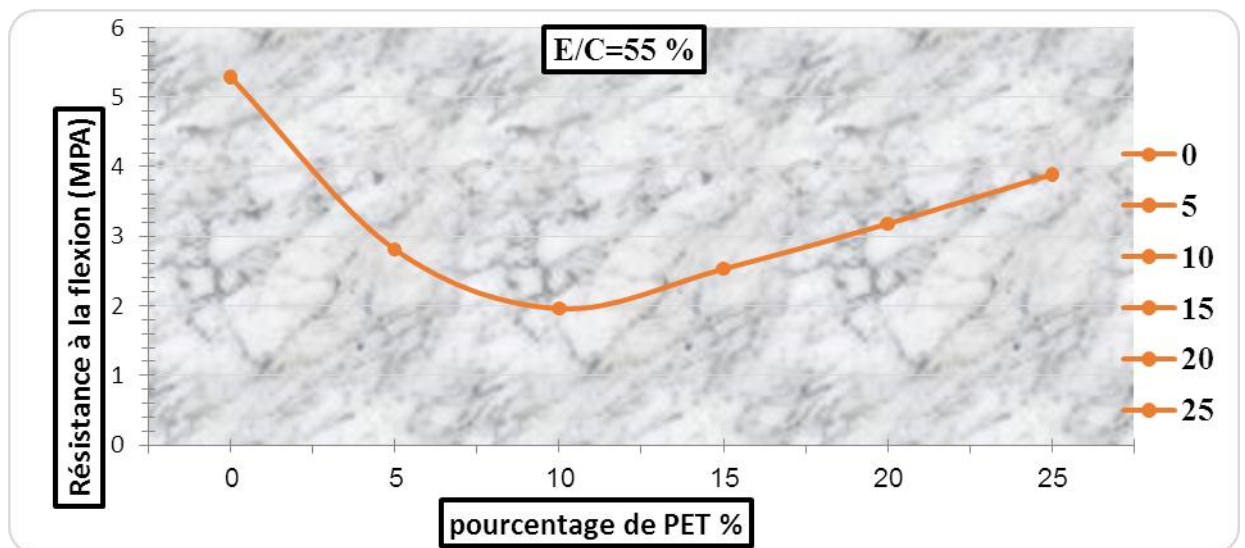


Figure.III. 14.Variation de la résistance a la flexion en fonction du pourcentage

D'après les résultats d'essais de flexion, représentés dans **les figures III.11, III.12, III.13, III.14**, on note qu'une amélioration de la résistance à la flexion en fonction de l'augmentation des pourcentages de PET. Cette croissance est expliquée par le fait d'intégrer les PET (15 et 20 et 25 %), car ces dernières jouent un grand rôle dans la résistance à la flexion, vu la résistance à la flexion élevée des PET.

III.7- Conclusion :

Cette partie est consacrée essentiellement à l'étude de l'influence du pourcentage de PET sur le comportement mécanique de béton de sable.

Et afin de suivre l'influence de ces paramètres, sur le comportement du béton de sable renforcé par des déchets plastiques nous représentons une synthèse de l'essentiel de l'étude mécanique. .

D'après les résultats obtenus on peut tirer :

- la résistance à la compression diminue en augmentant la pourcentage de PET quel que soit le rapport E/C.
- la résistance à la compression maximale est donnée par E/C = 45 % et le pourcentage de PET = 10 % $RC_{max} = 55.46 \text{ MPA}$
- Par contre la résistance à la flexion améliorée en fonction de l'augmentation des pourcentages de PET quel que soit le rapport E/C.
- la résistance à la flexion maximale est donnée par E/C = 40 % et le pourcentage de PET = 05 % $RF_{max} = 6.37 \text{ MPA}$
- Les déchets plastiques améliorent, d'une façon très significative la résistance à la flexion.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets. Cette étude consiste à la valorisation de déchets plastique(PET) dans l'élaboration des bétons de sable, et l'effet de l'utilisation de ces déchets comme granulats sur les caractéristiques des bétons à l'état frais et à l'état durci. L'analyse des résultats obtenus dans le cadre de ce programme expérimental ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- L'introduction des PET dans la formulation des BS contribue à l'amélioration des résistances à la flexion.
- la résistance à la compression diminue en augmentant la pourcentage de PET quelque soit le rapport E/C.
- L'incorporation des plastiques dans la matrice du béton augmente le volume des vides et diminue la compacité du béton.
- On note enfin que 5 % est la fraction optimale pour le rapport E/C=40, 45% et 10% la fraction optimale pour le rapport E/C=50, 55%

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

Recommandations et perspectives

A l'issue de ces conclusions, nous recommandons la poursuite de ces travaux, notamment les points suivants :

- Une étude complémentaire sur le comportement de ces bétons à haute température
- l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de sable en particulier, les caractéristiques thermiques et phoniques.
- Une étude de l'effet de laitier granulé sur la carbonatation de ces bétons.
- L'utilisation d'un malaxeur est recommandée pour garantir l'homogénéité du malaxage.
- Le bon choix du sable de correction est indispensable.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographie :

- [1] **Benaissa, A. ; MORLIER, P. ; TRAM, V. (oct. 1992)** : « Le béton de sable, un matériau non fissurant », Algérie-équipement, N°6, pp7-11.
- [2] **AFNOR « Bétons-Bétons de sable », Projet P18500**
- [3] **LCPC.CEBTP « synthèse des connaissances sur les bétons de sable »** Opération 52 G119 ; Déc. 1986LRCP de Bordeaux.
- [4] **Presse d'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées «Le béton de sable, Caractéristiques et pratique d'utilisation »,** Projet « SABLOCRETE », France, 1994.
- [5] **HADJOUHHA. M « Contribution à l'étude physico-mécaniques et durabilité du béton de sable de dunes –Influence du traitement de cure et de l'ajout des fillers »,** Mémoire de magister. Octobre 2001 Université de Laghouat.
- [6] **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).
- [7] **Ghrieb.A:** Etude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques. Thèse de magister, ENSP (2003).
- [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] **Benaissa. A.,** « Déformation différée du béton de sable » thèse de doctorat de génie civil, université de bordeaux, France, (1992),
- [10] **J.J CHAUVIN** «béton de sable Propriétés d'usage » Séminaire Franco -Soviétique sur le béton de sable, bordeaux les 6 et 7 novembre 199, P79-85.
- [11] **Association of Plastics Manufactures in Europe (APME), Plastic recovery in perspective:** plastics consumption and recovery in Western Europe 2004. www.plasticeurope.org
- [12] **Aattache A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS:** Experimental study on thermomechanical prospérités of Polymer Modified Mortar. Materials & Design (1980-2015) 2013,52:459-469.
- [13]**Benazzouk A, Douzane O, Mezreb K, Quéneudec M:** Physico-mechanical prospérités of aerated cement composites containing shredded rubber waste. Cem. Concr. Comp2006. 28 (7): 650–657.

- [14] **Senhadji Y, Escadeillas G, Benosman A, Mouli M, Khelafi H, Ould Kaci S**: Effect of incorporating PVC waste as agrégat on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2015, 29(7):625-640.
- [15] **Kou S, Lee G, Poon C, Lai W**: Prospérités of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management* 2009, 29(2):621-628.
- [16] **Benosman A, Taïbi H, Mouli M, Senhadji Y, Belbachir M, Bahlouli I, Houivet D**: L'effet de l'ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux Composites Mortier-PET (Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials). *J Mater Environ Sci* 2015:559-571.
- [17] **Akçaözöğlü S, Ulu C**: Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials* 2014, 58:31-37.
- [18] **Foti D**: Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures* 2013, 96:396-404.
- [19] **Aattache A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS**: Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar. *Materials & Design (1980-2015)* 2013,52:459-469.
- [20] **Aattache A, Soltani R, Mahi A**: Investigations for properties improvement of recycled PE polymer particles-reinforced mortars for repair practice. *Construction and Building Materials* 2017,146:603–614.
- [21] **Mounanga P, Gbongbon W, Poullain P, Turcry P**: Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites* 2008, 30(9):806-814.
- [22] **Yacine A, Ratiba MK, Abderrahmane G**: Ceramic waste influence on dune sand mortar performance, *Construction and Building Materials* 2016, 125:703–713.
- [23] **Herki B, Khatib J, Negim E**: Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash. *World Applied Sciences Journal* 2013, 21(9):1356-1360.
- [24] **Kaya A, Kar F**: Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and Building Materials* 2016, 105:572–578.
- [25] **Corinaldesi V, Mazzoli A, Siddique R**: Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste, *Construction and Building Materials* 2016, 123:281–289.

- [26] **Chidiac SE, Mihaljevic SN**: Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. *Cement & Concrete Composites* 2011,33: 855–863.
- [27] **Corinaldesi V, Gnappi G, Moriconi G, Montenero A**, Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. *Waste Management* 2005, 25:197–201.
- [28] **Matos AM, Nunes S, Sousa-Coutinho J**: Cork waste in cement based materials. *Materials and Design* 2015,85:230–239.
- [29] **Brás A, Fábio G, Faustino P**, Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: thermal performance and cost evaluation. *Energy .Build* 2014, 72:296–308.
- [30] **Li JJ, Wan CJ, Niu JG, Wu LF, Wu YC**: Investigation on flexural toughness evaluation method of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 2017,131:449–458.
- [31] **Aamr-Daya E, Langlet T, Benazzouk A, Quéneudec M**: Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties. *Cement& Concrete Composites* 2008, 30:957–963.
- [32] **Binici H, Aksogan O**, Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds,ground PVC and wood chips. *Journal of Building Engineering* 2016, 5:260–266.
- [33] **Chabannes M, Bénézet J, Clerc L, Garcia-Diaz E**: Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. *Construction and Building Materials* 2014,70:428–438.
- [34] **Chakraborty S, Kundu SP, Roy A, Adhikari B, Majumder SB**: Polymer modified jute fibre as reinforcing agent controlling the physical and mechanical characteristics of cement mortar. *Construction and Building Materials* 2013, 49:214–222.
- [35] **Boumhaout M, Boukhattem L, Hamdi H, Benhamou B, AitNouh F**: Thermomechanical characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh. *Construction and Building Materials* 2017.135: 241–250.
- [36] **Raut AN, Gomez CP**: Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder. *Construction and Building Materials* 2016, 126:476-483.
- [37] **Benimam, S., Debieb, F., Bentchikou, M., Guendouz, M., 2014**: Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton. *MATEC Web of Conferences* 11, 01033. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20141101033>.
- [38] **Saadani Sabrina, S., 2008**: Comportement des bétons à base de granulats recyclés (Magistère).Université Constantine 1.

- [39] **Belferrag Allaoua, 2006:** Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes (Doctorat). KASDI Merbah de Ouargla.
- [40] **Rakotosaona, R., Ramaroson, J. de D., Mandimbisoa, M., 2014:** Valorisation à l'échelle pilote des déchets plastiques pour la fabrication de matériaux de construction.
- [41] **Suganthy, P., Chandrasekar, D., 2013.** Utilization of pulverized plastic in cement concrete as fine aggregate.
- (42) **Mercier, J.P., Maréchal, E., 1993.** Chimie des polymères: synthèses, réactions, dégradations. PPUR presses polytechniques.
- [43] **Albano, C., Camacho galindez, N., Hernández, M., Matheus, A., Gutiérrez, A., 2009.** Influence of content particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratio. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- [44] **Saikia, D.N., Brito, J., 2012.** Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- [45] **Gouisseem Linda, 2007.** Contribution à l'amélioration des propriétés du poly éthylène téréphtalate PET recyclé (Magistère). Université Ferhat Abbas-Setif.
- [46] **Benosman, A., kazi, N., Senhadji, Y., Taibi, H., M, M., 2017.** Mechanical strengths of modified PET mortar composites in aggressive MgSO4 medium: ACI & B.S predictions 4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1173375>
- [47] **Jauberthie, R., Rendell, F., Laquerbe, M., 1999.** Dégradation des mortiers sous différents milieux sulfatiques.
- [48] **Frigione, M., 2010.** Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete 30. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>
- [49] **Choi, Y.-W., Moon, D.-J., Chung, J.-S., Cho, S.-K., 2005.** Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.014>
- [50] **Choi, Y.W., Moon, D.J., Kim, Y.J., Lachemi, M., 2009.** Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials* 23, 2829–2835. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.036>
- [51] **Al-Manaseer, A.A., Dalal, T.R., 1997.** Concrete containing plastic aggregates.
- [52] **Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., Prince, W., 2010.** Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates 30. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.028>

- [53] Akçaözöğlü, S., Akçaözöğlü, K., Duran Atiş, C., 2013. Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA). <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.012>
- [54] Marques da Silva, A., Brito, J., Veiga, M., 2014. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars 71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.026>
- [55] Yazoghli, O., Dheilily, R.M., Quéneudec, M., 2005. The valorisation of plastic waste: thermal conductivity of concrete formulated with PET.
- [56] Kou, S.C., Lee, G., Poon, C.S., Lai, W.W.L., 2008. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes 29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.014>
- [57] Safi, B., Sebki, G., Chahour, K., Belaid, A., 2017. recycling of foundry sand wastes in self-compacting mortars: use as fine aggregates. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S18.023>
- [58] Guendouze Mohammed, M., 2017. Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un Eco-matériaux de construction à base de déchets plastique : application au béton de sable. (Doctorat). YAHIA FARÈS DE MÉDÉA.
- [59] Albano, C., Camacho galindez, N., Hernández, M., Matheus, A., Gutiérrez, A., 2009. Influence of content particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratio. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- [60] Ge, Z., Huang, D., Sun, R., Gao, Z., 2014. Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate 73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.005>
- [61] Koide, H., Tomon, M., Sasaki, T., 2002. Investigation of the use of waste plastic as an aggregate for lightweight concrete. <https://doi.org/10.1680/scc.31777.0018>
- [62] Soroushian, P., Plasencia, J., Ravanbakhsh, S., 2003. Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete 100.

Introduction :

- [63] LATROCH NOUREDDINE « Effet des agrégats à base de déchets plastiques sur les différentes propriétés des matériaux composites mortier-polymère » 2018/2019.

Université Mostaganem

Les normes :

[EN 196-3, EN 196-7] : Détermination du temps de prise et de la stabilité.

[NF EN 196-2] : Analyse chimique des ciments.

[NF EN 933-1] : L'analyse granulométrique .

[NF EN 12620] : Module de finesse.

[NF EN 933-8] : L'équivalent de sable.

[NF EN 1097-7] : Masse volumique absolue.

[NF EN 1097-6] : Masse volumique apparente.

[NF P 18-554]: Compacité et porosité

[EN P 15 – 461] : La composition chimique du sable.

[NF EN196-1] : Préparation de mortier.

[NF P15-471] : Résistance à la traction par flexion mortier.

[NF P 15-471] : Résistance à la compression mortier.

ANNEXES

Annexes:



50kg

Mokaouem
مقاوم بلوس **Plus**

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT



- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.









L A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire"

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques

	r
	0,5 à 3 %
	1,8 à 3
	1,2 à 3
	0,01 à 0,05

Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

Propriétés physiques

	r
	25 à 28
	3200 à 3800
	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

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



LAFARGE ALGÉRIE
 Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
 Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
 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





mesures effectués sur les éprouvettes

L'échantillon dans l'étuve



l'étuve



Les ceintures de sertissage





مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: UNITE GHARDAIA

N° Dossier interne: Etude recherche

Classe granulaire: SABLE

Prise d'essai: 310 g

Equipement utilisés : BALANCE

Lieu de travail : Service Beton

Date : 25-02-2020

Opérateur : Bendekken

Lieu de Prélèvement :

N° D'inventaire :

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80,00					
63,00					
50,00					
40,00					
31,5					
25,00					
20,00					
16,00					
12,5					
10,00					
8,00					
6,3					
5,00					
4,00					
3,15					
2,5					
2,00					
1,60					
1,25					
1,00					
0,80	0	0	0,00	100,00	100%
0,63	0,1	0,1	0,03	99,97	100%
0,500	0,2	0,3	0,10	99,90	100%
0,400	1,2	1,5	0,48	99,52	100%
0,315	16	17,5	5,65	94,35	94%
0,250	106	123,5	39,84	60,16	60%
0,200	73	196,5	63,39	36,61	37%
0,160	79	275,5	88,87	11,13	11%
0,125	18	293,5	94,68	5,32	5%
0,100	9	302,5	97,58	2,42	2%
0,080	6	308,5	99,52	0,48	0%
0,063	1,3	309,8	99,94	0,06	0%

Module de Finesse = 0,95

L'opérateur
Bendekken

Visa du responsable