

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département de génie civil*

## ***Mémoire***

*Présenté pour obtenir*

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : génie civile

Option : matériaux de construction

Par

- KHARMOUCHE Issam
- BOURENNANE Ahmed

*Thèmes*

**Contribution sur le recyclage des déchets de plastiques sur la  
durabilité aux basses températures**

*Évalué le : .....*

*Par la commission d'évaluation composée de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>....</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. Layachi GUELMINE</i>	<i>...</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.</i>	<i>....</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2021/2022*

## *Remercîments*

Tout d'abord, Je remercier Allah le Tout-Puissant de m'avoir donnée le courage et la patience pour terminer ce travail modeste.

Je remercie cordialement, Mon encadreur **Dr Layachi GUELMINE**,  
de m'avoir proposé ce thème, de m'avoir guidé et suivi durant  
l'accomplissement de ce travail.

Je tiens à remercier **les membres de jury** qui ont acceptés De juger et  
examiner notre travail.

Je tiens à remercier tous ce qui a contribué de près et de loin pour la  
réalisation de ce travail.

## ملخص

يفحص هذا البحث تأثير حبيبات النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها على تطور بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للملاط ومثاقته ضد ذوبان الجليد. مع وضع هذا في الاعتبار ، قمنا بتطوير ثلاث ملاط: الملاط الشاهد ، ملاطان أخريان يتضمنان 7% ، و 14% من حبيبات البلاستيك. أظهرت نتائج توصيف الملاط المدروسة أن إدراج حبيبات البلاستيك مع الملاط الأسمنتية ينتج عنه انخفاض في أدائها الميكانيكي وهبوط طفيف في لودونتها. بالإضافة إلى ذلك ، عملت حبيبات المطاط على تحسين مثانة الملاط البلاستيكية نوعا ما.

الكلمات المفتاحية: ملاط أسمنتي ، ركام بلاستيك معاد تدويره ، مقاومة ميكانيكية، ديمومة للصقيع

## Résumé

Cette investigation examine l'effet des granulats de déchets de plastique recyclés sur l'évolution de quelques propriétés physico-mécaniques des mortiers et leur durabilité vis-à-vis le gel-dégel. Dans cette optique, nous avons élaborés trois mortiers : un mortier témoin, deux autres mortiers incorporés 7%, et 14% de granulats de plastique GPR. Nos résultats de la caractérisation des mortiers étudiés, montrent que l'inclusion des granulats de plastique avec le mortier de ciment produit une chute de leur performance mécanique et leur étalement de table. En addition, l'inclusion des GPR améliore la durabilité au gel-dégel de mortier de plastique.

**Mots Clés :** mortier de ciment , granulats de plastique recyclés, résistance mécanique, durabilité au gel-dégel.

## Abstract

This investigation examines the effect of recycled plastic waste aggregates on the evolution of some physical and mechanical properties of mortars and their durability against freeze-thaw. With this in mind, we developed three mortars: a control mortar, two other mortars incorporated 7%, and 14% GPR plastic aggregates. Our results of the characterization of the mortars studied show that the inclusion of plastic aggregates with the cement mortar produces a drop in their mechanical performance and their table spreading. In addition, the inclusion of GPRs improves the freeze-thaw durability of plastic mortar.

Keywords: cement mortar, recycled plastic aggregates, mechanical resistance, freeze-thaw durabilit

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail à

Ma mère,

Mon père,

Ma famille

Mes professeurs,

Ainsi que tous mes amis

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

# Table des matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : synthèse bibliographique.....	3
I.1 –Introduction.....	3
I.2- Les déchets industriels .....	4
I.2.1. Définition .....	4
I.2.2 Origine de la production des déchets.....	4
I.2.3. les types de déchets industriels.....	5
I.2.3- Les déchets plastiques .....	7
I.2.3.1. Historique de matière plastique.....	7
I.2.3.2. La gestion des déchets .....	9
I.3 Valorisation des déchets plastiques : dans le domaine de Génie Civil .....	11
I.3.2. l'effet des granulats de plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires ..	12
I.3.2.1. L'ouvrabilité.....	12
I.3.2.2. Résistance en compression .....	13
I.3.2.3.Résistance à la flexion.....	13
I.3.2.3. Sorptivité .....	14
I.3.2.4. Effet des granulats de plastiques sur la durabilité des matériaux cimentaires ..	14.
I.4. Revue générale sur les mortiers .....	15
I.4.1. Définition du mortier de ciment.....	16
I.4.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE MORTIERS.....	16
I.4.3 .principaux constituants de mortier de ciment .....	18
I.4.4. Propriétés essentielles d'un mortier de ciment.....	20
1. Caractéristiques principales.....	20
I.4.5. Propriétés de la pate de ciment .....	20
I.4.5.1. Réaction d'hydratation .....	20
I.4.5.2. durcissement de la structure des matériaux cimentaires .....	21
Chapitre II : Matériaux et Méthodes Expérimentales.....	23
II-1 Introduction .....	23
II-2 Caractérisation des matières premières .....	23
II.2.1 Essai sur le sable .....	23

II.2.2 Analyse granulométrique .....	23
I.2.1.2 Equivalent de sable .....	24
II.2.1.3 Masse volumique apparente et absolue .....	25
II.2.1.4 Compacité .....	25
II.2.1.5 Porosité .....	26
II.2.2. Essai sur le ciment .....	27
II.2.2.1. Masse volumique absolue .....	27
II.2.2.2. Masse volumique apparente .....	27
II.2.3. L'eau de gâchage .....	28
II.3. Propriétés rhéologiques du ciment .....	28
II.3.1 Consistance normale .....	28
II.3.2. Prise .....	29
II.4. Etude du mortier frais .....	30
II.4.1 Préparation des mortiers étudiés .....	30
II.5.2.1.Mode opératoire.....	31
II.6. Essai physico-mécaniques sur le mortier durci. ....	34
II.6.1.Propriétés physiques .....	34
II.6.1.1. Absorption par immersion .....	34
II.6.1.2 Masse volumique apparente .....	35
II.6.3.Propriétés Mécaniques .....	35
II.6.3.1.Résistance à la flexion .....	35
II.6.3.2. Résistance en compression .....	36
II.4.4.3. Etude de durabilité de béton de caoutchouc .....	37

Chapitre III : Résultats et Discussions.....	40
III.1. Introduction.....	41
III.2. Etude des propriétés fraîches .....	41
III.2.1. L'étalement de table.....	41
III.3. Etude de durabilité au gel-dégel .....	42
III.3. 1. Absorption par immersion .....	43
III. 3. 3. La résistance en flexion trois points .....	45
III.3.4 La résistance en compression .....	45
III.3.2. Vitesse ultrasonique.....	46
III.4. Conclusion .....	47
Conclusion Générale.....	48
Conclusion Générale et perspectives.....	49
Références Bibliographiques .....	50

# Liste des figures

## Chapitre I :

figure I.1 : les différents types des déchets.....	5
Figure I.2. Quelques exemples des déchets dangereux.....	7
Figure I.3 : Type des agrégats plastiques utilisés dans le béton / mortier.....	10
Figure I.4 : Etalement du béton en fonction du pourcentage de E- plastic .....	12
Figure I. 5: La variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours .....	13
Figure I.6: La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours .....	14
Figure I.7: Coefficients de la sorptivité du béton à différents volumes de granulats .....	14
Figure I.8 l'effet des WPLA sur la durabilité aux attaques chimique par HCL.....	15
Figure.I.9. Résistance en compression après 28 jours d'immersions dans NaOH20%.....	16

## Chapitre II :

Figure II.1 : Analyse granulométrique.....	23
Figure. II.2 : Courbes Granulométriques des Granulats utilisés.....	24
Figure II.3 : Essai d'équivalent de sable.....	25
Figure II.4 : Masse volumique apparente.....	26
Figure II.5 : malaxeur normalisé EN 196-1.....	31
figure II.7 : Essai d'ouvrabilité.....	33
Figure II.8 : table d'étalement.....	34
Figure II.9 : Schéma mécanique de l'essai de rupture par flexion.....	36
Figure. II.10 : Dispositif expérimental de l'essai de flexion.....	36
Figure II.11 : Dispositif de l'essai de rupture en compression.....	37
Figure II.12 : Bac de dégel.....	38
Figure II.13 : Cycle de gel/dégel type.....	39



### **Chapitre III:**

Figure III.1 :L'étalement de table des mortiers étudiés.....	41
Figure.III.2. Aspect visuelle des spécimens après l'attaque par le gel-dégel.....	42
Figure. III.3 : L'absorption par immersion des mortiers exposés aux 45 cycles de gel-dégel .....	43
Figure.III. 4. Résistance en flexion des mortiers incorporant des GPR exposés aux 45 cycles de gel-dégel .....	44
Figure.III. 5. Résistance en compression des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel- dégel.....	45
Figure.III.6. Vitesse ultra-soniques UPV des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel- dégel en fonction des dosages en GPR.....	46

## **Liste des Tableaux**

Tableau II.1 : Opération de malaxage des mortiers .....	31
Tableau II.2 : Composition des mortiers préparés.....	32

## **Introduction Générale**

Le recyclage de certains déchets avec les matériaux cimentaires constitue une alternative, à faible coût économique, aux granulats minéraux conventionnels. Parmi ces matières recyclables, on distingue les déchets de plastique dont, leur accumulation constitue une source potentielle de problèmes environnementaux. L'utilisation de ces déchets dans le domaine de la construction répondre à la demande sociétaire d'un plus grand respect de notre environnement.

L'objectif de cette étude est d'examiner les potentialités de l'utilisation des déchets de plastique dans une matrice cimentaire, par substitution aux granulats minéraux conventionnels. Le matériau qui sera un mortier de ciment, contenant différentes fractions de granulats issus du broyage de déchets de plastique.

L'objectif principal de cette étude consiste à examiner l'effet des granulats de plastique recyclés sur quelques propriétés fraîches et durcies des mortiers de ciment et leur durabilité vis-à-vis les basses températures( gel-dégel). Après l'optimisation de la formulation, des tests de caractérisation, aussi bien physico-mécaniques, seront conduits afin de mettre en évidence l'effet des particules de plastique sur de comportement physique et mécanique des mortiers de plastique.

Une démarche associant les étapes suivantes : études, analyses et expériences, se résume comme suite :

La première étape consiste à présenter les déchets de plastique, identifier les différents constituants de mortier de ciment, les facteurs qui ont une influence sur le comportement de ce matériau. La seconde étape est consacrée à la caractérisation des matières premières (sable, ciment, granulats de plastique) ; ainsi que la présentation des différentes techniques expérimentales utilisés dans cette étude.

La dernière étape consiste à présenter les résultats trouvés lors de cette étude .En fin, on termine ce travail par une conclusion et des perspectives

Chapitre I : synthèse bibliographique

## Chapitre I : synthèse bibliographique

### I.1 -Introduction

La production des déchets de plastique augmente d'un jour à l'autre. Ceux-ci représentent une gêne écologique et économique extrêmement danger pour la nature et l'environnement lorsqu'ils sont mal gérés. Dans cette contexte, le recyclage de ce type des déchets avec les matériaux cimentaires présente une alternative, à faible coût par rapport aux granulats minéraux. Pour maîtriser leurs effets néfastes sur la nature et l'environnement, la priorité est désormais donnée à la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action qui vise notamment à obtenir, a partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie. Le secteur de la construction, et en particulier celui basé sur l'utilisation de matériaux cimentaires n'échappera pas à cette évolution ; Il faudra limiter les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre, économiser les ressources naturelles, penser à la déconstruction avec l'analyse du cycle de vie, tout en améliorant les propriétés d'usages des matériaux conventionnels. Le but de ce chapitre consiste au premier lieu de présenter les différents types de déchets solides industriels, puis les modes de gestion écologique de ce type de déchets ainsi que leurs effets nuisibles sur la nature et la santé publique. En deuxième lieu, nous présentons quelques procédés de recyclage des sous-produits de l'industrie et les déchets de démolition des constructions. Enfin, nous monteront quelques exemples de valorisation des déchets de plastique pour protéger la nature et l'environnement vis-à-vis leurs effets néfastes [1,2,3].

## I.2- Les déchets industriels

### I.2.1. Définition

Les déchets industriels sont typiquement les déchets générés par les entreprises appartenant à différents secteurs d'activités économiques tels que les industries manufacturières, la construction, les services et l'agriculture.

Pour les industriels, le caractère de déchet est bien souvent lié à une valeur commerciale nulle ou négative, le déchet à valeur commerciale positive n'étant plus considéré comme déchet, ce qui induit une perception différente de celle des autorités compétentes.

La diversité des origines explique la nature et les caractéristiques très diverses des déchets qui constituent ce gisement. Ils peuvent être soit dangereux, soit non dangereux ou encore inertes. Cette diversité induit une multiplicité dans les traitements susceptibles d'être appliqués. [1,2].

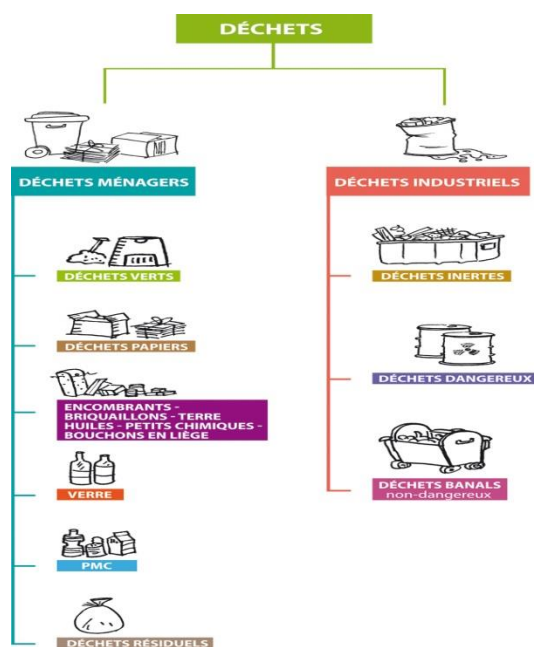
### I.2.2 Origine de la production des déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

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

### I.2.3. les types de déchets industriels:

Une typologie des déchets a été mise en place par l'Union européenne à partir de nature des déchets, leur origine ou leur mode de collecte et de traitement dans des centres appropriés, en vue de réduire au maximum leur impact sur l'environnement et sur l'homme. Sans ce tri sélectif, leur revalorisation est compromise. En fonction de leur nature, il est possible de classer les déchets en trois grandes catégories : les déchets dangereux, les non-dangereux, les inertes.



La figure I.1 : les différents types des déchets

- **Les déchets dangereux**

Les premiers sont considérés dangereux en raison du fait qu'ils contiennent des éléments toxiques pouvant avoir des répercussions graves sur l'environnement et la santé publique. Ce sont des déchets organiques de type solvant ou des hydrocarbures, ou bien minéraux comme les boues ou les acides, ou enfin gazeux. Pour bien les distinguer entre eux, trois sous-catégories parmi celle des déchets dangereux peuvent être établies telles que :

- Les déchets industriels spéciaux : chimiques, radioactifs, biologiques, d'origine

industrielle, présentent un véritable danger pour l'environnement et les hommes. Ces déchets de haute dangerosité ou toxiques doivent être traités à part et via une filière différente de celle du traitement des déchets non-dangereux.

- Les déchets ménagers spéciaux : Ce sont les tous les produits pouvant être explosifs comme les bombes aérosols, corrosifs tels que les acides, irritables comme l'ammoniaque ou inflammables. Tous ces produits sont dangereux, car ils présentent un danger pour l'environnement et la santé[1,2].

- **Les déchets non-dangereux ( banals)**

Les déchets non-dangereux sont dits aussi banals et ne présentent donc aucune dangerosité caractérisée selon l'annexe I de l'article R 541-8 du Code de l'environnement. Ni toxiques, ni corrosifs ou explosifs, ces déchets sont souvent assimilés aux ordures ménagères, car ils ont la même nature et sont donc traités et éliminés de la même manière que les simples ordures. Pour exemple, nous pouvons citer les matières plastiques telles que le PVC ou le polystyrène, les bois qui ne sont pas traités, cartons ou les emballages non souillés [3]

- **Les déchets inertes**

Un déchet inerte correspond à : à un déchet ni toxiques, ni corrosifs ou explosifs, ces déchets sont souvent assimilés aux ordures ménagères, car ils ont la même nature et sont donc traités et éliminés de la même manière que les simples ordures [4]

« Des déchets peuvent être considérés comme inertes sans qu'il soit procédé à des essais spécifiques dès lors qu'il peut être démontré à l'autorité compétente, sur la base des informations existantes ou de procédures ou schémas validés, que les critères définis au paragraphe 1 ont été pris en compte de façon satisfaisante et qu'ils sont respectés » [5]

- **Les Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD) :**

Ils sont de même nature que les déchets dangereux, mais ils ont la particularité d'être produits en faible quantité et répartis de façon non homogène sur le territoire. Ils proviennent essentiellement de l'activité des artisans et des petites entreprises



Figure I.2. Quelques exemples des déchets dangereux

## I.2.3- Les déchets plastiques :

### I.2.3.1. Historique de matière plastique

Le plastique est une invention étonnante qui est apparue pour la première fois en 1860, par Alexander Parks. Aujourd'hui, nous en utilisons 24,7 tonnes par an en Europe uniquement, car le plastique est le matériau du 21<sup>e</sup> siècle. Il fait désormais partie de toutes les industries.

1496 : Racontant les événements du deuxième voyage de Christophe Colomb, il est rapporté qu'il y a un arbre en Amérique qui produit un jus laiteux appelé Ca-hu-chu par les Amérindiens, qu'ils utilisent pour fabriquer des boules de gomme élastique comme outil pour des jeux amusants.

1838 : Pour la première fois de l'histoire, le chimiste et physicien français Henri Victor Regnault fabrique du PVC. Mais le processus a traversé de nombreuses étapes avant de réussir.

1839 : Le chimiste américain Charles Goodyear invente le procédé de vulcanisation, qui est un procédé chimique qui vise à convertir les polymères apparentés en matériaux avec un degré de tolérance plus élevé en ajoutant du soufre. Cet ajout conduit à la formation de chaînes de réticulation dans la structure du caoutchouc (pour les caoutchoucs vulcanisés).

1860 : Le scientifique Alexander Parkes a mis au point un matériau qui pouvait être solide, liquide, rigide, élastique, hydrofuge et opaque, appelé PARAXINE. Il la présenta ensuite au public à l'Exposition internationale de Londres en 1862.

1865 : Paul Schützenberger a préparé de l'acétate de cellulose, et le plus gros problème était qu'il était difficile de le dissoudre et ne pouvait donc pas être utilisé.



Cependant, ce matériau présente de nombreux avantages, tels que le fait d'être ininflammable et de mieux préserver sa transparence et ses couleurs.

1870: Lorsque la guerre a empêché l'importation de l'ivoire d'éléphant, Phelan & Cullinder, le fabricant de boules de billard, a lancé un concours pour savoir qui pouvait trouver un matériau alternatif pour l'ivoire, et a promis 10000 \$ au gagnant, qui était John Wesley Hayatt et son frère, en inventant le celluloid.

1880 : le PVC ou le polychlorure de vinyle est développé. Il est devenu plus flexible, plus facile à fabriquer et recyclable.

1890 : les Anglais Cross et Bewan découvrent une matière très filable et de consistance très sirupeuse qu'ils appellent Viscose.

1907 : Le belge Léo Baekeland invente un plastique auquel il donne son nom : la Bakélite. Ce matériau présente des particularités, il est thermorésistant, isolant et thermodurcissable. Il est également léger et semi-transparent. C'est pourquoi il est beaucoup utilisé, aujourd'hui encore, comme isolant électrique.

Après la Première Guerre mondiale (1918) : Le prix du pétrole diminue et il devient donc la matière première utilisée pour fabriquer le plastique. De plus, c'est le matériau le plus facile à transformer. C'est le début de la pétrochimie.

1930 : En Wallace Carothers invente le Polyamide et le Polystyrène. Ce dernier a de bonnes performances thermiques, est léger, facile à travailler, insensible à l'humidité et perméable à la vapeur d'eau.

1941 : la mélamine est créée. Son succès n'est pas immédiat mais apparaît dans l'immédiat après guerre grâce à ses propriétés exceptionnelles de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques, à l'abrasion et au feu.

Après la Seconde Guerre mondiale (1945) : Les PVC, nylon, formica, tergal arrivent sur le marché pour pouvoir tout reconstruire vite et remplacer les matériaux tels que le bois, le métal, le verre ou les tissus naturels.

1954 : Giulio Natta et Karl Rehn, deux chimistes respectivement italien et allemand, obtiennent, un polypropylène à structure géométrique cristalline régulière.

Aujourd'hui : Les déchets plastiques constituent plus de 7% de la masse totale des ordures

ménagères ; mais, malheureusement, ils ne sont pas biodégradables. Ils sont incassables, imputrescibles et ne craignent ni le gel, ni l'assèchement. Ils sont donc

une source durable de pollution. Ils rejettent lors de leur dégradation des produits toxiques pour notre environnement et notre santé. Il est à présent urgent de résoudre ce problème et de réduire notre consommation de plastique. (FRANCK, 2013)

### **I.2.3.2. La gestion des déchets :**

En Algérie, l'accumulation des déchets, constitue une source potentielle des problèmes environnementaux et économiques majeurs. En effet, l'utilisation des produits industriels, de différentes catégories, génère des quantités importantes de déchets qui ne bénéficient à aucune action de valorisation. Ils sont très souvent entreposés dans des décharges non contrôlées polluant de l'environnement, au travers leur incinération à l'air libre ou encore, leur enfouissement. En Europe, ces modes de gestion des déchets sont totalement décriés et la réglementation actuelle impose une gestion écologique pour protéger la nature et l'environnement [6, 7,8]. Cette situation de non maîtrisées déchets industriels provoque

D'apparition de plusieurs pratiques :

- le brûlage des déchets en pleine air ou dans des chaudières à bois.
- le mélange des déchets de différentes catégories.
- la mise en décharge sauvage.
- Le stockage non approprié.

En matière de gestion des déchets, deux filières existent et proposent :

- soit, des procédés de valorisation ;
- soit, des techniques d'élimination pure et simple des déchets.

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, le polychlorure de vinyle PVC, le polyéthylène téréphtalate PET, les fibres de PET, le polyéthylène à haute densité PEHD, la mousse du polyuréthane rigide PUR ...etc.), la céramique, le polystyrène expansé PS, le bois, le verre, le liège, les fibres d'acier, les coproduits issus de l'exploitation agricole (lin, olive, coquille de riz, jute, fibre de palmier...etc.). Chacun de ces déchets a donné un effet spécifique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci [1,2,3] .

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 [1,2,3].

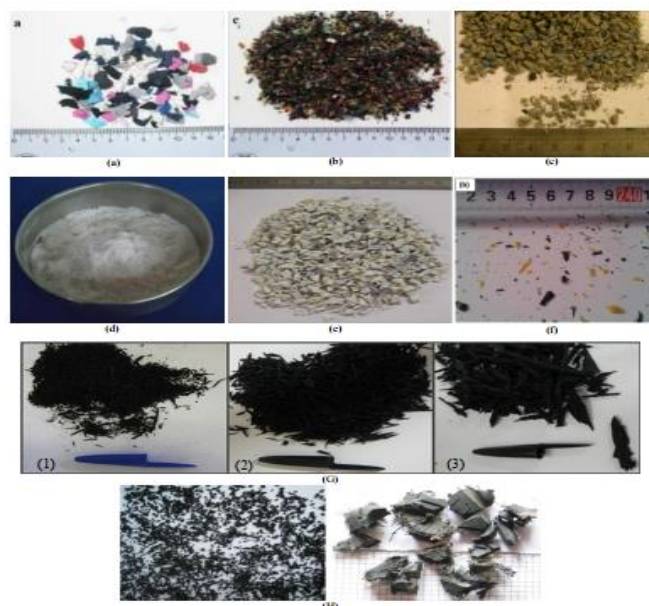


Figure I.3 : Type des agrégats plastiques utilisés dans le béton / mortier.

(a) Ethylène acétate de vinyle - (EVA) (4/8 mm), (b) Câbles en polychlorure de vinyle (PVC) (0/4mm), (c) Tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC) (<5 mm), (d) Polyéthylène téréphtalate (PET) (<1mm), (e) Polycarbonate (PC) (<5mm), (f) Polyéthylène à haute densité (PEHD), (G) Caoutchouc pneumatique (SBR) (1)-(1/2 mm) (2)-(2/4 mm) (3)-(4/8 mm),(H) Caoutchouc pneumatique – à gauche (agrégats) / à droite (déchets)

### I.3 Valorisation des déchets plastiques : dans le domaine de Génie Civil :

La gestion des déchets constitue une préoccupation majeure pour les autorités en charge de ce secteur. Elle représente aujourd'hui un véritable enjeu tant financier, en raison de l'augmentation croissante des coûts de gestion des déchets, qu'environnemental, lié d'une part au risque d'insuffisance d'exutoires de traitement à moyen terme, et d'autre part au gaspillage des matières premières. La gestion des déchets regroupe la collecte,

le transport, la valorisation et l'élimination des déchets généralement issus des activités humaines. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

À la lumière de l'épuisement effrayant des ressources naturelles de la planète, le besoin est apparu de nombreuses techniques qui réduisent l'utilisation de ces ressources ou sont réutilisées ou recyclées en d'autres matériaux pouvant être utilisés dans le même domaine d'où ils ont été extraits ou dans un autre domaine. Il a été démontré que les résultats obtenus par le processus de recyclage des déchets ne se limitent pas à réduire sa taille et à maîtriser le problème, mais plutôt à le dépasser pour obtenir des avantages économiques et des opportunités précieuses pour l'économie, comme contribuer à la création d'emplois dans le domaine du travail.

La valorisation des déchets de génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des normes de qualité très strictes. Le recyclage des déchets a deux impacts importants : l'impact économique et l'impact. Même dans de nombreux pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction, en particulier dans le ciment ou le béton comme la poudre, la fibre ou les granulats.

Il est clair que cette approche est de développer et de soutenir l'utilisation de ces déchets

industriels dans divers ouvrages de génie civil qui, d'une part, contribueront à la préservation de l'environnement, et d'autre part, réduiront les coûts induits par l'utilisation de matériaux de plus en plus rares, notamment dans certaines régions du pays.

### **I.3.2. l'effet des granulats de plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires**

Dans la littérature, il y a plusieurs études qui ont été évaluées les effets de l'inclusion des granulats de plastique recyclés sur les propriétés physiques et mécaniques des matériaux cimentaires [5,6,7].

### I.3.2.1. L'ouvrabilité:

L'investigation réalisé par par Batayneh et al. [8] ont montré que la matrice incorporant 20% d'agrégats de plastique a été diminué la maniabilité jusqu'à 25%. On autre, cette tendance est due à l'inclusion des granulats en plastique [9, 10]. Ce comportement est dû à la présence d'une quantité importante de l'eau libre dans les mélanges contenant du plastique que dans le mélange de béton contenant des agrégats naturels, les agrégats en plastique ne peuvent pas absorber de l'eau lors du gâchage . Dand autre étude, Senthil et al. [11] ont étudié les effets de l'ajout des déchets des pièces électroniques(E-plastique) sur la maniabilité du béton. Des E-plastiques ayant des proportions de 10,20,30, 40 et 50 % ont été utilisés. Ils ont montré que la maniabilité du béton a diminué jusqu'à un rapport d'aspect de 50% (Figure I.12).

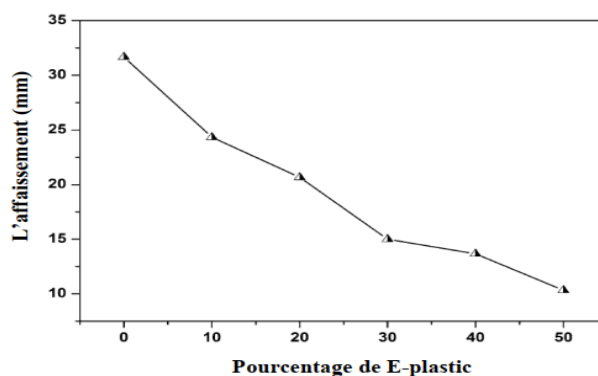
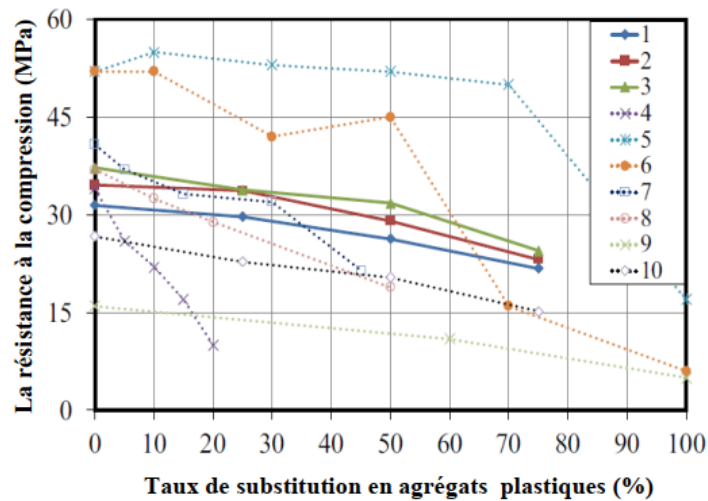


Figure I.4 : Etalement du béton en fonction du pourcentage de E- plastic [11]

### I.3.2.2. Résistance en compression :

Plusieurs études ont été constaté [8,9,11] que l'incorporation des agrégats plastique a diminuée la résistance en compression des matériaux cimentaires.

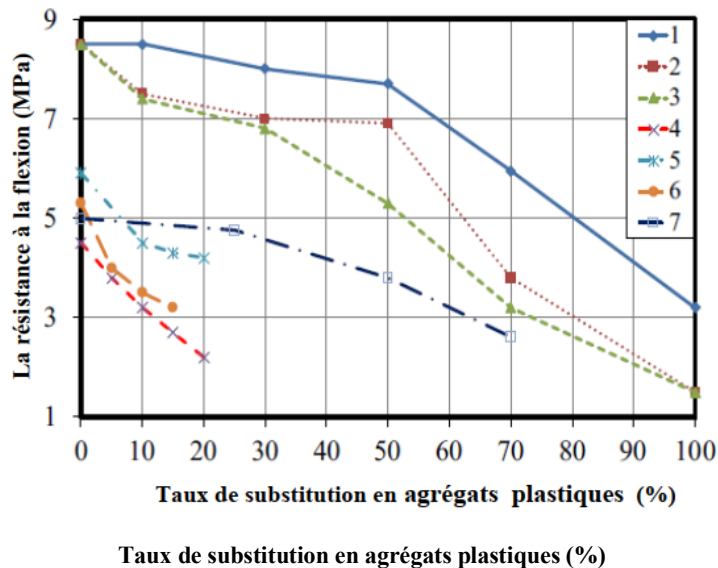
La figure I.5 montre quelques résultats à 28 jours de la résistance en compression du béton/mortier contenant des déchets plastiques par la substitution partielle des agrégats naturels.



**Figure I. 5:** La variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours [8]

### I.3.2.3. Résistance à la flexion

D’une manière similaire au comportement de la résistance en compression, les résultats illustrés sur (la figure I.6), nous nous montrons que l’inclusion de tel type d’agrégat plastique abaisse la résistance en traction par flexion du béton/mortier.



**Figure I.6:** La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des agrégats plastiques à 28 jours [8]

### I.3.2.3. Sorptivité :

L'étude conduit par Senthil et al. [11] pour étudier les propriétés de transfert d'humidité en phase liquide du béton incluant les déchets des pièces électroniques E-plastique (polystyrène à fort impact HIPS). Le béton a été préparé avec différents pourcentages (0,10,20, 30, 40 et 50%) de HIPS en remplacement partiel des agrégats grossiers naturels en volume. Leurs résultats ont révélé que les valeurs de la sportivité ont augmenté avec l'augmentation de la teneur en HIPS; toutes les valeurs étaient supérieures au béton témoin. Cependant, elles ont diminué avec l'augmentation de l'âge (Figure I.39).

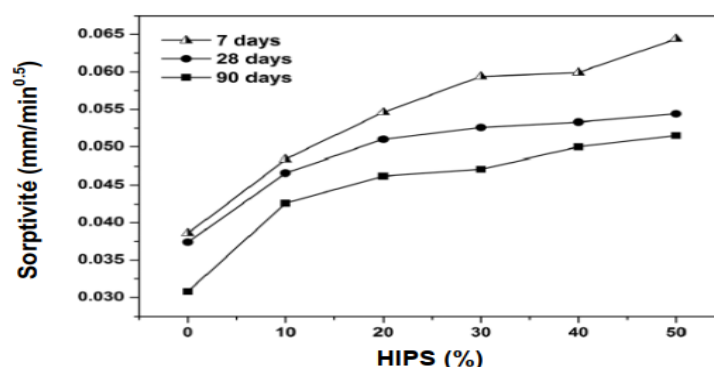


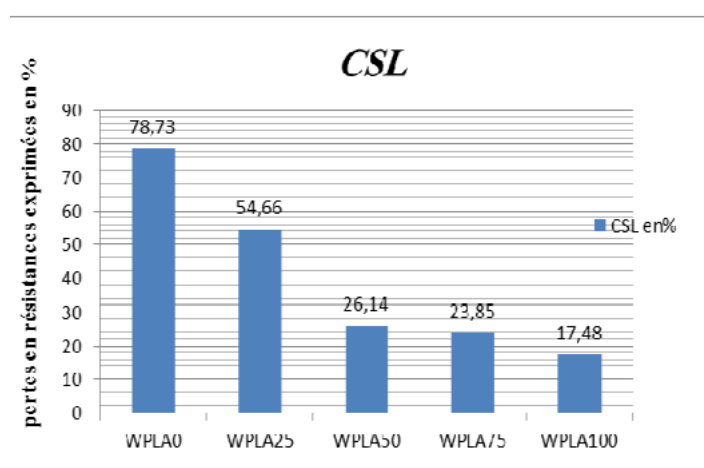
Figure I.7: Coefficients de la sorptivité du béton à différents volumes de granulats HIPS [11].

### I.3.2.4. Effet des granulats de plastiques sur la durabilité des matériaux cimentaires :

Plusieurs études ont été conduit sur l'influence des granulats plastique recyclés sur durabilité matériaux cimentaires contenant ce types des agrégats. Il s'agit notamment l'absorption d'eau et la pénétration des ions chlorures. En général, la perméabilité des espèces chimiques agressives à travers les pores du béton/mortier est le principal facteur qui contrôle plusieurs propriétés de durabilité. Les essais tels que la mesure d'absorption d'eau, et la diffusion des ions chlorures peut fournir des informations sur la capacité du béton à empêcher la pénétration des espèces chimiques nuisibles [9,10].

➤ **La durabilité de mortier de plastique au solution HCL**

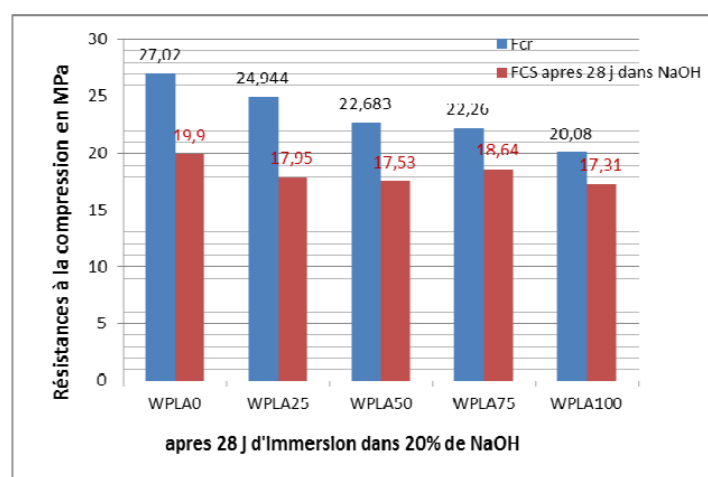
L'exposition des mortiers de plastiques durant 28 jours d'immersion dans une solution de HCl (5%) réduit fortement les pertes de résistance mécanique par rapport le mortier de référence sans granulats de plastique.



**Figure I.8** l'effet des WPLA sur la durabilité aux attaques chimique par HCL.

➤ **Attaque basique NaOH 20% :**

Des études récents rapportés que l'inclusion des déchets de plastique de 0 à 100 dans le mortier améliore fortement la durabilité aux attaque NaOH20% des matériaux cimentaires comme montre la figure I.10.



**Figure.I.9.** Résistance en compression après 28 jours d'immersions dans NaOH20%.



## I.4. Revue générale sur les mortiers :

### I.4.1. Définition du mortier de ciment

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

### I.4.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE MORTIERS

Il existe une multitude de mortiers, que l'on obtient en faisant varier le liant (type et dosage), le sable (nature et granularité), les adjuvants et ajouts (plastifiant, entraîneur d'air, hydrofuge, agent d'adhérence, fibres ...) et les quantités d'eau.

En matière de liant, tous les **ciments** et **chaux** peuvent être employés. Le type et le dosage doivent être choisis selon l'ouvrage à réaliser et son environnement.

dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

- **Les mortiers de ciment:**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1:3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

- **Les mortiers de chaux:**

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

- **Les mortiers bâtards:**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

- **Les mortiers fabriqués sur chantier:**

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silice-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables.

- **Les mortiers industriels:**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- mortiers d'imperméabilisation,
- mortier d'isolation thermique,
- mortier de jointoiement,
- mortier de scellement, mortier pour chapes,
- mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,

### **I.4.3 .principaux constituants de mortier de ciment**

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

Les mortiers sont constitués par des mélanges de:

liant (ciment ou chaux), eau, sable, et un adjuvant

### 1. Les liants:

Généralement, on peut utiliser:

- les ciments normalisés (gris ou blanc);
- les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..);
- les liants à maçonner;
- les chaux hydrauliques naturelles;
- les chaux éteintes

### 2. Les sables:

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu’en volume comme c’est souvent le cas, afin d’éviter les erreurs de dosage, par suite de l’augmentation de volume de sable humide. Ils peuvent être:

- naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silice-calcaire.
- naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites.

Ils sont anguleux et durs.

- spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
  - sable de laitier.
  - sable de briques concassées.
  - polystyrène expansé.

Certains sables sont à éviter, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- fins: jusqu'à 1,6 mm;
- moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- gros: jusqu'à 5 mm.

### **3. Les adjuvants:**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants [12]:

- les plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);

### **4. Les ajouts:**

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont:

- poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..);
- fibres de différentes natures;
- colorants (naturels ou synthétiques) [12] ;

## **I.4.4. Propriétés essentielles d'un mortier de ciment**

### **1. Caractéristiques principales:**

Les caractéristiques principales des mortiers sont [12]:

- ouvrabilité
- prise
- résistances mécaniques
- retrait et gonflements, etc.

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de: une partie de ciment et de 3 parties de sable normalisé dont les grains s'échelonnent de 80 microns à 2 mm , 0,45 partie d'eau et passent dans un fuseau bien déterminé. Ce mortier est malaxé et mis en place dans des moules métalliques suivant des méthodes normalisées. On fait sur ce mortier des essais rhéologiques et éventuellement la prise et la chaleur d'hydratation. Beaucoup d'essais de laboratoires se font sur les prismes de 4 x 4 x 16 cm (résistances mécaniques, retrait, gonflement, absorption capillaire, résistances au gel et aux eaux agressives).

#### **I.4.5. Propriétés de la pate de ciment :**

##### **I.4.5.1. Réaction d'hydratation :**

On entend par hydratation du ciment toutes les réactions qui se développent se développent entre le ciment et l'eau. En d'autres termes, les silicates et aluminates en présence d'eau forment des produits d'hydratations (gel) qui donnent avec le temps une masse ferme et dure (la pâte de ciment hydratée). Le Chatelier était le premier qui a remarqué que les produit d'hydratation du ciment sont chimiquement les mêmes que les produit d'hydratation des composée seuls, dans des conditions similaires. Cela été confirmé plus tard par H. Steneinour. Dû au fait que les produits d'hydratation du ciment ont une très faible solubilité dans l'eau ; quel que soit le mode de précipitation des produits d'hydratation, la vitesse de cette hydratation décroît continuellement, si bien que, même longtemps après, il reste une quantité appréciable de ciment non hydraté. Par exemple, après 28 jours de ciment avec l'eau, T.C. power sa constaté que les grains de ciment se sont hydratés jusqu'à une profondeur de 4 $\mu$ m seulement et de 8 $\mu$ m après une année. Il a montré que l'hydratation totale dans des conditions normales n'est possible que pour les particules de ciment inférieur à 50 $\mu$ m, par contre, l'hydratation complète a été obtenue par broyage continu du ciment dans l'eau pendant cinq jours. Propriétés physico-chimiques de la poudre du ciment (la finesse, la composition chimique) et les conditions atmosphériques ambiantes. [12].

### **I.4.5.2. durcissement de la structure des matériaux cimentaires :**

Après la prise du liant cimentaire, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement. Elle est beaucoup plus longue ; pour les ciments à durcissement rapide, on obtient après quelques jours la quasi-totalité de la résistance, mais pour d'autres ciments le durcissement se poursuit pendant des mois. La plupart des propriétés mécaniques de la pâte de ciment durcie semblent dépendre non pas de la composition chimique du ciment hydraté mais aussi de la structure poreuse des produits d'hydratation (gel) vus au niveau des dimensions colloïdales. Il est donc important d'avoir une bonne illustration des propriétés physiques de la structure du gel de ciment. La pâte de ciment fraîche est un réseau plastique de particules de ciment dans l'eau, mais, une fois que la pâte a fait prise, son volume apparent ou brut demeure approximativement constant. A n'importe quel stade de l'hydratation, la pâte durcie est constituée d'hydrates très mal cristallisés des différents composés considérés collectivement comme un gel, de cristaux de  $\text{Ca(OH)}_2$ , de quelques composants mineurs, de ciment non hydraté et le reste d'espaces vides remplis d'eau dans la pâte fraîche. Ces vides sont appelés pores capillaires, mais, à l'intérieur même du gel, il existe des vides interstitiels, appelés pores de gel [12].

*Chapitre II : Matériaux et Méthodes  
Expérimentales*

## Chapitre II : Matériaux et Méthodes Expérimentales

### II-1) Introduction :

Dans cette étude, nous essayons d'estimer la durabilité au gel-dégel des mortiers de ciment incluant des granulats de plastique recyclés GPR. Dans la première partie de ce chapitre on caractérise les matières premières utilisées. Par la suite, on décrit la procédure de la composition, la préparation et la conservation des composites préparés. On termine ce chapitre par la présentation des méthodes utilisées pour déterminer les propriétés fraîches et durcies des mélanges étudiés.

### II-2) Caractérisation des matières premières :

#### II.2.1) Essai sur le sable :

#### II.2.2) Analyse granulométrique : NFP.18-560[21]

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et formes des granulats utilisés. On utilise une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par tamisage. La courbe qui relie le pourcentage des passants aux diamètres des tamis est appelée courbe granulométrique. A partir de l'analyse Granulométrique, certains coefficients de classification peuvent être déterminés :



Figure II.1 : Analyse granulométrique



### A. Module de finesse :

La finesse du sable étudié peut être quantifiée par le calcul du module de finesse  $M_f$ . celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture 0.08-0.16-0.315-0.63-1.25-2.5- et 3.15 le module de finesse représente, en quelque sorte, et de manière approchée, la surface comprise entre la courbe granulométrique et l'axe horizontale supérieure du graphe. Il est exprimé par la formule suivante :

$$M_f = \frac{[\sum \text{des refus des tamise (0.08;0.16;0.315;0.63;1.25;2.5;3.15)en(\%)]}{100} \quad (\text{II. 1})$$

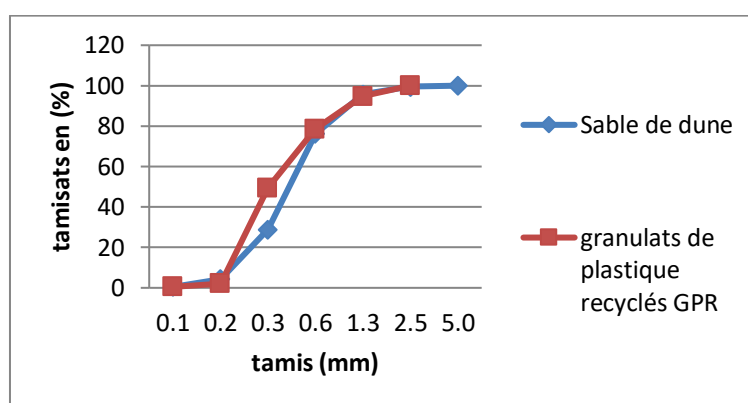


Figure. II.2 : Courbes Granulométriques des Granulats utilisés.

D'après la courbe granulométriques, on remarque que les granulats de caoutchouc recyclés sont plus fins de les granulats de sable de dune.

#### I.2.1.2 Equivalent de sable : NFB.18-598[21]

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable, il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis de 5mm. 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 floculent. La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, a la hauteur totale du floculat.

Ce coefficient est déterminé conformément à la norme **NFP.18-598**. ON détermine la qualité des sables par les coefficients suivants :

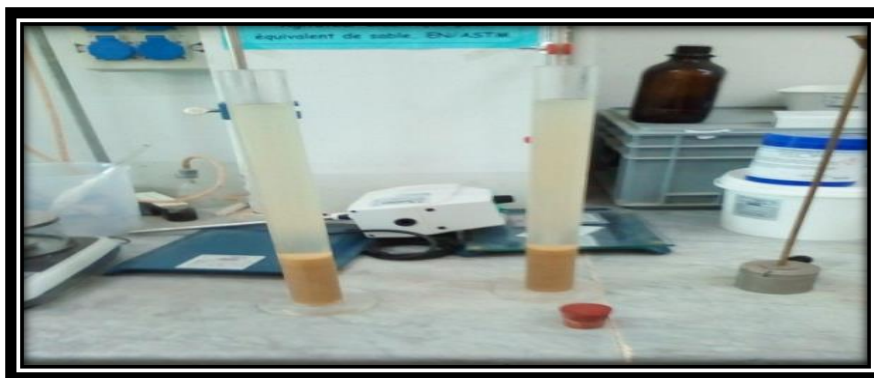


Figure II.3 : Essai d'équivalent de sable.

L'équivalent du sable visuel :  $E_{sv} = h'2/h1$  (II.2)

L'équivalent du sable par piston :  $E_{sp} = h2/h1$  (II.3)

Avec :

$h2, h'1$  : hauteur du sable propre seulement avec et sans piston ;  $h1$  : hauteur du sable + les éléments fins.

### II.2.1.3 Masse volumique apparente et absolue :

La masse volumique apparente et absolue des différents granulats est déterminés conformément à la norme **NFP 18-555[3]**.

- **Masse volumique apparente :**

La masse volumique apparente est le rapport de la masse d'échantillon sec  $M$  au volume total apparent  $Vt$ . Il s'agit de rempli un volume de  $1 \text{ dm}^3$  et déterminer sa masse  $M$  par peser, soit :



Figure II.4 : Masse volumique apparente

- **La masse volumique absolue :**

La masse volumique absolue  $\rho_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Pour déterminer celle-ci, on utilise la méthode de l'éprouvette graduée. Pour opérer dans de bonnes conditions, on utilise une éprouvette graduée en verre de 500cm<sup>3</sup>. Le volume du liquide déplacé détermine le volume absolu  $V_s$  des grains solides.

$$\rho_s = M/V_s \quad (\text{II.4})$$

#### II.2.1.4 Compacité : NFP.18-555[21]

C'est le rapport du volume absolu  $V_s$  de la matière au volume total  $V_t$ . Elle est donnée par la formule suivante :

$$C = V_s / V_t \quad (\text{II.5})$$

#### II.2.1.5 Porosité : NFP.18-555[21]

C'est le rapport du volume des vides  $V_v$  au volume total  $V_t$ . Elle est donnée par la formule suivante ;

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = 1 - C \quad (\text{II.9})$$

## II.2.2. Essai sur le ciment :

### II.2.2.1. Masse volumique absolue : NFP 18-558[21]

On détermine la masse spécifique d'un liant par le densimètre le Chatelier. La masse spécifique peut être indice de la qualité du liant, en générale, sa valeur permet de déceler l'introduction des adjuvants ou des produits étrangers au liant la masse spécifique est la masse d'un liant par unité de volume de matière pleine, examinée dans les conditions ambiantes (température, pression) constantes.

Afin de réaliser cet essai, il faut que le liant à analyser soit nettement pulvérisé en se servant du benzène ou d'une essence minérale n'ayant pas une action chimique sur le liant à analyser, la température doit rester constante pendant l'opération (18-20°C).

- On pèse 60g du liant ;
- On introduit cette quantité dans le densimètre le chatelier déjà rempli du benzène jusqu'à un niveau déterminé ;
- On introduit le densimètre dans un bain thermostatique à une température de (20±1°C) ;
- Lorsque le niveau du benzène devient stable on note le volume déplacé V ;
- On calcule la masse spécifique par la formule suivante.

$$\rho_s = \frac{M}{V_s} \quad (\text{II.7})$$

Où ; M est la masse du liant dans le densimètre.

### II.2.2.2. Masse volumique apparente :

La densité apparente d'un matériau est le poids d'une unité de volume de matériau. Il s'exprime en kg/m<sup>3</sup>. A cet effet on se sert des équipements suivants :

- 1-un entonnoir ;
- 2- un récipient d'un litre de volume
- 3-une règle ;
- 4-une balance précision 0.01g.

➤ L'essai consiste à :

- 1-Tarer le récipient M1 ;
  - 2-Remplir le récipient posé au- dessous de l'axe de l'entonnoir avec la poudre de ciment ;
  - 3- Faire l'opération sans vibration. Raser avec la règle appuyée sur les bords de récipient ;
  - 4-nettoyer l'extérieur du récipient ;
  - 5-Peser de nouveau le récipient rempli, soit M2, sa masse
- La masse volumique apparente est calculée par :

$$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{V} \quad (II.8)$$

### II.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage remplit deux fonctions principales, d'une part, une fonction physique qui permet de conférer au mortier les propriétés de fluidification et d'autre part une fonction chimique qui contribue à la réaction d'hydratation. L'eau de gâchage des mélanges de mortiers confectionnés est issue directement du robinet du réseau public d'eau potable. Ces propriétés chimiques n'ont pas fait l'objet de la présente étude. Donc, elle est supposée propre et ne contenir aucune impureté nuisible conformément à la norme NF.18-303.

## II.3. Propriétés rhéologiques du ciment :

### II.3.1 Consistance normale : NFP.15-573[21]

L'essai de consistance normale permet de déterminer le pourcentage d'eau nécessaire pour fabriquer une pâte dite de consistance normale. La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. La lecture donnant l'épaisseur de la pâte restante entre l'extrémité inférieure de la sonde et le fond du moule, quand celle-ci cesse de s'enfoncer sous son

propre poids de  $(6 \pm 1\text{mm})$ . On détermine la quantité d'eau à laquelle la consistance normale est réalisée.

Le dispositif utilisé dans cet essai est l'appareil de Vicat. Il est composé essentiellement d'un piston vertical immobile, mené à son sommet d'un plateau destiné à recevoir une charge, et portant un curseur de déplacement devant une règle graduée, à sa partie aiguille, partie mobile avec la bande et l'aiguille pèse  $300 \pm 1\text{g}$  avec une surcharge de  $1000 \pm 1\text{g}$ .

La préparation de la pâte consiste à verser dans le malaxeur la quantité d'eau préalablement déterminée par les tâtonnements successifs de manière à réaliser la consistance normale, lui ajouter 500g de ciment afin de remplir le moule tronconique. Avec la pâte ainsi préparée, on remplit le moule tronconique, qui est constitué d'un anneau

Reposant sur une plaque support puis araser avec une spatule en la déplaçant avec un mouvement de scie de faible amplitude sur une surface supérieure. Placer le moule tronconique contenant la pâte au niveau vertical de l'axe de la sonde et laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de la pâte, et immobiliser à son contact, puis abandonner à elle-même sans vitesse initiale. Procéder à la lecture de l'épaisseur de la pâte quand la sonde a cessé de descendre sous son propre poids de  $6 \pm 1\text{mm}$  comptée à partir du fond.

### II.3.2. Prise : NFP 15-573[21]

L'essai de prise a pour but de déterminer le temps de prise, c'est-à-dire la durée qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise et jusqu'à la fin de prise. On détermine le temps de prise à l'aide de l'aiguille de Vicat qui s'enfonce dans le moule tronconique rempli de pâte normale. L'essai de prise est déterminé par l'appareil de Vicat, sur une pâte de consistance normale. En effet, après avoir préparé la pâte normale, il faut remplir immédiatement le moule tronconique et araser la surface supérieure avec une spatule. Placer le moule rempli de la pâte sous l'aiguille ; laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface et l'immobiliser à son contact, puis l'abandonner sans vitesse initiale.

- **Le début de prise** : c'est l'instant où l'aiguille cesse de s'enfoncer et s'arrête à 2.5mm du fond du moule.
- **La fin de prise** : c'est l'instant où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.

## II.4. Etude du mortier frais :

### II.4.1 Préparation des mortiers étudiés :

Le malaxage de mortier a été réalisé à l'aide d'un malaxeur pour mortier muni d'un axe de rotation vertical. Celui-ci est effectué d'une façon identique pour tous les types de mortiers dans l'objectif d'obtenir une pâte homogène, nous avons suivi les étapes suivantes :

L'eau est introduire en premier dans la cuve du malaxeur ; ensuite on y verse le ciment ;

Aussitôt après mettre le malaxeur en marche à vitesse lente. Après 30s de malaxage on introduit régulièrement et de manière rapide le sable et continuer La malaxage 1min30s pendant les première 15 secondes, enlever au moyen d'une raclette en métal tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en repoussant vers le milieu de celui-ci. On reprendra ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s. Le mortier ainsi préparé est versé en fin du malaxage dans des moules 4\*4\*16cm<sup>3</sup>, ceux –ci subiront par la suite des chocs (2\*60 coups) à l'aide d'une table à choc afin de dégager toutes les bulles d'air occlus lors de la mise en moule et d'homogénéiser la structure des éprouvettes préparées, après la fin de l'opération, on araser la partie du mortier en excès. Le démoulage se fait 24 heures après remplissage des moules. La conservation des éprouvettes s'effectuera dans l'ambiance du laboratoire à 20±2°C et HR=55±5% et dans l'eau pour subir une cure humide.



Figure II.5 : malaxeur normalisé EN 196-1.

**Tableau II.1** : Opération de malaxage des mortiers

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Introduction du sable, faire le malaxage		Raclage de la cuve	Reprendre le malaxage	
Durée			30 s	30 s	15 s	1mn 15s	Durée
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Arrêt		Vitesse rapide



Figure II.6 : Granulats de plastiques utilisés.



Tableau II.2 : Composition des mortiers préparés

Type de mortier	Granulats de Plastiques GPR (g)	Sable (g)	Ciment (g)	E/C	Eau de robinet (g)
Mortier témoin MT	0	1350	450	0.60	270
MGPR7% M1	95	1255	450	0.60	270
MGPR14% M2	189	1161	450	0.60	270

## 45 cycles de gel-dégel

Cycles standard : 6 heures dans l'eau + 18 heures dans le congélateur

Nombre des échantillons :

15 cycles (3x 5)x2 30

30 cycles (3x 5)x2 30

45 cycles (3x 5) x2 30

Si préparé est versé en fin du malaxage dans des moules 4\*4\*16cm<sup>3</sup>, ceux-ci subiront par la suite des chocs (2\*60coups) à l'aide d'une table à choc afin de dégager toutes les bulles d'air occluses lors de la mise en moule et d'homogénéiser la structure des éprouvettes préparés, après la fin de l'opération, on arase la partie du mortier en excès, le démoulage se fait 24 heures après remplissage des moules. Après démoulage, les éprouvettes préparées ont été conservés dans un bac l'eau de robinet durant 28 jours (T= 20±2°C et HR=100%). Par la suite, les éprouvettes sont conservés dans l'environnement de laboratoire jusqu'au jour de l'essai (T= 20±2°C et HR= 40 ± 5%). Les propriétés des éprouvettes exposées à l'acide sulfurique et le gel/dégel ont été évaluées en fin de chaque attaque puis comparés avec des spécimens de références.

## II.5. Essai physico-mécaniques sur le mortier frais :

### II.5.1.Ouvrabilité :

Il s'agit de trouver une composition optimale permettant d'avoir une bonne cohésion entre les grains de la pâte de mortier, ainsi qu'une bonne mise en œuvre. La maniabilité du mortier est réalisée par l'essai l'étalement conformément à la norme EN 459-2 :



figure II.7 : Essai d'ouvrabilité

#### II.5.2.1.Mode opératoire

Préparer le mortier conformément à la norme EN 196-1. Si la table d'écoulement n'a pas fonctionné pendant l'heure précédant l'essai, la faire fonctionner à vide plusieurs fois. Nettoyer et sécher avec beaucoup d'attention le plateau de la table. Placer le moule tronconique au centre de la table à chocs (centrage à l'aide du cercle gravé sur le plateau). Remplir le moule en 2 couches. Chaque couche doit être étalée en la compactant légèrement 10 fois à l'aide de la tige de compactage (pilon en bois). Araser puis lisser. Nettoyer la table d'écoulement et essuyer toute trace d'eau à proximité du moule. Programmer le tableau de commandes : tapes 1 fois sur la touche de sélection (des 0 apparaissent à l'écran) puis plusieurs fois pour atteindre la décimale des dizaines (celle-ci doit clignoter). Incrémenter pour rentrer le nombre 1 pour la dizaine.

Taper 1 fois sur la touche de sélection pour atteindre la décimale des unités (celle-ci doit clignoter). Incrémenter pour rentrer le nombre 5 pour l'unité. Taper 1 dernière fois sur la touche de sélection pour valider le nombre 15 seul le nombre 15 s'affiche à l'écran. Retirer le moule verticalement. Soumettre le mortier à 15 chocs à raison d'1 choc par seconde en appuyant sur la touche START. Evaluer la valeur de l'étalement

dans 2 directions perpendiculaires, la moyenne de ces mesures donnée à 1mm près représente l'écoulement.

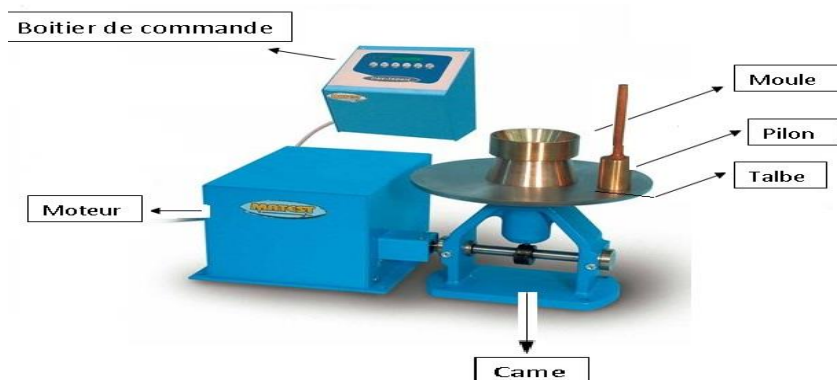


Figure II.8 : table d'étalement.

## II.6. Essai physico-mécaniques sur le mortier durci.

### II.6.1. Propriétés physiques :

#### II.6.1.1. Absorption par immersion :

C'est la propriété d'un milieu poreux. Elle est obtenue par un essai d'immersion dans le potable sur des éprouvettes de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ . Les éprouvettes sont séchées pendant 24h à l'étuve à  $105^\circ\text{C}$ , puis, en émergeant dans un bac d'eau potable jusqu'à la stabilisation totale de la masse de l'éprouvette [9]. On calcule la porosité ouverte par la formule suivante :

$$P = \frac{m^{\text{sat}} - m^{\text{sec}}}{m^{\text{sec}}} \times 100 \quad (\text{II.9})$$

P : la porosité ouverte, accessible à l'eau.

$m^{\text{sat}}$  : la masse saturée.

$m^{\text{sec}}$  : la masse sèche.

### II.6.1.2 Masse volumique apparente :

Par définition, la masse volumique apparente sèche  $\rho_{app}$  est le rapport de la masse de l'échantillon  $M$  à son volume apparent sec  $V_t$ . L'état sec est obtenu par séchage de l'échantillon en étuve à 105°C jusqu'à masse constante, les pesées sont effectuées à 0.1g près et les dimensions des échantillons sont déterminées à l'aide d'un pied à coulisse avec précision de 0.1mm. la masse volumique apparente est la moyenne des mesures effectuées sur trois échantillons de chaque composition.

### II.6.3. Propriétés Mécaniques :

#### II.6.3.1. Résistance à la flexion : norme EN196-[21]

L'essai consiste à estimer les résistances à la traction par flexion des éprouvettes de mortiers élaborés. Le dispositif de flexion (photo II.1) comporte deux appuis à section semi-cylindrique de 10mm de diamètre, distant de 100 ou 106.7mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique, un troisième appui de même diamètre, équidistant des deux premiers permet de transmettre la charge de rupture  $F$  (figure II.2). Afin d'avoir une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, les deux appuis doivent pouvoir légèrement tournés autour de leur centres, dans le plan vertical perpendiculaire aux axes des éprouvettes. La résistance à la flexion est calculée selon la formule :

$$R_f = \frac{3F_f L}{2b^3} \quad \text{Pa]} \quad \text{(II.11)}$$

Avec :

$F$  : charge de rupture en (N) ;

$b$  : largeur de l'éprouvette ;

$L$  : distance entre les appuis en m ;

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure (II.3) et dans la photo (II.9).

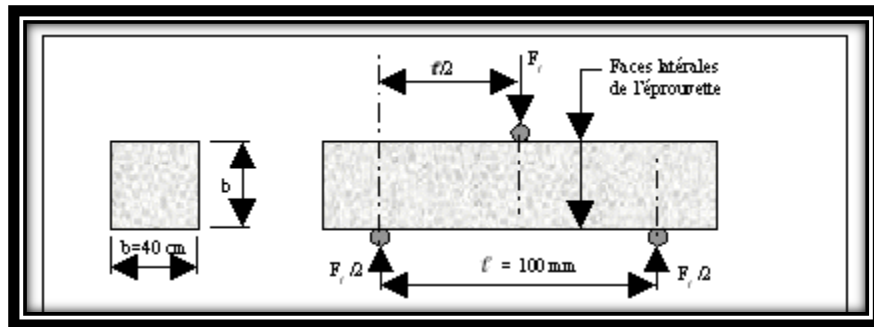


Figure II.9 : Schéma mécanique de l'essai de rupture par flexion



Figure. II.10 : Dispositif expérimental de l'essai de flexion

### II.6.3.2. Résistance en compression : norme EN196-[21]

Chaque demi-éprouvette issue de l'essai de rupture par flexion est soumise à l'essai de compression sur ces faces latérales de moulage. La section visée est de  $4 \times 4 \text{ cm}^2$ , l'échantillon est placé entre plaque de métal dur d'au moins 10 mm d'épaisseur et de  $(40 \pm 0.1)$  mm de largeur. Les plaques sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai de manière à avoir la projection horizontale, une autre plaque placée sur la surface d'écrasement peut s'incliner légèrement pour permettre un contact parfait. La résistance à la compression est calculée selon la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{S} \dots \dots \dots \text{(II.12)}$$

Avec :  $F_c$  ; force de rupture ;  $S$  ; section latérale de l'éprouvette, égale à  $16 \text{ cm}^2$ .

L'essai de compression est réalisé à l'aide d'une presse hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150kN avec vitesse de 2400N/s. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que schématisé sur la figure (II.11). Figure (II.11) : Dispositif de l'essai de rupture en compression.

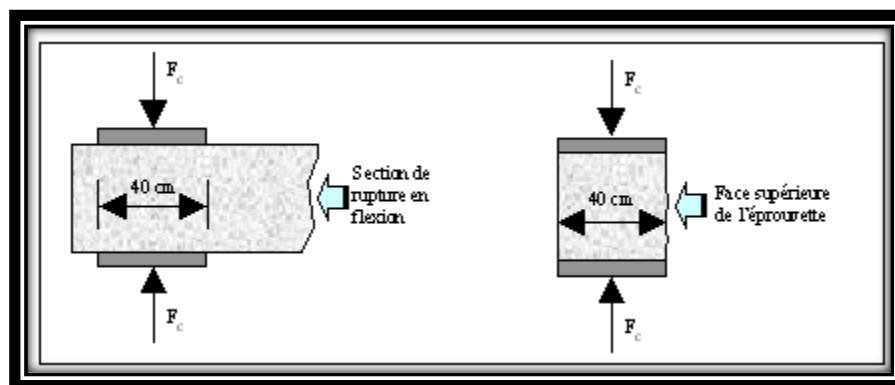


Figure II.11 : Dispositif de l'essai de rupture en compression.

#### II.4.4.3. Etude de durabilité de béton de caoutchouc :

##### a- test de gel-dégel en présence de sels fondant :

L'influence des granulats de caoutchouc sur la durabilité de béton aux sels fondant, est estimée par l'application des cycles de gel-dégel en présence de sels fondant. Cet essai est réalisé, par un procédé similaire de celle norme ASTM C666, sur des spécimens prismatiques  $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$  de béton à l'âge de 15 jours.



Figure II.12 : Bac de dégel.

Le cycle type d'exposition (figure. II.14), est précédé d'une phase de pré-saturation des spécimens par immersion totale pendant 8 jours, dans une solution de NaCl 5% ( $20 \pm 2$  °C), afin d'obtenir la saturation totale des spécimens étudiés. Après cette phase de saturation, les différents échantillons, ont été soumis à une séquence de gel de ( $18 \pm 1$ h), dans l'air de congélateur ( $- 29 \pm 1$ °C). L'essai se termine par une phase de dégel dans une solution de NaCl 5% pendant  $6 \pm 1$  h de température  $20 \pm 2$ °C (Figure II.15). Les spécimens étudiés ont été exposés aux 56 cycles de gel/dégel dans solution de NaCl 5%. L'écaillage de surface, est estimé par la perte en masse (masse de débris) pour trois spécimens. Ceci est estimé par une simple pesée des trois spécimens pour chaque type de béton élaboré (MT, MGPR7%, MGPR14%), en utilisant une balance de précision de 0.1g. La perte en masse est exprimée en pourcentage et déterminée par la relation suivante :

$$\Delta m = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Avec :

$\Delta$  : désigne la perte en masse en %,

$M_1$  : la masse initiale de spécimen à la température ambiante avant l'exposition thermique,

$M_2$  : la masse finale de spécimen à la température ambiante après l'exposition à un gradient de température.

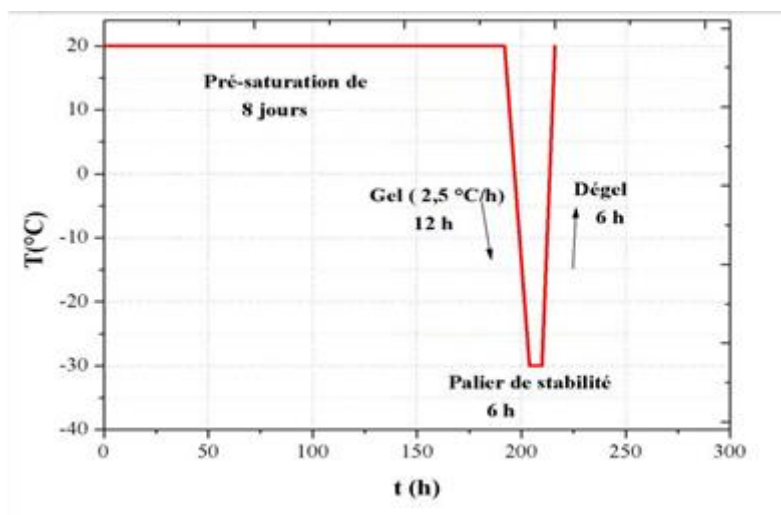


Figure II.13 : Cycle de gel/dégel type.

Le congélateur utilisé, est de volume 0.4 m<sup>3</sup>. Sa plage de température est de 0 à (- 30 °C) avec une vitesse de baisse en température de  $2.5 \pm 0.5$  °C/h. Avant de commencer l'essai le congélateur a été étalonné par un Check-température de type HANNA de fourchette de température (-50 à 150 °C). Le congélateur est mis en marche et éteint avant et après chaque cycle d'exposition respectivement afin d'assurer l'uniformité des cycles appliqués. Les spécimens sont alors disposés dans le congélateur horizontalement et séparés pour assurer la régularité de l'exposition.



**Chapitre III : Résultats et discussions**

## Chapitre III : Résultats et Discussions

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présentera les résultats de notre étude sur l'effet de l'inclusion des granulats de plastique recyclés GPR, sur quelques propriétés physiques et mécaniques des mortier de ciment et leur durabilité au gel-dégel. Nous avons étudié tout d'abord l'effet de la substitution partielle massique des granulats naturels de Sable de dune par les granulats des déchets de plastique recyclés GPR sur les caractéristiques de mortier de ciment à l'état frais et à état durci. Après le test de durabilité au gel-dégel, on a mesuré des propriétés physiques suivants : l'absorption capillaire, la résistance en traction par flexion trois points, la résistance en compression et auscultation ultrasonique.

### III.2. Etude des propriétés fraîches :

#### III.2.1. L'étalement de table:

Pour chaque type de mortier préparé, on mesure sa consistance grâce à la table d'étalement, conformément à la norme ASTM C 1437. Les résultats des essais sur l'étalement de table sont illustrés dans la figure III.1.

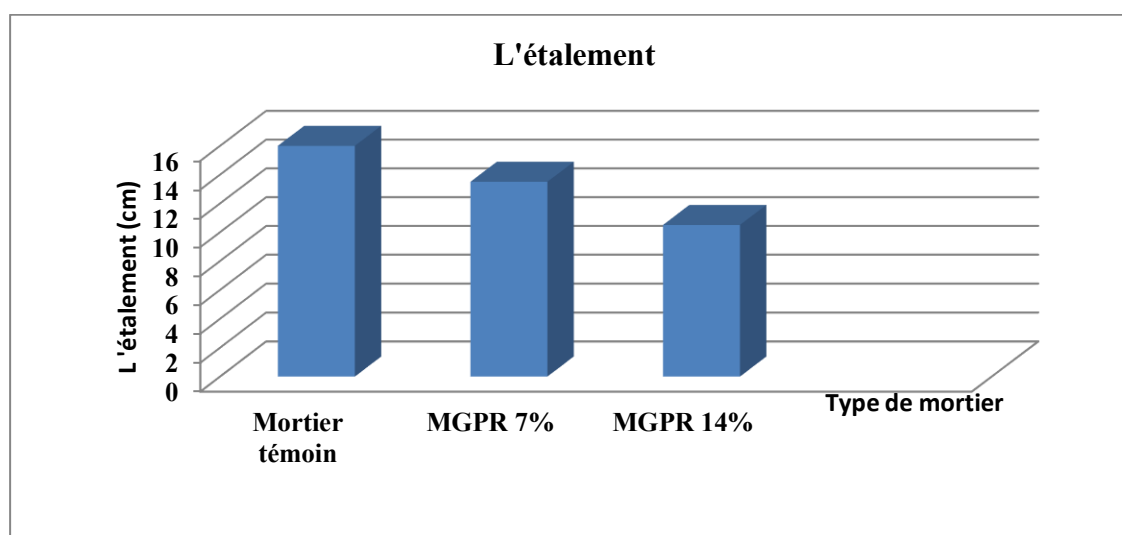


Figure III.1 :L'étalement de table des mortiers étudiés

La figure. III. 1 montre que la substitution partielle massique des granulats naturels de sable de dune par les granulats de déchets de plastique recyclés GPR a été

diminué légèrement l'étalement de table des mortiers étudiés pour le dosage 0 , 7% et 14%. Plusieurs études rapportés que les agrégats de plastique légers diminue la maniabilité, cette tendance est due à la l'augmentation de la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention de la consistance normale des pâtes de liant afin d'obtenir des consistances voisines de celles d'un mortier de référence, on a maintenu le rapport E/C constant. Donc on ne peut pas expliqué clairement ce comportement avant d'entamer dans la future l'étude de la microstructure des composites cimentaires incorporant les GPR.

### III.3. Etude du durabilité au gel-dégel :

Après l'expositions de trois échantillons pour chaque composites de mortiers préparés (MT, MGPR7%, MPR14%) aux cycles de gel-dégel de 24 heures ( 8 dans l'eau et 16 heures dans air de congélateur pour les seuils d'exposition suivants ( 15 cycles, 30 cycles et 45 cycles). On évaluera quelques propriétés des composites testés.



**Figure.III.2.** Aspect visuelle des spécimens après l'attaque par le gel-dégel  
L'aspect visuelle montre aucune que les échantillons incorporés 7% sont les plus dégradés par rapport les échantillons de référence. Par contre, les composites incorporées 14 % sont sains par rapport les spécimens de référence. Donc le meilleur dosage des granulats de plastique qui donne la meilleur résistance au gel-dégel est 14%. De plus, je pense que 45 cycles ne suffit par de monter une tendance claire pour

l'effet des granulats de plastique recyclés GPR. Donc, à cause de manque de temps nous avons limité le nombre de cycles de gel-dégel à 45 cycles. La prochaines étude, on augmente le nombre de cycle jusqu'à 120 cycles.

### III.3. 1. Absorption par immersion :

Les résultats de l'absorption par immersion des mortiers étudiés exposés au x45 cycles de gel-dégel en fonction du taux l'inclusion des granulats de plastiques recyclés figures.III. 3.

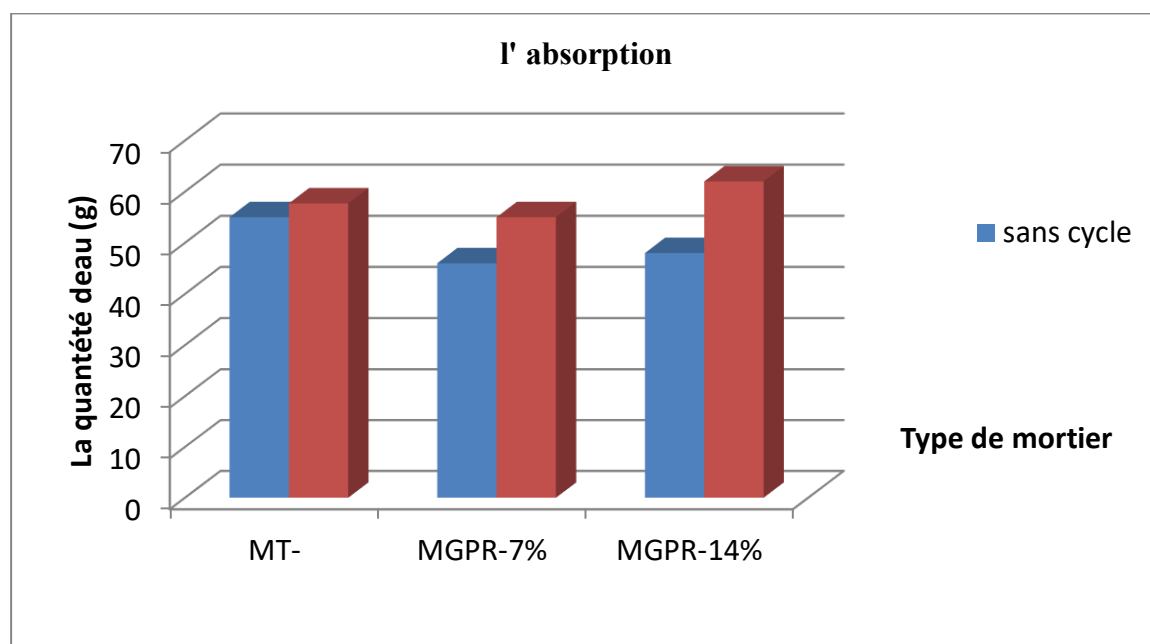
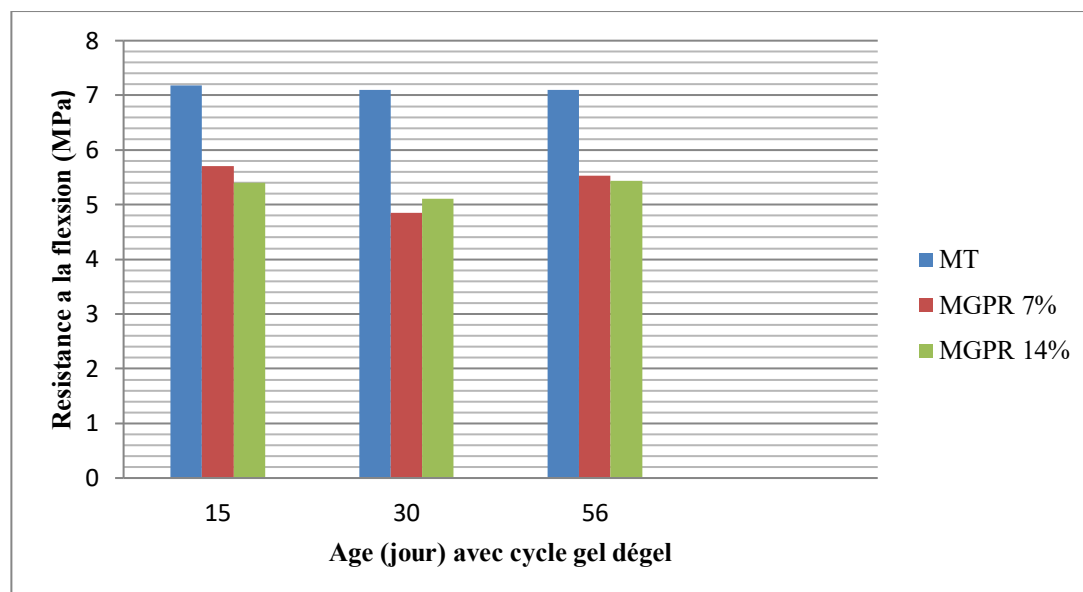


Figure. III.3 : L'absorption par immersion des mortiers exposés aux 45 cycles de gel-dégel .

La figure.III.3 révèle que la porosité ouverte des spécimens exposés aux 45 cycles de gel-dégel augmente légèrement progressivement en fonction du taux des GPR à cause de la fissuration interne causant par l'attaque au gel-dégel .

### III. 3. 3. La résistance en flexion trois points :

Les figures. III. 4 montre la résistance à la flexion trois points des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel-dégel en fonction du dosage en granulats plastiques recyclés GPR.



**Figure.III. 4.** Résistance en flexion des mortiers incorporant des GPR exposés aux 45 cycles de gel-dégel.

La figure.III. 4. montre la résistance en flexion des composites étudiés (MT, MGPR7% et MGPR14%) après leur exposition aux 45 cycles de gel-dégel. Nos résultats montrent que la résistance en flexion de mortier témoin presque constante. Aucune tendance claire a été remarqué pour l'effet de GPR sur la durabilité au gel-dégel des mortiers étudiés. Je pense que le nombre de cycles a été insuffisante pour produire la différence entre les composites étudiés. augmentent régulièrement avec l'âge des spécimens. On autre, l'inclusion des GPR diminue la résistance en flexion des mortiers étudiés par rapport le mortier témoin avec l'augmentation du dosage en GPR et ceci est dû a, probablement, à la faible liaison entre les granulats de GPR et la pâte de ciment et la faible rigidité des GPR. Cette tendance a été confirmée par plusieurs études dans la littérature pour les matériaux cimentaires incorporant les granulats de plastiques. A cause de cette faible résistance en flexion des composites cimentaires incorporant les granulats de plastiques recyclés, on ne peut pas utiliser ce type des déchets dans des structures en béton qui demandent une résistance à la flexion élevée.

### III.3.4 La résistance en compression :

La résistance à la compression des mortiers est généralement considérée comme la plus importante propriété dans de nombreux cas pratique. Elle projette généralement une image globale de la qualité du mortier du point de vue résistance puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte du ciment hydraté. La figure. III.5 montre les résultats de la résistance en compression des mortiers élaborés en fonction du dosage en granulats de GPR et le nombre de cycles de gel-dégel.

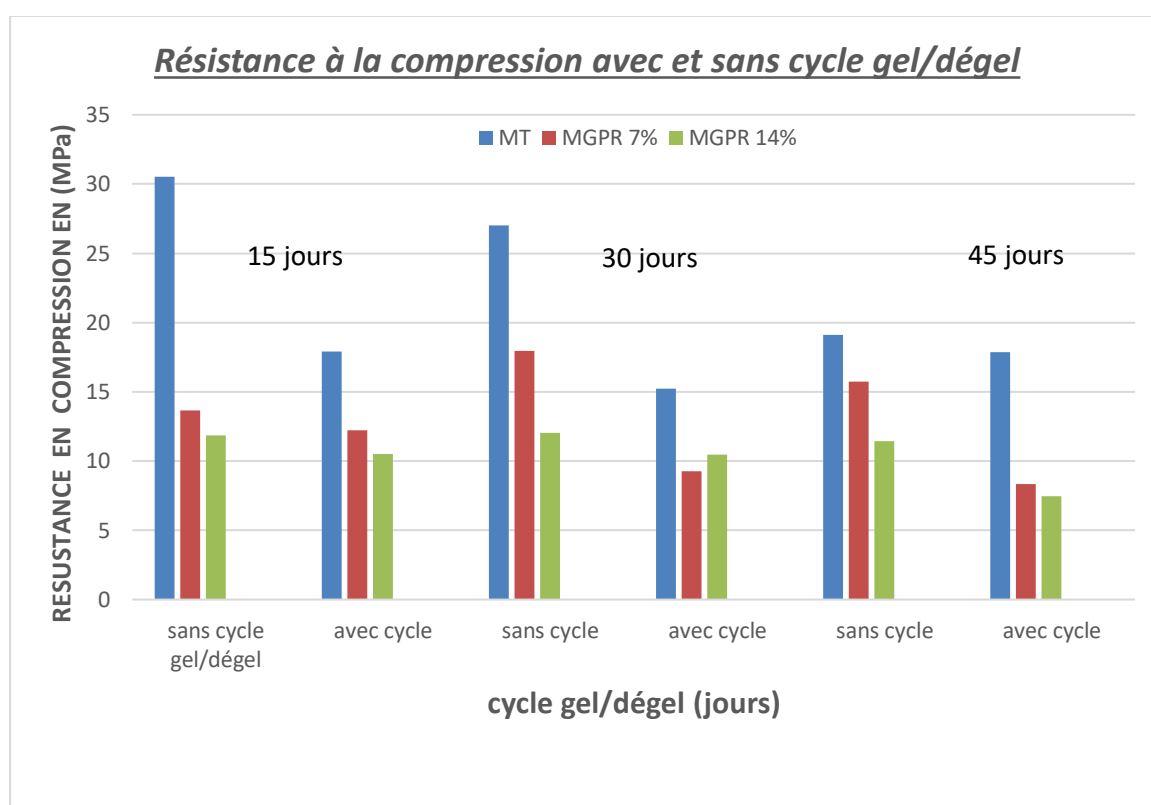


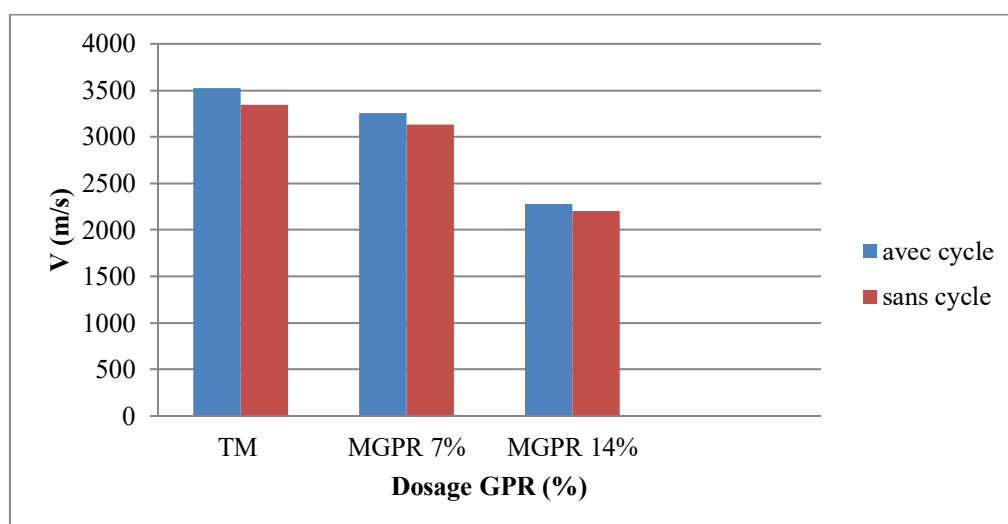
Figure.III. 5. Résistance en compression des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel-dégel

La figure III.5 montre que la résistance en compression a été diminuée progressive avec l'augmentation de nombre de cycle de gel-dégel. Ce comportement est logique par ce que l'attaque par le gel produit des fissuration interne qui traduit par une chute progressive de la résistance à la compression. La formation de gel accompagne par une augmentation de volume de l'eau contenue dans le réseau poreux de l'ordre de 9%. Cette augmentation produit des microfissures qui diminue la résistance en compression des matériaux cimentaires. On autre, l'inclusion des GPR diminue la résistance en compression des mortiers étudiés par rapport le mortier témoin avec

l'augmentation du dosage en GPR et ceci est dû a, probablement, à la faible liaison entre les granulats de GPR et la pâte de ciment et la faible rigidité des GPR. Cette tendance a été confirmée par plusieurs études dans la littérature pour les matériaux cimentaires incorporant les granulats de plastiques. A cause de cette faible résistance en compression des composites cimentaires incorporant les granulats de plastiques recyclés. Donc, on recommande d'utiliser des faibles dosages des déchets de plastique avec les matériaux cimentaires.

### III.3.2. Vitesse ultrasonique:

L'inclusion des granulats de plastique recyclés avec les matériaux cimentaires diminue leur performance physique à cause de leur nature souple par rapport les granulats minérales dure. Ce changement de la structure peut quantifier par l'essai de la vitesse ultrasonique. Les vitesses ultrasoniques des mortiers étudiés sont déterminées conformément au procédé expérimental décrit dans chapitre II. Les résultats moyennes de la vitesse ultrasonique sont représentés dans la Figure. III.6.



**Figure.III.6.** Vitesse ultra-soniques UPV des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel-dégel en fonction des dosages en GPR.

La figure. III.6 l'exposition des mortiers étudiés aux 45 cycles de gel-dégel a été produit chutes faibles de la vitesse ultrasonique par rapport les composites mettant dans l'environnement de laboratoire qui n'expose à aucune attaque. Ce comportement est claire est du à la fissuration produit par le changement de volume

de l'eau qui accompagne le changement de phase. De plus, Ces chutes enregistrés en fonction des dosages en granulats de plastique GPR sont dues aux faibles rigidité des GPR par rapport des matériaux minéraux.

### III.4. Conclusion :

La discussion de nos résultats permet de montrer les points suivants :

- L'inclusion des granulats de plastique recyclés avec le mortier de ciment réduit légèrement l'étalement de table des mortiers étudiés à cause de la différence de poids entre les granulats minéraux siliceux lourds et les granulats de plastique recyclés légers.
- L'exposition des mortiers étudiés aux 45 cycles de gel-dégel montre que l'inclusion des GPR diminue la résistance en flexion des mortiers étudiés par rapport le mortier témoin avec l'augmentation du dosage en GPR et ceci est dû a, probablement, à la faible liaison entre les granulats de GPR et la pâte de ciment et la faible rigidité des GPR.
- Après l'exposition des mortiers étudiés aux 45 cycles de gel-dégel révèle que incorporation des granulats de plastique diminue la résistance en compression des mortiers étudiés par rapport le mortier témoin avec l'augmentation du dosage en GPR et ceci est dû a, probablement, à la faible liaison entre les granulats de GPR et la pâte de ciment et la faible rigidité des GPR.



# Conclusion Générale

## Conclusion Générale et perspectives

L'étude de l'effet de l'incorporation des granulats de plastique recyclés GPR jusqu'à 14% sur la résistance du béton au gel-dégel pour les différents taux des granulats de plastique recyclés, montre les points suivants :

➤ L'aspect visuelle des spécimens étudiés exposés aux 45 cycles de gel-dégel montrent de l'incorporation des GPR dans le mortier améliore diminue l'écaillage de surface de façon significatif pour le dosage 14%. Donc, les granulats de peut améliorer la durabilité au gel-dégel. Mais pour confirmer cette tendance nous avons obliger d'étudier cette effet pour les durées relativement longues.

➤ Les résultats de la résistance en compression des mortiers étudiés exposés aux 45 cycles de gel-dégel montrent que les pertes relatives des mortiers de plastique sont importantes comparativement aux celle de composite témoin. Ce comportement montre que les GPR atténuent l'endommagement et la fissuration dus au gel-dégel des matériaux cimentaires. Donc, la résistance au gel-dégel du mortiers est significativement améliorée par l'incorporation des granulats de plastique pour le dosage 14%.

Dans les futures études, nous pensons d'investir cette propriété précieuse des granulats de plastique recyclés pour fabriquer des mortiers spéciaux de réparation à base des GPR pour la réhabilitation des structures en béton endommagées par le gel/dégel en présence de sels de déverglace, à cause de leurs excellentes propriétés de durabilité.

### Références Bibliographiques :

- [1] Plastics Europe: Plastics-the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, *Demand and Waste Data*. 2013.
- [2] Zhou C, Fang W, Xu W, Cao A, Wang R: Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. *J. Clean. Prod.*2014, 80: 80-86.
- [3] Papong S, Malakul P, Trungkavashirakun R, Wenunun P, Chom-in T, Nithitanakul M: Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *J. Clean. Prod* 2014, 65: 539-550.
- [4] Badia JD, Stromberg E, Karlssonb S, Ribes-Greus A: The role of crystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET). *Polym. Degrad. Stab* 2012, 97: 98-107.
- [5] Regourd M, Hornain H, Mortueux B: Microstructure of concrete in aggressive environments durability of building material an components. *American Society for Testing Materials*1980,253-268.
- [6] Benosman A, Mouli M, Taibi H, Belbachir M, Senhadji Y: Resistance of polymer (PET)- mortar composites to aggressive solutions. In: *International Journal of Engineering Research in Africa: 2011*: Trans Tech Publ; 2011: 1-15.
- [7] Ghernouti Y, Rabehi B: Strength and durability of mortar made with plastics bag waste (MPBW).*International Journal of Concrete Structures and Materials* 2012, 6(3):145-153.
- [8] Batayneh M, Marie I, Asi I: Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste management* 2007, 27(12):1870-1876.
- [9] Choi YW, Moon DJ, Kim YJ, Lachemi M: Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles.*Construction and Building Materials* 2009, 23(8):2829-2835.
- [10] Albano C, Camacho N, Hernandez M, Matheus A, Gutierrez A: Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management* 2009, 29(10):2707-2716.

- 
- [11] Senthil Kumar K, Baskar K: Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. *J Mater Cycles Waste Manag* 2015, 17:718 –724.
- [12] Neville AM: Properties of concrete. *Trans-Atlantic Publications*. 2012, Inc.; 5 edition
- [13] Normes Afnor : Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers. (1981-1997)