

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

Spécialité : matériaux de construction

Par

- **Mustapha mehani**
- **Allaoua manari**

*Intitulé*

***Investigation sur l'inclusion des déchets de plastique réutilisé sur  
la résistance mécanique de mortier de sable de dune***

*Évalué le : 15-06-2022*

*Par la commission d'évaluation composée de\* :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Ibrahim Massaudene</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Layachi guelmine</i>	<i>MAA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Sadak Daboucha</i>	<i>MAA</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 Mr 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.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail, Fruit de nombreuses années d'étude à :  
mes chers parents ma mère et mon père Pour leur patience, leur soutien et  
leurs encouragements

A ma sœur

A mes amis et à tous mes collègues de l'Université

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du  
secondaire ou de l'enseignement supérieur

A tous ceux qui nous ont aidés de proche et de loin. Que dieu accepte notre  
travail.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A ma famille, et mes amis et mes camarades.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

## Résumé :

---

### ملخص

تتناول هذه الدراسة تأثير النسبة المئوية لجزيئات النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها على تطور الخواص الفيزيائية - الميكانيكية للملاط المدروس للجرعات المختلفة من خليط طارد الماء. مع وضع ذلك في الاعتبار ، قمنا بتطوير سبعة مواد مركبة: ملاط الشاهد ، وثلاث مدافع هاون أخرى مدمجة مع 3% و 7% و 11% بلاستيك وثلاث ملاط أخرى تحتوي على 1% و 1.5% و 2% مادة مساعدة مقاومة للماء. أظهرت نتائج توصيف الملاط المدروس أن إدراج الركام البلاستيكي مع الملاط الإسمنتي ينتج عنه انخفاض في أدائها الميكانيكي. من ناحية أخرى ، فإن إضافة المزيغ المقاوم للماء يحسن من قوة الانضغاط والانحناء لمدافع الهاون البلاستيكية.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط أسمنتي، ركام بلاستيك معاد تدويره، مضاد للماء، مقاومة ميكانيكية.

## Résumé

La présente étude traite les effets du pourcentage des particules de déchets de plastique recyclés sur l'évolution des propriétés physico-mécaniques des mortiers étudiés pour les différents dosages de adjuvant hydrofuge. Dans cette optique, nous avons élaborés sept composites : un mortier témoin, trois autres mortiers incorporés 3%, 7% et 11% de plastique et trois autres mortiers contenant 1.5%, 1% et 2% d'adjuvant hydrofuge. 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. Par contre, l'ajoute de l'adjuvant hydrofuge améliore la résistance à la compression et à la flexion des mortiers de plastique.

**Mots Clés :** mortier de ciment, granulats de plastique recyclés, hydrofuge, résistance mécanique.

## Résumé :

---

### Abstract

This study deals with the effects of the percentage of recycled plastic waste particles on the evolution of the physical and mechanical properties of the mortars studied for the different dosages of water-repellent admixture. With this in mind, we developed seven composites: a control mortar, three other mortars incorporated with 3%, 7% and 11% plastic and three other mortars containing 1.5%, 1% and 2% water-repellent adjuvant. 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. On the other hand, the addition of the water-repellent admixture improves the compressive and flexural strength of plastic mortars.

**Keywords:** cement mortar, recycled plastic aggregates, water repellent, mechanical resistan

# Table de matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	
<b>DEDICACES</b> .....	
<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	
<b>Résume</b> .....	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	
I.1. INTRODUCTION :	3
I.2. PROBLEMATIQUE DES DECHETS DE PLASTIQUES :	3
I.2.1. GENERALITE SUR LES DECHETS DE PLASTIQUE :	3
I.2.2. LES TYPES DE DECHETS INDUSTRIELS:	4
I.2.3. Historique de matière plastique :	6
I.2.4. Gestion des déchets :	8
I.2.5. les modes de gestion des déchets plastiques :	9
I.3. Les Mortiers de Cimen:	11
I.3.1. LES CONSTITUANTS DE MORTIER DE CIMENT :	11
I. 3. 2. STRUCTURE DE LA PATE DE CIMENT :	16
I. 3. 3. L'EAU DANS LA MICROSTRUCTURE DE PATE DU CIMENT :	17
I.4. EFFET DES ADJUVANT HYDROFUGE SUR LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX CIMENTAIRES :	18
I.4.1 DEFINITION :	18
I.4.2 HISTORIQUE:	19
I.4.3. EFFET DES HYDROFUGES:	20
I.4.4.TYPES D'HYDROFUGES :	20
I.4.5.FAMILLES ET EXEMPLES D'HYDROFUGES	22
I.5. EFFET DES GRANULATS DE PLASTIQUE SUR LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX CIMENTAIRES :	23
I.5.1. DENSITE :	23
I.5.2. L'OUVRABILITE.....	24
I.5.3. RESISTANCE EN COMPRESSION:	24
<b>CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES</b> .....	<b>25</b>
II.1 INTRODUCTION :	26
II.2 CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES :	26

II.2.1 ESSAI SUR LE SABLE : .....	26
II.2.1.1 ANALYSE GRANULOMETRIQUE : NFP.18-560[21] .....	26
II.2.1.2 Equivalent de sable : NFB.18-598[2] : .....	28
II.3. PROPRIETES RHEOLOGIQUES DU CIMENT : .....	32
II.4. ETUDE DU MORTIER FRAIS : .....	33
II.5. ESSAI PHYSICO-MECANQUES SUR LE MORTIER FRAIS : .....	35
II.6. ESSAI PHYSICO-MECANQUES SUR LE MORTIER DURCI.....	37
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>40</b>
III.1. INTRODUCTIONS.....	41
III.2. ETUDE DES PROPRIETES FRAICHES : .....	2
III.2.1. L'étalement de table:.....	42
III.3. ETUDE DES PROPRIETES DURCIS :.....	43
III.3. 1. Absorption par immersion :.....	43
III.3.2. Vitesse ultrasonique:.....	44
III.4. ETUDE DES PROPRIETES MECANQUES : .....	<b>44</b>
III. 4. 1. La résistance à la flexion :.....	45
III.4.2. La résistance en compression :.....	47
III.5. CONCLUSION : .....	<b>47</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>48</b>



## Liste des figures

N° de figure	Le titre	La page
I.1	Déchets de plastique	4
I.2	Les différents types de déchets	5
I.3	Quelques exemples des déchets dangereux	6
I.4	Type des agrégats plastiques utilisés dans le béton / mortier	11
I.5	Molécule de gel C.S.H selon le modèle de Feldman	18
I.6	Action des traitements de surface de gauche à droite : en duits bouches pores et couvrant la surface interne	19
II.1	Analyse granulométrique	27
II.2	Courbes granulométrique	28
II.3	Essai d'équivalent de sable	29
II.4	Masse volumique apparente	30
II.5	Malaxeur normalisé	35
II.6	Granulats de plastique utilisés	35
II.7	Essai d'ouvrabilité	36
II.8	Table d'étalement	37
II.9	Schéma mécanique de l'essai de rupture par flexion	39
II.10	Dispositifs expérimentale de l'essai de flexion	39
II.11	Dispositif de l'essai de rupture en compression	40
III.1	L'étalement de table de mortiers étudiés	42
III.2	L'absorption par immersion des mortiers étudiés	43
III.3	Effet de GPR et hydrofuge sur la vitesse ultrasonique des mortiers étudiés	44
III.4	Evolution de résistance à la flexion de mortiers étudiés à l'âge de 3 jours	45
III.5	Evolution de résistance à la flexion des mortiers étudiés à l'âge de 3 et 28 jours	45
III.6	La résistance en compression des mortiers étudiés à l'âge de 3 jours	47
III.7	La résistance en compression des mortiers étudiés à l'âge de 28 jours	47

## Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
I.1	Classe de résistance des ciments	13
I.2	Mesure de résistance sur mortier normal	13
I.3	Classification des sable suivant les valeurs de module de finesse (normes de l'ex : URSS	15
I.4	Valeur préconisées pour l'équivalent de sable	15
I.5	Classe des granulats	17
II.1	Résultats d'essais d'équivalent de sable de dune testé	29
II.2	Opération de malaxage des mortiers	35
II.3	Composition des mortiers préparés	36

# **Introduction Générale :**

---

## **Introduction Générale**

Le recyclage de certains déchets dans les matériaux de construction 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.

Pour atteindre cet objectif, des matériaux de types "mortier de ciment" sera ainsi élaboré, en substituant différentes fractions minérales par des particules de plastique. Il s'agira d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres sur les propriétés du matériau aux états frais et durci, notamment le type de granulats à substituer (sable), leurs dosages, leurs limites granulaires et le mode de fabrication du composite. 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 le 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 du 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 utilisées 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**

### **I.1. Introduction :**

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur les déchets de plastique recyclés GPR et sur le comportement physique et mécanique des matériaux cimentaires incorporant ce type des déchets. Il sera divisé en quatre grandes parties. La première partie portera sur des généralités sur les déchets de plastique et leur valorisation avec les matériaux à base cimentaire, la deuxième partie sur les constituants d'un mortier, la troisième partie est consacrée à l'influence des adjuvants de type hydrofuge sur quelques propriétés fraîches et durcies des matériaux cimentaires, dans la quatrième partie nous avons analysé quelques travaux de recherche antérieurs des matériaux cimentaires incorporés les GPR sur leur comportement physique et mécanique.

### **I.2. Problématique des déchets de plastiques :**

#### **I.2.1. Généralité sur les déchets de plastique :**

Les déchets produits par la société industrielle ne cessent de croître en quantité et en complexité. Parmi ceux-ci, on trouve les déchets de plastique (figure I.1) qui croient d'un jour à l'autre à cause de l'utilisation de plastique dans tous les secteurs économiques. Malgré que les déchets plastiques soient classés dans les contextes normatifs Européennes comme des déchets banals, néanmoins, ils sont volumineux, et non biodégradable, en raison de leur résistance aux différentes sortes d'attaques physicochimiques [1,2]. La mise en décharges, des déchets de plastique, n'est pas sécurisée en cas d'incendie criminel ou naturel (foudre). De plus, Le brûlage des déchets de plastique dans les décharges publique présente une gêne environnementale et économique extrêmement danger pour la nature, il menace non seulement les ressources naturelles en eaux et en air, mais aussi la santé publique. L'incinération des déchets de plastique libère des composés toxiques dans l'air, le sol et les cours d'eau, provoquant une contamination de des ressources naturelles [3,4].



**Figure. I.1** : Déchets de plastique

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

### **I.2.2. 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.

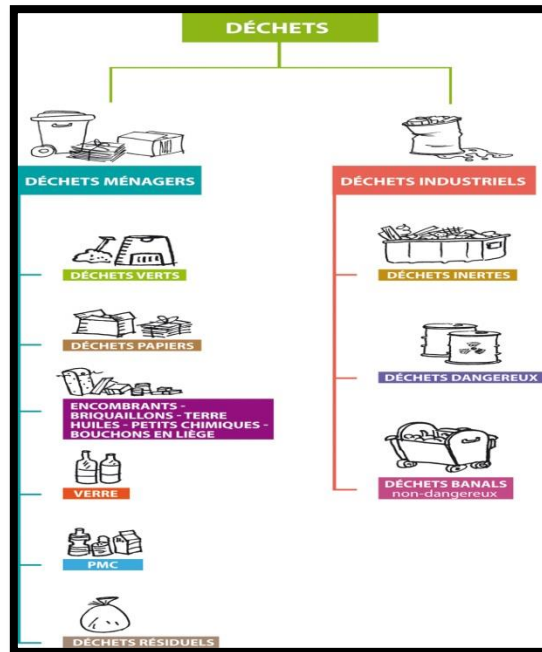


Figure I.2 : les différents types des déchets

### a) 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 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 [1,5,6].

### b) 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 [1,5].

### c) 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 [1,5,6,7]

« 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 » [8,9]

### d) 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.3** : Quelques exemples des déchets dangereux

### I.2.3. Historique de matière plastique :

Le plastique est une invention étonnante qui est apparue pour la première fois en 1860, par Alexander Parkas. 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 Parkas 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 Schutzenberger 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 & Culminer, 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 Hayat 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.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

---

**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. [10].

### **I.2.4. Gestion des déchets :**

La loi algérienne la définit comme « toute opération relative, à la collecte, au tri au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations ». A travers cette définition, la gestion des déchets se fait en plusieurs étapes [1,3] :

**La collecte des déchets** : le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement ;

**Le tri des déchets** : toutes les opérations de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement ;

**Traitement écologiquement rationnel des déchets** : toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets ;

**Valorisation des déchets** : toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets ;

**L'élimination** : toute activité de traitement thermique, physico- chimique et biologique démise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet ;

**Immersion des déchets** : tout rejet de déchet dans le milieu aquatique ;

**Enfouissement des déchets** : tout stockage des déchets en sous-sol ;

**Installation de traitement des déchets** : toute installation de valorisation, de stockage, de transport et d'élimination des déchets ;

### **I.2.5. les modes de gestion des déchets plastiques :**

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.

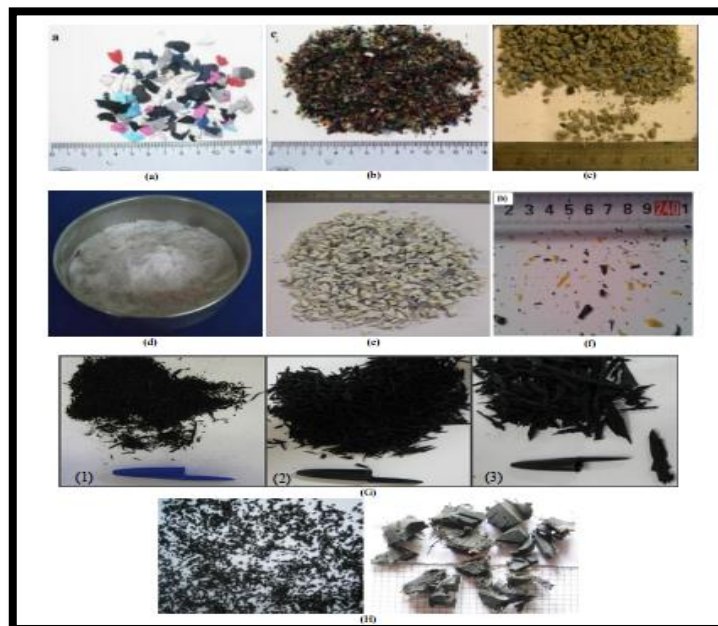
En matière de gestion des déchets, deux filières existent et proposent :

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

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

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.

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 importante de penser à l'élaboration de matériaux composites à base des agrégats légers provenant des déchets industriels et agricoles.



**Figure I.4** : Type des agrégats plastiques utilisés dans le béton / mortier. (a) Ethylèneacétate 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. Les Mortiers de Ciment :

Le mortier est un mélange dans des proportions convenables (suivent la destination et l'emploi du mortier) de sable, de liant et d'eau, pour former une pâte de plasticité déterminée qui durcit avec le temps pour atteindre des caractéristiques similaires à une pierre naturelle. En plus de la liaison et de la cohésion qu'il assure aux éléments de maçonnerie, de la protection de la construction (rôle d'enduit) contre l'humidité due aux intempéries. Le mortier est une matière première entrant dans la confection des éléments préfabriqués et est le principal constituant du béton. Lorsque la pâte de ciment ou mortier est soumise à une température élevée, plusieurs transformations physico-chimiques s'opèrent [2, 11,12]. Du fait de son hétérogénéité, il est nécessaire de comprendre le rôle des différents éléments le constituant ainsi que leur comportement dans la phase de montée en température.

#### I.3.1. Les Constituants de Mortier de Ciment :

##### I.3.1.1. Le ciment :

Le ciment est une poudre fine obtenue par la cuisson à haute température (vers 1450 °C) et le broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en générale). Cette poudre constituée de sel minéraux anhydres instable ( en particulier silicates et aluminates de chaux ) forme avec l'eau une pâte capable par « hydratation » de faire prise et de durcir progressivement ( plus ou moins rapidement ) d'où le nom de liants hydrauliques par opposition avec « liant aériens » ( à base de chaux grasse et maigre ) qui ne peuvent qu'au contact de l'air [11,12].

##### a) Types de ciment :

La nouvelle normalisation comporte cinq types principaux de ciments :

- TYPE 1 ciment portland.
- TYPE 2 ciments portland composé.
- TYPE 3 ciments de haute – fourneau.
- TYPE 4 ciments pozzolanique.
- TYPE 5 ciments au laitier et aux cendres.

##### b) Classe de résistance :

Le ciment se caractérise en fonction de sa classe de résistance à la compression, cette dernière, mesurée à 28 jours d'âge, étant exprimé en MP a. pour le ciment fabriqués jusqu'à

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

de 1994, on distinguait 4 classes de résistances donc la valeur indiquées dans le tableau (I.1) (le ciment de la classe 35 n'existant pratiquement plus depuis plusieurs années) :

**Tableau I.1** : classe de résistances des ciments.

Classe de ciment	Sous classe éventuels	A 2 jours	A28 jours	A 28jours
		Limite inférieure nominal	Limite inférieure nominal	Limite supérieure nominale
35	-	-	25	45
45	-	-	35	55
45	R (rapide)	15	35	55
55	-	-	45	65
55	R (rapide)	22.5	45	65
Hautes performances	- R (rapide)	- 27	55 55	- -

Les ciments sont classifiés par leurs classes de résistances.

**Tableau (I.2)** : Mesure de résistance sur mortier normal

Classe de résistance	Résistance minimale garantie en (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 jours	7 jours	28 jours
32.5	-	17.5	30
32.5R	12	-	30
42.5	10	-	40
42.5R	18	-	40
52.5	18	-	50
52.5R	28	-	50

### c) Propriétés du ciment :

- la finesse de mouture d'un ciment est caractérisée par sa surface spécifique ou sa surface développée totale des grains contenus dans une masse donnée. Cette finesse,

mesuré conventionnellement selon la norme NF P 15-442 est exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ , elle varie de 2700 à 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$

- la masse volumique de ciment est en générale de 800 à 1200  $\text{Kg}/\text{m}^3$ . en compte en moyenne 1100  $\text{Kg}/\text{m}^3$  pour un ciment en vrac non tassé.
- la masse spécifique varie en générale de 2900 à 3200  $\text{Kg}/\text{m}^3$  soit en moyenne une densité absolue de 3100  $\text{g}/\text{cm}^3$  généralement admise.
- Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte avec échauffement ; on le détermine à l'aide de « l'aiguille de Vicat » (essai NF P 15-431).
- La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide suivant la norme (NF P 15 – 431).
- Le temps de début de prise peuvent varier de quelques minutes, pour les ciments prompts, à plusieurs heures pour les ciments à prise lente. Pour la plupart des ciments courants, le début de prise à 20°C se situe 30 min à quelques heures.
- Après la prise, 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 l'évolution maximale de la résistance, mais pour d'autres ciments le durcissement se poursuit pendant des mois. [11,12]

### I.3.1.2. Sable :

On appelle sable, les matériaux de petites dimensions issues de désagrégation des roches le sable est l'élément qui assure au béton au mortier, selon ses qualités, une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange. Il provient des roches, ils sont chimiquement inertes

#### A. Classification des sables :

- suivant leurs grosseurs :
  - Sable fin 0.08 à 0.315 mm
  - Sable moyen 0.315 à 2.00mm
  - Sable gros 2.00 à 5.00 mm

Suivant leur provenance :

Ils peuvent être également distingués suivant leurs provenances

- sable rivières.
- sable de mer.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

- sable artificiel.
- sable de carrière.
- sable de d'une.
- suivant les valeurs de module de finesse (normes de l'ex : U .R . S . S )

**Tableau. I. 3** : classification des sable suivant les valeurs de module de finesse.  
(Normes de l'ex : U.R.S.S).

Sable	Mode de finesse $M_F$	Refus cumul sur les tamis 0.633 EN %
Gros	3.4 a 2.4	50 - 75
Moyen	2.5 a 1.9	35 - 50
Fin	2.0 a 1.5	20 - 35

### B. Propreté :

- Equivalent de sable : selon la norme NF 18 – 598

cet essai nous a permet de mettre en évidence la proportion d'impureté argileuses ou ultra – fines contenus dans le sable et le pourcentage de poussières nuisible et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons .

les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable sont regroupés dans le tableau suivant.  
[11,12]

**Tableau I .4** : valeur préconisées pour l'équivalent de sable

E .S.V	E.S.P	NATURE ET QUALITE DU SABLE
ES < 60	<b>ES&lt;60</b>	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 < = Es < 75	<b>65 &lt; = Es&lt; 70</b>	Sable l'égarement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante on ne craie pas particulièrement le retrait .
75 < = Es < 85	<b>70&lt; = Es &lt; 80</b>	Sable propre à faible pourcentage des fines argileuses convenant parfaitement pou les bétons de haute qualité.
Es > = 85	Es > = 80	Le sable très propre, l'absence presque totale des fins argileuses risque d'entraîner en défaut de plasticité du béton qu'il faudra retaper par une augmentation au dosage en eau .



### C. Les différents types des granulats :

Dans les normes récentes (P 18-541) basées sur les acquis de la recherche et de l'expérience fixe des spécifications réalistes qui prennent en compte utilisation, sécurité, fiabilité et coût. On distingue :

#### a) Granulats naturels :

Les granulats naturels Issus de différentes roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (concassage, broyage, criblage, lavage, sélection).

Sable et gravier de revivre, sable de mer, et sable de dune dite de désert.

#### b) granulats artificiels :

Ils proviennent de la transformation thermique de roche, de minerais, de sous-produits, industriels (laitier, scories, etc.) ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton, souvent appelés granulats recyclés.

##### ➤ Granulats concassés :

- naturels de forme
- artificiels d'obtention par concassage des roches.

##### ➤ Granulats traités :

- artificiels par leur composition.
- artificiels par leur formation.
- artificiels par leur obtention (cuisson).

### D. Classification des granulats :

Les granulats sont classés en fonction de leurs démontions par criblage sur des tamis à mailles carrées dont les dimensions intérieures sont en (mm).

Le terme (granulats d/D) est réservé ou granulats sont les dimensions s'étalent de « d » pour les petits à « D » pour les refus grands.

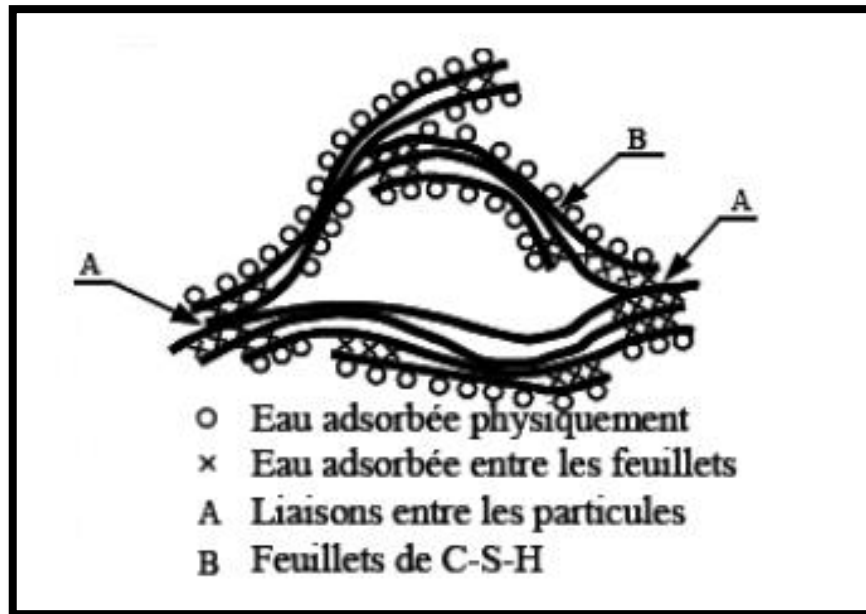
Le tableau suivant détermine les classes des granulats.

**Tableau I. 5** : Classes des granulats.

Appellation	Mailles carrées des tamis (mm)	
Farine, fillers		< 0.08
Sable	<b>Petits</b>	0.080<D<0.310
	<b>Moyens</b>	0.310<D<1.250
	<b>Gros</b>	1.250<D<5.00
Gravillons	<b>Petits</b>	5.00<D<8.00
	<b>Moyens</b>	8.00<D<12.50
	<b>Gros</b>	12.50<D<25.00
Pierres concassées	Petits	25.00<D<40.00
	Moyens	40.00<D<63.00
	Gros	63.00<D<100.00

### **I. 3. 2. Structure de la pâte de ciment :**

La pâte de ciment hydratée est obtenue par hydratation du ciment qui se développe entre le ciment Portland (silicates et aluminates de calcium) et l'eau. En d'autres termes, les différents constituants du ciment réagissent avec l'eau en formant des hydrates. L'hydratation du silicate tricalcique (C3S) et du silicate bi calcique (C2S) conduisent à la formation de l'hydrosilicate de calcium (C-S-H) et de l'hydrate de calcium  $\text{Ca(OH)}_2$  appelé portlandite. Le C-S-H confère au ciment sa résistance. 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 C-S-H, 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 [11,12]. Ces vides sont appelés pores capillaires, mais, à l'intérieur même du gel, il existe des vides interstitiels, appelés pores de gel. Différents modèles existent pour décrire la structure (morphologie) de C-S-H. A titre indicatif on cite le modèle de Feldman [Feldman et al, 1968] rapporté par [11,12] qui permet d'interpréter l'influence de l'humidité relative sur les propriétés physiques et mécaniques de la pâte de ciment, les particules de C-S-H se présente sous forme de lamelle constituée de 2 à 4 feuillets simples (figure I. 5)



**Figure I.5 :** Molécule de gel C-S-H selon le modèle de Feldman [Feldman et al, 1968] rapporté par [Adam, 1998].

### I. 3. 3. L'eau dans la microstructure de pâte du ciment :

L'eau est indispensable à la fabrication du mortier. Elle joue un double rôle d'hydratation du ciment et d'ouvrabilité du mélange. Tous les vides de la matrice sont plus ou moins remplis d'eau. Sa présence et surtout son mouvement au cours de la vie d'un ouvrage en béton est souvent responsable de phénomènes tels que le retrait de dessiccation, le gonflement, les fissurations observées lors des cycles de gel-dégel [2,11,12]. Elle joue un rôle important lors de la montée en température du mortier. L'eau se présente dans la pâte de ciment sous divers formes :

- **Eau libre (ou capillaire) :** C'est l'eau qui n'a pas participé à la réaction d'hydratation du ciment, la grande finesse du ciment anhydre et la dimension très faible des pores du ciment hydraté font que cette eau est soumise à des forces de surface qui limitent ses possibilités de déplacement. Elle remplit le volume poreux et n'est pas soumise aux forces d'attraction des surfaces solides. Cette eau est la première à migrer et à s'éliminer en général pour des températures comprises entre 30 °C et 120°C.
- **Eau adsorbée :** C'est l'eau adsorbée sur les surfaces solides. Elle peut être adsorbée physiquement ou chimiquement. L'adsorption physique met en jeu des énergies de type Van der Waals de faible intensité. L'adsorption chimique correspond à la

formation de liaison chimique entre les atomes de la surface du solide et les molécules de l'adsorbat.

- **Eau liée chimiquement** : c'est l'eau qui réagit avec les éléments anhydres du ciment. Regourd[13] identifie dans la structure des C-S-H la présence de l'eau sous trois formes (l'eau hydroxyde, l'eau interfeuillet et l'eau inter lamellaire) qui sont classées ici par ordre décroissant d'énergie de liaison avec le solide.

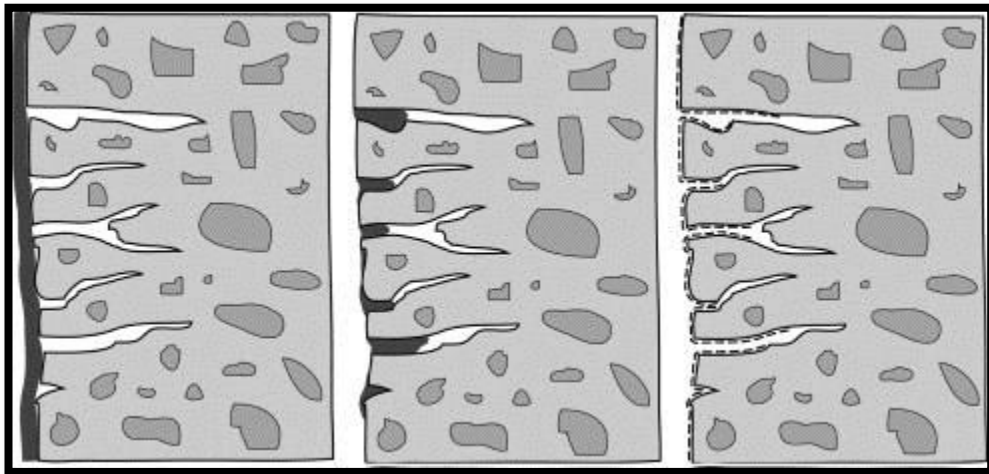
### I.4. Effet des adjuvant hydrofuge sur le comportement des matériaux cimentaires :

#### I.4.1 Définition :

Un hydrofuge est un produit incolore possédant la capacité de protéger une surface poreuse. Celui-ci n'altère pas l'aspect de la surface même après vieillissement (UV, ...) et laisse la possibilité au béton de respirer (diffusion de vapeur d'eau libre). Ainsi, un hydrofuge empêche uniquement les liquides de pénétrer.[14,15].

Cette méthode de protection doit présenter également d'autres caractéristiques comme la possession d'une bonne résistance à la plupart des attaques qui existent et la capacité de pénétration ou de bonne adhérence au sein du béton.[16].

De tels produits sont à différencier des enduits et des peintures car, comme représenté à la figure 6, ils ne recouvrent pas les pores mais sont absorbés par le substrat et tapissent les parois des pores du béton. De plus, ceux-ci ne jouent aucun rôle mécanique au sein de l'ouvrage. .[14,15].



**Figure .I.6** :Action des traitements de surface De gauche à droite : Enduits, bouche-pores et couvrant la surface interne

Un hydrofuge est habituellement constitué au minimum de  $\pm 5\%$  de matières actives dissoutes soit dans un solvant, soit dans un liquide organique ou soit dans de l'eau.[14,15]

L'usage d'un bon hydrofuge peut fortement (doubler voire plus)augmenter 5la durée de vie de service d'un bâtiment.

### **I.4.2 Historique:**

Observant que l'eau est le principal moteur de la dégradation du béton en corrodant les armatures, la volonté d'empêcher cet élément de s'introduire dans le béton s'est vite fait sentir [16].

Depuis plusieurs siècles, des produits pouvant empêché cette entrée d'eau sont recherchés et utilisés pour la protection des ouvrages réalisés en matériaux durables (pierres, briques, ...).

Ainsi, depuis l'Antiquité, de nombreux produits se sont succédé sur le marché pour essayer d'atteindre ce but. Au début, l'usage se limitait à des produits naturels (huile, résines, ...) avec des performances totalement méconnues. Ensuite, les surfaces d'immeuble étaient tout simplement recouvertes d'une couche (enduits, peintures,...) devant être souvent renouvelée.

Avec l'industrialisation de la chimie (vers le XIXe siècle), de nouveaux produits apparaissent dans la littérature de l'époque. A partir des années 50, des recherches prônent l'utilisation de peintures à l'huile. Tandis que d'autres spécialistes conseillent l'usage de dérivés d'esters, de polymères, de cires et de polymères synthétiques (début des hydrofuges modernes) [16].

Les années suivantes, la performance très mitigée des différentes méthodes rend les utilisateurs septiques. Ces mauvais résultats sont la cause d'inexpérience dans ce domaine et l'inadéquation de ce produit à un usage industriel. Après ces observations, les scientifiques se sont penchés sur ces différents produits pour déterminer les attitudes à avoir afin d'assurer une durabilité plus importante. En même temps, d'autres solutions de protection apparaissent comme les "coatings" tels-que les résines époxydes.

Enfin, vers les années 70 apparaissent les silanes et siloxanes qui sont, actuellement, les produits les plus utilisés.

### **I.4.3. Effet des hydrofuges:**

L'effet des hydrofuges est, comme déjà précisé, de rendre la surface d'un revêtement hydrophobe sans entraver le passage de vapeur d'eau. Pour ce faire, un hydrofuge ne peut pas boucher les pores mais doit pénétrer à l'intérieur et rendre l'entièreté de la surface, sur une certaine profondeur, répulsive à l'eau liquide [16].

Ainsi, la seule façon que les hydrofuges ont pour effectuer cette demande est de jouer sur les caractéristiques d'attraction de la surface en béton. La plus importante pour ce que nous étudions est "les tensions superficielles". En effet, toute surface présentant une tension superficielle supérieure à celle de l'eau, attirera celle-ci et lui permettra de pénétrer par capillarité. Or, le béton, sans protection, possède une tension superficielle de 80 mN/m contre 73 mN/m pour l'eau.

La couche permettant cet effet hydrophobe ne mesure que quelques nanomètres et ne détériore donc pas l'aspect de surface.

L'hydrofuge permet donc de réduire la tension superficielle à une valeur proche de 20 mN/m. Ainsi, les gouttes d'eau atteignant la surface seront attirées par les autres gouttes d'eau qui présentent une tension superficielle presque semblable. Grâce à cela, le comportement capillaire se trouve modifié et le comportement en surface voit apparaître "l'effet perlant".

En ce qui concerne le comportement capillaire, lorsque l'hydrofuge n'est pas mis en place, le réseau capillaire attire et aspire de l'eau en son sein. La pose d'un traitement hydrophobe diminuant la tension superficielle en surface et dans les pores permet d'inverser totalement le comportement. En effet, l'eau se trouve repoussée hors du réseau capillaire. Une répulsion apparaît grâce à l'impossibilité pour l'eau de pénétrer dans le réseau. Ce nouveau comportement capillaire peut être expliqué par l'effet perlant qui est détaillé au paragraphe suivant [14,15,16].

### **I.4.4.Types d'hydrofuges :**

#### **a) Hydrofuge de masse:**

Ce type d'hydrofuge ne peut être utilisé que lors de la préparation du béton vu qu'il consiste en l'incorporation d'adjuvants dans celui-ci afin de rendre sa surface imperméable une fois durcie.

Ce genre de produit n'est pas utile dans mon travail et ne sera plus étudié par la suite. Seuls les hydrofuges pouvant être appliqués sur des ouvrages existants seront considérés. Ainsi, les deux chapitres qui suivent définissent mieux ce type de traitement.

Pour au moins citer un hydrofuge de masse, des produits composés d'acide gras acyclique et d'une émulsion aqueuse, composée de polymère et de globules aromatiques.

Il protège l'entièreté du béton en l'imperméabilisant et en empêchant la dégradation par les sels, acides et autres. [15,16]

### **b) Hydrofuges superficiels:**

Ce type d'hydrofuge, appelé également "enduit", ne pénètre pas le béton lors de sa pose sur celui-ci. Ces enduits forment une couche supplémentaire sur le béton en adhérant parfaitement bien à sa surface, grâce à des liens physiques. Ces types d'enduits ont, généralement, un bon pouvoir d'imperméabilisation et résiste bien aux UV [15,16].

Les caractéristiques de ces produits sont totalement indépendantes du béton devant être protégé. Ces produits peuvent présenter une bonne efficacité pour autant qu'une importante adhérence existe.

### **c) Hydrofuges pénétrants:**

Ce type d'hydrofuge pénètre le béton et réagit avec celui-ci en profondeur. Ce produit ne bouche jamais les fissures mais recouvre plutôt les parois internes qui deviennent hydrophobes. Bien entendu, si une fissure est très large ou si celle-ci est toujours active, l'utilisation d'hydrofuge n'aura pas une efficacité maximale, voire nulle.

Au niveau de la performance, de nombreuses influences peuvent exister comme [14,16] :

- L'arrêt ou la diminution de la pénétration d'eau et des substances agressives tout en laissant respirer le béton
- L'importance de la pénétration du béton. Celle-ci varie habituellement de 1 à 3 mm et dépend de nombreux facteurs tels que la dose de produit utilisé, le type de béton, les conditions climatiques lors de la mise en place, la préparation de la surface avant imprégnation et la technique de la mise en place.
- La résistance chimique des produits face aux chlorures et alcalis.

Deux groupes au sein de ce type d'hydrofuge peuvent être mis en évidence. Des produits pénétrants peuvent laisser une couche résiduelle en surface, alors que la majorité des hydrofuges pénétrant n'en laisse aucune.

Les produits laissant une couche résiduelle 6 utilisent celle-ci pour assurer l'arrêt de l'eau et des agents agressifs. Néanmoins, ce type de fonctionnement quitte légèrement la définition même d'un hydrofuge. En effet, l'apparition d'une couche crée une barrière à la vapeur d'eau et provoque une différence d'aspect à la surface [15,16].

Le deuxième groupe de produits, ne laissant pas de couche superficielle, est le plus fréquemment utilisé. Ces hydrofuges sont composés d'agents actifs en solution dans l'eau ou du solvant. Les grandes particularités de ce type d'hydrofuge sont le faible coût de ce traitement, la facilité d'application sans préparation de surface et le respect de l'aspect d'origine.

### **I.4.5.Familles et exemples d'hydrofuges :**

#### **a) Enduits au latex :**

Produits à base d'acétates de vinyle, d'acrylique et styrène et de résines acryliques. Même si largement utilisés, ces produits résistent peu aux UV et sont sensibles à l'humidité. Ainsi, leur utilisation sera privilégiée en intérieur. [14,16]

#### **b) Ciment ou produits à base de ciment :**

Distribués en poudre, divers types de ciment peuvent être créés en mélangeant cette poudre avec de l'eau ou un polymère au latex (émulsion de polymère et d'eau). [14,16]

#### **c) Enduits polymériques :**

Produits à base de résines diluées dans des solvants organiques. La couche active se dépose par simple évaporation du solvant.[16]

#### **d) Résines époxy**

Ces résines sont obtenues grâce au mélange de deux composants (résines époxy et un durcisseur). Une fois le mélange réalisé et le produit mis en place, celui-ci durcit en quelques heures pour devenir fortement rigide et résistant (aux attaques tant physiques que chimiques).



Mais outre ses bonnes caractéristiques, la production à grande échelle semble compliquée vu la nécessité d'un mélange de deux composants très peu de temps avant la mise en place. De plus, comme précisé plus haut, ce produit annule totalement la perméabilité à la vapeur et forme un film luisant (voire coloré) sur la surface [16].

Finalement, la résine époxy présente un coefficient de dilatation différent du béton.

### e) Silicones :

La famille des silicones organiques est certainement la plus étudiée et la plus utilisée actuellement. Plusieurs sous-familles de produits existent en fonction de la taille des molécules de l'agent actif. En effet, les silicones sont des polymères composés par une répétition d'un ou plusieurs monomères. Les éléments présents au sein de ces monomères ont, comme pour le silicate, de l'oxygène et du silicium. La différence avec les hydrofuges inorganiques vient de la présence dans les polymères de groupes organiques tels que des hydrocarbures [15,16]

La principale caractéristique de ce type d'hydrofuge est l'absence totale de film à la surface et de liens physiques avec le béton. Celui-ci pénètre au sein des pores, sans les boucher, et réagit chimiquement avec le béton. Cette pénétration est influencée par le poids moléculaire et le type de solvant utilisé. Plus la taille moléculaire est faible, plus l'agent actif peut pénétrer en profondeur.

Pour que les produits agissent, deux réactions chimiques doivent avoir lieu : La première est l'"hydrolyse" qui consiste à faire réagir les molécules de silicones avec l'humidité pour former des groupes silionnes. Ceux-ci réagissent eux même avec les groupes.

## I.5. Effet des granulats de plastique sur le comportement des matériaux cimentaires :

### I.5.1. Densité :

Les recherches qui été conduit par Ferreira and al [17] ont rapporté que le béton incorporant des granulats de plastique 10%, 20%, 30% et 40% par remplacement avec les granulats de sable. Ces résultats de la densité ont montré que les granulats plastique produit une chute importante de la densité par rapport au béton témoin sans granulats de plastique recyclés.

### **I.5.2. L'ouvrabilité :**

Plusieurs investigations [18,19] sur le béton incorporant les granulats de plastique ont été rapportés que l'ouvrabilité et inversement proportionnelle au taux de granulats de plastique dans les matériaux cimentaires.

### **I.5.3. Résistance en compression:**

Les propriétés mécaniques des mortiers de ciment inclus 3%, 10%, 20% and 50% de granulats de plastique de type PET. Les résultats obtenus ont montré que la résistance en compression a été diminué proportionnelle aux pourcentage inclus des granulats de plastique [18,19].



## **Chapitre II : Matériaux et Méthodes Expérimentales**

### II.1 Introduction :

Dans cette étude, nous essayons d'améliorer la résistance mécanique des mortiers de ciment incorporant des granulats de plastique recyclés GPR. Dans la première partie de ce chapitre on caractérise les matières premières utilisées dans notre étude. Par la suite, on décrit le procédé 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.2.1.1 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 tamis est. 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 :

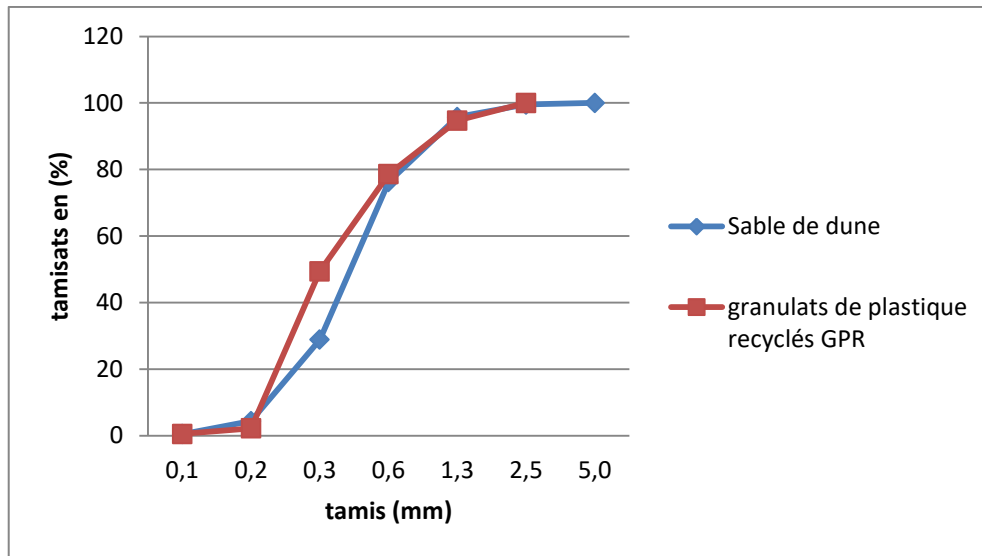


**Figure. II.1** : Analyse granulométrique

#### 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 de plastique.

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 floclent. 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 floclat. 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.

Essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$E_{sv}$ (%)	$E_{sv}$ (moy)
<b>1</b>	13.7	12.2	89.05	
<b>2</b>	12.5	11.3	90.4	<b>90.35</b>
<b>3</b>	13.1	12	91.6	
Essai	$h_1$ (cm)	$h'_2$ (cm)	$E_{sp}$ (%)	$E_{sp}$ (moy)
<b>1</b>	13.7	11.7	85.4	
<b>2</b>	12.5	10.9	87.2	<b>85.77</b>
<b>3</b>	13.1	11.1	84.73	

**Tableau II.1 :** Résultats d'essais d'équivalent de sable de dune testé.

### II.2.1. 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  $V_t$ . Il s'agit de remplir 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  $500 \text{ cm}^3$ . Le volume du liquide déplacé détermine le volume absolu  $V_s$  des grains solides.

$$\rho_s = M/V_s$$

### **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 :

$$C = V_s / V_t$$

### 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 ;

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = 1 - C$$

### 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 leChatelier. 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, examine 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 lechatelier 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.

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

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 règlette ;
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 règlette appuyée sur les bords de récipient ;
4. nettoyer l'extérieur du récipient ;
5. Peser de nouveau le récipient rempli, soit M2, sa masse
6. La masse volumique apparente est calculer par :

$$\rho_{app} = \frac{M2-M1}{V}$$

### 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.2.4. Hydrofuge :

➤ DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons étanches dans la masse: fondations, radiers et réservoirs.
- Bétons résistant à l'attaque des eaux de mer
- Béton résistant aux eaux industrielles ou des eaux pures.

### ➤ CARACTÉRISTIQUES/AVANTAGES

Hydrofuge de type Sika liquide se combine à la chaux pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du mortier, le rendant étanche à l'eau. Hydrofuge de type Sika liquide a un effet appréciable sur la prise et les résistances mécaniques des bétons.

### 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 raser 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. Par la suite, les éprouvettes sont conservés dans l'environnement de laboratoire jusqu'au jour de l'essai ( $T= 20\pm 2^{\circ}\text{C}$  et  $\text{HR}= 40 \pm 5\%$ ).



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

**Tableau II.2 :** 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.

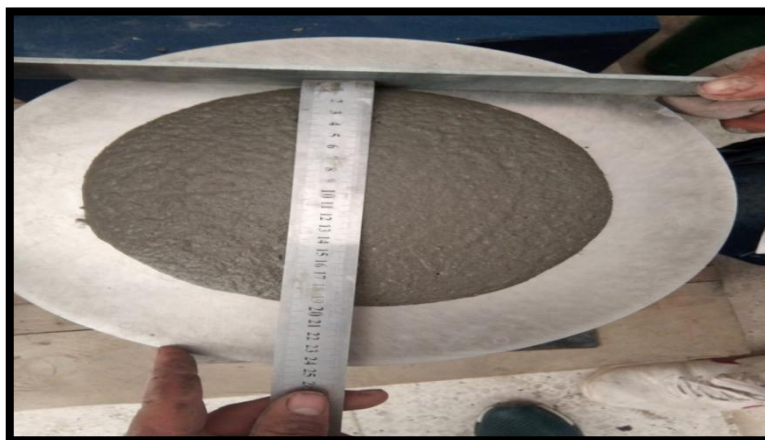
**Tableau II.3 :**Composition des mortiers préparés

Type de mortier	Granulats de plastique (g)	Sable (g)	Ciment (g)	Rapport E/C	Eau (g)	hydrofuge	
						%	(g)
MT Mortier témoin	0	1350	450	0.5	225	0	0
M1 MGPR 3%	40.5	1309.5	450	0.5	225	0	0
M2 MGPR 7%	94.5	1255.5	450	0.5	225	0	0
M3 MGPR 11%	148.5	1201.5	450	0.5	225	0	0
M4 MGPR 3% HYDROFUGE 1%	40.5	1309.5	450	0.5	225	1	4.5
M5 MGPR 7% HYDROFUGE 1.5%	94.5	1255.5	450	0.5	225	1.5	6.75
M6 MGPR 11% HYDROFUGE 2%	148.5	1201.5	450	0.5	225	2	9

### 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.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). Incréments 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). Incréments 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.

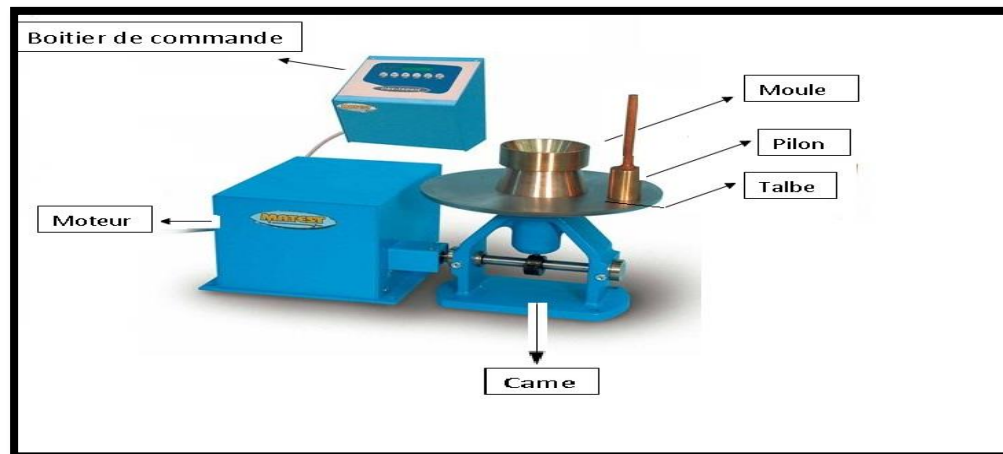


Figure II.8 : table d'étalement.

### 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 un bac d'eau 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  $\rho_{\text{app}}$  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  $105^\circ\text{C}$  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.6.2. Propriétés Mécaniques :

##### II.6.2.1. 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 tourner autour de leur centres, dans le plan vertical perpendiculaire aux axes des éprouvettes. La résistance à la flexion est calculée selon la formule :

$$Rf = \frac{3F_f L}{2b^3} \quad \text{Pa]$$

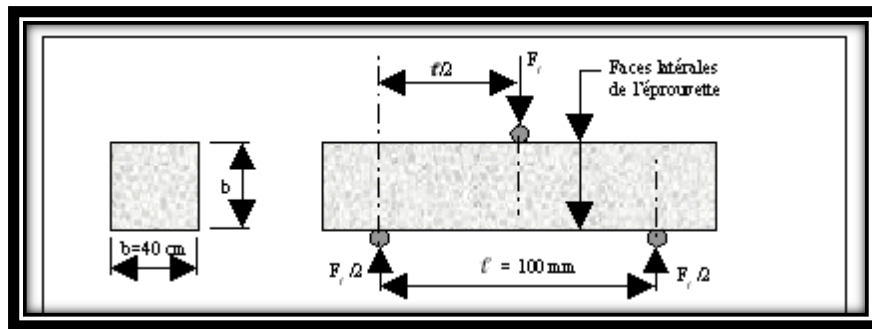
Avec :

F : charge de rupture en (N) ;

B : largeur de l'éprouvette ;

L : distance entre les appuie 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.6.2.2. 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 10mm 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 :

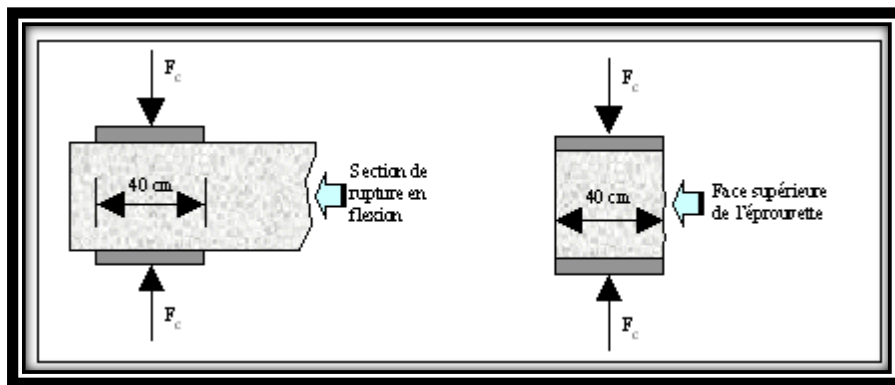


$$R_c = \frac{F_c}{S} \dots \dots \dots (II.12)$$

Avec :

$F_c$  ; force de rupture ;  $S$  ; section latérale de l'éprouvette, égale à 16 cm<sup>2</sup>.

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 (photo II.2). Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que schématisé sur la figure (II.5). Figure (II.5) : Dispositif de l'essai de rupture en compression.



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



## **Chapitre III : Résultats et discussions**

### III.1. Introductions :

Ce chapitre présentera les résultats de notre étude sur l'effet de l'inclusion des granulats de plastique recyclés GPR et l'adjuvant hydrofuge, sur quelques propriétés physiques et mécaniques des mortier étudiés. Nous avons étudié tout d'abord l'effet de la substitution des GPR sur les caractéristiques de mortier de ciment à l'état frais et à état durci. Des mesures de propriétés physiques (l'étalement de table, Essai Ultrasonique..) et de propriétés mécaniques (résistance à la compression et la résistance en flexion) ont été réalisées.

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

#### III.2.1. L'étalement de table:

Pour chaque type de mortier formulé, 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 3.1.

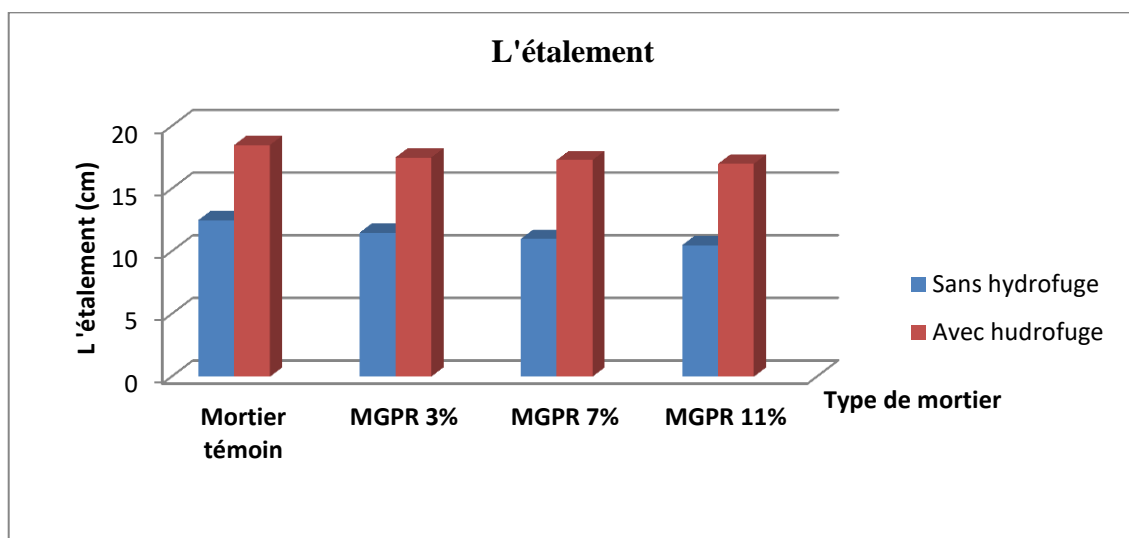


Figure III.1 :L'étalement de table des mortiers étudiés

La figure. 1 : montre que les GPR diminuent légèrement la consistance des mortiers étudiés pour le dosage étudié. De plus, l'ajoute d'hydrofuge améliore la consistance des mortiers étudiés fortement. Plusieurs études rapportés que les agrégats de plastique légers augmentent la maniabilité, d'où 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 normalisé, on a maintenu le rapport E/C constant. Ce comportement des mortiers de déchets de plastique avec et sans l'ajoute de l'hydrofuge

besoin des études approfondies sur la microstructure pour obtenir les explications de l'effet d'hydrofuge. Dans la littérature, des résultats sur le thème de l'effet des granulats de plastiques recyclés sur l'ouvrabilité des matériaux cimentaires est très variables. Néanmoins, il n'y a pas des études sur l'effet de l'hydrofuge sur les propriétés fraîches des mortiers incorporés les déchets de plastiques. 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 des propriétés durcis :

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

Les résultats de l'absorption par immersion des mortiers étudiés en fonction du taux d'inclusion des granulats de plastiques recyclés et le taux de l'hydrofuge sont présentés dans la figures.III. 2.

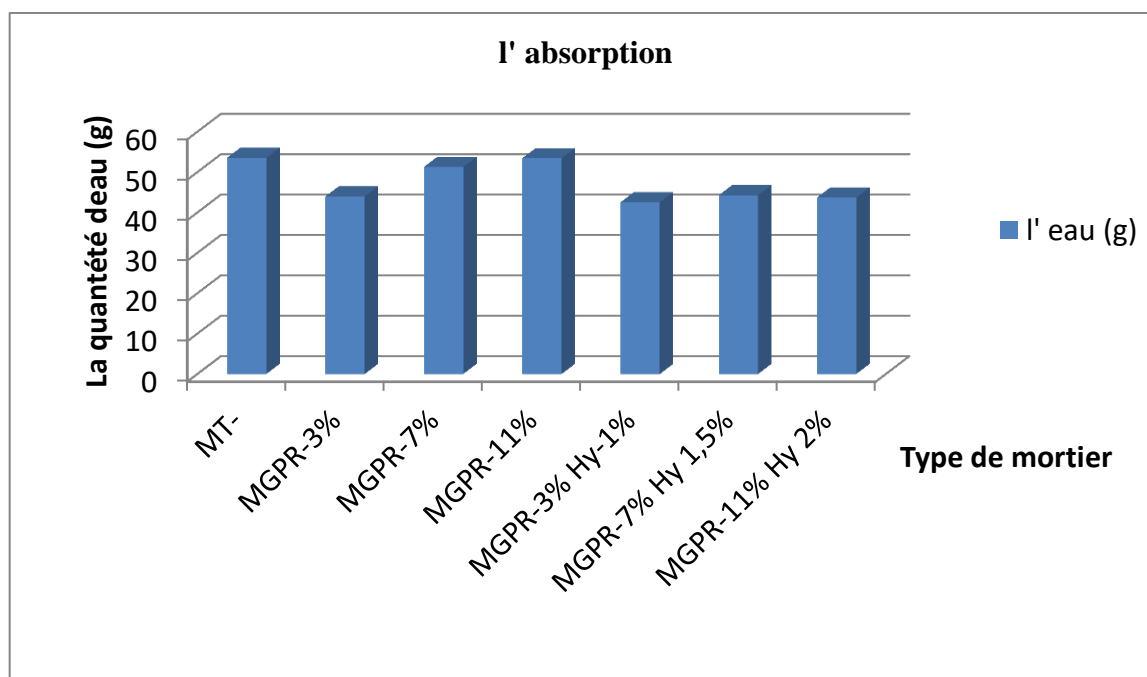


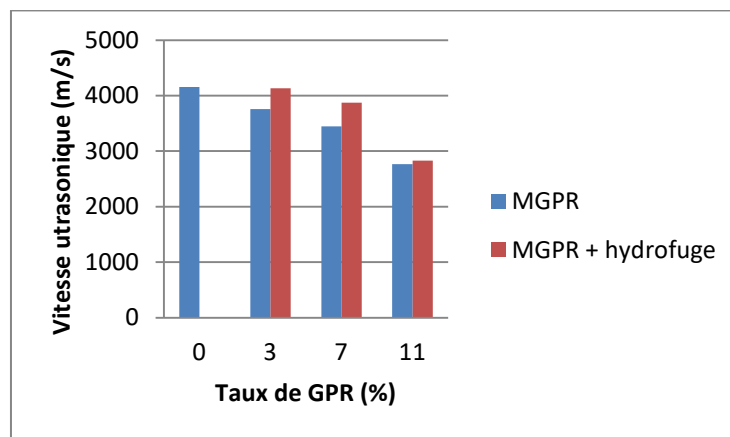
Figure. III.2 :L'absorption par immersion des mortiers étudiés.

La figure.2 révèle que la porosité diminue légèrement en fonction du taux des GPR seulement pour la composite incorporé 3% de plastique. Par contre, pour les composites incorporés 7% et 11 % ont une absorption similaire au composite témoin. De plus, l'ajoute de hydrofuge diminue le taux l'absorption des composites étudiés de façon significatif notamment pour la composite incorporé 3%. Donc, l'hydrofuge diminue l'absorption des composites étudiés. Cette propriétés innovante peut améliorer la performance mécanique

des mortiers incorporant les déchets de plastique et peut aussi améliorer leur durabilité vis-à-vis les différents attaques physico-chimiques.

### 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 résumés et représentés dans la Figure. III.3.



**Figure.III.3 :** Effet des GPR et hydrofuge sur la vitesse ultrasonique des mortiers étudiés

La figure.III.3. montre que l'inclusion des granulats de plastique recyclés GPR avec le mortier de ciment diminue leur vitesse ultrasonique. Par contre, la joute d'hydrofuge aux mortiers de plastique augmente leur vitesse ultrasonique par rapport les mortiers de plastique sans hydrofuge. Ce comportement montre que l'hydrofuge améliore la performance physique des mortiers adjuvantes par hydrofuge par rapport les mortiers plastique sans hydrofuge.

### III.4. Etude des propriétés mécaniques :

#### III. 4. 1. La résistance à la flexion :

Les figures. I.4et I.5 montrent la résistance à la flexion trois points des mortiers incorporés des déchets de plastique avec et sans l'hydrofuge pour des différents taux de remplacement des granulats naturels de sable par les granulats de plastiques recyclés pour l'âge de 3 et 28 jours respectivement.

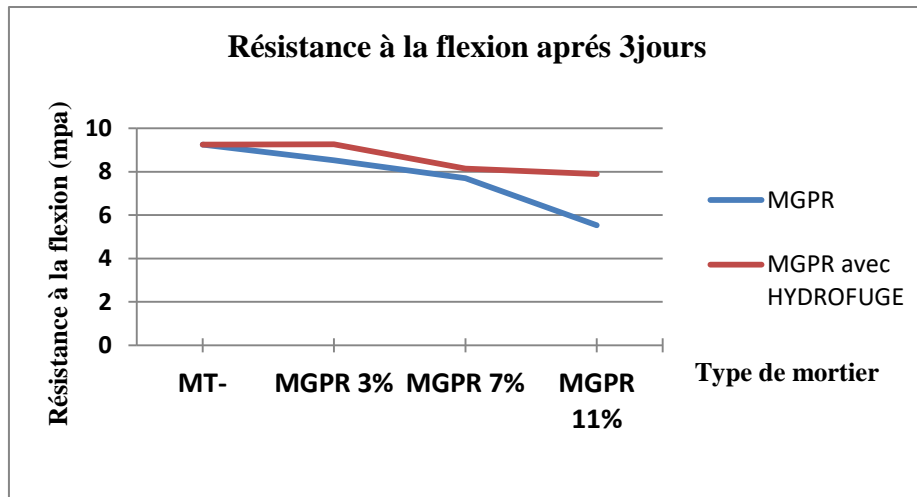


Figure.III. 4 : Évolution de résistance à la flexion des mortiers étudiés à l'âge de 3 jours (mpa).

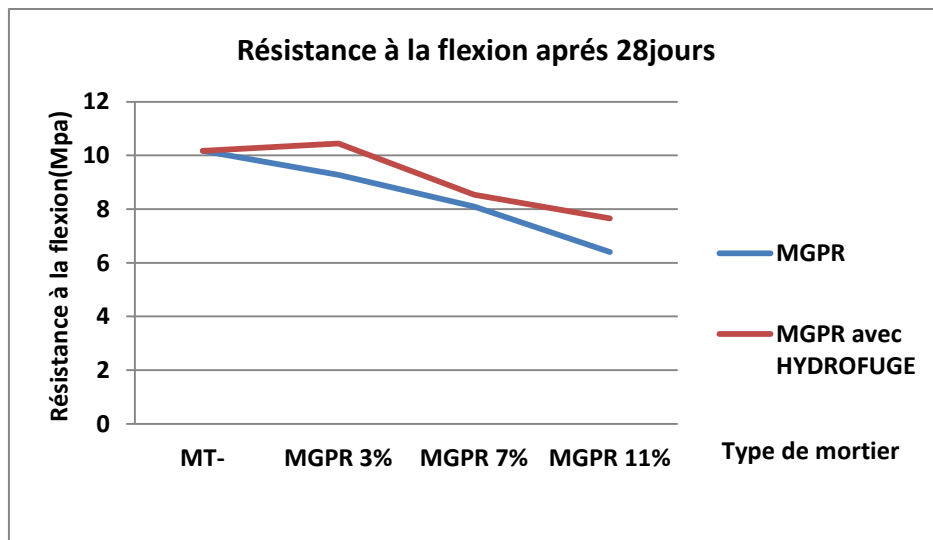


Figure.III. 5 : Évolution de résistance à la flexion des mortiers étudiés à l'âge de 3 et 28 jours (mpa).

Les figures.4 et 5. Révèlent que la résistance à la flexion des composites étudiés MGPR augmentent régulièrement avec l'âge des spécimens. En effet, A 28 jours on ne constate que la résistance en flexion du composite MGPR1 est diminuée de 37% par rapport au mortier témoin MT. L'inclusion des GPR diminue la résistance à la flexion 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 confirmé par plusieurs étude dans la littérature pour les matériaux cimentaires incorporant les granulats de plastiques. Néanmoins, la joute de l'adjuvant hydrofuge aux mortiers de plastique améliore fortement la résistance en flexion des mortiers de plastique. Ce comportement est bénéfique pour les mortiers à base de déchets de plastique.

### III.4.2. La résistance en compression :

La résistance en compression des mortiers est généralement considérée comme la plus importante propriété dans de nombreux cas pratiques. 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. Les résultats de la résistance à la compression des mortiers de plastique avec et sans hydrofuge en fonction de leur âge sont présentés par les figures. 6 et 7 respectivement.

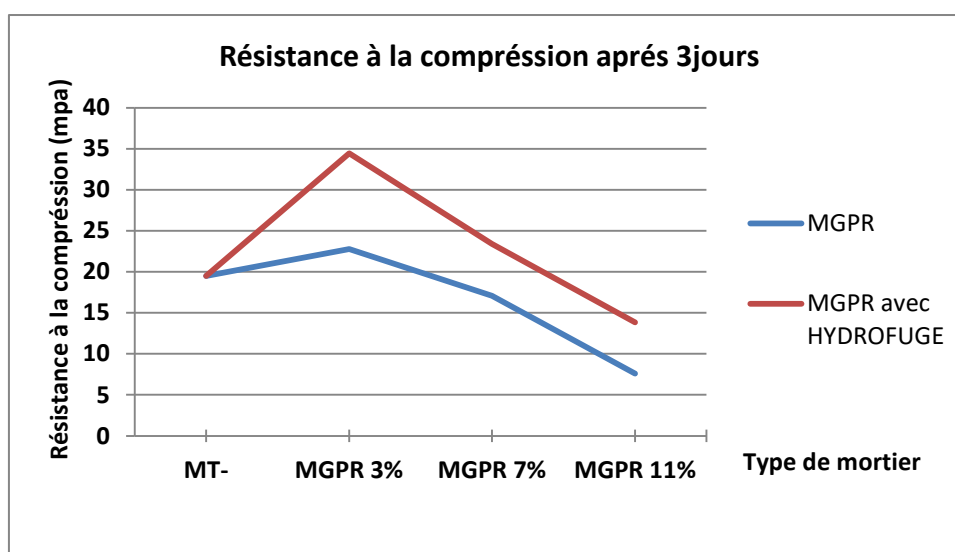


Figure.III. 6 : La résistance en compression des mortiers étudiés à l'âge de 3 jours (mpa).

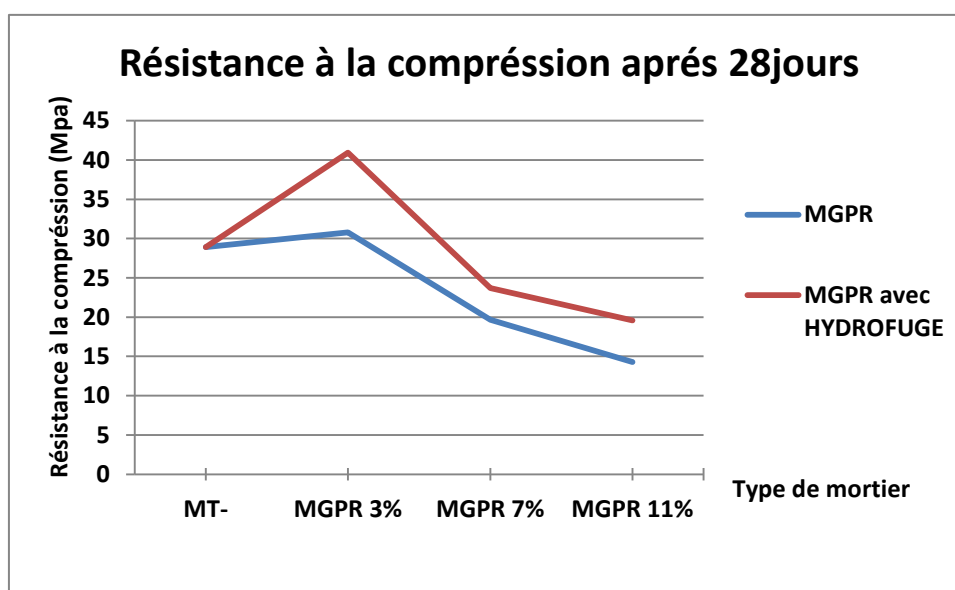


Figure.III. 7 : La résistance en compression des mortiers étudiés à l'âge de 28 jours (mpa).



Comme c'est le cas pour la résistance à la flexion, la résistance à la compression évolue rapidement durant les trois premiers jours puis lentement jusqu'à l'âge de 28 jours où l'évolution est presque négligeable. Toutefois, les valeurs de la résistance à la compression compte 4 à 5 fois celle de la flexion. La figure. 8 montre que l'inclusion des GPR avec les mortiers étudiés produit une légère augmentation de leur résistance à la compression pour les âges 3 jours. Néanmoins, le mortier témoin a une résistance en compression plus élevée que les mortiers plastiques. Plus on augmente le taux des GPR plus la résistance chute plus est cela pour l'âge de 28 jours. Néanmoins, la joute de l'hydrofuge aux mortiers de plastique pour les dosages : 0.5 % , 1% et 2% produit une forte augmentation de la résistance en compression des mortiers de plastique. Ce comportement montre que l'hydrofuge améliore l'adhérence plastique-ciment. Dans la littérature des composites cimentaires incorporant les GPR qui confirme nos résultats mais seulement pour l'âge de 28 jours. On peut expliquer la chute de résistance à la compression des mortiers plastiques par le fait que la liaison plastique-ciment est faible à cause la différence de rigidité entre les deux matériaux.

### III.5. Conclusion :

Les résultats obtenus montrent :

- Après l'ajout de déchet de plastique à la place de sable de dune on trouve :
  - L'étalement de mortier perd sa fluidité au tant que l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique.
  - Dans l'essai de l'absorption la quantité d'eau dans le mortier augmente avec l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique.
  - La vitesse de l'ultrasonique diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchets de plastique cela qui confirme l'augmentation des vides dans le mortier.
  - Dans l'essai d'écrasement la résistance en flexion et en compression diminuées avec l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique.
- Après l'ajout de déchet de plastique à la place de sable de dune avec l'hydrofuge on trouve:
  - l'étalement de table augmente avec le taux d'hydrofuge.
  - La meilleur composite vis-à-vis l'absorption d'eau est la composite incorporée 3% de déchet de plastique avec 1% de l'adjuvant hydrofuge.
  - L'ajoute de l'hydrofuge améliore la résistance en flexion et en compression des mortiers incorporés les déchets de plastique.

# **Conclusion Générale et perspectives**

### Conclusion Générale et perspectives

Dans ce travail de recherche, nous avons étudiés les caractéristiques physiques et mécaniques des mortiers de plastique avec et sans adjuvant de type hydrofuge pour une future utilisation dans le domaine de Génie Civil. Pour d'atteindre cet objectif, ce travail a été entrepris par une révision des travaux de recherche antérieurs sur les thématiques suivantes : de mortier ou béton incorporés les déchets de plastique, leurs effet sur l'évolution des propriétés des mortiers étudiés pour les différentes mode dosage en hydrofuge. Cette partie a été suivie une description des techniques expérimentales utilisés dans notre travail pour évaluer les différentes propriétés de nos mortiers fabriqués, notamment, les propriétés frais et durcies. A la fin, une dernière partie qui regroupe les résultats expérimentaux et leurs interprétations. Ces résultats ont permis de révéler les points suivants :

- Après l'ajout de déchet de plastique à la place de sable de dune on trouve :
  - L'étalement de mortier perd sa fluidité au tant que l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique .
  - Dans l'essai de l'absorption la quantité d'eau dans le mortier augmente avec l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique .
  - La vitesse de l'ultrasonique diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchets de plastique cela qui confirme l'augmentation des vides dans le mortier.
  - Dans l'essai d'écrasement la résistance en flexion et en compression diminuées avec l'augmentation de pourcentage de déchet de plastique.
- Après l'ajout de déchet de plastique à la place de sable de dune avec l'hydrofuge on trouve:
  - l'étalement de table augmente avec le taux d'hydrofuge.
  - La meilleur composite vis-à-vis l'absorption d'eau est la composite incorporée 3% de déchet de plastique avec 1% de l'adjuvant hydrofuge.
  - L'ajoute de l'hydrofuge améliore la résistance en flexion et en compression des mortier incorporés les déchets de plastique.

L'étude de l'effet des granulats de plastique avec les matériaux cimentaires c'est un sujet d'actualité très vaste qui ne peut en aucun cas être investi en un sujet de master. Ce mémoire n'a traité qu'un cas particulier de substitution des granulats naturels par les

## **Conclusion Générale et perspectives**

---

granulats de plastique pour un matériau bien spécifié. L'étude de lamicrostructure est un volet aussi très important pour découvrir l'interaction de ce type des granulats avec les granulats naturels silico-calcaire.

## Références Bibliographiques

---

### Références Bibliographiques :

[1] Guelminelayachi, Matériaux recyclés, Cours de Master Matériaux, 61 page.  
<https://elearning@univ-bba.dz/course/view.php?id=1796>

[2] Guelminelayachi, Contribution à l'étude de la durabilité de composite cimentaire incorporant les granulats des pneus usés sous l'effet d'un gel et à l'effet de la haute température. Thèse de Doctorat en Science, 2017, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene, 159 pages.

[3] Mohamed touhamiGouasmi, effet d'agrégats légers a base de poly téréphtalate d'éthylène sur les proprietes des mortiers. Mémoire de Magister. Université d'Oran, 175 page.

[4] Latroch Noureddine, Effet des agrégats à base de déchetsplastiques sur les différentes propriétés desmatériaux composites mortier-polymère, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Thèse de Doctorat en Science, 2019,183 page.

[5] Plastics Europe: Plastics-the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, *Demand and Waste Data*. 2013.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Badia JD, Stromberg E, Karlssonb S, Ribes-Greus A: The role of rystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled pol

y (ethylene terephtalate) (PET). *Polym.Degrad. Stab* 2012, 97: 98-107.

[9] Regourd M, Hornain H, Mortueux B: Microstructure of concrete in agressive environments durability of building material an components. *American Society for Testing Materials*1980,253-268.

[10] FRANCK, COLLEGE CESAR. Lesplastiques en debat. FRANCE :

COLLEGE CESAR FRANCK, 2013.

## Références Bibliographiques

---

- [11] Neville A.M., Propriétés des bétons, Ed Eyrolles, pp.754, Paris, 1988.
- [12] Dreux G., Festa J., Nouveau guide de béton et de ses constituants, Ed Eyrolles, pp.317, Paris, 1998.
- [13] Regourd M., Le béton hydraulique, chapitre d'eau, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussée, pp. 59-68, 1982.
- [14] C. Abseque. Étude de l'efficacité des produits imperméabilisants pour prévenir la dégradation de la face aval des barrages en béton. PhD thèses, Université de Laval, Québec, 2001.
- [15] CSTC. Hydrofugation de surface. Technical Report 224, Centre Scientifique et technique de la Construction, Bruxelles, 2002.
- [16] J.M. Vallet. La protection des pierres : Guide sur les hydrofuges de surface. Technical Report 3, Cercle des partenaires du patrimoine, Champs-Sur-Marne, 2000.
- [17] Luís Ferreira, Jorge de Brito, Nabajyoti Saikia. Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate, Construction and Building Materials, Volume 36, November 2012, Pages 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.098>
- [18] Claudiu Aciu., Dana-Adriana Ilutiu-Varvara, Daniela-Lucia Manea., Yvette-Anna Orban., Florin Babot. Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars. Procedia Manufacturing, Volume 22, 2018, Pages 274-279
- [19] Sifatullah Bahij., Safiullah Omary., Françoise Feugeas., Amanullah Faqiri. concrete containing different forms of plastic waste – A review. Waste Management, Volume 113, 15 July 2020, Pages 157-175. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.048>