



**Université Mohamed Khider de Biskra**

**Faculté des sciences et de la technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique**

# **MÉMOIRE DE MASTER**

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : matériaux de construction**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**NAILI AHLEM**

Le : mercredi 30 septembre 2020

## **Effet du traitement des granulats plastiques et le type de sable sur les caractéristiques du mortier**

---

### **Jury :**

Dr.	1ier membre du jury	MCB	Université de Biskra	Président
Mme	Haouara selma	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	3e membre du jury	MCB	Université de Biskra	Examineur

**Année universitaire : 2019 - 2020**



## *Dédicaces*

Je dédie ce travail

A mes parents et ma grande sœur qui m'ont soutenu

Pas seulement durant

La préparation de ce travail, mais aussi dès le premier

Jour que j'ai vu la lumière de ce monde.

A mon fiancé.

A tous mes sœurs et mes deux frères.

A toute l'équipe de laboratoire de génie civil de

L'université de Biskra

A tous ceux qui aiment et respectent le droit du

Savoir.

## ***Remerciements***

**Mes sincères remerciements à Dieu le tout puissant pour le  
Courage, la force, la Volonté et la santé qu'il m'a donnée afin  
De réaliser ce Mémoire.**

**Je tiens à remercier du fond du cœur mes parents qui ont su me donner une  
bonne éducation qui m'a permis d'arriver à ce stade d'études.**

**Je remercie vivement mon encadreur Mme : Selma.Haouara Enseignante au  
département de génie civil à l'université de Biskra**

**Pour son encadrement et ses exigences pour réaliser ce travail**

**Dans le cadre de la recherche Scientifique**

**Sans oublier l'ensemble des enseignants de département génie civil.**

**Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin  
à la réalisation de ce mémoire qui a été mené au laboratoire**

**Matériaux de construction du département de Génie civil et hydraulique.**

**Aux membres de jury pour avoir sacrifié de leur temps et accepté d'examiner ce  
mémoire et d'honorer par leur présence le jury de soutenance.**

**Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à mon cher père et ma chère maman,  
ma grande sœur Fatima, mes frères, Mon fiancé Hocine Achour, qui m'a  
soutenu pendant l'élaboration de ce travail**

## ملخص

إن استعادة النفايات البلاستيكية باستعمالها في مجال مواد الهندسة المدنية لها عدة مزايا: فهي تتجنب استنزاف الموارد الطبيعية مثل الرمل وتقلل من وجود النفايات البلاستيكية في الطبيعة. تعتمد هذه الدراسة على استخدام نفايات بلاستيك البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE بعد الاستهلاك في الميلاط على شكل ركام ناعم. تم تحضير ميلاط مرجعي للمقارنة وخضعت حبيبات HDPE لثلاث معالجات لتحسين ارتباطها بالأسمنت، وقد تم تعويض الرمل بالركام بتركيزين 10% و30% ليتم الاختيار بينهما.

بعد إجراء سلسلة من التجارب. أظهرت النتائج أن رمل المحجر والركام البلاستيكي المعالج بنسبة 10% تعطي أداء أفضل.

الكلمات المفتاحية: ملاط بلاستيك-تثمين بولي إيثيلان عالي الكثافة-المعالجة الكيميائية

## Résumé :

La valorisation des déchets plastiques comme matériaux en génie civil présente plusieurs avantages : elle permet d'éviter l'épuisement des ressources naturelles telles que le sable et de réduire la présence de déchets plastiques dans la nature. Cette étude est basée sur l'utilisation de déchets plastiques post-consommation HDPE dans mortier sous forme d'agrégat fin. Un mortier de référence a été préparé pour comparaison. Les granulés de PEHD ont subis trois traitements pour améliorer leur liaison avec la matrice cimentaire, ils ont été substitués au mortier 10% et 30% de sable.

Après des séries d'essais effectuées. Les résultats ont montré que le sable de carrière et que 10% en granulats plastiques traités donnent de meilleures performances.

Mot clé : mortier-plastique-valorisation-PEHD

## Abstract :

The recovery of plastic waste to civil engineering materials has several advantages: it avoids the depletion of natural resources such as sand and reduces the presence of plastic waste in nature. This study is based on the use of post-consumer HDPE plastic waste in mortar in the form of fine aggregate. A reference mortar was prepared for comparison. The HDPE aggregates were subjected to three chemical treatments to improve their bond with the cement matrix. The substitutions are variable percentage of sand (10% and 30%)

After series of tests carried out. The results showed that quarry sand and 10% treated plastic aggregates give better performance.

Keywords: Mortar, plastic, recycled plastic, chemical treatment.

## Sommaire

Titre	page
<b>Sommaire</b>	<b>I</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>V</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>VII</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre I</b>	
<b>Etude bibliographique sur la matière plastique</b>	
<b>I.1 Introduction :</b>	<b>5</b>
<b>I.2 Définition :</b>	<b>5</b>
<b>I.3 Historique de plastique :</b>	<b>6</b>
<b>I.4 Les déchets plastiques dans le monde :</b>	<b>6</b>
<b>I.5 L'impact des déchets plastiques sur l'environnement</b>	<b>8</b>
<b>I.5.1 Interdictions et mesures de Protection de l'environnement :</b>	<b>9</b>
<b>I.6. La gestion des déchets plastiques :</b>	<b>10</b>
<b>I.6.1. Cadre pour la gestion des déchets de plastique :</b>	<b>12</b>
<b>I.7. Les types de plastique :</b>	<b>13</b>
<b>I.8. Avantages des matières plastiques :</b>	<b>15</b>
<b>I.9. Inconvénients des plastiques :</b>	<b>16</b>
<b>I.10 Méthodes de recyclage et les applications dans le domaine de la construction :</b>	<b>17</b>
<b>I.10.1 Recyclage mécanique :</b>	<b>17</b>
<b>I.10.2 Recyclage chimique ou recyclage des matières premières :</b>	<b>17</b>
<b>I.10.3 La modification chimique :</b>	<b>18</b>
<b>I.10.4 Retraitement thermique :</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Rappel bibliographique sur le mortier</b>	
<b>II.1 Introduction</b>	<b>21</b>
<b>II.2 Définition du Mortier</b>	<b>21</b>
<b>II.3 Différents types de mortier et leurs domaines d'application</b>	<b>21</b>
<b>II.3.1 Mortier de chaux grasse :</b>	<b>21</b>
<b>II.3.2 Mortier de chaux hydraulique :</b>	<b>22</b>
<b>II.3.3 Mortier bâtard :</b>	<b>22</b>
<b>II.3.4 Mortier de terre :</b>	<b>22</b>
<b>II.3.5 Les mortiers de fibres :</b>	<b>22</b>
<b>II.3.6 Mortiers industriels secs pré mélangés :</b>	<b>22</b>
<b>II.3.7 Mortier de ciment :</b>	<b>23</b>
<b>II.4 Mortier de ciment et ses constituants :</b>	<b>23</b>
<b>II.4.1 Le ciment</b>	<b>23</b>
<b>II.4.1.1 Différents types de ciment courant :</b>	<b>24</b>
<b>II.4.2 Classes de résistance des ciments courants :</b>	<b>24</b>
<b>II.4.3 Caractéristique du ciment :</b>	<b>25</b>



II.4.3.1 Le temps de prise :	25
II.4.3.2 La consistance normale :	26
II.4.3.3 Finesse du ciment ( finesse de Blaine) :	26
II.4.3.4 Le retrait :	27
II.4.3.5 Gonflement :	27
II.4.3.6 L'hydratation :	27
II.4.3.7 La masse volumique :	28
II.4.2 le sable :	28
II.4.2.1 Classification des sables selon leurs provenances :	28
II.4.2.2 Les caractéristiques des sables :	29
II.4.2.2.1 Les caractéristiques géométriques	29
II.4.2.2.2 Les caractéristiques physico-chimiques :	30
II.4.2.2.3 Caractéristiques physiques et mécaniques :	31
II.4.3 L'eau de gâchage :	32
II.5 Les essais sur mortier :	32
II.5.1 Essais à l'état frais :	32
II.5.1.1 Essai d'étalement à la table à secousse :	32
II.5.2 Essais sur le mortier durci :	33
II.5.2.1 Essai de résistance à la compression :	33
II.5.2.2 Essai de résistance à la flexion et traction par flexion	33
<b>Chapitre III</b> <b>Recherche bibliographie sur travaux publié</b>	
III.1 Introduction	36
III.2 Types et quantités de substitutions des agrégats naturels par des agrégats légers dans le Mortier :	36
III.3 Evaluation des propriétés des mortiers/bétons à base des agrégats légers	37
III.4 Maniabilité (Etalement)	38
III.5 Propriétés mécaniques :	39
III.5.1 L'influence de la substitution des PA sur la résistance à la compression des mortiers	39
III.5.2 L'influence de la substitution des PA sur la résistance a la flexion :	40
III.6 Caractéristiques des ruptures :	40
<b>Chapitre IV</b> <b>Matériaux utilises et procedures expérimentaux</b>	
IV.1 Introduction	43
IV.2 Matériaux utilisé :	43
IV.2.1 Ciment	44
IV.2.1.1 Les caractéristiques chimiques et minéralogiques des ciments utilisés EN 196-2	44
IV.2.1.2 Les caractéristique physique du ciment utilisé :	45
La masse volumique absolue et apparente : NF EN 196-1	45
IV.2.2 Eau	45
IV.2.3 Sable	45

<b>IV.2.3.1 Les caractéristiques physiques et mécaniques :</b>	<b>46</b>
<b>La Masse volumique apparente (NF P 18-554)</b>	<b>46</b>
<b>Masse volumique absolue : (la norme NF P 18-555)</b>	<b>47</b>
<b>IV.2.3.2 Les caractéristiques géométriques</b>	<b>48</b>
<b>L'analyse granulométrique NF EN 933-1 43</b>	<b>48</b>
<b>Module de finesse (la norme NF P18-540):</b>	<b>50</b>
<b>IV.2.3.3 Les caractéristiques physico-chimiques :</b>	<b>50</b>
<b>III.2.4 granulat en déchets de plastique (PEHD) :</b>	<b>51</b>
<b>IV.2.4.1 Les caractéristique physique et mécanique</b>	<b>51</b>
<b>Masse volumique apparente</b>	<b>52</b>
<b>III.2.4.2 L'analyse granulométrique</b>	<b>53</b>
<b>IV.3 Procédure expérimentales :</b>	<b>54</b>
<b>IV.4.1.1 Traitement par S1</b>	<b>55</b>
<b>IV.4.1.2 Traitement par S2</b>	<b>56</b>
<b>IV.5 préparation des mortiers</b>	<b>57</b>
<b>IV.5.1 Calcul des composants des mortiers</b>	<b>57</b>
<b>IV.5.2 Malaxage des composants du mortier :</b>	<b>58</b>
<b>IV.5.3 Confection des éprouvettes de mortier :</b>	<b>59</b>
<b>Chapitre V</b> <b>Résultats et interprétations</b>	
<b>V Résultats et interprétations</b>	<b>62</b>
<b>V.1 Etude de la maniabilité</b>	<b>62</b>
<b>V.1.1 L'effet du type de sable sur la maniabilité d'un mortier contenant des granulats PEHD.</b>	<b>62</b>
<b>V.1.2 L'effet de la substitution en granulats PEHD sur la maniabilité des mortier</b>	<b>63</b>
<b>V.2.3 L'effet du traitement des granulats PEHD sur la maniabilité du mortier</b>	<b>65</b>
<b>V.2 Comportement du mortier durci</b>	<b>66</b>
<b>V.2.1 Essai de la résistance à la compression</b>	<b>67</b>
<b>V.2.1.1 L'effet du type de sable sur la résistance à la compression d'un mortier contenant des granulats PEHD</b>	<b>67</b>
<b>V.2.1.2 L'effet de la substitution en granulats PEHD sur la résistance à la compression du mortier</b>	<b>68</b>
<b>V.2.1.3 L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la compression du mortier</b>	<b>69</b>
<b>V.2.2 Essai de la résistance à la flexion</b>	<b>70</b>
<b>V.2.2.1 L'effet du sable sur la résistance à la flexion d'un mortier contenant des granulats PEHD</b>	<b>71</b>
<b>V.2.2.2 L'effet de la substitution en granulats PEHD sur la résistance à la flexion</b>	<b>72</b>
<b>V.2.2.3 L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier</b>	<b>73</b>
<b>V.2.3 Caractéristiques des ruptures</b>	<b>74</b>
<b>Conclusion Générale</b>	<b>77</b>
<b>Références bibliographiques.</b>	<b>80</b>

## Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
<b>Tableau I.1</b>	Applications et description des plastiques recyclés et vierges	13
<b>Tableau II.1</b>	Liste des différents types de ciments courants normalisés	24
<b>Tableau II.2</b>	Résistance à la compression	25
<b>Tableau II.3</b>	classification normalisée des sables	30
<b>Tableau II.4</b>	les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (ES)	31
<b>Tableau III.1</b>	Propriétés de certains types des déchets légers utilisés comme agrégat.	36
<b>Tableau III.2</b>	L'évaluation des propriétés des mortiers et bétons à base des agrégats légers.	38
<b>Tableau IV.1</b>	La composition chimique du ciment	44
<b>Tableau IV.2</b>	La composition minéralogique (Formule de Bogue)	45
<b>Tableau IV.3</b>	masses volumique apparent des sables d'oued et sable concassée	46
<b>Tableau IV.4</b>	masses volumique absolu des sables d'oued et sable concassée	47
<b>Tableau IV.6</b>	analyse granulométrique d'un sable concasse (0/5)	48
<b>Tableau IV.7</b>	Analyse granulométrique d'un sable d'oued.	49
<b>Tableau IV.8</b>	module de finesse $M_f$ des sables concassé et sable d'oued	50
<b>Tableau IV.9</b>	Résultats d'équivalent du sable concassé et sable d'oued	50
<b>Tableau IV.10</b>	la teneur en eau des sables concassé et sable d'oued	51
<b>Tableau IV.11</b>	résultats de masse volumique apparente	52
<b>Tableau IV.12</b>	Résultats de masse volumique absolue	52
<b>Tableau IV.13</b>	analyse granulométrique de déchets plastique PEHD	53



## Liste des figures

Figure	Titre	Page
<b>Figure I.1</b>	Production mondiale de déchets de plastique primaire, 1950-2015	<b>7</b>
<b>Figure I.2</b>	L'effet des déchets plastique rejeté dans la nature sur les animaux marins et les arbres	<b>8</b>
<b>Figure I.3</b>	processus de gestion de déchets plastique	<b>12</b>
<b>Figure II.1</b>	Constituants des mortiers	<b>21</b>
<b>Figure II.2</b>	Principe de la méthode Blaine	<b>26</b>
<b>Figure II.2.A</b>	Table à secousses et la mesure d'étalement	<b>32</b>
<b>Figure II.3</b>	Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)	<b>33</b>
<b>Figure IV.1</b>	Ciment utilisé dans ce travail.	<b>44</b>
<b>Figure IV.2.a</b>	Sable concassé	<b>46</b>
<b>Figure IV.2.b</b>	Sable d'oued	<b>46</b>
<b>Figure IV.3</b>	masse volumique absolu de sable	<b>46</b>
<b>Figure IV.4</b>	la masse volumique apparente du sable d'oued	<b>47</b>
<b>Figure IV.5</b>	masse volumique absolu de sable	<b>47</b>
<b>Figure IV.6</b>	les formes des grains	<b>47</b>
<b>Figure IV.7</b>	Tamis et tamiseuse électrique	<b>48</b>
<b>Figure IV.8</b>	La courbe d'analyse granulométrique des agrégats utilise dans cette étude	<b>48</b>
<b>Figure IV.9</b>	Equivalent de sable mesuré au piston	<b>49</b>
<b>Figure IV.10</b>	machine d'agitation	<b>50</b>
<b>Figure IV.11</b>	échantillon du granulat plastique PEHD	<b>50</b>
<b>Figure IV.12</b>	masse volumique apparent de plastique PEHD	<b>51</b>
<b>Figure IV.13</b>	la masse volumique absolue des agrégats plastique(PEHD)	<b>51</b>
<b>Figure IV.14</b>	Tamis et tamiseuse électrique	<b>52</b>
<b>Figure IV.15</b>	Organigramme des étapes expérimentales	<b>53</b>
<b>Figure IV.16</b>	les différents types de mortier	<b>55</b>
<b>Figure IV.17</b>	les solutions utilisent pour le traitement chimique	<b>57</b>
<b>Figure IV.18</b>	Les traitements mécaniques Granulats plastiques PEHD	<b>57</b>

<b>Figure IV.19</b>	Pesage des composants du mortier	<b>59</b>
<b>Figure IV.20</b>	Malaxeur d'une capacité maximale de 5 L	<b>59</b>
<b>Figure IV.21</b>	Malaxage des composants du mortier	<b>59</b>
<b>Figure IV.22</b>	La table à choc	<b>60</b>
<b>Figure IV.23</b>	Les moules métalliques	<b>60</b>
<b>Figure IV.24</b>	conservation des moules	<b>60</b>
<b>Figure IV.25</b>	Démoulage des éprouvettes	<b>60</b>
<b>Figure V.1</b>	L'essai d'étalement	<b>62</b>
<b>Figure V.2</b>	Variation de l'étalement d'un mortier contenant des granulats en PEHD selon le type de Sable	<b>62</b>
<b>Figure V.3</b>	La différence entre les étalements des trois mortiers	<b>64</b>
<b>Figure V.4</b>	Variation de l'étalement d'un mortier à base de sable concassé selon les substitutions en granulats PEHD.	<b>64</b>
<b>Figure V.5</b>	Variation de l'étalement d'un mortier selon le traitement des granulats PEHD.	<b>65</b>
<b>Figure V.6</b>	Conservation des éprouvettes à l'eau pendant 28 jours	<b>66</b>
<b>Figure V.7</b>	Presse pour mortier (Machine de compression)	<b>67</b>
<b>figure V.8</b>	L'effet du type de sable sur la résistance à la compression	<b>67</b>
<b>Figure V.9</b>	L'effet du pourcentage des granulats PEHD sur la résistance à la compression.	<b>68</b>
<b>Figure V.10</b>	L'effet des traitements des granulats PEHD sur la résistance a la compression du mortier	<b>69</b>
<b>Figure V.11</b>	L'essai de la résistance à la flexion.	<b>70</b>
<b>Figure V.12</b>	L'effet du type de sable sur la résistance de la flexion du mortier	<b>71</b>
<b>Figure V.13</b>	L'effet du pourcentage des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier	<b>72</b>
<b>Figure V.14</b>	L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier	<b>73</b>
<b>Figure V.15</b>	: Mode de défaillance des échantillons des mortiers contenant des agrégats aplatis (traitement mécanique) après l'essai de flexion	<b>74</b>
<b>Figure V.16</b>	Etat des éprouvettes des mortiers contenant des agrégats en PEHD après les essais de flexion et de compression	<b>74</b>

## **Liste des abréviations**

**MSOT : mortier** témoin avec sable d'Oued et sans PEHD

**MSOPA10 : mortier** avec un sable d'Oued et 10% de (avec sable d'Oued et sans PEHD)

**MSCT : mortier** témoin (avec sable concassé et sans PEHD)

**MSCPA10 : un mortier** avec un sable concassé et 10% de PEHD.(PEHD sans traitement)

**MSCPA10 : un mortier** avec 10% de PEHD

**MSCPA30 : un mortier** avec 10% de PEHD

**MS1 : mortier** avec 10% de PA traité par S1

**MS2 : mortier** avec 10% de PA traité par S2.

**S1 : solution N 01** Esprit de sel

**S2 : solution N 02** Eau de javel

**Map : mortier** avec 10% de PA aplatis.

**Rc : refus cumulé** en (%).

**Mf : module** de finesse

**Ph : poids** du matériau humide.

**W (%) :** la teneur en eau

**ESp : équivalent** de sable mesuré au piston.

**ESV : équivalent** de sable visuel mesuré visuellement.

**SC : Sable** carrière (AIN TOUTA)

**Rc : Résistance** à la compression en MPa.

**Fc : Charge** de rupture en N.

**b : Côté** de l'éprouvette en mm.

**Rf : Résistance à la flexion en MPa.**

**Ff : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N.**

**L : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm.**

**NFP : Norme française applicable au bâtiment et génie civil.**

**EN : Norme Européenne définitive.**

**AFNOR : Association française de normalisation**

**C3S : Silicate tricalcique**

**C2S : Silicate bicalcique**

**C3A : Aluminate tricalcique**

**C4AF : Alumino-ferrite tétracalcique**

**CSH : Silicates de calcium hydratés**

**PEBD : Polyéthylène à basse densité**

**PEHD : Polyéthylène à haute densité**

**PP: Polypropylène**

**PS : Polystyrène**

**EPS : Polystyrène expansé**

**PSEM : Polystyrène expansé modifié thermiquement**

**PET : Polyéthylène téréphtalate**



# Introduction générale

# Introduction générale

---

Au cours de ces dernières années, les déchets de différentes sources sont à l'origine de divers problèmes environnementaux liés à leur stockage et leurs quantités croissantes. Par ailleurs, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontés, à terme, à l'épuisement [37].

Le plastique c'est un matériau omniprésent. En raison de ses avantages liés à son cout, sa légèreté, la facilité de son utilisation sa force et sa longue durée de vie sont les facteurs qui font qu'une croissance, substantielle de la consommation de plastique est observée partout dans le monde ces dernières années, L'accroissement démographique, le mode de vie (apparition des supermarchés, conservation d'aliment dans les emballages plastiques...) ont créer une grande décharge plastique qui menace l'environnement ce qui augmente également la production de ses déchets.

Ses déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car ils sont non biodégradables par le faite que leur durée de vie peut atteindre jusqu'à 400 ans environ [5].

En plus ils sont à l'origine de la transmission de plusieurs maladies comme : le paludisme et la peste. Ainsi ; constituent une pollution visuelle lorsqu'ils sont emportés par le vent, en s'éparpillant dans la nature et parfois, en s'accrochant aux arbres.ils aussi sont à l'origine d'une certaine imperméabilité des sols contribuant ainsi, à la dégradation du milieu naturel (Zombre, 1997).... Bref ces déchets plastiques dégradent l'environnement.

Le déchet plastique est l'un des principaux soucis environnementaux à cause de sa présence en grande quantité ce qui menace la protection de l'environnement. La valorisation de ce déchet dans la fabrication du béton afin de réduire sa présence dans la nature en gardant les propriétés mécaniques et la durabilité du béton est une solution économique et écologique. Pour résoudre ces problèmes environnementaux, de nombreuses réflexions sont axées sur la conception de nouveaux matériaux. De nos jours le recyclage des déchets plastiques fait l'objet de nombreuses études.

Cette étude concerne l'utilisation de déchets plastiques post-consommation en polyéthylène à haute densité (HDPE) dans le béton en tant que remplissage fin. Un mortier de référence a été proportionné pour faire la comparaison.

Des granulats en plastique polyéthylène à haute densité (HDPE) seront soumis aux différents traitements chimiques pour améliorer leur liaison avec la matrice cimentaire. Les particules de plastique seront ajoutées au béton afin de remplacer 10% du sable.

Les résultats obtenus par les mortiers contenant 10% de granulats plastiques et soumis aux différents traitements chimiques seront comparés avec les résultats donnés par un mortier composé de granulats plastiques non traités

Cette étude donnera comme conclusion le traitement chimique qui aura effet significatif sur les caractéristiques d'un béton préparé avec des granulats plastiques. Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit du déchet plastique.



# Introduction générale

---

Pour cela dans mon travail : J'ai choisi des agrégats en PEHD (déchet plastiques) qui est une matière première locale, recyclée, disponible et n'est pas chères.

Pour atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés, notre étude sera structurée autour de quatre chapitres commencent par une introduction générale ;

En va commencer par première chapitre qui contient une étude bibliographique sur la matière plastique.

Deuxième chapitre concerne un rappel bibliographie sur mortier.

Troisième chapitre en à assembler publiés, qui concernent l'influence du mortier

De la recherche bibliographique sur les travaux granulats plastiques sur les caractéristiques du Quatrième chapitre contient les matériaux utilise dans cette recherche et procédures expérimentales avec l'analyse des résultats et interprétation.



# Chapitre I

*Etude bibliographique sur la matière plastique*

## **I.1 Introduction :**

Depuis l'apparition des supermarchés et le mode de conservation de certains produits, l'emballage en plastique est devenu inévitable dans le quotidien du consommateur. Une fois son rôle rempli, l'emballage est rejeté avec les ordures ménagères. La prolifération des emballages en plastiques qui sont des produits non biodégradables pose des problèmes pour l'environnement qu'il faut absolument résoudre. Une solution serait le recyclage de ces déchets en les utilisant pour la confection de matériaux de construction. Ce chapitre fait un point bibliographique sur le plastique et des définitions à la compréhension de ce travail.[5] L'objet de ce chapitre est de faire une synthèse des connaissances sur les matériaux qui sont l'objet de cette étude qui soit suffisantes à la compréhension des analyse proposée on a présenté certaines généralités sur les intrants qui sont cependant utiles à la compréhension de l'ensemble des phénomènes qui nous intéressent. [2]

## **I.2 Définition :**

Le terme « plastique » est dérivé de « plastikos », un mot grec. Signifiant « apte au moulage ». Ce terme désigne la plasticité ou la malléabilité d'un matériau qui permet sa coulée, son extrusion ou son pressage en formes multiples (Plastics Europe, 2018). Polymères organiques, comme le polyéthylène, le nylon et le chlorure de polyvinyle (PVC) sont des principaux composants du plastique [32]. Ces types de plastique peuvent être moulés dans une forme souple et modifié pour créer un peu élastique ou rigide formes [32]. La vie quotidienne a de nombreuses exigences pour le plastique, qui est conçu pour répondre à tous les besoins et à toutes les manières. Le plastique a des propriétés très diverses ; il n'est pas un matériau simplement mais une combinaison de centaines de matériaux. Plastique matériaux peuvent être produits à partir de différentes sources. Ses matières premières peut être d'origine fossile (pétrole brut, gaz, etc.) ou renouvelable (canne à sucre, amidon, huiles végétales, etc.) ou même base minérale (sel). Indépendamment de la nature de leurs matières premières, certains plastiques sont également biodégradables. Cela signifie que s'ils sont correctement collectés et traités avec les déchets organiques, ils peuvent se biodégrader et devenir du compost [33]. À l'exception encore marginale des bioplastiques, la production de plastique provient de la pétrochimie à partir du pétrole – raffiné en naphta – ou du gaz naturel. En 2016, la pétrochimie a utilisé l'équivalent de 17,4 millions de barils de pétrole par jour, soit un peu moins de 20 % de la consommation mondiale de pétrole. Les grands producteurs sont historiquement les groupes pétroliers et les chimistes qui souvent ont séparé

leurs activités de chimie lourde et de chimie fine.[1]Aussi que le plastique c'est le chimiste américain d'origine

belge Leo\_Hendrik\_Baekeland qui, semble-t-il, utilisa pour la première fois, vers 1909, le terme de « matières plastiques » pour désigner des produits à base de macromolécules (résines, élastomères, fibres artificielles). Deux ans plus tôt, il avait inventé le premier plastique synthétique, la bakélite, qui fut longtemps la matière première de nos vieux combinés téléphoniques.

### **I.3 Historique de plastique :**

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes (**Weiss, 2009**).[5] La majorité des plastiques (99%) utilisée dans le monde est fabriquée à partir de pétrole et de gaz naturel (**Doublier, 2008**). On estime la production mondiale de plastique à 300 millions de tonnes métriques, avec un taux de croissance annuel d'environ 4% [7]. Une portion importante sert à la manufacture d'emballages, soit près de 40%. Les plastiques de consommation courante sont presque tous dérivés d'hydrocarbures, et on estime que 8% des ressources en pétrole fournissent le matériel et l'énergie nécessaire à la production actuelle de plastique [8].

Mais l'invention des plastiques est bien antérieure, le Français Henri Braconnot ayant conçu dès 1833 du nitrate de cellulose qui fut produit industriellement à partir de 1868 aux États-Unis par les frères Hyatt pour fabriquer des boules de billard : le plastique commençait sa longue carrière de « simili », ici de l'ivoire. Mais il était produit à partir de cellulose, nous n'étions pas encore dans l'univers du synthétique.

C'est de l'entre-deux-guerres que datent les principales inventions de l'univers des plastiques : après la cellophane en 1913, ce fut le polychlorure de vinyle en 1927, le polystyrène et le nylon en 1938, le polyéthylène en 1942.

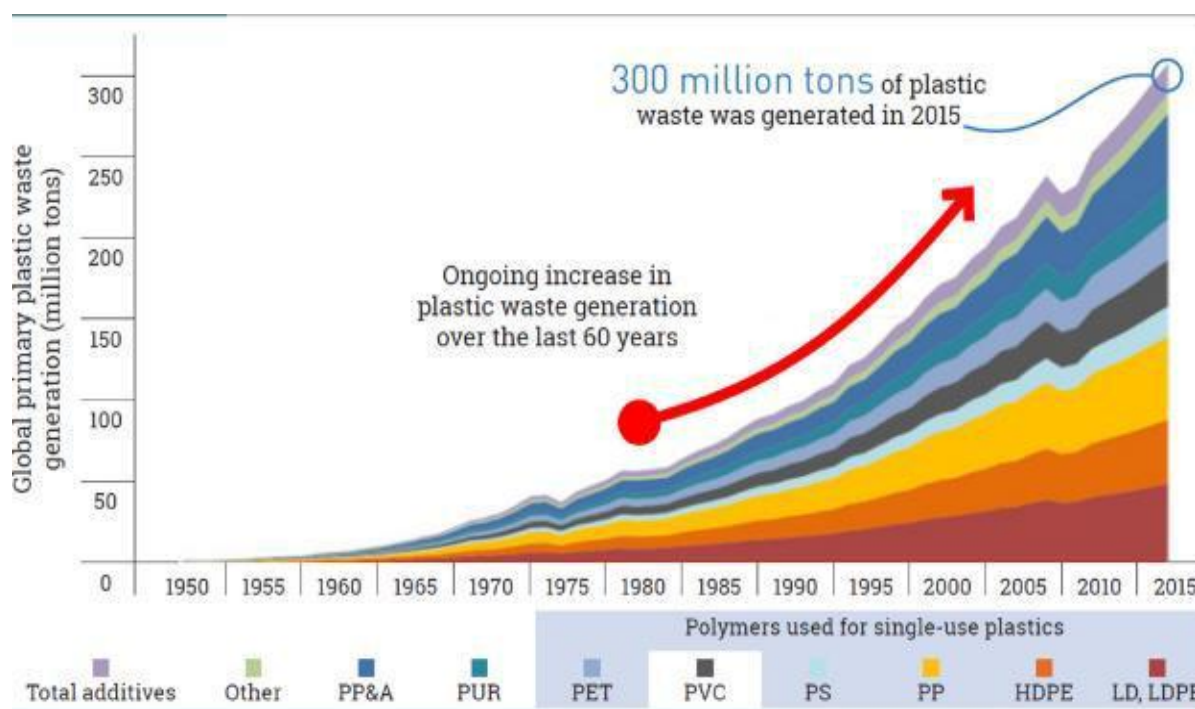
### **I.4 Les déchets plastiques dans le monde :**

Le monde est au bord d'une crise des déchets et nos actions dans les prochaines années détermineront l'avenir de notre planète [32]. Les plastiques sont devenus le visage public de cette crise. La pression réglementaire et la pression des consommateurs sont plus fortes que jamais [34]. Au cours des 50 dernières années, la production internationale de plastique a

augmenté. Produits en plastique sont devenus une partie importante de notre style de vie moderne [35].

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'environnement Programme (PNUE), le monde produit plus de 400 Mt de plastiques chaque année, montrer la production mondiale de déchets plastiques entre 1950 et 2015[36].

Le plastique a imprégné chaque partie de la vie, et la consommation mondiale annuelle de matières plastiques augmente régulièrement. Cette augmentation de la consommation résulte de coût approprié du plastique, résistance, faible densité, capacités de fabrication, conception conviviale et large utilisation de l'emballage. [32]



**Figure I.1** : Production mondiale de déchets de plastique primaire, 1950-2015.[32]

Au niveau mondial, la pollution par le plastique est estimée à 75,4 % de macroplastiques, 11,4% de méso plastiques, 10,6 % et 2,6 % dans les deux tailles de micro plastiques. Des articles de presse parlent de la présence de microplastiques dans le miel, la bière, les eaux de robinet ou les eaux minérales.[1]

Ils montrent que ces particules discrètes peuvent contaminer notre alimentation. Moins visibles que les gros débris qui flottent à la surface des océans, ils soulèvent plusieurs inquiétudes dues à leur petite taille. Ils sont alors ingérés par les organismes maritimes, favorisant ainsi la contamination de la chaîne alimentaire. [1]

Une étude récente de la Banque mondiale estime que sur 2 milliards de tonnes de déchets produits dans le monde en 2016 (un chiffre qui ne comptabilise que les déchets ménagers), 242 millions de tonnes sont des plastiques, 57 millions de tonnes provenant d'Asie, 45 millions de tonnes d'Europe au sens le plus large et 35 millions de tonnes d'Amérique du Nord. Ramené à la production mondiale de 336 millions de tonnes, cela veut dire que l'équivalent de 70 % serait rejeté chaque année. . [20]

## **I.5 L'impact des déchets plastiques sur l'environnement**



**Figure I.2 :**L'effet des déchets plastiques rejetés dans la nature sur les animaux marins et les arbres

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie, la quantité de plastiques consommés annuellement s'est développée considérablement. La légèreté, la résistance, la conception facile, la durabilité, et son coût bas sont les facteurs derrière une telle croissance phénoménale de leurs utilisations. Selon un rapport de l'agence américaine de l'environnement de l'année 2003, 80% des déchets plastiques sont envoyés à l'enfouissement, 8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés. La production mondiale de plastique en 2012 aurait atteint 288 millions de tonnes [21].

Plus de la moitié de cette quantité a été utilisée pour des produits de consommation jetables, ce qui a contribué à la production de déchets liés aux matières plastiques. La plupart des types de plastiques ne sont pas biodégradables et sont chimiquement non réactifs dans l'environnement. Certains types de plastiques tels que le polychlorure de vinyle (PVC) et le polycarbonate (PC) peuvent libérer lentement des composés toxiques dans l'air.



Zhou et al.[22], Papong et al. [23], Badia et al. [24], ont révélé que des milliers d'années sont nécessaires pour la biodégradation des plastiques. Cela entraîne l'accumulation de déchets plastiques et provoque des graves problèmes environnementaux dus à leur mise en décharge et leur enfouissement illégal ou leur incinération. Par conséquent, les déchets plastiques sont considérés comme un problème environnemental sérieux universellement.

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC. [22-23-24],

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante. [32]

Le plus grand composant de ces déchets plastiques est le polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17,3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18,5% de polypropylène (PP), 12,3% du polystyrène (PS), 10,7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8,5% polyéthylène téréphtalate (PET) et 9,7% d'autres types de déchets [25].

Actuellement, les produits polymères sont largement utilisés dans presque tous les domaines, en particulier dans les domaines de l'emballage, de l'automobile, de l'électricité, de la construction, de l'électronique, l'agriculture et d'autres industries. Subramanian [26] a signalé que les plastiques représentent un faible taux de la quantité des déchets mais qui est très significative. Dans notre pays, la production de déchets ménagers est estimée à 9 millions de tonnes par an. Ce chiffre est en constante augmentation. Les estimations chiffrées font état de 0,8kg/habitant/jour et ont atteint 1 kg/habitant/jour pour l'agglomération de grandes villes. En Algérie et partout dans le monde, l'utilisation de produits emballés a induit une augmentation des déchets de matières plastiques et une difficulté de leur enfouissement ou retrait [27].

### **I.5.1 Interdictions et mesures de Protection de l'environnement :**

En triant vos déchets, vous devenez le premier maillon de la chaîne du recyclage et contribuez activement au développement durable : le processus de recyclage implique en effet l'utilisation de matières premières secondaires issues de déchets et permet ainsi d'éviter

toutes les phases d'extraction et de transformation de la matière première naturelle qui sont polluantes et coûteuses en énergie. [28] La fin de vie du plastique peut être particulièrement nocive pour l'environnement. On le trouve partout car il sert à de multiples usages. En le rejetant dans la nature, il la pollue et induit des risques pour la santé.[16], [17]

Il est retrouvé partout et sous toutes formes : emballages, bouteilles, sachets, pare-chocs de voiture... En principe c'est un matériau simple à fabriquer, économique, solide, léger et résistant à la corrosion. Il favorise notre hygiène de vie grâce à la conservation des aliments et permet d'économiser de l'énergie pour le transport grâce aux matériaux compactés. La fabrication intensive du plastique dès 1970 apporte de nombreux avantages pour la société, et offre un avenir technologique et médical avancé. Mais le problème principal du plastique est souvent celui de son usage unique : une fois dans la nature, il peut mettre jusqu'à plusieurs centaines d'années pour se décomposer. Toutefois, les préoccupations concernant son utilisation et son élimination sont diverses. Elles comprennent : [18] – [20]

- l'accumulation de déchets dans les décharges et les habitats naturels,
  - l'ingestion ou l'enchevêtrement de plastiques par diverses espèces terrestres et marines,
  - le lessivage,
- la contamination de la chaîne alimentaire par le transfert des micros plastiques de la faune à l'humain. En termes de volume, le plastique serait le déchet le plus rencontré, avec une importante quantité qui se retrouverait dans la mer.

Plusieurs régions telles que la Corse ont pris des mesures contre les sachets plastiques car, abandonnés dans la nature, ils défiguraient le paysage. De même à Mayotte, les sacs plastiques à usage unique sont interdits depuis le 1er janvier 2006 par arrêté préfectoral. [15]

En décembre 2005, une loi votée par l'Assemblée nationale fixe au 1er janvier 2010 la date à laquelle tous les sacs plastiques non biodégradables doivent être interdits. Cependant, en décembre 2006, la Commission européenne estime que ce texte n'est pas conforme à la directive 94/62/CE qui exige une valorisation des déchets d'emballage sans imposer le compostage. Aussi, en 2010, les sacs plastiques non biodégradables sont toujours disponibles aux caisses des principaux supermarchés de France métropolitaine.[15]

La France a décidé de taxer les sacs de caisse à usage unique non biodégradables à partir du 1er janvier 2014. La consommation de sacs de caisse est passée de quinze milliards

d'unités en 2003 à environ huit cents millions en 2010, notamment grâce à la suppression de leur gratuité [16]. Mais en 2014, si le nombre de sacs plastique distribués dans les supermarchés a encore diminué et est passé à sept cents millions d'unités, 17,7 milliards de sacs plastiques étaient encore distribués, principalement dans les commerces de proximité et pour la vente en vrac de fruits et légumes et de produits vendus à la découpe. [17].

### **I.6.La gestion des déchets plastiques :**

La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable en vue de pallier ce problème de pollution qui ne cesse de croître d'années en années. Toutefois, cela nécessite la mise en place des filières de traitement ou de valorisation des déchets. Parmi les difficultés de transformation qui nécessite une main d'œuvre qualifiée, mais cela n'entrave en principe nullement d'engager une politique de gestion et de valorisation des déchets pour limiter les dégâts écologiques [37].

De nombreux travaux de recherche ont été menés à travers le monde sur l'utilisation des produits plastiques. Ce domaine de recherche occupe une place importante dans le contexte des matériaux de construction durables [27]. Dans ce contexte, les déchets plastiques tels que le polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), le caoutchouc, sont utilisés comme agrégats dans les mortiers et bétons. L'Algérie reste loin derrière la plupart des pays en termes de recherches et d'applications des matériaux de construction durables tels que la substitution des agrégats par les plastiques dans le béton ou mortier. Toutefois, l'absence de procédés de transformation de ces matériaux peut fortement empêcher leur application dans le domaine de la construction.

L'utilisation des déchets plastiques dans le domaine de la construction peut jouer un rôle important dans le contexte économique du pays. Ces matériaux sont dénommés Composite de Béton-Polymère (CPC) et Composite de Mortier-Polymère (PCM) ou, respectivement en anglais, Concrete-Polymer Composites (CPC) et Mortar Polymer Composite (MPC) [38].

La substitution des agrégats naturels par les plastiques dans un mortier ou béton permet d'améliorer une partie des propriétés essentielles (caractéristiques mécaniques, propriétés thermiques, durabilité, masses volumiques, etc.....) et de répondre au mieux aux problèmes technico-économiques que le matériau classique.

### I.6.1. Cadre pour la gestion des déchets de plastique : [2]

Le diagramme d'un système d'exploitation et de gestion des déchets plastique est représenté schématiquement dans la Figure I.2 .Les principales opérations impliquées dans un processus de gestion des déchets comprennent la collecte des déchets plastique à l'extérieur ou l'intérieur du flux de déchets ménagers, la mise en décharge, sa récupération, le recyclage en produits utiles, et la création de marchés pour les produits recyclés [39].

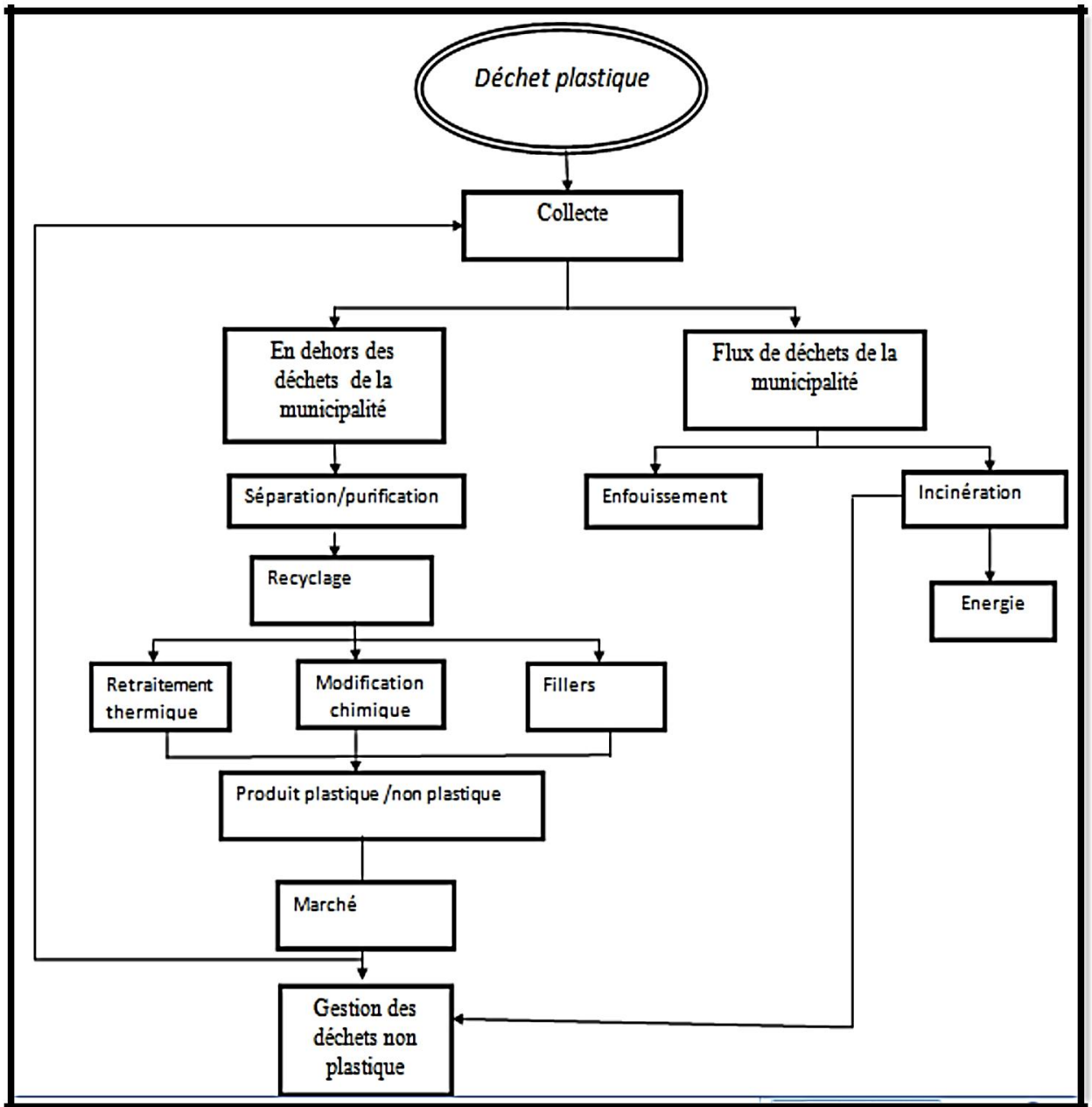


Figure I.3. processus de gestion de déchets plastique. [39]

### **I.7. Les types de plastique :**

Tous les types de plastique utilisés dans la vie quotidienne finissent par devenir déchets et ne peuvent pas être entièrement recyclés immédiatement, et des tonnes de plastique les déchets ont besoin de grandes superficies de terre pour le stockage [40]. La réutilisation des déchets est importante de différentes perspectives ; il contribue au recyclage, réduit la production d'énergie et la pollution environnementale et les aides. En maintenant et en économisant des ressources naturelles qui ne peuvent être reconstituées. [40]

Les quantités des plastiques consommés annuellement partout dans le monde a connu un développement phénoménal. Ses caractéristiques particulièrement faciles à utiliser, flexibilité unique, facilité de fabrication ajoutée à son immense efficacité et longévité sont les raisons principales d'une telle croissance astronomique. Outre sa large utilisation dans les emballages, les applications industrielles, les matières plastiques sont également largement utilisées dans les systèmes de livraison médicaux, implants artificiels et des applications de soins sanitaires, préservation et distribution alimentaire, application dans le bâtiment, la communication et l'industrie électronique, etc. Le tableau I.1 détaille les utilisations des matières plastiques et les plastiques recyclés. [2]

**Tableau I.1.** Applications et description des plastiques recyclés et vierges [30.31]

<b>Nom plastique</b>	<b>Elaboration</b>	<b>Plusieurs applications pour le plastique recyclé</b>	<b>Plusieurs applications pour le plastique vierge</b>
<b>PET :</b> polytéréphtalate d'éthylène.	Plastique claire et dure, peut être utilisé pour en faire des fibres.	Bouteilles de boissons gazeuses, bouteilles de détergent (multicouches), film transparent pour emballage, fibre de tapis, etc.	Bouteilles pour boissons gazeuses et eaux minérales, rembourage pour sacs de couchage et oreillers, fibres textiles.
<b>UPVC :</b> Polychlorure de vinyle Non plastifié.	plastique dure et rigide et Peut être transparent, clair	Bouteilles de détergent, raccords de tuyauterie et tuiles.	Bouteilles de jus et tuyaux de plomberie, raccords et plaquettes alvéolaires.
<b>PEHD :</b>	Plastique très fréquent,	Bouteilles de détergent,	Sacs de congélation

## Chapitre I :..... Etude bibliographique sur la matière plastique

Polyéthylène à haute densité	habituellement, généralement blanc ou couleur.	bacs à compost, caisses, mobiles poubelles	ondulée, sacs de magasinage froissés, bouteilles de lait et de crème.
<b>PEBD :</b> Polyéthylène à faible densité	Plastique mou et flexible.	film pour l'Industrie du bâtiment, emballage et pépinières, et sacs.	Sacs à ordures, poubelles, couvercles des pots de crème glacée et feuille de
			plastique noir.
<b>PPVC :</b> plastifié Polyvinyle Chlorure	Plastique élastique, flexible et transparent.	Revêtement de sol industriel et âme intérieure de tuyau.	Semelles de chaussures, tuyau d'arrosage, tubes et sacs de sang
<b>PS</b> (Polystyrène)	plastique fragile et rigide, Peut être clair et vitreux.	Accessoires de bureau, cintres, bobines et règles et chevilles de vêtements, boîtes de cassette vidéo/CD	Couvercles en plastique, pots de yaourts et imitation de cristal « verrerie »
<b>PP</b> ( Polypropylène)	plastique dur mais souple et de nombreuses utilisations.	Caisses aux bords des trottoirs de récupération pour le recyclage et bacs à compost.	Des sachets de pommes de terre croquantes, des pailles, des pots de crème glacée, sacs de chips.
<b>PSE :</b> Polystyrène expansé  <b>ABS :</b> acrylonitrile Butadiène Styrene	Léger, mousseux, isolation thermique et absorption d'énergie.  Non rigide, opaque, brillant dur, bon faible propriétés de température.	Non recyclé  Meubles tels que des chaises et des tables, Valises conteneurs.	Plateaux de viande et emballages, plats à emporter contenant et gobelets de boissons chaudes Combinés téléphoniques, bagages rigides, pièces électroplaques, grilles de radiateur
<b>PC:</b> polycarbonate	Transparence, forte, thermique stabilité, raide, dur, dur et très rigide.	Stockage de données, y compris CD et DVD, et les matériaux de construction comme les plafonniers, les murs	Automobile, vitrage, électronique, entreprise machine, support optique et médical, éclairage.



		insonorisés.	
<b>HIPS :</b> polystyrène  (Impact élevé)	Dur, rigide, translucide, impact élevé force.	Présentoirs de comptoir et panneaux intérieurs.	Pots de yaourts, garnitures de réfrigérateur, distributeurs automatiques, armoires de salle de bains, sièges de toilette et réservoirs.
<b>PA :</b> Polyamides  (nylon)	Matériaux très résistants  avec de bonnes résistances thermiques et chimiques.	Peignes à cheveux, vis de machine, joints, et autres composants de faible à moyenne contrainte.	Ligne de pêche, tapis, emballages alimentaires,  offre  ténacité et faible perméabilité au gaz.
<b>TPE :</b> thermoplastique Élastomères	Flexible, transparent, élastique, résistant à l'usure et imperméable.	Éléments d'amortissement, surfaces de préhension, éléments de conception et interrupteurs et surfaces rétro éclairés	Semelles et talons pour chaussures de sport, têtes de marteau, joints d'étanchéité, joints et roues de planche à roulettes.

### **.8. Avantages des matières plastiques : [2]**

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent :

- polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques Spécifiques.
- Un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de Carburant pendant le transport.
- Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaire.

- Longévité et durabilité.
- Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact.
- Excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique.
- Coût de production relativement bas.
- la capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs.
- Matériau de choix pour l'utilisation de tous les jours, style de vie humain et matière plastique son actuellement inséparables.

### **I.9.Inconvénients des plastiques : [2]**

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

Les PVC dans le passé ont été employés dans des jouets pour les enfants en bas âge et il y a eus des soucis que ces phtalates peuvent être libérés quand ces jouets sont sucés (contact avec la salive). Des évaluations des risques sur les effets des phtalates sur l'environnement sont actuellement menées. L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

## **I.10 Méthodes de recyclage et les applications dans le domaine de la construction :**

### **I.10.1 Recyclage mécanique :**

Yarahmadi et al. Ont rapporté que les propriétés retenues et la durabilité sont parmi les caractéristiques les plus importantes lors de l'évaluation des possibilités de recyclage mécanique des déchets plastiques en PVC rigide. [44]

Ambrose et al. Ont effectué le recyclage mécanique des déchets plastiques 100% post consommation à des produits de haute qualité. Les propriétés chimiques et physiques de ces matériaux recyclés ont été comparées avec les mêmes produits fabriqués à partir de résines vierges. Les propriétés d'une bouteille moulée par soufflage préparé à partir de 100% post-consommation en polyéthylène haute densité (PEHD) a montré que ce polymère recyclé dépassait les spécifications des matériaux conçus à partir des plastiques vierges. [45]

De même un échantillon de polyoléfine thermoplastique (OTP, 100% polypropylène), obtenus entièrement à partir des résidus de déchetage est la preuve fortement suffisante pour la séparation et le retraitement futur. Avila et Duarte [46] ont étudié le recyclage thermo mécanique des bouteilles en plastique post-consommation, en particulier celles constituées de poly téréphtalate d'éthylène (PET) et son utilisation comme matériau composite pour les applications d'ingénierie.

Yarahmadi et al. Ont signalé que les revêtements de sol en PVC en tant que déchets plastiques peuvent être recyclés mécaniquement dans la forme ou ils ont été récupérés sans mise à niveau, et sans l'ajout de nouveaux plastifiant. [47]

Paula et al. Ont préparé par des mélanges de polymères recyclés mécaniquement du PEBD et autres résidus recyclé des emballages cartonnés avec des PEHD / PEBD à partir des résines vierges du PE. Ils ont établi des observations sur les mises en œuvre, propriétés mécaniques, résistance chimique et l'absorption d'eau qui dépendent des compositions de mélange. [48]

### **I.10.2 Recyclage chimique ou recyclage des matières premières :**

Le recyclage des matières premières décrit toute une gamme de techniques de récupération pour fabriquer des plastiques, qui décomposent les polymères en leurs

monomères constitutifs, qui peuvent à leur tour être réutilisés à nouveau dans les raffineries ou dans la production chimique et pétrochimique.

Une gamme de technologies de recyclage des matières premières est actuellement à l'étude. Il s'agit notamment de la pyrolyse, l'hydrogénation, la gazéification et le thermo Craquage. Le recyclage des matières premières a une plus grande flexibilité au-dessus de la composition et plus tolérant aux impuretés que le recyclage mécanique, même si elle nécessite de très grandes quantités de matière plastiques utilisée pour le retraitement afin d'être rentable économique.

### **I.10.3 La modification chimique :**

Le plastique peut être réutilisé par la dépolymérisation suivant deux procédés, par Hydrolyse (décomposition chimique) et pyrolyse (décomposition thermique). Par exemple le PET (poly téréphtalate d'éthylène) peut être chimiquement modifié pour produire le polyester insaturé, le polyester thermodurcissable généralement utilisé dans des baignoires, les coques de bateau, et les panneaux d'extérieur d'automobile. [2]

Un autre exemple est la décomposition thermique des déchets acryliques en méthyle méthacrylate (MMA) un monomère généralement utilisé dans des hublots d'avions et les enseignes au néon. La technologie de dépolymérisation des polymères de polycondensation simples tels que les polyuréthanes, PET, le nylon, et les méthacrylates de polyméthyl est relativement facile.

Cependant il est beaucoup plus compliqué de modifier chimiquement les plastiques mélangés pour produire des matières premières chimiques utiles et économique [39].

### **I.10.4 Retraitement thermique :**

Retraitement thermique consiste en le chauffage d'un matériau thermoplastique à des Températures très élevées, ce qui rend le plastique coulant. Le plastique est ensuite converti en un nouveau produit lorsqu'il se refroidit. Cette méthode n'implique pas la modification de la composition chimique. Par exemple le PET, étant un polyester thermoplastique peut être chauffé et retransformé en panneaux de construction, des poteaux de clôture, ou des fibres pour moquettes. [42].

Ce processus ne peut pas être indéfiniment répété, depuis le retraitement thermique peut éventuellement affecter les propriétés des plastiques. Le retraitement thermique est

assez simple s'il est appliqué aux thermoplastiques relativement purs. Toutefois le retraitement thermique ne peut pas être appliqué aux thermodurcissables parce qu'ils ne peuvent pas être ramollis à des températures élevées sans se dégrader. Le retraitement thermique devient beaucoup plus compliqué si divers thermoplastiques sont mélangés ensemble. Une façon de faire est de séparer les différentes matières plastiques, la séparation différentes matières plastiques peut être facile ou compliqué selon la source des déchets [43].

### **Conclusion :**

Une croissance significative de la consommation de produits en plastique est observée dans le monde entier ces dernières années ; cela a contribué à augmenter la production de déchets plastiques.

Ainsi que les plastiques polluent s'ils ne sont pas recyclés convenablement et que sans eux l'espèce humaine n'aurait jamais eu toutes ses technologies. Sachant que les plastiques n'utilisent que 4% de la consommation de pétrole dans le monde ils n'ont pas un gros impact sur la réserve mondiale de pétrole. De plus, ils ne peuvent pas être remplacés par un autre matériau tel que par exemple le verre. Nous pouvons maintenant dire que le plastique a pris une grande importance pour notre vie, comme les appareils médicaux.

Nous l'avons complètement adopté. Mais même recyclable Il utilise du pétrole. Une question s'impose : comment fera-t-on quand il n'y aura plus de pétrole, Par conséquent comment va ton remplacer le pétrole dans la fabrication du plastique ? Le recyclage et la valorisation de ce déchet c'est la meilleure solution pour protéger notre environnement, c'est très important pour les sources naturelles comme le sable soit de carrière ou d'oued, aussi pour démunie la consommation de pétrole.

Dans le chapitre III, des travaux de recherches seront exposés concernant la valorisation des granulats plastiques issus du recyclage de déchets plastiques dans le béton et le mortier. Les résultats de ces travaux seront exploités dans le chapitre IV comme référence de comparaison avec les résultats de notre étude.



# Chapitre II

Rappel bibliographique sur le mortier

## II.1 Introduction

Une construction est généralement réalisée par des éléments, donc il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers mélangé à du sable, de l'eau et ciment – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « mortier ». Les mortiers sont utilisés pour assurer une très large gamme de fonctions, cela va de la résistance, à la liaison, à la protection, isolation, esthétique, bouchage...

## II.2 Définition du Mortier

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, liant, d'eau et d'adjuvant et éventuellement d'ajout. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [49].

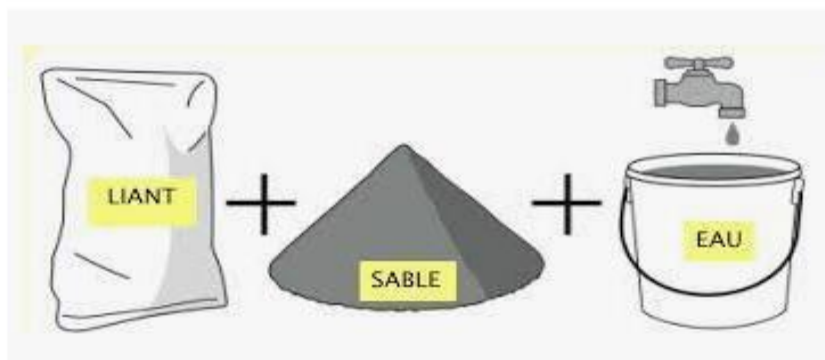


Figure II.1 : Constituants des mortiers

## II.3 Différents types de mortier et leurs domaines d'application : [66]

Les mortiers 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.

### II.3.1 Mortier de chaux grasse :

Il fait prise en contact avec l'air. Il durcit en surface et reste souple à l'intérieur de la maçonnerie. Cette qualité en fait un mortier qui reste élastique et donc qui ne fissure pas. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Mais il ne doit pas être utilisé dans un milieu humide (cave, mur souterrain, etc.). Le mortier de chaux grasse

est moins résistant par rapport à un mortier de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

### **II.3.2 Mortier de chaux hydraulique :**

Il est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques.

En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).

### **II.3.3 Mortier bâtard :**

Le mortier bâtard est constitué par un mélange de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide. Il est utilisé également pour la fixation d'éléments de maçonnerie demandant une résistance mécanique plus importante (scelllements etc.).

### **II.3.4 Mortier de terre :**

Le mortier de terre est un mortier fait avec de l'argile ou de la terre crue. De par la disponibilité de la matière première, ce type de mortier est ou a été probablement employé partout dans le monde depuis des temps immémoriaux éventuellement en remplacement de la chaux.

### **II.3.5 Mortiers de fibres :**

L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers pré mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

### **II.3.6 Mortiers industriels secs pré mélangés :**

Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration par le fabricant, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. 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

### **II.3.7 Mortier de ciment :**

Il est plus résistant que les mortiers de chaux mais il reste imperméable à l'air, par conséquent, il maintient l'humidité dans une maçonnerie traditionnelle de pierres qui doit toujours être aérée.

Ce mortier doit être utilisé uniquement pour la maçonnerie des blocs de bétons ou autrement dit de parpaings en ciment. Sa rigidité en fait un matériau qui a tendance à fissurer sous l'action des écarts de température, notamment alternances gel & dégel, tandis que son imperméabilité l'expose aux moisissures. En revanche, il est plus facile, rapide, et tolérant à mettre en œuvre.

### **II.4 Mortier de ciment et ses constituants :**

Classiquement, un mortier est un simple mélange de liant (chaux ou ciment) de sable et d'eau. Néanmoins, de nos jours l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés améliorées.

#### **II.4.1 Ciment [50]**

D'après la norme **NF P 15-301 de 1994** : le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

Le ciment est composé essentiellement de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO), de silice (SiO<sub>2</sub>), d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). La chaux nécessaire à la fabrication du ciment est extraite de la roche calcaire ; l'alumine, la silice et l'oxyde de fer sont extraits de l'argile. Le calcaire et l'argile contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Na<sub>2</sub>O +K<sub>2</sub>O et MgO, l'oxyde ferrique. [66]

### II.4.1.1 Différents types de ciment courant :

Les ciments courants ont pour constituant principal le clinker (norme ENV. 197-1). Au Clinker sont ajoutées, suivant la nature du ciment voulu, les additions minérales de différentes natures. Les ciments courants normalisés sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne, l'ancienne appellation est indiquée entre parenthèse (voir tableau suivant). Pour chaque ciment sont indiqués les désignations propres et les pourcentages respectifs de leurs constituants.

**Tableau II.1/**Liste des différents types de ciments courants normalisés [66]

Désignations	Types de Ciment	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants (laitier, cendres, fumées de silice, pouzzolanes, calcaire, schistes)	Teneur en constituants secondaires
CEM I(CPA)	Ciment portland	95 à 100%	/	0 à 5%
CEM II/A (CPJ)	Ciment portland compose	80 à 94%	de 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 % (*) ;	0 à 5%
CEM II/B (CPJ)		65 à 79%	de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus.	
CEM III/A (CHF) CEM III/B (CHF) CEM III/C (CLK)	Ciment de haut-fourneau	35 à 64 % 20 à 34 % 5 à 19 %	36 à 65 % de laitier de haut-fourneau 66 à 80 % de laitier de haut-fourneau 81 à 95 % de laitier de haut-fourneau	/
CEM IV/A (CPZ)	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %.	0 à 5 %
CEM IV/B (CPZ)		45 à 64 %	36 à 55 % comme si dessus	
CEM V/A (CLC)	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut-fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5 %
CEM V/A (CLC)		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des constituants comme ci-dessus	

Il existe d'autres ciments, spéciaux, décrits par d'autres normes, généralement utilisés pour des ouvrages spéciaux ou dans des conditions spéciales. [66]

### II.4.2 Classes de résistance des ciments courants :

La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours, conformément à la norme NF EN 196 – 1, elle est exprimée en MPa

Pour chaque type de ciment, trois classes de résistance sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours, ces classes sont notées, 32,5, 42,5 et 52,5. Pour chaque classe de résistance normale, deux classes de résistance au jeune âge sont définies, une classe avec une résistance au jeune âge ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec une résistance au jeune âge élevée (indiquée par la lettre R).

**Tableau II.2 : Résistance à la compression [67]**

<i>Résistance à la compression (en MPA)</i>				
<i>Désignation de la Classe de résistance</i>	<i>Résistance à court terme</i>		<i>Résistance courante à 28jours</i>	
	<i>À2jours</i>	<i>À7jours</i>		
32,5N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5R	≥ 10	-		
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5R	≥ 20	-		
52,5N	≥ 20	-	≥ 52,5	-
52,5R	≥ 30	-		

### **II.4.3 Caractéristique du ciment :**

□ **II.4.3 1.Le temps de prise :**

Le début et la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivent la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et le cas échéant, des dosages en adjuvant, Utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise, l'objective de c'est essai est définir pour un ciment donné un temps qui soit de cette rapidité de prise **EN 196-3**.La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- **1h30** pour les ciments des classes : **32,5** et **32.5R**.
- **1h** pour les ciments des classes : **42,5-42,5R-52,5-52,5R**.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C. [53]

➤ **La consistance normale :**

Le but de l'essai de consistance est précisément de déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage. La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement, dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. La consistance évaluée de cette manière sera appelée « **consistance Vicat** ». (NF EN 196 – 3). [51]

➤ **Finesse du ciment ( finesse de Blaine ) :**

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimé en (**cm<sup>2</sup>/g**) dans les cas courants, elle est de l'ordre (**norme NF EN 196-6**), de 2800 et 5000cm<sup>2</sup>/g.

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. [55]

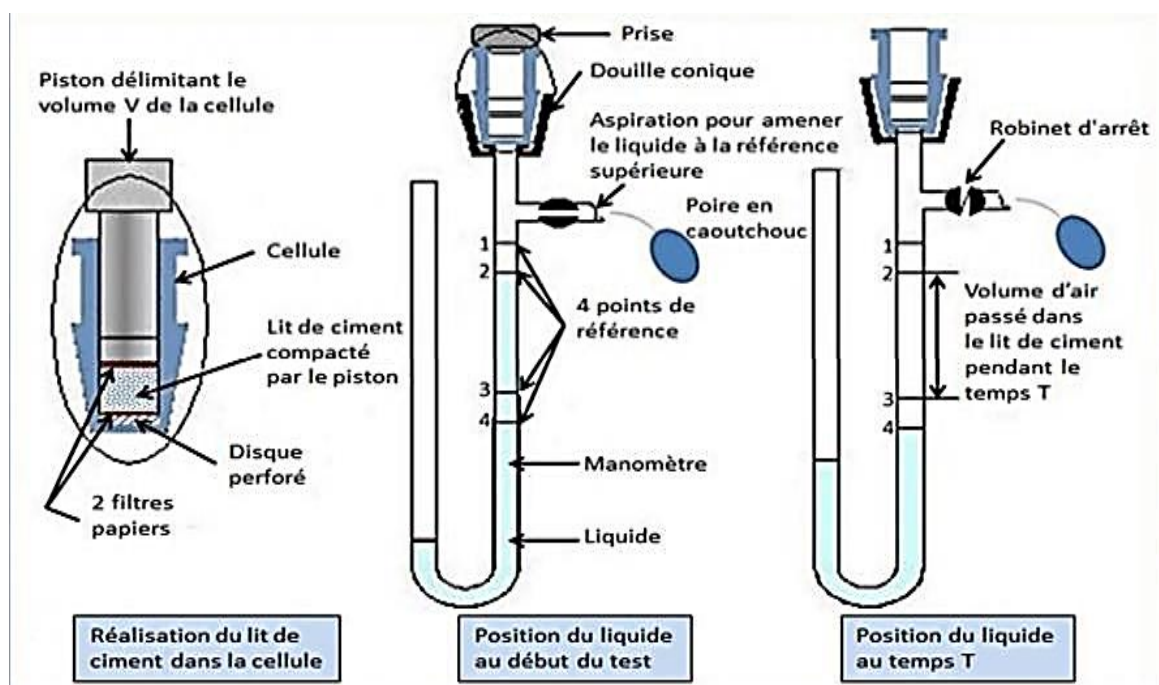


Figure II.2 : Principe de la méthode Blaine. [56]

➤ **Le retrait :**

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives.

C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton et mortier. L'importance du retrait hydraulique, en dehors du facteur de temps, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- Le dosage en E/C
- La propriété des sables.
- La forme et la dimension du granulat [55]

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50 %. [54]

Les valeurs limites, à 28 jours de : □ **800 µm/m** pour les ciments portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de classe 32,5 R. □ **1000 µm/m** pour types de ciment identique mais des classes 32,5 R - 42,5 et 42,5 R.

➤ **Gonflement :**

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent : c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes. [53]

➤ **L'hydratation :**

Le ciment est un liant hydraulique qui donne lorsqu'il se combine à l'eau, des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. La réaction chimique d'hydratation du ciment regroupe la totalité des réactions entre le ciment et l'eau dès le début du gâchage et qui se poursuivent dans le temps, pendant plusieurs mois.

Les mécanismes fondamentaux de l'hydratation du ciment ont été mis en lumière dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle par **Henri LE CHATELIER (1887)**. Il a notamment décrit trois étapes relatives à la prise du ciment [57] :

-La dissolution des constituants du ciment dans l'eau.

-a formation de solutions sursaturées par rapport aux différents hydrates.

-La précipitation et la cristallisation de ces hydrates dans les vides inters granulaires.



**La masse volumique :**

**-Apparente :** La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, en tenant compte des vides qui peuvent exister entre les grains. Elle est déterminée selon la Norme **NF EN 1097-6**. Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l'ordre de

800 à 1300 kg/m<sup>3</sup> (1 kg par litre) en moyenne pour un ciment [52]

**-Absolue :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Elle est déterminée selon la norme **NF EN 1097-7**, La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue les granulats. On a procédé par l'utilisation la méthode du flacon

(pycnomètre). Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de 2 900 à 3150 kg/m<sup>3</sup> suivant le type de ciment. [53]

## **II.4.2 Sable :**

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du mortier. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire. Le sable naturel qui est le plus couramment employé comme granulat fin au mortier, pour les besoins de la construction et des travaux publics. Sable en entend tous granulats **0/D** conformes aux définitions des normes **NF P 18-101** et **NF P 18-301**.

On appelle 'sables' les granulats de petites dimension issues de désagrégation des roches, les sables sont chimiquement inertes. Le sable est l'élément qui assure au mortier, Selon ses qualité une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion Au mélange. [61]

### **II.4.2.1 Classification des sables selon leurs provenances :**

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

**-Sable de rivière :** Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons. [62]

**-Sable de Mer :** Il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [62]

**-Sable de dune :** C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [63]

**-Sable de concassage :** Connue aussi sous l'appellation du sable de carrière, est obtenu à partir du concassage des roches calcaires, andésite, granite, dolomie et basalte. Ses dimensions se situent entre 0 et 6 mm. En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère des sables naturels par la granulométrie, la forme et la texture des particules, de même il contient généralement entre 10 % et 20 % de fines (les particules passant au tamis de 80  $\mu\text{m}$ ). Les fines sont généralement très probablement les plus petites fractions granulométriques de granulat concassé dans le sable de concassage, il faut limiter le pourcentage des fines.

#### **II.4.2.2 Les caractéristiques des sables :**

A fins d'obtenir de bons mortier durables et résistants, il faudrait que l'étude des constituants de ces mortier soit rigoureuse. On cite quelques caractéristiques :

➤ **Les caractéristiques géométriques -Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NF EN 933-1**, [Normes AFNOR], qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieure ou égale à 80 mm, en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.



Tableau II.3 : classification normalisée des sables. [65]

Granulat		Ecartement des mailles des tamis (mm)
fines		< 0.08
Sable	Fine	0.08 - 0.315
	Moyen	0.315 – 2
	Gros	2.00- 5.00

**-Module de finesse :** Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible plus le sable est fin. La série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse.

<b>Série1</b>	Tamis (mm)	0.16	0.315	0.63	1.25	2.5	5	<b>NF P 18-540</b>
<b>Série2</b>	Tamis (mm)	0.125	0.25	0.5	1	2	4	<b>EN 12620</b>

**Les valeurs de module de finesse MF (Norme NFP 18-540) : [61]**

\*MF = 1.8 à 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.

\*MF = 2.2 à 2.8 : On est en présence d'un sable préférentiel.

\*MF= 2.8 à 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniabes.

**Les caractéristiques physico-chimiques :**

**- Equivalent de sable :(p15-598)**

Cet essai est défini par la norme **NF P 18-598** [Normes AFNOR], il est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier, par conséquent la proportion des impuretés argileuses contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux.

Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Il consiste de laver un poids défini de sable dans une solution la vente. Après agitation, on laisse le mélange se décanter pendant 20 min, on en déduit l'équivalente se sable qui est par l'équation suivent :



**Tableau II.4** : les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (ES). [53]

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	<b>Sable argileux</b> : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité
65 < ES < 75	60 < ES < 70	<b>Sable légèrement argileux</b> : de propriété admissible pour des bétons de qualité courant quand on ne craint pas particulièrement de retrait
75 < ES < 85	75 < ES < 80	<b>Sable propre</b> : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES < 85	ES > 80	<b>Sable très propre</b> : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton

**-Teneur en eau (W %) :P18-555**

La teneur en eau W-d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. [52]



**Caractéristiques physiques et mécaniques : -**

**Les masses volumiques :**

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6

**a) Masse volumique apparente ou en vrac (NF P 18-554) :**

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains. Elle est comprise entre 1400 kg/m<sup>3</sup> et 1600 kg/m<sup>3</sup> pour les granulats roulés silicocalcaires. La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée de 2500 à 2600 kg/m<sup>3</sup>. [52]

**b) Masse Volumique Absolue (NF P 18-555) :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Il existe 3 façons Généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision

recherchée et de la nature du granulat : méthode de l'éprouvette graduée et méthode de la mesure au pycnomètre.

### **II.4.3 L'eau de gâchage :**

L'eau remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Dans le cas du béton, un faible rapport eau ciment est préférable.

Les mortiers doivent contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau doit être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser, généralement les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers sont des bétons sont précisées dans la norme **NF EN 1008**. [59]

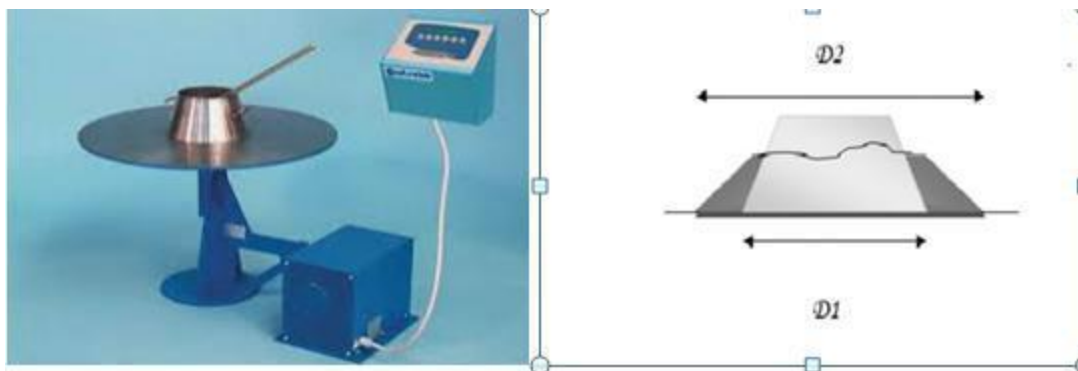
## **II.5 Les essais sur mortier :**

### **II.5.1 Essais à l'état frais :**

#### **II.5.1.1 Essai d'étalement à la table à secousse :**

Selon la norme **EN 12-358**, cet essai d'étalement est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton et mortier à s'étaler par écoulement, L'essai est exécuté sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales à l'aide d'une manivelle.

On démoule sur la table un tronc de cône et on le soumit à un série de 30 secousses, en suite on mesure le diamètre d'étalement  $E = (D'2+D2)/2$  Avec :  $D'2$  et  $D2$  = Diamètre final dans deux axes.



**Figure II.2.A : Table à secousses et la mesure d'étalement.**

**II.5.2/Essais sur le mortier durci :**

Les essais sur le mortier à l'état sec ont tous débuté lorsque les éprouvettes ont subi une cure de 7 et 28 jours dans l'eau. En effet les éprouvettes ont subi une cure de 7 et 28 jours dans l'eau pour les permettre de bien sécher dans un milieu naturel dont le ph est sensiblement égal à 7 sans être influer par des facteurs externes.

**II.5.2.1/Essai de résistance à la compression :**

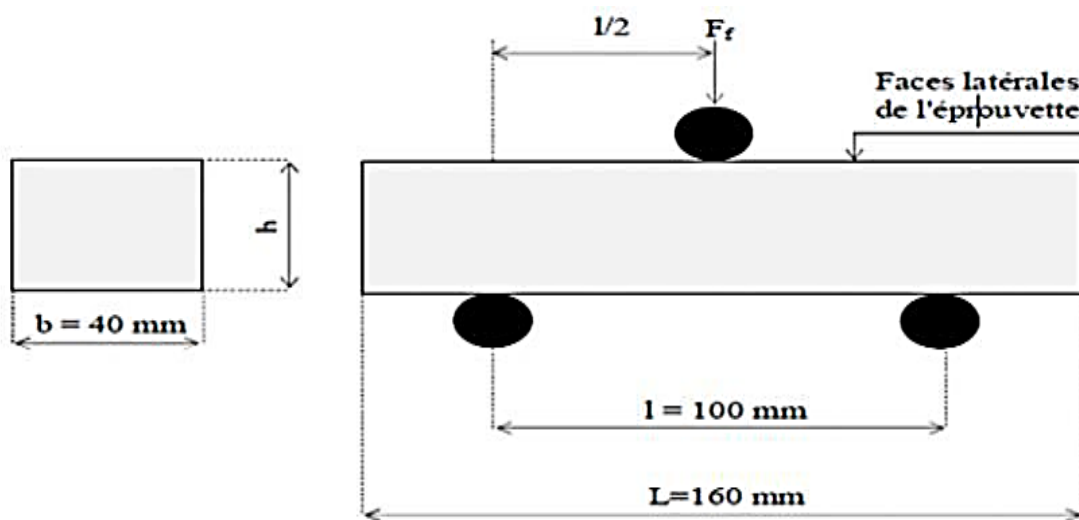
Les essais de résistance à la compression ( $R_c$ ) par écrasement ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16$ )  $cm^3$  conformément à la norme **NFP 196-1**.

La résistance à la compression est calculée à partir de la moyenne de 2 essais réalisés sur des éprouvettes identique (même composition, mise en œuvre et conditions de cure). L'écrasement des éprouvettes est fait sur une presse hydraulique de force 1300 KN et répendant aux prescriptions de la norme NFP 18-411.

**II.5.2.2 Essai de résistance à la flexion et traction par flexion : EN 196-1**

Les essais de résistance à la flexion et traction par flexion ont été effectués sur des éprouvettes prismatique  $4*4*16$   $cm^3$ . Il y a plusieurs méthodes pour calculer la résistance à la traction, mais vu que l'utilisation de l'essai de traction direct est difficile, alors on a choisi

l'essai de traction par flexion. L'essai de traction par flexion est le plus couramment utilisé, il Consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur 4a.



**Figure II.3 :** Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)

## **II.6 Conclusion :**

Le mortier est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces performances, sa souplesse d'emploi, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes.

C'est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître au cours des années à venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du mortier ; Cette approche consiste à optimiser l'utilisation des types de granulats, et d'utiliser les matériaux recyclés pour la réalisation du mortier, ce qui permettra d'augmenter la production de ce dernier à un coût compétitif, et protéger la nature des stocks grandissants des résidus industriels.



# Chapitre III

Recherche bibliographique sur travaux publiés

**III.1/Introduction**

Cette partie de recherche est consacrée aux recherches et au développement dans la confection et l'application des agrégats légers revalorisés dans le mortier avec les résultats fournis par les différents chercheurs et études.

**III.2 Types et quantités de substitutions des agrégats naturels par des agrégats légers dans le mortier :**

Les agrégats légers sont généralement produits à partir de grandes quantités de déchets des matières à basse densité. Les substitutions partielles et totales des granulats naturels par des granulats légers ont été signalées dans différentes références. Le Tableau III.1 met en évidence les types et les quantités de substitution de granulats naturels par les agrégats légers dans la préparation de mortier.

**Tableau III.1 :** Propriétés de certains types des déchets légers utilisés comme agrégat.

Référence	Type de granulats	Taille des particules	Origine de granulats	Densité	Composite	Type et taux de substitution
Benazzouk et al. [69]	Caoutchouc	$\leq 1$ mm	Pneus usagers	0,180	Mortier	Agrégat fin, 25%, 50% 75% et 100% du volume
Corinaldesi et al. [78]	Caoutchouc	$\leq 8$ mm	Semelles en caoutchouc	0,58	Mortier	Agrégat, 10% et 30% du volume
Choi et al. [80]	WPLA	$\leq 0.15$ mm	Bouteilles en PET	1,39	Mortier/	Agrégat, 25%, 50%, et 75% du volume
Benosman et al. [72]	PET	$\leq 1$ mm	Bouteilles en PET	1,35	Mortier	Agrégat, 2.5%, 5.0% et 7.5%
Kumar et al. [83]	PEHD	$\leq 3.15$ mm	tuyaux (PEHD)	0,922	Mortier	Agrégat, 15%, 30%, 45% et 60% du volume

Yacine et al. [73]	céramique	$\leq 5$ mm	Sanitaire	1,28	Mortier	Agrégat, 10%, 20%, 30%, 40% et 50% du volume
Binici et al. [74]	Olive/ PVC /bois	-	Graines d'olive/ cadres de fenêtre / copeaux de bois	-	Mortier	-
Raut et al. [75]	Palmier	$\leq 10$ mm	Cendre volante à l'huile de palmier	0,22	Mortier	0.5%,1%,1.5% du volume
Usahanun th et al. [84]	Bakélite	$\leq 5$ mm	Déchets de bakélite	1,30–1,40	Mortier	Agrégat, 20%, 40%, 60%, 80% et 100% du volume
Ghernouti [68]	PEHD	$\leq 4$ mm	sacs en plastique	0.87	Mortier	Agrégat (10, 20, 30 and 40 %) du volume

### III.3/Evaluation des propriétés des mortiers/bétons à base des agrégats légers

Les propriétés des déchets plastiques, pour être utilisés comme un agrégat dans les préparations des bétons et mortiers telles que la distribution granulométrique, la densité apparente, et l'absorption de l'eau ont été généralement évaluées dans la majorité des études publiées. L'évaluation de la distribution granulométrique des agrégats en plastique a été faite en général par des méthodes classiques de tamisage [32].

A partir des expériences des auteurs [82], on peut affirmer que les procédures standards utilisées pour évaluer les propriétés telles que la densité absolue et l'absorption d'eau des fines et grossières granulats naturels peuvent être utilisés pour évaluer les propriétés des agrégats en plastique avec des légères modifications. D'autre part, d'autres propriétés

telles que la résistance à la traction et de compression, le module d'élasticité des granulats en plastique, la température de décomposition, les températures de fusion et de dégradation initiales, la capacité calorifique et la conductivité thermique ont également été signalées. La maniabilité, la densité du béton/mortier à l'état frais, les propriétés des différentes résistances et les modules d'élasticité du béton/mortier à l'état durci sont évalués avec quelques propriétés de durabilité et d'autres propriétés spécifiques telles que le comportement au feu, l'isolation thermique. Le tableau III.2 illustre les propriétés de certains types de plastique utilisés comme agrégats.

**Tableau III.2 :** L'évaluation des propriétés des mortiers et bétons à base des agrégats légers.

Les propriétés physico-thermiques	Caractéristiques Mécaniques	
La maniabilité	La résistance à la compression	La résistance à la flexion
[70, 71, 80, 81, 82]	[70, 81, 82, 87,88]	[76, 80, 81, 85]

#### III.4/Maniabilité (Etalement)

La maniabilité désigne l'aptitude plus ou moins grande d'un mortier en état frais, à remplir de façon homogène et sans défauts les vides des coffrages. Elle est en fonction d'une multitude de facteurs et donne lieu à des recettes spécifiques de formulations en fonction de l'ouvrage à construire avec l'emploi de granulats et d'adjuvants sévèrement dimensionnés et sélectionnés. Mais l'ajout d'autres mélanges, soit des minéraux ou des déchets affectent la maniabilité de Batayneh et al. [88] ont rapporté que la matrice préparée par le remplacement de 20% d'agrégats fins par du plastique affecte la maniabilité jusqu'à 25%.mortier.

Choi et al. Ont constaté que la valeur d'affaissement du béton augmente avec la croissance de la teneur de deux types d'agrégats de bouteilles traités de PET. [89]

Selon ces auteurs, cette tendance est due à la forme sphérique de l'agrégat de PET ainsi que la texture de la surface glissante, ce qui diminue le contact interne entre la matrice et l'agrégat de PET et par conséquent augmente la valeur de l'affaissement.

Senthil et al. 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%. [77]



### **III.5/Propriétés mécaniques :**

#### **III.5.1/L'influence de la substitution des PA sur la résistance à la compression des mortiers :**

Wang et Meyer (2012) ont rapporté les résistances à la compression du mortier préparé avec 10, 20 et 50% de polystyrène fin à fort impact (HIPS) FA; la résistance à la compression a diminué presque linéairement avec l'augmentation du niveau de substitution, et la réduction des résistances du mortier avec 10, 20 et 50% de HIPS FA était de 12%, 22% et 49%, respectivement, à un âge de durcissement de 28 jours.

En outre, Saikia et de Brito (2014) ont confirmé que la distribution différente de la forme et de la taille des granulats de PET résiduels entraînait des résistances à la compression différente du béton avec les mêmes niveaux de substitution d'AP.

Akcaozoglu et coll. ont rapporté que l'absorption d'eau et la porosité d'un mortier contenant 100% de PET en remplacement du sable sont plus élevées que les mélanges contenant le même rapport en volume de sable et d'agrégat de PET.

Cependant, les auteurs ont confirmé que toutes les valeurs pour tous les types de mortier correspondent à la plage. En revanche, Marzouk et al. ont rapporté qu'une substitution de PA inférieure à 100% diminuait l'adsorption d'eau par rapport au mortier qui ne contenait aucun déchet.

Pour le taux remplacement de 3%, 10%, 20% et 50% de sable de substitution en PET, la réduction de la résistance à la compression du mortier contenant un agrégat de PET est plus important par rapport à celle du mortier contenant un agrégat PC. Des résultats similaires [38] ont confirmé que l'incorporation des agrégats plastiques (E-plastique) a diminué la résistance à la compression. Une perte d'environ 47,41% est enregistrée pour la résistance à la compression à un taux du remplacement de 50%.

Usahanunth et al. [84] ont signalé que la résistance à la compression des mortiers contenant des granulats de déchets de bakélite (WBFA : 20%, 40%, 60%, 80% et 100%) a diminué avec l'augmentation de la teneur de ce dernier.

### **III.5.2/L'influence de la substitution des PA sur la résistance à la flexion :**

Ghernouti 2015, On remarque l'augmentation continue de la flexion et de la résistance à la compression des différents mortiers selon les âges (14, 28 et 60 jours). Cette augmentation est due à l'hydratation du ciment au cours du temps ce qui provoque l'évolution de la compacité. On constate également une diminution de la résistance mécanique en fonction de l'augmentation du pourcentage de déchets plastiques dans les mortiers, mais reste toujours proche de ce dernier pour le cas aux pourcentages 10 et 20%.

Hannawi et al. Ont déclaré une diminution de la résistance à la flexion des mortiers contenant des granulats de PET et de PC par rapport au mortier témoin. Une diminution de 9,5% et 17,9% pour les mortiers contenant 20% et 50% des granulats de PET, respectivement. Pour les mortiers contenant 50% des agrégats de PC, une baisse de 32,8% a été enregistrée. [76]

Les résultats présentés par Haghghatnejad et al. Ont montré des légères chutes de la résistance à la flexion du béton à base des agrégats de PVC par rapport au béton témoin. [90]

### **III.6 Caractéristiques des ruptures :**

Les échantillons contenant des agrégats plastiques peuvent supporter une charge pendant quelques minutes après la rupture. Au fur et à mesure que la teneur des agrégats plastiques augmente la rupture devient plus ductile, c'est ce qui a été observé par plusieurs chercheurs.

Badache et al. Ont constaté que les mortiers composites montrent une bonne ductilité lorsque le taux de l'incorporation du sable en PEHD augmente. En d'autre terme, le mortier devient de plus en plus élastique et moins rigide. Partant de l'observation du comportement de la rupture des mortiers après les essais des résistances à la flexion, [79]

Azhdarpour et al. Ont conclu que le mortier contenant des agrégats de PET est plus ductile. Cette ductilité permet d'augmenter la durée de la résistance de l'ouvrage avant l'effondrement. [91]

Senhadji et al. [70] ont montré que la surface des granulats de PVC peut causer une faible adhésion entre les particules de PVC et de la pâte de ciment, la plupart des granulats de PVC dans la matrice de béton n'ont pas été rompues (restés intacts), mais elles ont décollé la pâte de ciment après avoir atteint la contrainte de rupture. Cette même constatation a été

Remarquée par Batayneh et al. [88], et Sarkia et de Brito [82] pour d'autres déchets de plastique. Ces derniers auteurs ont constaté que les éprouvettes de béton contenant des particules de PET entraînaient un mécanisme de rupture plus lent au cours de l'essai de la résistance à la traction, car les agrégats de PET servaient comme des ponts entre les morceaux séparés.

D'autres auteurs, Frigione [86] et Hannawi et al. [76] ont observé que les échantillons contenant des agrégats plastiques n'ont pas présenté le même comportement à la rupture à un mortier conventionnel. À mesure que la teneur en agrégats de plastique augmente, la défaillance devient plus ductile. Les échantillons contenant des agrégats de plastique peuvent supporter la charge pendant quelques minutes après une défaillance mécanique. Cette tendance semble être plus évidente à mesure que le pourcentage des agrégats plastiques augmente.



# Chapitre IV

*Matériaux utilisés et procédures expérimentales*

### **IV.1 Introduction**

L'emploi prudent des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs différentes propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur emploi.

Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être basées sur des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Les points précédents doivent être donc clarifiés avant de présenter les résultats obtenus. Pour cela dans ce chapitre, nous étudierons dans la première partie, les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition du mortier y compris les granulats de plastique à haute densité.

Dans la deuxième partie, nous allons donner les modes opératoires des différents essais réalisés dans la partie expérimentale, dans le but d'une bonne interprétation des différents résultats expérimentaux sur les mortiers à base de granulats PEHD.

### **IV.2 Matériaux utilisés:**

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Biskra. Les matériaux utilisés sont :

- **Un Sable concasse (0/5)** provenant de la carrière d'Ain TOUTA qui se trouve à 35 km au nord de la wilaya de Biskra.
- **Un ciment CPJ-CEM II/A-L 42.5 N** (ciment portland composée): de la cimenterie d'AIN TOUTA.
- **Eau de gâchage** : c'est l'eau potable (L'eau du robinet du Laboratoire).
- **Granulat en plastique PEHD** : les particules de plastique HDPE sont commercialisées en sac de 25kg fabriqué en Arabie saoudite, fournis par un fournisseur algérienne à Oran. Ces particules de forme régulières et presque de même taille dans l'épaisseur moyenne est d'environ 1mm.(voir l'analyse granulométrique).

**IV.2.1 Ciment**

Le ciment utilisé est un ciment portland CPJ-CEM II/A-L 42,5 N de la cimenterie d'AIN TOUTA. La figure IV.1 ci-après représentent le ciment utilisé dans ce travail :



**Figure IV.1 : Ciment utilisé CPJ-CEM II/A-L 42,5 N**

**IV.2.1.1 Les caractéristiques chimiques et minéralogiques des ciments utilisés EN 196-2**

La composition chimique et minéralogique du ciment a été effectuée au niveau du laboratoire de la cimenterie d'AIN TOUTA, par la norme **EN 196-2**, les analyses selon la fiche technique sont résumées dans les tableaux : **IV.1** et **IV.2**

**Tableau IV.1 : la composition chimique du ciment**

<b>Composition chimique</b>	<b>Teneur(%)</b>
CaO	60.4
SiO <sub>2</sub>	20.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.36
MgO	2.15
SO <sub>3</sub>	2.37
K <sub>2</sub> O	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.23
Chlorures	0.07
PAF	4.28

**Tableau IV.2** la composition minéralogique (Formule de Bogue)

<b>Composition minéralogique CEM/II 42,5 (%)</b>	
<b>C3S</b>	52
<b>C2S</b>	22
<b>C3A</b>	03
<b>C4AF</b>	18

**IV.2.1.2 Les caractéristique physique du ciment utilisé :**

**a) La masse volumique absolue et apparente : NF EN 196-1**

Les résultats de ces masses volumiques du ciment sont présentés dans le **tableau IV.3**

**Tableau IV.3 :** résultats des masses volumiques apparents et absolu du ciment.

<b>Masse volumique apparent (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Masse volumique absolu (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1.05	3.03

**IV.2.2 Eau**

En référence à la norme **NF EN 1008**, l'eau utilisée lors de la fabrication des mélanges de mortier est l'eau potable du robinet du laboratoire de matériau de construction du département de génie civil et hydraulique à l'université de Biskra.

**IV.2.3 Sable**

Les sables utilisés pour notre étude sont :

- Un sable de carrière d'Ain TOUTA ;
- Un sable d'oued (région de Biskra). Les deux types de sable présentés sur les figures suivantes (**IV.2 et IV.3**) :



Figure IV.2 : Sable concassé



Figure IV.3 : Sable d'oued

#### IV.2.3.1 Les caractéristiques physiques et mécaniques :

##### a) La Masse volumique apparente (NF P 18-554)

Les résultats de la masse volumique des deux sables figurent dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : masses volumique apparent des sables d'oued et sable concassée

Type de sable	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Sable concassée	1,52
Sable d'oued	1.55

Les figures (IV.4 et IV.5) résument les étapes d'un mode opératoire de l'essai de la masse volumique apparente qui a été pratiquée dans notre laboratoire.



Figure IV.4: Essai de la masse volumique apparente du sable concassé





Figure IV.5 : Essai de la masse volumique apparente du sable d'oued.

b) Masse volumique absolue : (la norme NF P 18-555)



Figure IV.6 : masse volumique absolue de sable

Les valeurs des masses sont présentées dans le **tableau IV.4** suivants :

**Tableau IV.4** : masses volumique absolue des sables d'oued et sable concassée

Type de sable	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Sable concassée	2.50
Sable d'oued	2.61

**IV.2.3.2 Les caractéristiques géométriques**

**a) L'analyse granulométrique NF EN 933-1**

La masse de sable est calculée par la formule suivante :

MS :(Masse de sable)  $\geq 0.2D_{max}$ .

$D_{max} = 5 \text{ mm}$  On a pris MS = 2 kg).



**Figure IV.7** les formes des grains

**Figure IV.8** : Tamis sur la tamiseuse électrique.

Les tableaux suivants présentent l'analyse granulométriques de 2kg d'échantillon de sable :

**Tableau IV.6, Tableau IV.7**

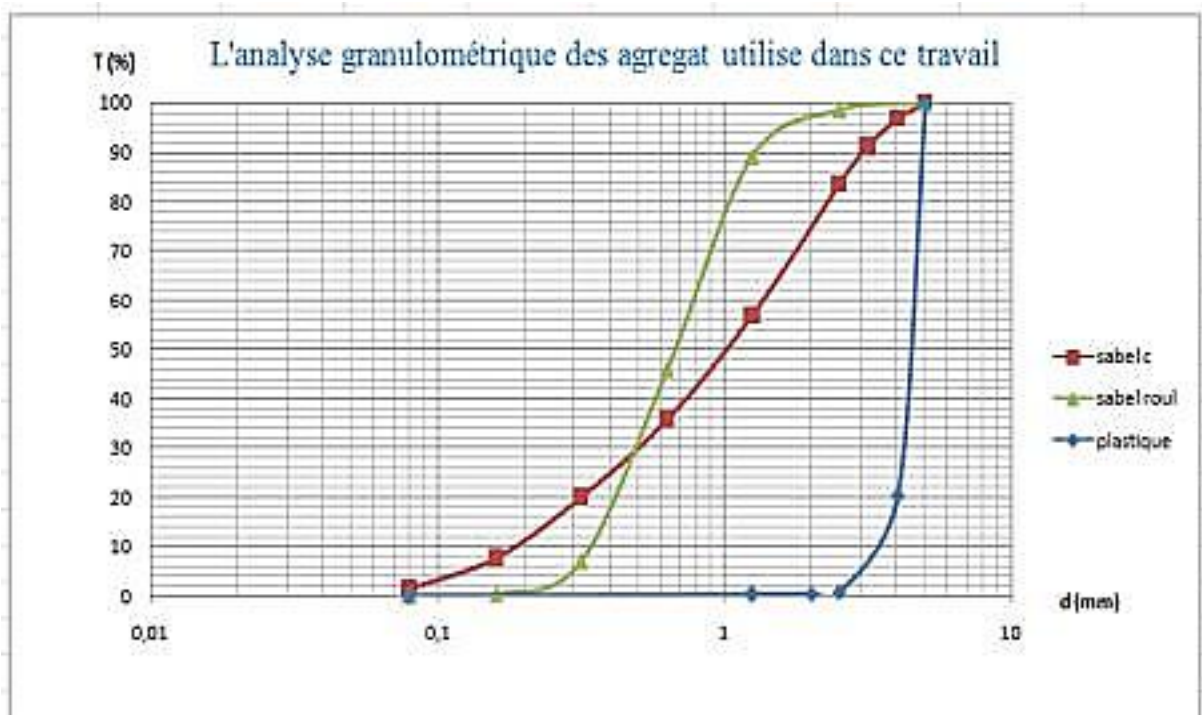
**Tableau IV.6:** analyse granulométrique d'un sable concasse (0/5)

Tamis	Refus partiel	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
4	65.10	65.10	3.26	96.74
3.15	112.90	178	8.90	91.10
2.5	150.30	328.30	16.42	83.58
1.25	534.40	862.70	43.14	56.86
0.63	419.30	1282	64.10	35.90
0.315	317	1599	79.95	20.05
0.16	249.20	1848.20	92.41	7.59

0.08	123.80	1972	98.60	1.40
Fond	27	1999	99.95	0.05

**Tableau IV.7 :** Analyse granulométrique d'un sable d'oued.

Les Tamis	Refus partiel	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	13.03	13.03	1.303	98.69
1.25	96.27	109.3	10.93	89.07
0.63	431.27	540.57	54.057	45.95
0.315	396.09	936.66	93.666	6.34
0.16	59.89	996.55	99.65	0.35
0.08	2	998.55	99.85	0.15
Fond	1.43	999.98	99.99	0.01



**Figure IV.9 :** La courbe d'analyse granulométrique des agrégats utilisés

b) Module de finesse (la norme NF P18-540):

Tableau IV.8 : Module de finesse  $M_f$  des sables concassé et sable d'oued

Type de sable	Module de finesse ( $M_f$ )
Sable concassé	3.59
Sable d'oued	2.59

A partir des valeurs du module de finesse, donc le sable concassé est un sable **grossier** et le Sable d'oued est un sable **moyen**.

IV.2.3.3 Les caractéristiques physico-chimiques :

a) Equivalent de sable :(EN 933-8)



Figure IV.10: Equivalent de sable



Figure IV.11 : machine d'agitation

Tableau IV.9 : Résultats d'équivalent du sable concassé et sable d'oued

Type de sable	ESV%	ESP%	Nature et qualité du sable
Sable concassé	81.30	83.17	<b>Sable très propre</b> : l'absence presque totale de fines calcaires, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton.
Sable d'oued	<b>55</b>	<b>58</b>	<b>Sable fin calcaires</b> : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité.



b) La teneur en eau :(P18-555)

Tableau IV.10:la teneur en eau des sables concassé et sable d'oued

Type de sable	M sable humide (g)	M sable sèche (g)	La teneur en eau(%)
Sable concasse	1048	1046.8	0.114
Sable d'oued	1426.5	1424.9	0.112

III.2.4 granulat en déchets de plastique (PEHD) :



Figure IV.12 Les granulats plastiques PEHD utilisés

IV.2.4.1 Les caractéristique physique et mécanique

a) Masse volumique apparente



Figure IV.13 : l'essai de la masse volumique apparente des granulats PEHD

**Tableau IV.11:** résultats de masse volumique apparent

$M_{tas\ vide} (g)$	$M_{tas\ remplis} (g)$	$M_{PA} (g)$	$V (cm^3)$	$\rho_{Pa} (g/cm^3)$
299.49	851.83	552.34	1000	0.550
	848.52	549.03		
	848.84	549.35		
	851.12	551.63		

**b) Masse volumique absolue**



**Figure IV.14 :** la masse volumique absolue des agrégats plastique (PEHD).

**Tableau IV.12. :** Résultats de masse volumique absolue

$M_{plastique} (g)$	$V1 (cm^3)$	$V2 (cm^3)$	$\rho (g/cm^3)$
40	200	245	0.88
	200	246	
	200	244	
	200	245	

III.2.4.2 L'analyse granulométrique



Figure IV.15: Tamis sur tamiseuse électrique.

Tableau IV.13 : analyse granulométrique de déchets plastique PEHD

Tamis	Refus partiel	Refus cumulé		Tamisât(%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
4	795.6	795.6	79.56	20.44
2.5	198	993.6	99.36	0.64
2	2.3	995.9	99.59	0.41
1.25	1.9	997.8	99.78	0.22
Fond	1.09	998.89	99.88	0.02

La courbe granulométrique des granulats plastiques utilisés est présentée sur la figure (IV.8)

### **IV.3 Procédure expérimentales :**

Afin d'organiser les étapes de résolution de la problématique, le travail expérimental suit trois étapes :

#### **1<sup>ère</sup> étape : Etude de l'effet du type de sable sur les caractéristiques du mortier avec l'incorporation des granulats en PEHD**

On fixe La substitution à 10% et on change le type de sable c'est-à-dire on a deux mortiers :

- un mortier avec un sable d'Oued et 10% de PEHD (**MSOPA10**) comparé avec un mortier témoin (avec sable d'Oued et sans PEHD) **MSOT**
- un mortier avec un sable concassé et 10% de PEHD (**MSCPA10**) comparé avec un mortier témoin (avec sable concassé et sans PEHD) **MSCT**

Pour étudier les résistances mécaniques à la flexion et en suite à la compression on a :

- 09 éprouvettes de (MSCT) : 03ép (07j) + 03ép (28j) + 03ép (90j)
- 09 éprouvettes de (MSOT) : 03ép (07j) + 03ép (28j) + 03ép (90j)
- 09 éprouvettes de (MSCPA10) : 03ép (07j) + 03ép (28j) + 03ép (90j)
- 09 éprouvettes de (MSOPA10) : 03ép (07j) + 03ép (28j) + 03ép (90j)

#### **2<sup>ème</sup> étape : Etude de l'effet de la substitution des granulats en PEHD sur les caractéristiques du mortier**

On fixe le type de sable c'est-à-dire on prend le sable concassé et on varie le pourcentage de PEHD (10% et 30%) deux mortiers à base de sable concassé qui seront comparés avec MSCT

- Les valeurs des résistances mécaniques et de l'étalement de **MSCT** et **MSCPA10** sont déjà obtenus dans la 1<sup>ière</sup> partie et ils sont comparés avec celles de :
- Un mortier avec 30% de PEHD (**MSCPA30**) : 09 éprouvettes = 03ép (07j) + 03ép (28j) + 03ép (90j)

#### **3<sup>ème</sup> étape : Etude de l'effet du traitement des granulats plastiques sur les caractéristiques du mortier avec incorporation de PEHD.**

Dans la troisième étape, on a fixé le type de sable (SC) ainsi que le dosage des granulats plastiques (10%), et on a varié le traitement : deux chimiques et un mécanique, la comparaison est avec le mortier de référence MSCPA10



- **Les traitements chimiques** : l'immersion des granulats plastique dans deux solutions : S1, S2 respectivement esprits de sel et eau de javel.
- **Le traitement mécanique** : suite à l'introduction des granulats plastique dans le broyeur du laboratoire, on a obtenu des granulas plastique aplatis. Alors on a : 09 éprouvettes de mortier avec 10% de PA traité par S1 : MS1  
09 éprouvettes de mortier avec 10% de PA traité par S2 : MS2  
09 éprouvettes de mortier avec 10% de PA aplatis :  
Map. Comparés avec le mortier de référence  
MSCAP10

#### IV.4 Les modes de traitements des agrégats plastiques PEHD

##### IV.4.1 Les traitements chimiques des agrégats plastiques PEHD



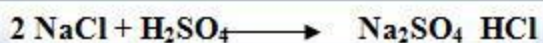
Figure IV.16 : les solutions utilisées pour le traitement chimique

##### IV.4.1.1 Traitement par S1

Le premier mode du traitement par **S1**, s'agit d'immersion des granulats dans **l'esprit de sel** 32° pendant 15 jours

**Définition de l'esprit de sel** : L'acide chlorhydrique, encore dénommé chlorure d'hydrogène sous sa forme anhydre, de formule **HCl** et de masse moléculaire 36,5. Il est en solution dans l'eau un acide fort, dissocié en ions  $H_3O^+$  et  $Cl^-$ . Il fut découvert par

l'alchimiste **Jabir Ibn Hayyan** aux environs des années 800, par la réaction de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sur le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) :



D'où son nom « muriatique », et aussi « esprit de sel » courant dans les anciennes drogues.

#### **IV.4.1.2 Traitement par S2**

Le deuxième mode de Traitement : Par immersion des granulats dans la solution 2 (eau de javel) pendant 15 jours.

**Définition de l'eau de Javel :** La terminologie " eau de Javel" est réservée aux solutions vendues dans le commerce, dans l'industrie on utilise la dénomination " hypochlorite de sodium".

La réaction de fabrication de l'eau de Javel ( $\text{NaClO}$ ) à partir de chlore et de soude ( $\text{NaOH}$ ) est la suivante :



L'eau de Javel est une solution basique, dont le pH varie en fonction de la concentration, qui est exprimée par la teneur en chlore actif sous la forme d'un pourcentage pondéral. Ce pourcentage correspond à la masse, exprimée en gramme de dichlore  $\text{Cl}_2(\text{g})$ , nécessaire pour préparer 100 g de solution, selon l'équation bilan :



#### **IV.4.2 Le traitement mécanique des agrégats plastiques PEHD**

Ce mode de traitement a été obtenu par introduction des granulats plastiques dans un broyeur mécanique dont le résultat a donné des granulats aplatis.



Figure IV.17 : Les traitements mécaniques Figure IV.18 : Broyeur mécanique

Des granulats plastiques PEHD

## IV.5 préparation des mortiers

### IV.5.1 Calcul des composants des mortiers

La quantité du ciment et celle de l'eau sont constante pour tous les mélanges des mortiers à étudiés :

$C = 450\text{g}$  ;  $E = 225\text{ml}$  et  $S = M_{\text{sable}} = 1350\text{g}$  pour les mortiers sans granulats plastiques

- **Calcul de la substitution de 10% :**

$$M_{s'} = (M_{\text{sable}} \times 10) / 100 = 135 \quad \text{alors} \quad M'_{\text{sable}} = 1350 - 135 = 1215\text{g}$$

$$V_{\text{plas}} = V_{s'} = M_{s'} / \rho_{\text{sable}} = 135 / 2,61 = \mathbf{51,72 \text{ cm}^3}$$

$$M_{\text{plas}} = \rho_{\text{plas}} \cdot V_{\text{plas}} = 0,88 \cdot 51,72 = \mathbf{45,52 \text{ g}}$$

- **Calcul de la substitution de 30% :**

$$M_{s'} = (M_{\text{sable}} \times 30) / 100 = 405 \quad \text{alors} \quad M'_{\text{sable}} = 1350 - 405 = \mathbf{945 \text{ g}}$$

$$V_{\text{plas}} = V_{s'} = M_{s'} / \rho_{\text{sable}} = 405 / 2,61 = \mathbf{155,77 \text{ cm}^3}$$

$$M_{\text{plas}} = \rho_{\text{plas}} \times V_{\text{plas}} = 0,88 \times 155,77 = \mathbf{137,07 \text{ g}}$$

Dans un premier temps nous avons pesés individuellement tous les composants du mortier pour chaque formulation du tableau IV-14



**Sable d'oued**

**PEHD**

**sable concassé**

**ciment**

**Figure IV.19:** Pesage des composants du mortier

#### **IV.5.2 Malaxage des composants du mortier : P15-437**

Pour le malaxage des constituants, un malaxeur à mortier de capacité 5 litres (**voir figure IV.20**) selon les étapes suivantes :

- 1) Mettre le ciment puis l'eau dans le bol du malaxeur
- 2) Malaxer le ciment et l'eau 30 secondes vitesses min (140 Cycle en minutes).
- 3) Ajouter sable 30 seconde vitesse min.
- 4) Malaxer le ciment et le sable et l'eau 30 secondes vitesses rapides.
- 5) Laisser reposer 1 minute 30 secondes.
- 6) Malaxer pendant 1 minute vitesse rapide (280 Cycle en minutes).

La même procédure de gâchage a été utilisée pour tous les mortiers.



Figure IV.20 : Malaxeur d'une capacité maximale de 5 L



Figure IV.21 : Malaxage des composants du mortier.

#### IV.5.3 Confection des éprouvettes de mortier :

Pour le mortier, des éprouvettes de  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ , ont été réalisées pour les essais de flexion et les essais de compression. Les éprouvettes ont été coulées dans des moules métalliques préalablement huilés (voir **Figure IV.23**).

Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à **la table à choc** (voir **Figure IV.22**), on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément utilisant la grande spatule puis serrée par 30 chocs.

Le deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 30 chocs.



Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. la surface des éprouvettes est ensuite lissée. Les moules remplis avec le mortier frais sont ensuite recouverte par un film plastique (voir **Figure IV.24**) jusqu'au démoulage. Le démoulage est effectué après 24 heures.



**Figure IV.22** : La table à choc



**Figure IV.23**: Les moules métalliques



**Figure IV.24** conservation des moules



**Figure IV.25** Les éprouvettes après démoulage.



# Chapitre V

Résultats et interprétations

## V Résultats et interprétations

### V.1 Etude de la maniabilité (l'état frais)

La maniabilité est une propriété principale du mortier à l'état frais, elle est mesurée par l'étalement à la table à secousse (voir II.5.1.1)



Figure V.1 : L'essai d'étalement

#### V.1.1 L'effet du type de sable sur la maniabilité du mortier contenant des granulats en PEHD

Cette comparaison appartient à la 1<sup>ière</sup> étape :

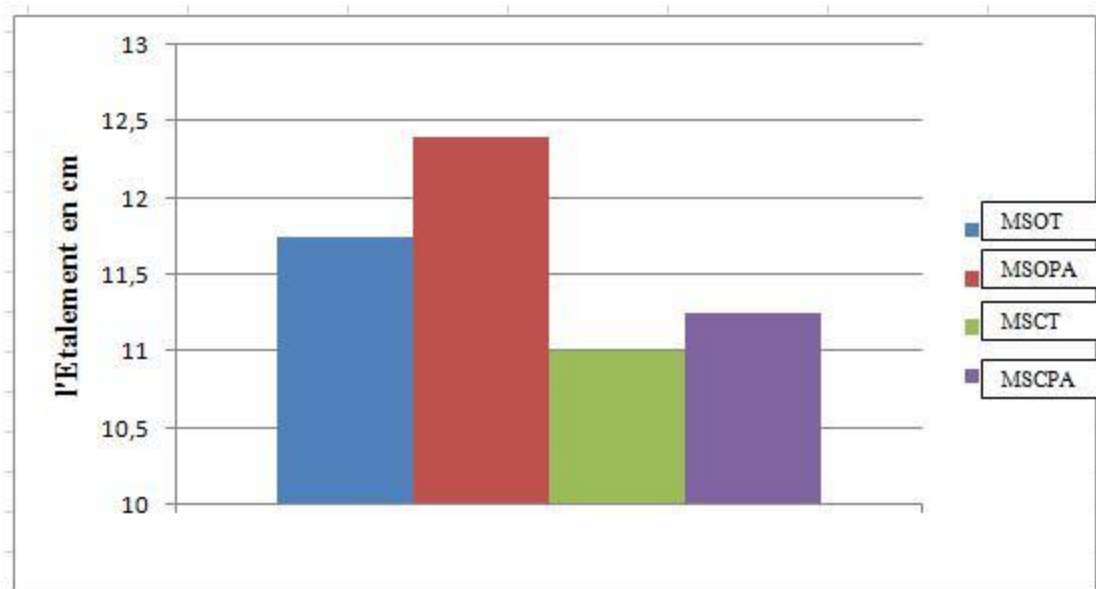


Figure V.2 : Variation de l'étalement d'un mortier contenant des granulats en PEHD selon le type de Sable



**Commentaires :**

- Les valeurs de l'étalement sont proches pour tous les mortiers (entre 11 et 12,4 cm)
- L'étalement du mortier à base d'un sable d'Oued contenant PEHD (MSOPA) est supérieur à celui donné par un mortier à base de sable concassé contenant PEHD (MPASC). La même remarque dans le cas de l'absence de PEHD (Cas de mortiers témoins)

**On peut dire que :**

- L'influence de la présence des granulats en PEHD sur la maniabilité du mortier est plus remarquable dans le cas des mortiers à base du sable d'Oued à cause de la forme arrondie et la surface lisse des granulats naturels et plastiques (sable d'Oued – PEHD).
- La forme angulaire des particules et les arêtes vives des grains de sable concassée entraîne la faible maniabilité résultant de formes non uniformes du rapport de particules fines ou de poudre (qui est souvent causé par le concassage) augmentant ainsi la nécessité d'augmenter la teneur en eau pour entourer ces particules.

**V.1.2 L'effet de la substitution en granulats PEHD sur la maniabilité du mortier**

Cette comparaison appartient à la **2<sup>ème</sup> étape**

Les valeurs de l'étalement pour les différents mortiers sont représentées par les histogrammes dans la figure V.4

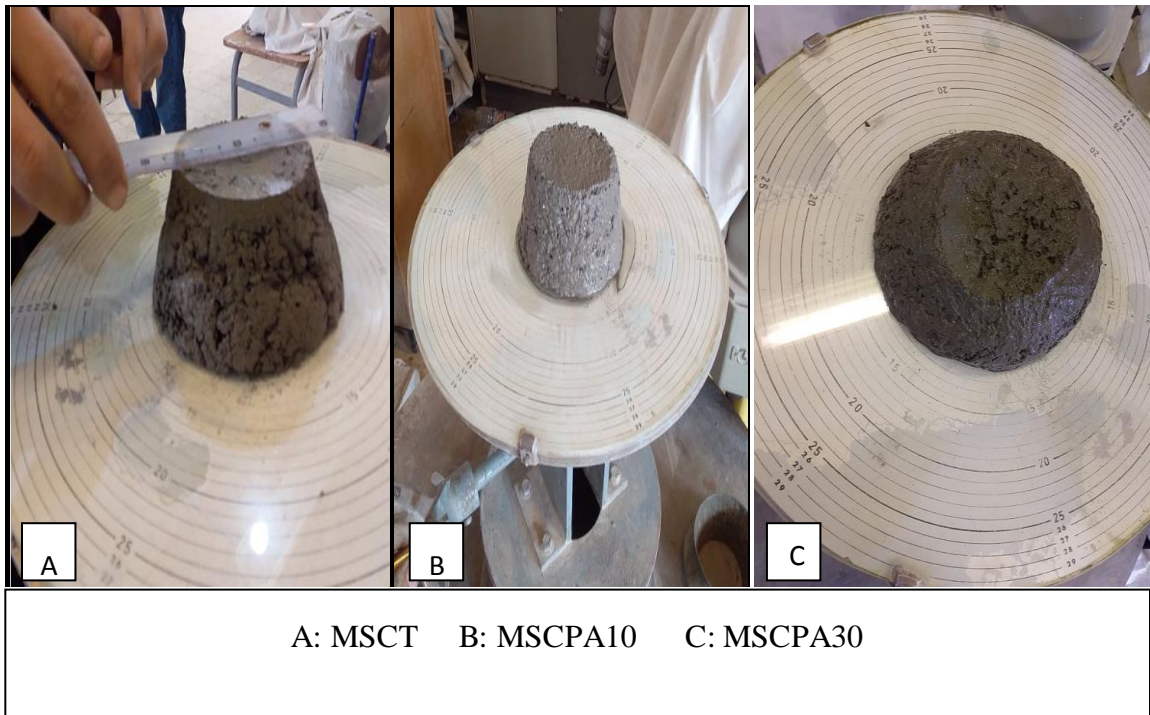


Figure V.3 : La différence entre les étalements des trois mortiers

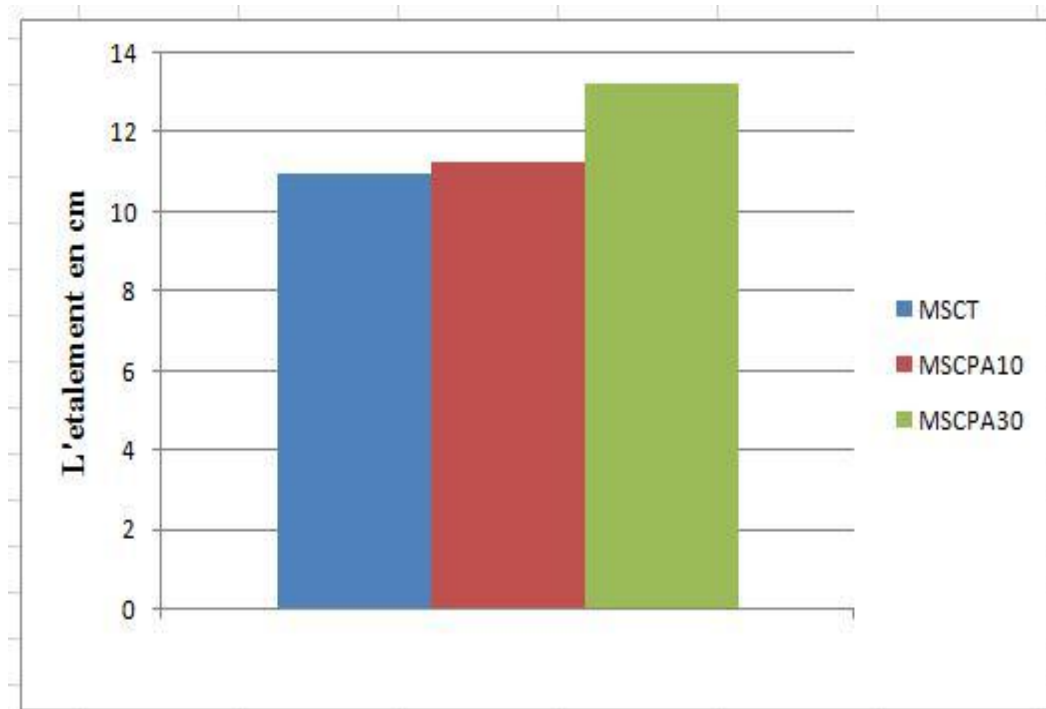


Figure V.4 : Variation de l'étalement d'un mortier à base de sable concassé selon les substitutions en granulats PEHD.

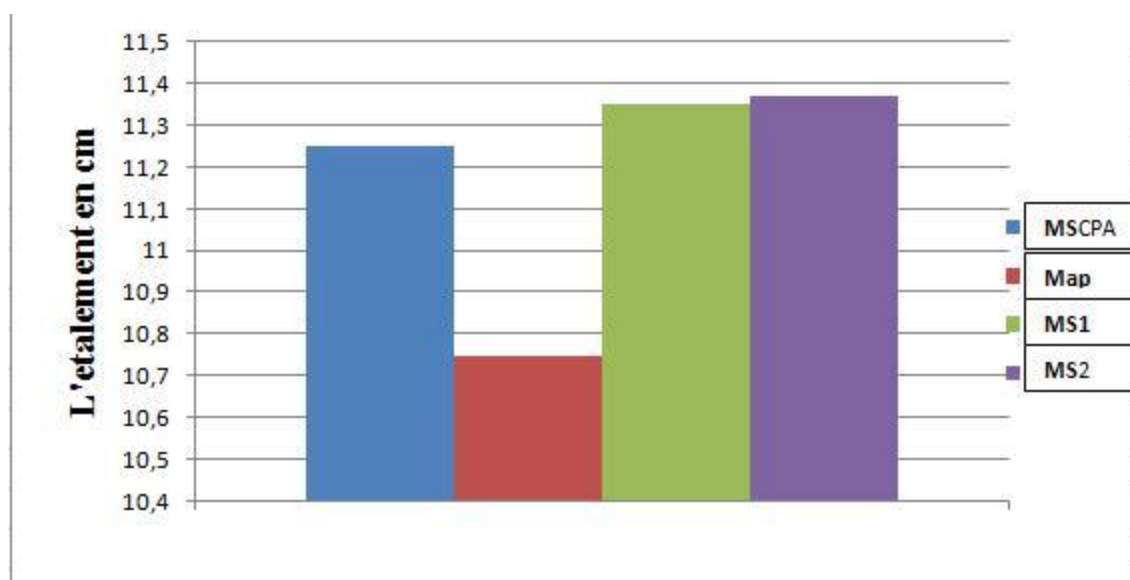
**Commentaires :** Selon la **figure V.4** on a :

- L'étalement du mortier augmente avec l'augmentation de la substitution des granulats PEHD, donc les granulats PEHD améliore la maniabilité du mortier

L'étalement augmente avec l'augmentation de la substitution de PEHD. Les auteurs Choi et al (2005), Ghernouti et al (2014) et Choi et al (2009) ont attribué l'amélioration de la maniabilité aux propriétés des particules de plastique qui ont une surface extérieure plus lisse que le sable, et l'agrégat de plastique a une absorption d'eau plus faible et la présence de plus d'eau libre augmente la valeur d'affaissement.

### V.1.3 L'effet du traitement sur la maniabilité du mortier contenant des PEHD

Cette comparaison appartient à la 3<sup>ème</sup> étape



**Figure V.5 :** Variation de l'étalement d'un mortier selon le traitement des granulats PEHD.

**Commentaires :**

- L'étalement des mortiers avec PEHD traités par les deux solutions (MS1 et MS2) est presque le même est très proche de l'étalement du mortier avec PEHD non traités (MSCPA). Alors le traitement chimique des granulats PEHD par ces deux solutions n'a pas d'influence sur la maniabilité du mortier
- L'étalement du mortier diminue avec l'incorporation d'agrégat plastique de forme aplatie.
- À un taux de remplacement de 10% de PA aplatis, le plastique de forme plate a une absorption d'eau plus élevée que le plastique en granulés.

La forme aplatie des particules et les arêtes vives de l'agrégat plastique due au traitement mécanique, diminue la maniabilité à cause des formes non uniformes des granulats et augmente la surface totale en augmentant ainsi la nécessité d'augmenter la teneur en eau pour entourer ces particules.

## V.2 Comportement du mortier durci :

Après la conservation des éprouvettes dans l'eau jusqu'à l'âge exigé pour l'essai de la résistance à la compression et à la flexion

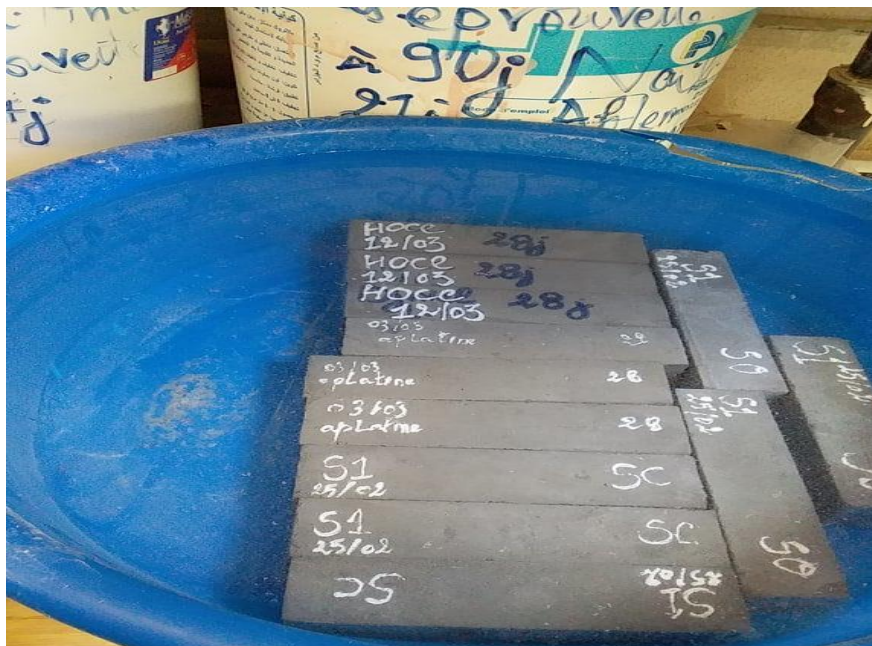


Figure V.6 : Conservation des éprouvettes à l'eau pendant 28 jours

### Remarque :

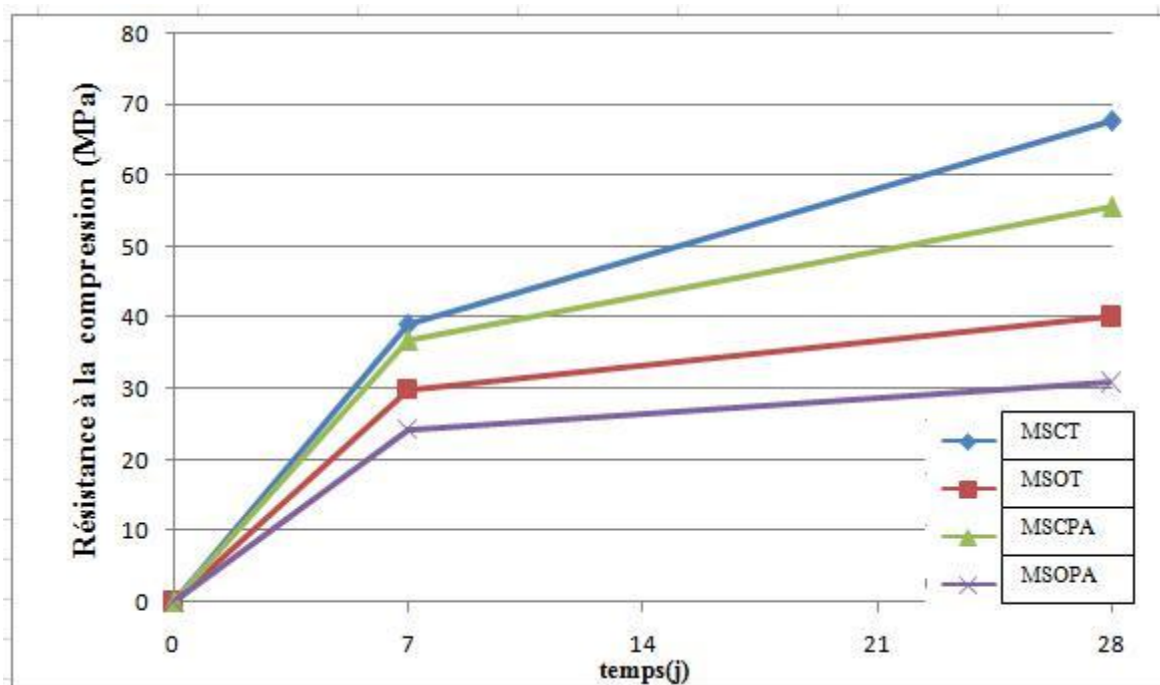
Le travail au Laboratoire a été interrompu à cause du confinement exigé suite à l'épidémie du Covid19, les résistances mécaniques étudiées ont été limitées à celles à 07 et 28 jours, c'est-à-dire on a éliminé les résistances à la compression à 90 jours.



Figure V.7 : Presse pour mortier (Machine de compression)

## V.2.1 Etude de la résistance à la compression

### V.2.1.1 L'effet du type de sable sur la résistance à la compression d'un mortier contenant des granulats PEHD



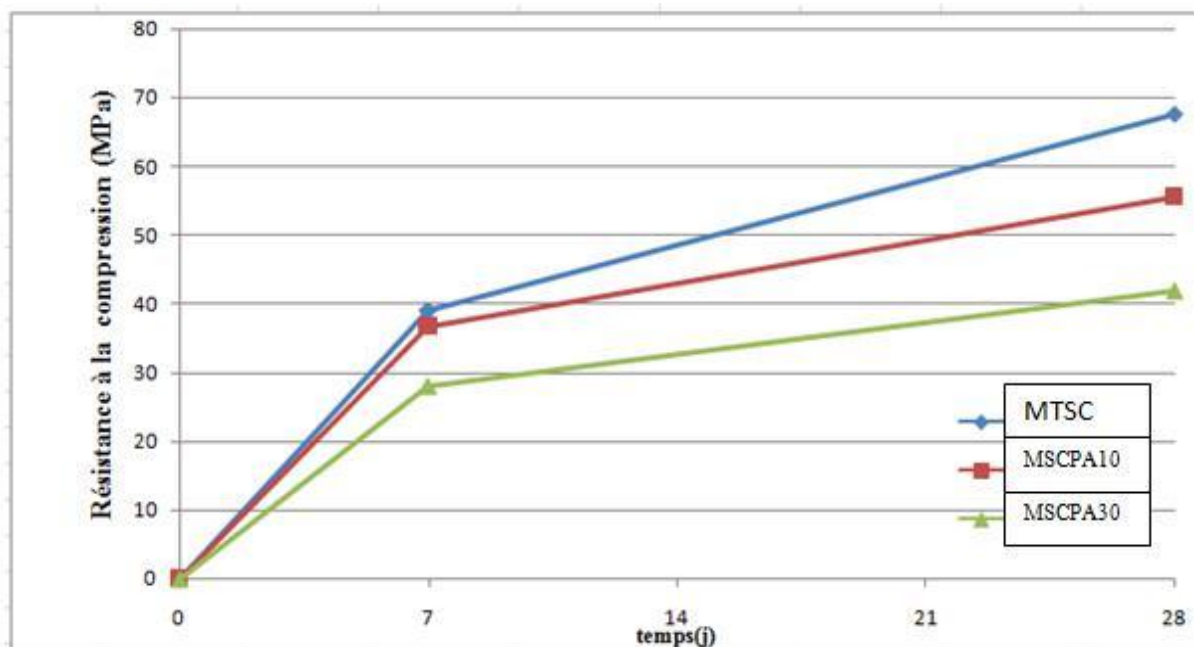
La figure V.8 : L'effet du type de sable sur la résistance à la compression

**Commentaires :**

- L'évolution de la résistance à la compression est presque la même en fonction du temps pour les deux mortiers de sables différents avec ou sans la présence des PEHD ;
  - Nous remarquons pour les deux mortiers de sables différents une diminution de la résistance la compression due à la présence de PEHD dans le mortier, mais reste proche de celle du mortier témoin à 7 jours pour le cas d'un sable concassé ;
  - La résistance à la compression est plus importante dans le cas des mortiers à base d'un sable concassé soit avec ou sans PEHD ;
  - Une diminution de la résistance due à l'emploi d'un sable d'oued dans le mortier mais elle est moins grave sans la présence des PEHD (la diminution pour les mortiers sans PEHD égale à 23% et elle est égale à 34% avec PEHD)
- On peut dire alors que le sable d'Oued favorise la diminution de la résistance à la compression causé par l'incorporation des PEHD, Alors il est préférable d'utiliser le sable concassé en cas de l'incorporation des PEHD dans le mortier.

**V.2.1.2 L'effet de la substitution en granulats PEHD sur la résistance à la compression du mortier**

Cette comparaison appartient à la 2<sup>ème</sup> étape :



**Figure V.9 :** L'effet du pourcentage des granulats PEHD sur la résistance à la compression.  
**Commentaires :**



- L'évolution de la résistance à la compression est presque là même en fonction du temps pour les deux mortiers ainsi que le mortier témoin ;
- Nous remarquons une diminution de la résistance mécanique en fonction de l'augmentation du pourcentage de PEHD dans le mortier, mais proche de celle du mortier témoin pour le cas de 10% à 7 jours.
- Nous enregistrons une baisse de résistance à la compression à 28 jours d'environ 12% et 38% respectivement pour 10% et 30%. Ce résultat est considéré meilleur par rapport à ceux obtenus à partir du travail mentionné dans le document de synthèse publié par Saikia et al. (2012).

On peut dire que la substitution de PEHD diminue la résistance à la compression des mortiers mais moins grave avec un dosage de 10%. La réduction de la résistance à la compression du mortier est due à une mauvaise liaison entre la pâte de ciment et les granulats PEHD.

L'utilisation de PEHD avec un module d'élasticité élevé par rapport à celui des granulats naturels diminue la résistance à la compression du mortier Almeshal (2020).

### V.2.1.3 L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la compression du mortier

Cette comparaison appartient à la 3<sup>ème</sup> étape

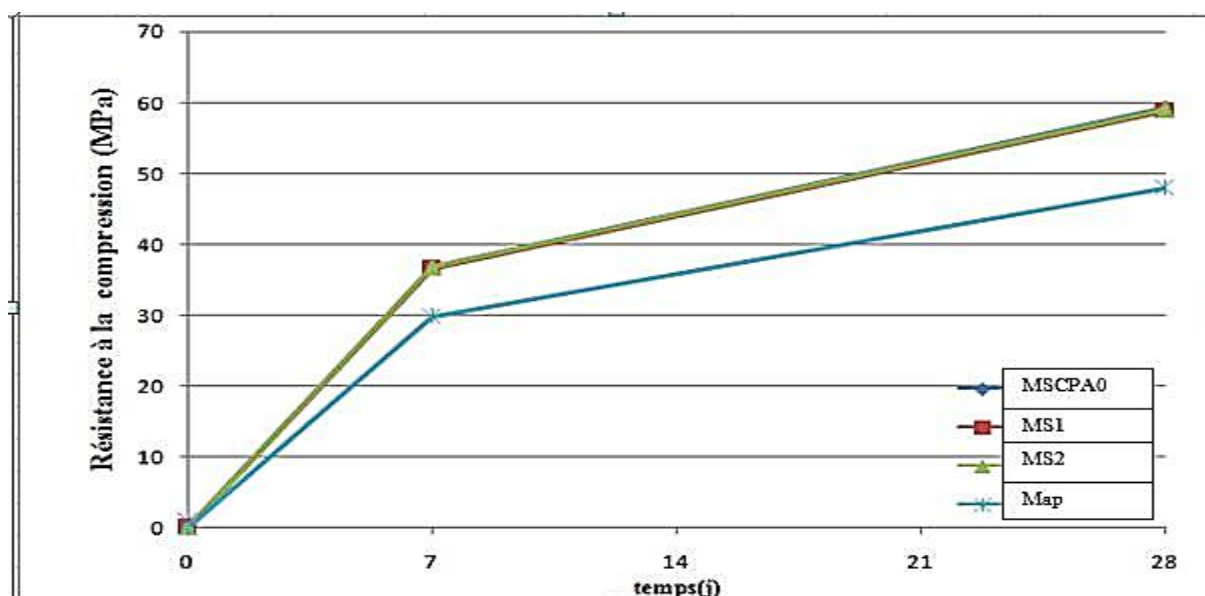


Figure V.10 : L'effet des traitements des granulats PEHD sur la résistance à la compression du mortier

**Commentaires :**

- Le traitement chimique des granulats PEHD n'a aucun effet sur la résistance à la compression. Ce qui confirme la résistance du PEHD aux deux solutions
- Le traitement mécanique des granulats PEHD diminue la résistance à la compression du mortier.

On peut dire que la diminution de la résistance à la compression pour le cas du traitement mécanique des granulats PEHD est due à l'augmentation de la surface lisse du PEHD et l'eau libre accumulée à la surface des particules pourrait entraîner une faible force de liaison entre la pâte de ciment et les granulés PEHD aplatis

**V.2.2 L'essai de la résistance à la flexion**

La résistance à la flexion est donnée par la formule:  $R_{fl} = 1.5 \left( \frac{P_f}{b_s} \right) \times L$  (voire II.4.2.2)



**Figure V.11 :** L'essai de la résistance à la flexion.



V.2.2.1 L'effet du type de sable sur la résistance à la flexion d'un mortier contenant des granulats PEHD

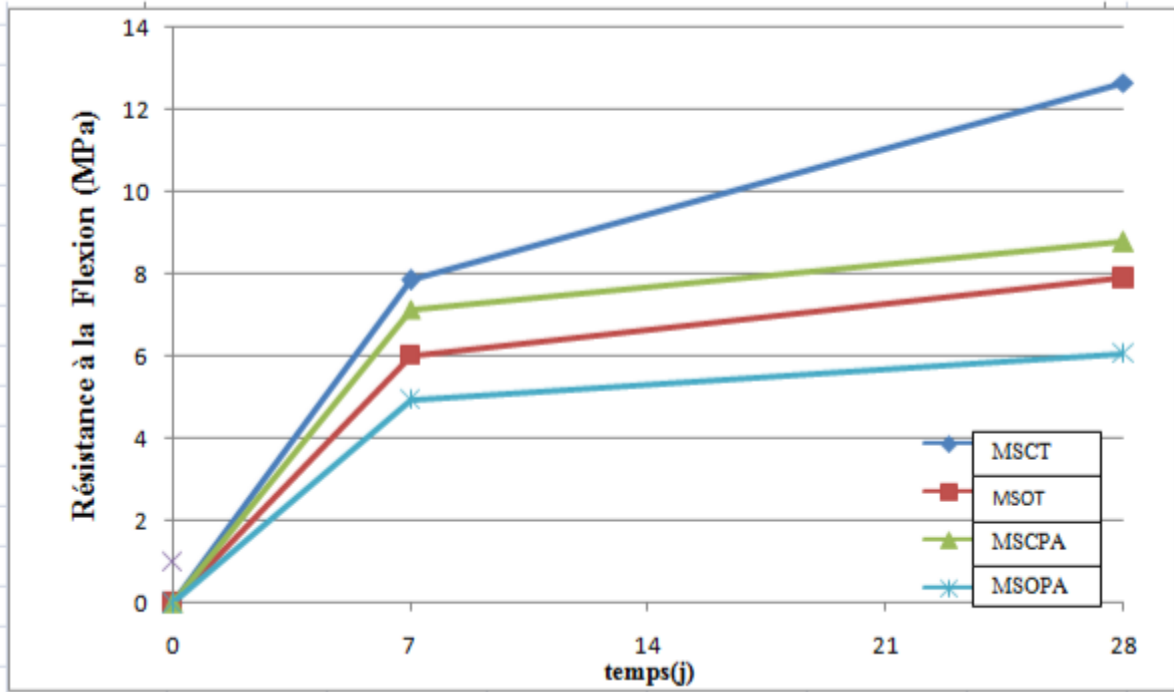


Figure V.12 : L'effet du type de sable sur la résistance de la flexion du mortier

Commentaires :

Selon la figure V.12, On remarque une diminution de la résistance à la flexion à 28 jours dans le cas d'un mortier avec PEHD à base d'un sable concassé à cause de la forme angulaire des granulats.

Alors, on peut dire que le type de sable n'a pas d'influence sur l'évolution de la résistance à la flexion dans le temps (presque la même évolution) avec ou sans la présence des PEHD.

V.2.2.2 L'effet de la substitution des granulats en PEHD sur la résistance à la flexion du mortier

Cette comparaison appartient à la 2<sup>ème</sup> étape :

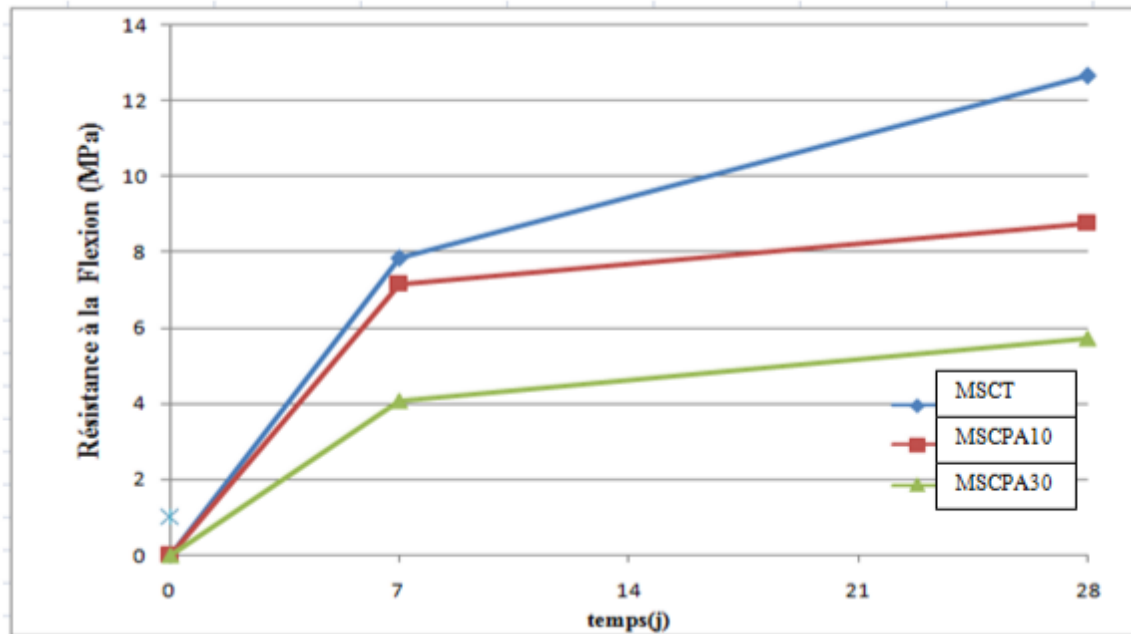


Figure V.13 : L'effet du pourcentage des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier

Commentaires :

- Presque aucun changement significatif de la résistance à la flexion du mortier contenant jusqu'à 7 jours avec un pourcentage de 10% par rapport au mortier de référence, vu que l'hydratation du ciment n'est pas complète
- Semblable à la résistance à la compression, la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de substitution de PEHD. L'explication de la perte de résistance à la compression des mortiers s'applique également au comportement en flexion.

V.2.2.3 L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier

Cette comparaison appartient à la 3<sup>ème</sup> étape

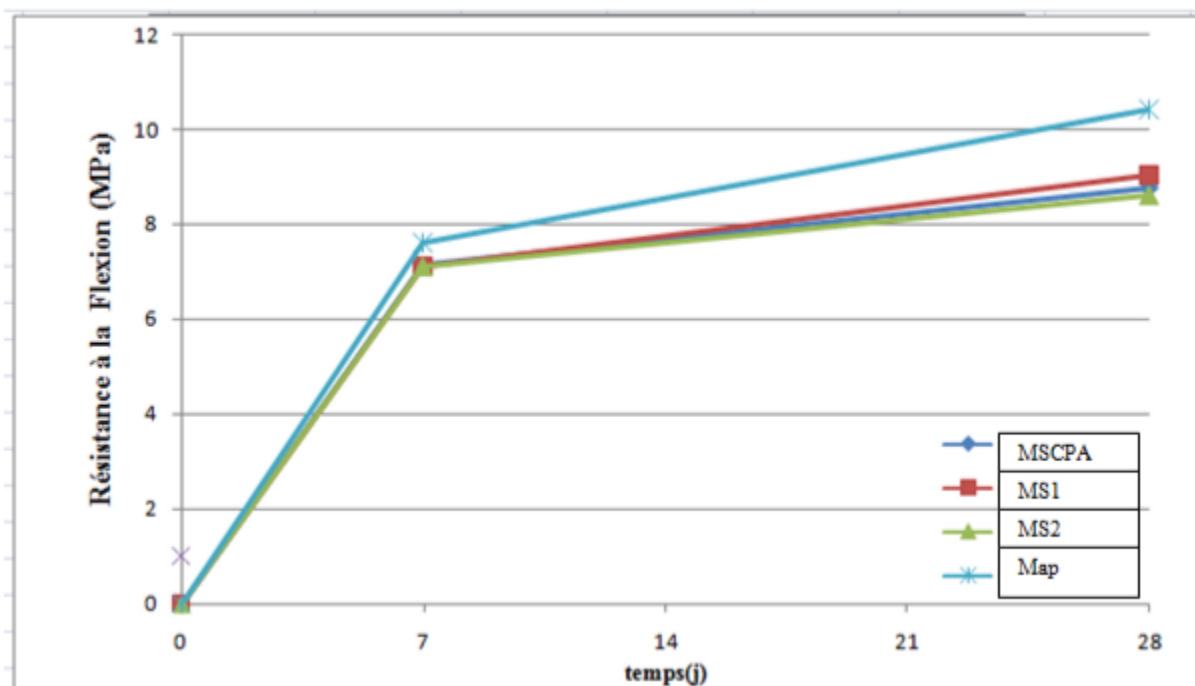


Figure V.14 : L'effet du traitement des granulats PEHD sur la résistance à la flexion du mortier

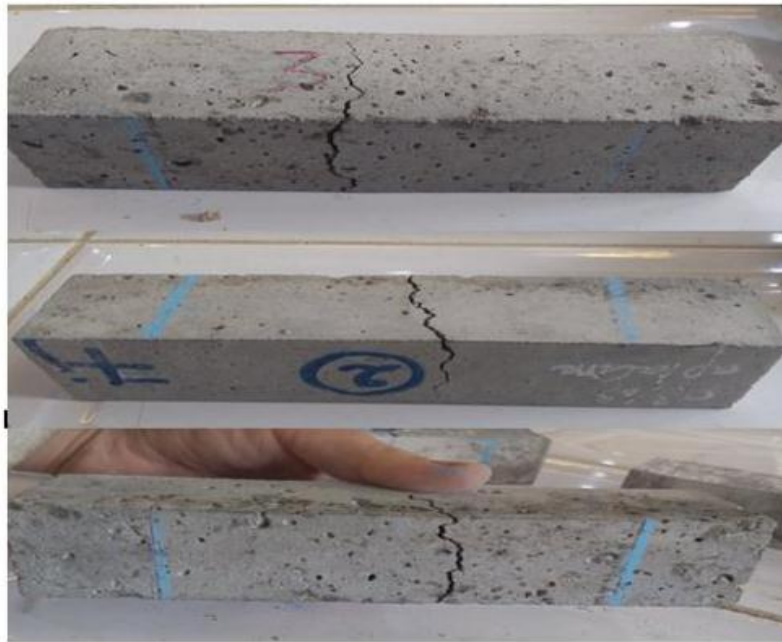
Commentaires :

- Le traitement chimique des granulats PEHD n'a aucun effet sur la résistance à la flexion. Ce qui confirme la résistance du PEHD aux deux solutions
- Le traitement mécanique des granulats PEHD augmente la résistance à la flexion du mortier, surtout à 28 jours.

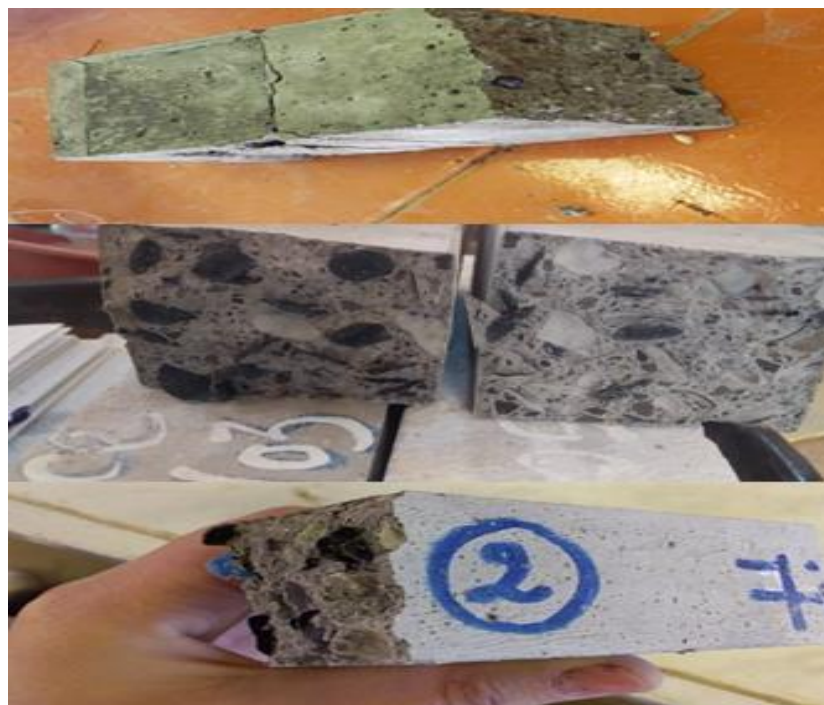
On peut dire que la forme aplatie des granulats PEHD peut être responsable de l'amélioration de la résistance à la flexion du mortier avec incorporation des granulats PEHD, mais reste toujours inférieure à celle du mortier sans granulats PEHD

On peut dire que la forme aplatie diminue la perte de résistance par rapport à la forme arrondie.

V.2.3 Caractéristiques des ruptures :



**Figure V.15** : Mode de défaillance des échantillons des mortiers contenant des agrégats aplatis (traitement mécanique) après l'essai de flexion



**Figure V.16** Etat des éprouvettes des mortiers contenant des agrégats en PEHD après les essais de flexion et de compression

- Les agrégats de PEHD aplatis dans les mortiers ont un effet sur le mode de rupture après l'essai à flexion, car les échantillons ne se divisent pas en deux fractions.
- Sur la base de l'analyse de la surface de la rupture d'un mortier à base de granulat PEHD, on observe un déchaussement des grains de PEHD aplatis sur cette surface. Les photos présentées sur la figure V.16. Ont révélées une caractéristique de ductilité du mortier incorporant des granulats PEHD aplatis (traitement mécanique). Ce comportement est similaire à celui observé par Hannawi et al, qui signalent que le mortier contenant des agrégats de PET en plastique est plus ductile. Cette ductilité permet d'augmenter la durée de la résistance de l'ouvrage avant l'effondrement.
- La fissuration s'arrête au niveau des granulats PEHD sans qu'il y'est rupture de ces derniers. Cela, peut être expliqué du point de vue de la texture des granulats PEHD qui sont ductile et se déforment quand la contrainte devient très importante. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Saikia et al. , Azhdarpour et al. , Herki et al. Et Alqahtani et al. ; qui ont constaté que l'intervalle de la propagation des fissures a été prolongée en raison de la présence des particules de plastique recyclé.

Alors on conclu, que le mode de défaillance des éprouvettes de mortier contenant du plastique en granulés était normal, mais le comportement des granulats aplatis se comporte comme un pont entre les deux pièces brisées.



# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

La réutilisation des déchets a plusieurs avantages ; elle contribue au recyclage, réduit la production d'énergie et la pollution de l'environnement et aide à maintenir et à économiser les ressources naturelles qui ne peuvent pas être reconstituées.

Les matériaux de construction tels que le mortier et le béton sont les matériaux les plus utilisés après l'eau. Les granulats occupent environ 65 à 80% du volume du béton et de mortier et ont une grande influence sur leurs propriétés telles que la résistance mécanique, la perméabilité, la stabilité du volume, l'ouvrabilité et la durabilité. Des quantités considérables de granulats fins et grossiers sont nécessaires pour produire de grandes quantités de béton et mortiers destinées à la consommation mondiale. L'utilisation de déchets dans la préparation de ces matériaux de construction peut éliminer de grandes quantités de déchets. Cette approche peut répondre aux préoccupations environnementales liées à l'extraction des agrégats et à l'élimination des déchets et résoudre les problèmes liés au manque d'agrégats sur les chantiers de construction.

Notre étude a été consacrée à l'utilisation d'un type de plastique qui est le PEHD dans la fabrication du mortier. Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La maniabilité du mortier contenant des granulats plastiques augmente avec l'augmentation de substitution en raison de la surface lisse du plastique recyclé et sa forme régulière arrondie.
- Pour limiter l'étalement il est préférable d'utiliser le sable concassé dans la préparation du mortier car l'eau libre à cause de la faible absorption des particules plastiques qui augmente la valeur d'affaissement sera absorbée par les fines du sable concassé.
- Les résistances mécaniques des mortiers à base du sable concassé sont plus fiables et importantes par rapport aux mortiers de sable d'oued.
- La forme aplatie des particules et les arêtes vives de l'agrégat plastique due au traitement mécanique, diminue la maniabilité à cause des formes non uniformes des granulats et augmente la surface totale en augmentant ainsi la nécessité d'augmenter la teneur en eau pour entourer ces particules.

Pour diminuer la réduction de la résistance à la compression du mortier contenant des granulats PEHD, il est préférable d'utiliser le sable concassé dans sa composition

- La diminution de la résistance à la compression du mortier est acceptable pour un dosage de 10%.
- Semblable à la résistance à la compression, la résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de substitution de PEHD. L'explication de la perte de résistance à la compression des mortiers s'applique également au comportement en flexion.

## Conclusion générale

---

- On peut dire que la forme aplatie des granulats PEHD peut être responsable de l'amélioration de la résistance à la flexion du mortier avec incorporation des granulats PEHD, mais reste toujours inférieur à celle du mortier sans granulats PEHD
- Le comportement après la rupture est similaire à celui observé par Hannawi et al, qui signalent que le mortier contenant des agrégats de PET en plastique est plus ductile. Cette ductilité permet d'augmenter la durée de la résistance de l'ouvrage avant l'effondrement.
- Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Saikia et al. , Azhdarpour et al. , Herki et al. Et Alqahtani et al. ; qui ont constaté que l'intervalle de la propagation des fissures a été prolongé en raison de la présence des particules de plastique recyclé.
- Alors on conclut, que le mode de défaillance des éprouvettes de mortier contenant du plastique en granulés était normal, mais le comportement des granulats aplatis se comporte comme un pont entre les deux pièces brisées.





# Références

## Références

---

- [1] Bissagou koumba gaelle, fragmentations chimique et physique de plastiques et micro plastiques en eau douce sous irradiation UV-visible, Université Clermont Auvergne, (2018).
- [2] Mohamed Touhami Gouasmi, Effet d'agrégats légers a base de poly téréphtalate d'éthylène Sur les propriétés des mortiers, Université d'Oran (faculté sciences exactes et appliquées),(2013).
- [3] Plastic: A Cultural History. New Brunswick, N.J: Rutgers, University Press, (1997).
- [4] Plastics Europe. Plastics – the Facts 2014/2015. Accédé 4 mars, 2017. Disponible document/20150227150049final\_plastics\_the\_facts\_2014\_2015\_260215.pdf Meikle JL. American. Au: <http://www.plasticseurope.org/documents/>
- [5] TRAORE, B, Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recycles) : amélioration de la résistance par des charges en argiles, l'université Félix Houphouet-Boigny sciences de la terre, (2018).
- [6] Meikle JL. American Plastic: A Cultural History. New Brunswick, N.J: Rutgers University Press, 1997
- [7] Plastics Europe. Plastics – the Facts 2014/2015. Accédé 4 mars, 2017. Disponible au: [http://www.plasticseurope.org/documents/20150227150049final\\_plastics\\_the\\_facts\\_2014\\_2015\\_260215.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/20150227150049final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf)
- [8] Ellen Mac Arthur Foundation. New Plastics Economy: Catalyzing Action. Accédé 02 avril, 2017. Disponible au: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/New-Plastics-Economy\\_Catalysing-Action\\_13-1-17.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/New-Plastics-Economy_Catalysing-Action_13-1-17.pdf).
- [9] Shen L, Worrell E, Patel M. Present and future development in plastics from biomass. Biofuels, Bioprod. Bioref. 2010; 4(1):25–40.
- [10] American Chemistry Council. Lifecycle of a Plastic Product. Accédé 05 mars, 2017. Disponible au: <https://plastics.americanchemistry.com/>
- [11] Moore Recycling Associates. 2014 Postconsumer Plastics Recycling in Canada. Accédé 23 avril, 2016. Disponible au: [http://www.plasticsmarkets.org/jsfcontent/Canada14Report2\\_jsf\\_1.pdf](http://www.plasticsmarkets.org/jsfcontent/Canada14Report2_jsf_1.pdf).
- [12] Eco-Entreprises Québec and RECYC-QUEBEC. Caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel 2012-2013. ISBN 978-2-923955-06-3 (PDF), 2015.

## Références

---

- [13] Chraïbi N. Contenants et emballages en plastique HDPE # 2 Collecte sélective. RECYC-QUÉBEC. Accédé 02 avril, 2017. Disponible au: [https://www.recycquebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/fiche-contenants\\_nemballagesplastique-hdpe2.pdf](https://www.recycquebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/fiche-contenants_nemballagesplastique-hdpe2.pdf).
- [14] Bourdial, Plastiques - des bouteilles recyclées en pull-overs, Science et Vie, no 925, octobre 1994, p. 108.
- [15] Joseph Martin, « Bannir les sacs plastiques pour améliorer la qualité de l'air » [archive], sur RSE Magazine, 7 mai 2019.
- [16] Gilles van Kote, « L'interdiction des sacs en plastique se mondialise » [archive], sur Le Monde, 3 janvier 2013.
- [17] « Pourquoi interdire les sacs en plastique? » [Archive], sur Migros.ch, 2009 (consulté le 31 octobre 2016).
- [18] Galgani, F., Burgeot, T., Bocquene, G., Vincent, F., Leaute, J.-P., Labastie, J., Forest, A. et Guichet, R., Distribution and abundance of debris on the continental shelf of the Bay of Biscay and in Seine Bay, Marine Pollution Bulletin, 1995, 30(1), 58-62 (résumé [archive
- [19] « Seabirds on B.C., Washington, Oregon coast eating bellyfuls of plastic: study » [archive], sur The Globe and Mail, 2012.
- [20] Best Available Techniques (BAT) Référence Document for Iron and Steel Production, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, 28 février 2012, 597 p. (lire en ligne [archive] [PDF]), p. 339-340 ; 344-345
- [21] Plastics Europe: Plastics-the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data. 2013.
- [22] Zhou C, Fang W, Xu W, and Cao A, Wang R: Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. J. Clean. Prod. 2014, 80: 80-86.
- [23] 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.
- [24] Badia JD, Stromberg E, Karlssonb S, Ribes-Greus A: The role of rystalline, mobile

## Références

---

amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET). *Polym. Degrad. Stab* 2012, 97: 98-107.

[25] Association of Plastics Manufactures in Europe (APME), Plastic recovery in perspective: plastics consumption and recovery in Western Europe 2004. [www.plasticeurope.org](http://www.plasticeurope.org)

[26] Subramanian MP: Plastics recycling and waste management in the US. *Resour. Conserv. Recycl.* 2000, 28:253-263.

[27] Aattache. A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS: Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar. *Materials & Design (1980-2015)* 2013, 52:459-469.

[28] Site web: [www.reflexe-sagex.ch/pages/avantages.html](http://www.reflexe-sagex.ch/pages/avantages.html)

[29] Site web: [www.kriegerdental.com/inconvenients-du-recyclage.html](http://www.kriegerdental.com/inconvenients-du-recyclage.html)

[30] Siddique. R., J. Khatib, I. Kaur, Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Manag.* 28 (10) (2008) 1835–1852.

[31] British Plastic Federation, Polymer Thermoplastics, <https://www.bpf.co.uk>,

[32] Almeshal.I , Bassam. A. Tayeh , Rayed Alyousef , Hisham Alabduljabbar c, Abdeliazim Mustafa Mohamed c, Abdulaziz Alaska2020. Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. *Construction and Building Materials journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat*

[33] E. Plastics Europe and E. EuPR, Plastics-the Facts 2019, An Anal. Eur. Latest Plast. Prod. Demand Waste Data, 2019.

[34] Independent Commodity Intelligence Services, Regulation risks less sustainable alternatives to plastic, (2020).

[35] Ozbakkaloglu .L. Gu, T, Use of recycled plastics in concrete: a critical review, *Waste Manag.* 51 (2016) 19–42.

[36] UNEP, Single-use plastics: A roadmap for sustainability. United Nations Environment Programme, (2018).

## Références

---

- [37] Latrouch .N, 2018-2019. Effet des agrégats à base de déchets plastiques sur les différentes propriétés des matériaux composites mortier-polymère ». Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- [38] Ohama Y: Polymer-based Admixtures. Cement and Concrete Composites 1998, 20: 189-212.
- [39] K.S.Rebeiz, A.P.Craft, 1995.plastic waste management in construction: technological and institutional issues. Resources, conservation and recycling 15,245-257.
- [40] Sharma. R, Bansal P.P. Use of different forms of waste plastic in concrete—a review, J. Cleaner. Prod. 112 (2016) 473–482.
- [41] Ismail. Z.Z, Al-Hashmi. E.A., Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, Waste Manage. 28 (11) (2008) 2041–2047
- [42] Gertsakis. J, H. Lewis, Sustainability and the waste management hierarchy, Retrieved on January, 30 (2003) 2008.
- [43] R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L. Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, Sci. Adv. 3 (7) (2017) e1700782.
- [44] Yarahmadi .N, I.Jakubowicz, T.Gevert, 2001.Effect of repeated extrusion on the properties and durability of rigid PVC scrap. Polymer Degradation and stability 73 (1), 93-99.
- [45] Ambrose .C.A, R.Hooper, A.K.Potter, M.M.Singh, 2002, Diversion from landfills: quality products from valuable plastics Resources, Conservation and Recycling 36 (4), 309–318.
- [46] A.F.Avila, M.V.Duarte, 2003.A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites. Polymer Degradation and Stability 80 (2), 373-382.
- [47] Yarahmadi. N, I.Jakubowicz, L.Martnsson, 2003.PVC floorings as post-consumer Products for mechanical recycling and energy recovery. Polymer Degradation and Stability 79(3), 439–448
- [48] M.M.da.S.Paula, F.B.B.M.Rodrigues, A.M. Bernardin, M.A.Fiori, E.Angioletto, 2005. Characterization of aluminized polyethylene blends via mechanical recycling. Material Science and Engineering 403 (1-2), 37–41.
- [49] Furlan, Vinicio; Bissegger, Paul, "Ancient mortars - history and approach to scientific examination" Date of Publication: 1975.

## Références

---

- [50] Labeled, S. (2017) Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base du sable de carrière, mémoire de master université Mohamed kheider biskra.
- [51] Dreux et Festa-J (1998) Nouveau guide du béton et de ses constituants - huitième édition Eyrolles. Paris
- [52] Cimbéton. (2005) Les constituants des bétons et des mortiers. Tome 1, chapitre 1. Paris. Disponible sur : <http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.pdf>
- [53] BELHOCINE AIDA -NAGOUDI NADJAT (2014) : Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux.
- [54] Barakat A. cour matériaux de carrière et de construction disponible sur : [www.fstbm.ac.ma/newfstv08/support/cours\\_matx.pdf](http://www.fstbm.ac.ma/newfstv08/support/cours_matx.pdf)
- [55] Touzouti K. (2012) Introduction aux nano ciments et nano béton, mémoire de magistère université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [56] Principe de la méthode Blaine  
<http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/calculators/blaine3/blaine3.htm>
- [57] AMOURI, C. (2009) Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité), 2009, Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine.
- [58] Miche Adam. (1985) Guide pratique pour l'emploi des ciments. Édition Eyrolles. Paris.
- [59] LAKHDARI Selma. (2015) effets des adjuvants fluidifiants sur les caractéristiques physico-mécaniques et rhéologiques des mortiers à base des sables des carrières.
- [60] HASNAOUI, I. (2016) Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécanique et rhéologiques des mortiers à base du sable de carrière.
- [61] GHOMARI. F. M. & Mme Bendi-ouis a (2008) science des matériaux de construction Travaux pratiques, Université Aboubekr Belkaid
- [62] BEDERINA. M (2000) « caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat.

## Références

---

- [63] SABLOCRETE (1994) « Béton de sable » Pressent de l'école nationale des ponts et Chaussées, Paris, France.
- [64] Bounedjema, Y. Evaluation des modifications mécaniques Et rhéologiques apportées par le sable de concassage aux mortiers et bétons. (2017)
- [65] Zitouni (1995) influence de la caractéristique des gravies sur la qualité de béton 1995.18z.
- [66] Taleb, K. Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des mortiers. mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou, (2016).
- [67] Collection technique cim-béton, «les bétons – constituants, mécanismes, propriétés à l'état frais et durci, comportements mécanique et dimensionnel » chapitre 3; Tome II., Ecole Française du Béton, pp : 13\_14
- [68] Ghernouti. Y,( 2015). Strength and Durability of Mortar Made with Plastics Bag Waste (MPBW).
- [69] Benazzouk A, Douzane O, Mezreb K, Quéneudec M: Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste. *Cem. Concr. Comp* 2006. 28
- [70] Senhadji Y, Escadeillas G, Benosman A, Mouli M, Khelafi H, Ould Kaci S: Effect of incorporating PVC waste as aggregate on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2015, 29(7):625-640
- [71] Kou S, Lee G, Poon C, Lai W: Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management* 2009, 29(2):621-628.
- [72] Benosman A, Taïbi H, Mouli M, Senhadji Y, Belbachir M, Bahlouli I, Houivet D: L'effet de l'ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux Composites Mortier-PET (Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials). *J Mater Environ Sci* 2015:559-571.
- [73] Yacine A, Ratiba MK, Abderrahmane G: Ceramic waste influence on dune sand mortar performance, *Construction and Building Materials* 2016, 125:703–713.
- [74] Binici H, Aksogan O, Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds, ground PVC and wood chips. *Journal of Building Engineering* 2016, 5:260–266.



## Références

---

- [75] Raut AN, Gomez CP: Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder. *Construction and Building Materials* 2016, 126:476-483.
- [76] Hannawi K, Kamali-Bernard S, Prince W: Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste management* 2010, 30(11):2312-2320.
- [77] 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.
- [78] Corinaldesi V, Mazzoli A, Moriconi G: Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. *Materials and Design* 2011, 32:1646–1650.
- [79] Badache A, Benosman AS, Senhadji Y, Mouli M: Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE). *Construction and Building Materials* 2018, 163:40-52.
- [80] 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.
- [81] 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.
- [82] Saikia N, Brito Jd: Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research* 2013, 16(2):341-350.
- [83] Kumar K, Prakash P: Use of waste plastic in cement concrete pavement. *Adv Mater Res J* 2006, 15:1-21.
- [84] Usahanunth N, TuprakayS: the transformation of waste Bakelite to replace natural fine aggregate in cement mortar. *Case Studies in Construction Materials* 2017, 6:120 –133.
- [85] Ismail ZZ, Al-Hashmi E: Validation of using mixed iron and plastic wastes in concrete. In: *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies Ancona: 2010; 2010: 393-403.*
- [86] Frigione M: Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management* 2010, 30(6):1101-1106.

## Références

---

- [87] Ferreira L, de Brito J, Saikia N: Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate. *Construction and Building Materials* 2012, 36:196-204.
- [88] Batayneh M, Marie I, Asi I: Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste management* 2007, 27(12):1870-1876.
- [89] Choi Y-W, Moon D-J, Chung J-S, Cho S-K: Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and concrete research* 2005, 35(4):776-781.
- [90] Haghghatnejad N, Mousavi SY, Khaleghi SJ, Tabarsa A, Yousefi S: Properties of recycled PVC aggregate concrete under different curing conditions. *Construction and Building Materials* 2016. 126: 943-950.
- [91] Azhdarpour AM, Nikoudel M, Taheri M, The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory coal; charcoal; carbonization; chemical activation; ad