

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N°d'enregistrement

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département de Hydraulique et Génie civil

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

**Master**

Domaine: Sciences et de la Technologie

Filière: Génie civil

Spécialité: Structures

Thème

**Etude de l'influence des attaques chimiques sur des mortiers à base de sable de dunes et déchets de plastique PET et brique**

Réalisé Par :

RECIQUI Hafsa

SIRADJ Chahra Zed

Déposé le : 19/06/2022

Devant le jury composé de :

Mr. AZIEZ Med Nadjib	M.C.B	Univ. Ghardaia	Examineur
Mr. SALHI Aimad	M.A.A	Univ. Ghardaia	Examineur
Mr. SAITI Issam	M.A.A	Univ. Ghardaia	Encadreur

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciements

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu accomplir ce modeste travail.

*N*ous remercions vivement mon encadreur Monsieur **SAITI Issam** pour accepter l'encadrement et pour son humilité et le dévouement.

*E*t nous adressons des remerciements particuliers à le respectable messieurs : **Prof. AZIEZ Med Nadjib** pour l'enseignements et l'indulgence.

*E*t aussi nous remercions sincèrement Le **Directeur AMIAR Abdel\_nasser** et tous les **travailleurs du laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD)** d'avoir leur guide et leur conseil dans ce travaille d'avoir surtout cru au sujet et leurs soutiens scientifiques accordés

Tout au long de ce travail. Qu'ils trouvent ici  
L'expression de notre profonde gratitude.

*N*ous remercions infiniment le responsable de laboratoire notre département à l'université de **GHARDAIA Monsieur Bouzid Ismail.**

*N*ous tient à remercier le cadre administratif du département Génie civil et de la faculté des Sciences et de la Technologie.

Enfin je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail

**Dédicaces**

**Je dédie ce travail**

**A mes très chers parents qui m'a soutenue durant mes études et ne m'a jamais privée de leurs  
amours,**

**de leurs attentions et de ses encouragements,**

**A mes chères soeurs et mes chers frères**

**A mon binôme Chahra**

**A mes amies et mes collègues en Master 2 et à tous ceux qui m'ont aidé**

**Hafsa**

---

**Dédicaces**

**Je dédie ce travail**

**A mes très chers parents qui m'a inconditionnellement soutenu durant mon parcours  
universitaire**

**A mes chers soeurs et leur et frères**

**A mes très chères tantes, les filles de mes cousins et de mes tantes**

**A les maris de mes sœurs**

**A mon binôme Hafsa**

**A mes amies et Mes collègues en Master 2**

**Ceux qui m'ont aidé et à tous**

**Chahrazad**

# **Sommaire**

# Sommaire

---

<b>SOMMAIRE</b> .....	
<b>RESUME</b> .....	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1<sup>ER</sup> PARTIE : GENERALITE SUR LES MORTIERS</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>2</b>
<b>1.DEFINITION</b> .....	<b>2</b>
<b>2.DIFFERENTS TYPES DES MORTIERS</b> .....	<b>2</b>
2. 1. CLASSIFICATIONDES MORTIERS .....	3
2. 2. COMPOSITION DU MORTIER .....	4
2. 3. LE ROLE D'UTILISATION DE MORTIER .....	6
2. 4. PREPARATION D'UN MORTIER .....	6
2. 5. CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES DES MORTIERS.....	7
<b>3.RETRAIT</b> .....	<b>7</b>
3. 1. DEFINITION .....	7
3. 2. LES DEFERENTS TYPES DE RETRAIT .....	7
3. 3. MESURE DE RETRAIT DE BETON.....	9
<b>2<sup>EME</sup> PARTIE : DURABILITE DE BETON ET MORTIER</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>12</b>
<b>1.DURABILITE ET ECONOMIE</b> .....	<b>12</b>
1. 1. BETON DURABLE ET BETON RESISTANT .....	12
1. 2. LE GEL.....	12
1. 3. PERMEABILITE A L'EAU DU BETON .....	13
1. 4. PREMABILITE A L'AIR ET A LA VAPEUR DU BETON .....	13
1. 5. LES ATTAQUES CHIMIQUES DU BETON .....	14
<b>2.LES ATTAQUE SULFATIQUES</b> .....	<b>14</b>
2. 1. DEFINITION DE L'ATTAQUE SULFATIQUES .....	14
2. 2. SOURCES DES SULFATES .....	15
2. 3. MECANISMES D'ATTAQUES .....	17
<b>3.ATTAQUE PAR LES IONS CHLORURES</b> .....	<b>17</b>
3. 1. DEFINITION DE L'ATTAQUE PAR LES IONS CHLORURES .....	17
3. 2. SOURCE DE L'ATTAQUE DES IONS CHLORES.....	18

## Sommaire

---

<b>4.L'ALCALI-REACTION .....</b>	<b>18</b>
4. 1. DEFINITION DE : L'ALCALI-REACTION .....	18
4. 2. SOURCE DE CETTE ATTAQUE .....	18
<b>5.ATTAQUE PAR LES ACIDES.....</b>	<b>19</b>
5. 1. DEFINITION ATTAQUE PAR LES ACIDES .....	19
5. 2. ACIDE FORT ET ACIDE FAIBLE.....	20
<b>3<sup>EME</sup> PARTIE : VALORISATION DE SABLE DE DUNE .....</b>	<b>21</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>21</b>
<b>1.DEFINITION .....</b>	<b>21</b>
1. 1. QU'EST-CE QU'UNE DUNE ? .....	21
1. 2. NATURE DE SABLE DE DUNE .....	22
1. 3. TYPES DES DUNES.....	22
1. 4. TYPE COMPLEXE.....	22
1. 5. LES FORMES DE SABLE DE DUNE.....	23
1. 6. PHYSIQUE DES DUNES.....	23
1. 7. INTERET DE SABLE DE DUNE .....	24
1. 8. LES DIFFERENTS MILIEUX DE LA DUNE .....	25
<b>2.DIVERSES UTILISATIONS.....</b>	<b>28</b>
<b>3.Criteres D'acceptabilite Des Sables Pour Leur Emploi En Construction .....</b>	<b>28</b>
<b>4EME PARTIE : VALORISATION RT RECYCLAGE DES DECHETS.....</b>	<b>29</b>
<b>INTRODUCTION : .....</b>	<b>29</b>
<b>1.GENERALITE SUR LES DECHETS .....</b>	<b>29</b>
1. 1. DEFIFNITION DU DECHETS .....	29
1. 2. DIFFERENTS TYPES DE DECHETS .....	30
<b>2.LES IMPACTS DES DECHETS SUR L'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>31</b>
2. 1. L'IMPACT SUR LA POLLUTIONDU L'AIR.....	31
2. 2. L'IMPACT SUR LA POLLUTION DU SOL .....	31
2. 3. L'IMPACT SUR LA POLLUTION DU L'EAU.....	31
<b>3.GESTION DES DECHETS .....</b>	<b>31</b>
3. 1. PRINCIPES DE GESTION DES DECHETS .....	31
3. 2. LES DECHETS DE CHANTIER .....	31
3. 3. VALORISATION DES DECHETS .....	32

## Sommaire

---

<b>4.LES DECHETS EN ALGERIE.....</b>	<b>32</b>
4. 1. DEFINITION : .....	33
4. 2. PRINCIPES DU RECYCLAGE .....	33
4. 3. TECHNIQUES DE RECYCLAGE.....	33
4. 4. LA CHAINE DU RECYCLAGE .....	34
4. 5. IMPACTS DU RECYCLAGE SUR L'ENVIRONNEMENT .....	34
<b>5.GENERALITE SUR LES DECHETS PLASTIQUE PET .....</b>	<b>35</b>
5. 1. DEFINITION DE PLASTIQUE .....	35
5. 2. DEFINITION DE PET .....	35
5. 3. LES TECHNIQUES DE RECYCLAGE DU PET .....	36
5. 4. LES TYPES DE PLASTIQUE PET .....	38
5. 5. MASSE SPECIFIQUE.....	40
<b>6.PROPRIETES THERMIQUES ET ELECTRIQUES .....</b>	<b>40</b>
6. 1. RESISTANCE AU FEU .....	40
6. 2. COMPORTEMENT MECANIQUE .....	40
6. 3. RESISTANCE AUX AGENTS CHIMIQUES ET AUX INTEMPERIES .....	41
6. 4. LA DENSITE .....	41
6. 5. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU PET : .....	42
6. 6. PROPRIETES MECANQUES ET THERMIQUES DU PET .....	42
<b>7.GENERALITE SUR LES DECHETS DE BRIQUE.....</b>	<b>43</b>
7. 1. DECHETS DE BRIQUE .....	43
7. 2. DEFINITION DE BRIQUE.....	43
7. 3. TYPE DE BRIQUE.....	43
7. 4. PROCEDES DE FABRICATION DE LA BRIQUE.....	44
7. 5. LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA BRIQUE .....	47
7. 6. VALORISATION DES DECHETS DE LA BRIQUE .....	47
7. 7. LE DECHET DE BRIQUE ROUGE DANS LE BETON .....	48
7. 8. PROPRIETES DES BETONS DES DECHETS DE BRIQUE : .....	49
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>50</b>
<b>CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX</b>	
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>52</b>
<b>1.CARACTERISATION DES MATIERES UTILISEES.....</b>	<b>52</b>
<b>1. 1. LE SABLE :.....</b>	<b>52</b>
1. 2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE NF P18-560.....	52

## Sommaire

---

1. 3. MODULE DE FINESSE [NF EN 12620].....	52
1. 4. EQUIVALENT DE SABLE .....	54
1. 5. MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE : .....	56
1. 6. ANALYSE CHIMIQUE DE SABLE DE DUNE [ENP15 – 461] : .....	56
1. 7. ESSAI DE VALEUR DE BLUE BLEU METHYLENE NF P 94 – 068 NOVEMBRE 1993 : .....	56
<b>2.DECHET DE BRIQUE .....</b>	<b>57</b>
2. 1. LA METHODE UTILISEE DE RECYCLAGE LE DECHET DE BRIQUE.....	57
2. 2. MASSE VOLUMIQUE DE DECHETS DE BRIQUE .....	62
2. 3. ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE NF P 94-056.....	62
2. 4. ESSAI SEDIMENTOETRIQUE NFP 94-057.....	62
2. 5. ANALYSE CHIMIQUE DE BRIQUE : .....	63
<b>3.DECHET DE PLASTIQUE PET : .....</b>	<b>64</b>
3. 1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DE PET : .....	64
3. 2. CIMENT : .....	65
3. 3. EAU DE GACHAGE : .....	65
<b>CONCLUSION : .....</b>	<b>66</b>
<b>CHAPITRE III : DISCUSSION LES RESULTATS EXPERIMENTAUX</b>	
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>68</b>
<b>1.DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU MORTIER.....</b>	<b>68</b>
<b>2.LES COMPOSITIONS ETUDIEES DANS CETTE ETUDE.....</b>	<b>68</b>
2. 1. COMPOSITION DU MORTIER TMOIN .....	68
2. 2. COMPOSITION DU MORTIER DE DECHET DE BRIQUE .....	68
2. 3. COMPOSITION DU MORTIER DE DECHET DE PLASTIQUE PET .....	69
2. 4. COMPOSITION DU MORTIER DE DECHET DE BRIQUE ET DECHET DE PLASTIQUE PET .....	69
<b>3.MODE DE PREPARATION DES ECHANTILLONS .....</b>	<b>70</b>
3. 1. CONFECTIONS DES MORTIERS .....	70
3. 2. PREPARATION DE LA GACHEE .....	70
3. 3. LE MALAXAGE.....	70
3. 4. MOULAGE DES EPROUVETTES.....	71
3. 5. DEMOULAGE DES EPROUVETTES .....	72
<b>4.ESSAIS EXPERIMENTAUX EFFECTUES .....</b>	<b>72</b>
4. 1. VARIATIONS DIMENSIONELLES .....	72
4. 2. LES MILIEUX AGRESSIFS .....	73
4. 3. PREPARATION DES ATTAQUES CHIMIQUES .....	73

## Sommaire

---

4. 4. ESSAI SUR LES MORTIERS .....	76
4. 5. VARIATIONS DIMENSIONELLES .....	77
4. 6. ESSAI DE LA PERTE DE MASSE.....	77
<b>5.LES RESULTATS .....</b>	<b>77</b>
5. 1. VARIATIONS DIMENSIONELLES .....	77
<b>6.ATTAQUE CHIMIQUE .....</b>	<b>79</b>
6. 1. PERT DE MASSE D'EAU (TEMOIN).....	79
6. 2. PERT DE MASSE D'ACIDE SULFATIQUE 5 %H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	80
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>85</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>85</b>

## Lists des figures

Figure I. 1: Les compositions du mortier classique .....	2
Figure I. 2: Mesure du retrait sur une éprouvette de béton à l'aide d'un rétractomètre .....	9
Figure I. 3: Moule de retrait de mortier 40 x 40 x 160 mm .....	10
Figure I. 4: Le mécanisme de dégradation par le gel .....	13
Figure I. 5: Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate .....	15
Figure I. 6: L'origine des sulfates (interne ou externe) .....	16
Figure I. 7: L'attaque par les sulfates .....	17
Figure I. 8: Action due aux acides .....	19
Figure I. 9: Sable de dune .....	21
Figure I. 10: La barkhane.....	23
Figure I. 11: Morphologie de la barkhane .....	24
Figure I. 12: Sable de dune noire .....	25
Figure I. 13: Sable de dune blanche.....	25
Figure I. 14: Sable de dune verte .....	26
Figure I. 15: Sable de dune grise .....	27
Figure I. 16: Sable de dune brune .....	27
Figure I. 17: La composition chimique de PET.....	35
Figure I. 18: La collecte des déchets plastiques.....	36
Figure I. 19: Le tri manuel des déchets plastiques.....	37
Figure I. 20: La machine de broyage, lavage et séchage des déchets plastiques.....	37
Figure I. 21: Le filtrage des déchets plastiques .....	38
Figure I. 22: La granulation des déchets plastiques.....	38
Figure I. 23: PET agrégats fins .....	39
Figure I. 24: PET agrégats grossiers .....	39
Figure I. 25: Procédé général de fabrication de la brique.....	46
Figure II. 1: Sable de dune utilisée .....	52
Figure II. 2: Les tamis que nous utilise dans cette essai .....	53
Figure II. 3: Courbe granulométrique de sable de dune utilise.....	54
Figure II. 4: Essai d'équivalent de sable de dune utilise .....	55
Figure II. 5: Auréoles bleues sur papier filtre (taches). .....	57
Figure II. 6: Déchets de briques.....	58
Figure II. 7: Machine concassage .....	58
Figure II. 8: Machine de los Angeles.....	59

## Sommaire

---

Figure II. 9: Les granules des briques que nous avons obtenus.....	59
Figure II. 10: Tamisage de Les granules des briques que nous avons obtenus .....	60
Figure II. 11: Granulés de brique dans le Moule de la machine .....	60
Figure II. 12: Machine micro-Duval .....	61
Figure II. 13: Le déchet brique utilisée .....	61
Figure II. 14: L'essai sédimentométrie .....	62
Figure II. 15: Courbe de sédimentométrie de déchet de brique utilisée. ....	63
Figure II. 16: Essai d'analyse chimique de sable de dune et déchet de brique.....	63
Figure II. 17: Déchet plastique PET utilisée.....	64
Figure II. 18: Essai de masse volumique apparent de PET .....	64
Figure II. 19: Ciment utilisée CEM I/42.5 .....	65
Figure III. 1: Malaxeur normalisé pour pâte et mortier (Labo-LTPS).....	71
Figure III. 2: Appareil à chocs. ....	71
Figure III. 3: Moule normalisé de 40x40x160 mm.....	72
Figure III. 4: Conservation des éprouvettes dans la chambre l'humidité.....	72
Figure III. 5: Pied colleuse utilisée .....	73
Figure III. 6: Mesure de dimension des eprouvettes par pied colleuse .....	73
Figure III. 7: Les eprouvettes dans l'eau H2O témoin .....	74
Figure III. 8: Les éprouvettes un jour dans 5% acide H2SO4 .....	74
Figure III. 9: Les eprouvettes apres 8 jours dans 5% acide H2SO4 .....	74
Figure III. 10: Les eprouvettes après netoyege (8 jourd dans l'acide H2SO4 ) .....	75
Figure III. 11: Les eprouvettes après 22 jours dans acide H2SO4 .....	75
Figure III. 12: Les eprouvettes netoyee après 22 jours .....	75
Figure III. 13: Les eprouvettes après 29 jours dans H2SO4.....	76
Figure III. 14: Les eprouvettes on 29 jours netoyee .....	76
Figure III. 15: Variation dimensionelle des éprouvettes.....	77
Figure III. 16: Variation dimensionelle des éprouvettes.....	78
Figure III. 17: Variation dimensionelle des éprouvettes.....	78
Figure III. 18: Perte de masse des eprouvettes d'eau H2O.....	79
Figure III. 19: Perte de masse des eprouvettes d'eau H2O.....	79
Figure III. 20: Perte de masse des eprouvettes d'eau H2O.....	80
Figure III. 21: Perte de masse des éprouvettes de 5% .....	80
Figure III. 22: Perte de masse des éprouvettes de 5% .....	81
Figure III. 23: Perte de masse des éprouvettes de 5% .....	81

## Sommaire

---

Figure III. 24: Perte de masse des éprouvettes de 5% .....	82
Figure III. 25: Perte de masse des éprouvettes de 5% .....	82

### Liste des tableaux

Tableau I. 1: Certain propriété des matières plastiques PET [34] .....	42
Tableau I. 2: Propriétés mécaniques et thermiques des PET [32] .....	42
Tableau I. 3: Composition minéralogique de déchets de briques [37] .....	47
Tableau II. 1: Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires .....	53
Tableau II. 2: Nature et qualité du sable. ....	55
Tableau II. 3: Résulta d'essai Equivalent de sable .....	55
Tableau II. 4: Masse volumique absolue et apparente des sables utilises .....	56
Tableau II. 5: Analyse chimique de Sable de d une.....	56
Tableau II. 6: Valeur du bleu de méthylène.....	57
Tableau II. 7: Caractéristiques physiques du déchet de brique.....	62
Tableau II. 8: Analyse chimique de déchet de brique.....	63
Tableau II. 9: La masse volumique apparente de PET .....	64
Tableau II. 10: Composition chimique de l'eau de gâchage .....	65
Tableau III. 1: La composition du mortier de témoin.....	68
Tableau III. 2: Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de brique. ....	68
Tableau III. 3: Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de plastique PET.....	69
Tableau III. 4: Compositions des mortiers pour 5% de déchet de brique.....	69
Tableau III. 5: Compositions des mortiers pour 10% de déchet de brique.....	69
Tableau III. 6: Concentration des solutions. ....	73

## Liste Des Abréviations

---

### Liste Des Abréviations

**PET** : Polyéthylène Téréphtalate.

**B** : Déchets de brique

**%** : Pourcent

**ES** : Equivalent de Sable

**ESV**: Equivalent de Sable au visuel.

**ESP** : Equivalent de Sable au piston.

**M** : Masse du matériau.

**V** : Volume du matériau.

**MF** : Module de finesse.

$\rho$  app : Masse volumique apparente.

$\rho$  abs: Masse volumique absolue.

**g/cm<sup>3</sup>** : Gramme centimètre cube

**VBS** : Valeur bleu sole

**VD** : Variations des dimensionnelles

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

**SO<sub>3</sub>** : Sulfate

**SO<sub>4</sub>** : Sulfate

**PH** : Potentiel hydrogène

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide de sulfurique

**H<sub>2</sub>O** : Eau

## **Résumé**

## Résumé

### Résumé

Cette étude vise à la valorisation des matériaux locaux en Algérie, à savoir les dunes de sable où ce dernier se trouve en grande quantité dans le désert de notre pays et la réutilisation des déchets industriels (déchets de plastique PET et déchets de brique) après les avoir recyclés pour produire des matériaux de constructions avancés répondant aux exigences économiques et environnementales. Le principe de notre étude repose sur le remplacement partiel de dune de sable par des déchets plastique PET recyclés dans différentes proportions 5%, 10%, 15% et 20% et le remplacement du ciment par des déchets de brique dans les proportions 5% et 10% dans le mortier et étude de la durabilité de ce composé obtenu en solution d'acide sulfurique. Les résultats ont montré que l'utilisation de déchets de brique dans le mortier donne une bonne durabilité vis-à-vis de la solution d'acide sulfurique, ainsi que les pourcentages de déchets de plastique.

**Mots clés:** sable de dune, déchets, mortier, recyclage, durabilité, acide sulfurique

### ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تجميع المواد المحلية في الجزائر وهي الكثبان الرملية حيث توجد الأخيرة بكميات كبيرة في صحراء بلادنا وإعادة استخدام النفايات الصناعية (نفايات البلاستيك ومخلفات الطوب) بعد إعادة تدويرها. لإنتاج مواد بناء متطورة تلبي المتطلبات الاقتصادية والبيئية. يعتمد مبدأ دراستنا على الاستبدال الجزئي للكثبان الرملية بنفايات البلاستيك المعاد تدويرها بنسب مختلفة 5% و 10% و 15% و 20% واستبدال الأسمنت بنفايات الطوب بنسب 5% و 10% في العينة ودراسة متانة هذا المركب المتحصل عليه في محلول حامض الكبريتيك، وأظهرت النتائج أن استخدام مخلفات الطوب في الملاط يعطي متانة جيدة فيما يتعلق بمحلول حامض الكبريتيك وكذلك نسبة النفايات البلاستيكية.

**الكلمات المفتاحية:** رمل الكثبان، مخلفات، الملاط، رسكلة، متانة، حمض الكبريت.

### ABSTRACT

This study aims at the valorization of local materials in Algeria, namely the sand dunes, where the latter is found in large quantities in the desert of our country and the reuse of industrial waste (PET plastic waste and brick waste) after have them recycled. to produce advanced building materials that meet economic and environmental requirements. the principle of our study is based on the partial replacement of sand dune by recycled PET plastic waste in different proportions 5%, 10%, 15% and 20% and the replacement of cement by brick waste in the proportions 5% and 10% in the mortar and study of the durability of this compound obtained in sulfuric acid solution. The results showed that the use of brick waste in the mortar gives good durability with respect to the solution of sulfuric acid, as well as the proportion of plastic waste.

**Key words:** dune sand, waste, mortar, recycling, durability, sulfuric acid.

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

---

Les matériaux de constructions se font de plus en plus rares. Ceci est dû aux nombreux facteurs, entre autre: socio économique et spatio-temporels. Pour cela, il s'avère nécessaire de valoriser les matériaux locaux au cout accessible. Ainsi, est-il pressant et judicieux de penser au sable de dunes dont les ressources sont énormes dans les zones sahariennes. De part son importance dans la composition des bétons et mortiers, le sable naturel, notamment le sable de rivière a subit une surexploitation irrationnelle. Celle-ci a eu un impact environnemental considérable en causant de graves problèmes au domaine public hydraulique naturel. Afin de préserver ce domaine et permettre le libre écoulement des eaux superficielles des oueds, assurer la stabilité des berges et asseoir la préservation des nappes alluviales ; le gouvernement Algérien a préconisé et établi une loi qui restreint l'utilisation des sables des oueds et le sable de mer (article 14 de la loi d'aout 2005). L'idée de promouvoir la technologie et l'utilisation du béton de sable de dunes dans les pays arabes est née de plusieurs constatations:-abondance de la matière première: Le sable dunaire est un matériau trèsbondant, on le trouve dans de nombreux pays arabes en quantité quasi-inépuisable. En Algérie par exemple, il couvre environ 60% du territoire et certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction.

Le recyclage des matériaux inertes de bâtiment aujourd'hui considéré comme une solution d'avenir, il permet non seulement de répondre au déficit de production, mais aussi de mieux protéger l'environnement .

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisé dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre ou, fibres . 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 PET et le déchet de brique

L'objectif de ce travail consiste à étudier la durabilité de mortier à base de sable de dunes contenant différents de porucentages de dechets de plastique PET de 5 % 10% ,15% et 20% de la quantité de sable et le ciment contenant différents de porucentages de dechets de brique de 5 % et 10% de la quantité ciment exposé a attaque chimique

# Introduction Générale

---

## Plan de travail:

Cette présente étude comprend trois principaux chapitres:

- **Le Premier chapitre** : est consacré à des généralités sur les mortier , durabilité de mortier et béton suivie valorisation de sable de dune et valorisation et recyclage de déchets.
- **Le deuxième chapitre** : constitue une caractérisation des matériaux utilisés
- **Le troisième chapitre** : est une discussion des résultats expérimentaux

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

# **Chapitre I : Synthèse Bibliographique**

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

## Introduction

Depuis quelques années nous remarquons , que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets de nombreux pays cherchent des alternatives pour pallier à ce problème. ce qui a poussé les ingénieurs réutiliser ces déchets dans le domaine de construction et de génie civil .

Parmi les matériaux de construction les plus importants récemment découverts, les sables du désert algérien, car il est riche de tout ce dont vous avez besoin dans le domaine de la construction

Dans ce chapitre, nous allons faire la valorisation des déchets et sable de dune dans le domaine du construction et Génie Civil dans le but de proposer une méthode novatrice de formulation de béton et le mortier à base de matériaux alternatifs. ce chapitre est divisé en quatre parties suivint :

**1<sup>er</sup> parties** : generalite sur les mortier ( les type,clasifications , preparation de mortier ...etc)

**2<sup>ème</sup> partie**: durabilite de beton et mortier

**3<sup>ème</sup> partie** : valorisation de sable de dune

**4<sup>ème</sup> partie** : valorisation et recycleges de dechets( generalite sur les dechets , recyclage de dechets ,dechets de plastique PET et dechets de brique ).

## 1er partie : GENERALITE SUR LES MORTIERS

### Introduction

Le mortier est un matériau composite, obtenu par mélange homogène d'une matière inerte (sable) avec une matière active (liant), le tout gâché avec certaine quantité d'eau. Le mortier pouvant satisfaire à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Toutefois, il n'existe pas de mortier universel, convenant à toutes les situations. Le Concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés [1].

Le concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés.

### 1. Définition

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.

Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)... ou à exécuter des revêtements et des enduits de façade. [1]

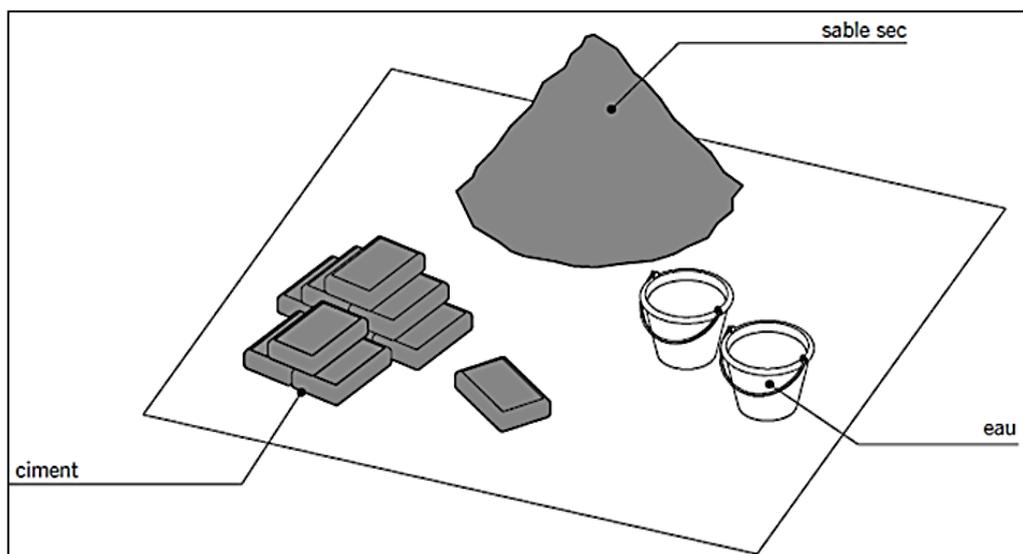


Figure I. 1: Les compositions du mortier classique

### 2. Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en :

a) **Les mortiers de ciment:** Les mortiers de ciments très résistants, il présente une meilleure résistance à la compression et sa prise est plus rapide. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [2]

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

**b) Les mortiers de chaux:** Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciments [2]

**c) Les mortiers bâtards:** Le mortier bâtard est composé de ciment et de chaux aérienne ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Plus élastique et plus facile à mettre en oeuvre que le mortier de ciment pur. Son retrait est en outre moins marqué. Le temps de durcissement relativement long, surtout en cas de menace de gel [2]

**d) Mortier rapide:** Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [2]

**e) Mortier réfractaire:** Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues ... [2]

**f) Mortier industriel:** 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 mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en oeuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement. Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ...
- Mortier de réparation. [2]

## 2. 1. Classification des mortiers

**1- Selon leur domaine d'utilisation:** Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres. [2]

**2- Selon la nature du liant:** On peut classer les mortiers selon la nature du liant

**3- Mortier de ciment portland:** Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [2]

**4- Mortier de chaux:** C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [2]

**5- Mortiers bâtards:** Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées.

**6- Mortier à base de ciment de maçonnerie:** C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants [2]

## 2. 2. Composition du mortier

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

Les mortiers sont constitués par des mélanges de: [3]

- Liant (ciment ou chaux).
- Eau.
- Sable.
- Adjuvants.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

Étudions séparément chacun des composants :

a) **Le sable** : Un sable est convenable lorsque la grosseur des grains est comprise entre 0,5 et 2 mm ; Cependant pour des travaux de limousinerie on emploie souvent des sables tamisés avec des mailles de 5 à 6 mm ; pour des travaux de briquetage ou d'enduits, le sable est plus fin. Le rôle du sable dans un mortier est :

- d'abaisser le prix de revient du mortier.
- de diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien).
- d'en diminuer le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible que le retrait se trouve amoindri. [4]

b) **Le liant** : Quel qu'il soit, le liant employé doit être de bonne qualité. Son choix pour la confection d'un mortier est très important, il ne faut pas employer n'importe quel liant pour n'importe quel travail.

Mais qu'il s'agit de chaux ou de ciment, on doit rejeter son emploi s'il est éventé c'est à dire stocké depuis trop longtemps, il faut encore rejeter tous ceux qui par l'humidité forment des mottes. Celles-ci sont le résultat d'un début de prise qui jouera le rôle très néfaste dans le comportement futur du mortier [4].

c) **L'eau** : Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance, son rôle est primordiale puisqu'il consiste à provoquer la prise du liant mélangé au sable.

**Qualités** : Elle doit être aussi pure que possible. On peut employer sans danger l'eau potable. De toutes façons, elle ne doit pas contenir de matières organiques ou terreuses, ni de déchets industriels de toutes natures (rejeter les eaux acides, les eaux séléniteuses contenant du plâtre, les eaux croupissantes). Les avis différents sur l'emploi de l'eau de mer, elle est à éviter s'il s'agit de liant à forte teneur en chaux libre. Par contre, certains liants résistent bien aux eaux de mer tels que les ciments à base de laitier, ciments alumineux, ciments sur sulfatés et ciments siliceux [4]

**Quantité** : La quantité d'eau de gâchage est variable elle dépend :

- Du travail à exécuter.
- Du dosage du mortier.
- De la nature du mortier mise en oeuvre.
- De la température ambiante et des matériaux.
- De la granulométrie du sable employé et de son degré d'humidité.

Il n'est pas possible de déterminer avec exactitude la quantité d'eau nécessaire à la fabrication d'un mortier, il ne faut pas dépasser la quantité nécessaire à l'obtention d'une pâte plastique après un bon malaxage.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

L'excès d'eau est toujours nuisible, il diminue la résistance finale du mortier. Dans le cas d'emploi d'un mortier mou, il convient d'augmenter le dosage pour obtenir la même résistance, sauf pour les ciments alumineux pour lesquels cet excès est moins nuisible.

Les mortiers de chaux demandent en général plus d'eau que les mortiers de ciment de même les mortiers composés de sable fin exigent plus d'eau que ceux composés de sable moyen ou gras.

### 2. 3. Le rôle d'utilisation de mortier

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels : [3]

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Être le constituant essentiel du béton.

### 2. 4. Préparation d'un mortier

Dans une auge, un bac de gâchage ou une bétonnière, il faut mélanger de façon homogène et à sec, les matériaux solides (le mélange est moins efficace si les agrégats ne sont pas secs). Puis, il faut ajouter de l'eau propre et mélanger soigneusement. Cette opération s'appelle le gâchage. L'apport excessif d'eau augmente la fluidité du mortier mais nuit gravement à la dureté du mortier final. Moins il y aura d'eau superflue et meilleur sera le mortier fini. Le mortier doit être employé dès qu'il est gâché. Le mortier a fait prise lorsqu'il ne peut plus être déformé sous la pression du pouce. Le ré-gâchage d'un mortier qui a commencé à prendre est très mauvais: le résultat final est déplorable. [4]

Le mortier est une matière plastique qui fait sa prise progressivement selon l'hygrométrie ambiante et les types de mortier ; il est décorable au bout de quelques jours et atteint 90 % de sa solidité au bout de 21 jours sans adjuvant. Dans la construction moderne, l'emploi d'accélérateur de prise est systématique afin d'augmenter la « rotation » des coffrages métalliques modulaires (24 heures après le coulage). L'ajout d'adjuvant plastique augmente la plasticité et la facilité de mise en œuvre du mortier frais. L'ajout d'adjuvant hydrofuge rend le mortier fini imperméable. Pour supprimer les poches d'air prisonnier lors du coulage, le mortier est vibré à l'aide d'aiguilles vibrantes haute fréquence (pour le bricoleur on peut utiliser une perceuse à percussion sur le coffrage) ; un vibration trop important détruit le mortier en séparant trop franchement les composants (sable au fond, ciment au milieu et eau en surface) [4]

## 2. 5. Caractéristiques et propriétés des mortiers

**L'adhérence au matériau mis en œuvre :** Un mortier maigre est beaucoup moins adhérent qu'un mortier moyen ou gras, il est facile de s'en rendre compte à la seule vue du mortier celui-ci n'a aucun pouvoir adhérent si les grains de sable ne sont pas enveloppés de liant [4]

Il n'est donc pas possible d'obtenir avec un mortier maigre le monolithisme qui caractérise une bonne maçonnerie. Pour obtenir une parfaite adhérence il convient d'employer un mortier ferme avec des matériaux humides.

**Imperméabilité:** Elle est fonction du liant employé et du dosage. Un mortier contenant moins de liant qu'il ne convient pour remplir des vides du sable ne peut pas être imperméable en raison de son parasite. Par contre un mortier trop riche se rétracte et se fissure laissant de cette façon passer le fluide.

L'imperméabilité d'un mortier dépend donc de la capacité du sable employé et du dosage du liant, il est parfois nécessaire d'adjoindre des produits imperméabilisants appelés hydrofuges [4].

## 3. Retrait

### 3. 1. Définition

Le retrait du béton correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise du béton. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par un ferrailage approprié et par des joints, ces variations dimensionnelles engendrent l'apparition de fissures. Les fissures dues au retrait ne doivent pas être confondues avec les fissures liées à la fonctionnalité des ouvrages [5].

### 3. 2. Les différents types de retrait

**a- Le retrait de séchage :** (encore appelé retrait de dessiccation) : c'est le plus connu. Il se développe dans le béton au cours de son durcissement, pendant les premiers mois. Il est plus important en surface que dans la masse du béton. C'est un retrait du béton durci causé par l'évaporation de l'eau contenue dans la porosité du béton, à partir des surfaces libres soumise à l'air ambiant ayant un degré d'humidité inférieur à celui du béton. Ce processus de séchage génère une diminution de volume du béton. La perte d'eau est progressive et décroissante au cours du temps.

Les facteurs qui influencent l'amplitude de la perte d'eau, et donc le retrait de séchage, sont la porosité du béton, le degré hygrométrique de l'air ambiant, et le rapport surface exposée à l'air/volume de l'élément.

D'un point de vue pratique, ce n'est pas tant le retrait de séchage qui est important, mais plutôt la fissuration qu'il peut provoquer. Le mécanisme de fissuration est le suivant : le retrait de séchage commence toujours à se développer au niveau de la surface du béton exposée à l'air sec.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

Les forces de tension, qui apparaissent alors près de la surface, sont équilibrées par des forces de compression intérieures au béton. Des fissures s'ouvrent dès lors que les efforts de tensions dépassent la résistance à la tension du béton. Ces efforts de tension étant libérés chaque fois que la partie extérieure du béton se fissure [5].

**b- Le retrait plastique :** il est dû à un départ rapide d'une partie de l'eau de gâchage du béton par évaporation, alors qu'il est encore à l'état plastique et donc déformable. Ce retrait particulier de séchage a lieu pendant un temps limité, avant et pendant la prise. La contraction apparaît une fois que le béton a été mis en place, et que la surface libre est soumise au séchage. Le retrait plastique est piloté par la vitesse de séchage. L'ordre de grandeur du retrait plastique des bétons est de 1mm/m dans des conditions courantes et peut atteindre plusieurs mm/m lorsque les conditions sont défavorables.

Les facteurs favorisant le retrait plastique sont :

- Une température extérieure élevée.
- Un air sec.
- Du vent (ou des courants d'air en intérieur).
- Un excès d'eau dans le béton.
- Un temps de prise long (ciment lent ou béton trop retardé).
- Un ouvrage présentant une grande surface libre par rapport au volume de béton (ex : dalle de faible épaisseur) [5].

**c- Le retrait endogène :** (encore appelé retrait d'autodessiccation, ou retrait chimique d'hydratation du ciment) : il se produit dans le béton en cours de durcissement par suite du développement des réactions chimiques entre le ciment et l'eau. Ces réactions sont appelées réactions d'hydratation car en présence d'eau, les constituants du ciment donnent naissance à de nouveaux constituants hydratés qui apparaissent sous forme de micro-cristaux ayant l'aspect d'aiguilles dont le développement et l'enchevêtrement provoquent la prise et le durcissement progressif du ciment. La consommation d'eau résultant de l'hydratation du ciment conduit à une contraction du béton. Ce retrait est un phénomène normal, inévitable, inhérent à la nature même du ciment. Il est irréversible et continue d'augmenter pendant plusieurs mois tant que l'hydratation du ciment se prolonge. Son intensité est proportionnelle au dosage en ciment. Il varie entre 300 et 800  $\mu\text{m}/\text{m}$  selon la formulation. Lorsqu'il est empêché, ce retrait peut provoquer des fissures [5].

**d- Le retrait thermique :** il est lié au retour à température ambiante du béton après sa prise. Les réactions chimiques d'hydratation du ciment, qui sont très intenses au moment de la prise du ciment, sont toujours accompagnées d'un important dégagement de chaleur (réaction chimique exothermique). Après la prise, l'intensité des réactions d'hydratation décroît si bien que la

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

température du béton diminue progressivement pour revenir à une température ambiante. Ce retour à température ambiante est accompagné d'une contraction thermique qui génère des déformations empêchées au sein de l'élément en béton. Ces déformations empêchées peuvent conduire à l'apparition de fissures [5].

### 3. 3. Mesure de retrait de béton

Le retrait du béton est mesuré conformément à la **norme NF P 18-427**. L'essai consiste à mesurer la variation de la longueur entre deux faces opposées d'**épreuves prismatiques de béton durci** équipées de plots. Les éprouvettes prismatiques sont de dimensions **7x7x28cm** ou **10x10x40cm**.

La mesure se fait à l'aide d'un appareil spécifique muni d'un comparateur (rétractomètre). Pendant toute la durée de l'essai, les **épreuves sont conservées en laboratoire en conditions régulées** (généralement à une température de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  et une humidité relative de  $50 \pm 5\%$ ) [5].



**Figure I. 2: Mesure du retrait sur une éprouvette de béton à l'aide d'un rétractomètre**

#### a) Les propriétés mécaniques

##### Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de **(4x 4 x 16) cm<sup>3</sup>** conservés dans l'eau à **20 °C**. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

logarithme du temps (**entre 1 et 28 jours**). Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport C/E.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection les tous premiers jours. [4]



**Figure I. 3: Moule de retrait de mortier 40 x 40 x 160 mm**

### **b) Les propriétés physiques :**

**1. La masse volumique :** La masse volumique sèche d'une éprouvette donnée de mortier durci est déterminée par le quotient de sa masse à l'état sec en étuve par le volume qu'elle occupe lorsqu'elle est immergée dans l'eau, à l'état saturé.

**2. Porosité :** La porosité des granulats contribue à la porosité globale du béton, vu qu'ils représentent environ les trois quarts du volume du béton [6].

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon : porosité ouverte .

**3. Absorption d'eau :** Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, la présence de l'eau dans les pores des granulats provoque l'éclatement de ces derniers, donc du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures [6].

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

Le coefficient d'absorption d'eau «  $A_b$  » est défini comme étant le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau pendant 24 h, à la masse sèche de l'échantillon [6]

**4. Durabilité :** Les diverses propriétés physiques des bétons lui confèrent une grande durabilité. Réalisées correctement, selon les règles de l'art, les structures en béton conservent donc leur aptitude au service pendant toute leur durée de vie prévue, sans nécessiter de coûteuses réparations [7].

## 2ème partie : DURABILITE DE BETON ET MORTIER

### Introduction

La durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans ses conditions d'environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible (sous réserve de la mise en œuvre d'une maintenance préventive programmée) [8].

La durabilité directement liée à l'environnement immédiat ou futur des ouvrages et partie d'ouvrage est aujourd'hui le paramètre important à considérer pour optimiser la résistance des bétons aux influences externes : intempéries, agressivité des sols, atmosphères chimiquement agressives [8].

La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés, la qualité des dispositions constructives, de la réalisation de l'ouvrage et de la mise en œuvre des produits ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance [8].

### 1. Durabilité et économie

La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et le métier de ce dernier consiste à atteindre les objectifs fixés au moindre coût. Il en résulte deux règles qui permettent de concilier au mieux économie et durabilité [9].

#### 1. 1. Béton durable et béton résistant

La porosité est le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du béton ; ce n'est évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique. La résistance aux efforts de compression est la propriété principale du béton, celle qui permet son utilisation comme matériau de construction. Plus faible est la porosité, plus grande est la résistance. Mais presque toutes les autres propriétés du béton dépendent de ce même paramètre de premier ordre. Toutes choses égales par ailleurs, le béton le plus résistant sera aussi le plus rigide, le plus dur, etc.. [7]

#### 1. 2. Le gel

Les dégâts du gel de l'eau contenue dans les bétons non résistants se manifestent sous la forme d'un écaillage. En effet, l'eau qui gèle se dilate. La glace occupe un volume d'environ 9 % supérieur à celui de l'eau [7], Les dégradations occasionnées par le gel :

#### Peuvent être de deux types:

– une microfissuration répartie dans la masse du béton (feuilletage parallèle aux parois), provoquée par un mécanisme de gel interne;

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

– un délitage de la zone superficielle (dégradation superficielle), appelé écaillage, sous l'effet conjugué des cycles de gel-dégel et des sels de déverglaçage.

Un gradient thermique important au voisinage de la surface, générée par l'application des sels à titre curatif sur un film de glace, amplifie la dégradation de surface.

Ces deux formes de dégradation peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante, elles peuvent affecter la durabilité de la structure et en particulier la pérennité architecturale des ouvrages [7]

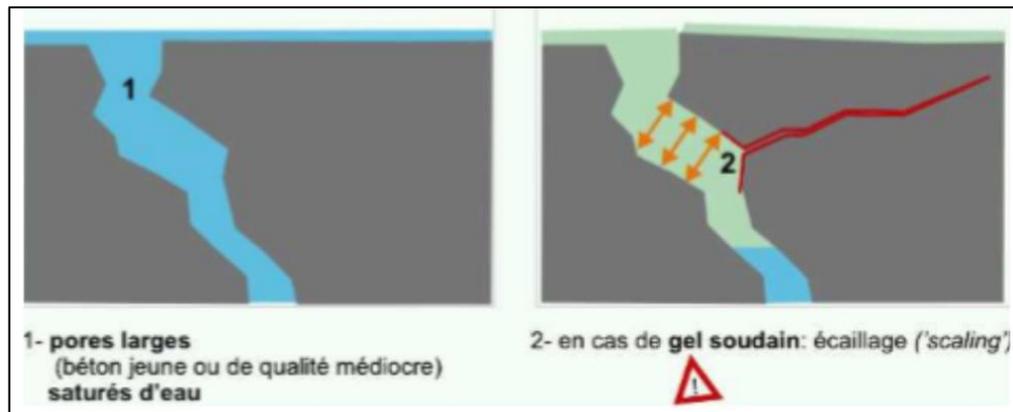


Figure I. 4: Le mécanisme de dégradation par le gel[8]

### 1. 3. Perméabilité à l'eau du béton

Facilite avec laquelle l'eau sous pression se déplace dans un matériau poreux et saturé d'eau influencés par l'importance de la différence de pression, volume des pores reliés entre eux, et par la part des pores plus larges [10]

### 1. 4. Perméabilité à l'air et à la vapeur du béton

Facilite avec laquelle l'air. Certain gaz et la vapeur d'eau peuvent pénétrer à l'intérieur du béton est liée à sa durabilité sous différentes conditions d'expositions. Lawrence à passé en revue la dérivée et la mesure de la diffusivité du béton au gaz, mesuré en mètre carré par seconde. Et à démontre que, sur une échelle log-log, la diffusivité varie linéairement avec la perméabilité intrinsèque du béton.

La perméabilité au gaz et la perméabilité à l'eau est d'autant plus grande que la valeur du coefficient de perméabilité intrinsèque est plus faible et le rapport entre la perméabilité au gaz et la perméabilité à l'eau variant environ entre 6 et près de 100.

La perméabilité à l'air est grandement influencée par le type de mûrissement, en particulier pour les bétons de résistance faible ou moyenne [10]

## 1. 5. Les attaques chimiques du béton

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée [11]. Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations. Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en **trois catégories** :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton.

Différents types de Les attaques chimiques du béton :

- 1) Les attaques sulfatiques.
- 2) Attaque par les ions chlorures
- 3) L'alcali-réaction.
- 4) La carbonatation.
- 5) Attaque par les acides.
- 6) Attaque l'eau de mer [11].

## 2. Les attaque sulfatiques

### 2. 1. Définition de l'attaque sulfatiques

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité. Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100ans.

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé [12].

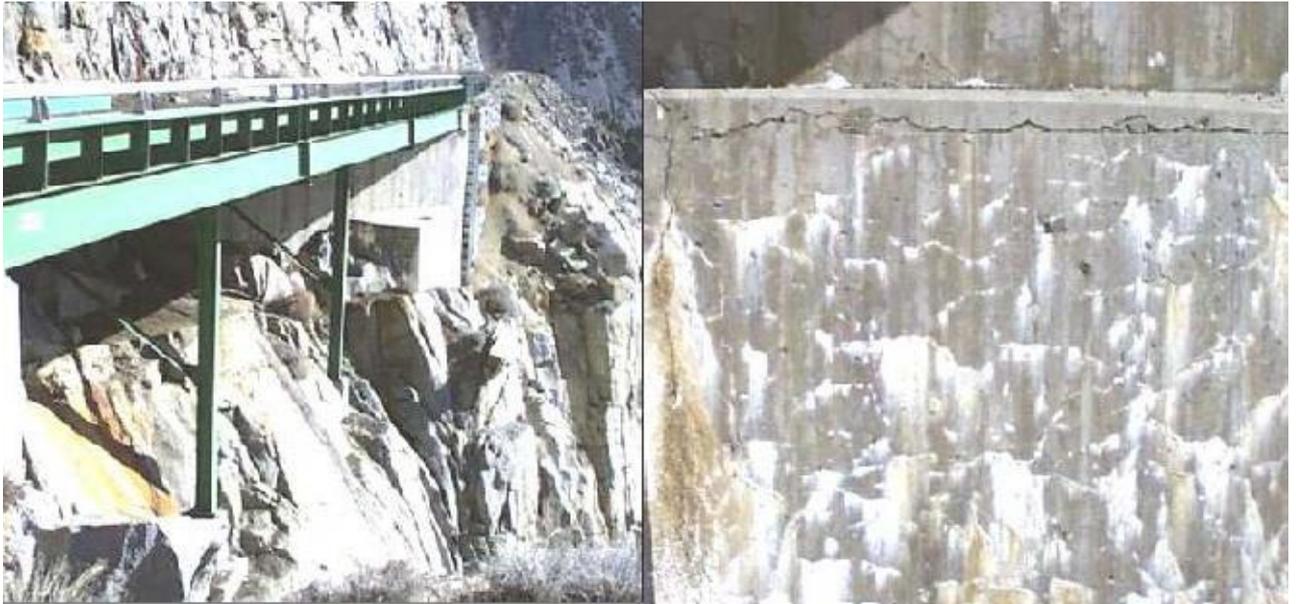


Figure I. 5: Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate [12]

### 2. 2. Sources des sulfates

On distingue deux types d'attaques : les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du béton et les attaques sulfatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du béton lui-même [12].

Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'ettringite secondaire ainsi que la thaumasite à partir de la surface exposée aux sulfates.

L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou la portlandite, et contribuer davantage à la dégradation du béton. De plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée.

Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le béton dès sa confection. Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'ettringite.

L'ettringite secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles [11]. L'origine des sulfates peut être : externe (environnement) ou interne (composants du béton).

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

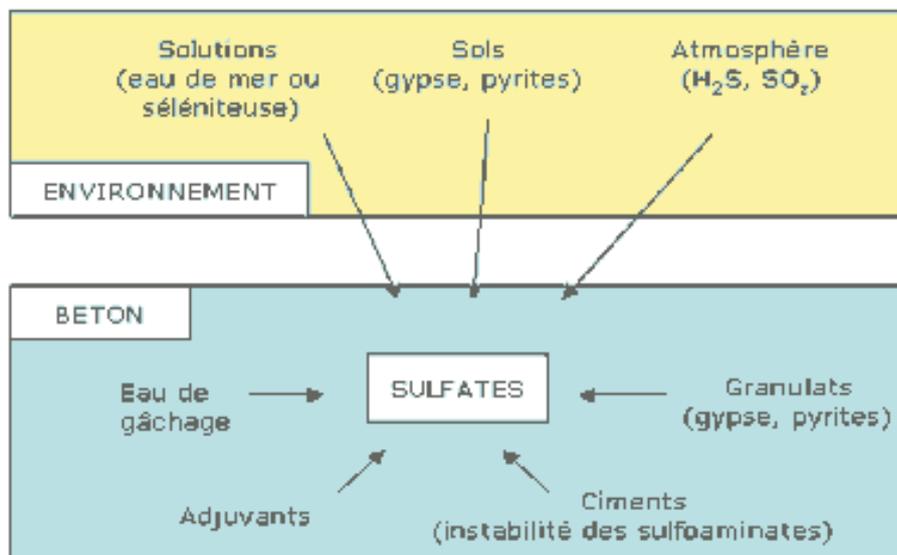


Figure I. 6: L'origine des sulfates (interne ou externe)[12]

### Les sulfates peuvent avoir différentes origines:

- Ils peuvent d'abord provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, hémihydrate, anhydrite) auquel s'ajoutent, en proportions variables, les sulfates contenus dans le clinker lui-même: sulfates alcalins (arcanite  $K_2SO_4$ , aphtitalite  $K_3Na(SO_4)_2$ , langbeinite  $Ca_2K_2(SO_4)_3$ ) et solutions solides dans les silicates de calcium.
- Ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle (gypse, plâtre, anhydrite ou encore pyrites).
- Ils peuvent venir du milieu extérieur où ils se trouvent sous forme solide (sols gypseux), liquide (eaux naturelles percolant à travers les sols et solutions plus ou moins concentrées d'origine diverses), ou gazeuse (pollution atmosphérique par le  $SO_2$ ).
- Dans les sols où ils constituent un élément nutritif des plantes, leur concentration moyenne est comprise entre 0,01 % et 0,05 % en masse de sol sec.

Des concentrations beaucoup plus importantes (> 5 %) peuvent se rencontrer dans les sols contenant du gypse  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  ou de l'anhydrite  $CaSO_4$ . La décomposition biologique aérobie des matières organiques et l'utilisation d'engrais sont également une source possible de sulfates. Le sulfate d'ammonium  $SO_4(NH_4)_2$ , provenant des engrais, est particulièrement agressif. Les sols peuvent parfois contenir des sulfures de fer (pyrites) qui, par oxydation, peuvent donner naissance à l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ , puis au gypse s'ils sont en contact de carbonate de calcium ou de chaux. Les eaux d'infiltration peuvent se charger en ions  $(SO_4)^{2-}$  au contact des sols ou des remblais contenant des sulfates.

- Dans les environnements industriels et urbains, l'atmosphère peut contenir de l'anhydride sulfureux  $SO_2$  provenant des gaz de combustion (charbon, carburants divers). En présence

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

d'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif.

- Les fermentations anaérobies qui se produisent dans les ouvrages d'assainissement conduisent également à la formation d'acide sulfurique à partir de l'hydrogène sulfuré dégagé.
- L'eau de mer contient des sulfates en solution [11]

## 2. 3. Mécanismes d'attaques

Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque sulfatique.

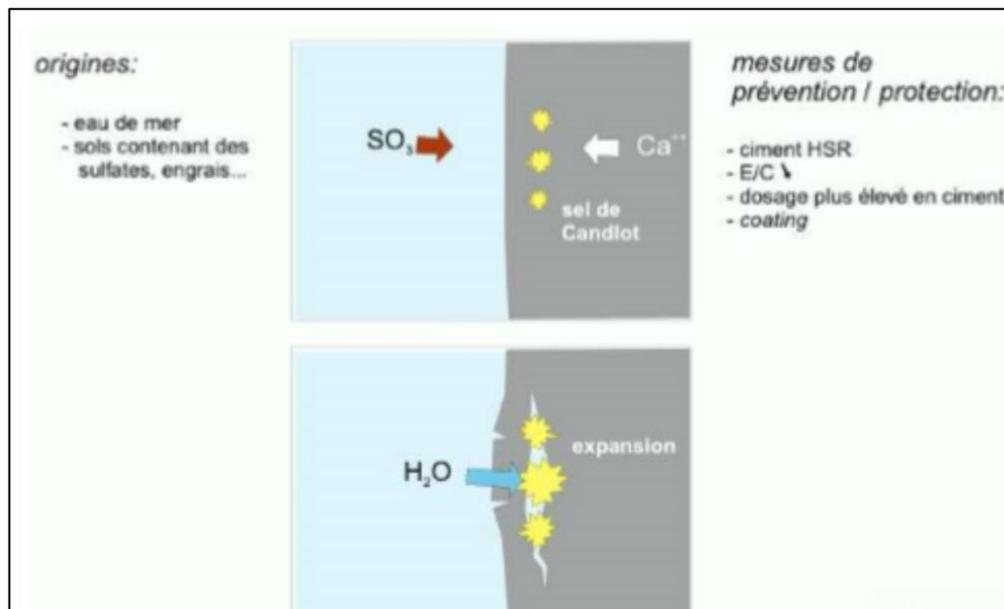


Figure I. 7: L'attaque par les sulfates [14]

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- ✓ Expansion.
- ✓ Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

## 3. Attaque par les ions chlorures

### 3. 1. Définition de l'attaque par les ions chlorures

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistance de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dé-passivant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est autocatalytique [11].

### 3. 2. Source de l'attaque des ions chlorures

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle.
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores. [11]

On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures.

### 4. L'alcali-réaction

#### 4. 1. Définition de : L'alcali-réaction

L'alcali-réaction, que l'on appelle aussi communément réaction alcali-granulat, désigne la réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. Les conséquences macroscopiques de la réaction sont le gonflement des ouvrages atteints qui entraînent de la fissuration et la chute des caractéristiques mécaniques du béton.

Ces phénomènes sont préoccupants pour les gestionnaires des structures atteintes car ils mettent en péril la sécurité des personnes et l'exploitation des ouvrages. De plus, il n'existe aucun moyen d'arrêter la réaction. Ainsi, la prédiction de l'évolution du gonflement et des dégradations des ouvrages atteints et l'évaluation de l'efficacité et de la périodicité des opérations d'entretien sont des points cruciaux [11]

#### 4. 2. Source de cette attaque

Ces alcalins proviennent d'une part du ciment, et d'autre part, des autres constituants du béton (granulats, eau de gâchage, adjuvants,...). Initialement, ils sont présents à l'état diffus dans les phases anhydres, et ils se dissolvent à l'état basique ( $K^+OH^-$ ,  $Na^+OH^-$ ) lors de l'hydratation [13].

- **La carbonatation** : Lorsque le dioxyde de carbone de l'atmosphère pénètre dans le béton et réagit avec l'hydroxyde de calcium pour former du carbonate de calcium, ce processus est appelé carbonatation. En général, le béton à haute teneur en alcali forme une couche protectrice autour de l'armature. Mais lorsque le dioxyde de carbone se transforme en acide carbonique dilué, il réduit l'alcalinité, ce qui entraîne la corrosion des armatures. Le béton carbonaté a un pH de 8,3 tandis que la passivation de l'acier commence à un pH de 9,5. La profondeur de carbonatation dans un bon béton dense est d'environ 3 mm à un stade précoce et peut atteindre 6 à 10 mm après 30 à 40 ans.

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Un béton de mauvaise qualité peut avoir une profondeur de carbonatation de 50 mm après, disons, 6 à 8 ans. Le taux de carbonatation dépend de

- Temps.
- Profondeur de couverture.
- Densité du béton.
- Teneur en ciment.
- Rapport eau-ciment.
- La présence de fissures.

La profondeur de carbonatation est déterminée à l'aide de la solution de phénolphtaléine dans de l'alcool dilué. Lorsque la solution est appliquée, les zones de non-carbonatation deviennent roses et la partie non colorée restante est appelée zone affectée par le carbone. [14]

## 5. Attaque par les acides

### 5. 1. Définition Attaque par les acides

Les acides peuvent facilement attaquer le béton car le béton n'est pas totalement résistant aux acides. Certains acides comme l'acide oxalique, les acides phosphoriques ne sont pas nocifs pour le béton. Les granulats calcaires sont plus affectés par les acides alors que les granulats siliceux sont bien résistants. Le niveau de dommage dépend uniquement du pH de la solution acide. Les dommages sont très graves si la valeur du pH est très basse. S'ils atteignent l'armature à travers une fissure ou des pores, ils provoqueront la corrosion des barres et la fissuration du béton se produira [14].

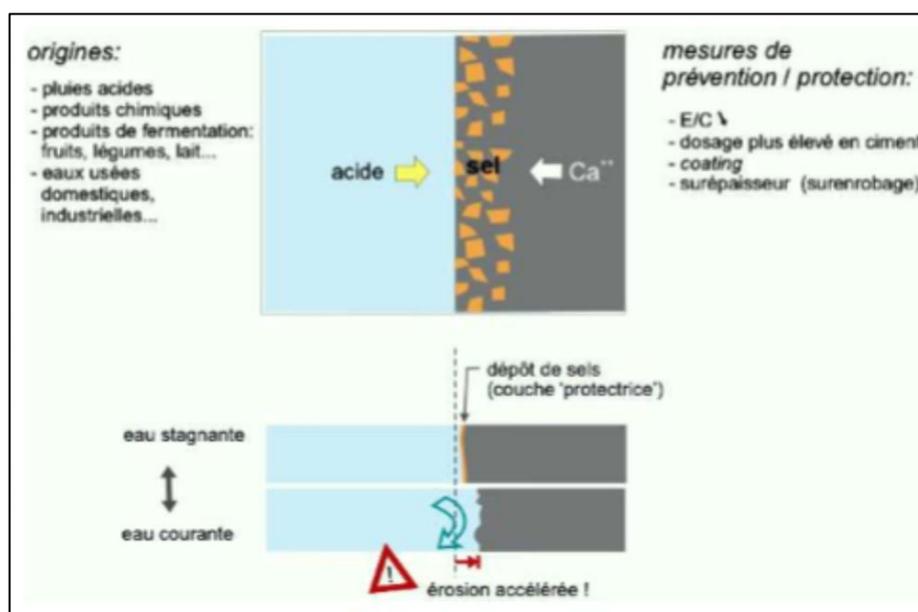


Figure I. 8: Action due aux acides

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

## 5. 2. Acide fort et acide faible

Les acides forts se dissocient totalement dans l'eau. Parmi ceux-ci, on retrouve l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ), l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ), l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), ... Au contraire, un acide faible ne se dissocie pas totalement dans l'eau.

De ce fait, une augmentation de la concentration d'un tel acide ne conduit pas automatiquement à une diminution du PH. C'est le cas de l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), de l'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), de l'acide lactique ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCOOH}$ ), ... Une concentration plus élevée d'acide faible que d'acide fort est nécessaire pour atteindre une valeur de PH donnée.

Le PH ne dépend donc pas uniquement de la concentration de l'acide, mais aussi du type d'acide (faible ou fort) [7]

## 3<sup>eme</sup> Partie : VALORISATION DE SABLE DE DUNE

### Introduction

Les sables de dune sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigation menées dans le saharien algérien ont mis en évidence des provinces minéralogiques homogènes. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et granulaire quasi similaires. Depuis et ce à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche [7]

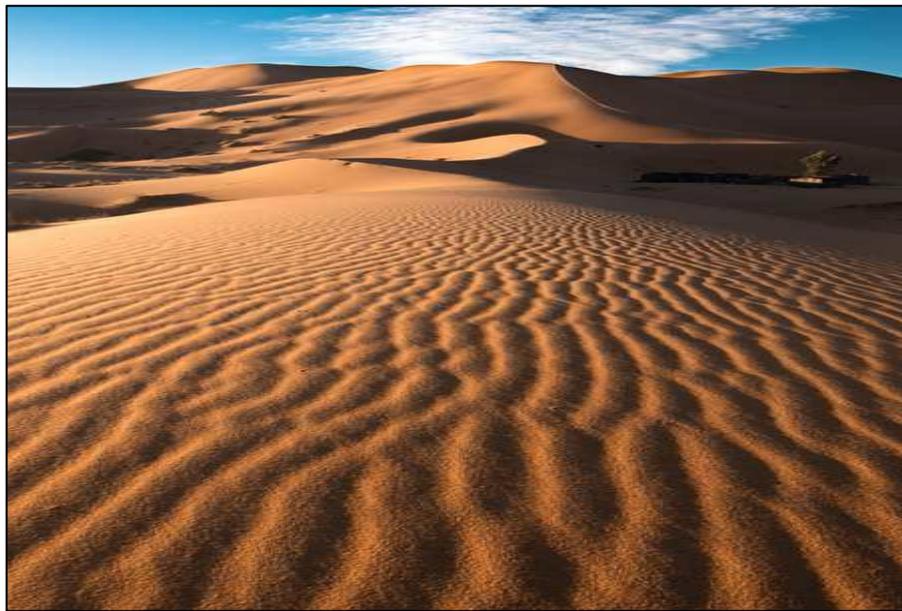


Figure I. 9: Sable de dune

### 1. Définition

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluviatile et parfois éolienne. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fin et très serrée [15]. Le sable de dune s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente. Il constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [15].

#### 1. 1. Qu'est-ce qu'une dune ?

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable [7]. Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux de un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

premier cordon, on peut voir se développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation [7].

## 1. 2. Nature de sable de dune

- **Mécanismes de formation** : Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé [15].

## 1. 3. Types des dunes

**a- Les avant-dunes (fore dune en Anglais)**, qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles [15].

**b- Les falaises dunaires (dune Cliff en Anglais)** ne sont pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux [15].

**c- Les dunes perchées (Cliff-top dune en Anglais)**, qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [15].

**d- Les cordons dunaires artificiels**, Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France) [15].

## 1. 4. Type complexe

Tous ces types de dunes peuvent exister sous trois formes : simple, composée et complexe [7].

- **Les dunes simples** : sont des collines avec un nombre minimal de côtés escarpés qui en définissent la typologie géométrique.
- **Les dunes composées** : sont des plus grandes dunes, surmontées de dunes similaires plus petites.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

- **Les dunes complexes** : sont, elles, formées de plusieurs types de dunes différents.
- **Une dune en demi-lune** : soutenant une dune en étoile est une des dunes complexes les plus communes. Les dunes sont simples quand le vent reste constant pendant leur formation [7].

### 1. 5. Les formes de sable de dune

Il existe trois formes [7]:

- La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant.

Les collines en demi-lune sont, généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

- La dune parabolique est en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- Les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité.

### 1. 6. Physique des dunes

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues Majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris.[7]



Figure I. 10: La barkhane

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels. Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune [7].

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir figure. 11). Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent (voir figure. 11) [7]

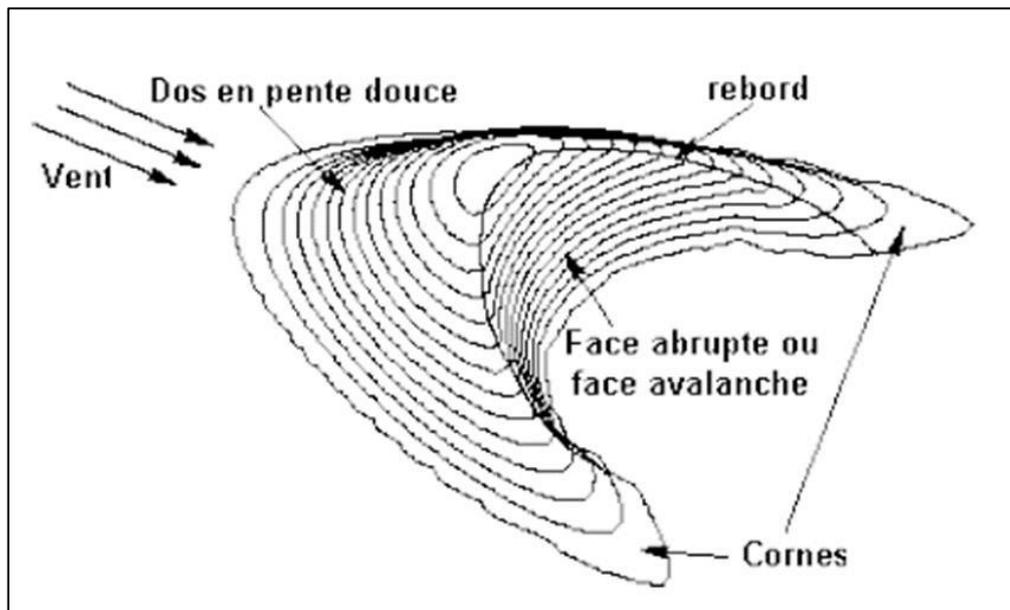


Figure I. 11: Morphologie de la barkhane [15]

### 1. 7. Intérêt de sable de dune

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

- **Les aspects économiques :** Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité quasi-inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [7]

- **Les aspects techniques :** Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base [7].

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

## 1. 8. Les différents milieux de la dune

Les dunes sont composées de milieux différents, On distingue différents types de dunes :

Peu ou pas fixées par la végétation (oyats, chiendents des sables etc.) ou dunes blanches, les dunes « **reliques** » définitivement fixées par la végétation comme les dunes Grises (mousses, lichens, argousiers, etc.), [7]

**a. Les dunes noires (arbres):** Et les dunes fossiles recouvertes par des dépôts sédimentaires autres que le sable.

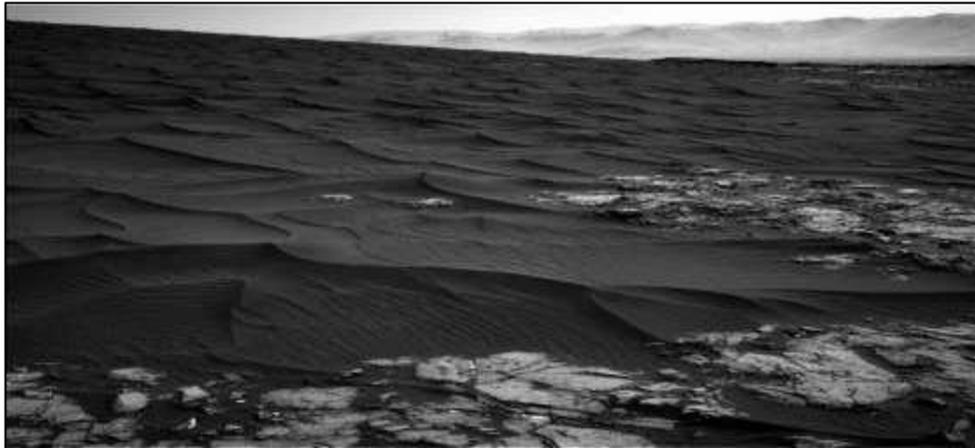


Figure I. 12: Sable de dune noire [16]

**b. La dune blanche ou jaune:** Partie de la dune littorale mobile colonisée par l'Oyat, plante fixatrice adaptée à une assez faible salinité du substrat (2 % maximum) à laquelle s'associent d'autres espèces spasmophiles (Panicaud des dunes, Achillée maritime, giroflée des dunes, chou marin, liseron des dunes, gaillet des sables, Lis maritime).

Elle comprend un glacis externe ou une falaise sableuse et un plateau dunaire caractérisés par des formes de déflation (siffle-vent qui peut évoluer en couloir ou plaque de déflation, caoudeyre, dune parabolique) et des zones d'accumulation marquées (tuc, poudrières) .

La dune vive succède une dune semi-fixée caractérisée par une accumulation moindre des sables soufflés par les vents (ces derniers étant majoritairement arrêtés par la dune blanche) et le développement d'une végétation dense en tapis [7].



Figure I. 13: Sable de dune blanche [16]

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

**c. La dune verte (appelée aussi avant-dune ou dune embryonnaire):** Végétation pionnière des hauts de plage s'installant sur une dune en formation ou à la base d'une dune mobile, dominée par des peuplements clairsemés de psammophytes de type chiensables, Renouée maritime, Pourpier de mer, Soude brulée, Cakilier maritime, Panicaut maritime, Euphorbe maritime et liseron des dunes, ces plantes favorisent l'installation de macro mycètes sa protrophes et fixent le sable, formant des buttes sableuses néoformées appelées nebkas et peuvent aboutir à son accrétion sous forme d'une accumulation subhorizontale située en pied de dune (banquette surélevée de quelques décimètres par rapport au haut de plage).

Cette dune est normalement éphémère, qu'elle soit balayée par les vagues de tempête ou qu'elle se transforme en un autre type plus évolué, la dune bordière où l'emplacement des obstacles primitifs n'est plus individualisable [7].



**Figure I. 14: Sable de dune verte [16]**

**d. La dune grise :** Partie de la dune sous le vent correspondant au talus interne de la dune blanche, où pénètrent des plantes herbacées fixatrices succédant aux espèces pionnières, le tout évoluant peu à peu vers une pelouse constituée d'un tapis dense de mousses et lichens (accompagnés de l'Immortelle des dunes, la Linaire des sables, la rose pimprenelle, l'œillet des dunes, l'Ophrys passion (It), la Canche blanchâtre (en), la Luzerne marine, le raisin de mer, le Chardon champêtre, le thym serpolet ou les Orobanches) qui enrichit le sable de matière organique et d'humus.

Il existe souvent, au sein de cette dune et à l'arrière de celle-ci, des cuvettes naturelles ou artificielles (mares de chasse, prélèvements de sédiments) dont une partie est, au moins temporairement, en contact avec la nappe phréatique [7].



**Figure I. 15: Sable de dune grise [16]**

**e. La dune brune (dune boisée ou frange forestière):** La pelouse est progressivement remplacée par des prairies enrichies d'espèces pré-forestières (Saule des dunes, Rosiers), puis par des buissons et fourrés (Ajonc, Prunelliers), arbustes (espèces consolidatrices succédant aux fixatrices, du type argousier, églantier, sureau, troène...), voire un boisement littoral [7].



**Figure I. 16: Sable de dune brune [16]**

**f. La dune littorale:** Les dunes littorales ou dunes bordières se forment sur le long des côtes basses où les vents et l'apport de sédiments par la dérive littorale permettent l'accumulation de sable sur les plages. À marée basse, le haut de plage est asséché par le vent ce qui permet le transfert des sables vers l'intérieur des terres, essentiellement par roulage et saltation. La largeur de l'estran est donc un facteur primordial du bon développement des dunes: plus il est large, plus la surface de déflation éolienne et donc la quantité de sédiments soufflés sont importantes. Dans le processus de formation des dunes, les plantes pionnières jouent un rôle fondamental, assurant le dépôt, la fixation et la stabilisation de l'accumulation dunaire. Ces plantes sont adaptées à l'instabilité du substrat et présentent de longues racines traçantes [7].

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

La dune littorale est donc une forme d'accumulation sédimentaire fixée par une végétation spasmophile, il s'agit d'une construction bio géomorphologique [7]

## 2. Diverses utilisations

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc [15].

## 3. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction

L'Algérie est un gros consommateur de granulat. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, est notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différents natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturelles et artificielles. La réflexion sur l'élaboration de nouveaux bétons tels que les bétons de sable ou de mortier est donc devenue nécessaire.

Ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers [15].

Nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique par exemple, en génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental [15].

## 4ème Partie : VALORISATION ET RECYCLAGE DES DÉCHETS

### Introduction :

La question des déchets a commencé à se poser de manière aigue avec le développement urbain. Le volume de déchets s'amplifie de façon préoccupante, leur caractère hétérogène rend difficile la généralisation d'une filière de traitement, connaître leur composition et leurs caractéristiques permettra le choix d'une filière de traitement la mieux adaptée et la plus pérenne possible [17].

### 1. Généralité sur les déchets

#### 1.1. Définition du déchets

Peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet. Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

- Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.
- Le déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou l'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être exploitables ou non exploitables.
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses [18].

#### Origine de la production des déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **Biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- **Chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- **Technologiques** : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- **Économiques** : les produits en une durée de vie limitée ;
- **Écologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres Déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- **Accidentelles** : l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de Consommation sont eux aussi à l'origine de déchets [19]

## 1. 2. Différents types de déchets

**a. Déchets ultimes :** Le déchet ultime c'est un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. [20]

**b. Déchets inertes :** Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux [20]

**c. Déchets assimilée :** Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants) [20].

**d. Déchets verts :** Ce sont les déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

**e. Déchets organiques :** Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts) [20].
- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....- boues [20]

**f. Déchets industriels banals (DIB) :** Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie. [20]

**g. Déchets dangereux :**

- **Déchets industriels spéciaux (DIS) :** Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

- **Déchets ménagers spéciaux (DMS) :** Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé [20].

## 2. Les impacts des déchets sur l'environnement

Les déchets industriels peuvent avoir des conséquences très néfastes pour l'environnement s'ils sont mal gérés. Leurs impacts sur l'air, l'eau et le sol ne sont pas négligeables.

### 2. 1. L'impact sur la pollution de l'air

(Pollution atmosphérique). Les Décharges contiennent une large variété de déchets leur mélange (surtout entre déchets organiques et de l'eau) provoque l'apparition de méthane, un gaz à effet de serre.

### 2. 2. L'impact sur la pollution du sol

Elle est une préoccupation mineure par rapport à celle de l'eau et de l'air, et pourtant c'est un problème majeur. Aujourd'hui on estime que 70% des déchets sont enfouis, notamment les déchets nucléaires. Cela provoque l'érosion et la contamination des sols.

### 2. 3. L'impact sur la pollution de l'eau

Chaque année plus de six millions de tonnes de déchets différents sont rejetés dans les océans. La contamination des espèces aquatiques qui s'ensuit peut devenir dangereuse pour les réseaux trophiques [19].

## 3. Gestion des déchets

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine ou l'environnement. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. [21]

### 3. 1. Principes de gestion des déchets

Il y a plusieurs principes qui guident la gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- ✓ Réduire.
- ✓ Réutiliser.
- ✓ Recycler.

### 3. 2. Les déchets de chantier

Sont considérés comme déchets de chantier tous les déchets de construction ou de démolition :

- Déblais non pollués provenant de travaux d'excavation, de découverte et de percement.

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

- Gravats, c'est-à-dire déchets de chantier minéraux constitué de pierres et d'autres matières minérales de même nature (briques, béton, tuiles, etc.)
- Déchets de chantier incinérables (bois, carton, plastiques, textiles, etc.)
- Déchets de chantier tout-venant, c'est-à-dire déchets de chantier mélangés contenant diverses matières telles que bois, métal, plastique et éléments minéraux [18].

### 3. 3. Valorisation des déchets

Les déchets de chantier sont constitués à 80% environ de composants minéraux, transformables en matériaux recyclés une fois libérés des déchets combustibles (bois, plastiques, etc.), des métaux et éventuellement de constituants nocifs (fines ou composants suspects).

La valorisation des déchets concerne toutes les opérations de recyclage, de compostage, et de régénération des déchets ou toutes les opérations débouchant sur une récupération matière ou de l'énergie [18]. Généralement, on peut considérer la valorisation selon deux procédés différents :

- Valorisation matérielle
- Valorisation énergétique
- **Valorisation matérielle** : Toute opération ayant pour objet récupération du produit ou de la matière à partir des déchets. Elle nécessite des efforts importants de sélection et de traitement.
- **Valorisation énergétique** : La valorisation énergétique ne signifie pas l'élimination des déchets ultimes par incinération mais la valorisation des différents composants des déchets par l'exploitation de leur potentiel énergétique [18]. Pourquoi valoriser ?

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- ✓ Augmentation de la production.
- ✓ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- ✓ Une législation de plus en plus sévère.
- ✓ Une meilleure gestion de la recherche [20].

### 4. Les déchets en Algérie

Depuis de nombreuses années, l'Algérie connaît un développement économique et démographique sans précédent, d'où la nécessité d'adaptation aux modes de consommation et de production modernes. Les services actuels de gestion des déchets sont submergés par la quantité phénoménale et toujours croissante des différents types de déchets et les difficultés à l'éliminer (déchets ménagers, déchets hospitaliers, déchets industriels,....etc.). Les décharges existantes ne

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

peuvent plus absorber le flux et répondre aux nouvelles exigences de gestion et de traitement des déchets. Nous pouvons résumer la situation de l'environnement concernant les déchets en Algérie comme suit. [19] :

- Insuffisance de la législation concernant les déchets solides.
- Absence d'un dispositif national pour la prise en charge des déchets.
- Absence de politique de gestion des déchets proprement dite.
- Absence de décharges contrôlées et de décharges réservées aux déchets industriels et spéciaux.

### 4. 1. Définition :

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés [22].

### 4. 2. Principes du recyclage

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- **Réduire** : qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- **Réutiliser** : qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- **Recycler** : qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération.

### 4. 3. Techniques de recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ou pour séparer par courants de Foucault .

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

- le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

### 4. 4. La chaîne du recyclage

La chaîne du recyclage comporte plusieurs étapes :

**a. Collecte de déchets :** Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi « séparative » et souvent appelée à tort « tri sélectif » est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. La taxe au sac est un bon moyen pour inciter les personnes au tri sélectif, car seuls les déchets non recyclables finissent en général dans ces sacs taxés, les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe [23].

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques. Avant ce stade, le verre brisé est systématiquement écarté pour éviter les risques de blessure.

**b. Transformation :** Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

**c. Commercialisation et conservation :** Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs [23].

En fin de vie, ces produits seront éventuellement jetés, même si certains pourraient être récupérés et recyclés.

### 4. 5. Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer .
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (É).
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois.
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 kWh d'électricité (É) en plus de 15 g de bois [23].

### 5. Généralité sur les déchets plastique PET

#### 5. 1. Définition de plastique

Une matière plastique est un polymère généralement mélangé à des additifs, colorants, charges (miscibles ou non dans la matrice polymère). Il en existe une large gamme ; moulés par injections, extrudés, étiré en film, généralement façonné à chaud et sous pression, pour aboutir à un semi-produit ou à un objet, y compris fils et fibres (tissus), mastics, revêtements, etc.. Il est utilisé dans presque tous les secteurs d'activité. [24]

#### 5. 2. Définition de PET

Le **PET** est l'abréviation de **polyéthylène téréphtalate**, que l'on trouve également avec l'abréviation PETE et est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol. Les molécules sont composées exclusivement d'éléments hydrogène, carbone et oxygène Le PET se présente sous de nombreuses formes : pièces moulées par injections, tubes, films d'emballage, fibres, tissus, etc. et est utilisé pour la fabrication de bouteilles en plastiques [25]

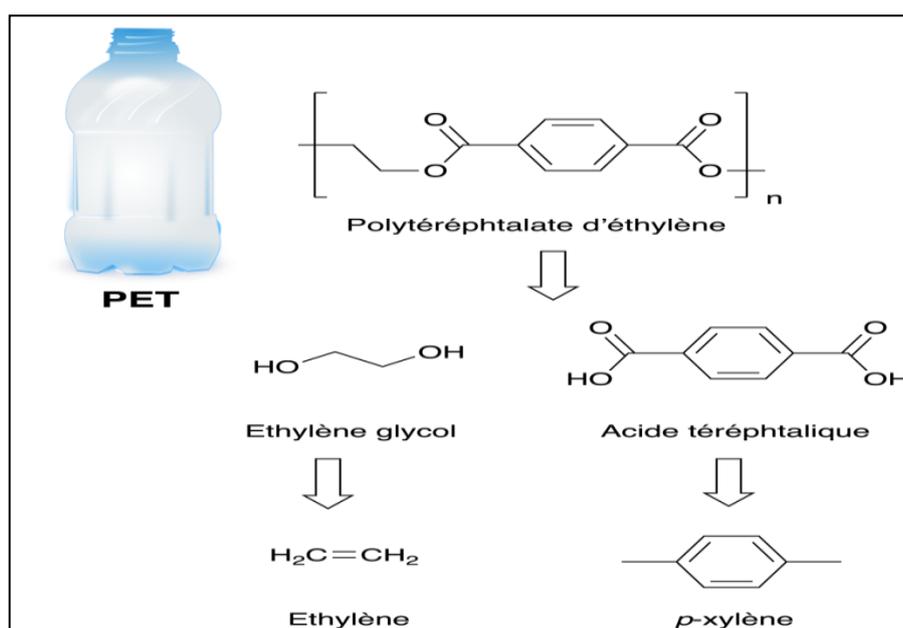


Figure I. 17: La composition chimique de PET

### 5. 3. Les techniques de recyclage du PET

Les déchets de plastique en polyéthylène téréphtalate qui sont produits par les entreprises, les ménages et les administrations publiques doivent d'abord être collectés, triés avant d'être recyclés.

**a. La collecte :** La collecte est le procédé fondamental par lequel les matières recyclables sont détournées des dépotoirs et acheminées vers des établissements de transformation ou de manutention , les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centre d'enfouissement technique.



**Figure I. 18: La collecte des déchets plastiques [26]**

Les modes de collecte utilisés pour la collecte du plastique d'emballage ménagers et d'autres déchets plastiques en sont distincts.

- La collecte en apport volontaire.
- La collecte sélective en porte-à-porte.
- La collecte des encombrants [26]

**b. Le tri :** Quelle que soit l'origine du plastique collecté (bouteilles, tubes, châssis de fenêtres...), un traitement préalable de tri, nettoyage, purification, peut être nécessaire pour assurer une valorisation judicieuse.

- **Etape 1 :** Les habitants déposent leurs bouteilles dans des poubelles adaptées, des camions spéciaux les emmènent dans des centres de tri.
- **Etape 2 :** Ils sont chargés dans un tapis roulant, on les secoue dans des cribles pour ôter les petits déchets.
- **Etape 3 :** Les matériaux sont séparés mécaniquement ou manuellement, ils sont triés par catégories (bouteilles, flacon plastiques, couleur).

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- **Etape 4** : Ils sont compactés, pour les transporter plus facilement dans des usines de recyclage [27]



Figure I. 19: Le tri manuel des déchets plastiques [27]

### c. Le recyclage :

**1- Le broyage, lavage et séchage** : Après la collecte et tri des déchets plastiques, ils sont broyés transformés en paillettes, puis ils sont lavés à chaud. Les paillettes propres doivent être complètement séchées. (Toute humidité résiduelle peut affecter la qualité du produit fini).



Figure I. 20: La machine de broyage, lavage et séchage des déchets plastiques [28]

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

**2- La fonte et le filtrage :** Les paillettes séchées sont passés dans une extrudeuse ou la chaleur et la pression font fondre le plastique (Chaque type de plastique a un point de fusion particulier). Le plastique fondu subit un filtrage serré , (Cette étape permet d'enlever tout contaminant qui aurait résisté au cycle de lavage). [28]



Figure I. 21: Le filtrage des déchets plastiques [28]

**3. La granulation :** Les pailles sont refroidies puis coupées en granules. (Celles-ci sont entreposées pour la vente et l'expédition. Les granules obtenues serviront de matière première pour de nouveaux produits, ils sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi [28]



Figure I. 22: La granulation des déchets plastiques [28]

### 5. 4. Les types de plastique PET

**a. Fibre en plastique :** On les trouve sous des formes et des dimensions diverses. Parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des matériaux du Génie Civil et les Travaux Publics on peut citer : Les fibres de polypropylène, d'amiantes, de carbone, de verres, les fibres végétales et

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

métalliques. Ils existent les monofilaments PET qui peuvent être soit signalables, soit nonflagellables, droits ou sertis, avec différents profils et diamètres, allant de 0,12 mm à 2,00 mm.

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

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

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



Figure I. 23: PET agrégats fins

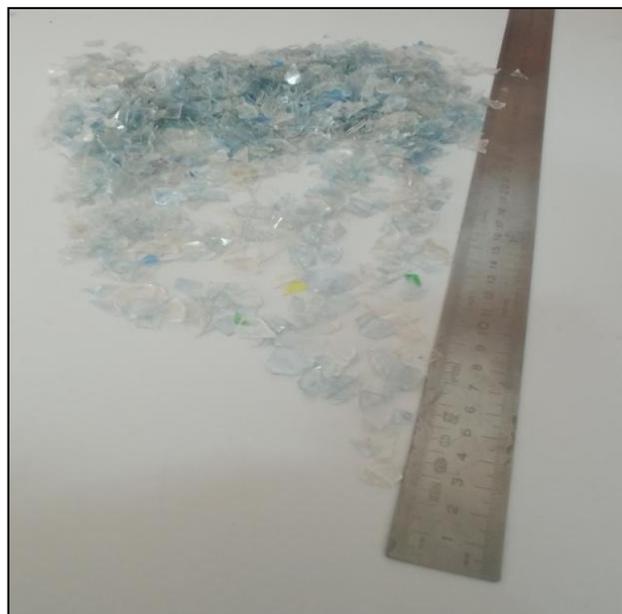


Figure I. 24: PET agrégats grossiers

## 5. 5. Masse spécifique

La masse spécifique de la plupart des plastiques est bien plus faible que celle des métaux, ce qui est très utile lorsqu'on veut obtenir une diminution de poids car certains plastiques sont, à poids égal, plus résistants que les métaux. Cependant, à volume égal, c'est habituellement le contraire qui se produit. La masse spécifique des polymères et des plastiques se situe normalement entre 0.83 et 2.50 g/cm<sup>3</sup>. Pour les plastiques alvéolaires elle peut descendre jusqu'à 0.01 g/cm<sup>3</sup> et pour les plastiques contenant des charges, elle peut atteindre 3.50 g/cm<sup>3</sup> [29]

## 6. Propriétés thermiques et électriques

En tant que matériaux organiques, les polymères et les plastiques ont, à quelques exceptions près, une stabilité thermique bien plus faible que celle des métaux, surtout au contact de l'oxygène. Lorsqu'ils sont chauffés à des températures de plus en plus élevées, les matériaux thermoplastiques passent lentement de l'état solide plus ou moins rigide à l'état de liquide très visqueux. Même si sous l'effet de la chaleur les matériaux thermodurcissables ne perdent pas leur rigidité de façon appréciable, un chauffage trop intense ou prolongé provoque un durcissement excessif, une contraction, une carbonisation ou une désintégration. Les coefficients de dilatation thermique des plastiques (de 4 à 20 x 10<sup>-5</sup>/°C ; de 2 à 11 x 10<sup>-5</sup>/°F) sont beaucoup plus élevés que ceux des métaux ordinaires (de 1.0 à 2.5 x 10<sup>-5</sup>/°C ; de 0.6 à 1.4 x 10<sup>-5</sup>/°F). En général, les polymères et les plastiques dérivés sont de bons isolants électriques, certains excellents même, comme le polytétrafluoréthylène [30].

### 6. 1. Résistance au feu

Les plastiques se comportent différemment sous l'action du feu, certains s'enflamment, d'autres brûlent rapidement ou lentement, et d'autres sont auto extinguisibles. La nature des polymères et des substances comme les charges, les matériaux de renforcement, les plastifiants ou les adjuvants ignifugeants, déterminent le degré d'inflammabilité. Les polymères halogénés tels que le PVC ou le PVC chloruré, sont naturellement ignifuges, lorsqu'ils sont chauffés, ils libèrent des gaz halogènes qui interrompent la réaction d'oxydation en chaîne par radicaux libres. Cependant, si l'on ajoute des plastifiants, le PVC devient inflammable. La résistance au feu des plastiques peut être améliorée par l'adjonction d'adjuvants appropriés ou par l'emploi de polymères naturellement ignifugeants [29]

### 6. 2. Comportement mécanique

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

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

Le comportement des polymères à la déformation diffère de celui des métaux de construction en ce qu'il n'est pas seulement fonction de l'ordre de grandeur de la contrainte, mais également de la durée d'application. Le fluage des polymères et des plastiques peut être important, même à la température ambiante, alors que pour les métaux, il ne l'est jamais au-dessous de 500°C. De plus, la température et le mode d'application de la contrainte affectent beaucoup plus les propriétés mécaniques des polymères et des plastiques que celles des métaux. Ces propriétés peuvent aussi être influencées par le procédé de fabrication, un traitement ultérieur et l'âge du produit fini. [30]

Les polymères n'obéissent pas à la loi de Hooke, mais ont un comportement dit viscoélastique. Le préfixe "visco" veut dire que le matériau possède certaines des caractéristiques des liquides visqueux, ce qui implique une dépendance du facteur temps. Suivant ce comportement, les polymères amorphes peuvent avoir 3 types de réaction à la déformation par contraintes non destructives (relativement faibles), selon la durée de l'application de celles-ci : élasticité instantanée (ou de Hooke), élasticité retardée ou différée (haute élasticité) et écoulement visqueux [30]

### 6. 3. Résistance aux agents chimiques et aux intempéries

La résistance aux agents chimiques des matériaux polymères dépend de la nature du polymère. Les acides fortement oxydants peuvent s'attaquer aux plastiques et les décolorer ou les rendre fragiles. Les liquides organiques attaquent la plupart des polymères et des plastiques. Par exemple, les fuel-oils, les huiles et divers solvants organiques peuvent attaquer les plastiques et occasionner leur gonflement, leur amollissement ou les dissoudre. La température et la composition des plastiques déterminent leur résistance à ces agents chimiques. La plupart des plastiques peuvent être utilisées comme matériaux de protection contre la corrosion. Cependant, en raison de leur résistance variable en fonction du milieu, il convient de bien choisir le plastique qui résiste le mieux à la corrosion dans les conditions particulières [30]

La résistance des polymères aux intempéries, surtout à l'action du soleil varie considérablement. Par exemple, certains polymères et les plastiques correspondants ont fait preuve d'une très grande résistance aux intempéries, contrairement à d'autres dont la résistance s'est révélée très faible. Cependant, la plupart des "compounds" plastiques commerciaux peuvent être formulés de façon à offrir une bonne résistance aux intempéries. [30]

### 6. 4. La densité

Les plastiques ont tous une densité différente ce qui permet aussi de les identifier Partiellement. Pour pouvoir faire l'expérience, découpez des fragments d'emballage dans des parties pleines (les poches d'air fausseraient la densité) et disposez-les dans un verre transparent rempli d'eau. [31]

Les plastiques qui flottent sont le PP et le PE car ils ont une densité inférieure à 1. Le PS expansé flotte également grâce aux nombreuses bulles d'air qui y sont incluses. Lorsqu'on ajoute

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

du sel à l'eau, on remarque que les autres bouts de plastique s'élèvent progressivement : dans l'ordre on a le polystyrène (non expansé), le PVC et le PET [29]

**Tableau I. 1: Certaines propriétés des matières plastiques PET [34]**

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

### 6. 5. Propriétés Physico-chimiques du PET :

Le PET possède une température de transition vitreuse se situant autour de 80°C et une température de fusion élevée, environ 260°C, grâce à la présence d'un noyau benzénique. Le noyau confère aussi un aspect semi rigide au PET. Il possède également de bonnes propriétés mécaniques et thermiques, une grande résistance chimique et une faible perméabilité aux gaz. Le PET est un polymère semi-cristallin, la masse volumique de la phase cristalline est de 1,515 g.cm<sup>-3</sup> et celle de la phase amorphe est de 1,335 g.cm<sup>-3</sup>. Le poly téréphtalate d'éthylène Broyé doit être soumis à des essais de laboratoire, à savoir l'analyse granulométrique [32]

### 6. 6. Propriétés Mécaniques et Thermiques du PET

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

**Tableau I. 2: Propriétés mécaniques et thermiques des PET [32]**

<b>Point de fusion</b>	<b>254 °C</b>
<b>La conductivité thermique</b>	0.13 W/m. K
<b>La capacité thermique de masse</b>	1.1-1.3 kJ / kg K
<b>Champ d'application</b>	-20 à +100 °C
<b>La résistance à la traction</b>	70 MPa

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

<b>L'allongement à la rupture</b>	70%
<b>Le module de flexion (rigidité)</b>	2.0 MPa
<b>Densité</b>	1.34 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Perméabilité aux gaz</b>	Médiocre
<b>Perméabilité à l'humidité</b>	Très bonne.
<b>Module de traction</b>	2.9 GPa
<b>Résistance au choc</b>	De 0 à +100°C
<b>Température de mise en œuvre</b>	280 à 320°C.

### 7. Généralité sur les déchets de brique

#### 7. 1. Déchets de brique

Le déchet de brique est appelé aussi « Briquaillons », « Chamotte » ou « Brique concassé ». Il y'a pas beaucoup de données sur l'emploi de déchet de brique, leur consommation universelle de matière première (Brique), leur utilisation comme granulats du béton, en conséquence leur génération en quantités énormes. Les recherches en Algérie sur les matériaux est presque rare. Lorsqu'on dit « Briquaillons » on réfère aux briques morcelées provenant à cause de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de brique. « Chamotte » est la brique cuite broyée ou concassée. [33] montre que les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions.

#### 7. 2. Définition de brique

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée-la température de frittage. Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction.

#### 7. 3. Type de brique

On distingue différents types de briques :

- ✓ La brique crue : constituée de terre crue et fibrée de paille, de lin, de crin.
- ✓ La brique de terre compressée.
- ✓ La brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression),

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

- ✓ la brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose.
- ✓ La brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- ✓ La brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilisé une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- ✓ La brique non gélive, brique qui ne se dégrade pas par l'effet du givre.
- ✓ La brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc. [34]

### 7. 4. Procédés de fabrication de la brique

La production de la brique fonctionne généralement en flux continu et chaque phase génère un stock intermédiaire. Son procédé est représenté comme suit [35]:

**a. Extraction :** La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Elle est extraite dans des argilières situées en zone, d'extraction .L'argile est omniprésente dans le sous-sol Algérien et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique. Une briqueterie jouxte généralement une argillère. Certaines briqueteries ajoutent des argiles en provenance d'autres argilières afin d'étoffer la gamme de produits. Le transport reste toutefois limité.

**b. Préparation de l'argile :** La préparation comprend deux opérations principales: le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.

**c. Broyage et malaxage :** Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage des briques. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides éventuellement présentes dans l'argile pouvant influencer négativement la structure du produit en terre cuite. Cette étape très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales ou à cylindres horizontaux. Enfin, l'argile contient également des débris organiques nuisibles à la qualité du produit fini, et qui ne peuvent être éliminés que par l'action bactériologique. A cette fin, l'argile est stockée quelque temps dans un lieu humide et sombre propice au développement de ces bactéries.

**d. Dosage et mélange :** Aujourd'hui, on ne fabrique plus les briques uniquement à partir des argiles locales, comme c'était le cas auparavant. Pour obtenir une qualité optimale de la matière première, divers types d'argile sont mélangés, toujours sous un contrôle permanent. On peut ainsi garantir la qualité constante des produits en terre cuite. Les adjuvants peuvent influencer les propriétés des produits finis. Ainsi, l'ajout de pigments peut en modifier la couleur; l'ajout de sciure de bois a une influence sur la porosité. La préparation de la matière première s'accompagne également d'ajout

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

d'eau ou de vapeur. L'ajout d'eau permet de garantir une mise en forme facile de l'argile, tandis que la vapeur augmente la plasticité de l'argile.

**e. Façonnage :** On distingue divers types de briques, en fonction de la manière dont elles sont mises en forme [35] :

- **Briques moulées main :** La méthode de moulage la plus ancienne est le façonnage à la main des briques. Le mouleur prend une certaine quantité d'argile, la jette dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter que la pâte n'adhère aux parois, presse convenablement la terre pour remplir le moule, arase l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue. Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile, évitant ainsi au mouleur de devoir exercer un effort trop important. Ceci a pour conséquence que la brique «moulée main» présente une surface irrégulière, caractérisée par des plissures.

- **Briques pressées :** Les briques moulées à la presse forment une catégorie à part. On introduit dans les moules de l'argile relativement sèche que l'on comprime vigoureusement pour lui donner la cohésion voulue. Ces produits présentent une surface grenue et une forme géométrique bien marquée.

- **Briques étirées :** Enfin, les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières. L'étireuse permet une production beaucoup plus rapide que n'importe quel autre procédé, et de plus, elle est parfaitement adaptée au façonnage de briques perforées. Ce mode de fabrication est également utilisé pour produire des briques de parement.

**f. Séchage :** Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau - du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles. Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation.

Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours). On utilise l'air chaud de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage, au moyen d'un système informatique réglé de façon très précise [35].

**g. Cuisson :** C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température

## Chapitre I : Synthèse Bibliographique

jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, en fonction du type d'argile); on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile se caractérise par sa propre «courbe de cuisson». On peut modifier l'atmosphère du four. La cuisson en oxydation (= avec apport d'oxygène) est la plus fréquente et produit la teinte «normale» Dans une atmosphère réductrice (= sans apport d'oxygène), on obtient des couleurs plus foncées. Une réduction partielle produit, quant à elle, des teintes fortement nuancées

Aujourd'hui, on utilise un four continu de type four tunnel. Dans celui-ci, le chargement de briques parcourt un tunnel rectiligne sur des wagonnets et passe successivement par les zones de «préchauffage», de «cuisson» et de «refroidissement». Dans la zone de préchauffage, les briques sont portées progressivement à température. Cet échauffement se fait grâce aux fumées émanant de la zone de cuisson du four. L'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée. A partir d'une température comprise entre 450°C et 600°C, on ralentit la montée en température des produit le «point de quartz»: il s'agit de la température à laquelle la structure cristalline du quartz est modifiée. A cette étape de la cuisson, les briques sont très sensibles à la formation de fissures. La cuisson des briques à proprement parler se fait environ à mi-parcours du four, à une température allant de 1000°C à 1200°C. Le frittage de l'argile se fait à cette température et se forme alors la structure définitive de la brique. Enfin, une troisième et dernière phase consiste à refroidir les briques. Cette opération doit s'effectue de façon très contrôlée pour éviter tout risque de fissuration [35].

**h. Emballage :** Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé [36].

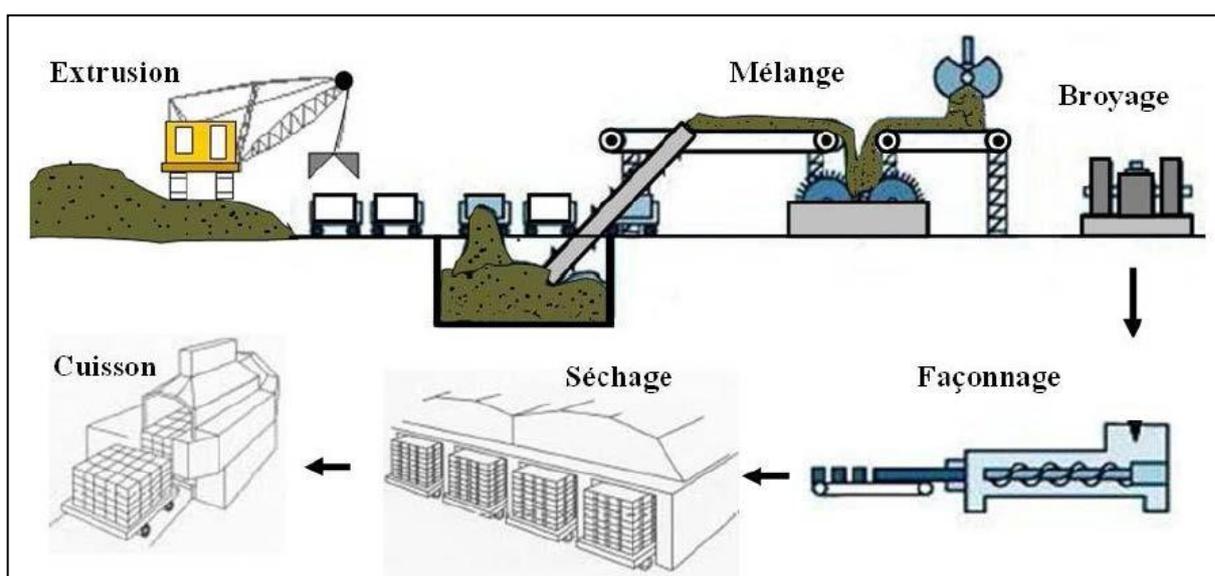


Figure I. 25: Procédé général de fabrication de la brique

## 7. 5. Les caractéristiques physico-chimiques de la brique

Selon les types d'argiles sont dans les briques cuites. Ils sont : les illitiques (couleur marron gris à rouge) les kaolinique et les bravaistiques (couleur orange à rose). Les éléments métalliques sont aussi trouvés dans la pâte argileuse. Ces éléments dits « réfractaires » le degré de fusion est très supérieur à celui de la température ( $800^{\circ}$  à  $1000^{\circ}$ ) des fours à brique : la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et de l'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Les déterminants de la couleur basique de la brique (les colorants) ce sont :

1. L'oxyde de fer.
2. L'oxyde de titane.
3. L'oxyde de manganèse.

Les fondants aussi ce sont à deux types :

1. Les oxydes alcalins (oxyde de sodium et potassium)
2. Les oxydes alcalino-terreux (chaux et magnésie)

Selon la composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence X [37]. Le tableau 3 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine.

**Tableau I. 3: Composition minéralogique de déchets de briques [37]**

Eléments	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P.F
Pourcentages %	6.06	66.52	14.20	5.45	2.35	0.73	2.09	0.73	/	1.00

## 7. 6. Valorisation des déchets de la brique

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchets de briques qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres. D'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique. Elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière [38]

**a. Réutilisation :** Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques

**b. Recyclage :** Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse.

La brique, peut être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de la construction textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de brique [38]

### 7. 7. Le déchet de brique rouge dans le béton

Les déchets de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

- 1- Structure pour semelles de fondation, parois de cave, éléments de construction au béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm<sup>2</sup>. Présentant une élasticité élevée à la pression et à la flexion composée, un faible coefficient de retrait, une faible conductibilité et dilatation bas.
- 2- Isolant poreux pour les parois. (Les parpaings et les carrelages avec des poids spécifique de 1000 à 1600 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg/cm<sup>2</sup>, une résistance à la traction de 5 à 10 kg/cm<sup>2</sup>, des coefficients de retrait 0.20 à 0.30mm, une faible conductibilité de la chaleur.
- 3- Mono granulométrique du groupe 1/3mm. Dont on peut produire des bétons poreux de déchet de brique rouge présentant une isolation thermique poussée.
- 4- Béton non armé (damé) nécessaires aux fondations massives, fondation de murs, et la fabrication du béton de remplissage.
- 5- Les relèvements de routes sur les ponts, avec une densité faible.
- 6- La construction d'assises routières, comme matériau de remblaiement, l'aménagement paysage.
- 7- Le béton à base de brique présente une bonne résistance au feu. Le béton classique en générale ne résiste pas à des températures supérieures à 300°C [38].

Les bétons réfractaires sont capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques qui sont utilisés pour la confection d'ouvrage à des températures élevées tels que : cheminées, revêtements des chaudières, de sols d'usines sidérurgiques, carreaux de cheminées. Et les sources des briqueteries indiquent que les déchets de brique trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles comme [37]:

- 1- Plates-formes en béton.
- 2- Chapes en mortier du ciment.
- 3- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.

- 4- Réfection de planchers anciens.
- 5- Béton réfractaire utilisé pour revêtement des wagons de brique [33]

### 7. 8. Propriétés des bétons des déchets de brique :

Les briques sont utilisées pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante. Et l'usage de briques comme déchet est d'intérêt particulier.

Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton du déchet de brique. Parmi les différentes propriétés, on peut citer :

- L'absorption déchet de brique est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, il faut saturer les déchets de brique avant tout mélange.
- La masse volumique apparente du béton de brique varie de 2000 à 2080 kg/cm<sup>3</sup>.
- L'ouvrabilité peut être appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams ou par essai VeBe .
- Il est nécessaire de procéder au maintien prolongé à l'état humide de tous les bétons de briques, pour empêcher le dessèchement des liants et la ségrégation de surface du béton.
- L'utilisation du déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 %.
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée.
- Le béton contenant des déchets de brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton [33]

# Chapitre I : Synthèse Bibliographique

---

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude bibliographique qui repose sur deux points: Premièrement, nous avons parlé généralement sur les mortiers, et sur la durabilité des bétons et mortiers et les divers aspects qu'ils connaissent dès la mise en œuvre, ces bétons sont influencés par les effets physiques et chimiques liés à la composition du béton ou à son environnement (carbonatation du béton, attaque par les sulfates sur durabilité de ces bétons).

Deuxièmement, nous avons parlé de la valorisation de sable de dune qui présente des caractéristiques chimiques et physiques utilisables en construction, et de la valorisation des déchets industriels et leurs atteintes à l'environnement, et le recyclage. Ensuite, nous avons parlé des déchets de plastique PET, et leurs caractéristiques et de la manière de les recycler. Et aussi, nous avons parlé des déchets de brique, et leurs caractéristiques et de la manière de les recycler.

## **Chapitre II : Caracterisation des Materiaux**

### Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques des matériaux utilisés dans la fabrication des différents mélanges de béton et mortier. Toutes les études de formulation de béton sont basées sur la connaissance des différentes propriétés de tous les composants du mélange afin de fournir les meilleures performances. Les essais effectués sur ces matériaux sont réalisés au niveau des laboratoires des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD).

Les matières utilisées dans cette recherche est sable de dune, ciment, l'eau et Déchets industrielles (déchets plastique PET et déchets brique)

### 1. Caractérisation des matières utilisées

#### 1. 1. Le sable :

Le sable utilisée dans cette recherche expérimentale est **sable de dune de la Wilayat de Manea'a**



Figure II. 1: Sable de dune utilisée

#### 1. 2. Analyse granulométrique NF P18-560

Analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

#### 1. 3. Module de finesse [NF EN 12620]

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

(0.075, 0.150, 0.300, 0.600, 1.250, 2.500, 5.000, 10.000, 20.000, 40.000, 80.000 et 150.000  $\mu$ m) ce module est donné par la formule suivante :

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux

$$MF = \frac{\sum \text{Refus cumulé en}\%}{100}$$

MF=0.87

A partir de ces résultats on peut déduire que le sable de dune est constitué essentiellement de Grains très fins.



Figure II. 2: Les tamis que nous utilise dans cette essai

Tableau II. 1: Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires

$\Phi$ Tamis (mm)	Sable de dunes (%)
1	100
0.63	100
0.500	99.30
0.315	85.49
0.250	68.97
0.160	27.38
0.125	12.38
0.080	3.79

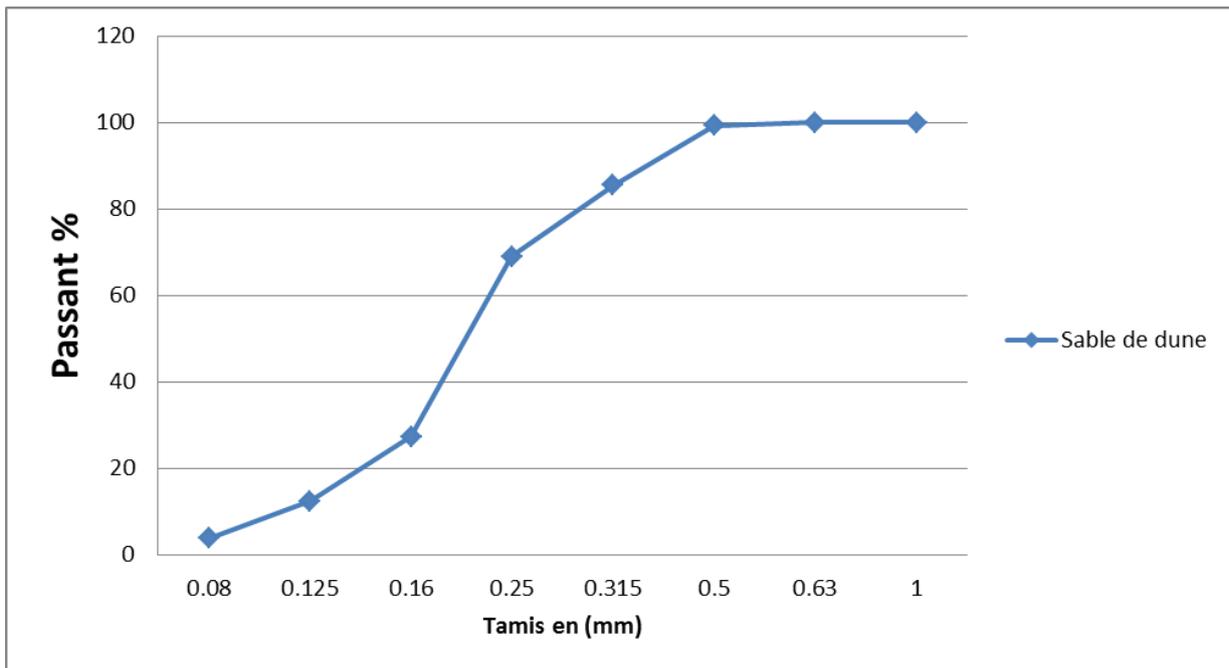


Figure II. 3: Courbe granulométrique de sable de dune utilise

### 1. 4. Equivalent de sable

Équivalent de sable est un indicateur caractérisant la propreté d'un sable .il indique la teneur globale en fines, qui est un paramètre important dans de composition des bétons.

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

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

$$ES = \frac{H2}{H1} \times 100$$

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- Hauteur h2 : sable propre seulement

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux



Figure II. 4: Essai d'équivalent de sable de dune utilise

Tableau II. 2: Nature et qualité du sable.

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

Tableau II. 3: Résulta d'essai Equivalent de sable

Paramètre	Unité	Essai 1	Essai 2
H1	CM	10.8	10.6
H2	CM	7.7	8
ES	%	71.29	75.47
ES moyen	%	73.38	

On peut en déduire que le sable de dune que nous utilisons est Sable propre, à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

1 Masse volumique :

- **Masse volumique apparente norme (NFP 94-064)** : C'est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La formule suivant :

$$Ya = \frac{M}{Va}$$

**Ya (g/cm<sup>3</sup>):** La masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)

## Chapitre II : Caractérisation Des Matériaux

**M:** La masse de l'échantillon(g)

**Va :** Le volume absolu de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).

### 1. 5. Masse volumique absolue :

C'est essay définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

La formule suivant :

$$Y_s = \frac{M}{V_s}$$

**Ys (g/cm<sup>3</sup>):** La masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)

**M :** La masse de l'échantillon(g)

**Vs :** Le volume absolu de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).

Les résultats se résumant dans le tableau suivant pour le sable utilisé :

**Tableau II. 4: Masse volumique absolue et apparente des sables utilisés**

Type d'agrégats	Ya (g/cm <sup>3</sup> )	Ys (g/cm <sup>3</sup> )
Sable de dune	1.54	2.61

### 1. 6. Analyse chimique de sable de dune [ENP15 – 461] :

D'après, l'analyse chimique sommaire réalisée au LTPS de Ghardaïa nous constatons la dominance des de Sable. L'analyse consiste à déterminer le taux des composants suivants :

- Les insolubles.
- Les sulfates CaSO<sub>4</sub>.
- Les carbonates CaCO<sub>3</sub>.

**Tableau II. 5: Analyse chimique de Sable de d une**

Echantillon	Sable de dune
Insoluble	98.2
Sulfates (SO <sub>3</sub> )	00
Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )	00

### 1. 7. Essai de valeur de Blue bleu méthylène NF p 94 – 068 novembre 1993 :

L'essai au bleu de méthylène dit à **LA TACHE** permet la détermination de l'activité et de la quantité de la fraction argileuse contenue dans un sol ou un matériau rocheux. C'est l'un des paramètres d'identification sur lequel s'appuie la classification des sols décrite dans la norme. La présente norme d'essai de détermination de la valeur de bleu de méthylène s'applique à tous les sols et matériaux rocheux.

**Mode opératoire :** Le test consiste à imbiber 200 grammes de sol dans 500 cm<sup>3</sup> d'eau distillée :

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux

Cette solution est ensuite agitée pendant cinq minutes et on injecte des doses successives bien déterminées de bleu de méthylène de 5 cm<sup>3</sup> dans la suspension de sol jusqu'à atteindre la saturation des particules d'argiles. Au bout d'une minute, une goutte de solution est prélevée et déposée sur un papier filtre. Une auréole incolore indique que tout le bleu injecté a été adsorbé et une auréole bleue, que nous avons atteint le degré de saturation d'adsorption.

$$VBS = 100 \times \frac{B \times C}{M_s}$$

Où :

- B : Masse du bleu introduite (g).
- Ms : Masse de l'échantillon à l'état sec.
- C : concentration de la solution du bleu (0,1g/l).

Tableau II. 6: Valeur du bleu de méthylène

Echantillon	Valeur du Bleu VBS (g/ml)
Sable de dune	0.03

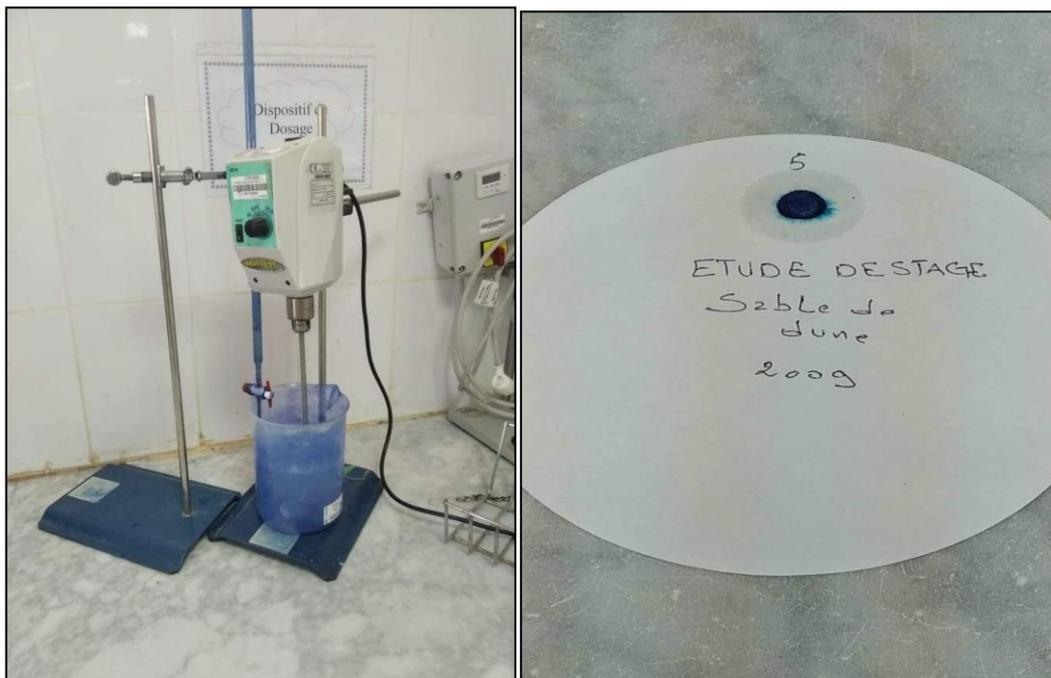


Figure II. 5: Auréoles bleues sur papier filtre (taches).

## 2. Déchet de Brique

### 2. 1. La méthode utilisée de recyclage le déchet de brique

**a. La collecte des déchets de briques :** Nous collectons les déchets de briques impropres et cassées dans les usines de fabrication de briques, car il est normal que lors de la fabrication de superbes briques, il y ait de gros déchets dans chaque processus de fabrication, et nous collectons également les déchets de briques des gravats des maisons démolies.



**Figure II. 6: Déchets de briques**

**b. Concassage de déchets de brique:**

1. Après de collecte, nous mettons les chutes de briques dans la machine de concassage de pierre (concasseur) et nous obtenons de petits granules des briques.



**Figure II. 7: Machine concassage**

2. après l'avoir écrasé dans la machine concasseur, nous l'écrasons également et le broyons dans une machine Los Angeles.



**Figure II. 8: Machine de los Angeles**



**Figure II. 9: Les granules des briques que nous avons obtenus De la machine los Angeles**

3. Après l'avoir broyé dans une machine Los Angeles, on le tamise pour obtenir une poudre de brique



**Figure II. 10: Tamisage de Les granules des briques que nous avons obtenus De la machine**

4. Dernier Etape de craquage a lieu dans une machine micro-Duval.où nous avons mis la poudre de brique obtenue après tamisage dans la machine micro-Duval et mis 2 kilogrammes Des briques avec 500 grammes de granulés de fer, Puis il tourne 2000 tours.



**Figure II. 11: Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer**



**Figure II. 12: Machine micro-Duval**

Et enfin, nous obtenons de la poudre et des granulés très fins à partir de brique d'argile hétérogène, le deuxième variant c'est le déchet de brique rouge, le broyage de brique faite au niveau du laboratoire MDC de l'université de Ghardaïa par le broyeur. La figure représente la brique utilisée.



**Figure II. 13: Le déchet brique utilisée**

## Chapitre II : Caractérisation Des Matériaux

### 2. 2. Masse volumique de déchets de brique

Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD). Les résultats se résument dans le tableau suivant:

**Tableau II. 7: Caractéristiques physiques du déchet de brique**

Type d'agrégats	Ya (g/cm <sup>3</sup> )	Ys (g/cm <sup>3</sup> )
Déchet de brique	0.97	2.47

### 2. 3. Analyse granulométrique par tamisage NF P 94-056

L'analyse granulométrique est la mesure de la taille des particules solides primaires provenant du sol et des sédiments. Les différentes tailles de particules sont déterminées soit par leur capacité à passer à travers différents tamis à mailles, soit par leur taux de sédimentation dans l'eau. Les tailles sont généralement représentées par les poids relatifs des particules dans les classes indiquées. Les limites de ces classes diffèrent selon les divers systèmes de classification couramment utilisés. D'analyse granulométrique par tamisage au moyen de tamis à mailles carrées de dimension inférieure ou égale à 100 m s'applique aux sols, aux matériaux rocheux.

### 2. 4. Essai sédimentométrique NFP 94-057

Pour les particules de taille inférieure à 80 micromètres, l'analyse granulométrique est faite par la méthode par sédimentation). C'est essai s'applique à la description des sols en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométriques et à la vérification de conditions granulométriques imposées. L'essai contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau des matériaux ainsi que leur aptitude au l'analyse consiste à mesurer la sédimentation des particules au cours du temps au sein d'un cylindre gradué. Les lectures sont effectuées à l'aide d'un densimètre spécifique.



**Figure II. 14: L'essai sédimentométrique**

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux

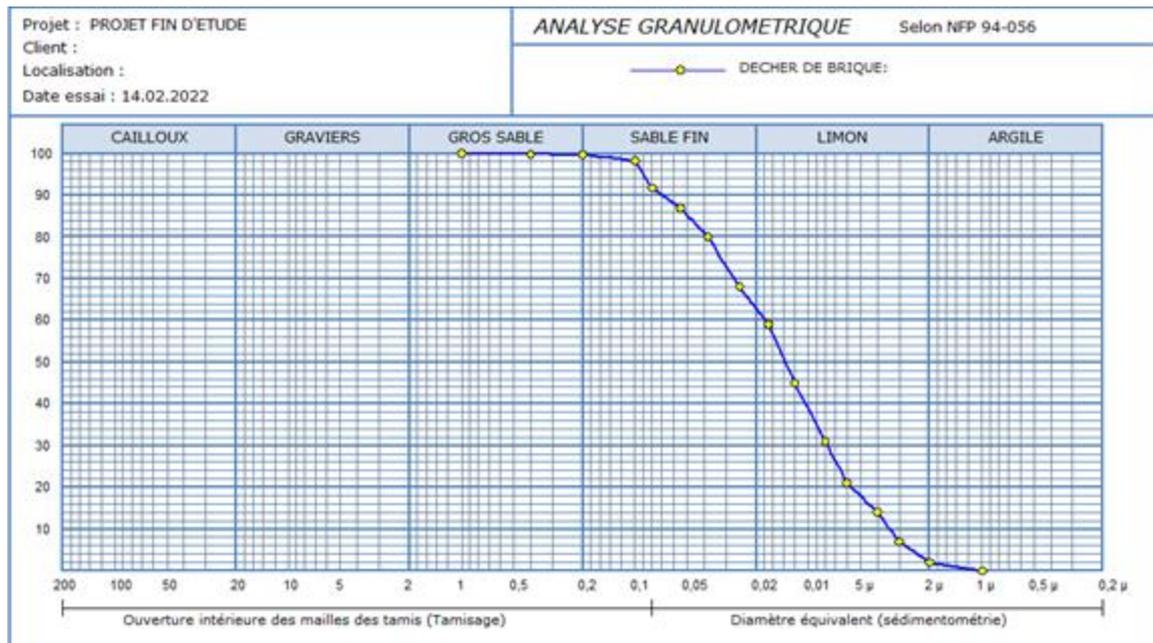


Figure II. 15: Courbe de sédimentométrie de déchet de brique utilisée.

### 2. 5. Analyse chimique de Brique :

Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD). Les résultats se résument dans le tableau suivant:

Tableau II. 8: Analyse chimique de déchet de brique

Echantillon	déchet de brique
Insolubles	77.4
Sulfates (SO <sub>3</sub> )	1.20
Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )	03



Figure II. 16: Essai d'analyse chimique de sable de dune et déchet de brique

## Chapitre II : Caractérisation Des Matériaux

### 3. Déchet de plastique PET :

Le polymère utilisé dans cette étude, est le poly téréphtalate d'éthylène connus sous le nom Commercial PET. Il s'agit d'un déchet ramené de l'usine AMMOURI situé dans la région ouest de Laghouat. Ce PET est obtenu par le broyage très fin des ceintures de sertissage. Il possède une température de fusion d'environ 248 °C. Dans ce document, les déchets plastique PET que nous utilisons :

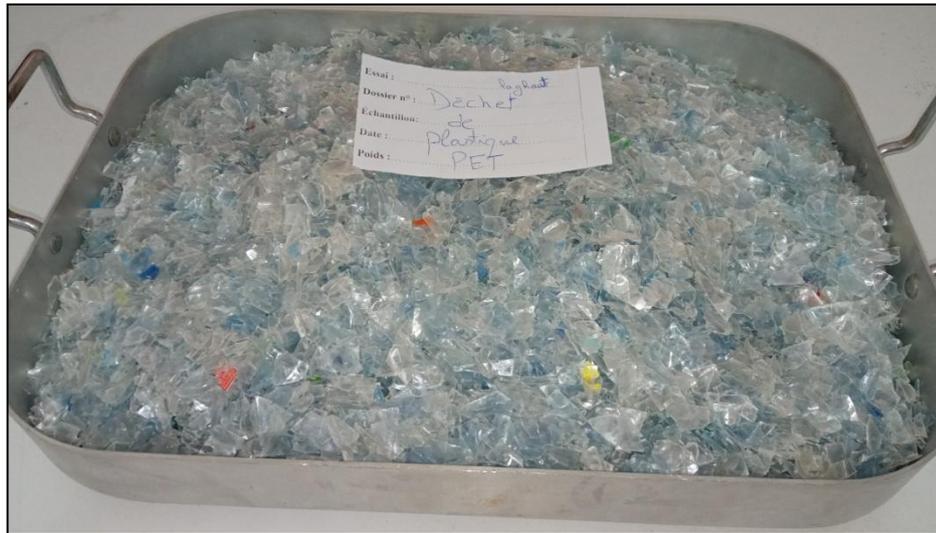


Figure II. 17: Déchet plastique PET utilisée

#### 3. 1. Masse volumique apparente de PET :

Cette essai de caractérisation PET est réalisé au Laboratoire de Génie Civil de l'Université de Ghardaïa. Le résultat dans le tableau suivant :

Tableau II. 9: La masse volumique apparente de PET

Type d'agrégats	Ya (g/cm <sup>3</sup> )
Déchet de plastique PET	0.27



Figure II. 18: Essai de masse volumique apparent de PET

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux

### 3. 2. Ciment :

Le ciment utilisé dans cet étude est un ciment résistance aux sulfates MOKAOUEM PLUS CPA CEM I/42.5 ", cette Ciment provenant de la cimenterie de LAFARJ qu'il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2013) et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%. (cf. fiche technique Annexe A)



Figure II. 19: Ciment utilisée CEM I/42.5

### 3. 3. Eau de gâchage :

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

Tableau II. 10: Composition chimique de l'eau de gâchage

Composition	
Tur	0.840
Cond	2070
Sol	1.1
TDS	1178
TC° (25°c)	20.4
PH ( $\geq 6.5 \leq 9$ )	7.34
TH (mg/l)	772
TAC (mg/l)	273.28
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	176.352
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	80.672
Cl-(mg/l)	385.728
No <sup>3-</sup> (mg/l)	21.28
Fe <sup>2+</sup> (mg/l)	0.034
Hco <sup>3-</sup> (mg/l)	183
K+ (mg/l)	14.54
Na+ (mg/l)	190
So <sup>4-2</sup> (mg/l)	455.585
R.S(mg/l)	2125

## Chapitre II : Caracterisation Des Materiaux

---

### Conclusion :

Dans ce chapitre, on a fait plusieurs expérimentations sur différents matériaux, par différentes méthodes des essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant de la durabilité. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

## **Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux**

# Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

## Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter comment mélanger les mortiers et impliquer l'ajout de déchet de plastique et de déchet de briques en pourcentages croissants, Le but de ce travail expérimental est d'étudier les propriétés du mortier, à savoir la variations dimensionnelles des éprouvettes et durabilité d'attaque chimique par l'acide de sulfarique 5% $H_2SO_4$ .

### 1. Détermination de la composition du mortier

Les mortiers contiennent des liants, des granulats et de l'eau, des adjuvants aussi être ajoutés. Les éléments de maçonnerie feront aussi l'objet de notre documentation, puisqu'il est essentiel, dans la composition du mortier, de tenir compte de l'effet de la maçonnerie sur les propriétés des mortiers. Dans ce projet en étudié le mortier a base sable dune et déchet industriel (déchet de brique (5% 10%) et déchet de plastique (5% 10% 15% 20% PET) avec 55% le rapport E/C.

**- Formulation du mortier normalise :** La formulation des mortiers normalisées pour 3 éprouvettes confectionnés est représenté : Pour le mortier de référence, on l'a formulé à l'aide de la composition suivante: une gâchée pour trois éprouvettes doit être constituée de (450±2)g de ciment, (1350±5)g de sable et (225±1)g d'eau. Les quantités correspondant aux constituants entrant dans la confection du mortier normalisé de toutes les variantes pour un moule de (40×40×160) mm.

### 2. Les compositions étudiées dans cette étude

#### 2. 1. Composition du mortier témoin

Tableau III. 1: La composition du mortier de témoin

E/C	Eau (g/cm3)	Sable (g/cm3)	Ciment (g/cm3)
55%	247.5	1350	450

#### 2. 2. Composition du mortier de déchet de brique

Pour la valorisation de déchets et exploitation dans les marteaux de construction. Dans cette étude on a utilisé une méthode empirique pour la formulation des mortiers, cette méthode est basée sur (55%) le rapport E/C avec Les déchet de brique sont introduits avec les différents pourcentages en masse suivantes : 5 % et 10% de la quantité de ciment. Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

Tableau III. 2: Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de brique.

Matériaux	Sable (g/cm3)	Ciment(g/cm3)	Brique (g/cm3)	Eau (g/cm3)
5% brique	1350	427.5	22.5	247.5
10% brique	1350	405	45	247.5

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

### 2. 3. Composition du mortier de déchet de plastique PET

Dans cette étude on a utilisé une méthode empirique pour la formulation des mortiers, cette méthode est basée sur 55% le rapport E/C avec Les déchet de plastique PET sont introduits avec les différents pourcentages en masse suivantes : 5 %, 10%, 15% et 20 % de la quantité de sable de dune. Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

**Tableau III. 3: Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de plastique PET.**

Matériaux	Sable (g/cm <sup>3</sup> )	PET (g/cm <sup>3</sup> )	Ciment(g/cm <sup>3</sup> )	Eau (g/cm <sup>3</sup> )
5 % PET	1282.5	67.5	450	247.5
10 % PET	1215	135	450	247.5
15 % PET	1147.5	202.5	450	247.5
20 % PET	1080	270	450	247.5

### 2. 4. Composition du mortier de déchet de brique et déchet de plastique PET

On a utilisé dans cette étude une méthode empirique pour la formulation des mortiers, cette méthode aussi est basée sur variation le rapport E/C (55%) avec Les déchet de brique sont (5% et 10 %) de la quantité de ciment; avec le déchet de plastique introduits avec les différents pourcentages en la masse de PET suivantes : 5%.10% .15% .20% de la quantité de sable de dune. Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

**Tableau III. 4: Compositions des mortiers pour 5% de déchet de brique.**

Matériaux	Sable(g/cm <sup>3</sup> )	PET(g/cm <sup>3</sup> )	Ciment(g/cm <sup>3</sup> )	Brique(g/cm <sup>3</sup> )	Eau(g/cm <sup>3</sup> )
5 % PET	1282.5	67.5	427.5	22.5	247.5
10 %PET	1215	135	427.5	22.5	247.5
15% PET	1147.5	202.5	427.5	22.5	247.5
20% PET	1080	270	427.5	22.5	247.5

**Tableau III. 5: Compositions des mortiers pour 10% de déchet de brique.**

Matériaux	Sable(g/cm <sup>3</sup> )	PET(g/cm <sup>3</sup> )	Ciment(g/cm <sup>3</sup> )	Brique(g/cm <sup>3</sup> )	Eau(g/cm <sup>3</sup> )
5 % PET	1282.5	67.5	405	45	247.5
10 % PET	1215	135	405	45	247.5
15% PET	1147.5	202.5	405	45	247.5
20% PET	1080	270	405	45	247.5

### 3. Mode de préparation des échantillons

#### 3. 1. Confections des mortiers

Pour la confection des mortiers, il faut préparer le matériel ainsi que les matériaux nécessaires. Pour uniformiser les essais, nous avons décidé de travailler avec du sable sec. Il a donc fallu mettre en étuve le sable de dune pendant au moins 24 heure à 105°C. Après séchage, faire en sorte que le sable soit ramené à la température ambiante et les mettre dans des sacs étanche afin d'éviter que le sable reprenne de l'humidité. Pour les deux programmes expérimentaux la première étape consiste à chaque fois en la préparation du matériel nécessaire et des matériaux à utiliser en des quantités suffisantes.

#### 3. 2. Préparation de la gâchée

Pour la préparation des mortiers on a à chaque fois répété le protocole suivant :

1. Huiler l'intérieur des moules d'une légère couche pour faciliter le démoulage. Une attention particulière doit être donnée à la couche d'huile à mettre, car une présence trop prononcé d'huile peut affecter le mélange de mortier en s'infiltrant dans le mélange.
2. Préparer tout le matériel et matériau nécessaire pour la confection des mortiers. Préparer les pesées des matériaux à utilisés (sable de dune, ciment, eau, déchet de plastique PET, déchet de brique).

#### 3. 3. Le malaxage

Le malaxage joue un rôle précieux dans la fabrication des mortiers, nous mélangeons comme suit :

- Le mélange eau et (ciment +déchet de brique) est mélangé pendant 30 secondes à vitesse lente à l'aide d'un Malaxeur à mortier normalisé.
- Le mélange (sable de dune +PET) bien homogénéisé est ensuite introduit graduellement pendant 30 secondes.
- on reprend le malaxage pendant 30 seconde a vitesse rapide puis un arrêt pour racler les parois et le fond de la cuve pendant 15 Secondes.
- On reprend ensuite le malaxage pendant 1 minute et 30 secondes à vitesse lente puis 02 minute à vitesse rapide afin d'homogène la pâte.
- La mise en moule doit se faire immédiatement après l'essai de maniabilité dans notre cas dans des moules normalisés .

Le malaxage de nos mortiers a été réalisé avec un malaxeur de laboratoire pour mortier à axe vertical, constitué d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses lente et rapide, de capacité de 5 litres.



Figure III. 1: Malaxeur normalisé pour pâte et mortier (Labo-LTPS)

### 3. 4. Moulage des éprouvettes

Nous avons moulé les éprouvettes immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement fixés sur la table à chocs, introduire, à l'aide d'une cuiller appropriée, en une ou plusieurs fois, la première des deux couches de mortier dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage. Nous Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule , tenu presque verticalement, avec ses épaulements en contact avec la partie supérieure de la hausse, et mue en avant et en arrière, une fois, sur toute la longueur de chaque compartiment du moule. Ensuite, nous serrer la première couche de mortier par 60 chocs de l'appareil à chocs. Et nous Introduire la seconde couche de mortier, en veillant à assurer un surplus, niveler à l'aide de la petite spatule et serrer à nouveau par 60 chocs. Nous retirons doucement le moule de la table a chocs et ôter la hausse. Retirer immédiatement l'excédent de mortier du moule pour faciliter le retrait des éprouvettes après séchage.



Figure III. 2: Appareil à chocs.



Figure III. 3: Moule normalisé de 40x40x160 mm

### 3. 5. Démoulage des éprouvettes

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



Figure III. 4: Conservation des éprouvettes dans la chambre l'humidité

## 4. Essais expérimentaux effectués

### 4. 1. Variations dimensionnelles

Ce essai correspond à des variations dimensionnelles de mortier , mettant en jeu des phénomènes hydriques, thermiques, ou mécaniques, à diverses échéances et qui peuvent provoquer l'apparition de fissures. Dans cette essai utilisée le pied colleuse pour les mesure les dimensions des éprouvettes des mortiers aves 5% et10 % de dechets de brique et 5% ,10% ,15% et 20% de dechets de plastique PET .



Figure III. 5: Pied colleuse utilisée

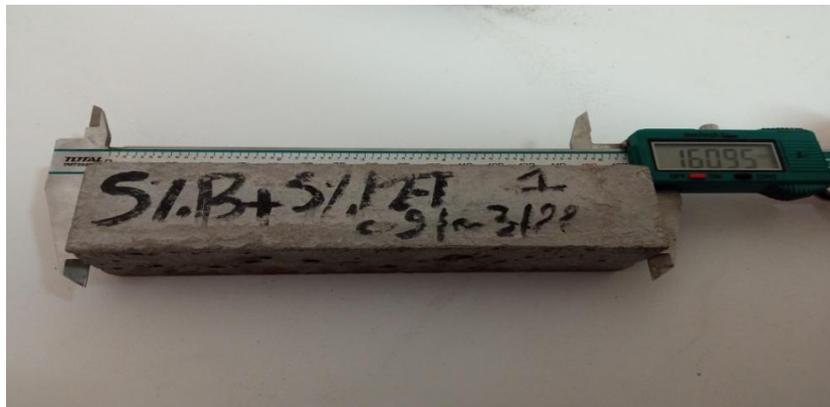


Figure III. 6: Mesure de dimension des eprouvettes par pied colleuse

### 4. 2. Les Milieux agressifs

Après 28 jours, nous immergeons 15 éprouvettes de mortier après cisaillement dans une solution chimique : 5% d'acide sulfurique  $H_2SO_4$  a duré 8, 22,29 jours avec changement de solution toutes les semaines

### 4. 3. Préparation des attaques chimiques

**L'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) :** L'acide sulfurique, appelé jadis huile de vitriol ou vitriol fumant, est un composé chimique de formule  $H_2SO_4$ . C'est un acide minéral dont la force ( $PK_a = -3$ ) est seulement dépassée par quelques super acides. Il est miscible à l'eau en toutes proportions, où il se dissocie en libérant des cations hydronium :

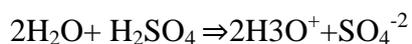


Tableau III. 6: Concentration des solutions.

Solution	Concentration(%)	Quantité	Observation
$H_2SO_4$	5	3600ml/10 L	Acide fort

### Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux



Figure III. 7: Les éprouvettes dans l'eau H<sub>2</sub>O témoin



Figure III. 8: Les éprouvettes un jour dans 5% acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Figure III. 9: Les éprouvettes après 8 jours dans 5% acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Figure III. 10: Les éprouvettes après nettoyage (8 jours dans l'acide  $H_2SO_4$ )

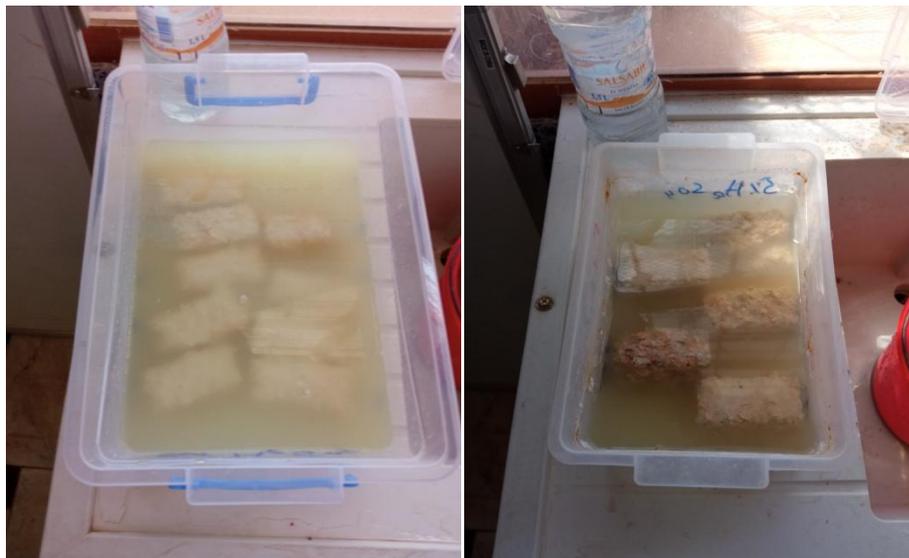


Figure III. 11: Les éprouvettes après 22 jours dans acide  $H_2SO_4$



Figure III. 12: Les éprouvettes nettoyées après 22 jours



Figure III. 13: Les eprouvettes après 29 jours dans H2SO4



Figure III. 14: Les eprouvettes on 29 jours netoyée

#### 4. 4. Essai sur les mortiers

Les essais durabilités ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (40x 40 x 160) mm sont utilisés pour caractériser les mortiers à différentes échéances:

1. Essai de variations dimensionelles des éprouvettes des mortiers
2. Essai de la perte de masse

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

### 4. 5. Variations dimensionnelles

De cette essai est réalisé par mesures de dimensions des éprouvettes 4x4x16cm sont testé à 15, 30,60jours.

Par la formule suivent :

$$VD = \frac{\Delta L}{L_i} = \frac{(L_f - l_i)}{L_i}$$

$L_i$ = longueur inisiel de mortier

$L_f$ = longueur finale de mortier

### 4. 6. Essai de la perte de masse

Les mesures de la perte de masse sont réalisés par les pesées des éprouvettes 4x4x8cm dans le but de suivre l 'évolution des échanges hydriques et chimiques entre les éprouvettes et le milieu de conservation sont testé à 8, 22,29jours.évalué par la formule :

$$\text{Perte de masse (\%)} = \left[ \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \right] \times 100$$

Avec  $M_1$ ,  $M_2$  les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

## 5. Les résultats

### 5. 1. Variations dimensionnelles

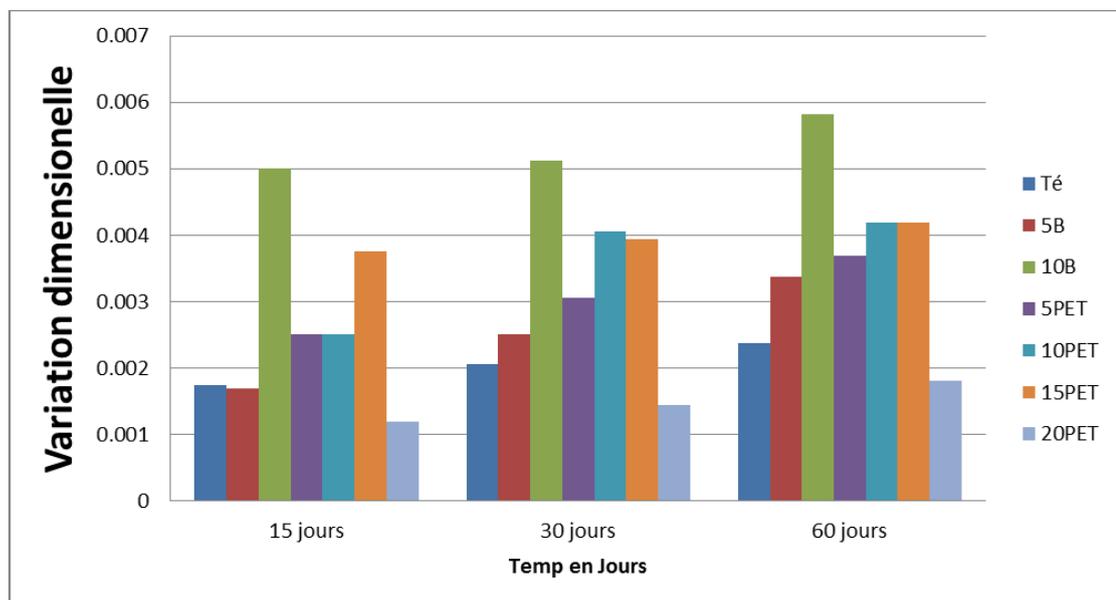


Figure III. 15: Variation dimensionnelle des éprouvettes en fonction du temps de pourcentage de déchet de brique et dechets de plastique PET.

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

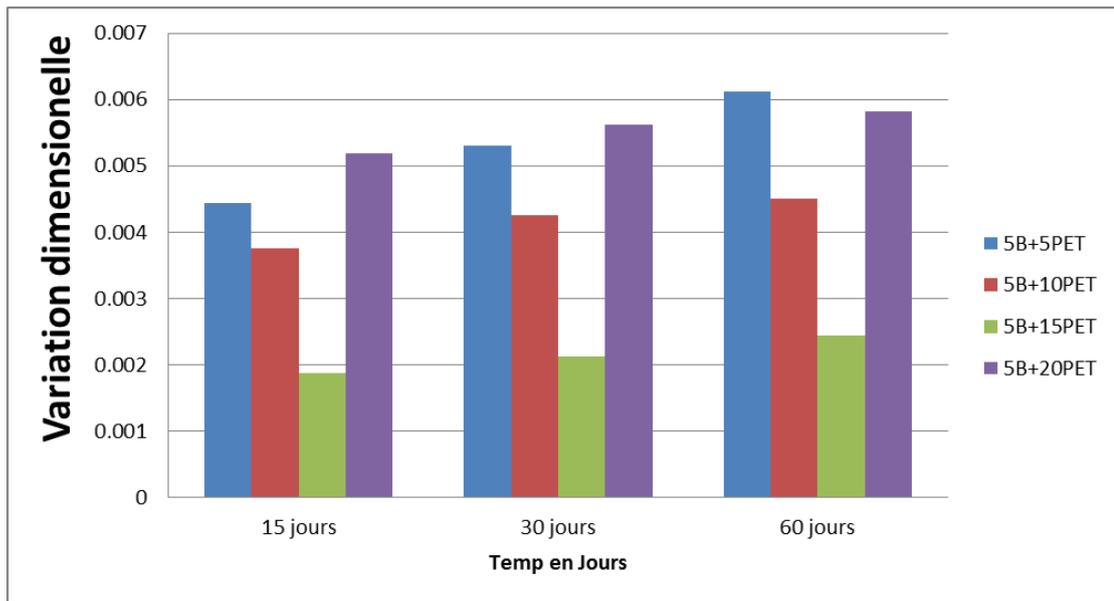


Figure III. 16: Variation dimensionnelle des éprouvettes en fonction du temps de 10%B et pourcentage de déchets de plastique PET .

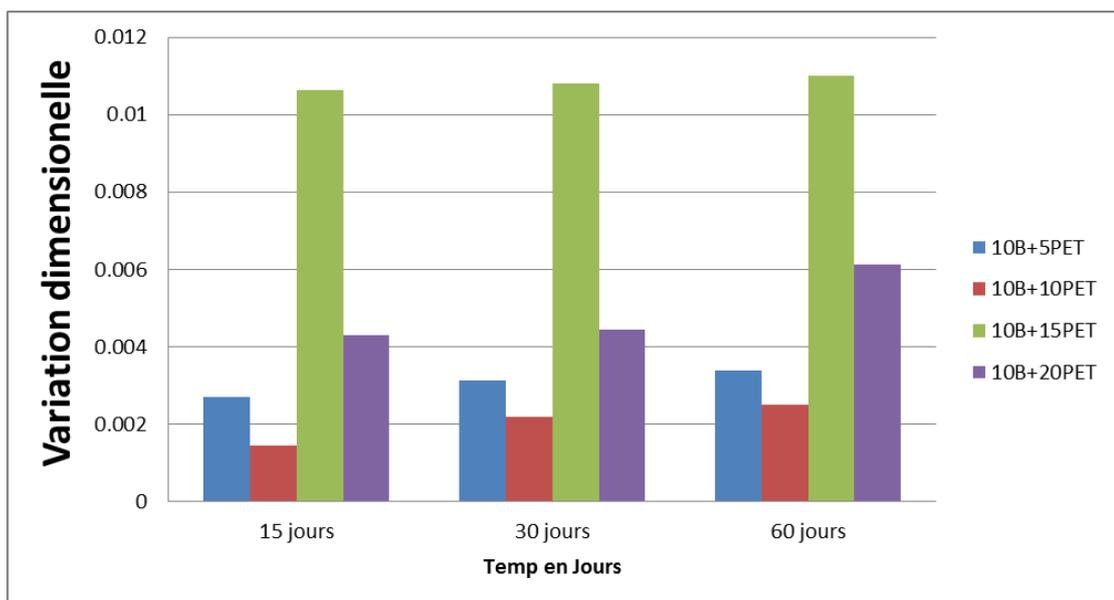


Figure III. 17: Variation dimensionnelle des éprouvettes en fonction du temps de 10%B et pourcentage de déchets de plastique PET.

### Remarque :

D'après le graphique, nous remarquons que les dimensions des éprouvettes des mortier (55% E/C) et 5 et 10% de déchets de brique et (5, 10, 15, 20%) de déchets plastique PET est stable par rapporte des jours .aussi les mortiers de procentage de dechets de brique avec les procentage de dechets de plastique PET est stable.

## 6. Attaque chimique

### 6. 1. Pert de masse d'eau (témoin)

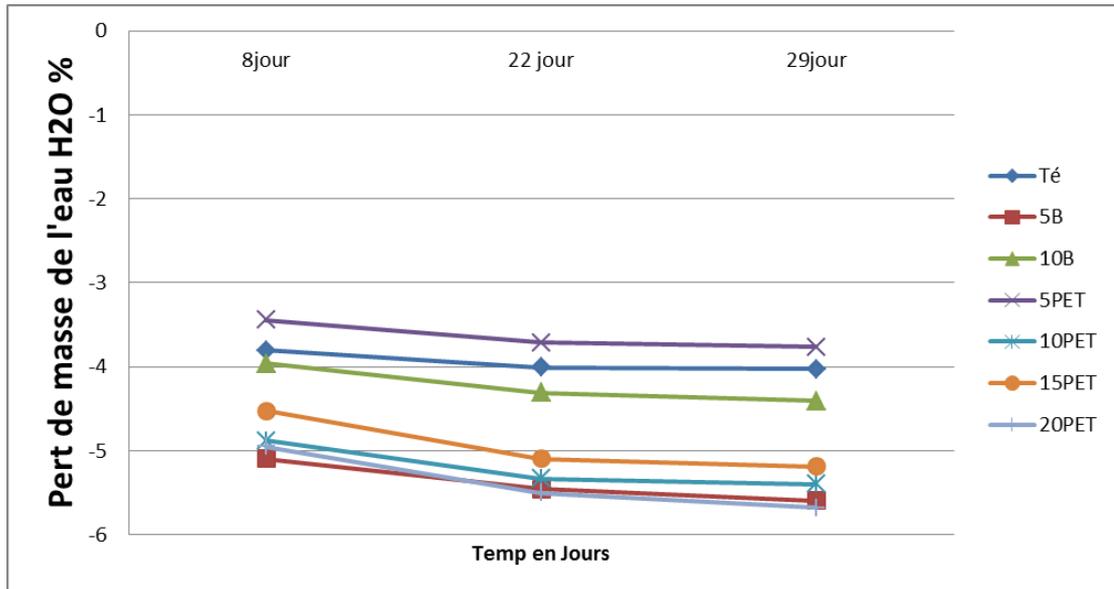


Figure III. 18: Perte de masse des éprouvettes d'eau H2O référence (témoin) de pourcentage de déchet de brique et déchets de plastique PET.

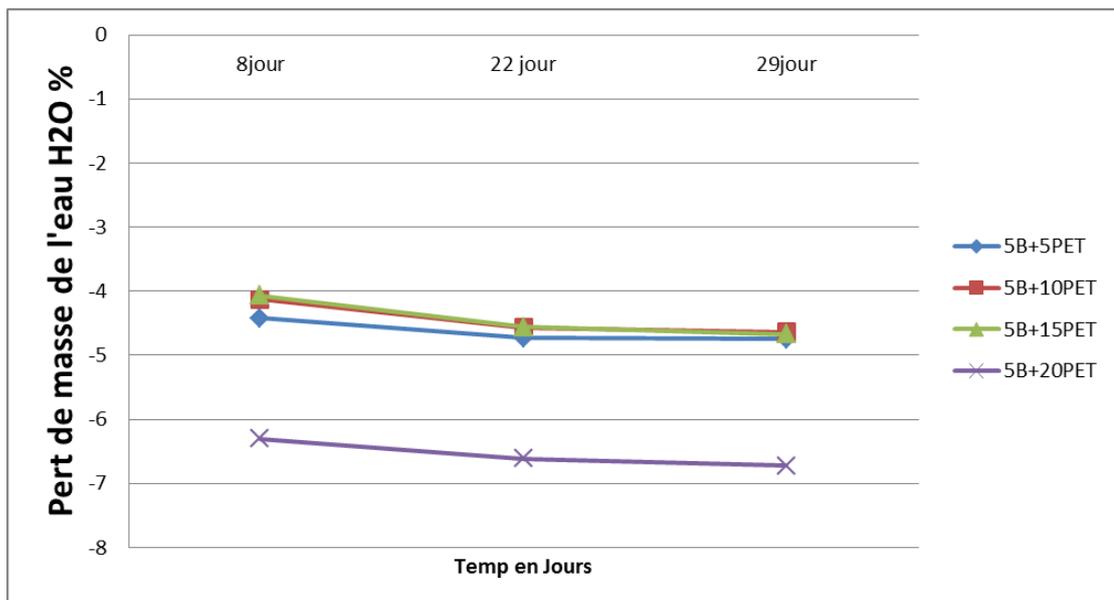


Figure III. 19: Perte de masse des éprouvettes d'eau H2O référence (témoin) de 5% B et pourcentage de déchets de plastique PET

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

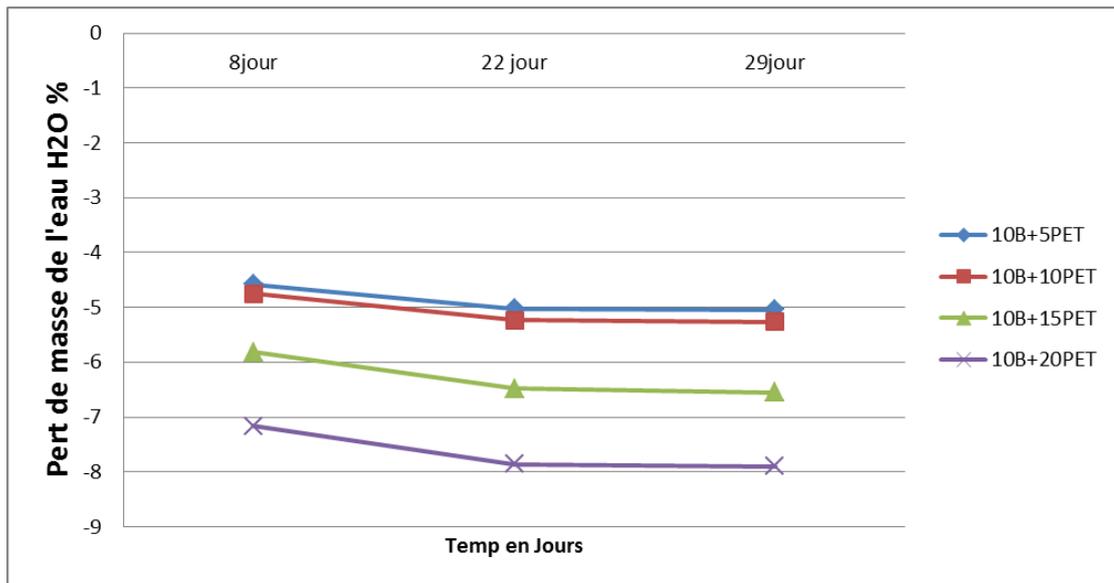


Figure III. 20: Perte de masse des éprouvettes d'eau H<sub>2</sub>O référence (témoin) de 10% B et pourcentage de déchets de plastique PET.

**Remarque :** Nous notons dans le graphique que perte de masse des éprouvettes dans l'eau (témoin) est stable par rapporte les jours.

### 6. 2. Perte de masse d'acide sulfatique 5 %H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

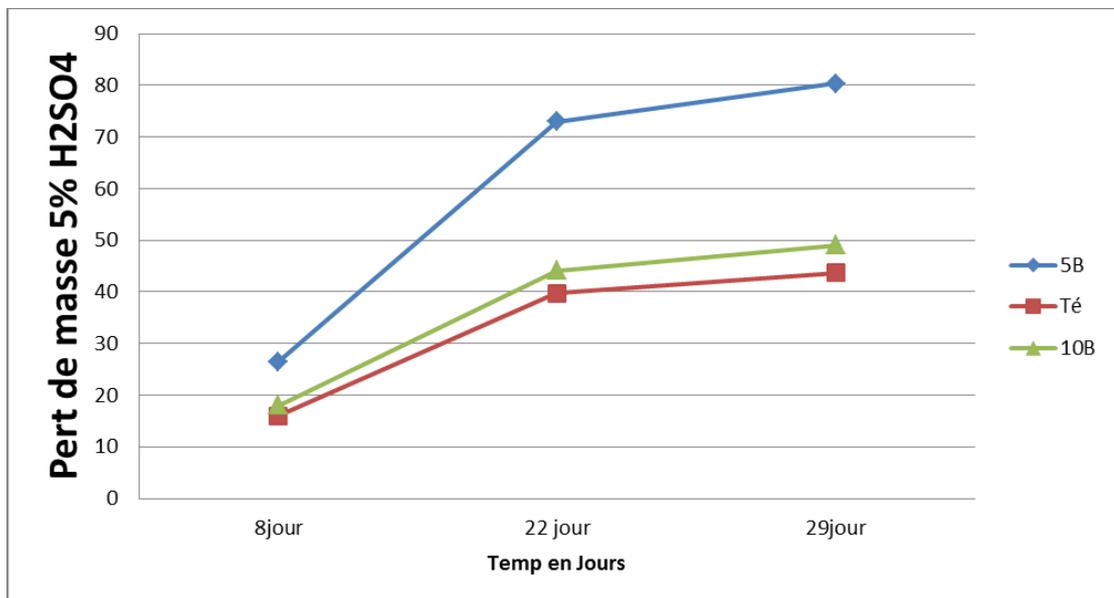


Figure III. 21: Perte de masse des éprouvettes de 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et de pourcentage de déchet de brique

**Remarque :**

D'après le graphique, nous remarquons que le 10 % de déchets de brique que donné une bonne durabilité dans acide de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> meilleur que le mortier normale Té (0.55 E/C). Quant le 5% de déchet de brique , li ont donne une faible durabilité, et cela pourrait etre du aux obstactets que nous avans rencontrés lors du mélange ou des vibration.

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

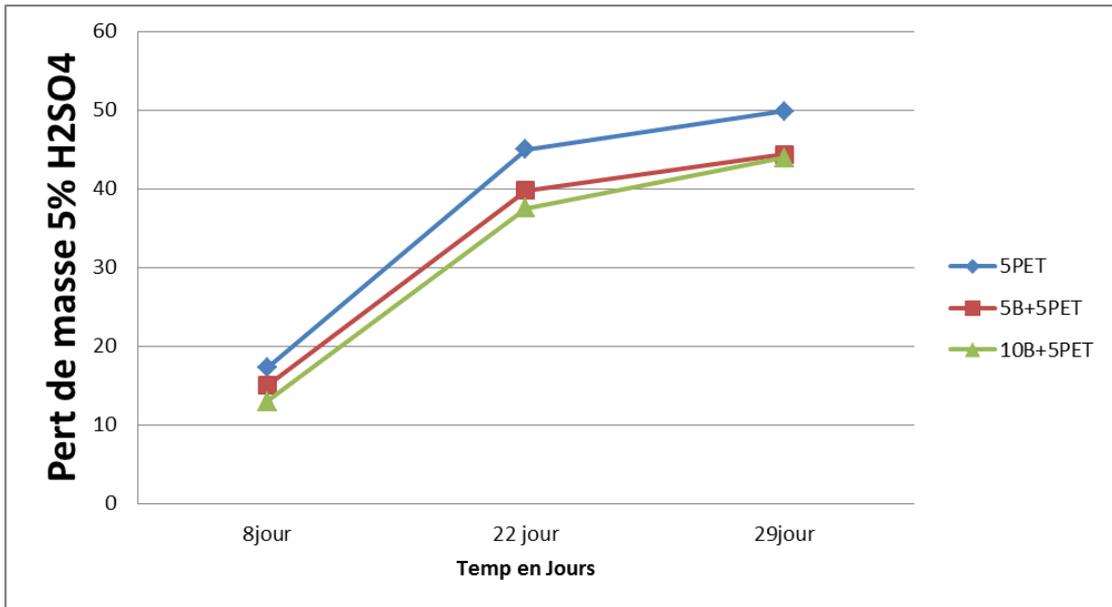


Figure III. 22: Perte de masse des éprouvettes de 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 5PET et de pourcentage de déchet de brique .

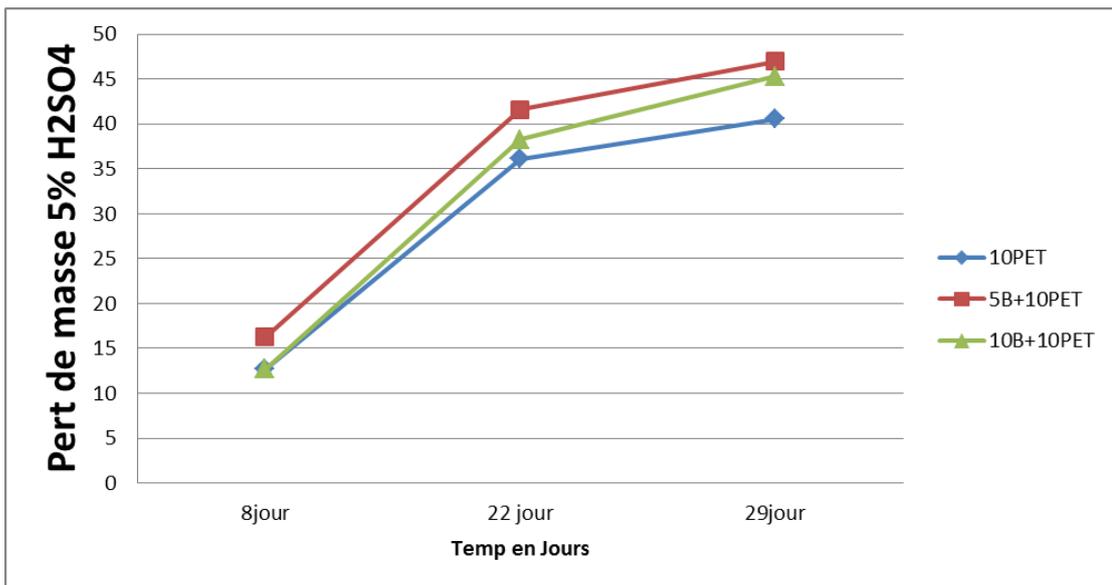


Figure III. 23: Perte de masse des éprouvettes de 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 10PET et de pourcentage de déchet de brique .

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

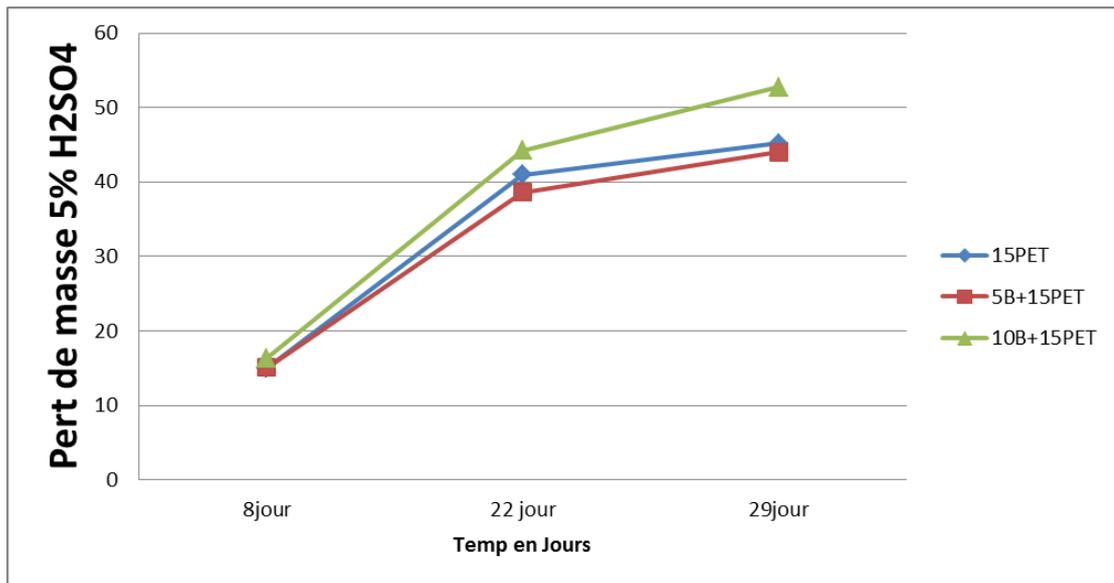


Figure III. 24: Perte de masse des éprouvettes de 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 15PET et de pourcentage de déchet de brique .

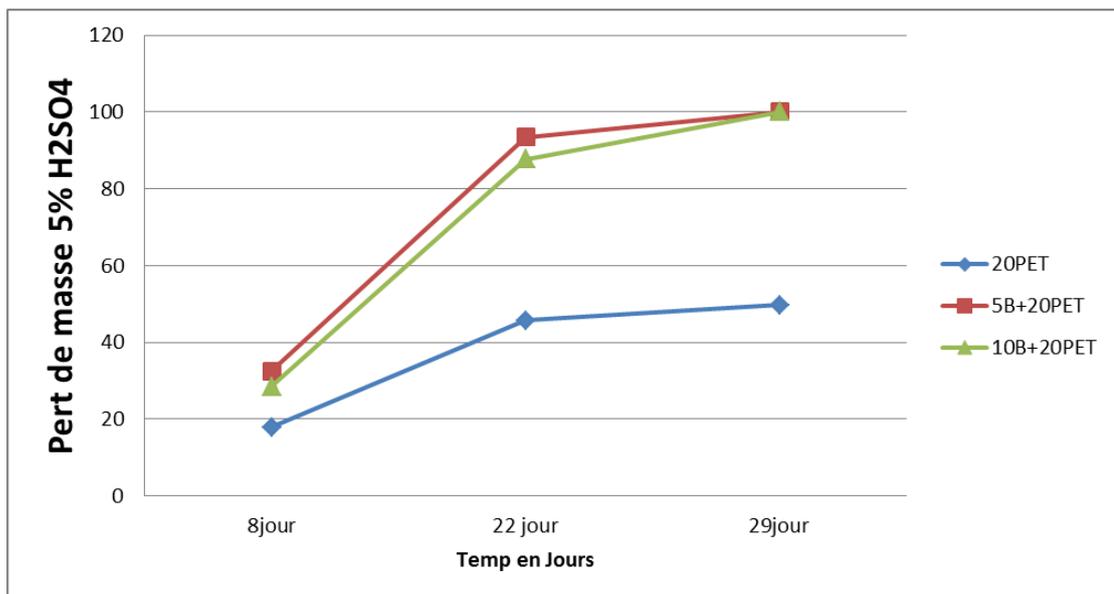


Figure III. 25: Perte de masse des éprouvettes de 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 20PET et de pourcentage de déchet de brique .

### Remarque :

Après 8 jour dans l'acide 5 %H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on remarque une petite érosion des eprouvettes des mortiers apres nettoeges ce que également chané les dimensions des eprouvettes . nous avons changé la solution acide après avoir mesuré le PH de la cettte solution qui a changé (PH de 1 j=1) apres 8 jour (PH=3).apres 22 joutes dans la solution acide changée, on remarque que les éprouvettes des mortiers présentent une fort érosion.au jour29 , sans changer la solution acide, on constate que les procentages de (5B+20PET et 10B+20PET) ont expiré ,et d'autres ont également perdu leur cohésion.

### Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

---

D'après le graphique ,nous remarques que le 10% de deches de brique que donne une bien durabilite .plus les pourcentages (5,10,15 et 20%) de dechets de plastique PET sont élevés avec les pourcentages (5 et 10%)de dechets de brique dans les mortiers , sa durabilite de cette pourcentages dernier dans l'acide sulfrique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est faible par rapport aux dechets de plastique seul. l'acide de sulfrique ne réagit pas avec les dechets de plastique PET que nous utiisons.

La premier hypothèse et cela est dû au manque d'adhérence du PET avec le ciment, peut-être parce que le type de plastique que nous utilisé est également un élément tres plat , lisse et léger , ce qui signifie que le processus d'adhérence et de fusion n'est pas fort entre le sable et le plastique.

La deuxième hypothèse est peut-être lors de la valorisation des briques à la place du ciment. Il y a une pénurie dans le processus de réaction chimique entre le ciment et l'eau, car la pourcentage de ciment trouvé n'est pas suffisante pour qu'une réaction chimique se produise pour lier complètement les éléments.

## Chapitre III : Discussion les résultats expérimentaux

---

### Conclusion

Dans ce chapitre nous concluons que variations dimensionnelles des éprouvettes des pourcentages de déchets de brique et plastique PET est stable par les jours .et aussi la proportion de brique dans les mortier que donne bien durabilité dans acide sulfurique 5%  $H_2SO_4$  et les pourcentages de plastique PET seule aussi. les proportions de déchets de brique avec une augmentation des proportions de déchets plastique PET dans le mortier entraînent une diminution de la durabilité dans l'acide 5% $H_2SO_4$ .

## **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

Le but par cette travaille est la valorisation de dune de sable et dechets de plastique en remplaçant le sable par dune de sable et pourcentages de dechets de plastique PET,et valorise de dechets de brique par pourcentages et varient avec du ciment dans les mortiers . aussi que nous etudions la variations dimensionnelles des éprouvettes et la durabilite de mortier de dechets de brique et dechets de plastique avec la rapporte 0.55 E/C (eau/ciment) dans mortier.

L'analyse des résultats obtenus dans le cadre de ce programme expérimental ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- variations dimensionnelles des éprouvettes est stable .
- Lorsque nous entrons les pourcentage 5%et 10% de briques dans le mortiercela nous donne une bien durabilite dans la solution d'acide de sulfrique 5 %H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Lorsque nous plus les pourcentages (5,10,15 et 20%) de dechets de plastique PET sont élevés avec les pourcentages (5 et 10%)de dechets de brique dans les mortiers , de cette dernier sa durabilite dans l'acide sulfrique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est faible par rapport aux dechets de plastique seul dans les mortiers.
- l'acide de sulfurique usagé ne réagit pas avec les dechets plastique PET utilisée.

Comme nous l'avons vu et sur la base de ces résultats que nous avons obtenus, on peut s'appuyer sur du mortier à base de déchets de briques et dechets de plastique PET dans les opérations principales de construction les milieu moins agrassifs .

## **Références**

### Références

- [1] INFOIMMO 2007-2013.
- [2] H. Samir et N. A. Zakaria, Effet combiné des billes du polystyrène et les fibres plastique sur les mortiers au ciment blanc, M'SILA: UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, 2018.
- [3] A. A. Al-Eyani, Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier, M'SILA: UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, 2017.
- [4] B. O. DJAAFAR, Influence de l'énergie de vibration sur le mortier à base sable mixte, M'sila: Université Mohamed Boudiaf, 2016.
- [5] ts1b, «Retrait du béton,» 08 2019. [En ligne]. Available: <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/le-retrait-du-beton/>. [Accès le 06 2020].
- [6] M. G. A. Mr. Boulouza Oualid, «Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers,» UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ , Bouira, 2019.
- [7] B. F. Balhachemi S., «La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique,» chez *de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique*, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain T'émouchent, 2017.
- [8] P. Guiraud, «infociments,» Avril 2018. [En ligne]. Available: [https://www.infociments.fr/betons/notion-de-durabilite-des-betons?fbclid=IwAR3w\\_PrKJZDehaotLDcM0\\_tmQk-HmyiCr\\_wVBd2vIXN9DQd9KdW7frqTJWw](https://www.infociments.fr/betons/notion-de-durabilite-des-betons?fbclid=IwAR3w_PrKJZDehaotLDcM0_tmQk-HmyiCr_wVBd2vIXN9DQd9KdW7frqTJWw).
- [9] M. m. & b. b. oussama, Durabilité du Béton Autoplaçant à base de sable de dune finement broyé vis-à-vis des attaques chimiques, Djelfa: Université Ziane Achour, 2016.
- [10] B. A. BENKHADDA, TRAITEMENT NATUREL DES MORTIERS ET BETONS DESTINES AUX STRUCTURESEN BETON PREFABRIQUE, BISKRA : UNIVERSITE MOHAMMED KHEIDER , 2006.
- [11] F. taieb, «Durabilité d'un béton exposé à un milieu,» M'sila, Université Mohamed Boudiaf , 2016, p. 76.
- [12] C. Ramdane, «Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif,» chez (*Mémoire de Magister*, USTMB d'Oran, 2008.
- [13] RECOMMANDATION, «N°T1-96 aux maîtres d'ouvrage publics relative aux études pour la construction ou la réparation des ouvrages de stockage et de transport de l'eau-NOTE,»

## Références

---

n° %13.

- [14] «Sciences,» [En ligne]. Available: [www.memoireonline.com](http://www.memoireonline.com).
- [15] D. Celia, Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés, Tizi-Ouzou: Université Mouloud Mammeri, 2019.
- [16] «type de sables de dune,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/search?q=different+type+de+sable+de+dune&sxsrf=ALeKk019>.
- [17] K. Bencherif Y., Etude de l'efficacité du chitosanebentonite comme adjuvants de coagulation-floculation pour le traitement des lixiviats de la décharge de Saida, Saida: Université Dr Moulay Tahar, 2014.
- [18] M. Kenza, Comportement des bétons à base de granulats de déchets de démolition de béton sous différentes conditions de durcissement., Université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bordj Bou Arreridj, 2016.
- [19] K. SAYEH et H. MEFTEH, LA GESTION DES DECHETS INDUSTRIELS . ETUDE DE CAS FLASH CHEMICALS INDUSTRY (FCI), Ouargla: Université Kasdi Merbah , 2017.
- [20] M. C. HAMZA et M. T. ZAHIR, Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre., Bouira: UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ, 2017.
- [21] L. ISLAM, VALORISATION DES DECHETS DANS LE BETON AUTO-PLAÇANT : ETAT DE L'ART, Guelma: l'Université 8 Mai 1945, 2020.
- [22] S. Sabrina, COMPORTEMENT DES BETONS A BASE DE GRANULATS RECYCLES, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.
- [23] [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>.
- [24] «wikipedia,» [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re\\_plastique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_plastique).
- [25] L. BENMEKIDECHE-GOUISSEM, Etude de l'effet des paramètres de transformation et des extenseurs de chaînes sur les propriétés du poly (éthylène téréphtalate), Setif, 2015.
- [26] D. C., Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique, Ed, TEC & DOC., 2001.
- [27] H. M., Etude des contraintes juridiques et techniques pour un marquage des produits portant sur les recommandations de tri. (, ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)), 2013.
- [28] GABIRAULT, Etude de valorisation des déchets plastiques de déchèterie, ([www.Exeltys.fr](http://www.Exeltys.fr)), 2013.
- [29] [En ligne]. Available: [www.elsevier.com/locate/comb](http://www.elsevier.com/locate/comb).
- [30] D.-J. ., J.-S. ., S.-K. Yun-Wang Choia, Effects of waste PET bottles aggregate on the properties

## Références

---

- of concrete.
- [31] B. Allaoua, Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Ouargla: Université KASDI Merbah, 2006.
- [32] M. D. a. M. B. a. ., H. A. a. ., I. N. E. Rahmani a, On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles.
- [33] B. ABDEREZZAK, «« Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton »,» Ouargla, Mémoire Master: Université KASDI MERBAH, 2006.
- [34] «wikipedia brique,» [En ligne]. Available:  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique\\_%28mat%C3%A9riau%29](http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29).
- [35] R. FAYZA et M. SAMIRA, Caractérisation physiques et de durabilité Des ciments composés à base de brique, Guelma: Université 08 mai 1945 de Guelma, 2018.
- [36] Z. Ishak, Effet de déchet de brique rouge sur la, Biskra: Université Mohamed khider, 2019.
- [37] A. Salem., Effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchet de briques) sur le comportement mécanique du mortier., M'sila: université Mohamed Boudiaf , 2016.
- [38] B. MOUFIDA, Intitulé : Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci..
- [39] D. I. P. Boeraeve, Cours de Béton armé.

## **Annexes**

## Les Annexes



50kg

**Mokaouem**  
مقاوم بلوس *Plus*

| ALGÉRIE



### Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

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

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

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

#### AVANTAGES PRODUIT



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

**L** A member of  
LafargeHolcim

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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



## FORMULATION CONSEILLÉE

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

Remarque: un bidon = 10 Litres

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

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
Porte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

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

### • Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3,0%

### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42,5

### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270J/g

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

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



 A member of LafargeHolcim

Conditionnement:  / 

### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 14ème étage, tour Geneva,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.  
tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
ds.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tél: 021 98 55 55

 **LAFARGE**  
لافارج