

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



## **Université de Ghardaïa**

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

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

### **MASTER**

**Domaine :** Sciences et Technologies  
**Filière :** Génie Civil  
**Spécialité :** Structure

**Par : M<sup>r</sup> HAMEL DJAMEL EDDINE & M<sup>r</sup> BEN HAMMADI ILYES**

### **Thème**

**Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable  
de dune et déchets industrielles (déchet de brique et  
déchet de plastique PET)**

**Devant le jury :**

<b>Mr. SALHI AIMAD</b>	M.A.AUniv. Ghardaia	<b>President</b>
<b>Mr. AZIEZ MED NADJIB</b>	M.C.B Univ. Ghardaia	<b>Examineur</b>
<b>Mr. SAITI Issam</b>	M.A.A Univ. Ghardaia	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2020/2021**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# **Dédicace**

**Nous dédions ce modeste travail :**

**À celles et ceux qui ont veillé toujours sur nous.**

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

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

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

**l'Université de Ghardaïa**



## **REMERCIEMENTS**

**Nous tenons d'abord à remercier Dieu, le Miséricordieux, le Tout-Puissant, qui nous a mis sur le bon chemin et qui nous a donné force et patience pour accomplir cet humble travail.**

**Nous voudrions saisir cette occasion pour remercier chaleureusement notre promoteur Mr SAITI ISSAM enseignant à l'Université de Ghardaïa, pour son dévouement, Nous lui exprimons notre gratitude Et pour toute l'aide qu'il nous a apportée dans la réalisation de ce travail.**

**Nous tiens à remercier le professeur, AZIEZ Med Nadjib , qui a un grand mérite pour le succès de cette recherche et ma reconnaissance pour son accueil chaleureux, son soutien, ses conseils et ses remarques importantes qui nous ont permis l'achèvement de ce travail.**

**Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les travailleurs du laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD ) ,Ceux qui se sont tenus à nos côtés et nous ont donné des conseils et des orientations dans noutre theme de recherches,les travailleurs de LTPS sont des hommes de terrain avec leur grande expérience et leur humilité avec nous.**

**Enfin, un merci spécial et personnel à tous les membres de ma famille, les professeurs qui nous ont enseigné toutes ces années, et tous nos amis et nos camarades de class**

# Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements .....	II
Sommaire .....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des TABLEAUX .....	IIV
Liste Des Abréviations.....	VI
Résumé.....	VII
Introduction général.....	VIII

## **Chapitre I : VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION**

I.1- Introduction :.....	1
I.2-Généralités sur les déchets: .....	1
I.2.1- Le déchet : .....	1
I.2.2-Originine de la production des déchets : .....	1
I.2.3-Gestion des déchets : .....	2
I.2.4-Principe de gestion des déchets : .....	2
I.2.5-la Valorisation des déchets : .....	2
I.2.6-L'intérêt de la valorisation : .....	3
I.2.7-Déchets en Algérie : .....	3
I.2.8- Utilisation des déchets et sous-produits dans le domaine du génie civil :.....	4
I.3- Le recyclage des déchets en construction : .....	5
I.3.1- Définition de recyclage : .....	5
I.3.2- Historique du recyclage en génie civil : .....	6

I.3.3- Recyclage de déchets dans le domaine du génie civil en Algérie : .....	7
I.3.4- Procédés du recyclage : .....	7
I.3.5- Type de recyclage : .....	8
I.3.6- La chaîne du recyclage : .....	9
a. Collecte de déchets : .....	9
b. Transformation : .....	9
c. Commercialisation et consommation : .....	9
I.3.7- Impacts du recyclage sur l'environnement : .....	9
I.4- Généralités sur Les Déchets de plastiques (PET) : .....	11
I.4.1- Définition des PET : .....	11
I.4.2- Préparation des paillettes en PET en vue de leur extrusion en fibres.....	12
a. Collecte : .....	12
b. Déballage et déchetage des balles : .....	12
c. Tri manuel des bouteilles : .....	13
d. Prélavage des bouteilles : .....	13
e. Broyage : .....	13
e. Première séparation par densité (flottation) : .....	14
h. Lavage des paillettes : .....	15
i. Deuxième séparation par flottation : .....	16
g. Rinçage des paillettes : .....	16
k. Essorage, tamisage et séchage : .....	16
I.4.3- Type des PET : .....	17
I.4.3.1- Fibre en plastique : .....	17
I.4.3.2- Les fine particules des PET : .....	17
I.4.3.3-Les fines particules des PET : .....	17
I.4.3.4-Agrégats : .....	17
I.4.4- Masse spécifique : .....	18
I.4.5- Propriétés thermiques et électriques : .....	19
I.4.6- Résistance au feu : .....	19
I.4.7- Comportement mécanique : .....	20
I.4.8- Résistance aux agents chimiques et aux intempéries : .....	20
I.4.9- La densité : .....	21

I.4.10- Propriétés Physico-chimiques du PET :	22
I.4.11- Propriétés Mécaniques et Thermiques du PET :	23
I.5.generaltes sur les déchets de brique :	24
I.5.1-Déchets De Brique:	24
I.5.2-Définition de brique :	24
I.5.3-Technique de la production de la brique :	24
I.5.4-Types de brique :	25
I.5.5-Les caractéristiques physico-chimiques de la brique :	26
I.5.6-Le déchet de brique rouge Dans le béton :	27
I.5.7-Propriétés des bétons des déchets de brique :	28
I.5.8-Valorisation des déchets de la brique :	29
I.5.9-Réutilisation :	29
I.5.10-. Recyclage :	29
I.5.11-La méthode que nous avons utilisée de recyclage le déchet de brique :	30
A .Le processus de collecte des déchets de briques :	30
B . Processus de concassage de brique:	31
C .Tamisage de poudre de brique :	34
I.6-Conclusion :	36

## **CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MOURTIE ET LES SABLE DE DUNE**

II.1- INTRODUCTION :	38
II.2- généralité sur les mortiers .....	38
II.2.1-Les mortiers :	38
II.2.2-Défirent types de mortier :	39
II.2.2.1-Le mortier de ciment pur :	39
II.2.2.2Les mortiers de chaux :	39
II.2.2.3-Le mortier bâtard :	39
II.2.2.4-Les mortiers (légers) isolants :	39
II.2.2.5-Mortier réfractaire :	40



II.2.3-Les composantes des mortiers :.....	40
II.2.4-Etudes séparément chacun des composants :.....	40
II.2.4.A-Le sable :.....	40
II.2.4.B- Le liant :.....	41
II.2.4.C-L'eau :.....	41
II.2.5-Préparation des mortiers :.....	42
II.2.6-Caractéristiques et propriétés des mortiers : .....	43
II.2.6.1-L'adhérence au matériau mis en œuvre : .....	43
II.2.6.2-Imperméabilité :.....	43
II.2.6.3-Retraît : .....	43
II.2.7-Les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers de ciment :.....	44
II.2.7.1-Les résistances mécaniques :.....	44
II.2.7.2-Résistance à l'écrasement :.....	44
II.2.8- Les propriétés physiques des mortiers : .....	45
II.2.8.1-La masse volumique :.....	45
II.2.8.2-Porosité et compacité :.....	45
II.2- Les sables de dunes :.....	46
II.2.1-Définition :.....	46
II.2.2-Nature de sable de dune : .....	47
II.2.2.1. Mécanismes de formation :.....	47
II.2.2.2. Types des dunes.....	47
II. 2.3- Physique des dunes : .....	48
II. 2.4- Diverses utilisations :.....	49
II. 2.5- Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction :.....	50
II.2.5.1. Les aspects économiques :.....	50
II.2.5.2. Les intérêts techniques sont de deux types :.....	51

### **CHAPITRE III: CARACTERISATION DES MATERIAUX**

III.2- introduction : .....	52
III.2.1- Sable : .....	52
III.2.1.1- Analyse granulométrique [NF EN 933-1] :.....	53

III.2.1.2- Module de finesse [NF EN 12620] :	53
III.2.1.3.Equivalent de sable [NF EN 933-8] :	55
III.2.1.5. La masse volumique :	58
III.2.1.6. Masse volumique apparente norme (NFP 94-064) :	58
III.2.1.7. Essai de valeur de Blue bleu méthylène NF p 94 – 068 novembre 1993 :	58
III.3.DECHET DE BRIQUE:	60
III.3.1.La masse volumique de déchet de brique :	61
III.3.2.Essai sédimentométrie NFP 94-056 :	61
III.3.3-Analyse chimique de déchet de brique [EN P 15 – 461] :	63
III.4.PET :	63
III.4.1-Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus :	64
III.5-Eau de gâchage :	65
III.6-Ciment :	66
Conclusion :	68

## **CHAPITRE VI : Discussion les résultats expérimentaux**

VI.1-Introduction :	71
VI.2-Détermination de la composition du mortier :	71
VI.3- Formulation du mortier normalise :	71
VI.4- Les compositions étudiées dans cette recherché :	71
VI.4.1- Composition du mortier témoin.....	71
VI.4.2- composition du mortier de déchet de brique :	72
VI.4.3- Composition du mortier de déchet de brique et déchet de plastique PET :	72
VI.5-Mode de préparation des échantillons :	73
VI.5.1-Confections des mortiers :	73
VI.5.2-Préparation de la gâchée :	74
VI.5.3-Le malaxage :	75
VI.5.4-Moulage des éprouvettes :	76
VI.5.5- Démoulage des éprouvettes:	77
VI.6- COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MORTIERS :	77
VI.6.1- Essais à la traction par de flexion : [NF P15-471] :	77

VI.6.2- Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471) : .....	80
VI.7- COMPORTEMENT PHYSIQUE DES MORTIERS : .....	81
VI.7.1- Essai de l'absorption d'eau NF P10-502 : .....	81
VI.7.2- Porosité accessible à l'eau NF P 18-459 : .....	83
VI.7.3- Détermination de la Masse Volumique apparente sèche : .....	84
VI.8- Les résultats : .....	85
VI.8.1 - Les résultats de la mortier de sable de dune à l'état frais : .....	85
VI.8.2 – les résultats de Variation de déchet de brique : .....	89
VI.8.3 – les résultats de Variation de pet et déchet de brique : .....	92
Conclusion : .....	99
Conclusion général .....	102
Référence bibliographie .....	103
Annexe .....	105

## Liste des figures

### Chapitre I : VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION

Figure I 1: Schéma (de principe) de dégradation du PET.....	11
Figure I 2: Stock de balles des bouteilles en PET collectée .....	12
Figure I 3: Tapis de tri Manuel des bouteilles en PET. ....	13
Figure I.4: .Broyeur.. .....	14
Figure I. 5: Bassin de séparation des paillettes en PET des impuretés. ....	15
Figure I.6: Cuve de lavage.....	16
Figure I.7: PET agrégats fins .....	18
Figure I.8: PET agrégats grossiers.....	18
Figure I.9 .Remblai de déchets de briques dans une usine à Laghouat .....	30
Figure I.10 .La machine de concasseur des briques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure I.11. Les granulons des briques que nous obtenus De la machine concasseur.....	31
Figure I.12.Les granules des briques que nous obtenus De la machine los Anglos	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure I.13.Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer .....	33
Figure I.14 . La Machine Micro Duval. ....	33
Figure I. 15.Les tamis que nous avons utilisés .....	34
Figure I.16.Tamisage manuellement de la poudre et granulés des briques .....	35
Figure I.17.Classification de la poudre de brique en fonction du diamètre des granulés .....	35
Figure I.18.La poudre finale de brique qui est passée sur le tamis 0.08 mm.....	36
Figure 1:I Constituants des mortiers classique	38

### CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MOURTIE ET LES SABLE DE DUNE

Figure 1:I Constituants des mortiers classique .....	38
Figure 2:II. MOULE DE RETRAIT POUR MORTIER 40x40x160 mm.....	45
Figure 3:II. sable de dune .....	46

### III

Figure 4:II. La barkhane .....	48
Figure 5:II. Morphologie de la barkhane .....	49

### CHAPITRE III: CARACTERISATION DES MATERIAUX

Figure I1: Schéma (de principe) de dégradation du PET .....	11
Figure I 2: Stock de balles des bouteilles en PET collectée [11]. .....	12
Figure I 3: Tapis de tri Manuel des bouteilles en PET. [11]. .....	13
Figure I.4: .Broyeur. [11]. .....	14
Figure I. 5: Bassin de séparation des paillettes en PET des impuretés.[11]. .....	15
Figure I.6: Cuve de lavage [11]. .....	16
Figure I.7: PET agrégats fins .....	18
Figure I.8: PET agrégats grossiers .....	18
Figure I.9 .Remblai de déchets de briques dans une usine à Laghouat .....	30
Figure I.10 .La machine de concasseur des briques .....	31
Figure I.11. Les granulons des briques que nous avons obtenus De la machine concasseur .....	32
Figure I.12.Les granules des briques que nous avons obtenus De la machine los Anglos .....	32
Figure I.13.Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer .....	33
Figure I.14 . La Machine Micro Duval. ....	33
Figure I. 15.Les tamis que nous avons utilisés.....	34
Figure I.16.Tamisage manuellement de la poudre et granulés des briques.....	35
Figure I.17.Classification de la poudre de brique en fonction du diamètre des granulés.....	35
Figure I.18.La poudre finale de brique qui est passée dans le tamis 0.08 mm.....	36
Figure 1:I Constituants des mortiers classiques .....	38
Figure 2:.II. MOULE DE RETRAIT POUR MORTIER 40x40x160 mm .....	45
Figure 3:II. sable de dune.....	46
Figure 4:II. La barkhane.....	48
Figure 5:II. Morphologie de la barkhane .....	49
Figure 1: III. Le sable utilise. ....	52
Figure 2: III. Les tamis que nous utilise dans cette essai .....	53
Figure 3: III. L'analyse granulométrique de sable de dune utilise. ....	54
Figure 4: III. Équivalent de sable visuel Figure 5: III. Equivalent de sable à vue et à piston ...	56
Figure 6: III. L'essai de l'analyse chimique.....	57
Figure 7:III. Auréoles bleues sur papier filtre (taches). ....	60
Figure 8:III. Le déchet brique utilisée dans cette recherché.....	60
Figure 9: III. L'essai sédimentométrie .....	62

Figure 10: III. Le graphe de sédimentométrie de déchet de brique.....	62
Figure 11: III. Les déchets que nous utilisons.....	63
Figure 12: III. L'analyse granulométrique de déchet de plastique PET.....	64
Figure 13: III.. Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/A 42.5 CHLEF.....	67
Figure 1: VI. Moule normalisé de 40x40x160 mm.....	74
Figure 2:VI. Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton –LTPS].....	75
Figure 3: VI. Appareil à chocs .....	76
Figure 4:VI. Les éprouvettes dans un bassin d'eau .....	77
Figure 5:VI . Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points).....	78
Figure 6: VI. Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion (3 points) .....	79
Figure 7 :VI . composition d'un mortier trouves dans notre mortier. ....	79
Figure 8:VI. Dispositif de rupture en compression. ....	80
Figure 9:Figure VI. Dispositif de l'essai mécanique de Compression.....	80
Figure 10: VI. Montage pour la mesure de la absorption d'eau .....	82
Figure 11:VI. montage expérimental utilise dans l'essai d'absorption.....	82
Figure 12:V. les pourcentages de la composition d'essai de l'absorption en real.....	82
Figure 13: VI. Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau .....	83
Figure 14 : VI. Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau. ....	84
Figure 15: VI. Processus de séchage des échantillons dans le four .....	85
Figure 16:VI. Évolution de la masse volumique sèche en fonction du E/C.....	86
Figure 17:VI . pourcentage de la porosité de E/C.....	86
Figure 18:VI . pourcentage d'absorption d'eau de e/c .....	87
Figure 19:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C.....	88
Figure 20 : VI. Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C. ....	88
Figure 21:VI . Évolution de la masse volumique sèche en fonction du déchet de brique.....	89
Figure 22:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de déchet de brique. ....	90
Figure 23:VI. Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique .....	91
Figure 24:VI .Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique. ....	91
Figure 25:VI .Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique. ....	92
Figure 26:VI.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage de PET.....	93
Figure 27:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de PET .....	94
Figure 28:VI . Évolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de PET.....	94
Figure 29:VI. Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 7 jours.....	95
Figure 30:VI Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours.....	96
Figure 31:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 28 jours .....	96
Figure 32:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 7 jours.....	97

Figure 33:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours .....	97
--	----

## **CHAPITRE VI : Discussion les résultats expérimentaux**

Figure 1: VI. Moule normalisé de 40x40x160 mm .....	74
Figure 2:Vi. Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton –LTPS] ..	75
Figure 3: VI. Appareil à chocs.....	76
Figure 4:VI. Les éprouvettes dans un bassin d'eau .....	77
Figure 5:VI . Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points) .....	78
Figure 6: VI. Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion (3 points).....	79
Figure 7:VI . composition d'un mortier trouves dans notre mortier.....	79
Figure 8:VI. Dispositif de rupture en compression.....	80
Figure 9:Figur VI. Dispositif de l'essai mécanique de Compression .....	80
Figure 10: VI. Montage pour la mesure de la absorption d'eau .....	82
Figure 11:VI. montage expérimental utilise dans l'essai d'absorption .....	82
Figure 12:V. les pourcentage de la composition d'essai de l'absorption en real.....	82
Figure 13:Figur VI.Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau .....	83
Figure 14:Figur VI. Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau. ....	84
Figure 15: VI.Processus de séchage des échantillons dans le four .....	85
Figure 16:VI. Évolution de la masse volumique sèche en fonction du E/C .....	86
Figure 17:VI . pourcentage de la porosité de E/C.....	86
Figure 18:VI . pourcentage d'absorption d'eau de e/c.....	87
Figure 19:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C.....	88
Figure 20 :VI.Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C.....	88
Figure 21:VI . Évolution de la masse volumique sèche en fonction du déchet de brique.....	89
Figure 22:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de déchet de brique .....	90
Figure 23:VI..Évolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique . ....	91

Figure 24:VI .Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique. ....	91
Figure 25:VI .Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique. ....	92
Figure 26:VI.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage de PET ...	93
Figure 27:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de PET.....	94
Figure 28:VI . Évolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de PET. ....	94
Figure 29:VI. Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 7 jours. ....	95
Figure 30:VI Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours. ....	96
Figure 31:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 28 jours . ....	96
Figure 32:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 7 jours.....	97
Figure 33:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours.....	97





## Liste destableaux

### CHAPITRE I : VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION

Tableau I.1.certaine propriété des matières plastiques. ....	22
Tableau I. 2.Propriétés mécaniques et thermiques des PET. ....	23
Tableau I.3 .Composition minéralogique de déchets de briques .....	27

### CHAPITRE III: CARACTERISATION DES MATERIAUX

Tableau 1:II.: Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires .....	54
Tableau 2:II. Résulta d'essai Equivalent de sable .....	56
Tableau 3:II.Analyse chimique de Sable de d une et déchet de brique .....	57
Tableau 4:II.Masse volumique absolue et apparente des sables utilises. ....	58
Tableau 5:II.Valeur du bleu de méthylène.....	59
Tableau 6:II. Caractéristiques physiques du déchet de brique.....	61
Tableau 7:II.Analyse chimique de déchet de brique.....	63
Tableau 8:II. La masse volumique de PET .....	64
Tableau 9:II.Composition chimique de l'eau de gâchage .....	65
Tableau 10:II..Composition chimique des ciments utilisés .....	66
Tableau 11:II . Composition minéralogique des ciments utilisés .....	66
Tableau 12: II Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé .....	67

### CHAPITRE VI : Discussion les résultats expérimentaux

Table 1 VI .1. La composition optimal du mortier de témoin : .....	71
Table 2 VI .Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de brique.....	72
Table 3.VI Compositions des mortiers pour du pourcentages Plastique 5 % .....	72

Table 4.VI Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 10 % .....	73
Table 5. VI .Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 15 % .....	73
Table 6.VI . Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 20 % .....	73



## Liste Des Abréviations

**PET** : Polyéthylène Téréphtalate.

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

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

**Mf** : Module de finesse.

**M** : Masse du matériau.

**C** : Compacité.

**P** : Porosité.

**S** : Sable.

**T** : Température (°C).

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

**$\rho_{app}$**  : Masse volumique apparente.

**$\rho_{abs}$**  : Masse volumique absolue.

**E** : Masse d'eau.

**SD** : Sable de Dune.

**Rf** : Résistance à la flexion.

**Rc**: Résistance à la compression.

## Résumé

Cette étude vise à utiliser des matériaux locaux tels que le sable de dune, qui est disponible, car il couvre 60% des terres algériennes. En plus de collecter les déchets industriels (les déchets de briques et de déchet de plastiques pet) et de les recycler. pour produire un matériau de construction sophistiqué qui répond aux exigences économiques et environnementales. Le principe de cette recherche est de remplacer les dunes de sable par des morceaux de plastique broyés, 5% 10% 15% 20%. et de remplacer le ciment par des déchets de briques dans des pourcentage différentes 5% 10% 15% 20% 25%. Et Etudier les propriétés de ce composé obtenu. Les résultats ont montré que l'utilisation du déchet de briques dans le mortier nous donne de bonnes propriétés physiques et de très fortes propriétés mécaniques. Et lorsque le PET est utilisé dans le mortier Cela nous a donné une résistance acceptable, et ce mortier peut être classé comme un mortier léger.

**Mots clés:** sable de dune, déchet, recyclage, mortier, résistance à la compression, résistance à la flexion.

## الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى استخدام المواد المحلية مثل الكثبان الرملية المتوافرة بكثرة لأنها تتركز في 60% من الأراضي الجزائرية. بالإضافة إلى جمع النفايات الصناعية (مخلفات الطوب ومخلفات البلاستيك) وإعادة تدويرها. لإنتاج مواد بناء متطورة تلبي المتطلبات الاقتصادية والبيئية. مبدأ هذا البحث هو استبدال الكثبان الرملية بقطع من البلاستيك المرسل 5% 10% 15% 20%. واستبدال الإسمنت بمخلفات الأجر المرسل بنسب مختلفة 5% 10% 15% 20% 25%. ودراسة خصائص هذا المركب. وأظهرت النتائج أن استخدام نفايات الطوب في الملاط يعطينا خصائص فيزيائية جيدة وخصائص ميكانيكية قوية جداً. وعند استخدام البولي إيثيلين تيرفتالات في الملاط ، فإنه يحسن بعض الخصائص مثل الخفة وأعطانا مقاومة مقبولة ، ويمكن تصنيفها على أنها ملاط خفيف

الكلمات المفتاحية: رمل كثبان , مخلفات , رسكلة , ملاط , مقاومة ضغط , مقاومة شد

# Introduction general

---

## Introduction General

La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays en voie de développement. Par ailleurs, on voit des quantités de déchets générés quotidiennement par de divers travaux. Les installations industrielles sont une nuisance environnementale et posent des problèmes particuliers difficiles à résoudre. Parmi ces déchets. On peut citer les déchets industriels" déchet de plastique pet et le déchet de brique, qui représente une partie importante des déchets solides dans le pays.

Parallèlement, on constate que le domaine du génie civil draine beaucoup de matériaux naturels. En raison de la construction croissante et continue à cause de l'expansion urbaine. Et quand on dit exploitation excessive des matériaux naturels pour la construction, cela veut dire deux dommages. Le premier est la déformation et l'épuisement de la nature en raison de la surexploitation des matières premières dans chaque processus de construction. Le deuxième est physique, c'est-à-dire que le processus de construction demande d'énormes sommes d'argent en raison du coût élevé des matériaux de construction de base.

En Algérie de grandes quantités de sable roulé siliceux alluvionnaire sont utilisées pour la confection des bétons et mortiers. Mais les extractions excessives de ces sables ont fortement contribué à l'épuisement des ressources et ont provoqué des retombées néfastes sur l'environnement. De nombreuses régions du monde vivent cette situation et doivent aujourd'hui chercher des matériaux de substitution pour faire face à la demande croissante en granulats à béton et mortier. Un autre type de sable, disponible en quantité importante localement et ne présentant pas de problématiques environnementales notables existe, il s'agit du sable de dune, qui malgré son abondance, reste assez méconnu dans le bâtiment. Sa quantité se chiffre en milliards de m<sup>3</sup>, il est disponible dans près de 60% du territoire et certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction.

Dans ce contexte, notre champ d'étude va être divisé en trois parties : la première partie où on va donner une solution pour se débarrasser des déchets et en tirer profit d'une manière qui sert l'environnement, c'est-à-dire les recycler,

## Introduction general

---

La deuxième partie concerne l'introduction de ces déchets le déchet de plastique pet et le déchet de brique dans les matériaux de base de la construction de mortier.

Et dans la troisième partie, nous allons travailler sur l'amélioration des propriétés physiques et mécaniques afin d'obtenir un très bon mortier valide.



*Chapitre I :*

---

***VALORISATION DES  
DECHETS ET ACTIVITE DE  
RECYCLAGE EN  
CONSTRUCTION***

---

# *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

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

Le contexte environnemental mondial a placé la question environnementale au cœur des débats scientifiques, plus spécialement les questions de la pollution et de la gestion des déchets. Dans le domaine du Génie Civil réputé par sa grande consommation de matériaux naturels, les avancées scientifiques ont permis de valoriser différentes variétés de sous-produits industriels dans les applications de béton et en technique routière. Dans ce chapitre, nous allons faire la valorisation des déchets dans le domaine du Génie Civil dans le but de proposer une méthode novatrice de formulation de béton et le mortier à base de matériaux alternatifs.

## **I.2-Généralités sur les déchets:**

### **I.2.1- Le déchet :**

Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abimé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement considéré comme tel par les autres.

D'après le code français de l'environnement, le déchet est ainsi qualifié façon essentiellement subjective, où l'acte ou l'intention du détenteur de se défaire/éliminer/abandonner importe plus que de savoir si l'objet est devenu impropre à l'usage, a perdu toute valeur économique ou présente un danger pour l'environnement[1].

### **I.2.2-Origin 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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- Économiques : les produits en une durée de vie limitée.
- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets [1].

### **I.2.3-Gestion des déchets :**

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique.[1].

### **I.2.4-Principe de gestion des déchets :**

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

- Réduire
- Réutiliser
- Recycler

### **I.2.5-la Valorisation des déchets :**

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances Avant de valoriser un

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de « mesurer pour connaître et connaître pour agir ». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de Valorisation choisir [1].

### **I.2.6-L'intérêt de la valorisation :**

POURQUOI VALORISER ? Pour porter 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 [2].

### **I.2.7-Déchets en Algérie :**

En absence de chiffres fiables et enquête précise, d'après une étude récente sur la valorisation des déchets de construction en Algérie, menée par le CNERIB et basée sur le rapport "La situation des déchets solides et les progrès accomplis en Algérie" transmis par le Gouvernement algérien à la Commission du développement durable des Nations Unies en 1997, il est estimé que la quantité annuelle de déchets urbains produite chaque année en Algérie est d'environ 5.5 millions de tonnes pour une population de 30 millions d'habitants.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

La réglementation relative à la protection de l'espace environnemental est définie par les articles 89 et 90 du Chapitre II de la loi 83-03 (1983) et le Décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 (loi 83-03) fixe les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains. Le Décret n° 84-378 et le Chapitre II du titre IV sont les seuls passages qui régissent juridiquement les déchets solides. En dépit de la reconnaissance de l'impact négatif du déchet, ces quelques dispositions demeurent insuffisantes pour une meilleure prise en charge de la protection de l'espace environnemental. [2].

On constate que dans l'article 2 du Décret n° 84-378, les types de déchets, constituant les déchets solides urbains, sont classés selon l'importance de leur volume. Les déchets de construction, désignés par les termes 'gravats et décombres', viennent en troisième position après les ordures ménagères et les produits provenant du balayage et le curage des égouts. Ils sont considérés au même titre que les ferrailles, les carcasses d'automobiles, les déchets encombrants, ... etc.

Par ce classement, on déduit que les déchets de construction sont minimisés puisque leur volume est considéré moins important que les déchets provenant du balayage et du curage des égouts ; or le volume des déchets de construction (2,2 millions de tonnes par an) est loin d'être négligeable et les place juste derrière les ordures ménagères. [2].

Aujourd'hui, vu le développement et l'intensité de l'activité du secteur BTP dans le pays, il est difficile de négliger la quantité de déchets de construction produite. Au contraire, il est nécessaire de mettre en application la prise en charge de ces déchets [2].

### **I.2.8- Utilisation des déchets et sous-produits dans le domaine du génie civil :**

L'idée d'employer des déchets, y compris les sous-produits de l'industrie, n'est pas neuve pour l'homme. Les déchets produits par les industries du charbon ou de l'acier sont relativement facilement assimilables à des granulats ou incorporables dans des liants : étude de l'emploi du laitier granulé en cimenterie en 1880. En génie civil, le développement de l'emploi de certains déchets s'est fait en parallèle avec le développement de l'industrie lourde dans le temps.

# *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

En général, les besoins du génie civil peuvent être résumés en termes de quatre ordres séquentiels

1. matériaux, sur lesquels pèsent de faibles exigences et consommés en grande masse.
2. granulats, qui doivent répondre à des spécifications diverses suivant leur utilisation.
3. liants, qui doivent répondre à des spécifications précises et dont les propriétés doivent rester constantes dans le temps.
4. activant, qui seront utilisés en petites quantités, ce qui peut poser des problèmes de collecte, stockage, distribution et régularité.

Dans cette partie, on présente une revue générale des déchets utilisés en génie civil avec une attention particulière sur la valorisation des déchets de construction et de démolition comme agrégats en béton [3].

## **I.3- Le recyclage des déchets en construction :**

### **I.3.1- Définition de recyclage :**

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.[4].

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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- 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[4].

### **I.3.2- Historique du recyclage en génie civil :**

Le principe de recyclage des matériaux n'est pas nouveau puisqu'il a déjà été utilisé par les Romains. Le principe consistait notamment dans la destruction des statues des Dieux qui n'étaient pas vénérés et les matériaux récupérés servaient à en faire de nouvelles.

Devant le fait des villes sinistrées pendant et après la seconde guerre mondiale, le recyclage des matériaux s'est présenté comme une solution envisageable et a connu son début en Europe et plus précisément en Allemagne et en Grande-Bretagne. Les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements étaient employés pour la reconstruction ; les granulats recyclés obtenus par ce recyclage comportaient une forte proportion de briques, du fait du mode de construction de l'époque[5].

A partir de 1975, les premières tentatives de recyclage ont débuté aux Etats-Unis, plus précisément dans le domaine routier, où les granulats recyclés provenaient du concassage de béton armé et non armé dans les couches de fondation de chaussées. La première utilisation réelle de béton recyclé était destinée aux sous couches des voies de circulation en Californie et la composition comportait du béton recyclé, de l'asphalte et de 8% de ciment. En 1976, la première réussite de l'utilisation d'agrégats recyclés et celle d'un ancien béton de 41 ans d'âge pour la formulation d'un nouveau béton toujours de chaussée dans l'état d'Illinois suivi par d'autres projets similaires dans d'autres états de 1980 à 1985 [6].

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

### **I.3.3- Recyclage de déchets dans le domaine du génie civil en Algérie :**

En Algérie, des bâtiments publics, des immeubles et des ponts sont démolis après des sinistres naturels comme le séisme et les crues ou simplement par le vieillissement. Les matériaux de démolition sont, pour l'instant, rarement recyclés. L'industrie de construction génère aussi une quantité importante de déchets C&D (briques et béton en particulier) qui est rarement valorisée. Cependant, dans toutes les villes algériennes et surtout dans les grandes villes, va bientôt apparaître le besoin de démolir ou de déconstruire les anciennes bâtisses coloniales des années cinquante. La seule tentative de valorisation des déchets de démolition a été tentée en 1981. La ville algérienne d'El-Asnam (Chlef actuellement), a été secouée en octobre 1980 par deux tremblements de terre intenses qui l'ont quasiment réduite en un énorme tas de gravats. Face à quelques milliers de bâtiments (38% des bâtiments) qui devaient être démolis et par suite l'évacuation de plusieurs centaines de milliers de tonnes de débris, une opération pilote de recyclage de béton démolé a été menée avec l'aide du CSTC (Belgique), et a démontré qu'il était possible de recycler les débris de béton en blocs de construction de qualité convenables. Dans le but de pouvoir recycler le plus grand nombre de débris et d'adopter les conditions minimales, on a pu réaliser, suivant la composition choisie suivante, des blocs présentant des résistances acceptables (min : 2,1 MPa et max : 7 MPa) [7] :

Débris de briques : 30%

Débris de blocs de béton : 50%

Débris de béton : 10% impuretés + débris divers (enduits, carrelages, etc.) : 10% [7].

### **I.3.4- Procédés du 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. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.[1].



## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

### **I.3.5- Type de recyclage :**

On peut distinguer trois types de recyclage :

- Le recyclage in situ : les installations de recyclage sont mobiles et il s'effectue sur le chantier de démolition.
- Le recyclage sélectif : il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes.
- Le recyclage en site fixe : les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site.

L'avantage du premier type de recyclage consiste en la réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de l'ancienne chaussée. L'Allemagne et l'Angleterre possèdent plus d'installations mobiles que fixes. Le deuxième type de recyclage nécessite que les quantités stockées soient suffisantes. Le troisième type de recyclage s'effectue dans des conditions industrielles. La nature spécifique des matériaux de démolition et de construction, un certain nombre d'opérations sont ajoutées aux fonctions traditionnelles de concassage-criblage [8].:

- Stockage sélectif des matériaux réceptionnés.
- Prétraitement : réduction des gros éléments, cisailage des ferrailles.
- Dé ferrailage (magnétique) : il peut être effectué en deux phases, l'une à la sortie du premier broyeur et la seconde après le criblage.
- Des tris manuels et mécaniques pour la récupération des papiers, des bois, des plastiques, etc. : il existe différents systèmes de séparation et de tri, en fonction des éléments à retirer (épuration par flottaison, tables densimétriques, séparation au moyen d'un courant d'air, etc.[8].

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

### **I.3.6- La chaîne du recyclage :**

#### **a. Collecte de déchets :**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni 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 crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.[9].

#### **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. Commercialisation et consommation : Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés[8].

#### **c. Commercialisation et consommation :**

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés [8].

### **I.3.7- Impacts du recyclage sur l'environnement :**

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchandeLe recyclage de déchets permet de[8] :

- Réduire l'extraction de matières premières.
- Réduire des pollutions et nuisances
- Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels
- Protection des recoures naturels.
- La protection de l'atmosphère.
- Contrôle et déduire des déchets dangereux

Par exemple:

- L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.
- 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 d'eau[8].

#### **I.4-Généralités sur Les Déchets de plastiques (PET) :**

##### **I.4.1- Définition des PET :**

Le polyéthylène téréphtalate PET utilisé principalement pour les emballages de boisson, est produit à partir de pétrole de la famille des thermoplastiques, il remplace progressivement le verre grâce à sa résistance aux chocs. Les PET sont constitués d'unité polymérisation du monomère téréphtalate d'éthylène avec des unités répétitive  $C_{10}H_8O_4$  et, par conséquent, la formule moléculaire du PET peut être représentée par  $(C_{10}H_8O_4)_n$ . Le PET, C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : Le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol. Les chaînes vont s'arranger et former des fibres résistantes. Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles [10].

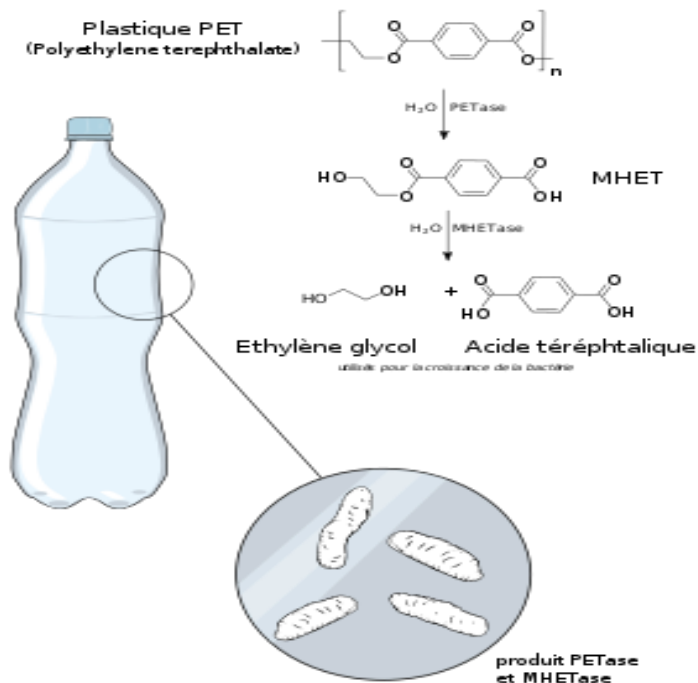


Figure I1: Schéma (de principe) de dégradation du PET

#### **I.4.2- Préparation des paillettes en PET en vue de leur extrusion en fibres**

##### **a. Collecte :**

Les bouteilles post-consommation en PET sont collectées par des fournisseurs possédant des sites pour le ramassage du plastique et sa mise en forme de balles obtenues après le compactage des bouteilles[11].



Figure I 2: Stock de balles des bouteilles en PET collectée [11].

##### **b. Déballage et déchiquetage des balles :**

Les bouteilles compactées sous forme des balles sont découpées dans un déchiqueteur à vis ou dans un tambour de déballage. Lorsque les déchets sont de taille important (grosses bouteilles), ils sont déchiquetés par des cisailles rotatives pourvues de lames tranchantes comportant des dents ou des pointes. Ces équipements de forte puissance travaillent généralement avec de faibles vitesses de rotation. Le déchiquetage est appelé souvent aussi pré broyage [11].

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

### **c. Tri manuel des bouteilles :**

C'est l'étape clé dans une stratégie de recyclage. La purification par tri dépend étroitement de la typologie du déchet rencontré et des impuretés et corps étrangers présents dans le flux de déchets. Le tri s'opère avant le broyage et s'effectue d'une manière manuelle. Les impuretés sont généralement le PVC, le PEHD, les bouteilles huilées, les métaux, le PET coloré...etc.[11].



Figure I 3: Tapis de tri Manuel des bouteilles en PET. [11].

### **d. Prélavage des bouteilles :**

Cette étape permet le nettoyage des bouteilles, en élimination les souillures internes et externes (restes de liquide alimentaire, de détergent, de pollutions diverses organiques et minérales)[11].

### **e. Broyage :**

Au cours de cette opération, le déchet va subir une réduction de taille (écailles) lui permettant d'accepter les traitements ultérieurs dans de bonnes conditions. Les broyeurs les plus

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

couramment rencontrés sont les broyeurs à couteaux. Plusieurs lames sont fixées sur un rotor. Le broyat obtenu après cette étape est sous forme de paillettes[11].



Figure I.4: .Broyeur. [11].

### **e. Première séparation par densité (flottation) :**

C'est une étape importante puisqu'elle sépare les paillettes du PET et d'autres impuretés par différence de densité. Par exemple, les bouteilles en PET d'eau ou de soda et les bouchons sont en PEHD ou polyoléfinés (PE, PP). Le PET et les polyoléfinés doivent être séparés car ils sont de nature chimique différente, la présence de polyoléfinés dans les paillettes du PET perturbe le procédé de recyclage, entraînant des défauts de qualité des déchets à traiter et voir même l'impossibilité de production finis. RET PLAST possède un système de séparation qui se déroule dans un bassin d'eau, doté d'un racleur pour faire débarrasser les impuretés [11].

Densités de quelques impuretés.

- La densité de l'eau est de 1 gramme par  $\text{cm}^3$  (soit un kilo par litre d'eau).
- La densité du PET est de  $1.34\text{g}/\text{cm}^3$  : il est « plus lourd » que l'eau.

- Les polyoléfines sont-elles, « plus légères », car de densité inférieure à 1g/cm<sup>3</sup>.



Figure I. 5: Bassin de séparation des paillettes en PET des impuretés.[11].

#### **h. Lavage des paillettes :**

Le lavage des paillettes s'effectue dans une cuve pleine d'eau chaude (80°C) contenant de la soude caustique (NaOH). Cette cuve est dotée d'un système d'agitation (vice) qui aide à débarrasser une portion importante des souillures, donc cette étape agit sur le degré de propreté des écailles. Noter que, lors du lavage, les facteurs température de l'eau, concentration de la soude et temps de séjour des paillettes dans la cuve influent sur la qualité des écailles. Donc, cette opération nécessite des conditions opératoires bien définies[11].





Figure I.6: Cuve de lavage [11].

**i. Deuxième séparation par flottation :**

Cette étape au même principe que la première séparation, le but est d'assurer une bonne séparation et d'éliminer presque toutes les impuretés qui subsistent lors de la première séparation[11].

**g. Rinçage des paillettes :**

Cette opération se fait dans un bassin contenant juste de l'eau propre et un système de malaxage. L'objectif de cette opération est d'éliminer toutes les traces d'impuretés restantes. L'eau s'écoule d'une manière continue pour la neutralisation du milieu basique qui est causé par la soude caustique (PH = 6.5 à 7)[11].

**k. Essorage, tamisage et séchage :**

Le séchage, couplé à l'étape d'essorage, est le plus souvent pratiqué en flux d'air chaud produit par des résistances électriques. Les particules essorées sont agitées mécaniquement par brassage et exposées à un air chaud dont la température est réglée en fonction de la nature du polymère traité et de la forme géométrique des particules. Le but du tamisage est d'avoir des écailles de même taille (paillettes homogènes)[11].

### **I.4.3- Type des PET :**

#### **I.4.3.1- Fibre en plastique :**

On les trouve sous des formes et des dimensions diverses. Parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des matériaux du Génie Civil et les Travaux Publics on peut citer : Les fibres de polypropylène, d'amiantes, de carbone, de verres, les fibres végétales et métalliques Ils existent les tonofilaments PET qui peuvent être soit signalables, soit non flagellables, droits ou sertis, avec différents profils et diamètres, allant de 0,12 mm à 2,00 mm.

#### **I.4.3.2- Les fine particules des PET :**

Ce sont des fine particule en PET d'une granulométrie très petite, leur diamètre maximale est de 2.6mm on les obtient d'après les bouteilles de PET déchiqueté finement 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 :

- Agrégats de PET fins et grossiers.
- le granulat déchiqueté (une forme angulaire et forme de pastille).

#### **I.4.3.3-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.

#### **I.4.3.4-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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- Agrégat de PET en forme de pastille[13].



Figure I.7: PET agrégats fins

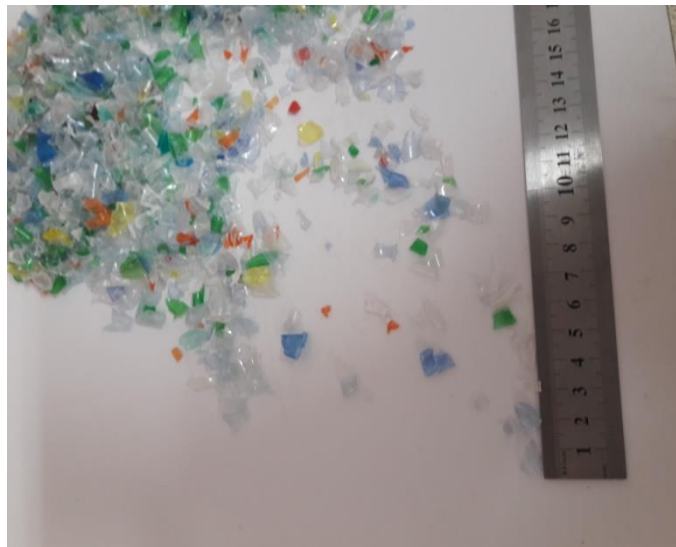


Figure I.8: PET agrégats grossiers

### **I.4.4- 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> [13].

#### **I.4.5- 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.[12].

#### **I.4.6- 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.[13].

#### **I.4.7- Comportement mécanique :**

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

Le comportement des polymères à la déformation diffère de celui des métaux de construction en ce qu'il n'est pas seulement fonction de l'ordre de grandeur de la contrainte, mais également de la durée d'application. Le fluage des polymères et des plastiques peut être important, même à la température ambiante, alors que pour les métaux, il ne l'est jamais au-dessous de 500°C. De plus, la température et le mode d'application de la contrainte affectent beaucoup plus les propriétés mécaniques des polymères et des plastiques que celles des métaux. Ces propriétés peuvent aussi être influencées par le procédé de fabrication, un traitement ultérieur et l'âge du produit fini.[12].

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.[12].

#### **I.4.8- 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,

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

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[12].

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.[12].

### **I.4.9- 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. [13].

Les plastiques qui flottent sont le PP et le PE car ils ont une densité inférieure à 1. Le PS expansé flotte également grâce aux nombreuses bulles d'air qui y sont incluses. Lorsqu'on ajoute du sel à l'eau, on remarque que les autres bouts de plastique s'élèvent progressivement : dans l'ordre on a le polystyrène (non expansé), le PVC et le PET [13].

## Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION

Tableau I.1.certaine propriété des matières plastiquespet [14].

Type de plastique	Propriétés generals
<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>-Faibleperméabilité 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>

### I.4.10- 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[14].

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

### **I.4.11- 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 [14].

<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
<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.



## **I.5.généralités sur les déchets de brique :**

### **I.5.1-Déchets De Brique:**

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquillons », ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universelle de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.[15].

En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est presque Négligeable. On appelle « briquillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites).

### **I.5.2-Définition de brique :**

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable[15].

### **I.5.3-Technique de la production de la brique :**

La production de la brique, est un travail complexe qui permet une production engarde quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation ; c'est la raison qui, sans doute, explique qu'il a fallu attendre la naissance, au troisième millénaire avant J-C, Pour une société organisée, on envisage de cuire des briques, alors que la céramique existait depuis l'époque néolithique. Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique : [15].

- L'extraction de la terre, jusqu'à la fin du XIXe siècle où furent inventées les remières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.
- La préparation de la pâte : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- Le façonnage de l'antiquité, on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.
- Le séchage est, en effet, indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.
- La cuisson est l'opération la plus délicate, la brique est mise à cuire dans un four[15].

### **I.5.4-Types de brique :**

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée.

On distingue différents types de briques :

- La brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, 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).
- 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 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 de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression.
- la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique,
- labrique non gélive.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.

Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- Briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives.
- Briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs.
- Briques plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend[16].

### **I.5.5-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 bravai stiques (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° à 1000°) des fours à brique : la silice (SiO<sub>2</sub>) et de l'aluminium (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

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 fluorescenceX. [15].

Le tableau 1.1 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine.

## Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION

Tableau I.3 .Composition minéralogique de déchets de briques [17].

Eléments	Ca O	SiO 2	Al <sub>2</sub> O 3	Fe <sub>2</sub> O 3	Mg O	SO 3	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P.F
Pourcentages %	<b>6.0 6</b>	<b>66.5 2</b>	<b>14.2 0</b>	<b>5.45</b>	<b>2.3 5</b>	<b>0.7 3</b>	<b>2.0 9</b>	<b>0.73</b>	/	<b>1.00</b>

### I.5.6-Le déchet de brique rouge Dans le béton :

Les déchets de brique rouge 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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

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. 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 occasionnelle comme [17].

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.[18].

### **I.5.7-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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

- 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 [18].

### **I.5.8-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[19].

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 [19].

### **I.5.9-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[19].

### **I.5.10-. 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.

## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---

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 [19].

### **I.5.11-La méthode que nous avons utilisée de recyclage le déchet de brique :**

#### **A .Le processus de collecte des déchets de briques :**

La première chose est que 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 I.9 .Remblai de déchets de briques dans une usine à Laghouat

**B . Processus de concassage de brique:**

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

Et après l'avoir écrasé dans la machine concasseur, nous l'écrasons également et le broyons dans une machine Los Angeles, Nous mettons 5 kg de granulés de brique avec 12 granulés de fer ... nous les mettons dans une machine de Los Angeles pour qu'ils tournent 1500 tours ,d'obtenir des granulés plus petits que les précédents.



Figure I.10 .La machine de concasseur des briques



## *Chapitre I VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION*

---



Figure I.11. Les granulons des briques que nous avons obtenus De la machine concasseur



Figure I.12. Les granules des briques que nous avons obtenus De la machine los  
Anglos

Et le dernier processus de craquage a lieu dans une machine micro-Duval ... où nous avons mis les dernières brique que nous avons retirées de la machine de Los Angeles et mis 2 kilogrammes Des briques avec 500 grammes de granulés de fer, Puis il tourne 2000 tours.

Et enfin, nous obtenons de la poudre et des granulés très fins à partir de brique d'argile hétérogène



Figure I.13. Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer



Figure I.14 . La Machine Micro Duval.

**C .Tamisage de poudre de brique :**

Dans ce processus, nous tamisage la poudre et les granulés hétérogènes, Nous utilisons un certain nombre de tamis Dans ce processus, nous avons utilisé Les dimensions de la série des tamisages d'ouverture (en mm) : 0,08-0,16-0,32-0,63-1,25-2,5-5,0.

Et nous effectuons le processus de tamisage manuellement jusqu'à ce que nous obtenions une poudre qui est passée sur l'ouverture du tamis 0,08mm.



Figure I. 15.Les tamis que nous avons utilisés



Figure I.16. Tamisage manuellement de la poudre et granulés des briques



Figure I.17. Classification de la poudre de brique en fonction du diamètre des granulés



Figure I.18. La poudre finale de brique qui est passée dans le tamis 0.08 mm

### **I.6-Conclusion :**

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

Dans un premier temps, nous avons parlé des déchets industriels et leurs atteintes à l'environnement, et le recyclage de la possibilité de les inclure dans le domaine du génie civil.

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 :**

---

# **GENERALITES SUR LES MOURTIE ET LES SABLE DE DUNE**

---

## II.1- INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons donner une présentation générale. Nous définissons les mortiers et leurs éléments de base avec leurs caractéristiques et leurs différents types, avec des moyens idéaux pour préparer de mortier, nous nous sommes surtout basés sur leurs applications dans la construction , Et nous parlons aussi sur les travaux de recherche qui ont été fait sur la valorisation de sable de dune pour la confection des mélanges cimentaires appliqués dans le domaine de la construction en génie civil.

## II.2- généralité sur les mortiers

### II.2.1-Les mortiers :

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

Les professionnels du bâtiment qui utilisent le mortier sont le maçon, le couvreur, le carreleur et le tailleur de pierre. Jadis, la fonction était dévolue au gâcheur de mortier, qui le gâchait, c'est-à-dire le mélangeait.

De la proportion des composants dépendent en grande partie la qualité et la résistance du mortier mise en œuvre. Le rapport quantité de liant sur quantité de mortier prend le nom de "dosage"[20].

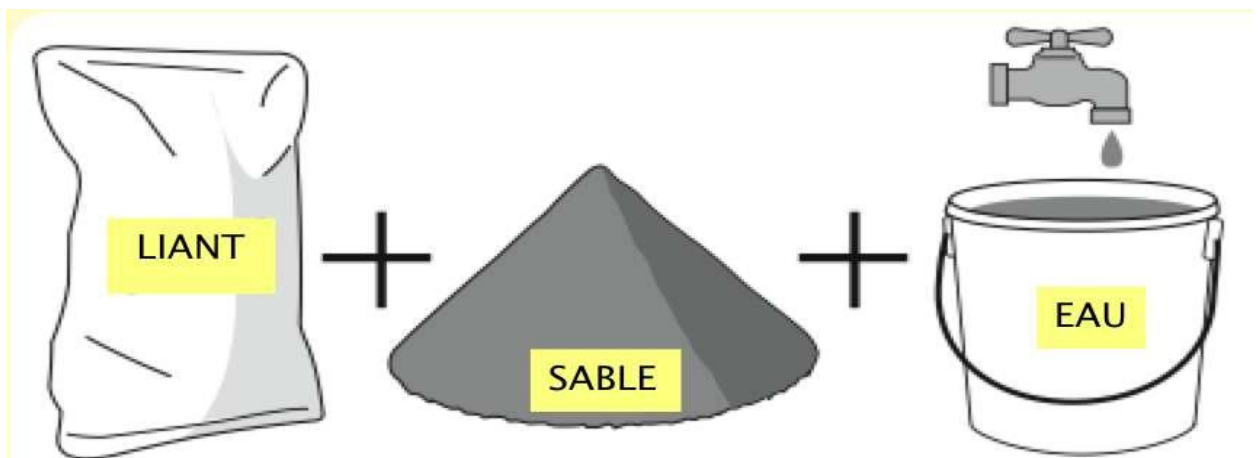


Figure 19:I Constituants des mortiers classiques

### **II.2.2-Défiérent types de mortier :**

Un mortier est un mélange, durci ou non, de sable, de liant(s) et d'eau, avec ou sans adjuvants Et additifs. On distingue trois types de mortiers: les mortiers pour utilisation générale, les mortiers pour fines couches et les mortiers allégés. Le but du mortier est d'attacher les briques les unes aux autres et de répartir les charges[20].

#### **II.2.2.1-Le mortier de ciment pur :**

Le mortier de ciment pur présente une meilleure résistance à la compression que le mortier bâtard et sa prise est plus rapide. En revanche, Il est davantage sujet au retrait[21].

#### **II.2.2.2 Les mortiers de chaux :**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique [21].

#### **II.2.2.3-Le mortier bâtard :**

Le mortier bâtard est composé de ciment et de chaux aérienne ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Il présente le grand avantage d'être plus élastique et plus facile à mettre en œuvre que le mortier de ciment pur. Son retrait est en outre moins marqué. Les adjuvants ne sont pas nécessaires.

Le temps de durcissement relativement long peut parfois s'avérer gênant lors de la mise en œuvre, surtout en cas de menace de gel. Grâce à un dosage précis des adjuvants en usine, la plupart des fabricants de mortier sont en mesure de livrer des mortiers préposés (voir plus loin) qui réunissent les avantages du mortier bâtard (facilité de mise en œuvre) et ceux du mortier de ciment pur (prise rapide)[21].

#### **II.2.2.4-Les mortiers (légers) isolants :**

La norme NBN-EN 998-2 définit un mortier de maçonnerie allégé comme étant un mortier de maçonnerie dont le poids volumique sec après durcissement est inférieur à  $1.300 \text{ kg/m}^3$ . Certains adjuvants rendent ces mortiers de maçonnerie plus légers et donc plus isolants. Un mortier léger ou isolant permet d'améliorer quelque peu la résistance thermique de



l'amaçonnerie. Son poids volumique sec après durcissement est inférieur à  $1.300 \text{ kg/m}^3$ . A titre de comparaison:

Le mortier de ciment:  $1.900 \text{ kg/m}^3$ .

Le mortier bâtard:  $1.600 \text{ kg/m}^3$ .

Un mortier isolant est toujours un mortier industriel [20].

#### **II.2.2.5-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 [22].

#### **II.2.3-Les composantes des mortiers :**

Les mortiers sont composés de sable, de liant et d'eau, certains mortiers dits "bâtards" sont le résultat d'un mélange de sable avec deux liants, le plus souvent chaux et ciment, ou deux ciments différents [22].

#### **II.2.4-Etudes séparément chacun des composants :**

##### **II.2.4.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 maçonnerie 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 [21].

**II.2.4.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[22].

**II.2.4.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 [21].

**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 matière 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 [23].

**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 œuvre.
- 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.

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 composé de sable fin exige plus d'eau que ceux composés de sable moyen ou gras [23].

### **II.2.5-Préparation des mortiers :**

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.

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 % des 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 vibrage trop important détruit le mortier en séparant trop franchement les composants (sable au fond, ciment au milieu et eau en surface) [21].

## **II.2.6-Caractéristiques et propriétés des mortiers :**

### **II.2.6.1-L'adhérence au matériau mis en œuvre :**

Un mortier maigre est beaucoup moins adhérent qu'un mortier moyen ou gras, il est facile des '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.

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 humide[21].

### **II.2.6.2-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 passerelle 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[21].

### **II.2.6.3-Retrait:**

Pendant leur prise, puis leur durcissement, les mortiers de ciment subissent un certain raccourcissement de leurs dimensions c'est ce qu'on appelle le retrait. L'importance du retrait est en rapport avec :

- ❖ **Le dosage :**

Un dosage excessif (mortier trop gras) accentue le retrait et de là, la fissuration.

- ❖ **La quantité d'eau de gâchage :**

Celle-ci joue un très grand rôle dans la qualité d'un mortier.

- ❖ **La qualité du liant :**

Un super ciment fait un retrait plus important qu'un liant dont la résistance mécanique est de 160 à 250 bars est un tort de délaisser certains liants au profit de ceux dont la haute résistance mécanique n'est pas en rapport avec les contraintes que subiront les ouvrages.

**❖ La fabrication du mortier :**

Celui-ci doit être mélangé de façon parfaite afin d'obtenir une pâte homogène.

**❖ Les précautions après la mise en œuvre :**

S'il s'agit de travaux effectués pendant l'été, une déshydratation trop rapide produit un retrait trop brutal et diminue la résistance du mortier, on doit alors le recouvrir et l'humidifier. [21].

**.II.2.7-Les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers de ciment :****II.2.7.1-Les résistances mécaniques :**

L'exigence essentielle pour un béton ou un mortier est de pouvoir résister aux contraintes mécaniques de la construction. C'est pourquoi la détermination des résistances mécaniques est essentielle pour caractériser un béton, d'autant plus que cet essai relativement simple permette d'obtenir une image globale de la qualité du béton. Pour obtenir des résultats fiables, la confection des éprouvettes, ainsi que les essais mécaniques proprement dits, doivent être réalisés avec soin[24].

**II.2.7.2-Résistance à l'écrasement :**

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm 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 logarithme du temps (entre 1 et 28 jours) [24].



Figure 20:II. MOULE DE RETRAIT POUR MORTIER 40x40x160 mm

Les caractéristiques suivantes peuvent être déterminées expérimentalement :

- La résistance à la compression sur prismes de mortier.
- La résistance à la traction et à la flexion sur prismes de mortier.

## II.2.8- Les propriétés physiques des mortiers :

### II.2.8.1-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.

### II.2.8.2-Porosité et compacité :

- **Porosité :**

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total.

**. La compacité :**

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total

**II.2- Les sables de dunes :****II.2.1-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[25].

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[26].



Figure 21:II. sable de dune

**II.2.2-Nature de sable de dune :****II.2.2.1. 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[26].

**II.2.2.2. Types des dunes.****II.2.2.2. 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 spasmophiles[26].

**II.2.2.2. 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[26].

**II.2.2.2. 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[26].



**II.2.2.2. 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)[26].

**II. 2.3- 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[26].



Figure 22:II. La barchane

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.

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane. 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[26].

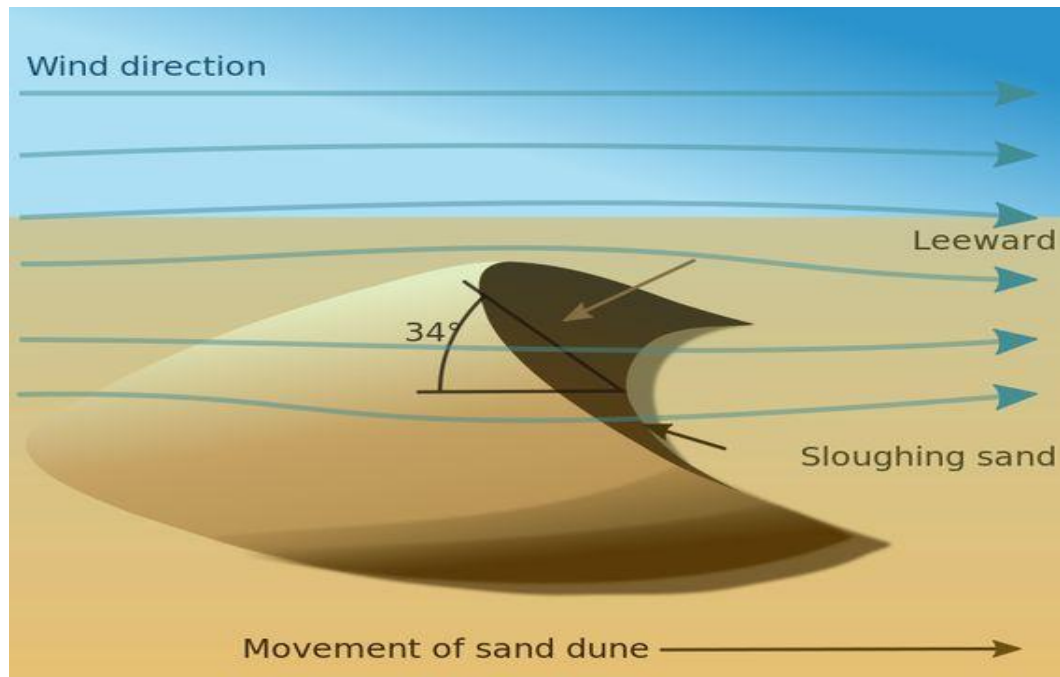


Figure 23:II. Morphologie de la barkhane

#### II. 2.4- 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.[27].

### **II. 2.5- 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. De 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 environnement. [27].

#### **II.2.5.1. Les aspects économiques :**

Sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune Permet une économie certaine dans le transportes matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité s inépuisables. Par ailleurs,

son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [28].

**II.2.5.2. Les intérêts techniques sont de deux types :**

- 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[28].

## CHAPITRE III:

---

# CARACTERISATION DES MATERIAUX

---

## **CHAPITRE III** caractérisation des matériaux

---

### **III.1. Introduction :**

La qualité des matériaux utilisés influence grandement le comportement mécanique du mortier. Les principaux éléments ayant la plus grande influence sur la résistance mécanique Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude. Le béton de sable est constitué du sable de dunes, du ciment, de l'eau, et des déchets plastiques et le déchet de briqués. Les essais effectués sur ces produits sont réalisés au niveau des laboratoires des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD).

### **III.2- Caractérisation des matières utilisées :**

#### **III.2.1- Sable :**

Le sable utilisée dans cette recherche expérimentale est le sable de dune ramené de la région oued Noumer.



Figure 24: III. Le sable utilise.

### III.2.1.1- Analyse granulométrique [NF EN 933-1] :

L'analyse granulométrique permet de classer et de définir la granulométrie des matériaux employés dans la construction, d'après la grosseur des grains et la forme de la courbe granulométrique. L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamises sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique)

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

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

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

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

100

D'après la formule MF = 1.20

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



Figure 25: III. Les tamis que nous utilise dans cette essai

Tableau 4: III.: Pourcentages des tamis cumulés pour les classes granulaires

$\Phi$ tamis (mm)	Sable de dunes (%)
5	100
2.5	100
1.25	100
0.63	99.96
0.315	48.48
0.60	30.17
0.08	1.14

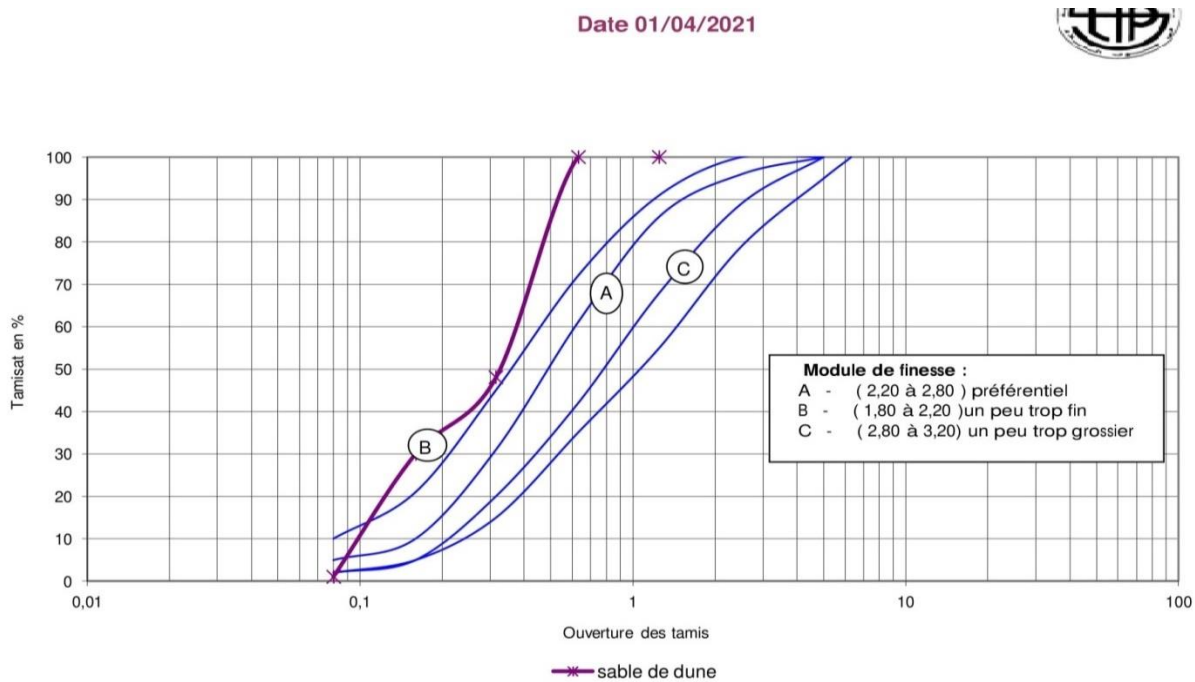


Figure 26: III. L'analyse granulométrique de sable de dune utilise.



**III.2.1.3.Équivalent de sable [NF EN 933-8] :**

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

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

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 :

$$ES = (h2/h1) \times 100$$

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

L'équivalent de sable permettant de déterminer le degré de propreté du sable Selon que la hauteur H2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV.

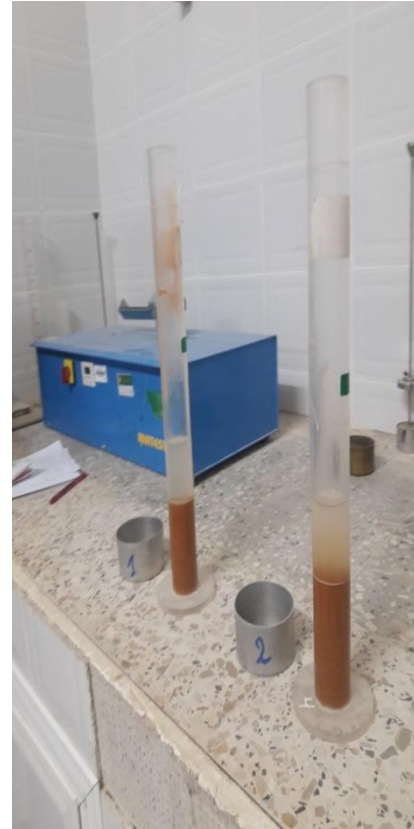
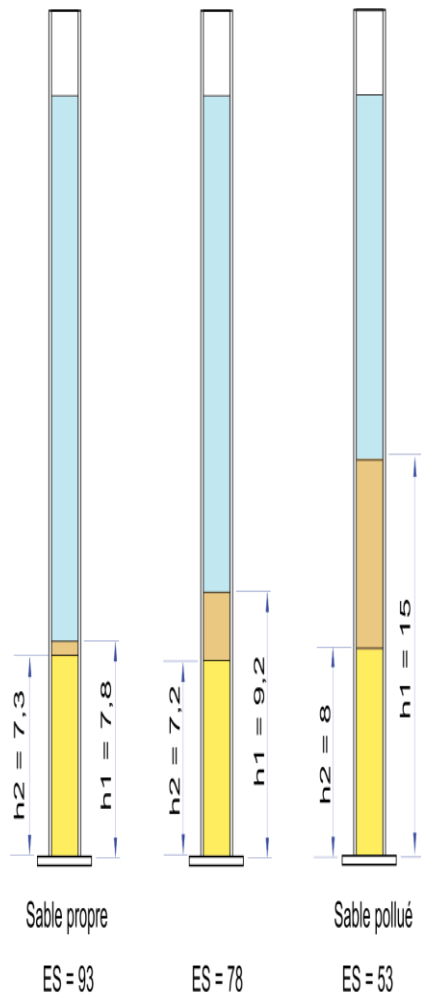


Figure 27: III. Équivalent de sable visuel

28: III. Equivalent de sable à vue et à piston

Tableau 5: III. Résulta d'essai Equivalent de sable

paramètre	Unité	Equivalent de sable visuel	Equivalent de sable piston
<b>h1</b>	CM	8.9	9.4
<b>H2</b>	CM	8.1	8.5
<b>ES</b>	%	91	90
<b>ES moyen</b>	%	90.5	

On peut en déduire que le sable de dune que nous utilisons est très propre.

**III.2.1.4 Analyse chimique de Sable de dune et déchet de brique [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 insoluble.
- Les carbonates  $\text{CaCO}_3$ .
- Les chlorures  $\text{NaCl}$ .
- Les sulfates  $\text{CaSO}_4$ .

Tableau 6: III. Analyse chimique de Sable de dune et déchet de brique

Echantillon	Sable de dune
Insoluble	96.6
Sulfates ( $\text{SO}_3$ )	00
Carbonates ( $\text{CaCO}_3$ )	01
Chlorures ( $\text{NaCl}$ )	0.004

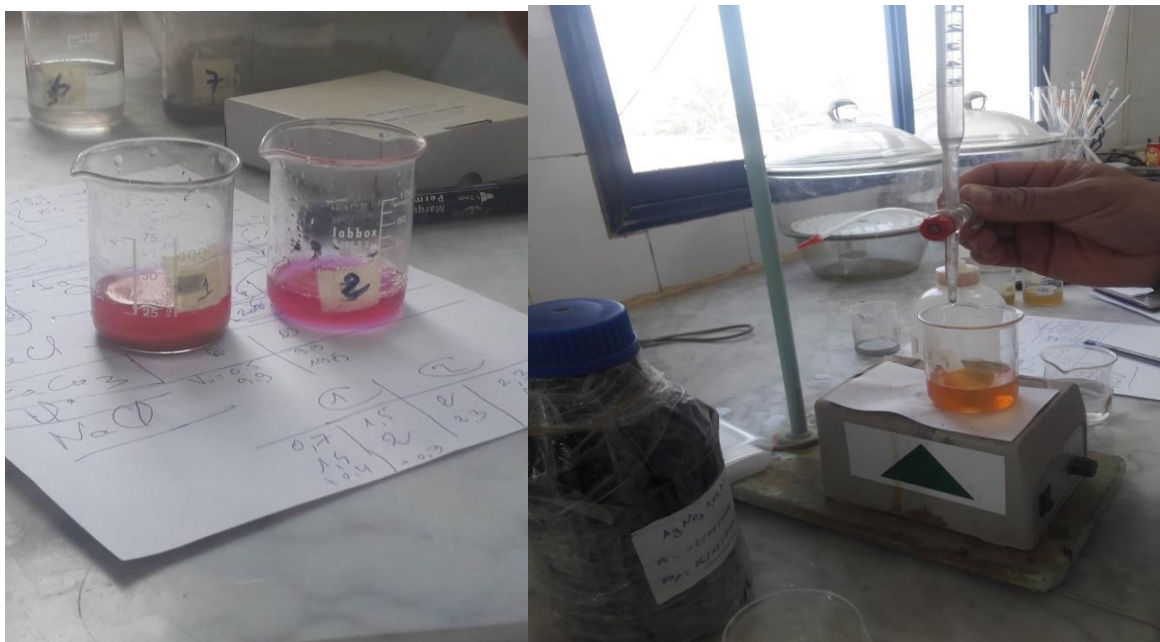


Figure 29: III. L'essai de l'analyse chimique

**III.2.1.5. La masse volumique :**

a. Masse volumique absolue : est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le sable, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place entre les grains. La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

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

Tels que:

$\gamma_a (g/cm^3)$ : La masse volumique absolue ( $g/cm^3$ ).

$M$ : La masse de l'échantillon (g).

$V_s (g/cm^3)$ : Le volume absolu de l'échantillon ( $cm^3$ ).

**III.2.1.6. Masse volumique apparente norme (NFP 94-064) :**

par définition la masse volumique d'un échantillon est le quotient de sa masse  $M$  par son volume  $V_a$  qu'il occupe :

$$\gamma_a = \frac{M}{V_a}$$

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

Tableau 7: III. Masse volumique absolue et apparente des sables utilisés.

Type d'agrégats	$\gamma_a (g/cm^3)$	$\gamma_s (g/cm^3)$
Sable de dune	1.5	2.61

**III.2.1.7. Essai de valeur de Blue bleu méthylène NF p 94 – 068 novembre 1993 :**

La présente norme a pour objet de préciser le domaine d'application de la valeur de bleu de méthylène d'un sol et ses modalités de détermination au moyen de l'essai dénommé essai au bleu de méthylène "à la tâche". La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) constitue un paramètre

### CHAPITRE III caractérisation des matériaux

---

d'identification qui mesure globalement la quantité et l'activité 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 30 grammes de sol dans 100 cm<sup>3</sup> d'eau distillée pendant une heure ; 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.

$$V_{bs} = 100 \times \frac{b \times c}{ms}$$

Où :

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

Tableau 8: III. Valeur du bleu de méthylène

Echantillon	Valeur du Bleu VBS (g/ml)	Classification du sable
Sable de dune	0.07	sol sablo limoneux, sensible à l'eau



Figure 30:III. Auréoles bleues sur papier filtre (taches).

### **III.3.DECHET DE BRIQUE:**

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 dans cette recherche.



Figure 31:III. Le déchet brique utilisée dans cette recherche

**III.3.1. La masse volumique de déchet de brique :**

Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) et sont regroupés sur le tableau :

Tableau 9: III. Caractéristiques physiques du déchet de brique

Type d'agrégats	$\gamma_a (g/cm^3)$	$\gamma_s (g/cm^3)$
Déchet de brique	0.99	2.45

**III.3.2. Essai sédimentométrie NFP 94-056 :**

Le présent document d'analyse granulométrique par tamisage au moyen de tamis à mailles carrées de dimension inférieure ou égale à 100  $\mu$ m s'applique aux sols, aux matériaux rocheux après extraction et aux sous-produits industriels utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil, dans la mesure où les sollicitations provoquées par le processus d'essai ne modifient pas leur structure. Pour les particules de taille inférieure à 80 micromètres, l'analyse granulométrique est faite par la méthode par sédimentation (norme NF P 94-056).

Ce présent document 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



Figure 32: III. L'essai sédimentométrie

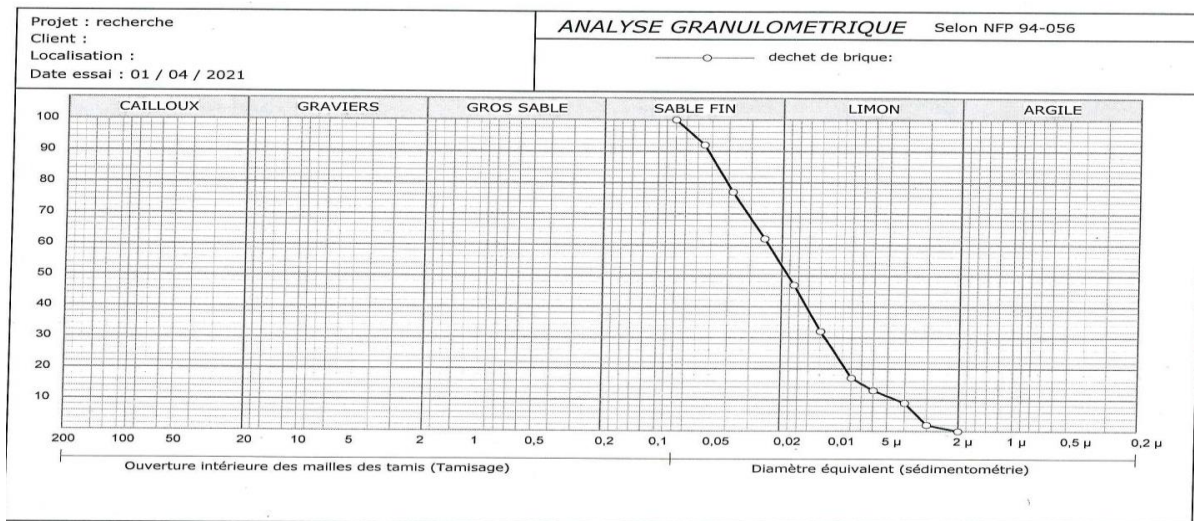


Figure 33: III. Le graphe de sédimentométrie de déchet de brique



**III.3.3-Analyse chimique de déchet de brique [EN P 15 – 461] :**

Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) et sont regroupées sur le tableau :

Tableau 10: III. Analyse chimique de déchet de brique

Echantillon	déchet de brique
Insolubles	77.6
Sulfates (SO3)	1.64
Carbonates (CaCO3)	04
Chlorures (NaCl)	0.024

**III.4.PET :**

Le polymère utilisé dans cette étude, est le poly téréphtalate d'éthylène connus sous le nom Commercial PET. Il s'agit d'n 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 que nous utilisons dans cette recherche.



Figure 34: III. Les déchets que nous utilisons.

**III.4.1-Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus :**

Les essais de caractérisation des PET sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) et sont regroupées sur le tableau ci-dessous :

Tableau 11: III. La masse volumique de PET

Type d'agrégats	$\gamma_a (g/cm^3)$	$\gamma_s (g/cm^3)$
Déchet de plastique	1.37	1.11

**III.4.2-Analyse granulométrique de déchet de plastique (PET) [NF EN 933-1] :**

Les essais de caractérisation de déchet de plastique PET sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) et sont regroupées sur le tableau.

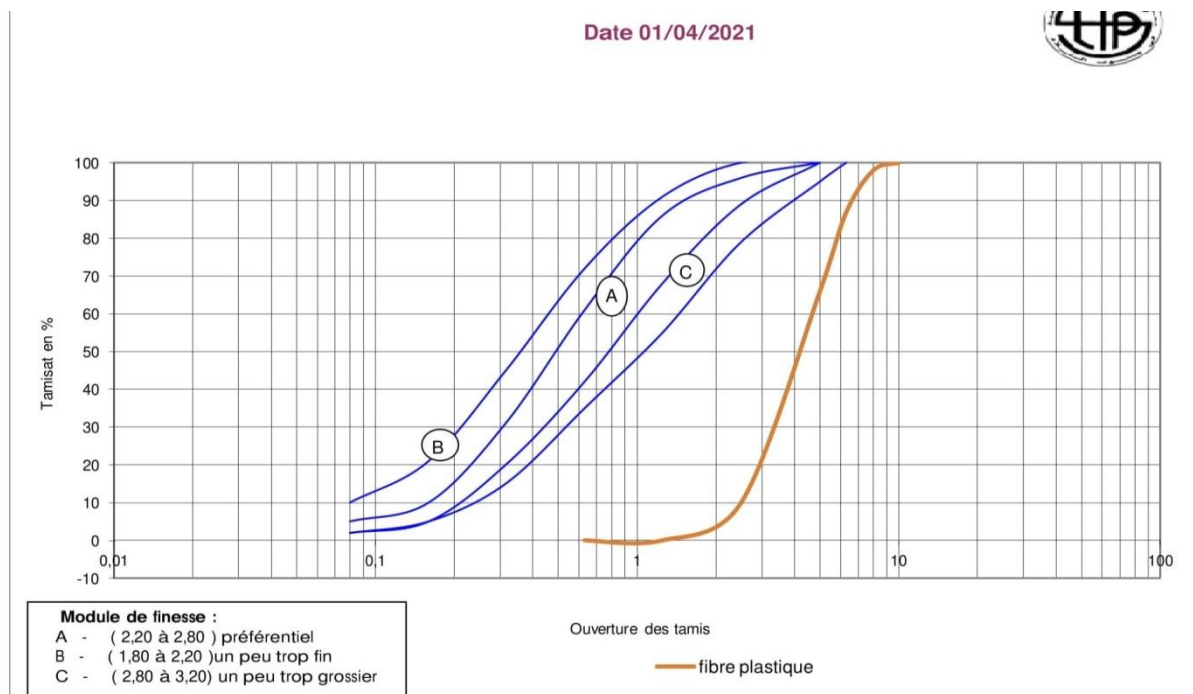


Figure 35: III. L'analyse granulométrique de déchet de plastique PET.

**III.5-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 12: III. Composition chimique de l'eau de gâchage

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

**III.6-Ciment :**

Un seul type de ciment a été utilisé au cours de cette étude. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, avec une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPA, une masse spécifique de 3,1 g/cm<sup>3</sup> et une surface spécifique de Blaine (SSB) de 3080 cm<sup>2</sup>/g produit par la cimenterie de CHLEF qui présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 [100]. Le ciment de CHLEF est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO<sub>2</sub>) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et le fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. Le tableau 4.2 résume la composition chimique et le tableau 4.3 représente la composition minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé sont représentées dans le tableau 4.4. L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 4.11). Néanmoins, cette analyse a un aspect qualitatif et non quantitatif. Cette analyse confirme l'existence des C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub>AF.

Tableau 13:III. Composition chimique des ciments utilisés

Teneurs(%) )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Caolibre	R.insoil	P.F
Valeurs	21.89	6.15	3.95	58.76	0.67	1.13	0.57	1.62	0.45	5.19	4.67

Tableau 14: III . Composition minéralogique des ciments utilisés

Teneurs(%)	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaOlibre	Gypse	Phased'ajout
Valeurs	57	18	11	8	1	5	12

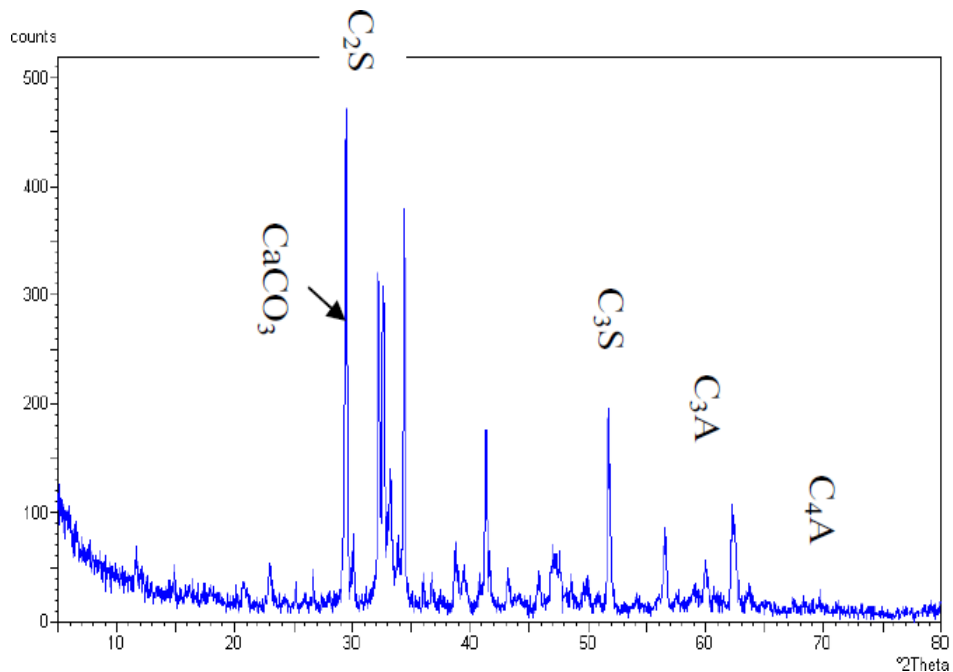


Figure 36: III.. Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/A 42.5 CHLEF

Tableau 15: III Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé.

Lesessais	ValeursMesurées	NormeNA442
SurfacespécifiqduBlaine( $Cm^2/g$ )	3080	-
Consistance(%)	24.15	-
DébutdePrise(h,mn)	02 :34	$\geq 60$ mm
Compression02Jours(MPa)	15.15	$\geq 12.5$
Compression28Jours(MPa)	46.43	$\geq 42.5$
Flexion02Jours(MPa)	2.97	-
Flexion28Jours(MPa)	6.26	-

<b>Expansion à chaud sur pate (mm)</b>	<b>2.12</b>	<b>≤10 mm</b>
--	-------------	---------------

**Conclusion :**

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

# CHAPITRE VI :

---

## Discussion les résultats expérimentaux

---

## **CHAPITRE VI. Discussion les résultats expérimentaux**

---

### **VI.1-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 , et Nous variant le rapport E/C , Le but de ce travail expérimental est d'étudier les propriétés du mortier, à savoir les résistances mécaniques à la flexion, à la traction et à la compression. Aussi la masse volumique du mortier a l'état durci, l'absorption d'eau et la porosité .

### **VI.2-Détermination de la composition du mortier :**

Par définition, 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% 15% 20% 25% )et déchet de plastique(5% 10% 15% 20% pet) avec variation le rapport E/C (50% 55% 60%) .

### **VI.3- 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.

### **VI.4-Les compositions étudiées dans cette recherché :**

#### **VI.4.1- Composition du mortier témoin :**

Table 1 VI. La composition optimal du mortier de témoin :

<b>E/C</b>	<b>Eau (g/cm3)</b>	<b>Sable (g/cm3)</b>	<b>Ciment (g/cm3)</b>
<b>50%</b>	225	1350	450
<b>55%</b>	247.5	1350	450
<b>60%</b>	270	1350	450



**VI.4.2- composition du mortier de déchet de brique :**

Dans le cadre de la valorisation des matériaux des déchet on a utilisé dans notre recherche expérimentale une méthode empirique pour la formulation des mortiers, cette méthode est basée sur variation le rapport E/C (.55%) avec Les déchet de brique sont introduits avec les différents pourcentages en masse suivantes : 5 %.10% .15% .20% .25%de la quantité de ciment. Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

Table 2 VI .Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de brique.

<b>Matrieaux</b>	<b>Sable (g/cm3)</b>	<b>Ciment (g/cm3)</b>	<b>Brique (g/cm3)</b>	<b>Eau (g/cm3)</b>
<b>5% brique</b>	1350	427.5	22.5	247.5
<b>10% brique</b>	1350	405	45	247.5
<b>15% brique</b>	1350	382.5	67.5	247.5
<b>20% brique</b>	1350	360	90	247.5
<b>25% brique</b>	1350	337.5	112.5	247.5

**VI.4.3- Composition du mortier de déchet de brique et déchet de plastique PET :**

on a utilisé dans notre recherche expérimentale 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%) de la quantité de ciment; avec le déchet de plastique le( PET) introduits avec les différents pourcentages en la masse de PET suivantes : 5 %.10% .15% .20% de la quantité de sable. Les compositions retenues pour cette étude sont représentées dans les tableaux suivant :

Table 3.VI Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 5 %

	<b>5% plastique (PET)</b>				
<b>% brique</b>	<b>Sable(g/cm3)</b>	<b>Pet(g/cm3)</b>	<b>Ciment(g/cm3)</b>	<b>Brique(g/cm3)</b>	<b>Eau(g/cm3)</b>
<b>t-</b>	1282.5	67.5	450	0	247.5
<b>5% B</b>	1282.5	67.5	427.5	22.5	247.5

## CHAPITRE VI. Discussion les résultats expérimentaux

Table 4.VI Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 10 %

	<b>10% plastique (PET)</b>				
<b>%brique</b>	Sable(g/cm3)	PET(g/cm3)	CIMENT(g/cm3)	BRIQUE(g/cm3)	EAU(g/cm3)
<b>t-</b>	1215	135	450	0	247.5
<b>5% B</b>	1215	135	427.5	22.5	247.5

Table 5. VI .Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 15 %

	<b>15% plastique (PET)</b>				
<b>% brique</b>	SABLE(g/cm3)	PET(g/cm3)	CIMENT(g/cm3)	BRIQUE(g/cm3)	EAU(g/cm3)
<b>t-</b>	1147.5	202.5	450	0	247.5
<b>5% B</b>	1147.5	202.5	427.5	22.5	247.5

Table 6.VI . Compositions des mortiers pour pourcentages Plastique 20 %

	<b>20% plastique (PET)</b>				
<b>% brique</b>	SABLE(g/cm3)	PET(g/cm3)	CIMENT(g/cm3)	BRIQUE(g/cm3)	EAU(g/cm3)
<b>t-</b>	1080	270	450	0	247.5
<b>5% B</b>	1080	270	427.5	22.5	247.5

### VI.5-Mode de préparation des échantillons :

#### VI.5.1-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 et le déchet de brique 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.

### **VI.5.2-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 prononcée d'huile peut affecter le mélange de mortier en s'infiltrant dans le mélange nuisant à la réaction d'hydratation et diminuant sa résistance à la compression.
2. Préparer tout le matériel et matériau nécessaire pour la confection des mortiers. Préparer les pesées des matériaux à utilisés (sable, ciment, eau, déchet de plastique, déchet de brique ).



Figure 37: VI. Moule normalisé de 40x40x160 mm

### VI.5.3-Le malaxage :

Le malaxage joue un rôle précieux dans la fabrication des mortiers, d'où la nécessité de maîtriser et respecter son mode et son temps.

Le mélange (ciment déchet de brique) et-eau 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 1.30 minute à vitesse lente puis 02 minute à vitesse rapide afin d'homogène la pâte. La mise en moule doit se faire immédiatement après l'essai de maniabilité dans notre cas dans des moules normalisés .

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 38:Vi. Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton –LTPS].

### VI.5.4-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 (chacune d'environ 300 g) 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.

Et nous Retirer doucement le moule de la table à chocs et ôter la hausse. nous Enlever immédiatement l'excès de mortier à l'aide de la règle métallique.



Figure 39: VI. Appareil à chocs .

### VI.5.5- Démoulage des éprouvettes:

Après 24 h les éprouvettes sont démoulées, et immergées dans un bassin d'eau 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 40:VI. Les éprouvettes dans un bassin d'eau .

### VI.6- COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MORTIERS :

Des essais mécaniques sont utilisés pour caractériser les mortiers:

- 1- La flexion trois points sur trois éprouvettes de  $4\times 4\times 16\text{ cm}^3$
- 2- 2- La compression pure sur les demi-éprouvettes issues du test précédent.

#### VI.6.1- Essais à la traction par de flexion : [NF P15-471]

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture.

C'est l'essai généralement le plus utilisé dans la caractérisation des matériaux. L'essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques , a l'âge 7 et 14et 28 jours La résistance à la flexion est calculée selon l'équation :

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

## CHAPITRE VI. Discussion les résultats expérimentaux

---

**R<sub>t</sub>** : Résistance à la traction en MPA.

**F<sub>t</sub>** : Charge à la rupture en N.

**L** : Distance entre axes des rouleaux d'appuis de l'éprouvette 40x40x160 mm (L= 100 mm).

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

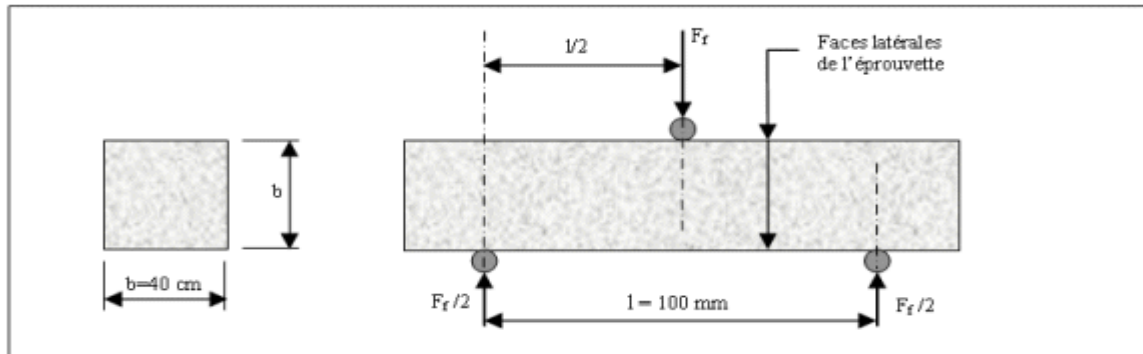


Figure 41:VI . Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points)



Figure 42: VI. Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion (3 points)



Figure 43 :VI . composition d'un mortier trouves dans notre mortier.



**VI.6.2- Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471)**

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

$$c = F_c / b^2$$

Rc : résistance à la compression en (MPA).

Fc : Charge de rupture en (N).

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

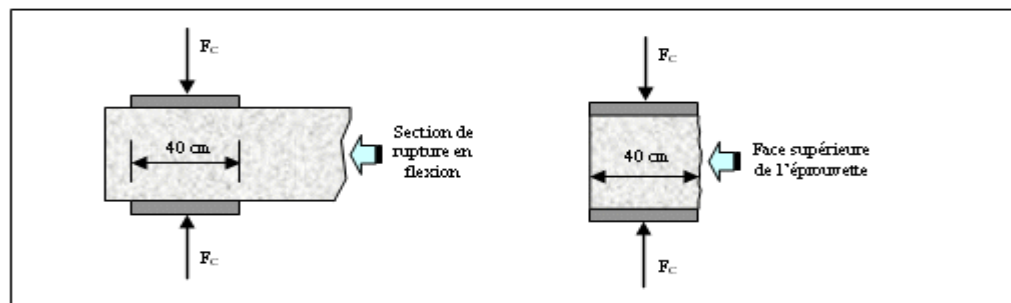


Figure 44:VI. Dispositif de rupture en compression.



Figure 45:Figur VI. Dispositif de l'essai mécanique de Compression

### **VI.7- COMPORTEMENT PHYSIQUE DES MORTIERS :**

Des essais physiques sont utilisés pour caractériser les mortiers :

#### **VI.7.1- Essai de l'absorption d'eau NF P10-502 :**

Cet essai consiste à suivre la cinétique d'imbibition à travers la quantité d'eau absorbée par unité de surface de l'échantillon en contact avec l'eau.

Échantillons sont préalablement séchés à une température de 55 °C jusqu'à obtention d'une masse constante, puis pesés afin d'en déterminer la masse sèche. A noter que les éprouvettes testées peuvent se présenter sous la forme d'un cube de côté (40\*40\*80) mm.

Nous avons adopté un essai généralement appliqué à des terres cuites et des pierres calcaires normes NF P10-502. Il s'agit de mettre en contact la base de l'éprouvette prismatique avec une nappe d'eau à 1 cm de profondeur et de suivre l'évolution de la masse de ces éprouvette au cours du temps. La nappe d'eau est maintenue à niveau constant par un trop-plein. Les faces latérales sont imperméabilisées à l'aide d'un film plastique (un ruban plastique adhésive) qui force l'eau à adopter un cheminement uni axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces. La masse d'eau absorbée est déterminée par des pesées successives des échantillons. La seule précaution à prendre consiste à éliminer la pellicule d'eau retenue sur la face inférieure de l'échantillon avant chaque pesée à l'aide d'un papier absorbant. Les essais sont réalisés dans les conditions de laboratoire ( $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  et  $HR = 45 \pm 10 \%$ ).

L'équation de calculé de cette essai suivante:

$$(MA - M_0) * 100 / M_0.$$

$M_0$  : la masse sèche.

$MA$  : la masse humide au moment de la mesure.

Les éprouvettes utilisées dans cette partie sont cubiques et ont été conservées à l'eau ( $T = 21^\circ\text{C}$ ).

Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction mortier.

L'absorption d'eau en masse : exprimée en %.

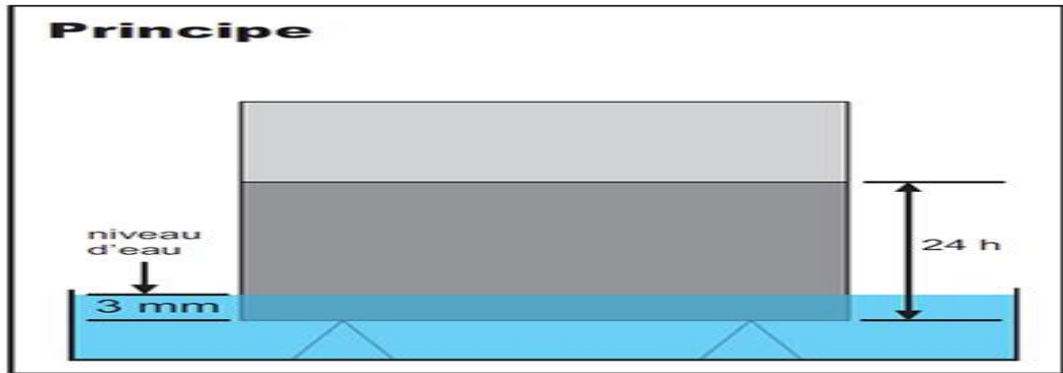


Figure 46: VI. Montage pour la mesure de la absorption d'eau

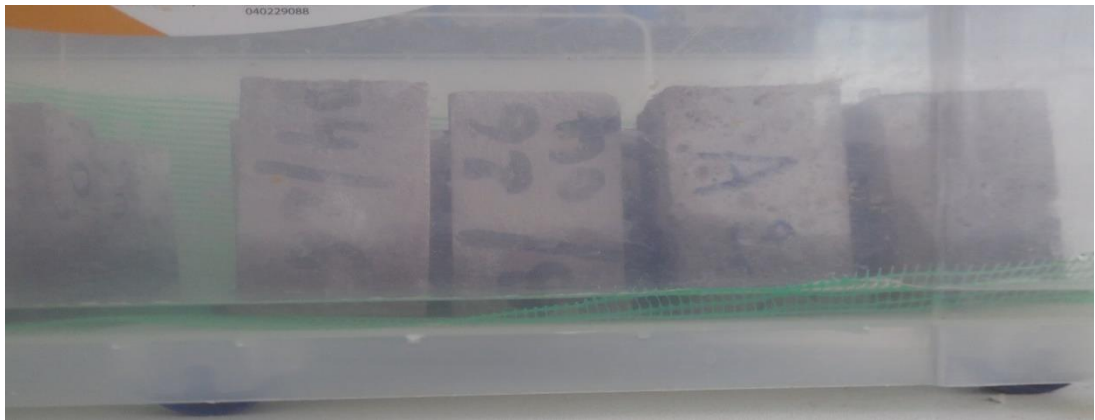


Figure 47: VI. montage expérimental utilise dans l'essai d'absorption



Figure 48: V. les pourcentages de la composition d'essai de l'absorption en real

**VI.7.2- Porosité accessible à l'eau NF P 18-459 :**

La porosité accessible à l'eau a été mesurée selon la recommandation de l'AFPC-AFREM Cette porosité a été estimée en faisant la moyenne de trois valeurs. Les échantillons ont d'abord été séchés dans une étuve à 55 ° C, jusqu'à stabilisation de la masse (Md), puis l'air présent dans les pores de mortier a été évacué à l'aide d'une pompe à vide. La masse des cubes de mortier entièrement saturés été calculée en utilisant l'équation suivante :

$$P=(MSA-Md)*100/ (MSA-MW)$$

MSA : la masse saturée d'eau dans l'air

Md : la masse sèche.

MSW : la masse saturée d'eau sous l'eau

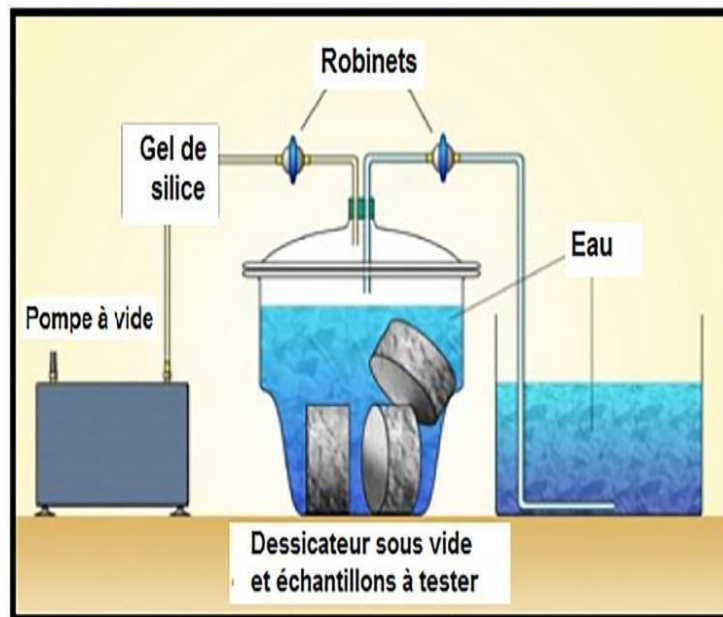


Figure 49: VI. Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau



Figure 50 : VI. Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau.

### VI.7.3- Détermination de la Masse Volumique apparout sèche :

La masse volumique des bétons légers est l'une des caractéristiques les plus importantes. Sur la base de cette caractéristique nous pouvons classer notre béton et indiquer son domaine d'application. Elle est définie comme le rapport de la masse de l'échantillon à son volume apparent à l'état sec. Les masses sèches des mortier durcis ont été déterminées par pesée après 7-14-28 jours de séchage ont été déterminées par pesée de séchage à l'étuve à 55°C jusqu'à masse constante.

On détermine la masse volumique juste avant l'essai mécanique aux , on détermine la masse volumique est donnée par la

formule suivante :  $P = (M/V)$

Ou : M : masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette.



Figure 51: VI. Processus de séchage des échantillons dans le four

### **VI.8- Les résultats :**

#### **VI.8.1 - Les résultats de la mortier de sable de dune à l'état frais :**

L'étude du mortier dans le cas normal à l'état frais dépend de l'étude de la maniabilité entre les différents de compositions et les différents pourcentages des rapport E/C.

Dans cette essai nous avons changé le pourcentage de rapport E/C d'eau dans chaque mélange, nous avons utilisé le rapport E/C 50% et 55% et 60% , afin de découvrir un bon rapport qui nous donne une résistance mécanique maximale parmi eux, et donne une bonne maniabilité de la mise en place du mortier dans le moule.

#### **Les résultats :**

##### **le résultat de la masse volumique sèche :**

Évolution de la moyenne de la masse volumique sèche en fonction du E/C :

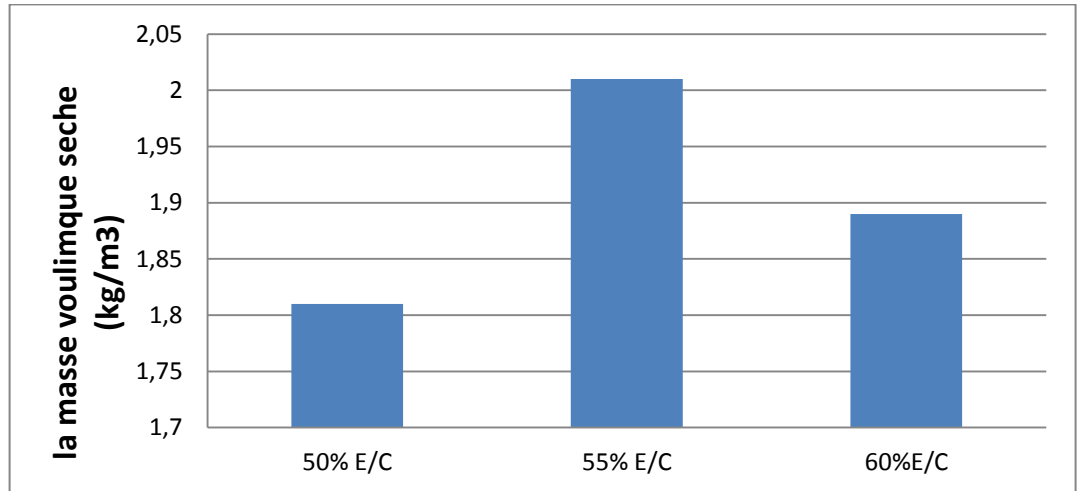


Figure 52:VI. Évolution de la masse volumique sèche en fonction du E/C

**Remarque :**

D'après les graphiques, nous remarquons que lorsque le rapport de E/C 50% affaiblie lors du malaxage du mortier, nous obtenons une densité plus faible. Et lorsque le rapport de E/C 60% est plus que nécessaire lors du malaxage du mortier, nous obtenons également une densité plus faible.

De là, nous concluons que le meilleur rapport de densité est 55% E/C .

**1. La porosité de E/C :**

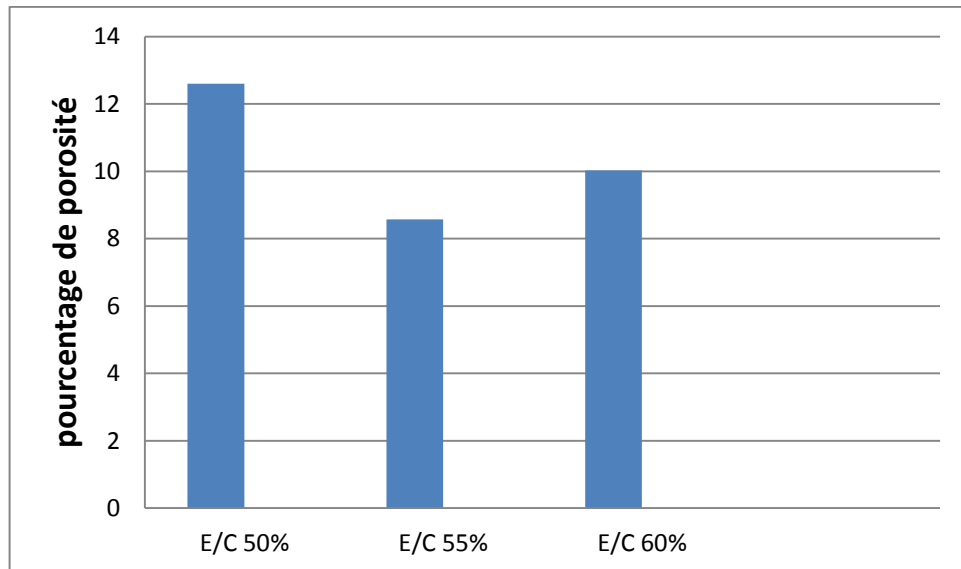


Figure 53:VI . pourcentage de la porosité de E/C

### REMARQUE :

D'après les graphiques de porosité et les graphiques de densité il existe une relation inverse entre eux, Lorsque la porosité est élevée, la densité est faible et l'inverse est également vrai.

A partir de ces graphiques on constate que dans le rapport 50% E/C .on a une grande porosité, et cela est dû au fait que le mortier ne se mélange pas bien par manque d'eau.

On constate qu'un rapport idéal qui nous a donné une bonne porosité est 55% E/C.

### 2. Absorption d'eau :

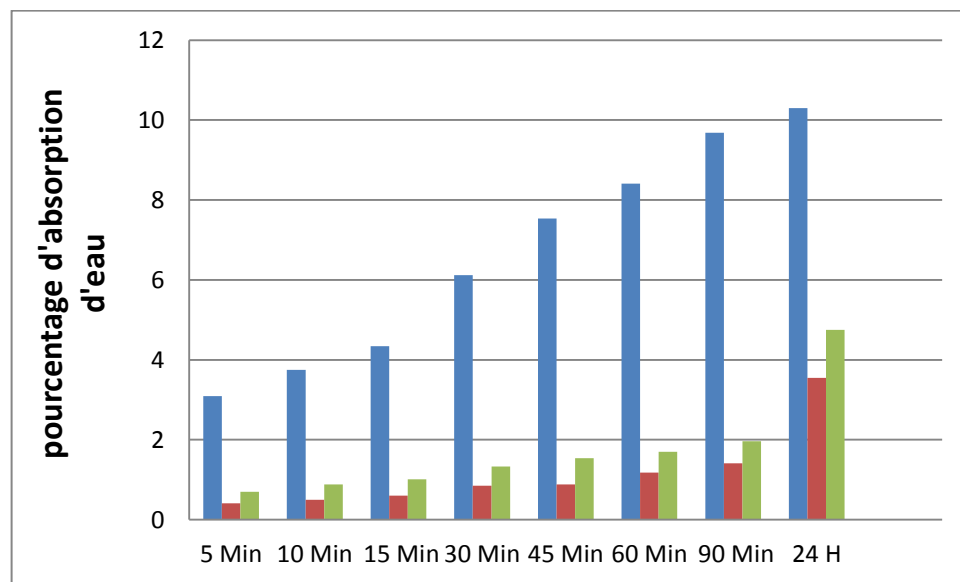


Figure 54:VI . pourcentage d'absorption d'eau de e/c

### Remarque :

D'après les colonnes du graphique, nous remarquons que le taux d'absorption d'eau est important dans un rapport 50% E/C ,Cela est dû au manque de bon mélange comme nous l'avons mentionné précédemment, alors que dans le rapport 55% E/C il absorbe moins par le pourcentage des autres rapports.



**Les résistances mécaniques :**

**La compression :**

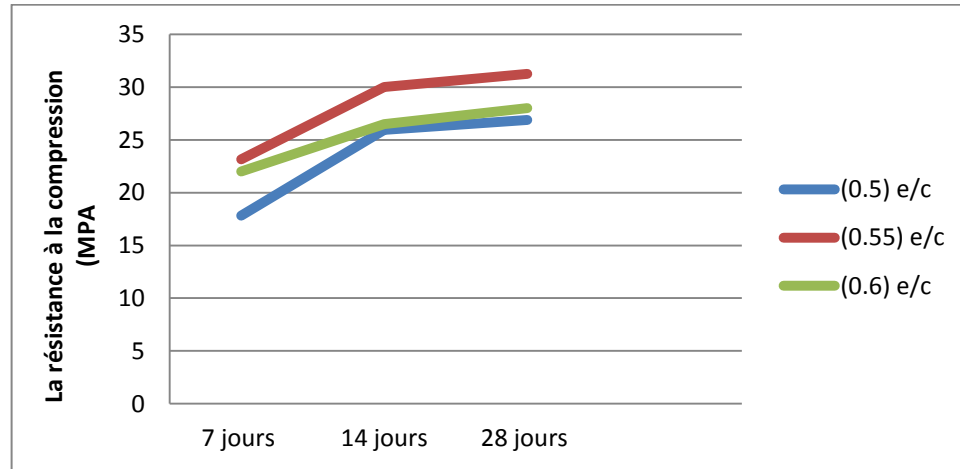


Figure 55:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C.

**La traction par flexion :**

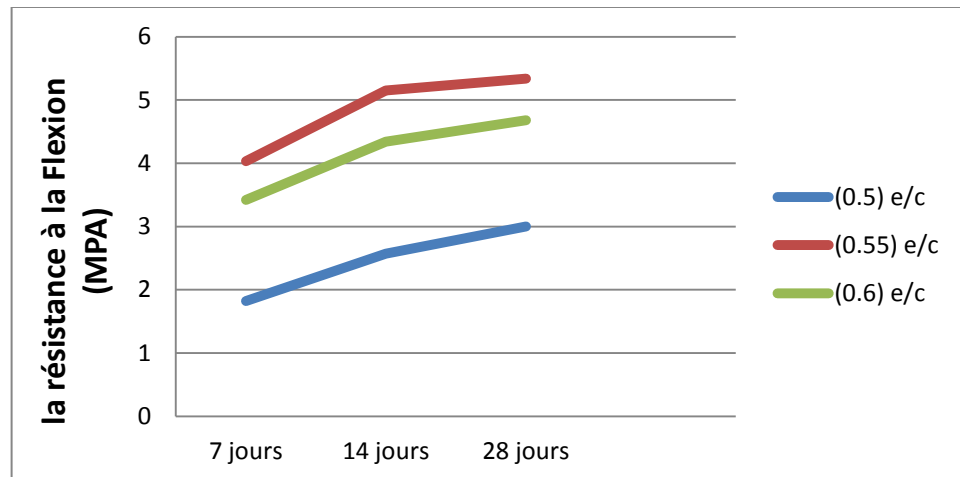


Figure 56 : VI. Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de rapport E/C.

**Remarque :**

D'après les graphiques On note que la résistance mécanique en flexion et en compression se développe progressivement en fonction du temps et nous remarquons qu'un rapport 55% e/c et donné de bons résultats mécaniques en flexion et en compression comparé à d'autres rapports.

### Conclusion de premier essai :

Après les premières essais que nous avons réalisées dans le mortier ordinaire, sur lesquelles nous sommes concentrés sur la quantité de rapport d'eau E/C qui nous donne de bonnes propriétés mécaniques et physiques, et selon les résultats, nous avons découvert que le rapport 55% E/C est approprié et optimal pour le mélange de mortier ordinaire.

### VI.8.2 – les résultats de Variation de déchet de brique :

Dans la deuxième étape on a Varié le rapport E/C (.55%) dans le processus de mélange avec Les déchet de brique sont introduits avec les différents pourcentages en masse suivants : 5%.10% .15% .20% .25% lors de l'évaluation des briques à la place du ciment ,Nous voulons rechercher s'il est possible de nous donner de bonnes résistances mécaniques .

Nous utilisons toujours sable de dune toujours, ce qui nous a donné de bons résultats lors des premières essais.

### Masse volumique sèche de brique :

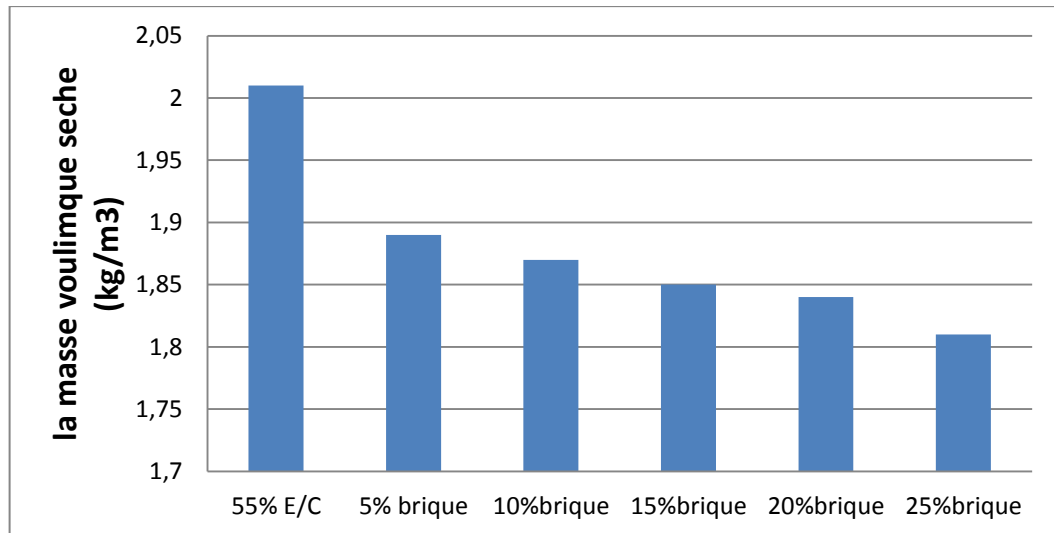


Figure 57:VI . Évolution de la masse volumique sèche en fonction du déchet de brique

### Remarque :

A partir des graphiques, nous remarquons que le rapport de densité est très élevé dans le mortier ordinaire. Par rapport aux autres échantillons. Après cela, le rapport de densité diminue progressivement à mesure que nous augmentons la quantité de brique dans le mortier.

### La porosité de brique:

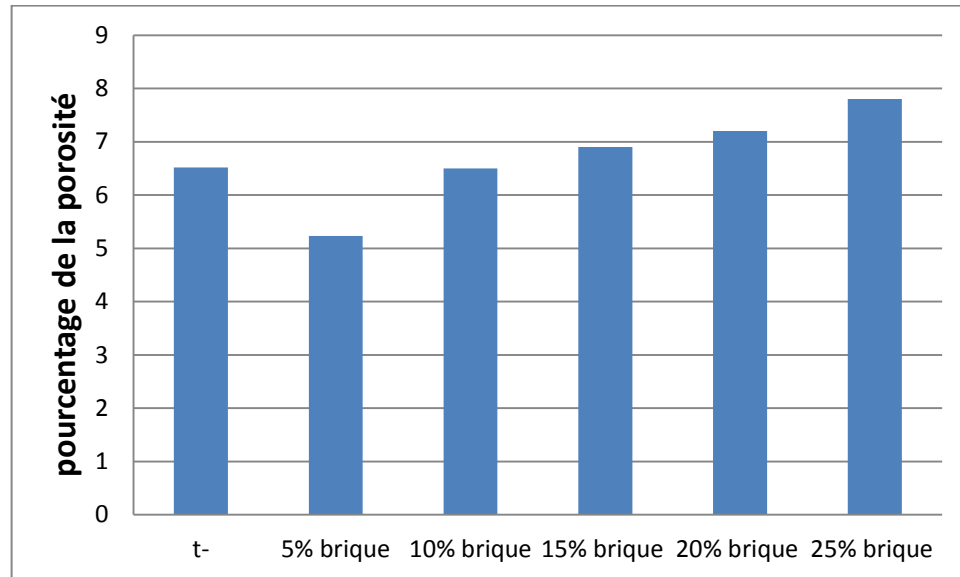


Figure 58:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de déchet de brique.

### Remarque :

Nous notons qu'il y a une inverse dans les colonnes de porosité par rapport les colonnes de densité, et c'est la preuve de l'exactitude de nos résultats, car nous notons que le mortier ordinaire a le plus faible rapport de porosité, et après cela la porosité augmente lorsque le pourcentage de briques dans les compositions.

**Absorption d'eau :**

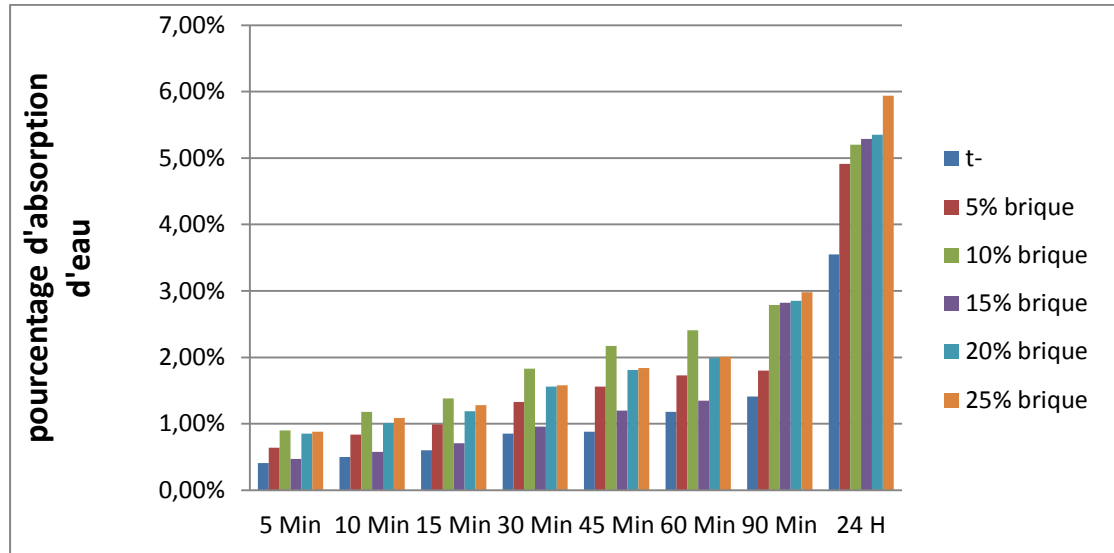


Figure 59:VI. Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique .

**Remarque :**

Nous remarquons sur les graphiques que le processus d'absorption d'eau augmente avec le temps et avec une augmentation de la quantité de briques dans le mortier.

**La résistance mécanique :**

**La compression:**

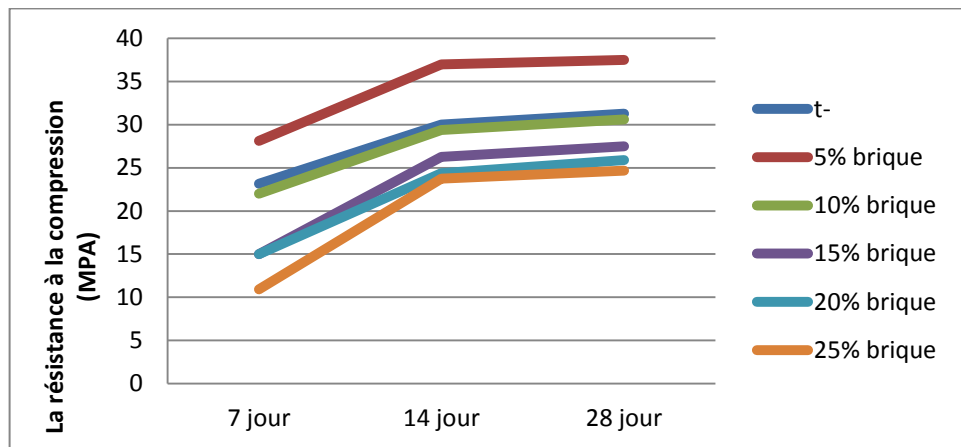


Figure 60:VI .Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique.

### La flexion :

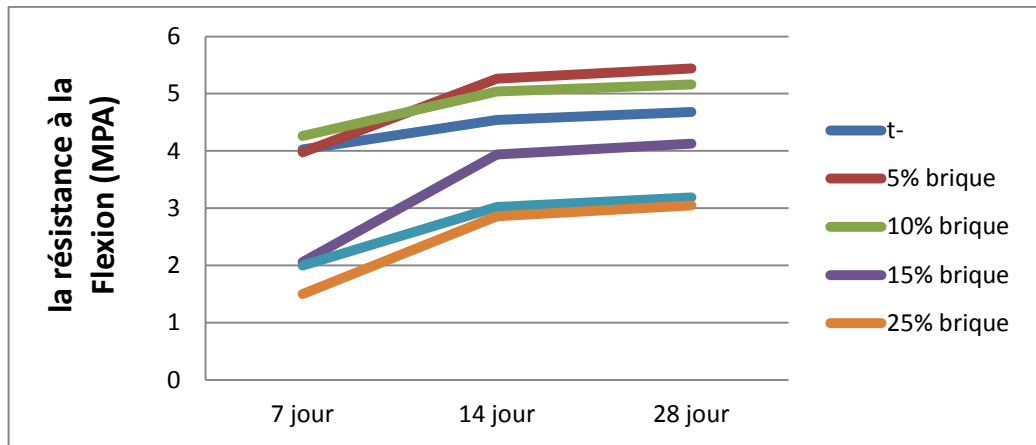


Figure 61:VI .Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de déchet de brique.

### Remarque :

Après les essais mécaniques de flexion et de compression et d'après le graphique, nous remarquons que lors de l'évaluation 5% de briques à la place du ciment, cela nous a donné de très bons résultats par rapport à Témoin en flexion et en compression, et quand évaluation 10% de briques. Cela nous a donné des résultats presque comme Témoin et après cela, la résistance mécanique à la flexion et à la compression diminue progressivement avec l'augmentation de la proportion de briques dans le mortier

### Conclusion :

La chose que nous retirons de la valorisation des briques à la place du ciment, c'est que la meilleure résistance mécanique lors de l'utilisation 5% des briques.

### VI.8.3 – les résultats de Variation de pet et déchet de brique :

Dans la troisième étape de notre recherche, qui vise toujours à exploiter et éliminer les déchets industriels et à les valoriser avec les matières premières naturelles dans le domaine de la construction dans le but d'obtenir de bons résultats et propriétés.

## CHAPITRE VI. Discussion les résultats expérimentaux

Dans cette étape, nous valorisons les déchets des plastiques PET dans le sable des dunes, et cela en pourcentages croissants, au fur et à mesure que nous utilisons 5% 10% 15% 20% 25% de PET à la place du sable de la dune.

Et on a une variation avec 5% de brique, Avec l'utilisation de rapport 55% E/C de la quantité d'eau dans ce mélange.

### La masse volumique sèche :

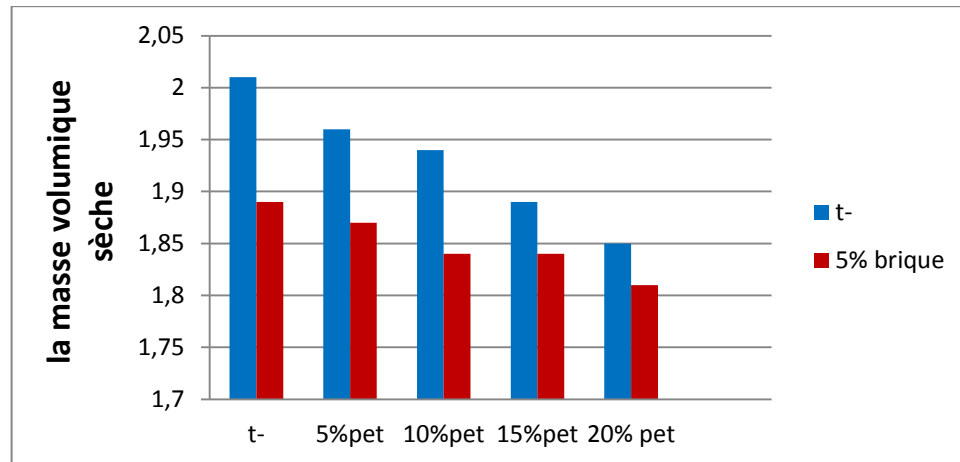


Figure 62:VI.Évolution de la masse volumique sèche en fonction du pourcentage de PET

### REMARQUE :

D'après les graphiques, on remarque que plus le pourcentage de PET est élevé, plus la densité est faible, et c'est la preuve de la présence de vides dans le mortier, peut-être parce que le sable ne colle pas bien avec le plastique.

**La porosité :**

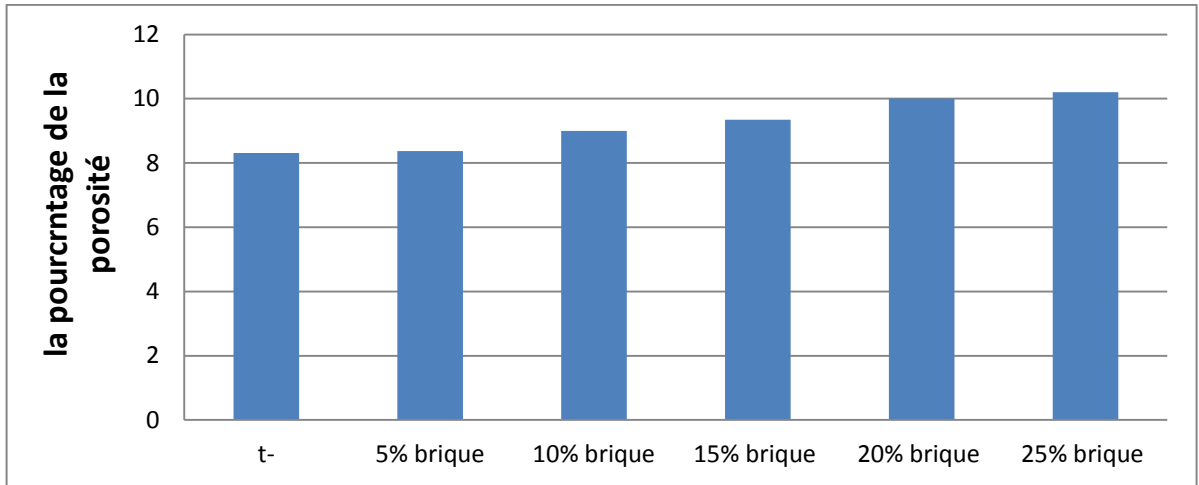


Figure 63:VI . L'évaluation de la porosité introduite en fonction de pourcentage de PET

**Remarque :**

D'après le relevé, on remarque que plus le pourcentage de PET est élevé, plus le taux de porosité est élevé, ce qui confirme que plus il y a de PET plus il y aura de vides dans le mortier.

**Absorption d'eau:**

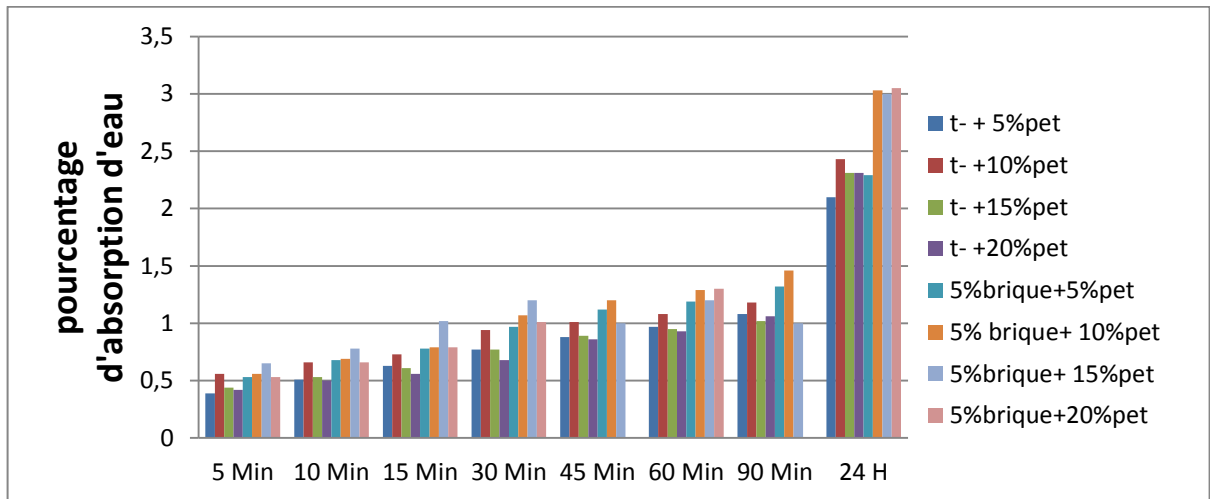


Figure 64:VI . Évolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de PET.

### Remarque:

D'après le graphique, nous remarquons que le processus d'absorption d'eau augmente avec le temps. Comme nous avons enregistré une plus grande absorption d'eau dans les échantillons contenant de grandes proportions de briques.

La première hypothèse est que la qualité de cette brique est qu'elle absorbe de l'eau, et la deuxième possibilité est peut-être due à la présence de vides dus à la présence de PET, et donc ces vides sont remplis d'eau.

### Les résistances mécaniques :

#### La compression :

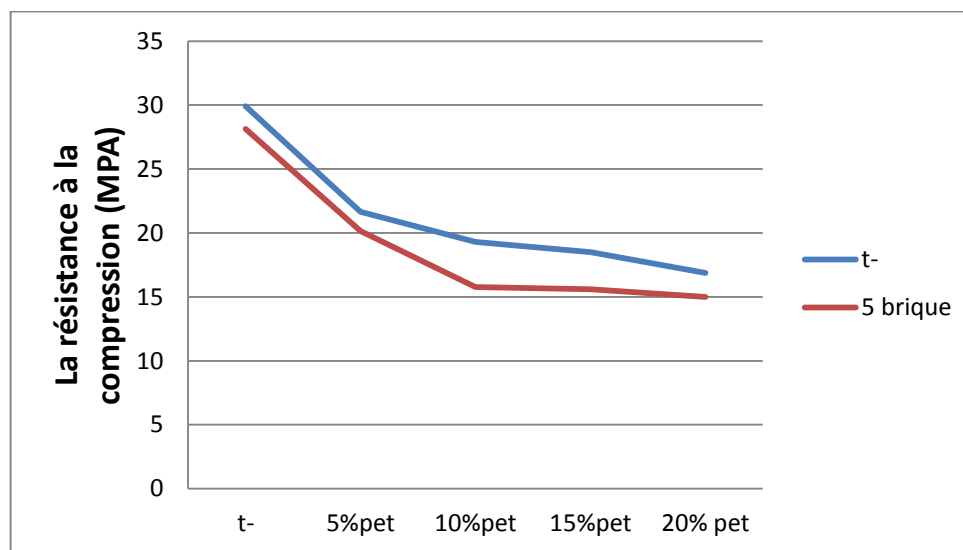


Figure 65:VI. Variation de la résistance à la compression en fonction du temps et du pourcentage de PET de 7 jours.



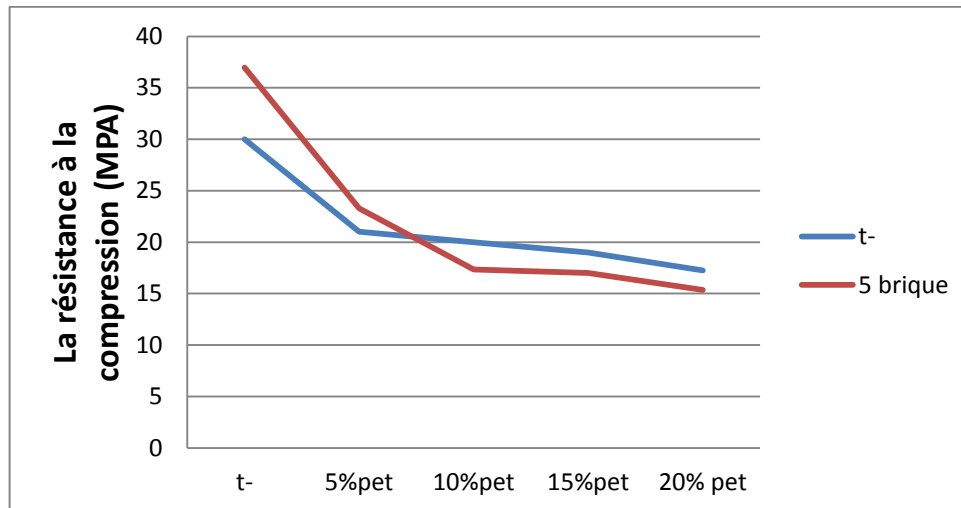


Figure 66:VI Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours.

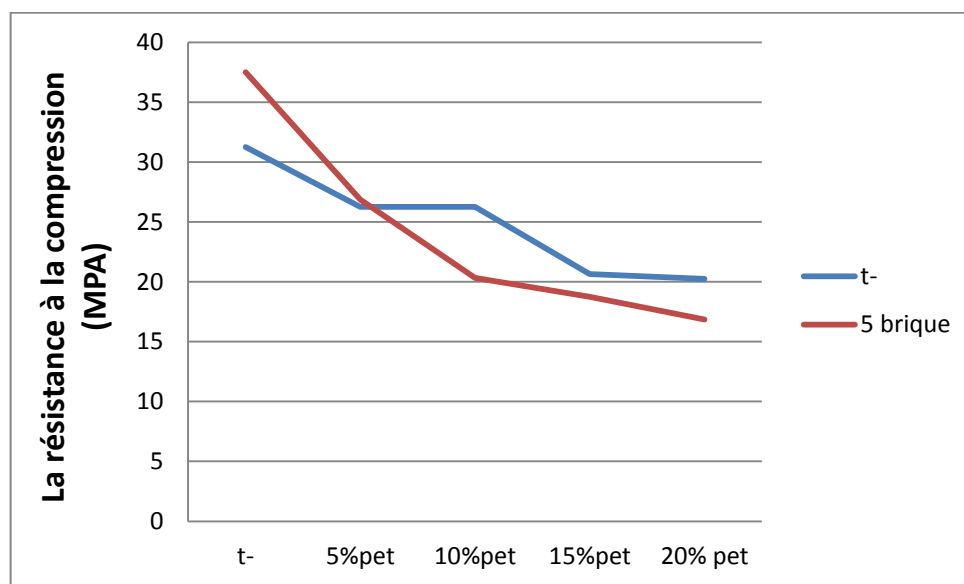


Figure 67:VI . Variation de la résistance a la compression en fonction du temps et du pourcentage de pet de 28 jours .

**La flexion:**

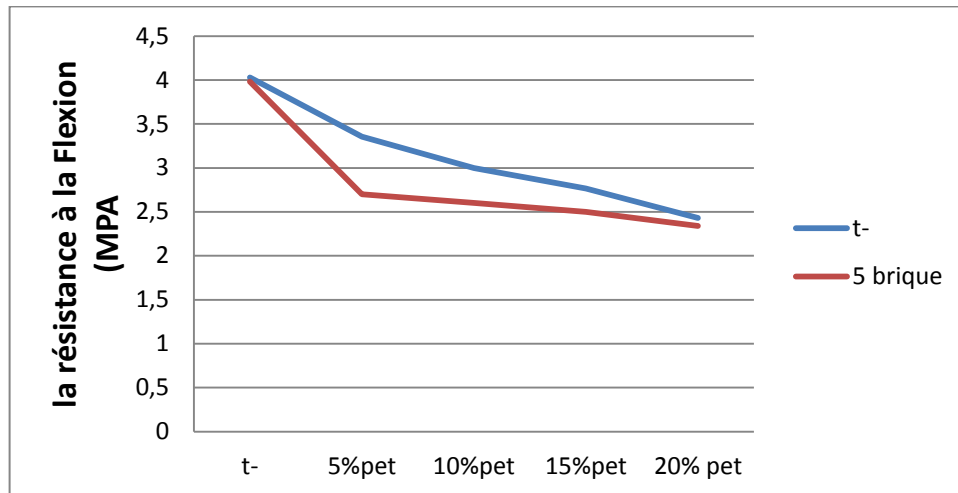


Figure 68:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 7 jours.

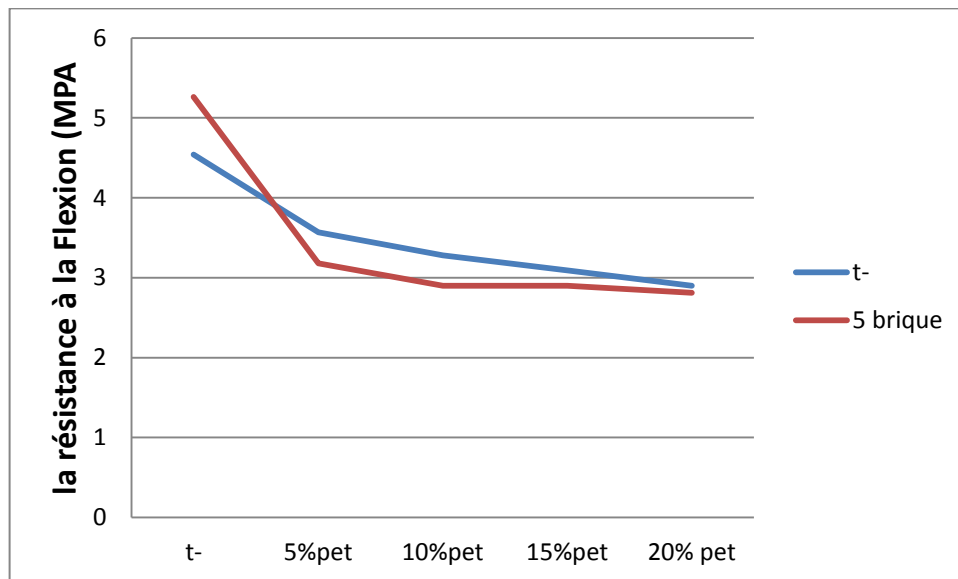
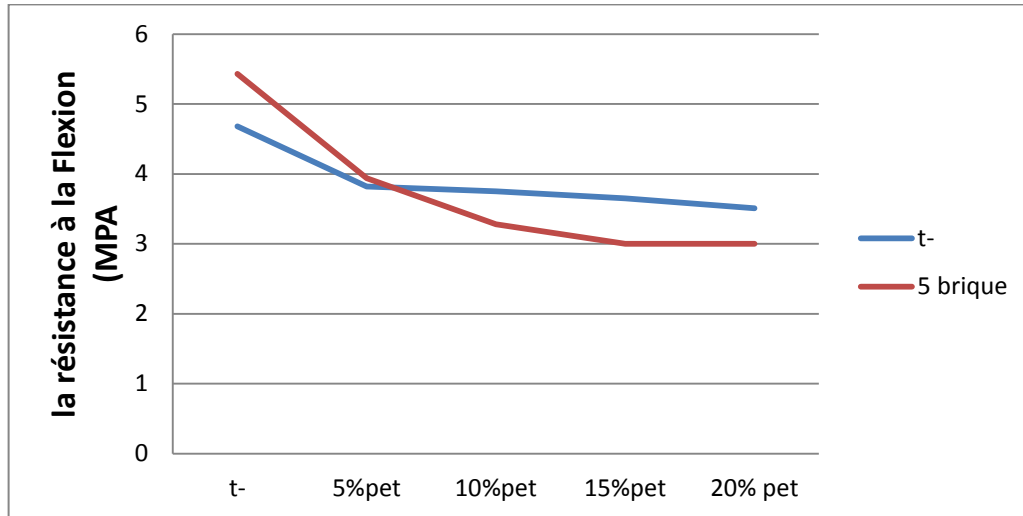


Figure 69:VI . Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 14 jours .



Figur VI .34. Variation de la résistance a la flexion en fonction du temps et du pourcentage de pet de 28 jours

### Remarque :

Nous notons dans le graphique que les résultats de pression qui contiennent du pet sont légèrement inférieurs aux résultats de témoin. Cela peut être dû à la présence de vides dans la profondeur du mortier. Les résultats physiques ont également montré que lorsque le pet est présent dans le mortier, il y a des vides dans le mortier.

L'utilisation de pet dans le mortier selon l'essai de traction, a donné un peu moins de résultats que les résultats du mortier sans pet.

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 plat et lisse, 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.

Ou que le pet est une barrière dans le processus de mélange car il isole l'eau des autres composants.

### **Conclusion :**

De cet essai physique, nous concluons que la proportion de brique et de pet a un rôle clé dans la porosité et la densité du mortier et la présence ou l'absence de vides selon la quantité utilisée dans le mortier.

Et aussi dans l'expérience de mécanique dans l'expérience de compression et traction nous connaissons le bon ratio qui nous donne une bonne compression et un bon serrage selon le pourcentage de utilisé de chaque matériau.

### Conclusion général

Le but visé par cette étude est la valorisation de sable de dune et les déchets plastiques PET en substituant avec du sable, et valoriser les déchets de briques, et varier avec du ciment. Et nous avons modifié le pourcentage d'eau afin de déterminer la quantité idéale pour le processus de mélange, L'analyse des résultats obtenus dans le cadre de ce programme expérimental ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- Lorsque nous entrons un pourcentage 5% de briques cela nous donne une densité élevée et une faible porosité. et Lorsque le pourcentage de la masse de brique augmente, la densité diminue et la porosité augmente
- Et quand on L'utilisation le PET, cela nous donne une faible densité et une grande porosité, et on en conclut que plus le pourcentage de PET augmente, plus il y a de vides dans le mortier
- L'utilisation des déchets de brique dans la formulation des contribue à l'amélioration des résistances à la compression atteignant 37 MPA et la flexion atteignant 5.4 MPA, On note que 5 % est la fraction optimale du déchet de brique dans la mortier .Et 10% de brique nous donne également une bonne résistance en compression atteignant 31 MPA et en flexion atteignant 5.2 MPA , presque égale à Témoin.
- Et lorsque quand on L'utilisation du PET et le déchet de brique ensemble dans la mortier, nous obtenons une résistance à la compression et flexion un peu moins que Témoin.
- Nous concluons également que le mortier avec le PET nous donne un mortier léger.
- Et on note que le meilleur rapport eau E/C pour le processus de malaxage, qui nous donne une bonne résistance mécanique, est 55% E/C.

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 dans les opérations principales de construction.

Et on peut aussi compter sur le mortier a base de PET et déchet de brique reste dans des endroits qui ne sont pas exposés à une grand résistance mécanique.

## **Références bibliographiques**

---

Toujours notre premier objectif est d'économiser les coûts de construction et de réduire l'épuisement des matières premières de la nature. Eliminer les déchets industriels de manière utile et réfléchie et obtenir de bonnes propriétés de mortier, innovantes et très pratiques

### **Recommandations et perspectives :**

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

- Étudier la conductivité thermique
- étude d'isolation acoustique
- Étudier la résistance au feu
- Etudier aux agressions chimique des sulfates

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]. PIMIANTA., P & REMOND., "Bétons de déchets : prévenir les risques", CSTB magazine, n° 109, novembre 1997
- [2].CNERIB 'Valorisation des déchets de construction ' Rapport interne, Algérie, 2002. [13] Husson B., Escadeillas G., Carles-Gibergues, A. and Vaquier, A., 'Stratégie
- [3].Courard L., 'Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil', Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux de Construction, 1998,
- [4].Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées  
D'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets, 2011.  
[http ://www.rilem.net/ms.php](http://www.rilem.net/ms.php)
- [5].Bouchard M., 'Utilisation en technique routière de granulats provenant du concassage de béton de démolition', Bulletin liaison laboratoire Pont et Chaussé, n° 134, Réf. 2852, Nov.-Déc. 1984
- [6].Hansen T. C., 'Recycling of demolished concrete and masonry', RILEM Report 06,  
Published by E & FN Spon, London, 1992
- [7].De Pauw C., 'Recyclage des décombres d'une ville sinistrée', CSTC, Revue n° 4,  
Belgique, décembre 1982
- [8].Quebaud M., "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996
- [9]. Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton. Ciment et composéconcret, 32, 2010,421-426
- [10].Suganthy, P., Chandrasekar, D., 2013. Utilization of pulverized plastic in cement concrete as fine aggregate.
- [11].BENAYACHE Hichem - GHELLAF Fatih (Caractérisation du poly (éthylène téréphtalate) (PET) recyclé utilisé par l'entreprise RET PLAST pour la fabrication des fibres) Mémoire de Master pp 25..29...2016

## Références bibliographiques

---

- [12]. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete Yun-Wang Choia,\*, Dae-Joong Moonb, Jee-Seung Chungc, Sun-Kyu Chod
- [13]. Construction and Building Materials journal homepage: [www.elsevier.com/locate/conb](http://www.elsevier.com/locate/conb)
- [14]. On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles E. Rahmani a, M. Dehestani a, M.H.A. Beygi a, H. Allahyari a, I.M. Nikbin
- [15]. manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, juin 2006
- [16]. Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique\\_%28mat%C3%A9riau%29](http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29)
- [17]. Aissa Salem. (2016). Effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier. Mémoire de master, université Mohamed Boudiaf M'sila
- [18]. BARKAT ABDEREZZAK. : « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ». Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil. Ouargla : Université KASDI MERBAH ,05/11/2006
- [19]. BOUREMA MOUFIDA Intitulé : Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci.
- [20]. INFOIMMO .2007-2013
- [21]. MR. MAZA MEKKI... Influence de l'énergie de vibration sur le mortier à base sable mixte
- [22]. KENNOUCHE SALIM. Cours Matériaux De Construction. Université de Bouira. 2010
- [23]. LAABOUS. Les ciments. Les Bâtiments et Travaux Publics -BTP-. 18 May 2014
- [24]. BELMOKHTAR NASSIMA ZERAIG AKILA. Effet du mode d'introduction de la nano-silice sur les propriétés rhéologiques et physicomécaniques des pâtes cimentaires et mortiers de ciment
- [25]. MEKHERMECHE. A, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksour sahariennes » mémoire de magister, université kasdimerbah Ouargla, année 2012
- [26]. Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI, " Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses" Mémoire de Fin d'Etudes, Université Ziane Achour de Djelfa, année 2016
- [27]. GUERMITI. LAID, « contribution à l'amélioration certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » mémoire de magister, université kasdimerbah Ouargla, année 2013.
- [28]. Mohamed Habib ben dahi ... Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien.



## Annex :



## FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

## Analyses et caractérisation

## Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 3,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

## Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates trisodiques C3S (%):	58 – 64
Silicates bicalciques C2S (%):	12 – 16
Aluminates tricalciques C3A (%):	8,00 – 8,00
Aluminoferrites tétracalciques C4AF (%):	10,00 – 12,00

## Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	26 – 28,60
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,6

## Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min):	140 – 166
Fin de prise (min):	195 – 290

## Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa):	≥ 10,0
28 jours (MPa):	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPL)

Lafarge - Alger, Algérie

Tel: +213 20 32 74 26

Fax: +213 20 32 75 32

Direction générale

10, Boulevard de la République - Alger

Tel: +213 20 29 69 10 00

Fax: +213 20 29 69 10 11

Direction Régionale Algérie (SPL)

Lafarge Algérie (SPL)

BP 07, S2000, Algérie

Tel: / Fax: +213 20 42 94 80 00



