

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de **Master**

En : Génie Civil

Spécialité : Structure

Par : Mr BELLAKEHAL Haroune & Mr ZENGOUT Ayman

Thème :

**Contribution à l'évaluation des caractéristiques
thermiques d'un béton de sable à base de déchet de
PET et de brique**

Évalué par le jury composé de :

MATALLAH. Z

M.A.A Univ. Ghardaïa

Président

DEHANE Sarah

M.A.B Univ. Ghardaïa

Examinatrice

Mr. SAITI Issam

M.A.A Univ. Ghardaïa

Encadrant

Année Universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a central flower with several petals and a stem with leaves, positioned to the left of the calligraphic text.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À toutes celles et ceux qui ont toujours veillé sur nous

À nos chères mères, et à nos très chers pères.

À toutes nos familles, nos frères, nos soeurs, et à tous

Nos amis.

À l'ensemble des enseignants du département Génie Civil

De l'Université de Ghardaïa,

À Toute la promotion de Génie Civil 2023.



The background of the page is white and decorated with several black graduation caps (mortarboards) scattered across it. Interspersed among the caps are numerous thin, golden streamers or confetti pieces, some curled and some straight, creating a celebratory atmosphere.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui nous a donné la force et la patience pour achever ce travail.

Nous voudrions saisir cette occasion pour remercier chaleureusement notre promoteur Mr SAITI ISSAM enseignant à l'Université de Ghardaïa, pour son dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

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

Nous remercions également les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

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 | III |
| REMERCIEMENTS | IV |
| Sommaire | II |
| Liste des Tableaux | X |
| Liste Des Abréviations | XI |
| Résumé | XIII |
| INTRODUCTION GENERAL | III |
| Introduction | 2 |
| CHAPITER I: MATERIAUX ET ISOLATIONS | 3 |
| Introduction | 4 |
| I.1 Mortiers | 4 |
| I.1.1 Définition | 4 |
| I.1.2 Constituants des mortiers | 5 |
| I.1.2.1 Sable | 5 |
| I.1.2.2 Liant | 5 |
| I.1.2.3 Eau de gâchage | 5 |
| I.1.2.4 Adjuvants | 6 |
| I.1.3 Caractéristiques et propriétés des mortiers | 7 |
| I.1.3.1 Adhérence au matériau mis en œuvre | 7 |
| I.1.3.2 Imperméabilité | 7 |
| I.1.3.3 Retrait | 8 |
| I.1.4. Types des mortiers | 8 |
| I.1.4.1. Mortiers de ciment | 8 |
| I.1.4.2. Mortiers de chaux | 9 |

| | |
|--|-----------|
| I.1.4.3. Mortiers bâtards | 9 |
| I.4.5. Formulation (fabrication) des mortiers | 9 |
| ▪ Dosage en volume | 10 |
| ▪ Dosage en poids | 10 |
| I.2 Sables de dunes | 10 |
| I.2.1-Définition | 10 |
| I.2.2. Types des dunes | 11 |
| I.2.2.1. Avant-dune | 11 |
| I.2.2.2 Falaises dunaires | 11 |
| I.2.2.3 Dunes perchées | 11 |
| I.2.3. Utilisation du sable de dune | 12 |
| I.2.4. Classification des sables | 12 |
| I.2.5. Origine et composition du sable | 13 |
| I.2.6. Transport du sable et migration des dunes | 14 |
| I.2.7. Propreté sable de dune | 14 |
| I.2.8. Comportement mécanique | 15 |
| I.3 Isolation thermique | 15 |
| I.3.1 Avantages d'isolation thermique | 16 |
| I.3.2 Propriétés physiques et chimiques des isolants | 17 |
| I.3.3 Le transfert thermique | 17 |
| I.3.3.1 Conduction thermique | 17 |
| I.3.3.2 Convection thermique | 17 |
| I.3.3.3 Rayonnement | 18 |
| I.3.4 Types des isolants | 18 |
| I.3.4.1 Les isolants synthétiques | 18 |
| I.3.4.2 Les isolants en fibres minérales | 18 |
| I.3.4.3 Les isolants en fibres végétales | 18 |
| I.3.4.4 Les isolants d'origine animale | 18 |
| I.4.5 Isolation thermique en Algérie | 19 |
| | 20 |
| CHAPITRE II: | 20 |
| VALORISATION DES DECHETS..... | 20 |
| Introduction | 21 |

| | |
|---|-----------|
| II.1 Définition de déchets..... | 21 |
| II.2 Déchets et économie | 21 |
| II.3 Classification des déchets | 22 |
| II.3.1 En fonction de la nature | 22 |
| II.3.2 En fonction du comportement et l'effet sur l'environnement | 23 |
| II.3.2.1 Les déchets fermentescibles..... | 23 |
| II.3.3.2 Les déchets toxiques | 24 |
| II.3.3.3 Les déchets immobiles | 24 |
| II.4 Méthodes de la valorisation des déchets | 24 |
| II.4.1 Valorisation matière | 24 |
| II.4.2 Valorisation énergétique | 25 |
| II.4.3 Valorisation organique | 25 |
| II.5 Etapes de valorisation des déchets | 26 |
| II.5.1. Prévention | 26 |
| II.5.2 Réemploi..... | 26 |
| II.5.3 Gestion des déchets | 26 |
| II.5.4 Producteur des déchets..... | 26 |
| II.5.5 Détenteur des déchets | 26 |
| II.5.6 Collecte..... | 26 |
| II.5.7 Traitement..... | 26 |
| II.5.8 Réutilisation..... | 27 |
| II.5.10 Valorisation..... | 27 |
| II.5.11 Elimination..... | 27 |
| II.6. Déchets utilisé en génie civil..... | 27 |
| II.6.1 Déchets industrielles | 27 |
| II.6.1.1. Laitier de haut fourneau..... | 27 |
| II.6.1.2. Laitier d'acier | 28 |
| II.6.1.3. Cendre volante | 28 |
| II.6.1.4. Mâchefer | 29 |
| II.6.2 Déchets de brique | 30 |
| II.6.2.1 Définition | 30 |
| II.6.2.2 Types de brique | 31 |
| • Selon leur utilisation..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| • Selon leur forme | 31 |
| II.6.2.3 Caractéristiques physico-chimiques de la brique | 32 |
| II.6.2.4 Valorisation des déchets de la brique | 32 |
| II.6.3 Déchets de plastique | 34 |
| II.6.2.1 Définition | 34 |
| II.6.2.2 Déchets en PET | 35 |
| b) Propriétés du PET | 36 |
| • Propriétés physiques et chimiques..... | 36 |
| • Propriétés thermiques..... | 36 |
| • Propriétés thermomécaniques..... | 37 |
| • Propriétés rhéologiques | 37 |
| c) Types des déchets de PET..... | 38 |
| • Fibre en plastique | 38 |
| • Fines particules des PET..... | 39 |
| • Agrégats..... | 39 |
| d) Avantages et inconvénients des matières plastiques..... | 39 |
| • Avantages des matières plastiques | 39 |
| • Inconvénients des plastiques..... | 40 |
| e) Propriétés des PET..... | 40 |
| II.6.2.3 Valorisation des déchets de PET dans les matériaux cimentaires | 43 |
| <i>Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais</i> | 43 |
| <i>Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état durci</i> | 44 |
| Conclusion..... | 45 |
| CHAPITRE III:..... | 46 |
| CARACTERISATION DES MATERIAUX..... | 46 |
| Introduction | 47 |
| III.1 Caractérisation des matériaux utilisés..... | 47 |
| III.1.1 Sable de dune: | 47 |
| • Analyse granulométrique | 47 |
| • Module de finesse (NFP 18-540) | 47 |
| • Equivalent de sable..... | 49 |
| III.1.2 Ciment | 51 |
| III.1.3 Eau de gâchage..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| III.1.4 Adjuvant | 53 |
| Utilisation | 53 |
| Avantage..... | 54 |
| Dosage..... | 54 |
| III.1.5 Déchet de brique | 54 |
| • Masse volumique de brique | 55 |
| • Analyse chimique de déchet de brique | 56 |
| III.1.6 Déchet de plastique (PET)..... | 57 |
| III.2 Compositions de mortiers étudiés | 58 |
| III.2.1 Composition du mortier témoin..... | 58 |
| III.2.2 Composition du mortier avec déchet de brique..... | 58 |
| III.2.3 Composition du mortier avec déchet de plastique PET..... | 58 |
| III.3 Préparation du mortier | 59 |
| III.3.1 Pesage des composants du mortier..... | 59 |
| III.3.2 Coulage des éprouvettes | 60 |
| III.3.3 Démoulage et conservation des éprouvettes..... | 61 |
| III.4 Méthodes expérimentales..... | 62 |
| III.4.1 Isolation thermique | 62 |
| III.4.1.1 Analyseur Hot Disk (TPS 1500)..... | 62 |
| III.4.1.2 Caractéristiques principales..... | 63 |
| III.4.1.3 Mode opératoire | 63 |
| III.4.2 Comportement mécanique des mortiers | 64 |
| III.4.2.1 Essais à la traction par de flexion | 64 |
| III.4.2.2 Résistance mécanique à la compression | 65 |
| III.4.3 Comportement physique des mortiers..... | 67 |
| III.4.3.1 Essai de l'absorption d'eau par capillarité | 67 |
| III.4.3.2 Essai la Masse Volumique apparent sèche | 68 |
| Conclusion..... | 68 |
| <i>CHAPITRE IV : DISCUSSION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX</i> | 69 |
| Introduction | 70 |
| IV.1 Propriétés physiques..... | 70 |
| IV.2 Propriétés mécanique | 72 |

| | |
|--|-----------|
| VI.2.1 Résistances à la traction par flexion..... | 72 |
| VI.2.2 Résistances à la traction compression | 74 |
| IV.3 Absorption d'eau par capillarité | 76 |
| IV.4 Propriétés thermique..... | 78 |
| VI.4.1 Isolation thermique..... | 78 |
| Conclusion..... | 83 |
| | 84 |
| Conclusion générale | 85 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 88 |

Liste des Figures

| | |
|---|----|
| Figure I- 1 Composants principales d'un mortier [7] | 4 |
| Figure I- 2 Sable de dune | 10 |
| Figure I- 3 Trois modes de transport éolien de particules [07]..... | 14 |
| | |
| Figure II- 1 valorisation biologique et valorisation énergétique [16]..... | 22 |
| Figure II- 2 Déchets inertes [42]..... | 23 |
| Figure II- 3 Déchets fermentescibles [43] | 24 |
| Figure II- 4 Laitier de haut fourneau [22]..... | 28 |
| Figure II- 5 Laitier d'acier [22]..... | 28 |
| Figure II- 6 Cendre volante [22] | 29 |
| Figure II- 7 Mâchefer [22] | 30 |
| Figure II- 8 déchets de brique source : auteur..... | 30 |
| Figure II- 9 Dégradation du PET par la bactérie [44]..... | 36 |
| Figure II- 10 Variations de la viscosité newtonienne du PET provenant de bouteilles | 38 |
| Figure II- 11 Perte d'humidité en fonction temps..... | 38 |
| Figure II- 12 PET agrégats fins et PET agrégats grossiers [45]..... | 39 |
| Figure II- 13 Réduction de la densité du mortier à base de déchets plastiques (PET et PC) [38] | 44 |
| Figure II- 14 Résistance à la compression de béton à base de déchets plastique (PET) [40]..... | 45 |
| | |
| Figure III- 1 Courbe granulométrique de sable de dune utilisé source : auteur | 48 |
| Figure III- 2 Essai de détermination de la masse volumique absolue source : auteur | 50 |
| Figure III- 3 Mesure de la masse volumique apparente de sable source : auteur | 50 |
| Figure III- 4 Ciment CPJ-CEM II /B /42.5 source : auteur | 51 |
| Figure III- 5 Emballage CPJ-CEM II /B 42.50..... | 51 |
| Figure III- 6 Poudre de brique utilisée source : auteur | 54 |
| Figure III- 7 Masse volumique de déchet de brique à LTPS source : auteur | 55 |
| Figure III- 8 Graphe d'analyse granulométrique par sedimentometrique de déchet de brique utilisé source : auteur | 56 |
| Figure III- 9 PET utilisé source : auteur | 57 |
| Figure III- 10 Pesage des composants du mortier source : auteur | 59 |
| Figure III- 11 Malaxeur électrique utilisée dans la formulation du béton de sable LTPS source : auteur | 60 |

| | |
|---|----|
| Figure III- 12 Moule normalisé de 4x4x16 cm2 (source auto) | 61 |
| Figure III- 13 Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs (source auto)..... | 61 |
| Figure III- 14 Démoulage des éprouvettes. Source : auteur | 62 |
| Figure III- 15 Analyseur Hot Disk (TPS 1500) | 63 |
| Figure III- 16 Dispositif de rupture en traction [45] | 64 |
| Figure III- 17 Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion source : auteur | 65 |
| Figure III- 18 Dispositif de l'essai mécanique de Compression source : auteur..... | 66 |
| Figure III- 19 Comportement de mortier avec déchets source : auteur | 66 |
| Figure III- 20 Essai d'absorption d'eau par capillarité source : auteur..... | 67 |
| | |
| Figure IV- 1 Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage en brique..... | 70 |
| Figure IV- 2 Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage de PET..... | 71 |
| Figure IV- 3 Variation de la résistance à la flexion après 28 jours et pourcentage de déchets en briques..... | 72 |
| Figure IV- 4 Variation de la résistance à la flexion après 28 jours et pourcentage de PET..... | 73 |
| Figure IV- 5 Variation de la résistance à la compression après 28 jours et pourcentage en briques. | 74 |
| Figure IV- 6 Variation de la résistance à la compression après 28 jours et pourcentage de | 75 |
| Figure IV- 7 Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage en brique source : auteur | 76 |
| Figure IV- 8 Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de PET source : auteur | 77 |
| Figure IV- 9 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 0% de plastique | 78 |
| Figure IV- 10 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 5% de plastique | 79 |
| Figure IV- 11 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 10% de plastique | 80 |
| Figure IV- 12 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 15% de plastique | 80 |
| Figure IV- 13 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 20% de plastique | 81 |
| Figure IV- 14 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 25% de plastique | 82 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I- 1 Différents types des adjuvants [3] | 7 |
| Tableau I- 2 Utilisation du mortier ciment, quantité des constituants [04]..... | 8 |
| Tableau I- 3 Quantité des constituants du mortier de chaux [04] | 9 |
| Tableau I- 4 Utilisation du mortier bâtard, quantité des constituants [04] | 9 |
| Tableau I- 5 Différentes formes de dunes selon l'alimentation et le régime des vents [07] | 12 |
| Tableau I- 6 Classification unifiée des sols (A.S.T.M.) [09]..... | 13 |
| | |
| Tableau III- 1 Résultats d'analyse granulométrique de sable dune utilisé source : auteur | 48 |
| Tableau III- 2 Résultats d'équivalent de sable dune source : auteur | 49 |
| Tableau III- 3 Masse volumique absolue du sable dune source : auteur..... | 50 |
| Tableau III- 4 Masse volumique apparente du sable dune source : auteur..... | 51 |
| Tableau III- 5 Caractéristiques physiques du CPJ -CEM II/B 42.5 [41]. | 52 |
| Tableau III- 6 Caractéristiques chimiques du CPJ -CEM II/B 42.5 [41]. | 52 |
| Tableau III- 7 Composition chimique de l'eau de gâchage | 53 |
| Tableau III- 8 Masse volumique de la brique source : auteur..... | 55 |
| Tableau III- 9 Résultats d'analyse granulométrique par sedimentometrique de la brique source : auteur | 55 |
| Tableau III- 10 Analyse chimique de déchet de brique..... | 57 |
| Tableau III- 11 Masse volumique de PET source : auteur..... | 58 |
| Tableau III- 12 Composition optimale du mortier de témoin source : auteur..... | 58 |
| Tableau III- 13 Compositions des mortiers avec déchets de brique source : auteur..... | 58 |
| Tableau III- 14 Compositions des mortiers pour pourcentages de PET Source : auteur..... | 59 |
| | |
| Tableau IV- 1 Résultat de l'isolation thermique | 82 |

Liste Des Abréviations

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| BS | Béton sable |
| % | Pour cent |
| °C | Dégréé Celsius |
| b | Largeur |
| C | Ciment |
| Ca²⁺ | Calcium |
| Cl⁻ | Chlore |
| cm | Centimètre |
| d | Diamètre |
| F | Force |
| F_C | Force compression |
| F_f | Force flexion |
| FP | Fin de prise |
| g | Gramme |
| g/cm³ | Gram centimètre cube |
| h | Hauteur |
| h | Heure |
| HCO³⁻ | Bicarbonate |
| K⁺ | Potassium |
| Kg | Kilo gramme |
| KN | Kilo newton |
| L | Longueur |
| M | Masse |
| Mf | Module de finesse |
| Mg²⁺ | Magnésium |
| ml | Milli litre |
| mm | Millimètre |
| MPA | Méga pascal |
| N | Newton |
| Na⁺ | Sodium |
| PET | Polyéthylène téréphtalate |

| | |
|------------------------|--------------------------|
| PVC | Poly vinyle chlorid |
| RC | Résistance compression |
| R_t | Résistance à la traction |
| s | Seconde |
| T | Température |
| V_{abs} | Volume absolue |
| V_{app} | Volume apparente |
| ρ | Mesure de la densité |
| ρ_{abs} | Masses volumiques |
| ρ_{app} | absolue |
| | Masses volumiques |

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est d'examiner l'effet combiné des briques et des déchets plastiques PET sur le comportement du mortier. La recherche consiste à étudier le comportement d'un béton de sable produit en utilisant des briques broyées, en variant les taux de substitution en fonction du poids du ciment, ainsi que l'utilisation de déchets plastiques pour remplacer le sable de dune, avec des taux de remplacement allant de 5% à 25%. Les performances de ces mélanges seront évaluées par rapport au béton de sable ordinaire non modifié, à la fois dans leur état initial et après traitement.

Les résultats indiquent que l'utilisation de déchets de brique peut maintenir des propriétés mécaniques comparables aux témoins, tandis que l'incorporation de PET influence négativement la résistance mécanique. Les mélanges présentent des caractéristiques thermiques intéressantes, offrant une isolation thermique et des économies d'énergie potentielles. En conclusion, l'utilisation judicieuse de déchets de brique et de PET dans les mortiers offre des avantages potentiels en termes de durabilité et de gestion des déchets de construction, ouvrant la voie à des pratiques de construction plus écologiques.

Mots-clés : Brique ; PET, isolation thermique, sable de dune, mortier, ciment, résistance.

Summary :

The main objective of this study is to examine the combined effect of bricks and PET plastic waste on mortar behavior. This investigated the behavior of a sand concrete produced using crushed bricks, varying substitution rates based on cement weight, and the use of plastic waste to replace dune sand, with replacement rates ranging from 5% to 25%. The performance of these mixtures will be evaluated in comparison to ordinary, unmodified sand concrete, both in their initial state and after treatment.

The results indicate that the use of brick waste can maintain mechanical properties comparable to the controls, while the incorporation of PET negatively influences mechanical strength. The mixtures exhibit interesting thermal characteristics, providing thermal insulation and potential energy savings. In conclusion, the judicious use of brick and PET waste in mortars offers potential benefits in terms of sustainability and construction waste management, paving the way for more environmentally friendly construction practices

Keywords : PET, bricks, thermal insulation, dunes sand, mortar, cement strength,

الملخص :

الهدف الرئيسي له الدراسة حصول الراير الك بيررب ل ص الأحكر ونفايات البال-بيري PET عى بي صب الكالط. ترضكن البلث دساسة صب خرمان الرمل الكنرج باخدم ال ص الك لصن، مع تغيير معدالت ال-ربدال بنا عى وزن ال-كنت، وادخدم نفايات البال-بيري ال-ربدال سمل الكثنان، بكعدالت ال-ربدال تراوح بين 5٪ إلى 25٪ ام تقييم أداء الخ ات بالكفاسن مع الخرمان العادي غير الكعدل ، صاء ال حالها الولي أو بعد الكعالج .

ت ير النرائج إلى أن اخدم نفايات ال ص يككنه تلقى خ صانت ميكانيكي مرضي بالكفاسن بال صا، بينكا نوار إضييا PET بي بأ عى الكقاوم الكيكانيكي . تظهر الخ ات الكدسويي اضييا خصييات حراسي مثيرل لالحركام، مكابصر عز الكحراسيا وإمكانيات تصاير ال-بيبيير هال بال . ال الخرام، يقدم ال-بيبيير خدام الكيم لنفايات ال ص و PET ال الكالط اصائد ملرك من حيث ال-ردام وإداسل نفايات البناء، مكافرح البا أمام مكاس-ات بناء أكثر صديق ل بيئ .

الكلمات المفتاحية: نفايات البال-بيري ، ال ص ، العزل اللراسي، سمل الكثنان الرمي ، الكالط، ال-كنت، الكقاوم



INTRODUCTION GENERAL

Introduction :

Dans ce travail, nous allons examiner les caractéristiques thermiques d'un mortier à base de déchets de briques et de PET. Le mortier est un matériau de construction utilisé pour lier les briques, les blocs de béton et d'autres matériaux de construction. L'utilisation de déchets de briques et de PET dans la fabrication du mortier présente plusieurs avantages, notamment la réduction des déchets et la durabilité environnementale.

Les caractéristiques thermiques d'un matériau sont essentielles pour évaluer sa capacité à conserver la chaleur ou à isoler thermiquement une structure. Dans le cas d'un mortier à base de déchets de briques et de PET, ces caractéristiques thermiques peuvent être influencées par les propriétés des matériaux constitutifs.

Les déchets de briques, lorsqu'ils sont utilisés dans la fabrication du mortier, peuvent ajouter des propriétés thermiques intéressantes. Les briques sont souvent connues pour leur capacité à stocker et à libérer la chaleur lentement, ce qui peut contribuer à la régulation thermique d'un bâtiment. Par conséquent, l'utilisation de déchets de briques peut améliorer les performances thermiques du mortier.

De plus, l'ajout de PET (Polyéthylène Téréphtalate) recyclé au mortier peut également influencer ses caractéristiques thermiques. Le PET est un polymère thermoplastique couramment utilisé dans la fabrication de bouteilles en plastique. Il présente de bonnes propriétés d'isolation thermique et peut contribuer à améliorer les performances d'isolation du mortier.

Il convient de noter que les caractéristiques thermiques d'un mortier à base de déchets de briques et de PET peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que les proportions des matériaux, les méthodes de fabrication et les propriétés spécifiques des déchets utilisés. Des études expérimentales et des tests approfondis peuvent être nécessaires pour évaluer précisément ces caractéristiques thermiques et leur impact sur les performances globales du mortier.

L'objectif principal de cette étude est l'évaluation empirique des effets des déchets de brique et de plastique et le sable de dune de région Hassi El Fehal située dans la wilaya de El-Menia sur les propriétés physico-mécaniques et la conductivité thermique du béton de sable.

INTRODUCTION GENERALE

Nous avons eu l'occasion de faire les essais expérimentaux d'étude dans le cadre de stage pratique durant 60 jours au sein de Laboratoire des Travaux Publics du Sud, Ghardaïa.

Pour atteindre cet objectif, notre étude a été scindée en quatre chapitres :

Premier chapitre : Nous fournissons une compilation complète des références bibliographiques et une revue documentaire basée sur les travaux de chercheurs pertinents, qui sont précieuses pour l'étude du comportement du sable de dune et l'isolation thermique dans les matériaux de construction.

Deuxième chapitre : Informations générales sur les déchets de PET et de brique, suivies d'une analyse de la documentation sur l'impact de l'incorporation de ces déchets sur les caractéristiques du béton de sable.

Troisième chapitre : Cette section présente une description des méthodes expérimentales utilisées et la caractérisation des matières premières utilisées.

Quatrième chapitre : Cette section a été dédiée à l'analyse et à la discussion des résultats expérimentaux concernant les propriétés physico-mécaniques et thermiques du béton de sable de dune incorporant des déchets de brique et de plastique.

Finalement, en se fondant sur les résultats obtenus, une conclusion générale est tirée et des suggestions sont faites pour les futures recherches dans ce domaine.



**CHAPTER I: MATERIAUX ET
ISOLATIONS**

Introduction :

L'objet principal de ce chapitre est la présentation des éléments qui contribuent à la compréhension et à la réalisation d'une isolation thermique efficace à travers l'utilisation du mortier et du sable de dune.

I.1 Mortiers :

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de [1] :

- Solidariser les éléments entre eux ;
- Assurer la stabilité de l'ouvrage ;
- Comblers les interstices entre les blocs de construction.

I.1.1 Définition :

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants (Fig.I-1), réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre [2].

Le mortier pouvant satisfaire à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Toutefois, il n'existe pas de mortier universel, convenant à toutes les situations. Le concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés [2].

Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [1].

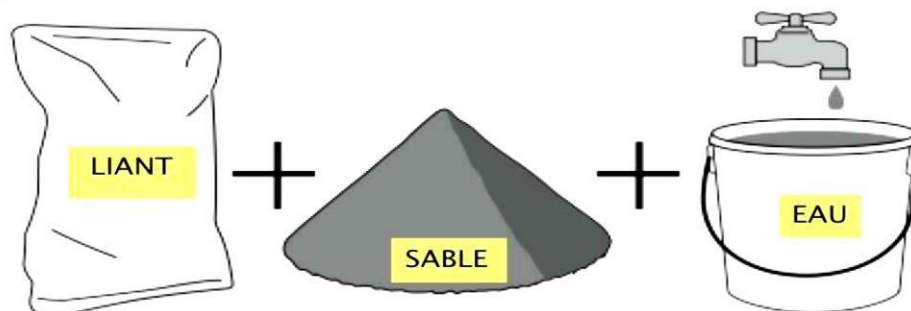


Figure I- 1 Composants principales d'un mortier [7]

I.1.2 Constituants des mortiers :**I.1.2.1 Sable :**

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

- ✓ 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.

I.1.2.2 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 [3].

I.1.2.3 Eau de gâchage :

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance, son rôle est primordial puisqu'il consiste à provoquer la prise du liant mélangé au sable [3].

***Qualités :** Elle doit être aussi pure que possible. On peut employer sans danger l'eau potable. De toute façon, elle ne doit pas contenir des matières organiques ou terreuses, ni de déchets industriels de toutes natures (rejeter les eaux acides, les eaux séléniteuses contenant du plâtre, les eaux croupissantes). Les avis différents sur l'emploi de l'eau de mer, elle est à éviter s'il s'agit de liant à forte teneur en chaux libre. Par contre, certains liants résistant bien aux eaux de mer telles que les ciments à base de laitier, ciments alumineux, ciments sur sulfatés et ciments siliceux [3].

*** Quantité :** La quantité d'eau de gâchage est variable elle dépend de [3]:

- Travail à exécuter.
- Dosage du mortier.
- Nature du mortier mise en œuvre.
- Température ambiante et des matériaux.
- 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 [3].

L'excès d'eau est toujours nuisible, il diminue la résistance finale du mortier. Dans le cas d'emploi d'un mortier mou, il convient d'augmenter le dosage pour obtenir la même résistance, sauf pour les ciments alumineux pour lesquels cet excès est moins nuisible. Les mortiers de chaux demandent en général plus d'eau que les mortiers de ciment de même les mortiers composés de sable fin exigent plus d'eau que ceux composés de sable moyen ou gras [3].

I.1.2.4 Adjuvants :

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci. Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment [4].

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton que dans les limites précisées par la norme. Il ne doit pas non plus altérer les caractéristiques des armatures du béton ou des aciers de précontrainte [4].

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci (Table I.1). L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement un ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale [4].

L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise. L'utilisation des adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme NF EN 206-1 [4]

Tableau I- 1 Différents types des adjuvants [3]

| Nature | Effets |
|--------------------------------------|--|
| Prise et durcissement | <p>Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton.</p> <p>Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton.</p> <p>Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altère</p> |
| Ouvrabilité du béton | <p>Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer.</p> <p>Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité.</p> <p>Super plastifiant :</p> <p>Fonction fluidifiant : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance.</p> <p>Fonction réducteur : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.</p> |
| Modification de certaines propriétés | <p>Entraîneur d'air : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide.</p> <p>Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</p> <p>Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</p> |
| Les produits de cure | Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation. |

I.1.3 Caractéristiques et propriétés des mortiers :

I.1.3.1 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 humides [03].

I.1.3.2 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 [03].

I.1.3.3 Retrait :

Les mortiers de ciment se raccourcissent à mesure qu'ils prennent, puis durcissent, ce qui s'appelle le retrait. La quantité de contraction est liée à [03] :

- **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** : le super ciment se rétracte plus qu'un liant de résistance mécanique de 160 à 250. C'est une erreur d'abandonner certains liants au profit de ceux dont la résistance mécanique élevée n'est pas liée aux contraintes résultant de l'opération.
- **la fabrication du mortier** : Il doit être mélangé complètement pour 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.

I.1.4. Types des mortiers :

On distingue différents types de mortiers [04] :

I.1.4.1. Mortiers de ciment :

Leur rapport ciment/sable en ciment est généralement de 1/3, tandis que le rapport eau/ciment (E/C) est d'environ 0,35. Ces mortiers sont étanches et très durables et durcissent rapidement.

Tableau I- 2 Utilisation du mortier ciment, quantité des constituants [04]

| Utilisation/ Matériaux | Pose de briques et blocs | Mortier de chape |
|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Ciment | 50 kg | 50 kg |
| Sable | 120 à 130 kg | 180 kg |
| Eau | 50 litres | 50 litres |
| Nature du mélange | Onctueux | Pâteux |

I.1.4.2. Mortiers de chaux :

Moins durables que les mortiers de ciment, ils ont un durcissement plus lent, ils sont utilisés comme enduit.

Tableau I- 3 Quantité des constituants du mortier de chaux [04]

| Chaux | Sable | Eau | Nature du mélange |
|--------------|--------------|------------|--------------------------|
| 40 kg | 110 à 120 kg | 50 litres | Onctueux |

I.1.4.3. Mortiers bâtards :

Le liant qui compose ces mortiers est le mélange de ciment et de chaux, généralement en parties égales, augmentant sa facilité de mise en œuvre. C'est le juste milieu entre le mortier de ciment et le mortier de chaux.

Tableau I- 4 Utilisation du mortier bâtard, quantité des constituants [04]

| Utilisation/ Matériaux | Corps d'enduit (sous couche d'enduit) | Enduit de Finition |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| Ciment | 50 kg | 25 kg |
| Chaux | 40 kg | 40 kg |
| Sable | 40 kg | 40 kg |
| Eau | 75 litres | 50 litres |
| Nature du mélange | presque liquide | Onctueux |

I.4.5. Formulation (fabrication) des mortiers :

Les proportions de liant et de sable dépendent largement du grade et de la qualité durabilité du mortier utilisé. L'eau, bien qu'en quantité limitée, joue également un rôle crucial dans la bonne tenue du mortier. Le rapport de la quantité de liant à la quantité de mortier prend le nom "dose" [01].

Le dosage du mortier peut varier sensiblement en fonction de l'utilisation et du type de mortier à réaliser. Il est une opération qui doit être faite avec précision car la résistance finale de l'ouvrage en étant très dépendante. Il ne peut alors être question d'en changer les données soit volontairement pour des raisons d'économies soit involontairement par négligence [01].

Il existe deux façons de formuler le mortier [01] :

- **Dosage en volume :**

Les quantités des composantes des mortiers sont déterminées et ajustées en volume. Le mortier se dose de manière générale de façon assez simple :

1 volume de ciment, 2 à 4 volumes de sable pour 1/2 de volume d'eau.

- **Dosage en poids :**

Le dosage du poids mort est la masse de liant contenue dans un mètre cube de mortier prêt. En fonction de la densité, de la quantité de mélange et des matériaux qui le composent, nous donne des résultats de construction différents.

I.2 Sables de dunes :

I.2.1-Définition :

Une dune est une forme de relief ou un modelé constitué d'un amas de sable accumulé sur une largeur plus ou moins grande et une pente généralement assez élevée, sous l'action des vents (dune littorale, bordière ou côtière, dune désertique ou continentale) ou du courant marin sous la mer (dune hydraulique). Le terme appartient au vocabulaire topographique, géographique, géomorphologique. Les ensembles dunaires font partie des formations superficielles qui sont relativement récentes à l'échelle géologique. D'autres appellations qualifient les ensembles dunaires comme erg, croc, garenne, etc. Ces termes généralement locaux peuvent connaître un usage plus général et qualifier un type particulier de dune. Toutes les dunes étant composées de sable, on ne parle pas de « dune de sable », (Fig.I-2) sauf pour préciser la qualité du sable qui la compose : « dune de sable blanc » [05].



Figure I- 2 Sable de dune

I.2.2. Types des dunes :**I.2.2.1. Avant-dune :** (fore dune en Anglais),

Elles sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (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-dune sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles [06].

I.2.2.2 Falaises dunaires: (dune Cliff en Anglais)

Elles 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 [06].

I.2.2.3 Dunes perchées : (Cliff-top dune en Anglais),

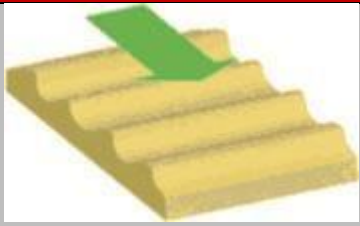



Elles apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [06].

I.2.2.4 Cordons dunaires artificiels :

Elles sont construites 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-dune plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France) [06].

Dans la nature généralement, et dans le désert en particulier, le sable ne s'organise pas seulement en forme de tas ou du moins les tas ou les édifices éoliens ont des morphologies bien précises. En fonction de l'état du sol, de la source de sable disponible et du régime des vents on observera différentes morphologies des dunes de sable. Comme indiqué dans le tableau, on peut distinguer les barkhanes, les dunes transversales, les dunes longitudinales et celles sous forme d'étoile [07].

Tableau I- 5 Différentes formes de dunes selon l'alimentation et le régime des vents [07]

| Types | Conditions | Formes |
|-----------------------------|---|---|
| Dunes transverses | <ul style="list-style-type: none"> *Surfaces rocailleuses. *Approvisionnement en sable modéré. *Direction du vent constante. |  |
| Dunes longitudinales | <ul style="list-style-type: none"> *Larges étendues. *Approvisionnement en sable abondant. *Direction du vent constante. |  |
| Dunes longitudinales | <ul style="list-style-type: none"> *Rectilignes et longues. *Approvisionnement en sable limité. *Au moins 2 directions de vent convergentes. |  |
| Dunes étoiles | <ul style="list-style-type: none"> *Approvisionnement en sable abondant. *Plusieurs directions de vent. |  |

I.2.3. Utilisation du sable de dune :

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié (Chauvin, 1987). Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements (Autret, 1989). Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux [08].

I.2.4. Classification des sables :

La définition et la classification des sables diffèrent d'une science à une autre [09] :

- **En pédologie et en physique du sol**, un sol sableux est caractérisé par un diamètre des particules ($0,05 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$).
- **En géologie et géographie physique**, on considère comme sable les éléments dont le diamètre : ($63 \text{ }\mu\text{m}$ ou $40 \text{ }\mu\text{m}$) $< D < 2 \text{ mm}$ réparties comme suit :
 - ✓ Sables très grossiers : $0,5 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$
 - ✓ Sables grossiers : $0,25 \text{ mm} < D < 0,5 \text{ mm}$
 - ✓ Sables moyens : $0,125 \text{ mm} < D < 25 \text{ mm}$
 - ✓ Sables fins (sablon) : $0,063 \text{ mm}$ (ou $0,04 \text{ mm}$) $< D < 0,125 \text{ mm}$

Les particules dont $D > 2 \text{ mm}$, sont peuvent être : des blocs, des galets ou des graviers et les particules dont $D < 0,063 \text{ mm}$ ou $0,04 \text{ mm}$ ($63 \text{ }\mu\text{m}$ ou $40 \text{ }\mu\text{m}$) sont considérées comme des limons ou des argiles.

- **En géotechnique et en génie civil**, on utilise souvent le système de classification unifiée des sols (A. S. T. M.).

Le tableau suivant montre les limites inférieures et supérieures du diamètre des grains et les numéros de tamis A. S. T. M. correspondants, pour trois plages de taille de grains de sable : sable grossier, sable moyen et sable fin [09].

Tableau I- 6 Classification unifiée des sols (A.S.T.M.) [09]

| Nom | Diamètre des grains | Numéro A. S. T. M. des tamis |
|-------------|--|------------------------------|
| Sable | $2,00 \text{ mm} < D < 4,75 \text{ mm}$ | tamis 10 - tamis 4 |
| Sable moyen | $0,465 \text{ mm} < D < 2,00 \text{ mm}$ | tamis 40 - tamis 10 |
| Sable fin | $0,0625 \text{ mm} < D < 0,465 \text{ mm}$ | tamis 200 - tamis 40 |

I.2.5. Origine et composition du sable :

Le sable est issu de la désagrégation et l'altération naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. (Neige, pluie, vent, variations des températures, gel et dégel). Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, parfois jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables (dune de sable) peuvent se former sur le chemin, durant leur long transport vers les océans. En général, les gros granulats sont des constitués de fragments de roches tandis que les sables fins sont plutôt constitués de minéraux détachés de leur roche d'origine [09].

Les grains de sable peuvent aussi être des débris d'origine organique et même synthétique pour les sables récents. En plus de fragments de coquillages et les débris d'origine organique on trouve maintenant sur les plages marines actuelles une certaine proportion de

débris d'origine synthétique comme le verre, la terre cuite, la porcelaine et certains plastiques [09].

I.2.6. Transport du sable et migration des dunes :

Les travaux du Major R. A. Bagnold, qui font toujours référence dans le domaine, ont permis de diviser le transport de sable induit par le vent en trois formes au niveau de la surface (schéma ci-dessous) [07] :

- **la suspension** : pour les particules les plus petites ($D_p < 80\mu\text{m}$) transportées sur de longues distances par l'influence des structures turbulentes de l'écoulement. La quantité massique de particules mise en mouvement par suspension est quasi négligeable.
- **la saltation** : pour les particules de taille moyenne qui font de petits bonds successifs ($80 < D_p < 1000\mu\text{m}$). Le transport par saltation se fait sous la forme d'un nuage de particules évoluant à une hauteur de quelques centimètres au-dessus du sol.
- **la reptation** : pour les plus grosses particules qui roulent sur le sol. Le déplacement par reptation est intimement lié à la saltation car ces gros grains entrent en mouvement par les impacts des grains de saltation sur le sol.

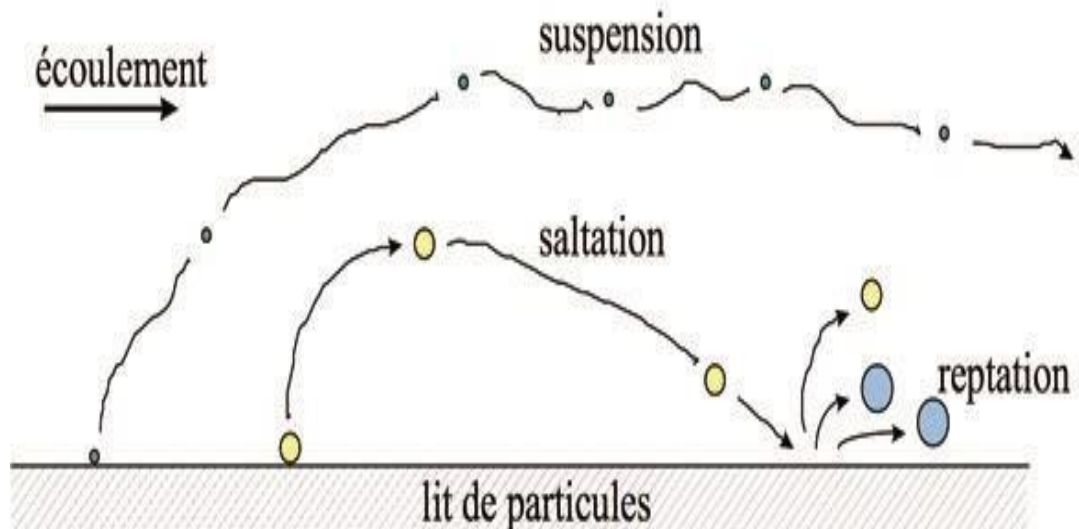


Figure I- 3 Trois modes de transport éolien de particules [07]

I.2.7. Propreté sable de dune :

Le sable de dune ne contient pratiquement pas de traces d'argile. Il a une limite de liquidité w_L de l'ordre de 25 et une limite de plasticité non mesurable. La valeur de l'équivalent de sable est supérieure à 60 %. La valeur de bleu est de l'ordre de 0,1 [08].

I.2.8. Comportement mécanique :

Des essais de compactage puis de cisaillement direct ont été réalisés par Ould Sid et al. (1995). Les principaux résultats trouvés sont que [08]:

- l'effet de la teneur en eau sur le compactage est peu significatif quand la teneur en eau est faible (0 à 6 %).
- la cohésion a une valeur très faible, de l'ordre de 5 kPa.
- l'angle de frottement interne varie de 30 à 35°, selon la densité du sable.

Les valeurs de ces paramètres montrent que le sable de dune peut avoir un bon comportement mécanique même lorsque sa compacité est faible, à condition d'être à l'abri du vent.

Par ailleurs, l'indice portant CBR de ces sables, au poids volumique et à la teneur en eau de l'optimum Proctor modifié, est relativement faible. Il est de l'ordre de 10 %. C'est ce qui permet, entre autres, d'écarter toute possibilité d'utilisation de ces sables seuls en corps de chaussée.

I.3 Isolation thermique :

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports en été), et d'accroître le confort (maintien des températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver et chaude en été) [10].

Selon la littérature, l'isolation thermique est une technique ou un moyen matériel (un matériau ou combinaison de matériaux) de limiter les transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre l'extérieur et l'intérieur d'un logement. Il retarde le flux de chaleur à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment en raison de sa haute résistance thermique [10].

L'isolation thermique se mesure selon différents paramètres énergétiques [10]:

-La résistance thermique (notée R en $m^2.K/W$), correspond à la capacité du matériau à ne pas laisser passer la chaleur. Plus R est grand, plus le matériau est performant. R est fonction de l'épaisseur (quand on double une épaisseur, on double R).

-La conductivité thermique (notée λ : lambda en $W/m.K$), correspond à la quantité de chaleur qui traverse le matériau. Plus λ est petit, plus le matériau est isolant. Pour un bon isolant, le coefficient λ doit être le plus faible possible, idéalement compris entre 0,04 et 0,03.

I.3.1 Avantages d'isolation thermique :

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées [11].

L'isolation thermique est utilisée dans de nombreux domaines. On la retrouve dans le bâtiment, dans l'industrie, dans l'automobile, dans les chambres froides, dans la cuisine et dans le textile. Elle peut être constituée d'un matériau isolant unique ou une combinaison de matériaux isolants [10]. En plus de confort thermique, il existe également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit [11] :

- **Avantage économique:** Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.
- **Avantage environnemental:** L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.
- **Réduire le niveau de bruit:** L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.
- **Intégrité structurale d'un bâtiment:** Les fortes variations de température peuvent causer des mouvements thermiques indésirables, ce qui pourrait endommager la structure du bâtiment. La préservation des bâtiments avec des fluctuations minimales de température contribue à la préservation de l'intégrité des structures de bâtiments. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'une isolation thermique appropriée en augmentant ainsi la durée de vie des structures du bâtiment.
- **Empêchement de condensation de vapeur:** Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment. Cependant, il faut faire attention à éviter les effets néfastes de la structure du bâtiment dommageable, qui peuvent résulter de mauvaise installation de matériaux d'isolation ou une mauvaise conception. En plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher la pénétration d'humidité dans un isolant à basse température.

- **Protection contre le feu :** Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie.

I.3.2 Propriétés physiques et chimiques des isolants :

Les propriétés physiques et chimiques d'un isolant jouent un rôle important dans le choix du matériau car les isolants sont classés en fonction de [12]:

- 1) Faible conductivité thermique.
- 2) Leur résistance au feu.
- 3) Résistance à l'humidité.
- 4) Être chimiquement stable.
- 5) Non corrosifs.
- 6) La légèreté pour ne pas surcharger la construction.

I.3.3 Le transfert thermique :

Les transferts thermiques par un gaz ou un liquide se font selon trois modes qui sont [12]:

- 1) Conduction ;
- 2) Convection ;
- 3) Rayonnement.

I.3.3.1 Conduction thermique :

La conduction est la transmission de la chaleur au sein d'un corps solide, des points les plus chauds vers les points les moins chauds, par suite du contact des particules entre elles et sans déplacement apparent de matière. La conductivité thermique, notée λ , est une grandeur physique caractérisant la conduction. D'un point de vue atomique, la conductivité thermique est liée à deux types de comportements :

- 1) Le mouvement des porteurs de charges qui sont les électrons.
- 2) L'oscillation des atomes autour de leur position d'équilibre.

I.3.3.2 Convection thermique :

La convection est un mode de transfert qui implique un déplacement de matière dans le milieu. Ce phénomène physique se produit dans de nombreux systèmes (casserole, atmosphère, manteau terrestre, étoile,...) sous des formes diverses, on distingue deux catégories de convection de chaleur qui sont la convection naturelle et la convection forcée.

I.3.3.3 Rayonnement :

C'est la transmission de la chaleur d'un corps à un autre moins chaud, par ondes électromagnétiques, à travers l'espace qui les sépare.

Remarque : Dans le vide, la conduction et la convection n'existent pas, car l'absence de matière y empêche la propagation de toute agitation moléculaire.

I.3.4 Types des isolants :

On peut différencier les isolants thermiques les uns des autres par de nombreux paramètres, on distinguera alors, les isolants naturels et les isolants synthétiques. Il existe trois groupes d'isolants thermiques [13]:

I.3.4.1 Les isolants synthétiques :

Ce sont des isolants modernes issus de la pétrochimie (à base de produits pétroliers) :

- **Le polyuréthane :** faible conductivité thermique initiale, cher, il est moins stable que ses concurrents et très inflammable. Il se présente sous forme de mousse de remplissage pour les interstices autour des fenêtres. Il se présente aussi sous forme des panneaux nus ou panneaux composites.
- **Le polystyrène :** est un isolant qui se présente en vrac, sous forme de billes qui sont insufflées et sous forme des panneaux nus ou composites.

I.3.4.2 Les isolants en fibres minérales :

- **Laine de roche :** est un isolant à base de silice, a une composition non uniforme, elle se présente sous forme des panneaux nus ou composites et sous forme des rouleaux.
- **Laine de verre :** se présente sous forme des rouleaux et des panneaux nus ou composites.
- **Perlite expansée :** se présente sous forme des panneaux, en vrac (billes ou paillettes brutes) et en blocs de construction.
- **Verre cellulaire :** est une mousse de verre obtenue par expansion de verre lorsqu'il est en fusion. Elle se présente également sous forme de panneaux rigides.

I.3.4.3 Les isolants en fibres végétales :

- **Fibre de bois :** elle se présente sous forme de panneaux.
- **Liège expansé :** il se présente sous forme de panneaux et en vrac.
- **Chanvre :** il se présente en rouleaux souples et en panneaux semi-rigide.

I.3.4.4 Les isolants d'origine animale :

- **Laine de mouton :** se présente en rouleaux, en panneaux semi-rigide, en écheveaux et en feutres.

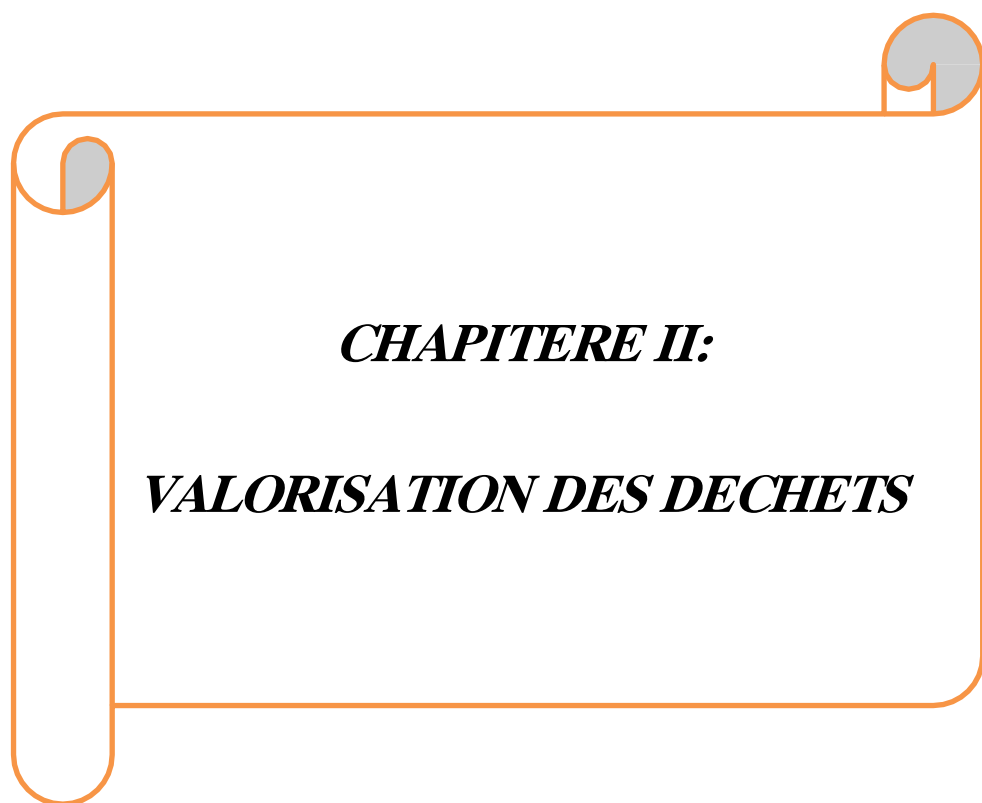
- **Plumes** : elles se présentent en rouleaux et en panneaux semi-rigides.

I.4.5 Isolation thermique en Algérie :

La réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%. Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. La réglementation Algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de construction existante diffère en Algérie [14].

Conclusion :

Ce chapitre a présenté les bases de notre compréhension des matériaux de construction, de l'utilisation du sable de dune et du mortier, ainsi que de l'importance de l'isolation thermique dans la construction moderne. Nous avons découvert que le mortier, en tant que matériau polyvalent, est essentiel dans la construction, offrant des propriétés mécaniques et adhésives cruciales. Le sable de dune, en tant que source de matériaux de construction, présente un potentiel considérable grâce à ses propriétés uniques. Enfin, l'isolation thermique se révèle essentielle pour assurer le confort et l'efficacité énergétique dans nos bâtiments.



CHAPITRE II:

VALORISATION DES DECHETS

Introduction :

Ce chapitre se consacre au sujet de déchets, de leur définition à leur valeur dans l'économie, en passant par les méthodes de valorisation. Ce chapitre examine aussi les méthodes de valorisation des déchets et leur utilisation dans le génie civil.

II.1 Définition de déchets :

Le terme déchet peut avoir plusieurs définitions, selon le contexte et aussi le niveau législatif, il varie d'un auteur à un autre et d'un pays à un autre. D'après le programme des nations unies pour le développement 2 (2009) et l'article 3 du journal officiel de la République Algérienne de la loi N 01-19 du 19 décembre 2001 relative à la gestion au contrôle et l'élimination des déchets, un déchet est défini comme : « tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont la propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer » [15].

Notamment ce terme prend des différentes significations du point de vue économique, juridique, sociologique, politique, environnementale et systémique parmi ceux-ci on retient les deux définitions et qui mettent en exergue la valeur économique du déchet et l'enjeu juridique qui entoure sa gestion future [15].

II.2 Déchets et économie :

La gestion des déchets est indissociable de l'économie à de nombreux niveaux, comme l'illustre son évolution historique. Dès l'Antiquité et la cité médiévale, on reconnaissait la valeur économique de certains types de déchets, tels que le fumier, qui était systématiquement récupéré et utilisé. Cependant, à mesure que la société évoluait, la composition des déchets changeait, notamment avec l'introduction de nouveaux matériaux comme le verre à la fin du XVIIIe siècle. Cette transformation posait des défis en matière de tri sélectif et de gestion des déchets, auxquels les autorités de police étaient confrontées.

La question centrale se posait alors : fallait-il simplement rejeter les déchets conformément à leur définition originelle en tant qu'objets mis au rebut, ou devait-on reconnaître leur valeur économique ? Cette interrogation a pris de l'importance au fil du temps, car elle a des implications directes sur la gestion des ressources, la durabilité et l'économie.

Plus récemment, de nombreuses activités économiques se sont développées autour de la collecte, du tri, du recyclage et du traitement des déchets. Des entreprises d'économie sociale, récupèrent, réparent et revendent des produits à bas prix, ce qui contribue à réduire le gaspillage et à fournir des emplois locaux. Dans les pays en développement, les populations les plus

pauvres vivent parfois de la récupération et du recyclage des déchets ménagers, en vendant des matériaux recyclables à des intermédiaires. Cette économie informelle des déchets peut représenter une source de revenus cruciale pour de nombreuses personnes.

Par conséquent, la gestion des déchets est devenue un élément clé de l'économie moderne, où la reconnaissance de la valeur économique des déchets recyclables et la mise en place de pratiques durables jouent un rôle essentiel dans la réduction de l'impact environnemental tout en favorisant le développement de nouvelles opportunités économiques.

Aujourd'hui encore, une grande partie des déchets (43 %) est mise en décharge. Seulement 24 % sont recyclés, et 33 % sont valorisés (valorisation biologique et valorisation énergétique) [16].



Figure II- 1 valorisation biologique et valorisation énergétique [16]

II.3 Classification des déchets :

Les déchets peuvent être classés [15] :

II.3.1 En fonction de la nature :

- **Les déchets dangereux** : tous les déchets qui présentent une ou plusieurs de ses propriétés suivantes sont considérés également comme dangereux, on site : nocif, toxique, inflammable, cancérigène, corrosif, infectieux, comburant, explosif, toxique pour la reproduction, écotoxique, mutagène, irritant.
- **Les déchets non dangereux** : regroupent tous les déchets qui ne présentent aucun effet dangereux ou bien toxiques, c'est également des déchets banals qui sont issus par les activités des commerçants, les entreprises, artisanats et déchets ménagers (Damien, 2013).

- **Les déchets toxiques en quantités dispersés** : sont des déchets dangereux, mais qui sont produites en petites quantités par les ménages et les commerçants, on distingue des déchets solides, liquides et gazeux :
 - a) **Les déchets liquides** : les huiles usagés, peintures, les rejets de lavage, lessives et détergeant, produit de coiffures, eau de javel, encres révélateurs et aérosols.
 - b) **Les déchets solides** : tel que, les ordures ménagers, les gravats, emballages, tous les déchets non dangereux souillés.
 - c) **Les déchets gazeux** : tel que, biogaz, les fumées d'incinération.
- **Les déchets inertes** : sont des déchets provenant également des travaux de démolition, de constructions ou de rénovation (béton, céramique, briques, carrelages...) (Figure II-2), est aussi de l'exploitation des carrières et des mines plus les activités routières. Ces déchets ne sont pas biodégradables, ne se décomposent pas et ne brûlent pas et ne produisant aucune réaction chimiques ou physiques et qui ne détériorent pas d'autres matières, avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de générer une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.



Figure II- 2 Déchets inertes [42]

- **Les déchets ultimes** : Les opérations de traitement des déchets produisent de nouveaux déchets : les déchets de déchets de quelque sorte. Ceux-ci Seront traités et fourniront encore des déchets. Il arrive un moment où l'opération ne doivent plus rentable et l'on obtient ainsi le déchet ultime.

II.3.2 En fonction du comportement et l'effet sur l'environnement :

II.3.2.1 Les déchets fermentescibles : Ces déchets sont constitués essentiellement par la matière organique d'origine végétale ou animale à des différents stades de fermentation aérobie ou anaérobie, on site : tonte de gazon, épiluchures de fruits, déchets de viande, de charcuterie,

les papiers et cartons, le bois et les textiles naturels. Les matières plastiques, bien que se décomposant à long terme, en sont exclus.



Figure II- 3 Déchets fermentescibles [43]

II.3.3.2 Les déchets toxiques : ces déchets correspondent aux poisons chimiques ou bien des radioactifs qui sont issus des laboratoires ou bien des industries.

II.3.3.3 Les déchets immobiles : ces déchets se diffèrent suivants leurs caractères plus en moins encombrants, en débris plus ou moins volumineux jusqu'à les carcasses d'automobiles, avion, bus ...etc.

II.4 Méthodes de la valorisation des déchets :

La valorisation est partielle, spécifique ou local, c'est également le réemploi, le recyclage ou toute autre action a pour but d'obtenir à partir de sous-produit de déchets, des matériaux réutilisables, de l'énergie ou bien de constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'autres produits finis

Tous les types de valorisation des déchets permettent de ménager les ressources, en effet on distingue trois modes de valorisation (Proot, 2002) [15] :

- ♣ Valorisation de matière
- ♣ Valorisation énergétique
- ♣ Valorisation biologique (organique).

II.4.1 Valorisation matière :

La valorisation de la matière englobe toutes les opérations de valorisation (préparation en vue du réemploi, recyclage, remblaiement) [15]:

Le Réemploi : Il s'agit d'employer une nouvelle fois le produit pour un usage analogue à celui de sa première utilisation ou en encore plus il s'agit de prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet tout en réduisant les processus de transformation du produit.

La Réutilisation : Il s'agit d'utiliser à nouveau un déchet pour un usage différent de son premier emploi.

La Régénération : Il s'agit d'un procédé chimique ou physique et redonne les propriétés et les caractéristiques d'un déchet afin de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve.

Le recyclage : Il s'agit de la réintroduction directe d'un matériau contenu dans un déchet dans le cycle de production, en remplacement totale ou partiel d'une matière première vierge (Gouilliard, 2003).

II.4.2 Valorisation énergétique :

Elle consiste également à utiliser une source d'énergie résultant de la thermolyse ou bien de l'incinération, au niveau d'un système industriel appliquant les principes de l'écologie industrielle on trouve l'application de ces modes de traitement puisqu'ils permettent de récupérer l'énergie de la combustion (Vorburger, 2006) [15]:

L'incinération : il est utilisée comme un traitement pour un éventail très large de déchets, ces derniers sont généralement des matériaux hautement hétérogènes composés essentiellement de substance organique, de minéraux, de métaux et d'eau, cette opération est également l'oxydation des matériaux combustibles contenus dans ces derniers au cours de laquelle des gaz brûlés sont générés lesquels contiendront la majorité de l'énergie combustible qui va être récupérée sous forme de chaleur ou bien d'électricité (Moletta, 2009).

La thermolyse : c'est une technique qui relie le recyclage et la valorisation énergétique, elle consiste en un traitement thermique modéré de (450°C - 750°C) des déchets après les avoir broyées, séchées et criblées et donc ces déchets vont être chauffées et ne pas brûler, en condition d'anaérobie.

II.4.3 Valorisation organique :

La matière organique possède la propriété de la biodégradation de ce fait une action bactérienne, naturelle ou induite peut la décomposer rapidement en molécules simples utilisables par les plantes, cette dégradation peut se faire de deux manières : le compostage ou la méthanisation, comme elle peut être aussi maîtrisée industriellement et appliquée aux déchets ménagers. Est donc l'élimination des déchets et réduite au profit de la valorisation et peut être utilisée en tant que engrais par les agriculteurs [15].

II.5 Etapes de valorisation des déchets :

Pour la valorisation, les déchets sont soumis à l'ensemble d'étapes suivantes [17] :

II.5.1. Prévention :

Toutes mesures prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet, lorsque ces mesures concourent à la réduction d'au moins un des items suivants : la quantité de déchets générés, compris par l'intermédiaire du réemploi ou de la prolongation de la durée d'usage des substances, matières ou produits ; les effets nocifs des déchets produits sur l'environnement et la santé humaine ; la teneur en substances nocives pour l'environnement et la santé humaine dans les substances, matières ou produits .

II.5.2 Réemploi :

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

II.5.3 Gestion des déchets :

La collecte, le transport, la valorisation et, l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité participant de l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu' à leur traitement final, y compris les activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations.

II.5.4 Producteur des déchets :

Toute personne dont l'activité produit des déchets (producteur initial de déchets) ou toute personne qui effectue des opérations de traitement des déchets conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (producteur subséquent de déchets).

II.5.5 Détenteur des déchets :

Producteur des déchets ou toute autre personne qui se trouve en possession des déchets.

II.5.6 Collecte :

Toute opération de ramassage des déchets en vue de leur transport vers une installation de traitement des déchets.

II.5.7 Traitement :

Toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination.

II.5.8 Réutilisation :

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. Préparation en vue de la réutilisation : toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement.

II.5.9 Recyclage :

Toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage.

II.5.10 Valorisation :

Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur des déchets.

II.5.11 Elimination :

Toute opération qui n'est pas de la valorisation même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie.

II.6. Déchets utilisés en génie civil :

Les déchets utilisés en génie civil représentent une ressource sous-utilisée qui peut contribuer à des pratiques de construction durables en favorisant la réutilisation de matériaux et en réduisant les déchets. Les types de déchets couramment utilisés dans la fabrication du béton comprennent les cendres volantes, laitier de haut fourneau, les déchets de verre, les déchets de construction recyclés et les plastiques recyclés.

II.6.1 Déchets industrielles**II.6.1.1. Laitier de haut fourneau :**

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air libre et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom «laitier

expansé». Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulat pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications [18].



Figure II- 4 Laitier de haut fourneau [22]

II.6.1.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable, il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement/maturation se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus [18].



Figure II- 5 Laitier d'acier [22]

II.6.1.3. Cendre volante :

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Et sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace,

du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage. Les cendres volantes sont classifiées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé [18].

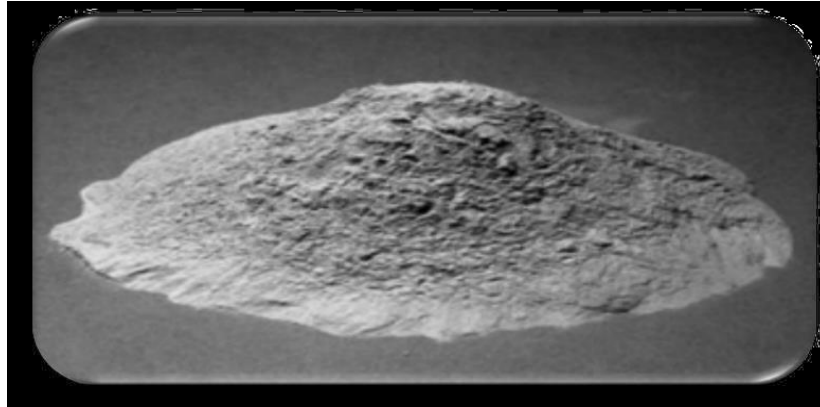


Figure II- 6 Cendre volante [22]

II.6.1.4. Mâchefer :

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Etant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé [18].

A la sortie du four d'incinération les mâchefers sont généralement humides et contiennent des éléments grossiers (ex : verre, ferrailles, gros imbrûlés). Ils sont classés en fonction de leurs caractéristiques physico chimiques en 3 catégories :

- Mâchefers de catégorie « V » à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant).
- Mâchefers intermédiaires de catégorie « M ».
- Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie « S »

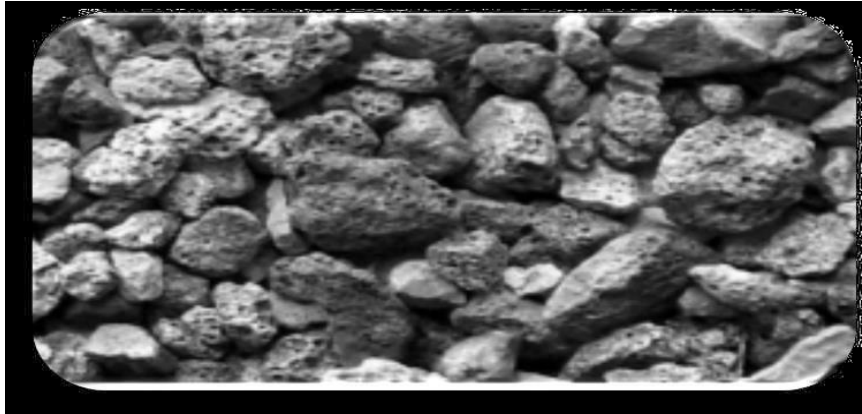


Figure II- 7 Mâchefer [22]

II.6.2 Déchets de brique

Les déchets de briques sont issus de l'industrie des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction, ils sont des produits céramiques dont les argiles sont la matière première et parfois des additifs [18].

II.6.2.1 Définition :

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction. Les briques se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permette de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement ? La brique est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions. En plus de résister à la chaleur, la brique a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique [19].



Figure II- 8 déchets de brique source : auteur

II.6.2.2 Types de brique :**• Selon leur utilisation :****+ Face brique :**

Briques de parement sont ceux utilisés pour décorer l'extérieur d'un bâtiment. Ils sont les briques les plus visibles, de sorte qu'ils sont de meilleure qualité et plus durable. Découper Fil briques sont un exemple de briques de parement : Ces briques sont faites avec de l'argile, texturé, puis couper par fil. Ce sont donc moins cher à produire en grandes quantités. Ils sont disponibles en différentes couleurs et textures [20].

+ Briques de construction :

Briques de construction sont le type de briques le plus couramment utilisé. Elles sont faites d'argile, et cuits dans des fours pour les rendre dur et fort. Ils sont utilisés dans la construction des murs et autres surfaces, et non pour les extérieurs, afin qu'ils ne viennent pas en différentes textures ou couleurs. Ils sont durs et durable [20].

+ Briques vernissées :

Briques vernissées ont un côté recouvert de revêtement vitré (généralement en céramique). Le regard glacé provient de la fusion de différents minéraux et des ingrédients lorsque les briques sont brûler ou cuits. La surface vitrée rend ces briques mieux adaptées pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres bâtiments où le maintien de conditions sanitaires est très essentiel [20].

• Selon leur forme :**+ Briques pleines :**

La brique pleine ordinaire a le format 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur).Toujours employé, cet élément constitue d'excellents murs porteurs. Spécialement fabriquée pour l'exécution d'éléments vus (façades), elle présente une gamme de teintes très variée. Elles sont montées à mortier de joints épais, généralement 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux [20].

+ Briques perforées et blocs perfores :

La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression (les perforations sont disposées verticalement à l'intérieur du mur) et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine. Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre, ils existent les blocs perforés qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément [20].

✚ Briques creuses :

Les briques creuses, beaucoup plus légères, et de plus grandes dimensions, permettent la réalisation de murs spécialement isolants. Ces produits ouverts aux deux extrémités, comportent des cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute la longueur. En revanche, leur résistance à la compression est très faible. Cette maçonnerie reçoit généralement un enduit ou crépissage et trouve son utilisation principalement dans les maisons individuelles ou en remplissage pour les séparations intérieures de bâtiments [20].

Les briques creuses qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes : 250x120x88mm ou bien 65mm. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35 à 45mm et de 17 à 18mm. Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60% de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40% de la section totale. On classe les briques creuses en quatre catégories : 150, 125, 100 et 75. La capacité d'absorption d'eau.

II.6.2.3 Caractéristiques physico-chimiques de la brique :

Les briques réfractaires se caractérisent selon les critères suivants [19]:

- résistance à l'usure par abrasion.
- résistance pyroscopique (En °C).
- résistance mécanique à froid (En kg/cm²).
- masse volumique (En g/cm³).
- porosité ouverte (En %).
- résistance à l'écrasement à froid (En N/mm²).
- affaissement sous charge à température croissante (2 kg/cm² - 0,5 %) (°C).
- conductibilité thermique (Kcal/h.m.°C).
- dilatation linéaire moyenne entre 0 et 1,000 °C, à 500 °C, à 800 °C.
- résistance aux chocs thermiques, trempée à l'air à 1,200 °C (en cycle).
- tolérance dimensionnelle.

II.6.2.4 Valorisation des déchets de la brique :

L'utilisation de déchets de brique dans le matériau cimentaire est une pratique intéressante pour promouvoir la durabilité de la construction. Les déchets de brique peuvent être concassés ou réduits en granulats, puis mélangés avec d'autres matériaux de construction, tels que le sable, le ciment et l'eau, pour former du béton. Les briques concassées ou réduites en granulats

peuvent être aussi utilisées en substitution partielle du sable dans la fabrication du béton. Cela peut réduire la quantité de sable nécessaire, tout en contribuant à la durabilité du mélange de béton. De nombreuses études ont été menées pour explorer les possibilités de valorisation des déchets de brique dans la fabrication du béton et du mortier, on peut citer

[Tavakoli et al; 1996] ont étudié l'effet de l'utilisation de briques d'argile comme du sable dans la préparation du béton avec le nano SiO₂. Ils ont montré qu'il y avait une augmentation d'absorption d'eau, ainsi l'utilisation du nano SiO₂ avec des déchets de brique améliore les propriétés de durabilité et de résistance du béton, ainsi que le béton de granulats de brique pilée à des propriétés thermiques améliorées [21].

[Bourmatte; 2004] a étudié la possibilité d'utiliser des granulats recyclés de déchets de briques dans la composition des mortiers. Le taux de substitution en granulats recyclés est de (0, 25, 50, 75 et 100%). Les résultats indiquent que Plus le taux de substitution augmente plus la résistance en compression diminue, alors on peut utiliser ces granulats avec des taux limités dans le mortier [22].

[Moriconi ; 2009] a traité l'utilisation de décombre de maçonnerie dans le mortier, soit en remplaçant le sable naturel ou comme substitution partielle du ciment; les résultats obtenus de la résistance en compression était plus faible en comparaison avec un mortier de référence [23].

[Kanai, Debieb; 2011] ont étudié l'effet de remplacer partiellement le gravier et le sable naturel par le mélange de gros et fins granulats à base d'ancien béton et de briques cuites concassées pour des taux (25, 50, 75 et 100%). A partir des résultats, l'absorption d'eau des bétons recyclés réalisés est plus élevée que celle d'un béton témoin à base de 100% de granulats naturels. La pénétration d'eau des bétons réalisés, augmente en fonction du pourcentage de substitution en granulats recyclés et peut atteindre le double de celle du béton à base des granulats naturels [24].

[Lahmadi, Zeghichi et Benghazi; 2012] la résistance en compression des bétons à base des granulats de briques grossiers (pour une substitution de 30% à 50%) est comparable à celle des bétons ordinaires, même une substitution totale n'affecte pas la résistance et le remplacement du squelette granulaire naturel (sable et gravier) par les déchets de briques est à éviter, une chute de résistance estimée à 50% est signalée [25].

[M. Heikal ; 2013] a étudié l'influence de la substitution du ciment par les déchets de brique pilées et ont trouvé que plus on augmente la teneur en poudre de brique plus la résistance à la compression augmente et les contraintes de cisaillement augmentent aussi, ainsi que la

microstructure de la poudre de brique ciment affiche un arrangement dense de microcristalline C-S-H et Ca(OH) qui améliore la résistance à la compression [26].

[Safi ; 2013] a étudié le développement de la résistance des bétons autoplaçants contenant 10% de déchets de brique pilée à différents températures (20°C et 60°C) pendant 18h. À partir des résultats, une augmentation de la fluidité et de la densité a été observée, ainsi les valeurs de résistance à la compression du mortier à 14j à 60°C sont proches de celles obtenues à 28j de durcissement à 20°C. Mais il faut tenir compte que les déchets de brique absorbent plus et ont une grande demande en eau ce qui influe négativement sur les propriétés des bétons autoplaçants à l'état frais [27].

[Ranjodh, kaushik ; 2013] ont étudié la substitution des granulats fins par la poudre de marbre et la poussière de brique à un pourcentage de 25% et 50%. Les résultats obtenus montrent que la poussière de brique peut être efficacement utilisée pour produire une bonne qualité du béton autoplaçant (étalement et temps d'écoulement satisfaisants), ainsi avec un dosage de 25%, la poussière de brique donne une meilleure résistance à la compression [28].

II.6.3 Déchets de plastique

II.6.2.1 Définition :

En entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Ce sont des produits en plastique, tels que des emballages, des contenants, des objets en plastique, des films plastiques, etc., qui ont atteint la fin de leur cycle d'utilisation et sont considérés comme des déchets. Les déchets plastiques peuvent provenir de diverses sources, y compris les ménages, les industries, les commerces, et ils posent des défis environnementaux en raison de leur durabilité et de leur impact sur les écosystèmes.

Il existe plusieurs types de déchets plastiques [18] :

- **Les déchets plastiques industriels** : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production de résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).

- **Les déchets de production** : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grand majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).

- **Les déchets de transformation** : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,...). On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine.

II.6.2.2 Déchets en PET :

a) Définition

Le poly (oxy-ethanediyl-1,2 oxycarbonylphenylèncarbonyl) est une matière plastique du groupe des polyesters aromatiques, obtenu par la polycondensation de l'éthylène glycol et de l'acide téréphtalique. Il est couramment appelé poly (éthylène téréphtalate) (PET). Le PET est produit entièrement à partir du pétrole ou du gaz naturel [29].

Le PET se recycle à 100% et ne perd en principe pas ses caractéristiques fondamentales et peut donc être réutilisé à plusieurs reprises pour fabriquer des produits de qualité supérieure. Les emballages en PET satisfont aux exigences les plus sévères en matière d'hygiène dans le domaine alimentaire, cosmétique et médical. Le PET est souvent utilisé pour la production de bouteilles à boissons. Contrairement aux cannettes en alu ou aux bouteilles en verre, elles sont incassables, légères et réutilisables. Le recyclage des bouteilles à boissons en PET est segmenté en deux niveaux de qualité. Le recyclage conventionnel produit des matériaux recyclés de qualité moindre qui ne peuvent être réutilisés qu'une seule fois (matériaux de construction, textiles, etc.). Le recyclage en circuit fermé, où les bouteilles à boissons en PET vides sont récupérées indéfiniment pour en fabriquer de nouvelles correspond au deuxième niveau de qualité [30].

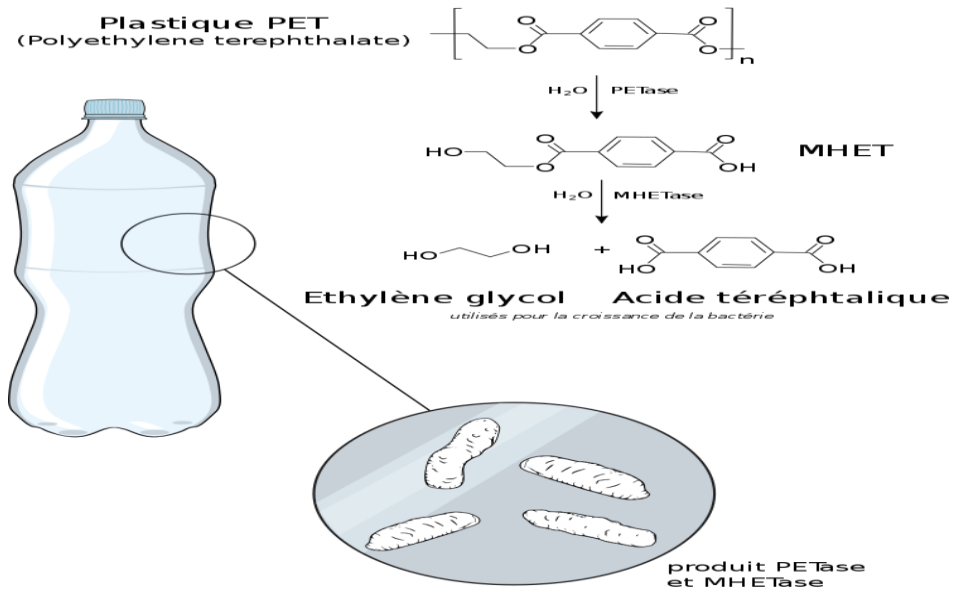


Figure II- 9 Dégradation du PET par la bactérie [44]

b) Propriétés du PET :

✚ Propriétés physiques et chimiques :

Le PET est un matériau dur présentant une bonne stabilité dimensionnelle. Il présente de bonnes propriétés barrières aux gaz (O_2 et CO_2), dont les diffusivités sont très faibles. Le PET possède une excellente résistance chimique aux acides concentrés et dilués, aux alcools, aux cétones, aux graisses et aux huiles, mais s'hydrolyse en présence de produits alcalins. Il présente une bonne résistance aux ultraviolets et une exceptionnelle transmission; son indice de réfraction se trouve dans l'intervalle 1,58-1,64 [31].

✚ Propriétés thermiques :

Le PET peut se trouver sous la forme amorphe ou semi-cristalline. Sa densité varie de 1,30 à 1,40. L'analyse thermique du PET permet de montrer la présence de trois transitions principales. La première est la transition vitreuse. Elle est réversible et correspond à une variation de la mobilité moléculaire des chaînes de la phase amorphe. En dessous de la température de transition vitreuse (T_g), située généralement vers 80°C , le polymère est figé par des interactions physiques fortes. Au-dessus, la mobilité moléculaire augmente (phénomène endothermique) et il devient caoutchoutière; ses propriétés élastiques augmentent et il devient moins rigide. Cette seconde transition apparaît vers 145°C et correspond à une recristallisation du PET amorphe dont le maximum du pic de cristallisation correspond à la température de cristallisation (T_c). Cette transition exothermique apparaît pour des matrices dont le taux de

crystallinité initial est relativement faible et disparaît progressivement lorsqu'il augmente. Enfin, la troisième transition est endothermique et se situe vers 260-270°C. Elle correspond à la fusion des cristallites à la température de fusion (T_f) du PET [31].

✚ Propriétés thermomécaniques :

Le PET est principalement utilisé à la température ambiante. Il se présente dans un état vitreux et apparaît comme un matériau rigide. A la température de transition vitreuse, ses propriétés mécaniques chutent de façon importante. Au-dessus de T_g , la mobilité plus importante des chaînes permet, par exemple, l'étirage et l'orientation du polymère par soufflage lorsqu'il est amorphe. La cristallisation et l'orientation du PET au-dessus et au-dessous de T_g augmentent ses propriétés mécaniques. Lorsque le PET est amorphe, son module mécanique augmente vers 145°C, conséquence de la recristallisation pendant le chauffage [33].

✚ Propriétés rhéologiques :

Le PET subit une diminution de masse moléculaire quand il est recyclé dans un système ordinaire d'extrusion. Au cours de sa transformation, les dégradations thermique et hydrolytique produisent de courtes chaînes ayant des groupements carboxyle et hydroxyle terminaux, des oligomères et des composés volatils qui catalysent la chute de la viscosité. La viscosité du PET dépend également du nombre de cycles d'injection successifs. Des études ont montré que la proportion de fin de chaînes carboxyliques augmente avec le nombre des cycles d'injection et qu'en même temps, l'indice de viscosité augmente également, traduisant une baisse de la viscosité. Ce phénomène est d'autant plus important que le PET ré-extrudé n'est pas séché avant l'extrusion, comme le montre Figure. II.7 [31].

La mise en œuvre du PET se fait généralement à des températures supérieures à 250°C. A ces températures, les dégradations thermique et hydrolytique du PET peuvent affecter de façon très importante et irréversible ses propriétés rhéologiques. Ce phénomène est fortement dépendant des conditions de mise en œuvre dans lesquelles la fusion a lieu. Durant la mise en œuvre, des précautions peuvent être prises pour limiter cette dégradation comme la réduction des temps de séjour à l'état fondu et l'utilisation d'une atmosphère modifiée pour éviter toute oxydation [31].

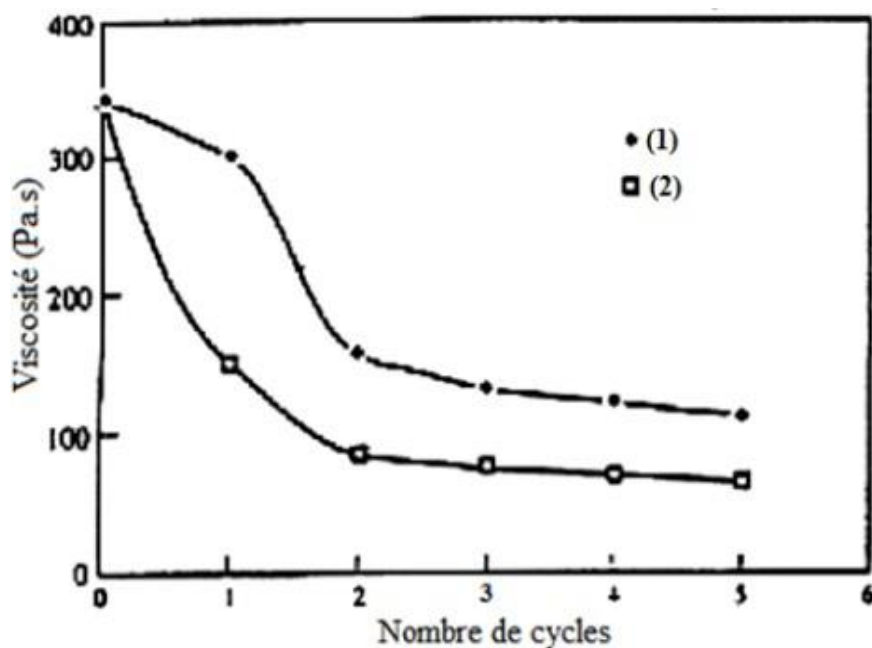


Figure II- 10 Variations de la viscosité newtonienne du PET provenant de bouteilles

Ainsi, il est important, avant la mise en œuvre du polymère, de le sécher fortement. Dans ce contexte, Gouissem et col. ont montré dans leur étude que le taux d'humidité perdue augmente avec le temps et la température de séchage (Figure. II.16) [33].

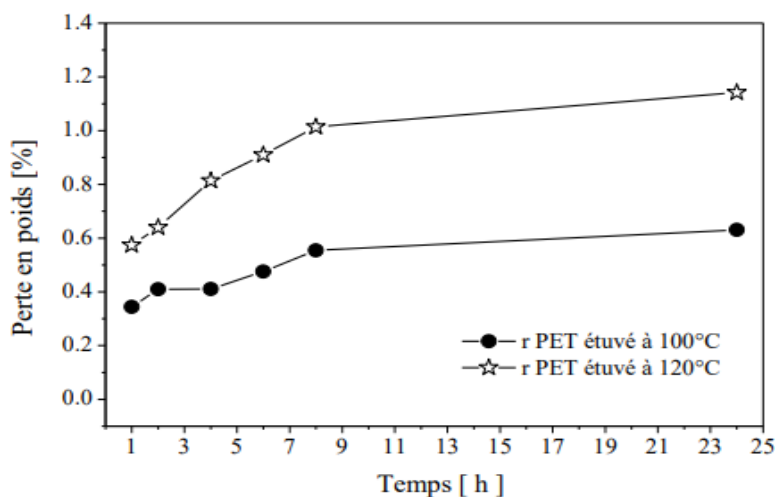


Figure II- 11 Perte d'humidité en fonction temps

c) Types des déchets de PET :

Les déchets de PET se présentent sous différentes formes, chacune ayant son utilité potentielle dans le cadre de pratiques de gestion des déchets et de recyclage.

- ✚ **Fibre en plastique** : sont un type de déchet de PET couramment issu de produits textiles, de tissus synthétiques et de vêtements en polyester. Ces fibres en plastique

peuvent être collectées et recyclées pour fabriquer de nouveaux textiles, réduisant ainsi la demande de matières premières vierges dans l'industrie textile.

✚ **Fines particules des PET** : font référence à de petits fragments de plastique provenant de diverses sources, notamment des bouteilles en plastique. Ces fines particules peuvent être collectées et utilisées dans la fabrication de nouveaux produits en plastique, ou elles peuvent être transformées en fibres.

✚ **Agrégats** : sont 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 :

- ✓ Le granulat déchiqueté (une forme angulaire).
- ✓ Agrégats de PET fins et grossiers.
- ✓ Agrégat de PET en forme de pastille.



Figure II- 12 PET agrégats fins et PET agrégats grossiers [45]

d) Avantages et inconvénients des matières plastiques :

• Avantages des matières plastiques :

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent sa polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques, caractériser par un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport, notamment il assure une bonne sécurité et d'hygiène pour les emballages alimentaire avec une longévité et durabilité élevé, connu aussi par sa résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact des chocs, et une excellentes propriété d'isolation thermique et électrique. Sa capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs a fait du plastique un matériau de choix pour l'utilisation, notamment avec son faible coût de production [32].

- **Inconvénients des plastiques :**

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC [32].

L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge [32].

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

- e) **Propriétés des PET**

- **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/cm³. Pour les plastiques alvéolaires elle peut descendre jusqu'à 0.01 g/cm³ et pour les plastiques contenant des charges, elle peut atteindre 3.50 g/cm³ [33].

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. 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 [33].

- **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. 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 [33].

- **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 10⁻⁵/°C ; de 2 à 11 x 10⁻⁵/°F) sont beaucoup plus élevés que ceux des métaux ordinaires (de 1.0 à 2.5 x 10⁻⁵/°C ; de 0.6 à 1.4 x 10⁻⁵/°F). En général, les polymères et les plastiques dérivés sont de bons isolants électriques, certains excellents même, comme le polytétrafluoréthylène [33].

La résistance au choc donne une mesure de la ténacité ou de la capacité du matériau de résister à la rupture sous l'effet d'un impact à grande vitesse. Dans des conditions normales

d'utilisation, les polymères peuvent être soit fragiles soit tenaces. Par exemple, le polystyrène, le poly (méthacrylate de méthyle) ainsi que le PVC non modifié et non plastifié sont habituellement fragiles ; ils se cassent brusquement. La résistance au choc des polymères et des plastiques correspondants dépend de l'écart entre leur température de transition vitreuse (T_v) et la température d'utilisation ainsi que de leur taux de cristallinité [33].

- **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 extinguibles. 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, tel 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 [33].

- **Résistance aux agents chimiques et aux intempéries**

La résistance aux agents chimiques des matériaux polymères dépend de la nature du polymère. Les acides fortement oxydants peuvent s'attaquer aux plastiques et les décolorer ou les rendre fragiles. Les liquides organiques attaquent la plupart des polymères et des plastiques. Par exemple, les fuel-oils, les huiles et divers solvants organiques peuvent attaquer les plastiques et occasionner leur gonflement, leur amollissement ou les dissoudre. La température et la composition des plastiques déterminent leur résistance à ces agents chimiques. La plupart des plastiques peuvent être utilisées comme matériaux de protection contre la corrosion. Cependant, en raison de leur résistance variable en fonction du milieu, il convient de bien choisir le plastique qui résiste le mieux à la corrosion dans les conditions particulières. 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 [33].

II.6.2.3 Valorisation des déchets de PET dans les matériaux cimentaires :

Les déchets plastiques peuvent incorporés dans des matrices cimentaires. En effet, des études antérieures ont montrées qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons comme liant pour la production d'un matériau composite à haute performance ou sont ajoutés dans le béton (sous forme de grains et fibres ondulées et rectilignes) [20].

La valorisation ou le recyclage des déchets plastique est très vaste à cause de la diversité de leurs types et de leur procédé de recyclage. Elles représentent jusqu'à 30% de la masse totale des ordures ménagères. Malheureusement, la multiplicité des types de matières plastiques, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation [33].

Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais :

Da Silva et al [34] ont étudié l'influence de substitution du sable par déchets plastique fins (PET, polyfilin et polypropylène) sur la maniabilité du mortier du ciment. Ils sont trouvés que la maniabilité du mortier est augmentée en fonction d'augmentation de tous les pourcentages du plastique. Al-Hachemi et al. [30] ont trouvé aussi que la substitution du sable par un pourcentage de 80% de polyéthylène et 20% de polystyrène induit une augmentation considérable de la maniabilité du béton.

Le béton incorporant des déchets plastiques en substitution des granulats naturels a naturellement une masse volumique plus faible que celle du béton ordinaire. Iucolano et al. [36] ont trouvé que la densité du mortier est diminuée d'une façon considérable en fonction de substitution de 10%,15% ,20% ,25% et 50 % du sable par la poudre en plastiques recyclé (type polyéthylène et polypropylène). Da Silva et al [37] ont étudié l'influence de substitution du sable par déchets plastique fins (polyfilin et polypropylène) sur la densité du mortier du ciment. Ils sont trouvés que la densité de mortier est diminuée en fonction d'augmentation de tous les pourcentages du plastique Hannawi et al.[38] ont aussi trouvé que la substitution du 3% ,10% ,20% et50% du sable par des déchets de grains plastiques (PET et Polycarbonate)induit une diminutionconsidérable de la densité du moirer.

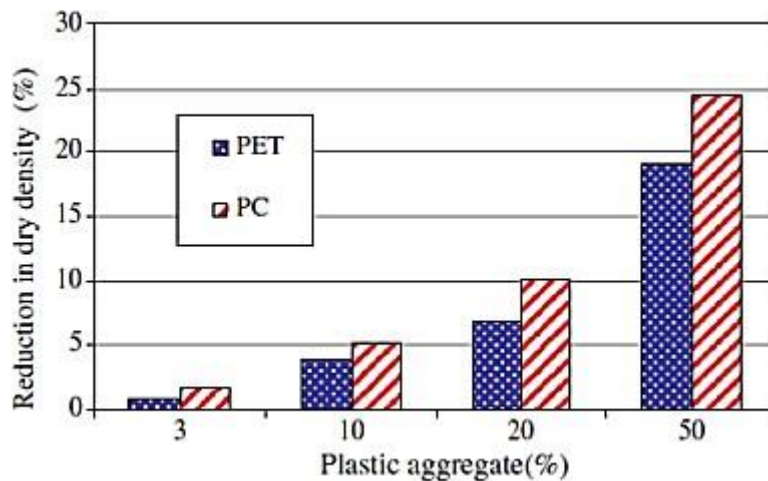


Figure II- 13 Réduction de la densité du mortier à base de déchets plastiques (PET et PC) [38]

Influence de la poudre plastique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état durci :

La caractéristique essentielle des matériaux cimentaires durcis est la résistance en compression à un âge donné. Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance des propriétés mécaniques est indispensable pour le dimensionnement des ouvrages. Ainsi, l'étude de cette résistance en compression peut permettre d'avoir une idée globale sur la qualité du béton. On verra que la résistance en compression du béton dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, la condition de réalisation et de cure, etc [39]. Rahmani et al [40] ont étudié l'influence des déchets plastiques (PET) sur la résistance à la compression du béton. Ils ont observé une augmentation de la résistance à la compression en fonction de substitution de 5 % de PET par le sable.

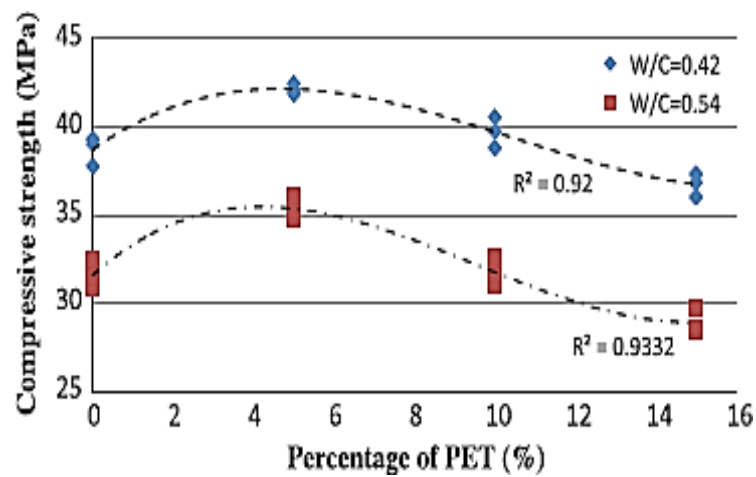
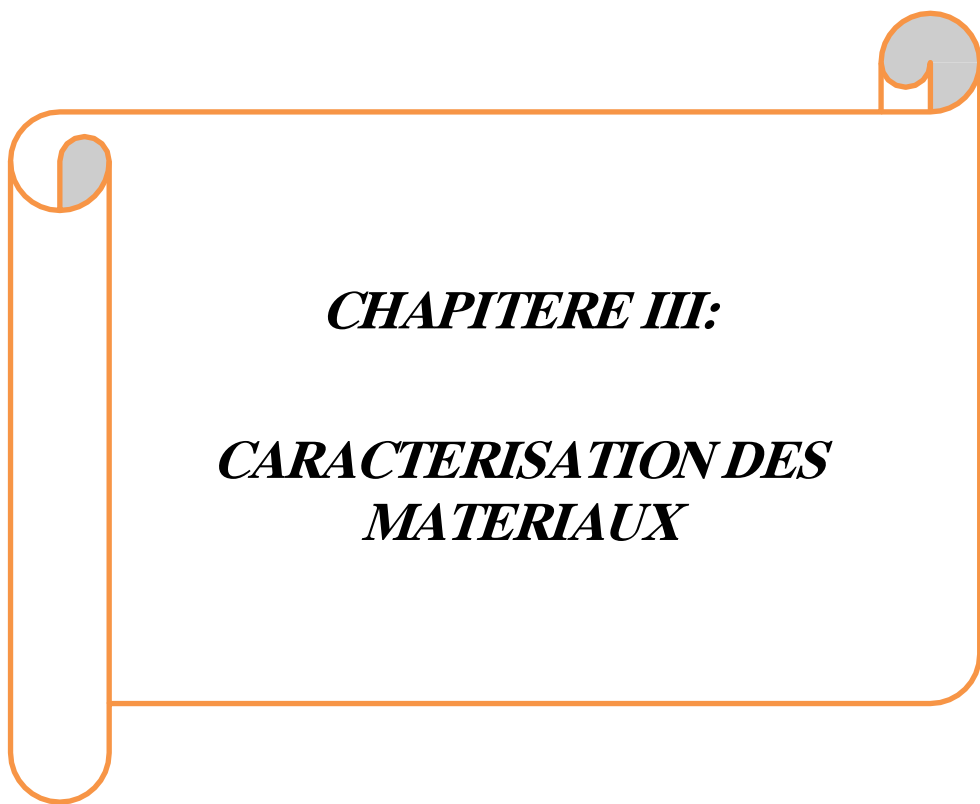


Figure II- 14 Résistance à la compression de béton à base de déchets plastique (PET)
[40]

Conclusion :

Les déchets sont un vrai problème inhérent à toutes les formes de vie, Le but de ce travail est de trouver une autre façon d'éliminer les déchets au moindre coût et sans nuire à l'environnement, et à ce titre, chercher des solutions est une réelle nécessité.

L'utilisation des déchets dans le génie civil ouvre la voie à une construction plus durable, en minimisant le gaspillage et en réduisant l'empreinte environnementale de l'industrie de la construction.



CHAPITRE III:

***CARACTERISATION DES
MATERIAUX***

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. Nous allons présenter dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du mortier. La caractérisation des matériaux a été réalisée expérimentalement au niveau des laboratoires des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD).

III.1 Caractérisation des matériaux utilisés :

- Sable carrière 0/3
- Ciment
- L'eau
- L'adjuvant (super plastifiant Sika viscocrétte Tempo 12)
- Déchets brique
- Déchets plastiques.

III.1.1 Sable de dune:

Le sable utilisée dans cette recherche expérimentale est le sable de dune ramené de la région EL-GOLEA. Une série d'analyses a été menée afin de déterminer les propriétés physiques et granulométriques de sable :

- **Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

L'essai implique la classification des différents grains constituant un échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, avec des ouvertures de dimensions décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon de sable est placé dans la partie supérieure des tamis et les grains sont classés en fonction de leur taille grâce à des vibrations de la colonne de tamis. Les résultats sont ensuite représentés dans le tableau III-1 et sous forme de courbe (Figure III-1)

- **Module de finesse (NFP 18-540) :**

-Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse(MF). Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins. Selon la norme française [NFP 18-540], le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 -0,63 -1,25 -2,5 -5 mm. Lorsque MF est comprise entre :

-1.8 et 2.2: le sable est à majorité de grains fins.

-2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.

-2.8 et 3.3: le sable est un peu grossier. Il donne des bétons résistants mais moins maniables.

Pour notre cas : **MF=1.638**

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

Pour le sable de hassi el gara : $1.5 < M_f < 2$: C'est un **Sable fin**

Tableau III- 1 Résultats d'analyse granulométrique de sable dune utilisé source : auteur

| Ouverture tamis (mm) | Refus partiels (g) | Refus cumulés (g) | Pourcentage refus (%) | Pourcentage passant (%) | Observations |
|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| 0.315 | 0 | 0 | 0.00 | 100 | 100 |
| 0.250 | 1 | 1 | 0.20 | 99.80 | 100 |
| 0.200 | 212 | 213 | 42.59 | 57.41 | 57 |
| 0.125 | 228 | 441 | 88.18 | 11.82 | 12 |
| 0.100 | 48 | 489 | 97.78 | 2.22 | 2 |
| 0.0603 | 5 | 494 | 98.78 | 1.22 | 1 |

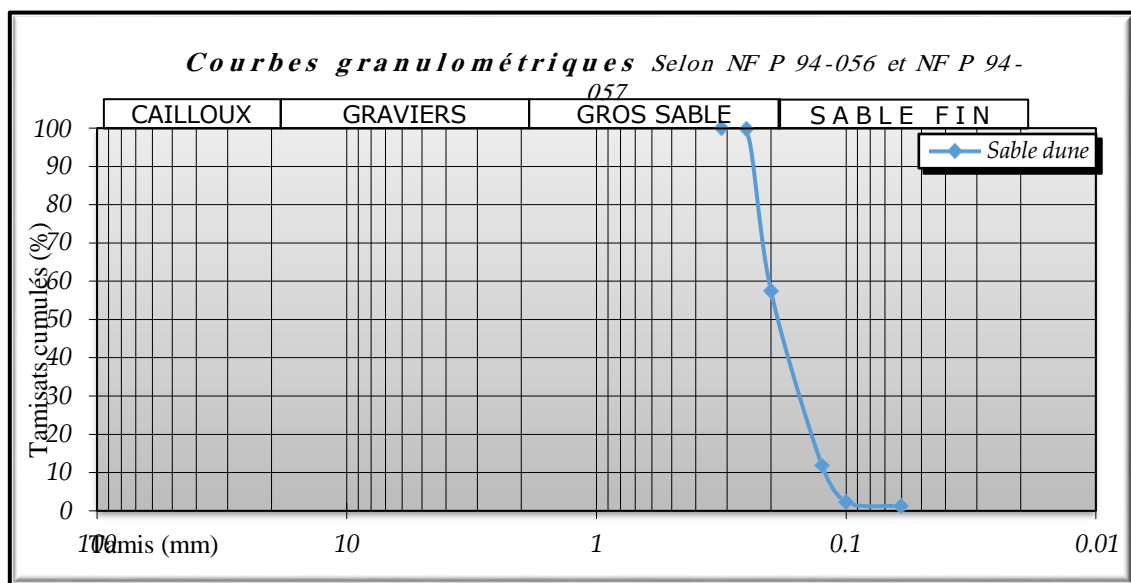


Figure III- 1 Courbe granulométrique de sable de dune utilisé source : auteur

• **Equivalent de sable :[NF EN 933-8]**

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'une grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle d' « essai d'équivalent de sable piston » ou, plus simplement, d'« essai d'équivalent de sable ». On lave l'échantillon, selon un Processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

$$ES = (h_2/h_1) \times 100$$

- 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.

Les résultats de l'équivalent de sable sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III- 2 Résultats d'équivalent de sable dune source : auteur

| Echantillon | Masse d'échantillon(g) | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | ES= | ES moy (%) |
|--------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------|------------|
| Eprouvette 1 | 120 | 10.30 | 8.20 | 79.61 | 80.46 |
| Eprouvette 2 | 120 | 10.70 | 8.70 | 81.31 | |

- ✓ **Pour le sable d'EL-GOLEA : C'est un Sable propre.**
- **Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555 :**

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains (Figure III.2). Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .



Figure III- 2 Essai de détermination de la masse volumique absolue source : auteur

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant:

Tableau III- 3 Masse volumique absolue du sable dune source : auteur

| N° d'essai | M(g) | P ₁ (g) | P ₂ (g) | V (cm ³) | $\rho_{\text{abs}}(\text{g}/\text{cm}^3)$ |
|------------|------|--------------------|--------------------|----------------------|---|
| 01 | 412 | 2596.6 | 2443.9 | 152.7 | 2.70 |

M: masse usable

P1: Poids du récipient plein d'eau+ la masse de sable

P2: poids du récipient + sable + d'eau.

V : Volume de sable

- **Masse volumique apparente: NFP18-554 :**

C'est la masse par unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du le volume constitué par la matière du corps et le vide qu'elle contient. (Figure III-3). Les résultats obtenus pour le sable de notre étude présentés dans le tableau III-4.



Figure III- 3 Mesure de la masse volumique apparente de sable source : auteur

Tableau III- 4 Masse volumique apparente du sable dune source : auteur

| N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | V (cm ³) | ρ _{app} (g/cm ³) | ρ _{app moy} (g/cm ³) |
|------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|---|
| 01 | 1810 | 4701.6 | 2000 | 1.45 | 1.46 |
| 02 | 1810 | 4771.1 | 2000 | 1.48 | |
| 03 | 1810 | 4767.7 | 2000 | 1.48 | |
| 04 | 1810 | 4681.5 | 2000 | 1.44 | |

III.1.2 Ciment:

Le ciment utilisé dans notre recherche, dit ELMATINE (CPJ-CEM II /B 42.5) (Figure III-5,6), est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts (gypse et calcaire), il est conforme à la norme NA 442, EN 197-1.



Figure III- 5 Emballage CPJ-CEM II /B 42.50



Figure III- 4 Ciment CPJ-CEM II /B /42.5 source : auteur

Les caractéristiques physico-chimique du ciment utilisé sont classées dans le tableau suivant:

Tableau III- 5 Caractéristiques physiques du CPJ -CEM II/B 42.5 [41].

| | | Valeur | Unités |
|--------------------------------|-----------------|------------|---------------------|
| Masse volumique absolue | | 3.1 | g/cm ³ |
| | | 26-28 | % |
| Consistance normale | | 4000-4200 | cm ³ / g |
| La finesse (Blaine) | A froid | 00 | Mm |
| | A chaud | 02 | |
| Le Chatelier | Début | 2 :30 | Heur : min |
| | Fin | 3 :30 | |
| Temps de prise | 2 jours | 18 | MPA |
| | 7 jours | 32 | |
| | 28 jours | Plus de 32 | |

Tableau III- 6 Caractéristiques chimiques du CPJ -CEM II/B 42.5 [41].

| Eléments | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | MgO | Na ₂ O |
|------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|-------------------|
| Teneur (%) | 62.92 | 20.7 | 4.75 | 3.75 | 1.98 | 1.90 | 0.09 |

III.1.3 Eau de gâchage:

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de laboratoire des travaux publics du sud (LTPS SUD) Ghardaïa, L'analyse chimique de l'eau a été effectuée à L'Algérienne des Eaux (unité Ghardaïa) et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III- 7 Composition chimique de l'eau de gâchage

| Composition | |
|--------------------------------------|---------|
| Tur | 0.840 |
| Cond | 2070 |
| Sol | 1.1 |
| TDS | 1178 |
| TC° (25°c) | 20.4 |
| PH (≥ 6.5 ≤9) | 7.34 |
| TH (mg/l) | 772 |
| TAC (mg/l) | 273.28 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 176.352 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 80.672 |
| Cl(mg/l) | 385.728 |
| NO ³⁻ (mg/l) | 21.28 |
| Fe ²⁺ (mg/l) | 0.034 |
| HCO ³⁻ (mg/l) | 21.28 |
| K ⁺ (mg/l) | 14.54 |
| Na ⁺ (mg/l) | 190 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 455.585 |
| R.S (mg/l) | 2125 |

III.1.4 Adjuvant:

Dans notre travail, l'adjuvant qui nous avons utilisé est de type : **Sika viscocrétte Tempo 12**

Utilisation :

- **SikaTEMPO-12** permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, **Sika TEMPO-12** améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Avantage :

SikaTEMPO-12 est un super plastifiant puissant qui confèrent aux bétons les propriétés suivantes :

- ❖ longue rhéologie (>2h),
- ❖ robustesse à la ségrégation,
- ❖ qualité de parement.

Dosage:

Plage de dosage : 0,2 à 3,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

III.1.5 Déchet de brique :

Le déchet de brique utilisé dans cette partie, c'est le déchet de brique rouge, le broyage de brique faite au niveau des laboratoires des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) par le broyeur. La figure suivante représente la brique utilisée dans cette recherche. Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués au laboratoire des travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS SUD) et sont regroupées sur les tableaux suivants :



Figure III- 6 Poudre de brique utilisée source : auteur

- **Masse volumique de brique :**



Figure III- 7 Masse volumique de déchet de brique à LTPS source : auteur

Tableau III- 8 Masse volumique de la brique source : auteur

| Masse volumique absolue ρ_s | Masse volumique apparente ρ_a |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 2.56 g /cm ³ | 0.97 g /cm ³ |

- **Analyse granulométrique par sédimentométrique (NFP 94-056):**

Tableau III- 9 Résultats d’analyse granulométrique par sedimentometrique de la brique source : auteur

| Température ° C | Temps | Durée de chute | R'=R -1000 R : lecture au densimètre | Correction (C) | Lecture corrigée R1=R'+C Ou R1=R'-C | Diamètre (D) | % des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon |
|--------------------|-------|----------------------|---|-------------------|---|-----------------|---|
| 20.2C° | 8h25 | 30 " | 16 | +0.038 | 16.038 | 0.075 | 100 |
| 20.2C° | 8h26 | 01' | 15.5 | +0.038 | 15.538 | 0.055 | 97 |
| 20.2C° | 8h27 | 02' | 15 | +0.038 | 15.038 | 0.038 | 94 |
| 20.2C° | 8h30 | 05' | 14 | +0.038 | 14.038 | 0.025 | 88 |

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|------|--------|--------|--------|----|
| 20.2C° | 8h35 | 10' | 12.5 | +0.038 | 12.538 | 0.017 | 78 |
| 20.2C° | 8h45 | 20' | 11 | +0.038 | 11.038 | 0.012 | 69 |
| 20.4C° | 9h05 | 40' | 09 | +0.108 | 9.108 | 0.008 | 57 |
| 20.4C° | 9h45 | 80' | 07 | +0.108 | 7.108 | 0.006 | 44 |
| 20.8C° | 11h05 | 160' | 05 | +0.152 | 5.152 | 0.004 | 32 |
| 21.2C° | 13h45 | 320' | 03 | +0.226 | 3.226 | 0.003 | 20 |
| 20C° | 24 h | 1440' | 01 | +0.000 | 1.000 | 0.002 | 06 |
| 20 C° | 48h | - | 0.5 | +0.000 | 0.500 | 0.001 | 03 |
| - | 72 h | - | - | - | - | 0.0005 | - |

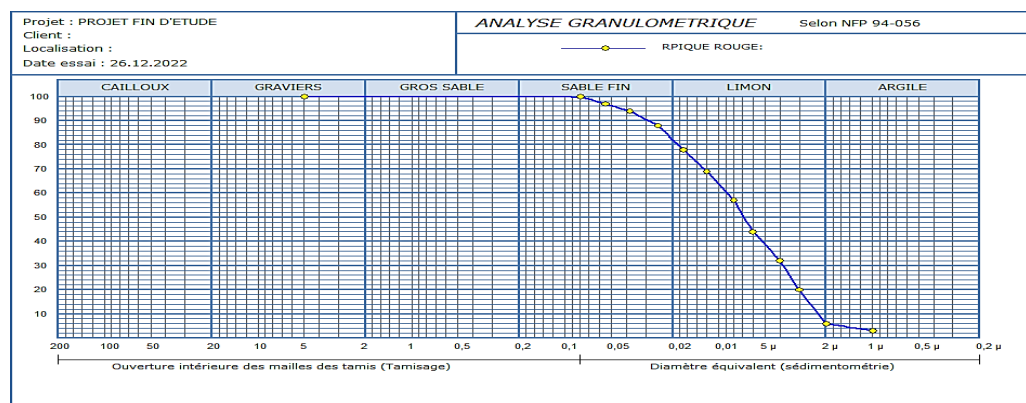


Figure III- 8 Graphe d’analyse granulométrique par sedimentometrique de déchet de brique utilisé source : auteur

- **Analyse chimique 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 regroupées dans le tableau suivant:

Tableau III- 10 Analyse chimique de déchet de brique

| | Echantillon | Déchets de brique |
|--|-----------------------------|-------------------|
| INSOLUBLES NFP 15-461 | Creuset +précipité | 29.815 |
| | Creuset vide | 1.01 |
| | Poids de résidu | 3 |
| | Insolubles | 76.2 |
| SULFATES BS 1377 | Creuset +précipité | 29.865 |
| | Creuset vide | 29.842 |
| | Poids de résidu | 0.029 |
| | Sulfates (SO ₃) | 1.10 |
| CARBONATES NEP 15-461 | CaCO ₂ % | 3 |

III.1.6 Déchet de plastique (PET) :

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



Figure III- 9 PET utilisé source : auteur

Avant son utilisation dans la confection des bétons, le PET broyé a été soumis à des essais de laboratoire à savoir : les masses volumiques apparente et absolu et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III- 11 Masse volumique de PET source : auteur

| Masse volumiques absolue (kg/m ³) | Masse volumiques apparente (kg/m ³) |
|---|---|
| 1.11 | 1.37 |

III.2 Compositions de mortiers étudiés :

III.2.1 Composition du mortier témoin :

La composition optimale du mortier témoins est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III- 12 Composition optimale du mortier de témoin source : auteur

| E/C | Sable (g/cm ³) | Eau (g/cm ³) | Ciment (g/cm ³) |
|-----|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 55% | 1350 | 247.5 | 450 |

III.2.2 Composition du mortier avec déchet de brique :

Dans cette étude, nous avons choisi le remplacement partiel du sable de dune par de la poudre de brique préparée. Alors nous avons remplacé 5%, 10% ; 15%, ,20%, 25% du poids de sable par la poudre de brique.

Tableau III- 13 Compositions des mortiers avec déchets de brique source : auteur

| B% | Sable | Ciment | Brique | Eau |
|-------|-------|--------|--------|-------|
| tém0% | 1350 | 450 | 0 | 247.5 |
| 5% | 1350 | 427.5 | 22.5 | 247.5 |
| 10% | 1350 | 405 | 45 | 247.5 |
| 15% | 1350 | 382.5 | 67.5 | 247.5 |
| 20% | 1350 | 360 | 90 | 247.5 |
| 25% | 1350 | 337.5 | 112 | 247.5 |

III.2.3 Composition du mortier avec déchet de plastique PET :

Dans cette étude, nous avons choisi le remplacement partiel du sable de dune par de déchets de PET. Alors nous avons remplacé 5%, 10% ; 15%, ,20%, 25% du poids de sable par les déchets de PET.

Tableau III- 14 Compositions des mortiers pour pourcentages de PET Source : auteur

| PET% | Sable | Ciment | PET | Eau |
|--------|--------|--------|-------|-------|
| tém 0% | 1350 | 382.5 | 0 | 247.5 |
| 5% | 1282.5 | 382.5 | 67.5 | 247.5 |
| 10% | 1215 | 382.5 | 135 | 247.5 |
| 15% | 1147.5 | 382.5 | 202.5 | 247.5 |
| 20% | 1080 | 382.5 | 270 | 247.5 |
| 25% | 1012.5 | 382.5 | 337.5 | 247.5 |

III.3 Préparation du mortier :

III.3.1 Pesage des composants du mortier :

Nous pesons d’abord tous les composants du mortier (ciment-sable-brique-pet-eau) pour chaque formulation du tableau.



Figure III- 10 Pesage des composants du mortier source : auteur

Un malaxeur à mortier d'une capacité de 5 litres a été utilisé (Figure III.12) pour mélanger les ingrédients. Dans l'ordre suivant :

Malaxer le mélange (ciment, eau et adjuvant) à grande vitesse pendant 30 seconds traités lentement à l'aide d'un malaxeur à mortier standardisé. Mélange (sable concassé + PET +

déchets briques) bien homogénéisé en petites portions pendant 10 secondes et continuer de mélanger à haute vitesse pendant 30 secondes, puis arrêter et racler les côtés et le fond. Mettez-le dans le réservoir pendant environ 15 secondes. Continuez ensuite à mélanger à grande vitesse pendant 30 secondes. Homogénéiser la pâte pendant 1 minute à vitesse lente puis élevée. Dans notre cas, immédiatement après le test de maniabilité sous forme standardisée.



Figure III- 11 Malaxeur électrique utilisée dans la formulation du béton de sable LTPS source : auteur

III.3.2 Coulage des éprouvettes :

Après malaxage (Figure III-13,14), le coulis est injecté dans un moule standardisé (4x4x16) préalablement graissés. Est placé sur la table à choc, avec un nombre de coups égale à 60 coup/mn.



Figure III- 12 Moule normalisé de 4x4x16 cm² (source auto)



Figure III- 13 Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs (source auto)

Après la vibration le moule est retiré, rempli de nouveau jusqu'au débordement, arasage de l'excès et remi sur la table à choc pour compléter l'homogénéisation.

III.3.3 Démoulage et conservation des éprouvettes :

Après 24 heures, on démoule les éprouvettes (Figure III-15) et on les place dans la chambre de conservation conditionnée à la température de $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ et à l'humidité relative de $97\pm 5\%$ pour une durée de 28 jours.



Figure III- 14 Démoulage des éprouvettes. Source : auteur

III.4 Méthodes expérimentales :

Dans cette partie nous présentons le travail expérimental qui a été réalisé au niveau du laboratoire LTPS. Dans le but d'étudier les propriétés physiques et mécaniques ainsi que la densité du mortier et l'absorption d'eau sur la base de l'ajout de briques et de déchets plastiques PET.

III.4.1 Isolation thermique :

Dans cette expérience, nous avons calculé l'isolation thermique des échantillons en utilisant L'analyseur Hot Disk) TPS 1500).

III.4.1.1 Analyseur Hot Disk (TPS 1500) :

L'analyseur Hot Disk est un appareil de mesure de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique et de la capacité thermique des solides, liquides, poudres et pâtes. Basé sur la méthode de la source plane transitoire (« Transient Plane Source » en anglais), il couvre une gamme de conductivité thermique extrêmement large (de 0.005 à 1800 W.m-1.K-1) et mesure aussi bien la conductivité thermique des matériaux homogènes que des matériaux hétérogènes. Cette polyvalence et la grande précision des mesures, font de l'analyseur thermique Hot Disk l'appareil de mesure de la conductivité thermique des matériaux plébiscité aussi bien par les laboratoires académiques que par les centres R&D industriels. Les sondes Hot Disk TPS, constituées d'une double spirale en Nickel isolée électriquement par un revêtement isolant, sont déclinées en différents diamètres afin de pouvoir s'adapter à toutes les géométries et à toutes les tailles de vos échantillons. La grande fiabilité de cette méthode non-

destructive de mesure de la conductivité thermique des matériaux est reconnue par la communauté scientifique comme l'attestent les très nombreuses publications scientifiques.



Figure III- 15 Analyseur Hot Disk (TPS 1500)

III.4.1.2 Caractéristiques principales :

Le principe de la méthode TPS est de fournir une puissance constante pendant un temps limité à la sonde Hot Disk afin d'élever de quelques degrés la température du matériau étudié. C'est également la sonde qui est utilisée pour mesurer l'élévation de température, grâce à l'enregistrement de la variation de sa résistance électrique via un pont de Wheatstone très précis. Les caractéristiques de l'élévation de température, directement liées à l'évolution de la résistance électrique de la sonde, sont enregistrées précisément et l'analyse de cette variation (régime transitoire) permet de déterminer à la fois la conductivité et la diffusivité thermique. Cette mesure est absolue et ne nécessite donc aucune calibration préalable ni aucun facteur correctif.

Enfin, pour toutes vos mesures, aucun agent de contact (eau, pâte thermique, ...) n'est requis car les effets de la résistance de contact sont systématiquement détectés par l'appareil et supprimés par l'opérateur.

III.4.1.3 Mode opératoire :

- **Etape 1 :** La sonde Hot Disk est fixée sur le porte-échantillon et deux échantillons du matériau à mesurer sont placés de part et d'autre de la sonde (configuration symétrique)
- **Etape 2 :** Les paramètres d'essai (référence de sonde, puissance et temps de chauffe) sont sélectionnés dans le logiciel, puis la mesure est lancée. Thermo concept a conçu une feuille de calcul qui vous permettra de déterminer en quelques secondes vos paramètres d'essai.

- **Etape 3** : Les courbes expérimentales sont traitées depuis l'interface logicielle. Une fois les essais terminés, l'ensemble des données expérimentales ainsi que les résultats des analyses peuvent être exportés vers Microsoft Excel pour une analyse approfondie

III.4.2 Comportement mécanique des mortiers :

III.4.2.1 Essais à la traction par de flexion :

Des échantillons d'essai mesurant $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ ont été utilisés pour estimer la résistance à la traction. L'essai de flexion mesure également la résistance à la rupture du matériau. L'échantillon à tester est placé sur deux supports et une force croissante est appliquée au centre de l'échantillon à l'aide d'une machine de résistance à la flexion capable de supporter des charges allant jusqu'à 20 KN jusqu'à ce qu'elle casse, à l'âge de 28 jours la contrainte de traction moyenne forme la valeur moyenne pour deux ou trois échantillons, puis la résistance à la flexion est calculée selon l'équation :

$$R_f = \frac{1,5F_f.L}{b^3}$$

R_f: Résistance à la traction en MPA.

F_f: 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).

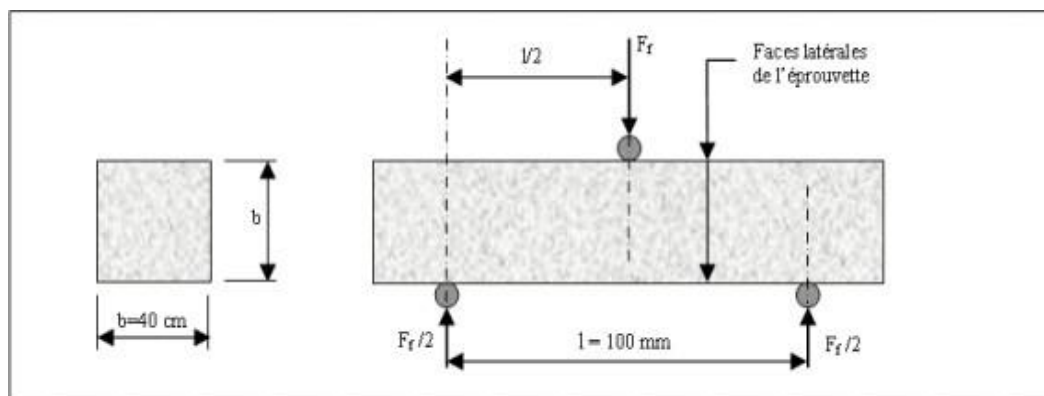


Figure III- 16 Dispositif de rupture en traction [45]



Figure III- 17 Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion
source : auteur

III.4.2.2 Résistance mécanique à la compression :

La résistance à la compression est la capacité d'un matériau ou d'une structure à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par compression, les résistances en compression ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 200KN, pourvue d'un dispositif de compression pour les moules de mortiers la résistance à la compression est calculée selon l'équation :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c: résistance à la compression en (MPA).

F_c: Charge de rupture en (N).

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

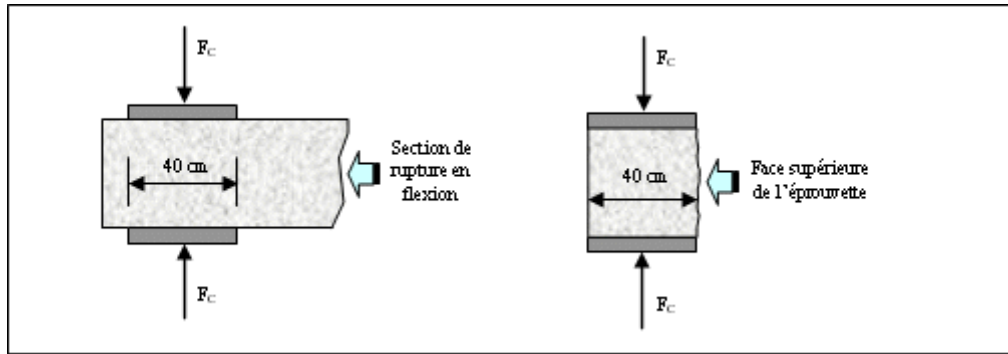


Figure III- 18 Dispositif de l'essai mécanique de Compression
source : auteur

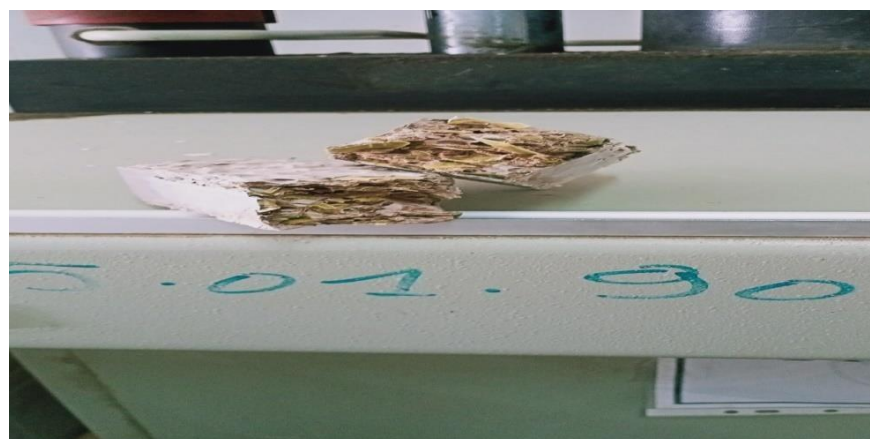


Figure III- 19 Comportement de mortier avec déchets source :
auteur

III.4.3 Comportement physique des mortiers :

III.4.3.1 Essai de l'absorption d'eau par capillarité :

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité de la durabilité du mortier. à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau. Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité.

Cet essai consiste à suivre la cinétique d'imbibition capillaire 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, puis pesés afin d'en déterminer la masse sèche.. Les échantillons sont ensuite placés dans un bac permettant une mise en contact constante d'une face d'échantillons avec 2 cm d'eau. Une pesée des éprouvettes est assurée au cours du temps, Les essais sont réalisés dans les conditions de laboratoire ($T= 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR}= 45 \pm 10 \%$).

L'équation de calculé de cette essai suivante:

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

M_0 : la masse sèche.

M_A : la masse humide au moment de la mesure.

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



Figure III- 20 Essai d'absorption d'eau par capillarité source : auteur

III.4.3.2 Essai la Masse Volumique apparent 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 du mortier durci sont été déterminées paressée après 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 :

$$P = (M/V)$$

M: masse de l'éprouvette.

V: volume de l'éprouvette.

Conclusion :

Dans ce chapitre, il nous a permis de décrire les différents matériaux utilisés dans ce travail et de donner une idée des procédures sur le béton de sable.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux, Tous les résultats et leurs interprétations des différents essais sont représentés dans le chapitre suivant



***CHAPITRE IV : DISCUSSION
DES RESULTATS
EXPERIMENTAUX***

Introduction

Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus à partir des différentes formulations de mortier testées. L'interprétation de ces résultats nous permettra de tirer des conclusions sur l'impact des substitutions de matériaux sur les propriétés physiques, mécaniques, durabilité et sur l'aspect thermique des mortiers étudiés. Cette interprétation contribuera à éclairer les décisions futures dans le développement de matériaux de construction plus respectueux de l'environnement et innovants.

IV.1 Propriétés physiques :

Les Figures IV.1 à IV.2 présentent les résultats de la masse volumique des mortiers contenant des pourcentages variables de déchets de brique et de plastique en remplacement du ciment et sable respectivement. Ces résultats permettent d'évaluer l'impact de ces substitutions sur la densité et la structure des mortiers, ce qui est essentiel pour comprendre leur adéquation à différentes applications dans le domaine de la construction.

❖ Mortiers avec déchets de brique :

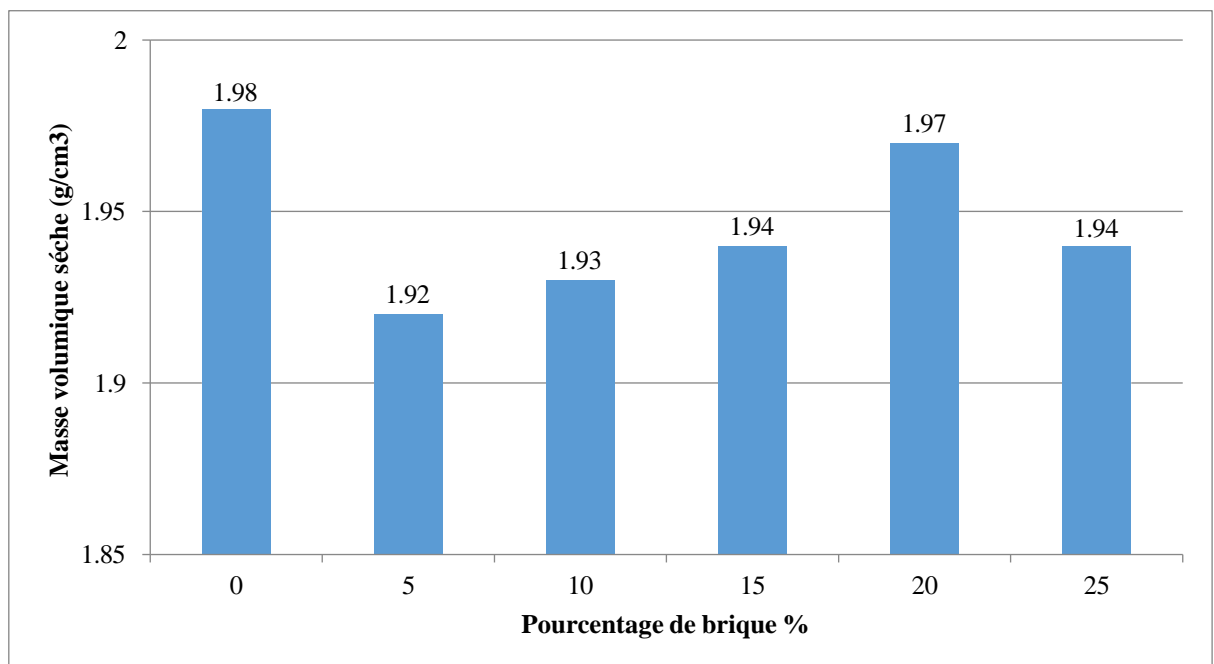


Figure IV- 1 Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage en brique

En analysant les résultats de la figure IV.1, nous pouvons tirer quelques observations :

1. Il semble y avoir une légère variation de la masse volumique sèche avec l'augmentation du pourcentage de déchets de brique. Cependant, cette variation est relativement faible.

2. La valeur la plus élevée de masse volumique sèche est observée à 20% de déchets de brique (1.97), tandis que les valeurs les plus basses sont observées à 5% (1.92) et 25% (1.94).
3. Les valeurs à 10% (1.93) et 15% (1.94) sont intermédiaires et semblent se situer entre les valeurs les plus élevées et les valeurs les plus basses.

En peut conclure que l'incorporation de déchets de brique dans le mortier tend à réduire la masse volumique du mélange. Les déchets de brique, qui est généralement moins denses que le ciment, entraînent la diminution globale de la densité du mortier. Cependant, le pourcentage de de cette diminution dépend de la proportion de substitution.

❖ Mortiers avec déchets de plastique PET:

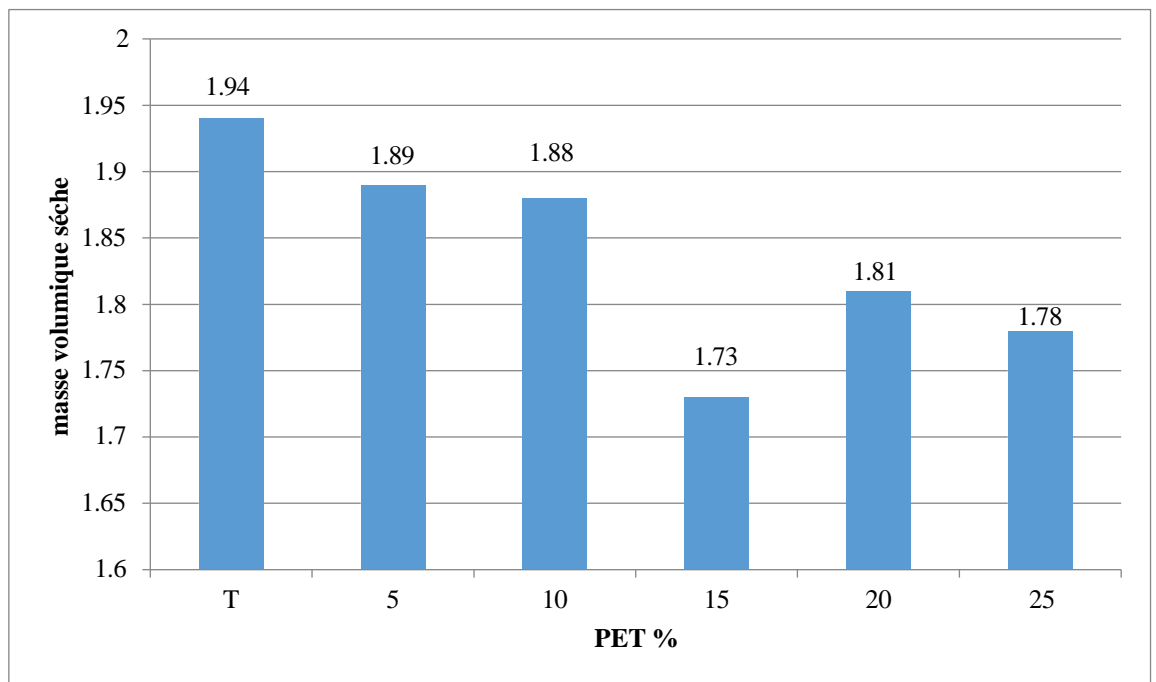


Figure IV- 2 Évolution de la masse volumique sèche en fonction du de pourcentage de PET

La figure IV.2 indique que lorsque la quantité de PET alternatif utilisée dans la carrière augmente, on observe une augmentation légèrement de la densité sèche du matériau. La densité diminue progressivement à mesure que la proportion de PET augmente (5%, 10%, 15%, 20%). Bien que la réduction soit modeste, la présence d'agrégats de PET dans le matériau augmente, du fait de la légèreté naturelle de ces amas de PET.

Dans la plupart des cas, l'incorporation de déchets de plastique PET tend à réduire la masse volumique du mortier. Le PET, étant un matériau plus léger que le sable, contribue à diminuer la densité globale du mélange. Le pourcentage de cette réduction dépend de la proportion de substitution : une substitution plus importante conduira généralement à une réduction plus significative de la masse volumique. Dans notre étude, la valeur la plus faible trouvée est pour un pourcentage de 15% de PET.

IV.2 Propriétés mécanique :

Les Figures IV.3 à IV.6 présentent les résultats résistance mécanique des mortiers, incorporant des pourcentages variables de déchets de brique et de plastique en substitution du ciment et du sable respectivement. Ces résultats permettent d'évaluer l'impact des substitutions sur la densité et la structure des mortiers, ce qui est essentiel pour comprendre leur adéquation à différentes applications dans le domaine de la construction.

VI.2.1 Résistances à la traction par flexion :

❖ Mortiers avec déchets de brique:

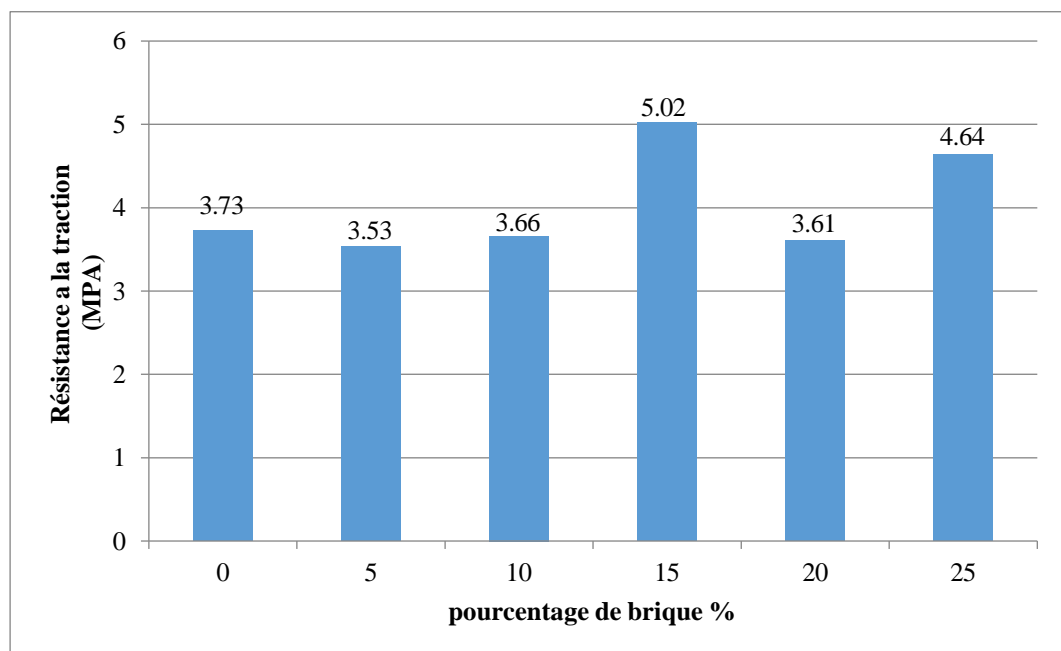


Figure IV- 3 Variation de la résistance à la flexion après 28 jours et pourcentage de déchets en briques.

En analysant ces données, nous pouvons tirer plusieurs observations :

1. Il y a une variation significative de la résistance à la flexion après 28 jours en fonction du pourcentage de déchets de briques. Les valeurs varient de 3.56 à 5.02.

2. À 5% de déchets de briques, la résistance à la flexion est de 3.56. C'est la valeur la plus basse parmi toutes les mesures.
3. À 15% de déchets de briques, la résistance à la flexion est la plus élevée avec une valeur de 5.02.
4. Les valeurs à 0%, 10%, 20%, et 25% de déchets de briques (respectivement 3.73, 3.66, 3.61, 4.64) se situent entre les valeurs les plus basses et les plus élevées.

On peut conclure que l'incorporation de déchets de brique dans le mortier peut influencer positivement la résistance à la traction. Les déchets de brique, généralement composés de l'argile, peuvent apporter des propriétés mécaniques favorables sur la cohésion du mélange, augmentant ainsi sa capacité à résister à la traction.

Mortiers avec déchets de plastique PET :

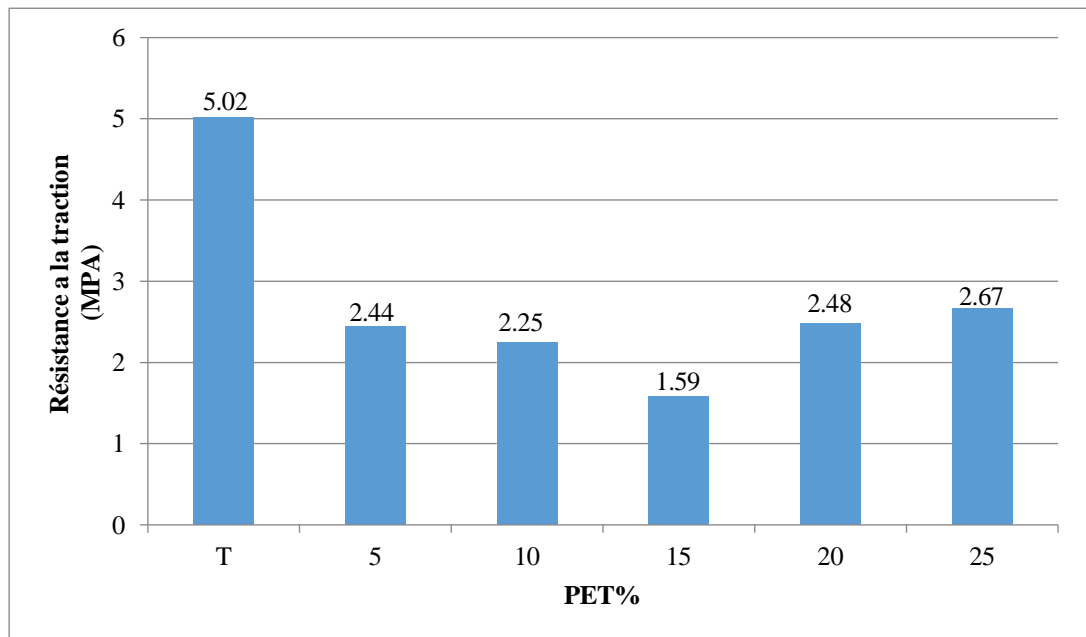


Figure IV- 4 Variation de la résistance à la flexion après 28 jours et pourcentage de PET

Les données illustrées dans le diagramme décrivent comment la résistance à la flexion évolue en fonction du pourcentage de PET après une période de 28 jours. On constate une diminution de la résistance mécanique à la flexion à mesure que la quantité de PET ajoutée augmente. Cette diminution est causée par l'effet négatif de PET sur la cohésion de la pâte de mortier.

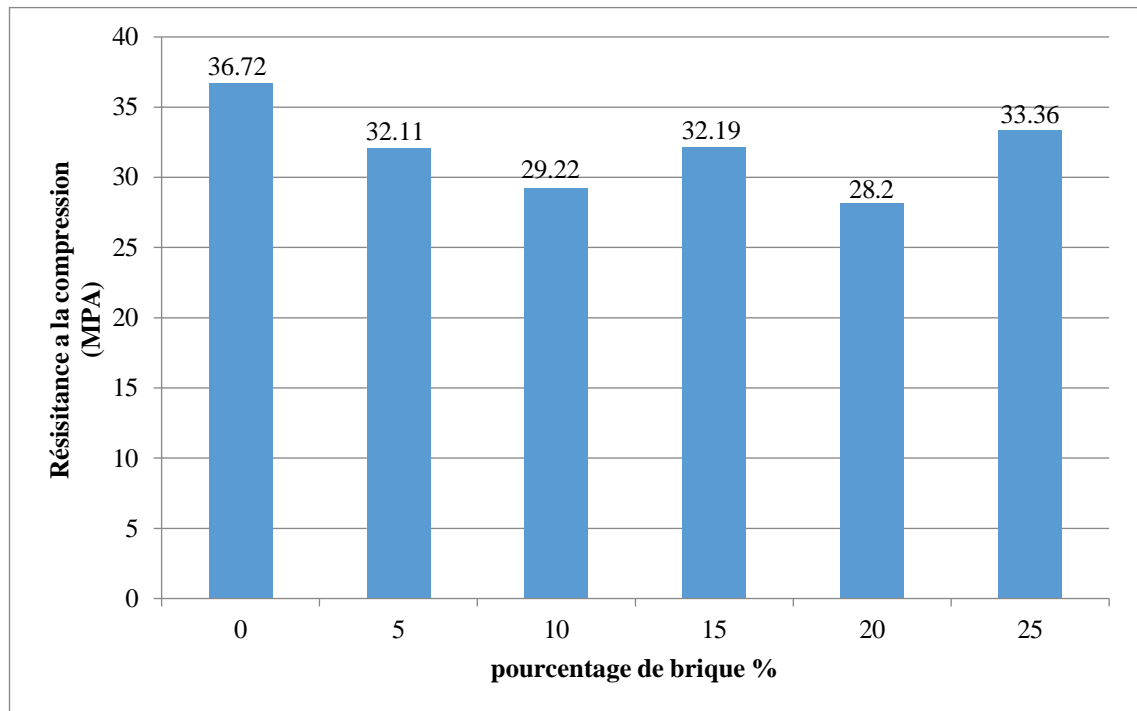
VI.2.2 Résistances à la traction compression :**❖ Mortiers avec déchets de brique:**

Figure IV- 5 Variation de la résistance à la compression après 28 jours et pourcentage en briques.

En analysant ces données, nous pouvons tirer les observations suivantes :

1. Il y a une variation notable de la résistance à la compression après 28 jours en fonction du pourcentage de déchets de briques. La résistance à la compression la plus élevée est observée pour 0% de déchets de briques, avec une valeur de 36.72.
2. La résistance à la compression diminue progressivement à mesure que le pourcentage de déchets de briques augmente jusqu'à 10%. La valeur la plus basse est observée à 10% de déchets de briques, avec 29.22.
3. La résistance à la compression semble augmenter légèrement à 15% de déchets de briques, atteignant 32.19, puis diminue à nouveau à 20% (28.2) et remonte à 25% (33.36).

En conclusion, il est clair qu'il y a une variation faible de la résistance à la compression après 28 jours en fonction du pourcentage de déchets de briques. La résistance à la compression est la plus élevée pour 0% de déchets de briques, tandis que des variations plus complexes sont observées pour les autres pourcentages de déchets de briques.

❖ Mortiers avec déchets de plastique PET :

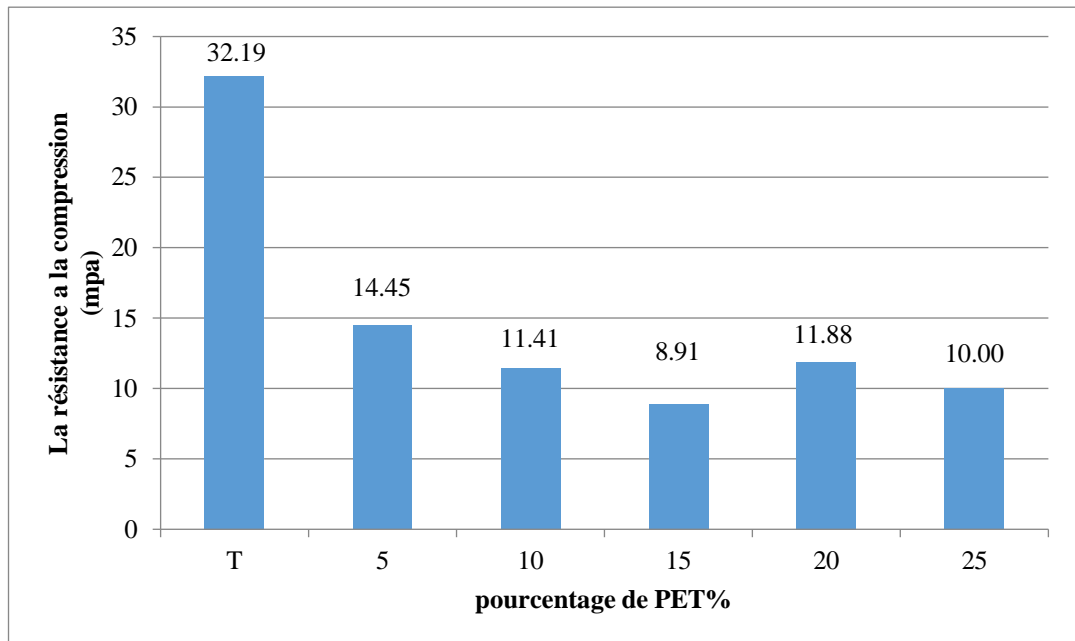


Figure IV- 6 Variation de la résistance à la compression après 28 jours et pourcentage de

Nous pouvons remarquer quelques tendances à partir de ces données :

-La résistance à la compression diminue à mesure que la concentration de PET augmente jusqu'à 15%, puis elle augmente légèrement pour les concentrations de 20% et 25%.

-La résistance à la compression est la plus élevée lorsque la concentration de PET est de 0%, avec une valeur de 32,19.

-Lorsque la concentration de PET est de 5%, la résistance à la compression diminue considérablement par rapport à la concentration de 0%.

-Les concentrations de 10% et 15% de PET montrent également une diminution significative de la résistance à la compression par rapport à la concentration de 0%.

-Les concentrations de 20% et 25% de PET montrent une légère amélioration de la résistance à la compression par rapport aux concentrations de 10% et 15%, mais elles restent inférieures à la résistance à la compression à 0% de PET.

Nous pouvons conclure que ce mortier incorporant les déchets de PET ne présente pas une résistance à la compression adéquate, en raison des caractéristiques mécaniques de PET et aussi pour la densité faible de mortier. Le mortier avec PET peut être utilisé comme revêtement.

IV.3 Absorption d'eau par capillarité :

Les Figures IV.7 et IV.8 présentent les résultats de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers contenant des pourcentages variables de déchets de brique et de plastique en remplacement du ciment et sable. Ces résultats permettent d'évaluer l'impact des substitutions sur la durabilité des mortiers, ce qui est essentiel pour comprendre leur adéquation à différentes applications dans le domaine de la construction.

❖ Mortiers avec déchets de brique:

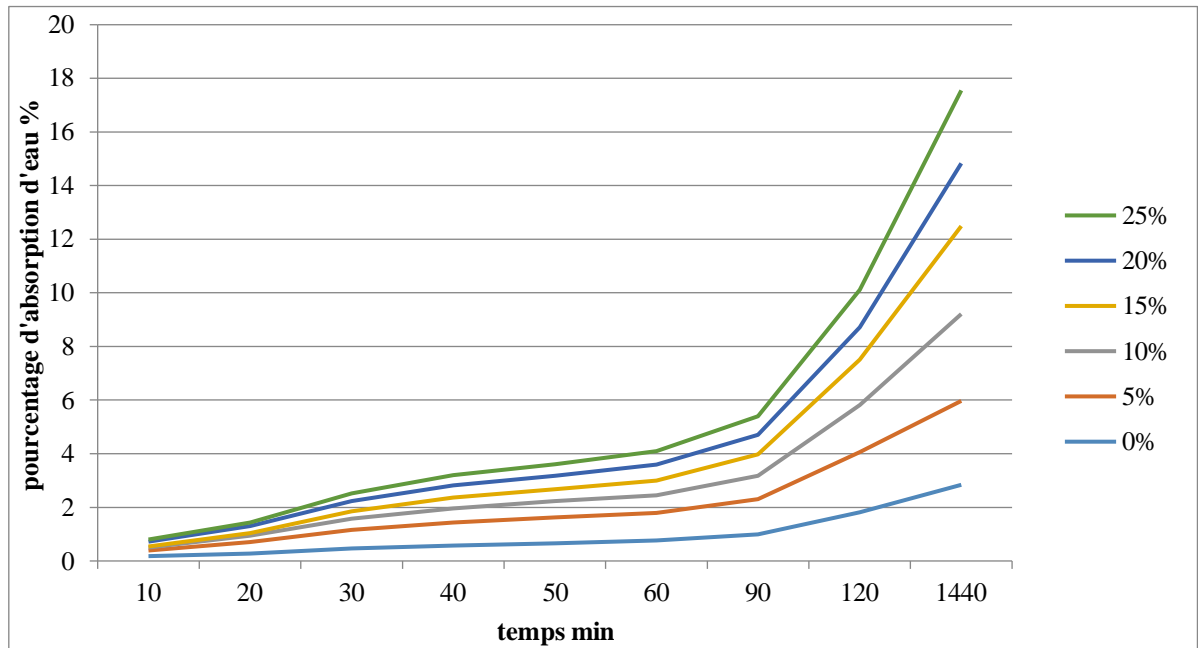


Figure IV- 7 Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage en brique source : auteur

Selon les données illustrées dans la figure IV.7, il est évident que l'absorption d'eau croît progressivement au fil du temps et en fonction de la quantité de briques ajoutées dans le mélange de mortier. Les déchets de brique, étant des matériaux poreux, peuvent augmenter la porosité du mortier, ce qui pourrait potentiellement conduire à une augmentation de l'absorption capillaire d'eau.

❖ Mortiers avec déchets de plastique PET :

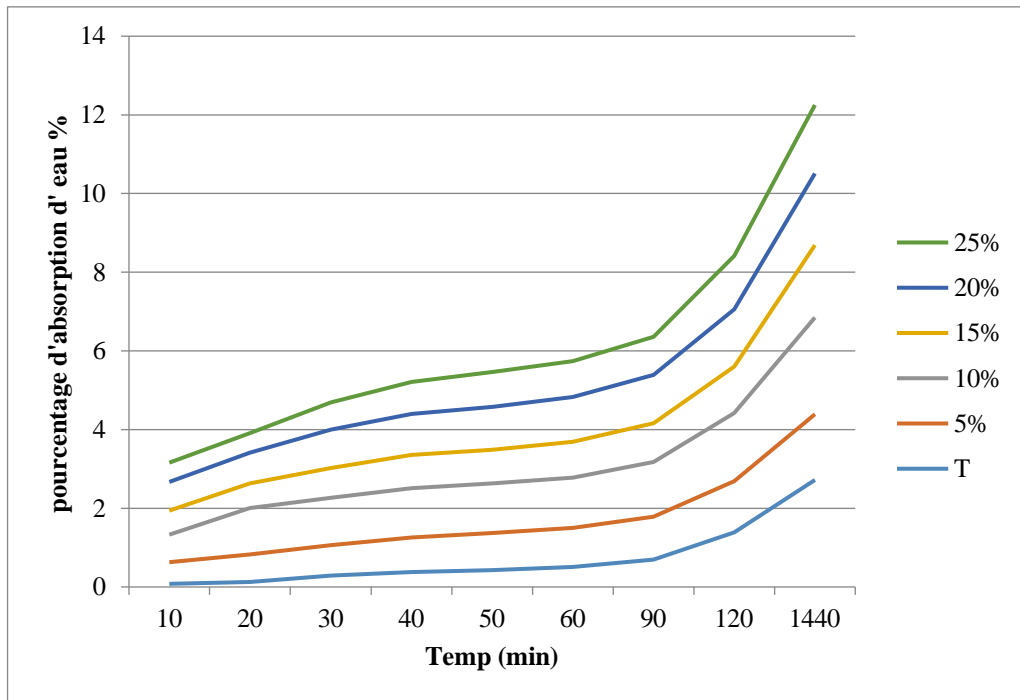


Figure IV- 8 Evolution de l'absorption d'eau en fonction du temps et du pourcentage de PET source : auteur

Selon les données illustrées dans la figure IV.8, il est observé que l'absorption d'eau augmente progressivement avec le temps et en fonction de la quantité croissante de PET. Cette augmentation est attribuée aux espaces vides générés par le PET lorsqu'il se remplit d'eau dans le mélange.

IV.4 Propriétés thermique :

Les Figures IV.9 à IV.14 présentent les résultats de l'isolation thermique des mortiers, incorporant des pourcentages variables de déchets de brique et de plastique en substitution du ciment et sable. Ces données sont essentielles pour évaluer la performance thermique des mortiers dans des applications de construction.

VI.4.1 Isolation thermique :

❖ **Mortiers avec 15% en brique et 0% en plastique :**

| %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 0 | 1350 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 0 |

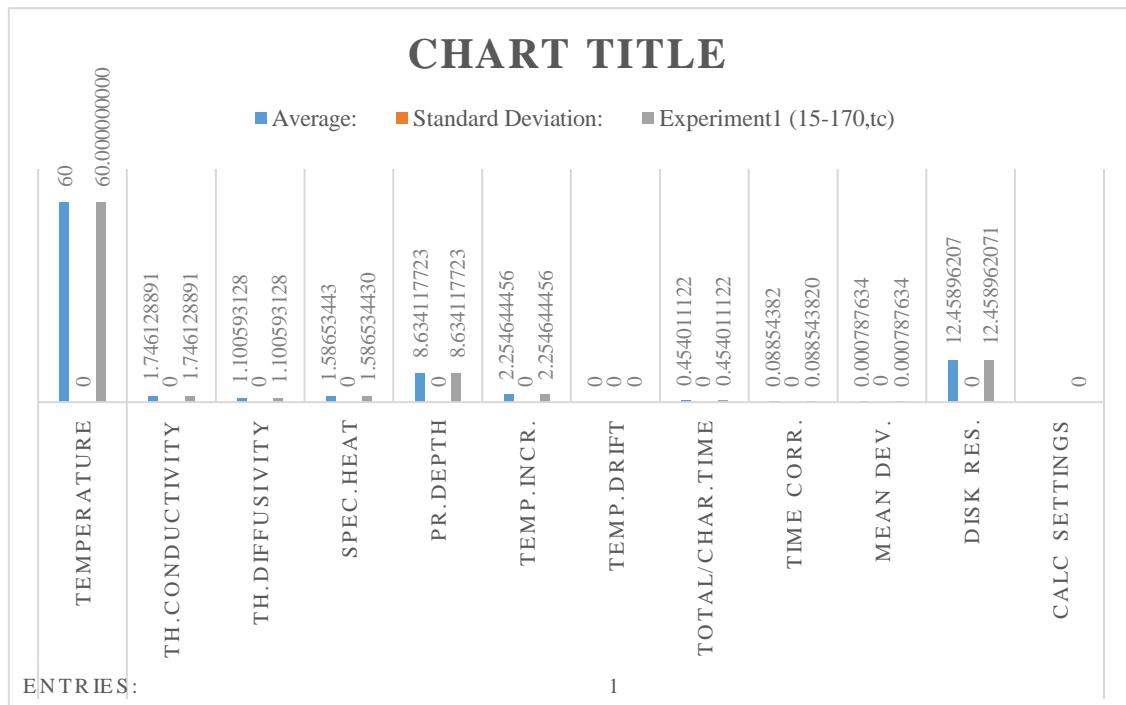


Figure IV- 9 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 0% de plastique

❖ Mortiers avec 15% en brique et 5% en plastique :

| %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 5 | 1282.5 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 67.5 |

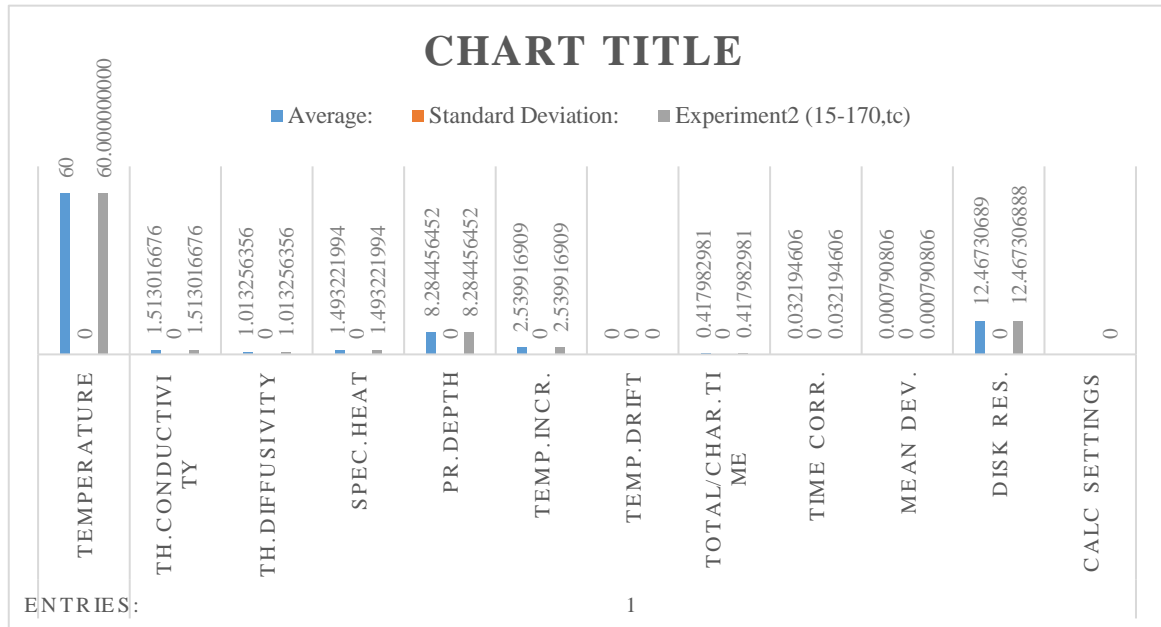


Figure IV- 10 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 5% de plastique

❖ Mortiers avec 15% en brique et 10% en plastique :

| %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 10 | 1215 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 135 |

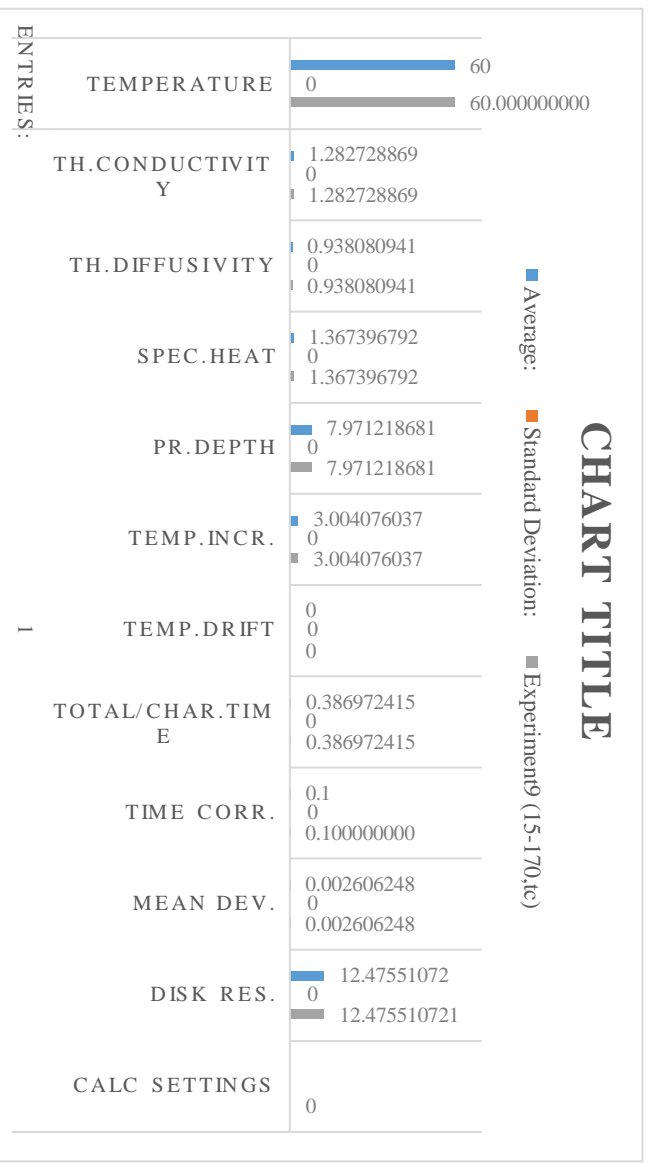


Figure IV- 11 variation de l' isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 10% de plastique

❖ Mortiers avec 15% en brique et 15% en plastique :

| | | | | | | |
|----|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 15 | %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
| | | 1147.5 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 202.5 |

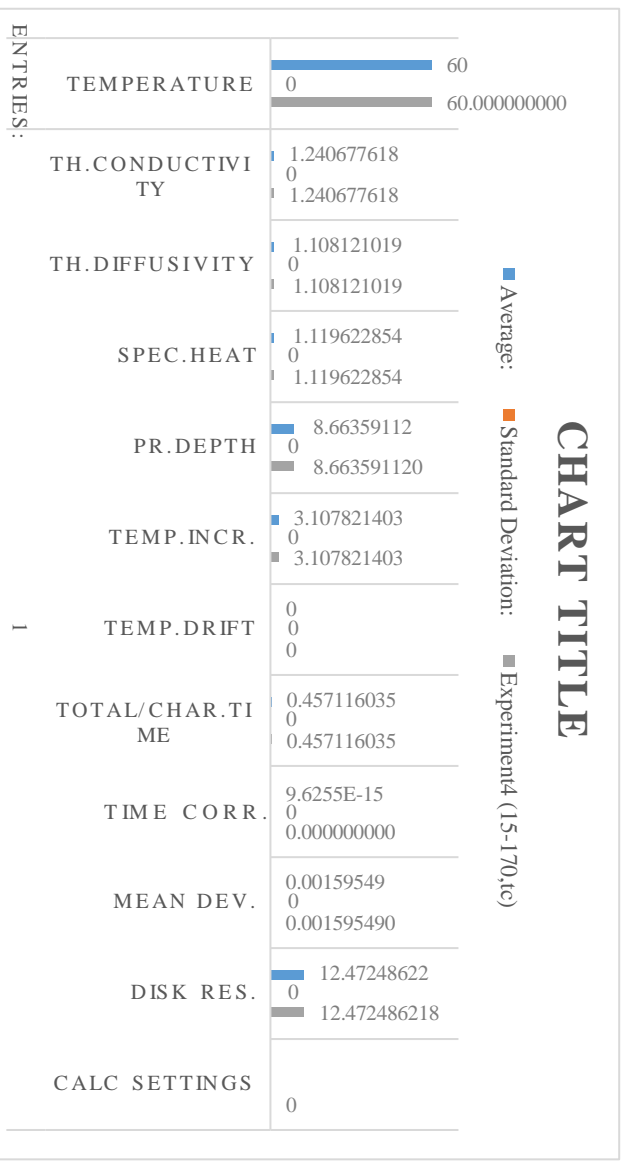


Figure IV- 12 variation de l' isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 15% de plastique

❖ Mortiers avec 15% en brique et 20% en plastique :

| %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 20 | 1080 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 270 |

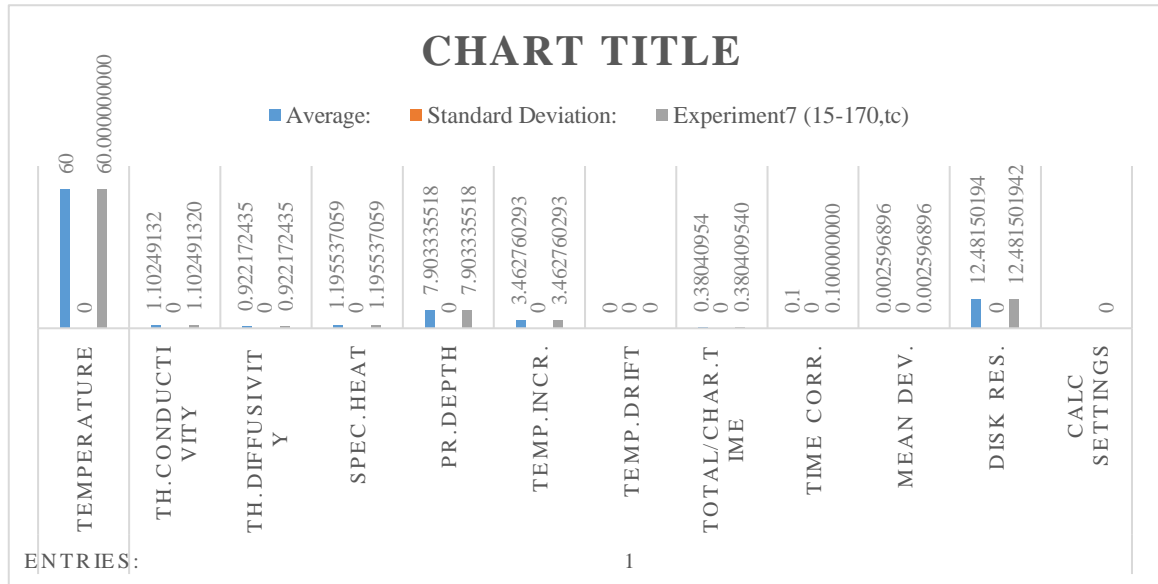


Figure IV- 13 variation de l'isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 20% de plastique

❖ Mortiers avec 15% en brique et 25% en plastique :

| %PET | Sable (g) | Ciment (g) | Brique (g) | eau (E/C=55%)(g) | PET(g) |
|------|-----------|------------|------------|------------------|--------|
| 25 | 1147.5 | 382.5 | 67.5 | 247.5 | 337.5 |

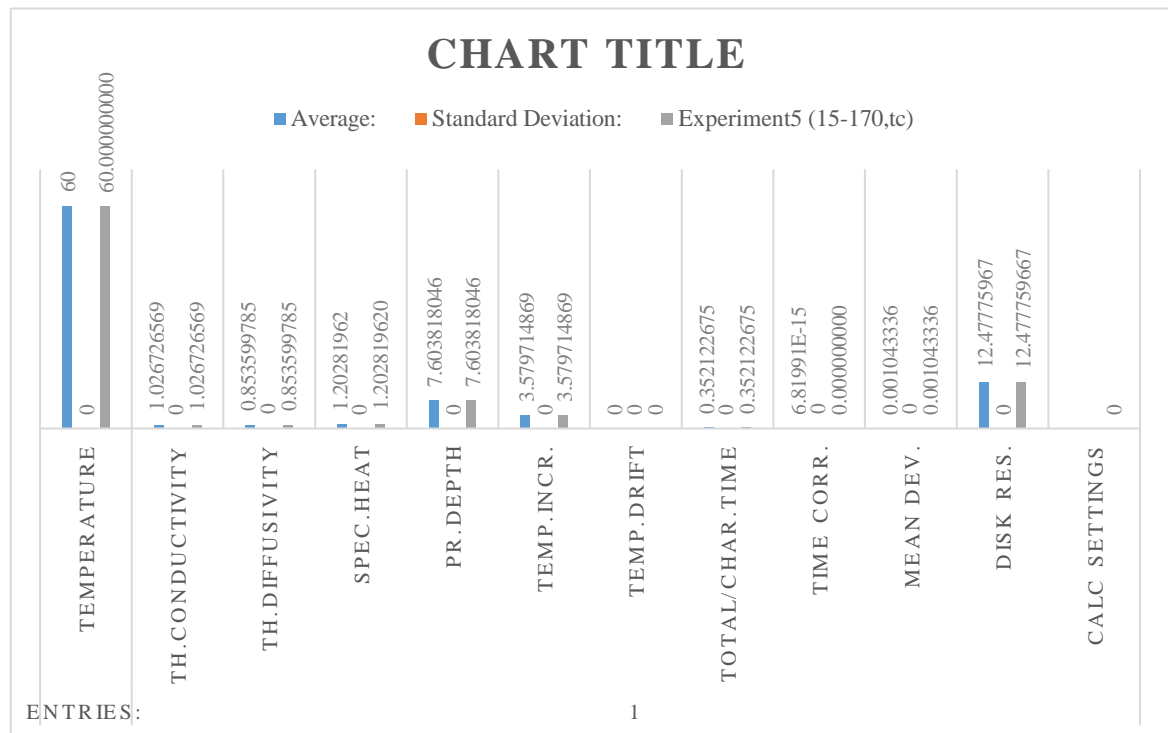


Figure IV- 14 variation de l’isolation thermique pour le mortier incorporant 15% de brique et 25% de plastique

Nous avons résumé les résultats obtenus dans le tableau suivant:

Tableau IV- 1 Résultat de l’isolation thermique

| Éch N° | Conductivity (W/m.K°) | Diffusivité (mm ² /s) | Spec.Heat (MJ/m ³ .K°) |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Mortier 15B-0P | 1,746128 | 1,100593 | 1,586534 |
| Mortier 15B-5P | 1,513016 | 1,013256 | 1,493221 |
| Mortier 15B-10P | 1,282728 | 0,938080 | 1,367396 |
| Mortier 15B-15P | 1,240677 | 1,108121 | 1,119622 |
| Mortier 15B-20P | 1,102491 | 0,922172 | 1,195537 |
| Mortier 15B-25P | 1,026726 | 0,853599 | 1,202819 |

Nous pouvons observer dans le tableau que plus nous augmentons la quantité de plastique dans le mélange, plus la diffusion et la conductivité thermique de l’échantillon

diminuent. De là, nous pouvons conclure que le plastique augmente le pouvoir isolant de l'échantillon.

Conclusion :

On peut conclure que les déchets de brique et de plastique peuvent apporter des avantages potentiels à l'isolation thermique du mortier. Les déchets de brique, en fonction de leur propriété isolante, contribuant ainsi à réduire la conductivité thermique du mortier. De même, le plastique, en raison de sa faible conductivité thermique, peut agir comme un isolant thermique efficace.



Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif principal de cette étude est d'examiner l'effet combiné des briques et des déchets plastiques PET sur le comportement du mortier. La recherche consiste à comparer le comportement d'un mortier conventionnel à celui d'un mortier produit en utilisant des briques broyées, en variant les taux de substitution en fonction du poids du ciment, ainsi que l'utilisation de déchets plastiques pour remplacer le sable de dune, avec des taux de remplacement allant de 5% à 25%. Les performances de ces mélanges seront évaluées par rapport au mortier ordinaire non modifié, à la fois dans leur état initial et après traitement.

Les résultats obtenus nous a permis de tirer les commentaires suivants :

- Lorsque nous utilisons un taux de 5% de briques, cela se traduit par une densité élevée et un faible taux d'absorption d'eau. Cependant, à mesure que le pourcentage de briques en poids augmente, la densité diminue tandis que l'absorption d'eau augmente.
- Lorsque le PET est utilisé, cela entraîne une diminution de la densité et une augmentation de la porosité, ce qui conduit à la conclusion que plus la proportion de PET est élevée, plus il y a de vides dans le mortier.
- L'incorporation des déchets de brique dans la composition des mortiers contribue à atteindre des résistances à la compression comparables à celle de témoins et des résistances à la flexion légèrement supérieure de celle de témoins.
- L'intégration des polyéthylènes téréphtalates (PET) dans la composition du mortier influence négativement sur la résistance mécanique du mortier.
- Les mortiers à base de déchets de brique et de PET présentent des caractéristiques thermiques intéressantes. Ces matériaux offrent une bonne isolation thermique grâce aux propriétés isolantes des déchets de brique et du PET.
- Les déchets de brique et le PET sont des matériaux légers qui ont une faible conductivité thermique. Cela signifie qu'ils ont une capacité à réduire la transmission de chaleur, ce qui peut contribuer à maintenir une température plus constante à l'intérieur des bâtiments. Cela peut entraîner des économies d'énergie en réduisant les besoins de chauffage ou de climatisation.
- Utilisation de déchets de brique et de PET (Polyéthylène Téréphtalate) dans les mortiers présente des avantages potentiels en termes de durabilité, de réduction des déchets et de performances des matériaux de construction. Cependant, il est important de prendre en compte certains aspects clés pour évaluer pleinement cette approche.

Conclusion générale

- L'utilisation de déchets de brique et de PET peut contribuer à la réduction des déchets de construction et à la promotion d'une économie circulaire en donnant une seconde vie à ces matériaux. Cela peut réduire la demande de ressources naturelles et minimiser l'impact environnemental associé à l'extraction de ces matériaux vierges.

Selon nos observations et les résultats obtenus, il est possible d'utiliser un mortier fabriqué à partir de déchets de briques comme matériau principal dans les opérations de construction. De plus, dans des zones où la résistance mécanique n'est pas cruciale, on peut également se fier au mortier à base de PET et de déchets de briques. Notre objectif principal reste de réduire les coûts de construction et d'éviter l'épuisement des ressources naturelles en exploitant les déchets industriels de manière efficace et réfléchie. Ce faisant, nous parvenons à obtenir un mortier doté de bonnes propriétés, innovant et extrêmement pratique.

Enfin, nous avons bon espoir que notre humble travail servira de référence dans les études sur les bétons de sable et dans les études de génie civil en générale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [01] Thabit, M. «Mesure des caractéristiques des mortiers et bétons par les Ultrasons», Mémoire master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, 2021.
- [02] Cours de matériaux de construction, Consulté le 06/09/2023. Tiré de : <https://docplayer.fr/220476092-1-les-mortiers-1-1-generalites-1-2-definition-1-3-composants-du-mortier-les-mortiers.html>
- [03] Djaafar, B. « Influence de l'énergie de vibration sur le mortier à base sable mixte», Mémoire Master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [04] Himri, M. «Mortiers spéciaux et mortiers innovants: état de l'art. mortiers traditionnels: Manipulations», mémoire Master, université 8 Mai 1945 - Guelma, 2014
- [05] Wikipidea, Consulté le 06/09/2023. Tiré de : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dune>
- [06] Belkhiri, H. & Derragui, A. «Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses», Mémoire master, université Ziane Achour de Djelfa, 2016.
- [07] Ould-el-Moctar, A.« Le sable du point de vue de la physique», Technique and culture, V. 61, pp. 28-41 , 2013.
- [08] BEN DHIA, M.H. «Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien», Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, V. 2013, pp. 33-42, 1998.
- [09] Aissaoui, D., Berkaine, S. «Etude des propriétés physiques et hydrodynamiques des sables», Mémoire master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [10] Merouani, H., Ouchene, A. «Etude comparative des techniques de rafraîchissement passif utilisant les matériaux de construction biosourcés», Mémoire master, université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi, 2022.
- [11] Rahmani, A., Achour, R. «Bilan thermique d'une maison individuelle en utilisant comme isolant un matériau a changement de phase», Mémoire master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2019.
- [12] Lalaoui, .B. «Etude comparative d'une mousse polyuréthane rigide expansée par l'agent gonflant « le CFC » et par « le cyclopentane » et l'amélioration de la résistance thermique de cette dernière», Mémoire Master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011
- [13] Poliva, J. « Les isolants écologiques», Edition Terre Vivante, 2001
- [14] Hachemi, M.A. «Exploitation et programmation informatique des documents techniques réglementaires relatifs aux déperditions thermiques de ventilation des bâtiments», Mémoire Master, M'hamed BOUGARA Boumerdes, 2011

Références bibliographiques

- [15] Agabi, R., Bouhadida, A., Lahouareche, Y. «La valorisation des déchets organiques» Mémoire Master, université 8 Mai 1945 – Guelma, 2020.
- [16] les cahiers développement durable, Consulté le 06/09/2023. Tiré de :<http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/09-dechets-aspects-economiques/>
- [17] Guenouai, S. & Gherbi, A. «Contribution à la valorisation des déchets en Algérie » mémoire master, université kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [18] Layada, S., Khelaifia, K. «Etude et caractérisation d'un béton à base de recyclâts - Etat de l'Art» Mémoire Master, université 8 Mai 1945 – Guelma, 2020.
- [19] Khaldi, B.E. «Amélioration de la durée de vie des poches d'acier utilisées au sein de l'accol du complexe sidérurgique d'el Aadjar Annaba » Mémoire Master, université Badji Mokhtar-Annaba, 2018.
- [20] Djablahi, E.K. & Dehimene, C. «Effet des températures élevées sur les mortiers renforcés de fibre métallique contenant les déchets de brique» Mémoire Master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2022.
- [21] Tavakoli M., «Strength of recycled aggregate concrete made using filed demolished concrete as aggregate». *ACI Materials Journal*, Vol. 93(2), P. 182-190, 1996.
- [22] Bourmatte N., «Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques», mémoire Magister, université de Constantine, 2004.
- [23] Moriconi G., Corinaldesi V., «Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete», *Construction and Building Materials*, Vol. 23 n°8, p. 2869–2876, 2009.
- [24] Kenai S., Debieb F., «Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés», *Materials and Structures*, Vol. 44, P. 815– 824, 2011.
- [25] Lahmadi, Zeghichi et a., Benghazi A. Lahmadi, L. Zeghichi, Z Benghazi, «L'influence de la substitution des granulats naturels par les déchets de brique sur le comportement mécanique du béton», *ACMA 2012 09-12 Mai, 2012 Fès, Maroc*.
- [26] Heikel M., Zohdy KM., Abdelkreem M., «Mechanical, microstructure and rheological characteristics of high performance self-compacting cement pastes and concrete containing ground clay bricks», *Construction and Building Materials* Vol. 38, P. 101–109, 2013.
- [27] Safi B., Ghernouti Y., Rabehi B., Aboutaleb D., «Effect of the Heat Curing on Strength Development of Self-compacting Mortars Containing Calcined Silt of Dams and Ground Brick Waste», *Materials Research*, Vol. 16(5), P. 1058-1064, 2013.

Références bibliographiques

- [28] Randjodh S., Rohin Kaushik Er., Gurniwaz Singh Er., «Study of Self Compacting Concrete Using Brick Dust and Marble Powder», Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 3, Issue 3, p.1283-1286, 2013
- [29] Kadri, N. «Etude des propriétés des composites PEHD/fibres R-PET et PEHD/SEBS-g-MA/fibres R-PET : Effets du taux et du traitement de surface des fibres» Mémoire de magister, université Ferhat Abbas, 2014.
- [30] Économie circulaire du PET en Suisse : un des meilleurs systèmes de recyclage du PET au monde, Consulté le 06/09/2023. Tiré de : <https://www.henniez.ch/fr-ch/durabilite/economie-circulaire>
- [31] Rahem, Z. «Etude des propriétés du mélange polyéthylène téréphtalate/modificateur de choc», Université Ferhat Abbas – Sétif 1, 2019.
- [32] Amkhenfi, L. & Karou, H. «Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre». Mémoire de master, université Akli Mohand Oulhadje-Bdouira, 2018
- [33] Zahi, A. & Zahi, A. (2020). «Contribution À L'élaboration d'un béton de sable, à base de sable dunaire et déchets plastique (bouteilles En Pet)» Mémoire de master, université de Ghardaia, 2020.
- [34] Alexandra, M., da Silva., Jorge de Brito., RosárioVeiga. «Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars», Construction and Building Materials, Vol. 71, p.226-236, 2014.
- [35] Ismail, ZZ ., Al-Hashmi E.A. «Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement», Waste Manage, Vol. 28, p.2071-7, 2008.
- [36] Iucolano, F., Liguori, B., Caputo, D., Colangelo, F., Cioffi, R. «Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties», Materials and Design, Vol. 52, p.916-922, 2013.
- [37] Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., Prince, W. «Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates». Waste Manage, Vol. 30, p.2312-20, 2010.
- [39] Guendouz, M. «Contribution à la formation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base de déchets plastiques : application au béton de sable», thèse de doctorat, université Yahia Farès de Médéa, 2017.

Références bibliographiques

- [40] Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M.H.A., Allahyari, H., Nikbin, I.M. «On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles». *Construction and Building Materials*, Vol. 47, p.1302-1308, 2013.
- [41] Debih, A. «durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide Sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées)», mémoire master , université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [42] **ADEME**, Les déchets en France. (Loi du 13 juillet 1992).
- [43] **Rania, A. & Amina, B. & Yassamine, L.** (2020). «La Valorisation Des Déchets Organiques» [Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 - Guelma].
- [44] <https://www.petrecycling.ch/fr/savoir/matiere-de-valeur-pet/aperçu>
- [45] **Hamel, D. & Ben Hammadi, I.** (2021). Étude Physico-mécanique D'un Mortier À Base De Sable De Dune Et Déchets Industrielles (déchet De Brique Et Déchet De Plastique Pet) [Mémoire de Master, Université De Ghardaia].

Annexe



ماتين
MATINE

ALGÉRIE



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.









 A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES ✓

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE 🪣

| | Ciment  | Sable (sec)  | Gravillons (sec)  | | Eau (litres)  |
|---------------------------------|--|---|--|--|--|
| | | 0/5 | 8/15mm | 15/25mm | |
| Dosage pour béton C25/30 | X 1  | + X7  | + X5  | + X4  | + 25 L |

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES 🔍

• Analyses chimiques

| | Valeur |
|--------------------------------------|-----------|
| Perte au feu (%) (NA5042) | 10.0±2 |
| Teneur en sulfates (SO3) (%) | 2.5±0.5 |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) | 1.7±0.5 |
| Teneur en Chlorures(NA5042) (%) | 0.02-0.05 |

• Temps de prise à 20° (NA 230)

| | Valeur |
|----------------------|--------|
| Début de prise (min) | 150±30 |
| Fin de prise (min) | 230±50 |

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

| | Valeur |
|---------|--------|
| C3S (%) | 60±3 |
| C3A (%) | 7.5±1 |

• Résistance à la compression

| | Valeur |
|----------------|--------|
| 2 jours (MPa) | ≥ 10.0 |
| 28 jours (MPa) | ≥ 42.5 |

• Propriétés physiques

| | Valeur |
|--|---------------|
| Consistance Normale (%) | 26.5±2.0 |
| Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231) | 3 700 - 5 200 |
| Retrait à 28 jours (µm/m) | < 1 000 |
| Expansion (mm) | ≤ 3.0 |

CONSIGNES DE SÉCURITÉ ⚠

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

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



A member of **LafargeHolcim**

Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55





NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

- Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

DESCRIPTION DU PRODUIT

| | |
|---------------------------------------|--|
| Conditionnement | <ul style="list-style-type: none"> • Fût de 230 kg • Cubi de 1100 kg • Vrac |
| Aspect / Couleur | Liquide brun clair à foncé |
| Durée de Conservation | 12 mois dans son emballage d'origine intact. |
| Conditions de Stockage | A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé. |
| Densité | 1,06 ± 0,01 |
| Valeur pH | 4,5 ± 1,0 |
| Teneur Totale en Ions Chlorure | ≤ 0,1 % |
| Équivalent Oxyde de Sodium | ≤ 1 % |

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

AGRÈMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.
PV CNERIB : DTEM/108/2017

Notice produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Septembre 2021, Version 01.02
021300C11000000110

Dosage

Plage de dosage : 0,2 à 3,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni

aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA

08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dja.sika.com

**Notice produit**

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Septembre 2021, Version 01.02
021301011000000110

2 / 2

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-DZ-(09-2021)-1-2.pdf

BUILDING TRUST

