

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2024



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2024

Mémoire de Master

Domaine :Sciences et Techniques

Des pavés robustes pour les environnements exigeant

Projet d'obtention d'un diplôme start-up en vertu de l'Arrêté ministériel n° 1275

Le: 26/06/2024

Présenté et soutenu par

GAHMOUS Mohamed Nadhir ¹ , HELALA abdeldjalil ¹ , BOUGHEDIRI Youcef ²

Filière : 1 :Travaux publics Voies Et Ouvrages D'arts / 2 : Génie civil Géotechniques

ذ

Encadreurs

YAGOUB Mohamed

LAMOURI Bachir

BENSMACHINE Aissa

Promo: 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à finir ce modeste travail.

*Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre reconnaissance à notre encadreur **Dr.Mohamed Yagoub** pour ses conseils et encouragements, en espérant qu'il trouve dans ce mémoire l'expression de notre estime et de notre respect le plus profond.*

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants du département pour leur aide et leur soutien au cours de la formation.

Nous remercions aussi l'entreprise de hacen cherif pour l'industrie d'avoir partagé son expertise avec nous, et tout le personnel technique du hall mécanique.

Enfin nous aimerions remercier tous nos amis et nos collègues pour leur amitié, leur soutien, et à toute personne ayant contribué à la réalisation de ce travail, et tous ceux qui se sont intéressés à notre mémoire.

Biskra, le 26 / 06 /2024

DÉDICACE

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin

C'est la réussite et l'atteinte du but.

Je tiens à dédier ce modeste mémoire, fruit de très longues années

- *A mes très chers Parents, en témoignage et en gratitude de Leur soutien permanent durant toute ma vie. Leurs sacrifices, illimités, leur réconfort moral, eux qui ont consentis tant d'efforts pour mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limites.*

- *A mes frères et mes sœurs*
- *A toute la promotion et tous mes amis.*

Gahmous Mohamed nadir

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

**A ma petite et ma grande famille,*

**A mes amis, mes camarades, mon encadrant, mes enseignant et mes
collègues,*

**A tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réalisation de
ce travail,*

**A tous ceux qui m'ont supporté et soutenu,*

Boughediri Youcef

DÉDICACE

Je dédie ce travail à ; mes chers parents ma mère et mon père qui m'ont soutenus durant les moments difficiles et m'ont encouragés à atteindre mon but

À mon frère fouad et mes soeurs sara et ilham et à tout la famille

Helala abdeldjalil

ملخص:

تعد هذه الدراسة جزءًا من عملية استعادة كميات هائلة من العديد من النفايات الشائعة، ولا سيما حطام الزجاج والبلاستيك والطوب. الهدف من هذا العمل هو استخدام هذه المواد لتحل محل الخرسانة في صناعة حجارة الرصف. وبالتالي، فإن هذا الاسترداد لا يقلل فقط من الكميات الكبيرة من النفايات مثل الزجاج المكسور، وحطام الطوب وكتل النفايات البلاستيكية غير القابلة للتحلل المخصصة لمداخن النفايات، بل يمكنه أيضًا حماية البيئة.

تم استخدام العديد من التركيبات (حطام الطوب والزجاج والبوليسترين والبلاستيك) في صناعة حجارة الرصف. خضعت الرصفات المطورة لتحليلات ميكانيكية (الضغط والثني) وتحاليل فيزيائية (امتصاص الماء، التوصيل، المسامية). وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن استعادة هذه المواد يمكن أن يشكل حلاً بديلاً للتلوث البيئي.

يمكن لاستخداماتها في تصنيع حجارة الرصف مجتمعة (الطوب والزجاج والحطام البلاستيكي) أن تتنافس مع حجارة الرصف الخرسانية التجارية.

Résumé :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation d'énormes quantités de nombreux déchets courants, notamment des débris de verre, de plastique et de brique. Le but de ces travaux est d'utiliser ces matériaux pour remplacer le béton dans la fabrication de pavés. Ainsi, cette valorisation permet non seulement de réduire de grandes quantités de déchets tels que les bris de verre, les débris de briques et les blocs de déchets plastiques non biodégradables destinés à la mise en décharge, mais peut également protéger l'environnement.

Plusieurs compositions (débris de brique, verre, polystyrene et plastique) ont été utilisées dans la fabrication de pavés. Les pavés développés ont subi des analyses mécaniques (compression et flexion), physiques (absorption d'eau, conductivité, porosité). Les résultats obtenus ont montré que la valorisation de ces matériaux pourrait constituer une solution alternative à la pollution environnementale.

Leurs utilisations dans la fabrication des pavés en combinaison (débris de brique, de verre et de plastique) peuvent concurrencer les pavés en béton commercialisés.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE1

CHAPITRE I: GENERALITE SUR LE PAVE

| | |
|--|----|
| 1.Introduction..... | 1 |
| 2.Histoire de pavé | 2 |
| 3.Définition du pavé..... | 4 |
| 4.Les type de pavé..... | 4 |
| 4.1. Pavé en pierre naturelle..... | 4 |
| 4.1.1.Forme de pavé en pierre naturelle | 4 |
| 4.1.2.Caractéristiques e de Pavé en pierre naturelle | 5 |
| 4.2. Les pavés en béton | 7 |
| 4.2.1.types de pavé en béton..... | 7 |
| 4.2.2. Caractéristiques de pave en béton..... | 9 |
| 4.2.2.1.Caractéristiques mécaniques | 9 |
| 4.2.2.2.Caractéristiques visuelles..... | 10 |
| 4.2.3. Mise en œuvre des pavés | 10 |
| 4.2.3.1.Réception des produits | 10 |
| 4.2.3.2.Préparation de la plateforme | 11 |
| 4.2.3.3.Réalisation des assises..... | 11 |
| 4.2.3.4.Réalisation du revêtement..... | 11 |
| 5.Les avantages et les inconvénients des pavés | 12 |
| 5.1.Les avantages des pavés..... | 12 |
| 5.1.1.Au niveau de la fabrication | 12 |
| 5.1.2.Au niveau de la construction de la chaussée..... | 12 |
| 5.1.3.Au niveau de la chaussée en service | 13 |
| 5.1.4.Au niveau de la maintenance | 13 |
| 5.1.5.Au niveau des coûts | 14 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 5.2.les inconvénients des pavés | 14 |
| 6.Conclusion | 14 |

CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES RECYCLAGE

| | |
|--|----|
| 1.Introduction | 15 |
| 2. définitions du recyclage | 15 |
| 3.Type De Recyclage | 16 |
| 3.1.Le recyclage chimique | 16 |
| 3.2.Le recyclage mécanique | 17 |
| 3.3.Le recyclage organique | 17 |
| 4. Les avantages et les inconvénients De Recyclage | 17 |
| 4.1. les avantages de Recyclage | 17 |
| 4.1.1.lutter contre la pollution | 17 |
| 4.1.2.Économiser de l'énergie..... | 18 |
| 4.1.3.Préservation des ressources..... | 18 |
| 4.1.4.Faire des économies | 18 |
| 4.2. Inconvénients de recyclage | 19 |
| 5. Les déchets..... | 19 |
| 5.1.Définition des déchets :..... | 19 |
| 5.2.Classification des déchets | 20 |
| 5.3.La gestion des déchets..... | 20 |
| 5.4.Définitions des déchets plastiques | 21 |
| 5.4.1.Type de déchets plastiques | 22 |
| 5.4.2.Domaine d'utilisation des déchets plastiques..... | 23 |
| 5.4.3. Valorisation des déchets plastiques..... | 25 |
| 5.4.3.1. Valorisation énergétique | 25 |
| 5.4.3.2. Valorisation mécanique..... | 25 |
| 5.4.3.3. Valorisation chimique | 26 |
| 5.4.4.les symboles de recyclage sur les emballages plastiques..... | 26 |
| 5.4.5. les Etapes de recyclage des déchets plastiques | 28 |
| 5.5. Déchets de brique..... | 31 |
| 5.5.1. Définitions De brique..... | 32 |

| | |
|---|----|
| 5.5.2.Types de brique | 32 |
| 5.5.2.1Selon Leur Utilisation | 32 |
| 5.5.2.2. Selon leur forme..... | 32 |
| 5.5.3.Les caractéristiques physico-chimiques de la brique..... | 33 |
| 5.5.4.Le déchet de brique rouge Dans le béton..... | 34 |
| 5.5.5. Valorisation des déchets de brique..... | 35 |
| 5.6.Déchets verre..... | 35 |
| 5.6.1.Définition du verre | 36 |
| 5.6.2.Les différents types de verre. | 36 |
| 5.6.3.Propriétés du verre | 37 |
| 5.6.3.1.Les principales propriétés physiques du verre | 37 |
| 5.6.3.2.Les principales propriétés chimiques du verre : | 38 |
| 5.6.3.3.Les principales propriétés thermiques du verre : | 38 |
| 5.6.4.Le processus de recyclage de verre..... | 38 |
| 5.6.5.Utilisation de verre en génie civil | 40 |
| 5.6.6.Valorisation de poudre de verre dans la génie civil..... | 40 |
| 5.6.7. Les avantages et les inconvénients du matériau verre. | 40 |
| 5.6.7.1.Les avantages | 41 |
| 5.6.7.2.Les inconvénients :..... | 42 |
| 6. Conclusion..... | 42 |

CHAPITRE III: MATERIAUX ET METHODE

| | |
|---|----|
| 1.Introduction :..... | 43 |
| 2.Conception et réalisation du moule | 43 |
| 2.1.Mode de fabrication : | 43 |
| 2.2. Les Étapes de fabrication du moule | 44 |
| 2.2.1. Processus de cisaillement :..... | 44 |
| 2.2.2 Processus de pliage : | 45 |
| 2.2.3 Mode d'assemblage final :..... | 46 |
| 2.3.Matériel et méthodologie expérimentale..... | 50 |
| 2.3.1.Matériel utilisé: | 50 |
| 2.3.2. Caractérisation des matériaux: | 51 |
| 2.3.3. Méthode utilisée :..... | 52 |
| 2.3.3.1 Pour le moulage de plastique par compression :..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 2.3.3.2 le broyage de brique et le verre | 54 |
| 2.3.3.3. matérialisation de prototype..... | 55 |
| 3. Conclusion..... | 56 |

CHAPITRE VI TEST DES PROPRIETES MECANIQUES

| | |
|---|----|
| 1. Introduction..... | 57 |
| 2. Propriétés mécaniques..... | 57 |
| 2.1.Essai de traction du plastiques recyclé :..... | 58 |
| 2.2.Essai de compression | 59 |
| 2.3.Essai de flexion trois points | 60 |
| 3.Résultats et discussion..... | 60 |
| 3.1.Essai de traction du plastique recyclé | 61 |
| 3.2.Essai de compression du plastique recyclé | 61 |
| 3.3Essai de flexion trois points du plastique recyclé | 62 |
| 4.Conclusion..... | 63 |

LES REFERENCES

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau II.1 Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables ... | 28 |
| Tableau IV.1 . Résultats de l'essai de traction..... | 61 |
| Tableau IV.2. Résultats de l'essai de compression..... | 62 |
| Tableau IV.3. Résultats de l'essai de compression..... | 63 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1: Une histoire politique des pavés parisiens..... | 3 |
| Figure I.2 : Les pavés autobloquants..... | 7 |
| Figure I.3 : Les pavés en béton moulé..... | 8 |
| Figure I.4 : Le pavé de drainant..... | 9 |
| FigureII.1 : Recyclage des déchets..... | 16 |
| Figure II.2: la quantité de déchets laissés par les humains laissés dans la nature..... | 19 |
| FigureII.3 : Le tri des déchets plastiques..... | 28 |
| Figure II.4: Balles de plastique..... | 29 |
| Figure II.5: Broyage plastique et lavage des déchets plastiques..... | 30 |
| FigureII.6 : Extrudeuse pour plastique recyclé..... | 30 |
| Figure II.7: Déchets de brique..... | 31 |
| FigureII.8 : le verre..... | 36 |
| Figure II.9: cycle de recyclage du verre..... | 40 |
| Figure III.1: Photographie numérique montrant la plaque métallique..... | 43 |
| Figure III.2: Photographie numérique montrant la machine de cisaillement..... | 44 |
| Figure III.3: Photographie numérique montrant la machine plieuse..... | 45 |
| FigureIII.4 : Photographie numérique montrant le réglage de l'angle..... | 45 |
| Figure III.5 : Photographie numérique montrant les pièces obtenu après Processus de pliage.... | 46 |
| FigureIII.6 : Photographie numérique montrant le fer plat soudé dans les coté de moule..... | 46 |
| FigureIII.7 : Photographie numérique montrant la réalisation de la forme cubique par soudure. | 47 |
| FigureIII.8 : Photographie numérique montrant l'assemblage de la forme cubique avec la forme de taille trapèze..... | 47 |
| Figure III.9.: Photographie numérique montrant l'assemblage de la forme cubique avec la plaque (25×25)..... | 48 |
| FigureIII.10 : (A) et (B) deux Photographies numérique montrant le fraisage..... | 49 |
| Figure III.11: Photographie numérique montrant la forme finale du moule..... | 49 |

| | |
|--|----|
| FigureIII.12 : Photographies numériques montrant le matériel utilisé..... | 50 |
| FigureIII.13 : le verre brisé..... | 51 |
| Figure III.14: Photographie numérique montrant les Briques cassées..... | 51 |
| Figure III.15: Photographies numériques montrant (A): Cagette broyé. (B):cagette broyé dans un Cuve mètallique | 52 |
| FigureIII.16 : Photographienumérique montrant la fusion du plastique | 52 |
| FigureIII.17 : Photographies numériques montrant (D) : Moulage de mélange dans le moule (E) : compression par cric hydraulique..... | 53 |
| FigureIII.18 : Photographies numériques montrant (F):Démoulage le moule avec des clés . (G): boîte en plastique..... | 54 |
| Figure III.19 : Le verre obtenu après le processus d'analyse granulométrique | 54 |
| FigureIII.20 : brique rouge obtenue après le processus d'analyse granulométrique..... | 55 |
| Figure III.21: préparation de la résine..... | 55 |
| Figure III.22: prototype pavé 20x20x8..... | 56 |
| FigureIV.1 : Machine universelle de type TEST..... | 58 |
| Figure IV.2: Test de traction du plastiques recyclé..... | 59 |
| FigureIV.3 : Test de compression plastiques recyclé..... | 59 |
| Figure IV.4: Test de flexion trois points du plastiques recyclé..... | 60 |
| Figure IV.5: Résultats de l'essai de traction du plastique recyclé..... | 61 |
| Figure IV.6: Résultats de l'essai de compression du plastique recycl..... | 62 |
| FigureIV.7 : Résultats de l'essai de compression du plastique recyclé..... | 63 |

Introduction Générale

Le pavé robuste pour les environnements exigeant est perçu comme un nouveau type de pavé dont les propriétés, et les possibilités d'applications ne cessent de se répondre à la fois en volume et en diversité.

L'importance et l'utilisation de cette nouvelle génération de pavé à hautes performances est très vaste ; elle recouvre tous les aspects qui lui rend différent du pavé traditionnel c-à-d des changements relatifs tant aux constituants, à la composition, et à la mise en œuvre qu'aux propriétés, il ait été surtout utilisé dans des applications mettant en valeur leur résistance élevée, il est inévitable que, dans un avenir très proche, le pavé de zone agressive sera de plus en plus utilisé pour sa durabilité et sa résistance .De ce fait il peut être le réceptacle de différents sous-produits (déchets) .

La protection de l'environnement est une préoccupation majeure qui se traduit, dans le domaine du génie civil, par la recherche de nouveaux procédés de construction ou de nouveaux produits .

Aujourd'hui , et surtout à biskra , ces déchets(plastiques , le verre , polystyrène et le brique) constituent un vrai problème de développement et de gestion de notre environnement. La stratégie proposée est d'inviter les utilisateurs à ne plus jeter ces déchets dans la nature mais cela passe par une sensibilisation au respect de leur environnement, mais aussi plus sûrement en donnant à ces déchets une valeur marchande en les recyclages et valorisant en produits utiles comme pavé de sol.

Dans la vie des êtres humains, l'extrusion des polymères occupe une très grande place, son existence est devenue une chose incontournable, du fait que chacun de nous prouve chaque jour d'utiliser un sachet pour apporter ces achats, sans oublier que plusieurs de nos achats sont fabriqués en partie ou en totalité des matières plastiques. 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 posent de nombreux problèmes au niveau du trisélectif, en particulier pour les déchets plastique. Le renforcement des plastiques pourrait contribuer à économiser des ressources rares, à créer des emplois et des revenus et à réduire les impacts sur l'environnement.

Chapitre I : Généralité Sur Le Pavé

1. Introduction:

Le pavé est une structure cubique en roche dure ou en béton, largement employée pour la chaussée et les sols. On peut trouver des pavés en granite, grès, porphyre, calcaire, marbre ou roche volcanique.

Les rues et les routes, en particulier les voies romaines, ont longtemps été pavées avec des pavés. Même si les pavés sont souvent remplacés par l'asphalte, ils sont de plus en plus prisés, notamment pour les rues piétonnes dans les centres-villes. Ils ont l'avantage d'être plus imperméables à l'eau que l'asphalte, ce qui peut aider à réduire les nuisances d'inondation.

Les pavés sont aussi devenus un emblème des courses cyclistes, notamment de Paris-Roubaix, dont les sections pavées sont connues pour leur hauteur. Ils se rejoignent également.

2. Histoire de pavé

Si l'on remonte aux légendaires voies romaines qui utilisaient parfois des pavés dans nos régions, le souci de bien agencer les chaussées avec des pierres est apparu assez tôt et s'est particulièrement développé au cours du Moyen Âge. Il y a d'une part les voies urbaines qui doivent répondre à des exigences de confort, d'hygiène et parfois de prestige, et d'autre part les voies entre les villes. Ces dernières ont toujours été d'une importance cruciale, tant pour faciliter le commerce et le transport des marchandises que pour accélérer les mouvements des troupes militaires.

De même, la production de pavés destinés à l'exportation était étroitement surveillée par les autorités politiques, surtout pendant la domination autrichienne, afin d'éviter de favoriser des régions voisines potentiellement adversaires, tout en préservant les intérêts économiques.

En ce qui concerne les techniques utilisées pour le pavage à cette époque, les gestes des paveurs ont été transmis presque sans changement à travers les générations, jusqu'au 20^{ème} siècle. Ces métiers du pavage ont donné naissance à de véritables dynasties d'ouvriers spécialisés (ex : Waterloo) qui se sont parfois répandus à l'étranger, suivant le flux naturel des produits lors de leur exportation, afin de fournir aux clients lointains la main d'œuvre qualifiée nécessaire à la bonne mise en œuvre de leurs approvisionnements.

Depuis lors, divers projets de pavage ou des dessins aux motifs complexes ont été parfaitement adaptés à différents cadres et lieux. Les motifs urbains courants ont considérablement évolué au fil du temps.

Il convient de mentionner qu'autrefois, certains tronçons de routes étaient pavés de blocs de bois sur leurs côtés pour réduire le bruit causé par les sabots des chevaux et les roues des carrosses (comme au château de Versailles).

Parallèlement, les matériaux et les produits ont été soigneusement classés en fonction de leur durabilité technique et pour des raisons de confort et d'esthétique. Les zones à forte circulation ne pouvaient utiliser que des matériaux très résistants, comme le porphyre et le grès.

Cependant, le porphyre n'était pas adapté aux rues en pente en raison de sa glissance, notamment sous les sabots des chevaux.

Même pour les sols des écuries, les grès légèrement friables (comme ceux des régions de l'Attre et de la Brugelette) étaient recommandés, car ils offraient plus de confort aux chevaux. Les trottoirs, beaucoup moins utilisés, n'étaient jamais recouverts de porphyre mais de grès, façonnés en éléments carrés ressemblant à de la platine, le plus souvent disposés en ogive, ou de pavés de pierre bleue de différents formats.

Cette répartition bien pensée des matériaux et des produits a guidé le développement urbain pendant longtemps, laissant un impact durable sur l'image de nos villes.



Figure I.1: Une histoire politique des pavés parisiens

Cependant, les modes de transport ont changé rapidement au fil du temps. Les automobiles ont remplacé les voitures tirées par des chevaux, et les exigences en matière de confort et de commodité sont aujourd'hui plus fortes. Par conséquent, après la Seconde Guerre mondiale, la popularité des pavés en pierre a considérablement diminué,

cédant la place aux surfaces en béton et en asphalte. De nombreuses carrières ont fermé ou se sont détournées de la production de pavés pour se consacrer à la production de pierres concassées, très appréciées pour leur performance.

Ce n'est que dans les années 1980, avec la résurgence des matériaux naturels, la régionalisation et une forte volonté politique de revaloriser les ressources souterraines, que les pavés ont commencé à faire leur retour. Au départ, ils étaient utilisés dans le cadre de projets de revitalisation urbaine dans des centres historiques protégés, mais leur utilisation s'est rapidement généralisée. Cependant, l'offre régionale ayant diminué, les importations en provenance d'autres pays européens (notamment le granit) et, plus tard, de pays plus lointains, ont commencé à dominer le marché. Aujourd'hui, les importateurs asiatiques (principalement de Chine, d'Inde et, dans une moindre mesure, du Vietnam) détiennent la plus grande part du marché. Ces matériaux, utilisés depuis plus de 15 ans, ont déjà été soumis aux conditions difficiles de notre climat, avec plus ou moins de succès. (1)

3. Définition du pavé:

Un pavé est un morceau de roche, de béton ou d'argile couramment utilisé comme revêtement de route, trottoir, parking ou terrasse en raison de sa durabilité. Ces produits sont destinés à alimenter les marchés de l'hygiène, de l'assainissement, de la construction de routes et de l'aménagement urbain. (2)

4.1. Pavé en pierre naturelle

tels que le granit, le grès et le calcaire, sont un complément idéal à tout projet d'aménagement paysager qui comprend des pièces d'eau, des allées, des cours et des jardins. (3)

il peut avoir plusieurs formes :

4.1.1. formes des pavés en pierre naturelle :

A. Les pavés mosaïques

sont de forme cubique ou presque, mesurant de 7 à 12 cm de chaque côté de la surface supérieure et en hauteur. Dans la pratique, les lots de pavés mosaïques sont rarement triés et peuvent également comprendre des éléments trapézoïdaux résultant de dispositions en éventail.

B. Les pavés carrés (forme cubique) sont disponibles dans les dimensions 13×13 cm, 15×15 cm, 17×17 cm et 20×20 cm, avec une hauteur de queue allant de 11 à 20 cm. Ils présentent communément la caractéristique d'être amincis à leur base, avec une réduction maximale de 1,5 cm sur chaque bord de la base.

- C. Les pavés rectangulaires** (de forme parallélépipédique) sont disponibles dans des dimensions de 9 x 14 cm, 11 x 17 cm et 14 x 20 cm, avec une hauteur de queue allant de 10 à 15 cm. Certains modèles présentent également un design effilé.
- D. Pavés plats en platine** (avec une forme plus plate) : 12 x 12 cm, 14 x 14 cm, 16 x 16 cm, avec une hauteur allant de 5 à 10 cm. Ces pavés sont couramment utilisés pour les trottoirs. Certains modèles présentent également un design effilé.

4.1.2. Caractéristiques e de Pavé en pierre naturelle: (3)

La norme européenne harmonisée EN 1342 établit les caractéristiques pertinentes (selon le contexte) pour déterminer l'aptitude à l'emploi des pavés en pierre naturelle. Bien que détaillées pour les nouveaux matériaux extraits et transformés à partir de pierres naturelles, ces caractéristiques peuvent être utiles pour étudier le cas particulier.

A. Provenance géologique et description pétrographique Les pavés de réemploi proviennent d'ouvrages qui peuvent avoir été réalisés à partir d'origines diverses. S'il est possible d'identifier visuellement le type de roche présent, il est rare d'affirmer avec certitude que leur provenance géologique est identique, sauf si des traces peuvent l'attester (par exemple : un certificat d'origine pour les éléments récents ou des documents d'archives pour les éléments plus anciens). C'est encore plus vrai pour les lots constitués par le regroupement de pavés d'origines diverses.

B. Provenance géographique Comme pour la provenance géologique, l'information sur la provenance géographique d'origine d'un lot de pavés de réemploi est difficile à attester avec certitude (carrière d'origine). En revanche, on peut déduire certaines caractéristiques si l'on sait où les pavés ont été démontés. Ainsi, des pavés en bon état qui ont été démontés dans une région soumise à de forts cycles de gel/dégel témoignent vraisemblablement d'une bonne résistance au gel. Autre exemple : des pavés en bon état provenant d'une rue soumise à un passage intensif de véhicules lourds témoignent d'une certaine façon de leur bonne résistance à la compression. Ainsi, à défaut d'information sur la carrière d'origine, il peut être utile de disposer d'informations sur la voirie d'où proviennent les pavés.

A. Masse volumique apparente et porosité:

Ces propriétés sont propres à chaque pierre et peuvent être facilement retrouvées dans la documentation technique.

Si nécessaire, elle peut être mesurée par un contrôle d'identité selon les normes de test (EN 1936).

La porosité (ou l'absorption d'eau) d'une pierre ne détermine pas directement sa fraîcheur.

D'un autre côté, cela affecte également le degré de résistance à la saleté.

D. Hauteur de queue (épaisseur): En général, l'utilisation prévue et le type de charge détermineront la hauteur arrière minimale requise. Les tolérances de hauteur de queue dépendent principalement de la méthode d'installation et de l'épaisseur du litage. Par exemple, lors d'une pose flexible sur un lit de sable, si la couche de sable a une épaisseur de 7 cm ($\pm 1,5$ cm), la tolérance de hauteur de queue peut être supérieure à 15 mm. Des tolérances inférieures s'appliquent aux installations rigides ou semi-rigides. Nous vous recommandons donc d'établir cette tolérance avec votre fournisseur.

Ce facteur détermine principalement la capacité de la structure à résister aux charges (véhicules, camions).

E. Résistance à la compression: Il est recommandé d'utiliser des pavés d'une résistance d'au moins 60 MPa pour les ouvrages à trafic léger (jusqu'à 25 véhicules lourds par jour) et 120 MPa pour les ouvrages à trafic lourd de 150 véhicules par jour. / au fil des jours. Des normes de tests permettent de mesurer ce paramètre (EN 1926).

F. Résistance à l'abrasion et au polissage (usure) : Cette caractéristique de durabilité dépend de la quantité et du type de trafic, de la présence de particules abrasives et des conditions d'entretien. S'il existe une norme de test (EN 14157 – Test du Capon) permettant d'évaluer avec précision cette propriété, elle devrait également être appliquée aux matériaux de pavage recyclés en fonction de la manière dont ils ont résisté aux exigences de la première utilisation.

En général, le granit, le porphyre et le basalte conviennent à un usage fréquent et ont une meilleure résistance à l'usure que le grès ou le calcaire.

G. Résistance aux salissures Généralement, une porosité inférieure à 4 % est suffisante pour limiter les risques de contamination. Il est également possible d'identifier visuellement les niveaux de contamination dans les pavés recyclés en regardant la face visible des éléments non traités (coupés).

Des traitements de surface particuliers peuvent être préconisés pour améliorer ces performances.

4.2. Les pavés en béton

Un pavé en béton est défini selon la norme EN 1338 comme un élément préfabriqué en béton utilisé pour le dallage et répondant aux conditions suivantes : – À une distance de 50 mm de chaque bord, aucune section ne doit avoir une dimension horizontale inférieure à 50 mm, – La longueur du trottoir divisée par son épaisseur n'est pas supérieure à 4.

Les pavés roulés par des véhicules légers ou lourds doivent avoir au moins 6 ou 8 cm d'épaisseur. (4)

Certains articles qui ne peuvent pas être roulés ont une épaisseur inférieure à 6 cm

4.2.1. type de pavés en béton : Le pavé en béton peut être : (5)

- autobloquant
- classique
- moulé
- drainant

A. Les pavés autobloquants et classiques

Ils sont qualifiés de « routiers » et utilisent un système de pose emboîtable en forme de S pour créer des X, des H, des T, des I et même des doubles T au-dessus des voies réservées aux véhicules. Cette forme permet une installation facile et rapide tout en assurant une excellente durabilité à long terme.



Figure I.2 : Les pavés autobloquants

B. Les pavés en béton moulé ne conviennent pas aux allées.

C'est un matériau esthétique aux designs inhabituels et est prisé pour l'aménagement des trottoirs et des pistes cyclables.



Figure I.3 : Les pavés en béton moulé

C. Le revêtement drainant:

également connu sous le nom de « revêtement perméable », est une nécessité urbaine qui permet à l'eau de s'infiltrer dans le sol.

Une chaussée drainante limite donc le remplissage et le débordement des égouts lors de fortes pluies.

Il existe quatre types de revêtements drainants :

- Poreux, l'eau peut pénétrer dans les pavés sans en altérer la matière.
- ouvertures avec encoches pour assurer l'écoulement de l'eau.
- à gazon Ce pavé possède une surface en nid d'abeille qui permet le passage de l'eau dans le sol, mais possède également une surface en gazon
- à écarteur, Equipé d'une entretoise et d'un grand joint qui permet à l'eau de s'écouler.
avec pelouse permettant une structure luxuriante.



Figure I.4 : Le pavé de drainant

4.2.2. Caractéristiques de pave en béton

4.2.2.1. Caractéristiques mécaniques (6) :

Un pavé doit répondre aux exigences suivantes au moment où le fabricant le déclare apte à l'emploi (par exemple 7 ou 28 jours après la fabrication) :

A. Résistance aux agressions climatiques (durabilité) :

La durabilité est déterminée par l'absorption d'eau et la résistance aux sels de gel/antigivrage.

Ces deux propriétés sont liées au compactage et à la porosité des chaussées en béton. On a deta

- Détermination de l'absorption d'eau totale
- Détermination de la résistance au gel/dégel en présence de sels de déverglaçage

B. Résistance à la rupture en traction par fendage Principe :

Le bloc est placé avec une bande de charge dans le sens longitudinal entre deux supports d'essai. Les supports se rapprochent à une vitesse constante de jusqu'à ce que le bloc tombe en panne (= se divise) à une certaine charge de rupture.

C. Résistance à l'abrasion:

Est mesurée à l'aide du test Capon (test du disque large) ou à l'aide du test Boehme. Principe du test du Chapon : Ce test est réalisé en ponçant le dessus d'un revêtement en béton pendant 60

secondes dans des conditions normées à l'aide d'un disque et d'un abrasif (oxyde d'aluminium fondu = corindon).

Après le test, la largeur de l'empreinte est mesurée. Plus la largeur est large, plus le s'use.

D. Résistance à la glissance Les pavés en béton ont une résistance au glissement (rugosité) suffisante à moins que toute la surface ne soit meulée et/ou polie pour obtenir une surface très lisse.

F. Conductivité thermique Si le pavé est destiné à contribuer aux performances thermiques de l'élément, le fabricant doit spécifier une conductivité thermique de à l'aide des données calculées de la norme EN 13369.

4.2.2.2. Caractéristiques visuelles

Le dessus du revêtement en béton doit être exempt de défauts tels que fissures et éclats.

Vous pouvez appliquer la couche supérieure sur la face visible pour un plus beau rendu. La coloration peut être réalisée selon les souhaits du client. Le mélange des granulats et du ciment donne aux pavés une teinte .

Il peut être grisâtre ou rougeâtre. Des colorants (additifs) peuvent être ajoutés au mélange pour colorer spécifiquement la couche supérieure du ou l'épaisseur des pavés (jaune, vert, bleu). (4)

4.2.3. Mise en œuvre des pavés :

Pour poser un trottoir, il est nécessaire de respecter la réglementation générale , qui est listée dans le texte de référence ci-dessous.

Par ailleurs, les règles de pose sont fixées dans le « Instructions de pose des pavés, dalles et bordures préfabriqués en béton ». (7) (8)

4.2.3.1. Réception des produits:

Pour les produits portant la marque NF ou soumis à une certification étrangère équivalente, la conformité du produit est déterminée par la classe de résistance prescrite et les autres exigences, le marquage, l'intégrité du produit et les quantités livrées. Garanti par validation.

Pour les produits ne portant pas la marque NF ou une certification étrangère équivalente, des tests de conformité des produits seront effectués sur des lots de produits stockés pour une utilisation sur chantier dans un lieu convenu entre l'acheteur et le fournisseur, et ce au préalable.

L'installation est réalisée selon la norme Annexe B de la NF EN 1340.

Rappelons que toutes les propriétés essentielles doivent être vérifiées, y compris la résistance au gel-dégel du , si nécessaire.

4.2.3.2. Préparation de la plateforme:

Le sol naturel doit répondre aux conditions suivantes :

- Pas de terre végétale dans les deux cas.
- Nivelez si nécessaire pour obtenir la hauteur et la pente souhaitées.

Les dimensions définitives de la plateforme doivent tenir compte de l'épaisseur de la fondation et de la couche superficielle après compactage.

- Si nécessaire, améliorer* la capacité portante du sol après compactage afin qu'elle corresponde à

4.2.3.3 Réalisation des assises :

Au moins la valeur prise en compte lors de la détermination des dimensions de la fondation.

Quelle que soit la solution retenue lors de la conception (tôle souple ou rigide), la tôle doit être fabriquée selon la technologie adaptée au matériau utilisé.

Dans l'application du Fascicule 29 du CCTG , l'acceptation de la base est déclarée par le maître d'œuvre selon les normes NF P 98-115 et NF P 98-150, la Norme NF P 98-170 ou Fascicule 28.

CCTG CCTG.

La pente de la couche de fondation doit correspondre à la pente du sol fini afin que l'épaisseur du litage soit constante (au moins 1 cm par mètre) pour faciliter l'évacuation des eaux de ruissellement.

4.2.3.4. Réalisation du revêtement:

Le comportement d'un revêtement sous l'influence de charges verticales et de forces horizontales est directement lié aux propriétés du revêtement et à sa mise en œuvre.

Compte tenu des forces horizontales (freinage, accélération, courbes, intersections, etc.), l'influence de la technologie d'installation est essentielle.

Vous devez être particulièrement prudent lorsque vous effectuez les étapes suivantes

- blocage des rives ,
- drainage,
- réalisation du lit de pose,
- pose des pavés ,
- appareillage des pavés ,
- réalisation des joints ,

- réalisation des points singuliers ,
- travail sous circulation;
- manipulation des pavés en béton sur chantier ,
- mise en service,

5. Les avantages et les inconvénients des pavés:

5.1. Les avantages des pavés: (9)

5.1.1. Au niveau de la fabrication:

Le pavage recouvert de béton de qualité de production ne nécessite pas l'utilisation de dérivés pétroliers coûteux.

Les pavés en béton peuvent être fabriqués partout où du ciment et des granulats sont disponibles.

De plus, l'énergie requise pour fabriquer des pavés est inférieure à l'énergie requise pour fabriquer d'autres types de matériaux de pavage.

Les dimensions de fabrication des pavés ont des tolérances très serrées.

Pour la France (NF P 98-303),

- épaisseur hors tout 3 mm,
- autres dimensions 2 mm,
- ajouts latéraux, différence entre valeurs théoriques et mesurées.

L'épaisseur doit être inférieure à 2 mm et maximale de 2 mm.

Au Québec (NQ 2624-120), l'épaisseur du pavage est de ± 3 mm, les autres dimensions sont de -1 mm et +3 mm.

5.1.2. Au niveau de la construction de la chaussée:

Le pavage peut être posé à la main ou à l'aide d'équipements généralement plus simples et moins coûteux que ceux requis pour le béton de ciment ou le béton bitumineux.

Contrairement au béton de ciment ou au béton bitumineux, la pose des pavés ne dépend pas de la température ambiante. par conséquent, la construction de routes revêtues peut s'étendre sur une période plus longue de l'année. la route sera ouverte à la circulation immédiatement après la fin des travaux. Ce n'est pas le cas des plafonds en béton.

Cependant, la pose de pavés prend plus de temps que la pose de béton bitumineux ou le coulage de béton en raison de la complexité de l'installation manuelle.

5.1.3. Au niveau de la chaussée en service:

Les routes pavées de pavés en béton présentent de nombreux avantages. Il est très adapté aux vitesses de circulation inférieures à 60 km/h et peut être construit pour résister à des forces verticales et horizontales très élevées (forces de freinage, forces d'accélération), notamment celles des gros véhicules.

Selon Samuels et Sharp (1984), de nombreuses études ont montré qu'à des vitesses inférieures à 60 km/h, les niveaux de bruit de la circulation produits par les routes pavées sont plus élevés que ceux produits par d'autres types de routes lorsque la surface de la route est sèche. qu'il est similaire au niveau de bruit de la circulation. Elle est considérablement réduite lorsque la chaussée est mouillée.

Les pavés en béton offrent des avantages esthétiques importants par rapport aux autres types de pavés grâce à leur variété de formes et de couleurs.

Cela signifie que la couleur peut être incorporée aux feux de circulation horizontaux (tels que les passages pour piétons) pendant la production.

- En toutes saisons, la déflexion du revêtement en béton bitumineux est inférieure à

C'est une route pavée. En revanche, la variation saisonnière de la déflexion d'une chaussée en asphalte est plus grande que celle d'une chaussée pavée.

- En été, le module élastique des revêtements en béton bitumineux est légèrement inférieur à celui des revêtements en pavé uni. En hiver, le module élastique des revêtements en asphalte est bien supérieur à celui des revêtements en pavé uni. Par contre, la variation saisonnière du module élastique d'un revêtement en béton bitumineux est cinq fois supérieure à la variation saisonnière du module élastique d'un revêtement en pavé uni.

5.1.4. Au niveau de la maintenance:

En général, les surfaces pavées ont une longue durée de vie. Cette durée de vie dépend essentiellement des performances des couches de base, de sous-base et d'infrastructure. Aux Pays-Bas, l'espérance de vie est estimée à 40 ans et la période moyenne de guérison est de 20 ans (Kellersmann, 1980). Lors du processus de reconstruction, 90 à 95 % des pavés pourront être réutilisés. De plus, les pavés peuvent être facilement soulevés et remplacés, ce qui rend l'entretien et l'accès aux services publics souterrains plus faciles et moins coûteux.

5.1. 5. Au niveau des coûts:

Réaliser des études comparatives avantages/coûts n'est pas chose facile. Cependant, les données disponibles permettent quelques comparaisons limitées :

Le coût initial de construction des revêtements en pierre européens est de 4 à 14 % plus élevé que celui des revêtements en béton bitumineux ; ses coûts d'entretien sont de 5 à 6 % et de 17 à 28 % inférieurs à ceux des autres types de revêtements flexibles à la fin du Xe et 30 ans respectivement (Rollings, 1979).

- Selon une étude de l'Australian Concrete Institute (1982), le coût initial de construction des revêtements en pavé uni est généralement inférieur à celui des revêtements en béton de ciment rigide lorsqu'ils sont conçus dans les mêmes conditions.

5.2. Les inconvénients des pavés:

Ruissellement de l'eau : Les surfaces pavées peuvent provoquer le ruissellement de l'eau au lieu d'être absorbée par le sol, provoquant des inondations et de l'érosion dans certaines zones. (10)

Effet d'îlot de chaleur : les surfaces pavées contribuent à l'effet d'îlot de chaleur urbain, dans lequel les zones urbaines sont nettement plus chaudes que les zones rurales environnantes, car les trottoirs et autres surfaces absorbent et rerradient la chaleur. (10)

Manque de perméabilité : Les surfaces pavées ne permettent pas à l'eau de pénétrer naturellement, ce qui peut nuire à la santé des plantes et des animaux à proximité. (11)

Coûts d'entretien : Les surfaces pavées nécessitent un entretien régulier, comme la réparation des fissures et des nids-de-poule, ce qui peut s'avérer coûteux au fil du temps.(11)

Impact environnemental : La fabrication et l'installation de matériaux de pavage tels que l'asphalte et le béton peuvent avoir des impacts environnementaux importants, notamment l'utilisation de ressources non renouvelables et la production de gaz à effet de serre. (11)

6. Conclusion:

Les pavés sont très prisés comme revêtement extérieur, offrant à la fois une fonctionnalité et une esthétique. Ils sont proposés dans divers matériaux et dimensions, offrant ainsi la possibilité de

sélectionner le type de pavé qui correspond le mieux à chaque projet. Les pavés en pierre naturelle et en béton sont deux alternatives très répandues, chacune présentant ses propres bénéfices et désavantages.



CHAPITRE II:

GENERALITES SUR le recyclage

1.Introduction

La préservation de l'environnement est devenue une préoccupation collective depuis le début des années 1990 (en particulier avec le sommet de la Terre en 1992), suscitant des débats à l'échelle mondiale. En effet, l'une de ces préoccupations est la multiplication des déchets en général, et plus spécifiquement des déchets plastiques, en raison de leurs impacts importants sur l'environnement et la santé humaine (épuisement des ressources, pollution, maladies, atteinte à la biodiversité, etc.). En cette période de sensibilisation à l'écologie croissante, le concept de recyclage est omniprésent dans le langage courant et les médias. Il est défini par le Trésor de la langue française comme l'ensemble des méthodes utilisées pour collecter les déchets urbains, industriels et agricoles, puis les restituer aux industriels qui peuvent les réutiliser. Il est perçu comme une approche complexe pour la préservation de l'environnement, visant à restreindre la consommation de matières premières et à diminuer la quantité de déchets. Il serait préférable d'adopter un système qui permet de réutiliser les mêmes matériaux dans le matériau suivant et de produire des biens réutilisables

2. Définitions de recyclage:

Il y a de nombreuses définitions du recyclage dans la littérature. Le processus de recyclage consiste à convertir des matériaux anciens en nouveaux produits, afin d'éviter le gaspillage de matériaux potentiellement importants. Un autre sens du recyclage est le recyclage, qui implique de prendre un produit ou un matériau à la fin de sa durée de vie et de le convertir en matière première utilisable pour la fabrication d'un autre produit. consiste à traiter les déchets industriels et les déchets ménagers afin de réintroduire les matériaux qui constituent un produit dans le processus de production. La façon dont un produit est éliminé à la fin de sa vie est fortement liée à sa conception. Par conséquent, il est nécessaire d'analyser et/ou d'évaluer le produit pour sa qualité. Dès le début de son cycle de vie, c'est-à-dire lors de la phase de conception, il est possible de recycler. Certaines variables, comme la disponibilité des technologies de traitement des matériaux, les frais de recyclage ou la rentabilité de certaines méthodes d'élimination en fin de vie, sont clairement prises en compte. vie, sont imprévisibles au stade de la conception ; cependant, certaines prédictions peuvent être faites. Les hypothèses de base doivent être telles que la facilité de démontage, l'évitement de l'utilisation de matériaux nocifs et la compatibilité des matériaux pour le recyclage. . Le recyclage a une contribution importante à la diminution des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et

par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. . L'Alliance mondiale pour les alternatives aux incinérateurs a déclaré que le recyclage permet d'économiser trois ou cinq fois l'énergie générée par les usines de valorisation énergétique des déchets, même sans compter l'énergie gaspillée dans les matériaux brûlés. (13)



Figure II.1 : Recyclage des déchets

3. Type De Recyclage:

Trois principales formes de recyclage existent : chimique, mécanique et organique. (14).

3.1. Le recyclage chimique :

Il s'agit d'une méthode qui permet de gérer les déchets en les divisant en divers éléments. Il permet la dissociation des composants et la création de "monomères". Le polyéthylène téréphtalate et le polychlorure de vinyle sont des produits chimiques qui permettent de dissocier les monomères des colorants, des additifs, etc. Ce processus chimique offre la possibilité de transformer de multiples déchets industriels ou quotidiens, y compris les déchets nocifs. Ces eaux ne sont pas extraites des nappes phréatiques, mais sont traitées sur le site afin d'être réutilisées. Le recyclage chimique constitue ainsi une alternative au recyclage mécanique. Toutefois, l'essor du recyclage chimique soulève de nombreuses polémiques en raison de la manipulation de substances chimiques. cela peut causer des accidents sérieux. En outre, le processus de recyclage chimique ne présente pas une empreinte carbone neutre, ce qui entrave la démarche écologique.

3.2. Le recyclage mécanique:

Il s'agit principalement de transformer les déchets plastiques ou métalliques en petits éléments réutilisables grâce à des machines. Grâce à cette méthode, les usines de recyclage peuvent exploiter différents déchets, comme les emballages recyclables et les bouteilles en plastique. Toutefois, en fonction de la nature des déchets, le recyclage mécanique peut ne pas être adéquat. Par exemple, certains matériaux plastiques ne peuvent pas être transformés en matériau utilisable dans les processus industriels. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de réaliser une collecte sélective des déchets avec rigueur. En outre, les matériaux recyclés ont un cycle de vie relativement court ; ils ne peuvent être recyclés de cette façon que deux ou trois fois au maximum. Or, le secteur du recyclage mécanique est l'un des plus importants. Les plus avancées et performantes à l'échelle mondiale.

3.3. Le recyclage organique:

Il s'agit d'une méthode qui permet de générer des engrais ou du carburant, tels que le biogaz, après avoir été compostés ou fermentés. Il est possible que vous ayez déjà entendu parler du recyclage organique sous un autre nom : le compostage. Ce processus est aussi étroitement lié à notre régime alimentaire! Dans les grandes villes, on trouve de plus en plus de bacs de compostage et il sera bientôt courant de séparer les déchets organiques lors du tri des déchets. L'intérêt du recyclage organique réside dans la qualité des déchets qu'il produit : ils renferment des résidus indispensables à la vie. Ils peuvent être réutilisés par d'autres plantes ou animaux dans le cycle de la vie en les restituant à la terre. Le processus de recyclage organique ne requiert aucune intervention humaine, car il s'agit d'un processus entièrement naturel.

4. Les avantages et les inconvénients De Recyclage:

4.1. Les avantages de Recyclage:

4.1.1. Lutter contre la pollution:

De plus, le recyclage contribue à diminuer l'usage de l'énergie, les déchets solides municipaux et la production de dioxyde de carbone (CO₂), de NO_x et de SO₂. **(19)**

Puisque 1 tonne de plastique recyclé permet d'économiser 800 kg de pétrole brut. La préservation de l'environnement en réduisant les émissions de déchets plastiques. Cela est généralement favorable aux espèces aquatiques. **(20)**

Cela favorise la préservation des ressources, la diminution des déchets, la création d'emplois et l'investissement dans les matières premières. **(21)**

4.1.2.Économiser de l'énergie:

Environ 8 % de la consommation de pétrole est produite en plastique. Produire de l'essence.

Environ 830 litres de pétrole peuvent être économisés en recyclant une tonne de bouteilles en plastique (soit plus de 3 barils de 430 m³). On tient également compte de la consommation de gaz naturel d'un habitant pendant 14 mois et de la consommation d'énergie d'un habitant pendant 14 mois. En outre, la consommation d'eau d'un résident pendant une période de 2 mois est incluse. **(19)**

On peut économiser environ 8 kg de bauxite et 4 kg de produits chimiques en recyclant un kilogramme d'aluminium. En outre, cela permet aussi de réaliser une économie de 14 kilowatts d'électricité.

La réutilisation de certains déchets comme le plastique, l'aluminium et le papier permet d'éviter l'utilisation de nouvelles ressources potentielles. Les moyens naturels de produire des produits à partir de zéro. Ainsi, le recyclage offre aux fabricants la possibilité de reconditionner des produits en utilisant moins d'énergie. En effet, en moyenne, la production de produits à partir de matériaux recyclés est inférieure de 30 % à celle de nouveaux produits fabriqués à partir de zéro. **(21)**

IV.1.3. Préservation des ressources:

En raison de la diminution de l'utilisation de matières premières et de l'amélioration de la préservation de la couche d'ozone, car moins de matières premières seront utilisées. Certaines substances nocives seront détruites. **(20)**

4.1.4. Faire des économies:

L'aluminium est entièrement recyclable ; 1 kg d'aluminium équivaut à 1 kg. Chaque tonne de carton recyclé représente une économie importante, équivalente à 2,5 tonnes d'arbres. Chaque feuille

de papier recyclé permet de faire des économies d'eau et d'électricité de 2,5 watts, ainsi que de bois de 15 g. **(21)**

Réutilisation des déchets pour la fabrication de matériaux innovants.- Offrir aux décharges les espaces de stockage occupés par les déchets. **(20)**

4.2 .Inconvénients du recyclage:

Le tri sélectif joue un rôle crucial dans le processus de recyclage. Il est nécessaire de trier les déchets en fonction du mode de recyclage qui leur convient le mieux. Pour améliorer l'efficacité du tri, il est essentiel de sensibiliser les employés aux exigences du recyclage. **(20)**

Une nouvelle unité de recyclage des déchets doit être construite. Les dépenses impliquent l'acquisition de divers véhicules utilitaires, la gestion des déchets et la fourniture d'eau. Quant à l'unité de recyclage, le recyclage présente également des risques pour la santé des individus.L'obligation de recycler ces déchets.

5. Les déchets :

5.1. Définition des déchets :

La quantité qui reste après l'utilisation d'un produit est appelée déchet (détritus, ordure, résidu, etc.). Ce mot s'applique aujourd'hui à tout objet ou substance qui a subi une transformation physique ou chimique ou qui ne peut être modifié. L'objectif principal de cette pratique est d'éliminer ou de recycler (parfois désigné comme recyclat) les déchets. D'après la loi algérienne N°01-19 du 12/12/2001, les déchets sont définis comme « tout résidu » provenant d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, y compris toute substance, matériau ou meuble abandonné ou destiné à être abandonné par son propriétaire **(15)**.



Figure II.2: la quantité de déchets laissés par les humains laissés dans la nature

5.2. Classification des déchets (15).

➤ **Les déchets ménagers et assimilés (DMA) :**

rassemble l'ensemble des déchets issus des foyers, ainsi que les déchets similaires issus des activités industrielles, commerciales, artisanales, etc. On considère ces déchets comme des déchets ménagers en raison de leur nature et de leur composition. **(16).**

➤ **Les déchets spéciaux (DS) :**

Ils sont issus des industries, de l'agriculture, des soins, des services et d'autres secteurs. Les déchets ménagers, les déchets assimilés et les déchets inertes se différencient par leur nature et la composition des matières qu'elles renferment. Il est possible de collecter, de transporter et de traiter les déchets spéciaux de la même façon que les déchets des ménages et assimilés, ainsi que les déchets inertes.

➤ **Les déchets spécifiques dangereux (DSD) :**

Il s'agit de déchets qui sont particulièrement dangereux en raison de leur composition ou de leurs caractéristiques. Les composés toxiques qu'ils renferment peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé publique et/ou sur l'écosystème.

➤ **Déchets de soins (DAS)**

Les déchets proviennent des interventions de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif en médecine humaine et vétérinaire(17)

➤ **Déchets inertes (DI):**

En décharge, tous les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines et des travaux de démolition, de construction ou de rénovation ne sont pas modifiés physiquement, chimiquement ou biologiquement et ne sont pas contaminés.

Toutefois, ils pourraient renfermer des substances dangereuses ou d'autres éléments qui peuvent causer des dommages à la santé et/ou à l'environnement. (18)

5.3. La gestion des déchets :

La gestion des déchets implique la collecte, le transport, le traitement (c'est-à-dire le traitement des déchets), et ainsi de suite. L'objectif de la réutilisation ou de l'élimination des déchets, principalement ceux engendrés par l'activité humaine, est de diminuer leur influence sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou le bien-être. Selon Pimienta et Remond (1997), la gestion des déchets tient compte de tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun ayant sa propre filière spécifique.

Environnement des déchets,

Différents principes de gestion des déchets existent, dont l'application diffère selon les pays ou les régions. Les stratégies prioritaires dans toutes les régions sont les suivantes (règle des trois R) :

- Réduire la quantité de ressources utilisées.
- Réutiliser les déchets lorsque cela est possible.
- Recycler les déchets.

5.4. Définitions Les déchets plastiques

Les déchets plastiques sont principalement issus des déchets domestiques (bouteilles, flacons, films, etc.), des industries (emballages, déchets de l'industrie plastique, broyage automobile, démolition) et des industries agricoles (films de serre, petits tunnels, paillage, enrubannage, ensilage, bâches noires).

Différentes catégories de plastiques sont établies. Environ 80 % des plastiques produits sont composés de thermoplastiques. La chaleur peut les ramollir et leur rendre leur rigidité en refroidissant.

Ces matériaux plastiques sont réutilisés et renouvelés. Il existe :

- Déchets de polyéthylène à haute densité (PEHD).
- Produits recyclés en polyéthylène basse densité (PEBD).
- Polyéthylène téréphtalate (PET) :
- Détritus Détritus en polystyrène.PS,
- Déchets polychlorure de vinyle (PVC)
- Déchets polypropylène (PP)

La transformation irréversible des thermodurcissables comprend le polyuréthane et les polyesters insaturés.

Dans le cadre de la collecte sélective, la plupart des collectivités ou des entreprises responsables de la collecte ne sont acceptées que les emballages plastiques (en particulier les thermoplastiques qui permettent de recycler). Il est rare de collecter des films plastiques, par exemple, même si des filières de recyclage existent, mais elles sont peu développées et coûteuses. (22)

5.4.1. Type de déchets plastiques :

a. Déchets plastiques industriels:

Les déchets de production et de transformation comprennent l'ensemble des déchets générés par les processus de fabrication des résines (principalement provenant de la découverte) et par la transformation des résines en objets dans les sites pétrochimiques. Les déchets résiduels Les interruptions du processus de polymérisation sont causées par les purges. La déclassation des réacteurs et des lots. Leur particularité réside dans leur niveau de pollution élevé, voire inexistant. En grande partie, nous disposons des polymères. Le rayonnement est élevé (PE, PP, PS et PVC). En ce qui concerne les déchets transformés, ils sont générés lors de toutes les opérations de plasturgie qui permettent de produire des produits. En fin de compte (extrusion, injection, soufflage, calandrage) (23)

b. Les déchets plastiques de post-consommation:

On retrouve principalement des déchets agricoles tels que des films, des sacs et des liens, ainsi que des bidons de produits phytosanitaires. Ce gisement se distingue par sa nature, c'est-à-dire ses niveaux de contamination (terre, cailloux) et de pollution.

c. Les déchets commerciaux ou de distribution:

En général, il s'agit de produits industriels et commerciaux, qui sont souvent des emballages industriels et commerciaux.

Le niveau de qualité est élevé. Des fûts, des bidons, des sacs de grande capacité et des conteneurs sont également disponibles.

L'industrie chimique, l'agroalimentaire, le bâtiment et les travaux particuliers utilisent ces emballages pour emballer et transporter différents autres produits. (24) (21)

d. Les déchets électriques et électroniques:

Ce gisement provient du secteur de l'ensemble des produits électriques. Les outils électroniques comprennent des ordinateurs, des téléphones, des appareils électroménagers et des câbles. Parmi d'autres types. (25) (22)

e. Les déchets ménagers:

Ils sont principalement composés d'emballages. Les principales matières utilisées dans ce gisement sont le PET (bouteilles de boissons gazeuses, eaux minérales,...), le PEHD (bouteilles de lait, produits lessiviels,...), le PEBD (sacs d'emballage) et le PVC (bouteilles d'eau minérale,...). (24)

f. Les déchets du bâtiment et des travaux publics:

Ils sont issus de l'huissierie, des tuyaux, des revêtements de sols, des profilés de fenêtre, des conduits électriques, des câbles et des mousses d'isolation. Les mélanges de ces matériaux sont extrêmement intenses et leur niveau de pollution est fréquemment élevé. L'ensemble des plastiques est représenté par les déchets de véhicules de transport. (25)

g. Déchets plastiques agricoles:

Ce sont surtout des films, des sacs, des fûts et des bidons qui contiennent des pesticides. Ce gisement est caractérisé par une forte contamination (sol, pierres) et une forte contamination. Les polyoléfines sont principalement utilisées (LDPE, HDPE, PP). (25)

5.4.2. Domaine D'utilisation déchets plastiques:

Les plastiques sont utilisés dans de nombreuses applications et utilisations. Certains produits en plastique, comme les emballages alimentaires, se transforment en déchets immédiatement après leur acquisition. Il est possible de réutiliser d'autres articles en plastique à plusieurs reprises. Le recyclage est une alternative plus bénéfique que la réutilisation des plastiques.

La consommation réduite d'énergie et de ressources peut présenter de nombreux bénéfices.

En génie civil, l'intégration de matériaux recyclés dans la composition des hourdis vise à améliorer leurs caractéristiques mécaniques et physiques, entre autres. Amélioration de la performance du béton à l'âge précoce et réduction du taux de vide dans le squelette granulaire.

a. Domaines d'applications du (PET) recyclé:

Les principales utilisations du PET provenant de ce recyclage et liées aux bouteilles post-consommation sont principalement utilisées pour fabriquer des fibres courtes utilisées pour rembourrer des vêtements ou isoler les espaces.

On développe également d'autres applications :

- Les bouteilles multicouches pour des applications alimentaires.
- Les fibres longues pour le textile.
- Des feuilles et des plaques spécialement conçues pour le thermoformage.
- Des pièces utilisées dans le domaine de l'électronique et de la cuisine.

Toutefois, l'ensemble de ces applications ne permet pas de mettre en valeur tous les déchets de PET. De plus, de nombreuses recherches sont menées afin de découvrir de nouvelles méthodes de recyclage des matières. Les caractéristiques moléculaires et les propriétés du PET sont fortement influencées par son utilisation. (26)

b. Domaines d'applications du (PP) recyclé :

Le recyclage du (PP) est employé afin de créer de nouveaux produits en fonction de la couleur et de la quantité disponible. Le même type d'objets est souvent refabriqué par les industriels : bouteille, emballage en plastique, polystyrène, sac en plastique, etc. (26)

c. Domaines d'applications du (PEHD) recyclé :

Cependant, il est possible d'associer le matériau à d'autres matières pour créer de nouveaux objets avec des caractéristiques différentes. Par exemple, il est utilisé en combinaison avec le polyéthylène haute densité - PEHD - code 02 du symbole plastique, pour fabriquer des tuyaux ou des mandrins résistants. (27)

d. Domaines d'applications du (PVC) recyclé:

Il est recommandé de recycler le PVC dans les revêtements de sol, les panneaux et les gouttières en bordure de route, pour ne citer que quelques exemples. (28)

e. Domaines d'applications du (PEBD) recyclé

les plastiques (PEBD) sont de plus en plus acceptés dans les programmes de recyclage, mais il reste encore assez compliqué de les recycler. Le recyclage du PEBD est utilisé pour fabriquer des produits tels que des poubelles, des panneaux, des meubles, des revêtements de sol et du film à bulles.. (28)

f. Domaines d'applications du (PS) recyclé

PS (polystyrène) Toutefois, il n'est pas certain car le polystyrène est réputé pour sa capacité à disperser des substances chimiques nocives, notamment lorsqu'il est chauffé, et pour sa faible capacité de recyclage. Il est généralement jeté, même si certains programmes de recyclage peuvent l'accepter. On reconvertit le PS en différents produits, tels que l'isolation, les fournitures scolaires et l'encadrement de la plaque d'immatriculation. (28)

5.4.3. Valorisation des déchets plastiques

Il est possible d'obtenir des produits de haute qualité pour remplacer des objets fabriqués à partir de polymères vierges en utilisant des déchets plastiques purs. Il convient de distinguer les produits recyclés qui ont les mêmes fonctions que les produits d'origine (par exemple : de la bouteille à la bouteille) de ceux qui n'en ont pas. qui utilisent différentes technologies (par exemple : de la bouteille aux fibres plastiques). Le recyclage représente un avantage écologique par rapport à la production de matériaux vierges. (29)

5.4.3.1. Valorisation énergétique:

Les déchets plastiques doivent être incinérés pour récupérer l'énergie qu'ils renferment sous forme de chaleur. Les matériaux plastiques issus du pétrole présentent une capacité calorifique équivalente. Ce procédé permet d'utiliser une grande partie des déchets plastiques pour le recyclage. Toutefois, en cas de mauvaise gestion, il peut représenter des dangers considérables pour l'environnement et la santé humaine en raison de l'émission de dioxines et de HAP, des substances cancérigènes présentes dans les feux. (30)

5.4.3.2. Valorisation mécanique.

Le recyclage mécanique est la méthode la plus fréquemment employée pour le recyclage du plastique. Une fois consommé, un plastique est converti en un nouveau produit ayant des caractéristiques physiques, mécaniques et/ou chimiques plus faibles. Cela nécessite généralement plusieurs étapes, comme la collecte, le tri, le lavage et le broyage, selon l'origine et la composition du plastique. Après avoir été séparés, les plastiques sont soumis à une opération de moulage appelée extrusion afin d'obtenir de nouvelles formes et une nouvelle utilisation, généralement sous forme de fibres textiles. Il convient de souligner que le processus de recyclage mécanique peut provoquer une détérioration et une réduction de la uniformité du plastique, ce qui peut modifier ses caractéristiques physico-chimiques. Si vous en avez besoin. (31)

5.4.3.3. Valorisation chimique:

La transformation de la matière plastique en molécules de base (polymères, esters...) est utilisée pour la synthèse d'une nouvelle matière plastique ou pour la pétrochimie. Les résines plastiques sont encore limitées ou peu développées grâce à ces technologies. Elles ne sont employées qu'en Afrique du Nord et en Afrique subsaharienne.








L'hydrolyse est une décomposition chimique et la pyrolyse est une décomposition thermique. Le PET est un polytéréphtalate. Le polyester insaturé, utilisé dans les baignoires, les coques de bateau et les panneaux, peut être modifié chimiquement pour obtenir du polyester thermodurcissable. d'auto-

extérieur. (32)

5.4.4. Les symboles du recyclage sur les emballages plastiques:

En règle générale, la majorité des contenants en plastique peuvent être réutilisés, mais il est important de prendre en compte la nature du plastique lorsque nous les achetons ou les recyclons. C'est pourquoi il est nécessaire de suivre le logo présent sur l'emballage lui-même. Que ce soit dans un flacon, une bouteille, une barquette alimentaire, etc. Certaines classifications de matières plastiques en fonction de leur capacité à être recyclées ont été identifiées et sont présentées ci-dessous.

Tableau II.1 Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables

| N° de recyclage | Abréviations | Nom du polymère | Utilisation |
|---|--------------|---|--|
|  | PETE ou PET | Polyéthylène téréphtalate | Recyclable pour produire des bouteilles de limonade, des plateaux de traiteur et de boulangerie, des vêtements, des tapis, des pinceaux, etc. |
|  | HDPE ou PEHD | Polyéthylène haute densité | Recyclable pour produire des bouteilles, sacs à provisions, poubelles, tuyaux agricoles, sous-tasses, barrières, équipement de terrains de jeu, bûches plastiques, Conteneur d'acide (le PEHD est un plastique qui résiste aux acides) |
|  | PVC | Polychlorure de vinyle | Recyclable pour produire des tuyaux, des profilés pour la construction (fenêtres, lames de terrasses, portails...) des grillages et des bouteilles non-alimentaires. |
|  | LDPE ou PEBD | Polyéthylène basse densité | Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastiques. |
|  | PP | Polypropylène | Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géo-textiles et industrielles. |
|  | PS | Polystyrène | Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéo et boîtiers, et panneaux isolants. |
|  | OTHER | Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon Le code SPI 7 est utilisé pour tous les plastiques ne faisant pas partie des 6 autres types. Malgré leur inclusion dans des articles populaires tels que les lunettes de soleil, les boîtiers d'ordinateur, le nylon, les disques compacts et les biberons, ces plastiques contiennent le bisphénol-A chimique toxique. Non seulement ils sont dangereux, mais ces types de plastiques sont également extrêmement difficiles à recycler car ils ne se décomposent pas facilement. | |

5.4.5. Les Etapes de recyclage des déchets plastiques:

- **Etape 01 : Tri :**

Pour recycler les emballages en plastique, nous trions les déchets plastiques chez nous et les déposés.

Toutes les bouteilles et flacons en plastique sont stockées dans le bac ou le conteneur de tri sélectif, ainsi que les pots de yaourts, les barquettes de légumes, les sacs et les films plastiques, si la commune participe déjà à l'extension.

Les consignes de tri sont données. Par la suite, les déchets collectés sont déplacés dans un camion vers le centre de tri. **(33)**



FigureII.3 : Le tri des déchets plastiques

- **Etape 02 : Centre de tri:**

Après avoir atteint un centre de tri, il est primordial de réaliser le recyclage des emballages en plastique.

Ils sont ensuite classés par grande famille, tels que le polyéthylène téréphtalate (PET), le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS) et le polypropylène (PP), etc. Une fois choisis de cette façon,

Les emballages en plastique sont aplatis afin de créer d'énormes cubes, connus sous le nom de balles.

De cette manière, ces produits sont compactés et prêts à être transportés vers une usine de régénération et de recyclage. (33)



Figure II.4: Balles de plastique.

- **Etape 03 : Broyage, lavage et séchage:**

Une fois que les déchets plastiques ont été collectés et triés, ils sont broyés et transformés en paillettes.

On lave les produits à chaud. Il est nécessaire de sécher entièrement les paillettes. Si il y a une humidité résiduelle, cela peut influencer la qualité du produit final. (34)



Figure II.5: Broyage plastique et lavage des déchets plastiques

- **Etape 04 : Fonte et le filtrage**



FigureII.6 : Extrudeuse pour plastique recyclé

On place les paillettes séchées dans une extrudeuse où la chaleur et la pression contribuent à la fusion du plastique. Tous les plastiques possèdent un point de fusion spécifique. Par la suite, le plastique éclaté débute la procédure d'extrusion.

Il y a une extrusion en cours. Son utilisation implique de le faire fondre dans une machine afin d'obtenir des joncs qui seront ensuite ajoutés. Par la suite, les joncs sont mis à refroidir dans l'eau, puis divisés en granulés. Par la suite, les granulés sont déplacés vers des usines de recyclage pour entamer une nouvelle existence. **(33)**

5.5. Déchets de brique :

Le but de cette section est de présenter quelques données concernant les déchets de brique que nous avons utilisés.

Il s'agit de briquillons, de chamotte ou de brique concassée. En raison de leur utilisation sporadique, il n'existe pas de renseignements sur ces matériaux et leur utilisation en tant que granulats du déchet de brique et céramique béton, bien que leur matière première soit universelle. En quantité considérable, leur production en quantités considérables.

En Algérie, les informations disponibles montrent qu'il n'existe quasiment aucune étude sur ces matériaux.

Les briquillons sont des briques fragmentées, généralement issues de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques. La chamotte est une brique cuite, broyée ou concassée. **(35)**



Figure II.7: Déchets de brique

5.5.1. Définitions De brique:

Les briques sont des produits céramiques fabriqués à partir d'argile ou d'additifs. On les emploie fréquemment dans la réalisation de bâtiments et de travaux publics. Quant à d'autres matériaux, il s'agit d'un des plus anciens matériaux de construction.

Les dépliants des fournisseurs et des fabricants indiquent de plus en plus de briques pour les cheminées, les barbecues et les fours. Elles seront constituées de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans des proportions variées selon leur utilisation. En plus de sa résistance à la chaleur, la brique a aussi la capacité de transmettre la chaleur. La convection joue un rôle crucial dans la réussite de la brique. (36)

5.5.2. Types de brique :

5.5.2.1. Selon Leur Utilisation : (37)

- **Face brique.** Ce sont les briques de parement qui sont employées pour l'aménagement extérieur d'un espace de construction. Un exemple de brique de parement consiste à découper le fil de brique : Ces briques sont fabriquées en utilisant des briques pour leur parement. Crées avec de

l'argile, obtenez une texture, puis coupez-la avec du fil. Elles sont donc moins coûteuses à fabriquer en quantités importantes. On peut trouver ces produits dans différentes teintes et textures.

- **Briques de construction.** Les briques utilisées pour la construction sont les plus prisées. Elles sont largement utilisées pour la construction de murs et de déchets de brique et de céramique, mais pas pour les extérieurs, pour éviter les textures et les couleurs variées. Elles sont solides et solides.
- **Briques vernissées :** Briques à vernis à face vitrée (en céramique généralement). Ces blocs sont spécialement conçus pour les hôpitaux, les laboratoires, les laiteries et autres structures où la préservation des conditions sanitaires revêt une grande importance.

5.5.2.2. Selon leur forme :

- **Briques pleines :** Classique, brique pleine de 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur). Toujours employée, il s'agit de murs porteurs de grande qualité. La construction des éléments visibles (façades) est réalisée en utilisant un mortier de joints épais de 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et de 1 cm pour les joints verticaux.
- **Briques perforées et blocs perfores :** La construction de maçonnerie en briques perforées présente une grande résistance à la compression et offre une isolation légèrement supérieure à celle de la brique unie. Les briques subissent un traitement sur une face afin de créer une surface à la fois esthétique et solide. Grâce aux blocs perforés, il est possible d'obtenir l'intégralité de l'épaisseur du mur en un seul élément, ce qui permet d'accroître la résistance à la compression et de faciliter leur installation.
- **Briques creuses :** Les briques creuses sont beaucoup plus légères et plus massives. Ce sont des produits ouverts aux deux extrémités, avec des cloisonnements intérieurs longitudinaux sur toute leur longueur. Ce type de maçonnerie est généralement employé dans les lieux où elle est enduite ou crépissée. Des maisons individuelles peuvent être construites ou recouvertes pour les séparations intérieures de bâtiments.

Deux types de brique creuse C sont identifiés : les briques à faces de pose continues, montées avec des joints de mortier horizontaux continus.

RJ : brique qui présente une rupture de joint pour améliorer la résistance thermique du mur.

5.5.3. Les caractéristiques physico-chimiques de la brique: (38)

Selon le Manuel de sensibilisation (2006), les briques cuites contiennent des argiles. Il existe différentes teintes : les illitiques (marron gris à rouge), les kaoliniques et les bravaistiques (orange à rose). Des objets métalliques sont également présents dans la pâte argileuse. Ces composés dits « réfractaires » se fusionnent à un degré bien supérieur à celui de la température des fours à brique (800° à 1000°) : la silice (SiO₂) et l'aluminium (Al₂O₃). Voici les renseignements requis. Les colorants jouent un rôle essentiel dans la couleur principale de la brique.

- L'oxyde de fer.
- Le titane oxydé.
- Le manganèse oxydé.

Les fondateurs sont également de deux types.

- Les composés oxydants (oxyde de sodium et de potassium)
- Les oxydes de chaux et de magnésie (alcalino-terreux)

5.5.4. Le déchet de brique rouge Dans le béton:

Les déchets de brique rouge peuvent être concassés pour obtenir des granulats. Il est employé du béton léger : (39)

- Le béton est utilisé comme semelle de fondation, mur de cave et matériau de construction, avec un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m³ et une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg/cm². Il possède une grande résistance à la pression et à la flexion. Il présente un faible coefficient de retrait, une faible conductibilité thermique et un faible coefficient de dilatation.
- Il faut que les parois soient isolées et poreuses. Le poids spécifique des parpaings et des carrelages varie de 1000 à 1600 kg/m³. Leur résistance à l'écrasement varie de 20 à 30 kg/cm². La résistance à la traction est de 5 à 10 kg/cm², les coefficients de retrait sont de 0,20 à 0,30 mm et la conductibilité thermique est faible.

- Un groupe mono-granulaire de 1/3 mm de taille. La fabrication de bétons poreux à partir de déchets de brique rouge permet d'obtenir une isolation thermique efficace.
- Le béton armé (damé) est utilisé pour les fondations massives, les fondations de murs et le béton de remplissage.
- L'amélioration des voies sur les ponts à faible densité.
- La mise en place de structures routières, en tant que matériau de remblaiement et en tant qu'aménagement paysager.
- Le béton à base de brique présente une excellente résistance au feu. Le béton traditionnel ne peut généralement pas supporter des températures supérieures à 300°C.
- Les bétons résistants sont capables de résister à des températures élevées et à certaines corrosions chimiques qui sont utilisées pour des structures exposées à des températures élevées, telles que les cheminées, les revêtements de chaudières, les sols d'usines sidérurgiques et les carreaux de cheminées.

Selon Barkat Abderezak (2006), les sources des briqueteries révèlent que les déchets de brique peuvent parfois être utilisés de manière occasionnelle dans des zones locales telles que : **(40)**

- 1- Structures en béton.
- 2- Chapes en ciment mortier.
- 3- Étanchéité : pente utilisée pour isoler le toit.
- 4- Restauration de meubles anciens.
- 5- Le revêtement en béton réfractaire est utilisé pour les wagons de brique.

5.5.5. Valorisation des déchets de brique:

Le sort des débris de briques, qui représentent l'essentiel des déchets et des débris de construction, est peu connu. D'un autre côté, les débris de briques peuvent être considérés comme des éléments recyclables pour des matériaux comme la maçonnerie. D'autre part, il n'existe pratiquement pas de documents réglementaires concernant la fabrication et l'utilisation de granulats à partir de moellons de briques. **(41)**

La méthode de recyclage matière consiste à traiter les déchets pour les réintégrer dans le cycle économique. Cela englobe la réutilisation, l'utilisation, la récupération et le recyclage des matériaux. (42)

Depuis plus de dix ans, le recyclage des briques provenant des chantiers de démolition est une réalité. À l'heure actuelle, plus de 95 % des déchets de construction sont réutilisés.. Dans les usines de concassage, les briques sont converties en granulats et sont employées pour la construction des fondations. À une échelle plus petite, certaines entreprises de démolition retirent et récupèrent le mortier des briques. Par la suite, il peut être réemployé dans des travaux de restauration ou de nouvelles constructions afin de leur conférer une certaine identité. Bien que le recours aux briques et aux tuiles soit actuellement restreint, une expansion est prévue dans le cadre de la démolition ciblée de bâtiments. (43)

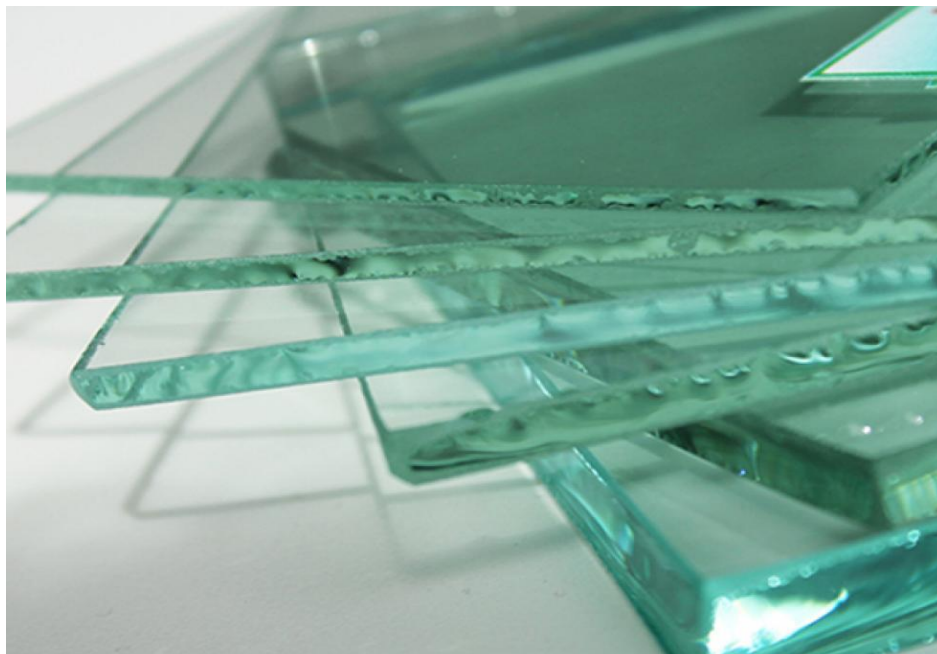
5.6. Déchets verre :

Étant donné les gonflements qu'elle provoque, la réaction pouzzolanique est avantageuse. Chaque année, on recueille des millions de tonnes de verre, qui peut être transformé en matériaux de déconstruction. Les granulats (plus de 4 mm) et les poudres (moins de 4 mm) sont les deux formes principales utilisées. On substitue les graves à béton par des granulats ayant une résistance moindre. Des poudres, du sable et du ciment sont utilisés comme matières premières pour remplacer les mortiers.

5.6.1. Définition du verre :

Il n'y a pas une seule définition du verre, mais il y a de nombreuses définitions en fonction de critères fonctionnels, structurels ou opérationnels. D'après ces normes, on peut définir le verre de la manière suivante : Le verre offre une solidité, une transparence, une uniformité, une casse et une résistance au feu. En présence de tous les liquides, il s'agit d'un solide amorphe, aussi connu sous le nom d'état solide amorphe, qui montre un phénomène de transition vitreuse. Selon Zarzycki (1982), l'état physique correspondant est l'état vitré. (44)

Selon Jalasi (2012), le verre est un solide dont la structure est désordonnée et sans ordre à longue distance, à la différence des cristaux qui se distinguent par leur structure, leur périodicité et leur disposition tridimensionnelle (présence d'un réseau cristallin).



FigureII.8 : le verre

5.6.2. Les différents types de verre:

Le mélange est chauffé jusqu'au point de fusion (environ 1500°C) afin d'obtenir l'état final du verre. Par la suite, nous le réfrigérons et le modifions. Il existe différents types de verre qui peuvent être fabriqués en fonction de diverses utilisations et de la technique employée. Parmi les différents produits verriers, on peut identifier :

- Le produit de base, c'est-à-dire le verre silicaté sodocalcique obtenu à l'exportation, sans aucun autre traitement après avoir été retiré du four.
- Les produits de base spécifiques, c'est-à-dire les produits verriers extraits du four, qui doivent être transformés ultérieurement. Ils ne sont pas du verre sodocalcique-silice. Excusez-moi, mais je ne peux pas vérifier un document sans avoir fourni de texte. Je vous prie de me fournir le texte que vous souhaitez que je corrige, et je serai ravi de vous aider. avec la grammaire..

- Les produits transformés, c'est-à-dire les produits obtenus après la transformation de produits de base ou de produits de base spéciaux, qui génèrent de nouveaux produits de diverses qualités . (45)

5.6.3. Propriétés du verre:

5.6.3.1. Les principales propriétés physiques du verre :

La transparence du verre est extrême, mais il peut aussi être opaque ou opalescent.

- La résistance : Les matériaux qui rendent le verre plus dur que 6,5 (quartz, corindon, diamant...). Le plus rigide est le verre de Bohême, tandis que le cristal est plus doux. D'après l'échelle de Mohs, la dureté des verres varie de 4,5 à 7.

- La densité : La densité varie en fonction des éléments et s'élève à environ 2,5. Cela équivaut à deux tonnes et demie pour un mètre cube, ou à 2,5 kg pour une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur.

La cassure du verre est associée à sa capacité à se fléchir et à sa résistance aux chocs. D'autre part, il est très résistant à la compression : il est nécessaire d'avoir une: La pression requise pour briser un centimètre cube de verre est de 10 tonnes. - L'imperméabilité : Le verre présente une élevée porosité, mais il reste poreux à certains liquides tels que l'érosène ; on dit qu'il "sue".(46)

5.6.3.2. Les principales propriétés chimiques du verre :

- L'eau interagit avec les silicates, qui se décomposent en un dépôt, qui devient peu à peu opaque. Ainsi, la transparence du verre est réduite.

- L'effet de l'air : Les silicates alcalins se mélangent à l'acide carbonique de l'air, ce qui crée un dépôt blanchâtre à la surface du verre.

- L'échange de la lumière : L'exposition aux ultraviolets peut entraîner la coloration ou la décoloration de certains types de verre.

La silice est décomposée par les acides, et l'acide fluorhydrique est particulièrement efficace car il permet de graver en profondeur le verre plaqué. Il est donc envisageable de dissoudre le verre. (47)

5.6.3.3. Les principales propriétés thermiques du verre :

- Le verre présente une résistance à la dilatation, ce qui le rend sensible aux changements de température brusques. Effectivement, le verre ne se réchauffe pas de façon homogène, ce qui peut entraîner des fissures. Cependant, son faible coefficient de dilatation permet à la laine de verre d'être largement employée comme isolant thermique. En outre, ses coefficients de dilatation sont comparables à ceux de certains métaux, ce qui facilite la réalisation de soudures entre le verre et le métal. Toutefois, ce coefficient diffère selon la composition du verre. (48)

- La conductivité : le verre présente une conductivité médiocre (environ 500 fois inférieure à celle du cuivre), ce qui en fait un isolant électrique de qualité. En outre, selon son épaisseur., Il peut aussi servir d'isolant acoustique efficace. Toutefois, il est important de souligner que cette caractéristique ne peut pas être conservée à des températures élevées, car le verre devient conducteur à partir de 250°C. (49)

5.6.4. Le processus de recyclage de verre :(50)

. Avant d'être recyclé, le verre utilisé dans les emballages domestiques doit subir plusieurs étapes de transformation.

*** Etape 01 : Pré-tri.** Le consommateur effectue le premier tri en déposant le verre dans les conteneurs locaux fournis par les communes, mais ces derniers ne sont pas disponibles en Algérie.

*** Etape 02 : Collecte:**

Des camions à benne sont utilisés pour déverser les conteneurs locaux et les emmener au centre de traitement. Le verre est préalablement classé manuellement afin de retirer les objets volumineux susceptibles d'être mélangés

*** Etape 03 : Tri et conditionnement :**

Le verre traverse toute la chaîne de tri au centre d'usinage :

Les métaux ferreux ou non ferreux (acier, aluminium...) sont éliminés par le tri mécanique.

Les matières transmissibles sont identifiées et extraites grâce au tri optique laser.

Le soufflage permet d'extraire des matériaux légers tels que le liège et le papier. - Le verre est ensuite broyé et calibré selon les normes des fabricants de verre afin de produire des emballages en verre.

*** Etape 04 : Transformation Le recyclage du verre** est acheminé vers les verreries où il est fondu et produit de nouveaux contenants en verre.

Bientôt, un nouveau classement permettra de distinguer le verre coloré du verre incolore, ce qui retardera la production de nouveaux récipients de couleur claire. (51)

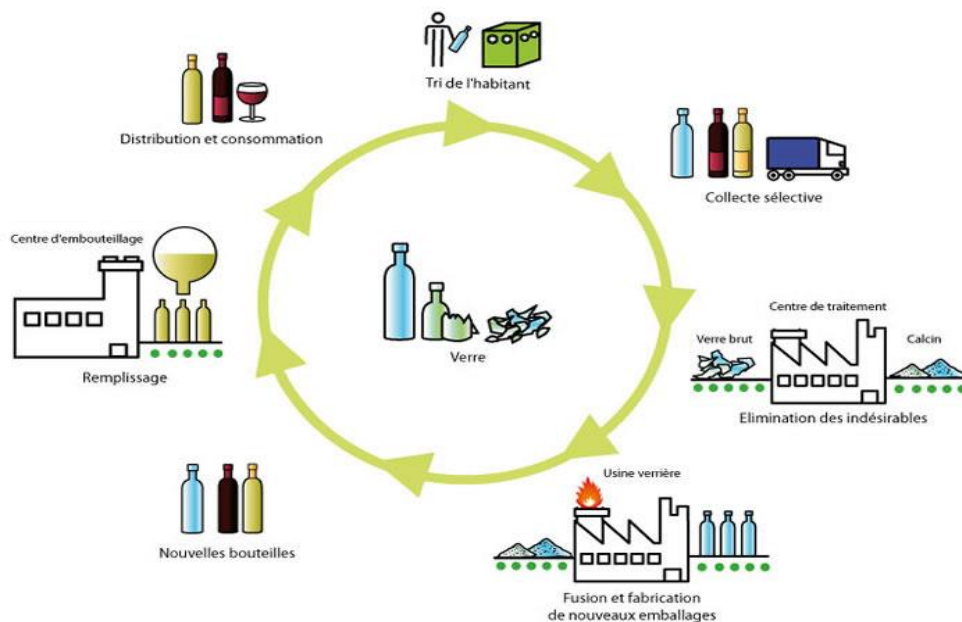


Figure II.9: cycle de recyclage du verre

5.6.5. Utilisation du verre en génie civil

(Glasphalt) : Il est possible d'utiliser des déchets de verre dans les routes plutôt que du gravier ou des petits cailloux mélangés à quelques pourcentages. Ce type d'industrie a été largement utilisé en

Amérique et a démontré une grande réussite en matière de conservation de la température, ainsi que de résistance au glissement sur la route. Le matériel de réparation est composé de verre et d'huile usée, avec du ciment. Il est utilisé pour réaliser des travaux sur la route ou pour remplir les trous et les ébauches de forage, ainsi que pour les ébauches au-dessus de la route. (52)

5.6.6. Valorisations de poudre de verre dans génie civil

La poudre de verre est une alternative au ciment de couleur blanche. Elle est réalisée à la suite de la collecte et du broyage des morceaux de verre coloré. En raison de sa forte concentration en silice amorphe SiO_2 , il possède des caractéristiques pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour générer d'autres hydrates. (53)

Le verre en poudre est un matériau pouzzolanique qui peut être incorporé dans le béton, le mortier ou la pâte de ciment. Les matériaux pouzzolaniques sont des matériaux naturels ou fabriqués à partir de silice active (amorphe), qui présentent des caractéristiques de liaison lorsqu'ils sont en contact avec l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en présence d'eau et à des températures normales. L'hydroxyde de calcium est l'un des résultats de l'interaction entre le ciment et l'eau. (54)

5.6.7. Les avantages et les inconvénients du matériau verre :

5.6.7.1. Les avantages

A. Santé

- Le verre est réalisé intégralement à partir de matériaux naturels tels que le sable, le calcaire et la soude. Cette matière est pure et imperméable, ce qui évite la fixation des bactéries et facilite le nettoyage (Kouame et Koffi, 2009).

- Le verre empêche la consommation de nourriture. Il empêche la propagation des odeurs ou des saveurs, ce qui garantit que les caractéristiques organoleptiques de l'aliment demeurent intactes. Il peut être utilisé pour l'emballage de boissons comme le champagne, le cidre et la bière, car il est étanche au gaz et peut supporter une pression interne élevée. Selon Kouame et Koffi (2009), le seul matériau qui entre en contact avec les aliments est généralement considéré comme sûr par la Food and Drug Administration des États-Unis.

B. Environnement

- Les ustensiles en verre peuvent être utilisés dans un four ou un micro-ondes traditionnel en raison de leur transparence aux micro-ondes (Kouame et Koffi, 2009).
- Les récipients en verre ont reçu la note la plus élevée dans la catégorie santé des matériaux grâce à Cradle to Cradle Certified™, un programme mondialement renommé qui évalue les produits en fonction de leur durabilité

C. Economie

Le verre suscite les sensations. Cela est magnifique et symbolique, établissant un lien émotionnel avec les clients grâce à leur toucher, leur vision et leur son. Les bénéfices pour la santé et l'environnement du verre incitent les marques et les familles à opter pour des emballages en verre(55)

5.6.7.2. Les inconvénients :

Plusieurs inconvénients peuvent être présents par rapport à l'utilisation du verre.

- Le verre est un matériau sensible qui a un coût initial élevé, ce qui entraîne des frais supplémentaires lors du transport et de l'installation. Le verre présente un autre désavantage : il a tendance à s'usurer sur les surfaces fréquemment utilisées, telles que les plans de travail et les tables. Ce matériau peut être légèrement rayé. Ainsi, il est essentiel de s'assurer que la zone où vous installez la surface vitrée ne présente aucun danger.

6. conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la notion de recyclage, son intérêt par rapport à l'industrie et plus précisément le génie-civil.

CHAPITRE III:

Matériaux et Méthode

1. Introduction :

Le but de Ce travail à étudier la possibilité d'utiliser différents types de déchets trouvés dans notre environnement (plastiques,debris des briques,le verre et polysterene) pour fabrication d'une nouvelle type de pavés ainsi que l'influence de la proportion des déchets utilisés sur les caractéristiques mécaniques et physiques de ces nouveaux composantes matériaux .

Les matériaux utilisés dans cette étude ont un rôle très important dans la détermination des propriétés de ces nouveaux pavés . En premier lieu , nous jugeons utile et nécessaire de déterminer leurs différentes caractéristiques .

2. Conception et réalisation du moule :

Nous expliquerons comment concevoir un moule spécial pour le moulage de plastique de dimensions (20 cm x 20 cm×8cm), réalisé spécifiquement pour cette étude avec une grande précision.

2.1. Mode de fabrication :

Nous choisissons à cet effet une plaque métallique d'une épaisseur de 5 cm, adaptée pour Résistance à la pression et à la chaleur 220 (degrés Celsius) grâce au plastique fondu à l'intérieur du moule en fer



Figure III.1: Photographie numérique montrant la plaque métallique

2.2. Les Étapes de fabrication du moule:

La fabrication de ce moule passe par trois étapes

2.2. 1. Processus de cisaillement :

- Nous choisissons une plaque métallique d'une épaisseur de 5 cm à des fins d'étude et de bonne conception.
 - Découpe de la tôle en plusieurs morceaux de tailles différentes à l'aide d'une cisaille à fer
 - Nous obtenons 18 pièces démontées dont les dimensions sont les suivantes
- Deux pièces (10 cm x 20 cm) Deux pièces (10 cm x 25 cm)
 - Quatre pièces (5 cm x 17 cm) Quatre pièces Sa forme est trapézoïdale (15 cm x 17 cm×1.8 cm)
 - Deux carrés de surface carrée (15 cm x 15 cm) et un autre (25cm x 25cm)
 - Quatre pièces de fer plat(2.5cm×2.5cm)



Figure III.2: Photographie numérique montrant la machine de cisaillement

2.2.2. Processus de pliage :

- Nous ajustons la plieuse en fonction de l'épaisseur de la tôle pour obtenir l'angle souhaité



Figure III.3: Photographie numérique montrant la machine plieuse



Figure III.4 : Photographie numérique montrant le réglage de l'angle

- Pliez quatre parties à une distance de 2 cm sur un côté de 10 cm de largeur selon un angle de 90 degrés
- pour les deux pièces de dimensions (10 cm x 20 cm) et les deux pièces de dimensions (10 cm x 25 cm) à l'aide d'une plieuse à pression.



FigureIII.5 : Photographie numérique montrant les pièces obtenues après le processus de pliage

2.2. 3. Mode d'assemblage final :

La conception et la réalisation du moule pour les pavés sont divisées en deux étapes :

A. la première étape: Étape d'assemblage par soudure:

On soude quatre petites pièces de fer plat (2.5cm×2.5cm) au niveau des deux petites pièces de forme géométrique « L ».



FigureIII.6 : Photographie numérique montrant le fer plat soudé dans le côté de moule

- Assemblage des quatre pièces de dimensions (5 cm x 17 cm) ensemble par soudure pour former un cube de dimensions extérieures de (17 cm x 17 cm x 5 cm)



FigureIII.7 : Photographie numérique montrant la réalisation de la forme cubique par soudure

- Souder la plaque des mesures de (15 cm x 15 cm) Avec quatre petites pièces en forme géométrique de trapèze de dimensions (15 cm x 17 cm x 1,8 cm), cet assemblage forme une taille de trapèze. On assemble cette taille de trapèze avec le cube par soudure par larc



FigureIII.8 : Photographie numérique montrant l'assemblage de la forme cubique avec la forme de taille trapèze.

- On place ce dernier au milieu d'une plaque métallique carrée dont les dimensions sont (25 cm x 25 cm) et on le soude ensemble pour former une seule pièce.



Figure III.9: Photographie numérique montrant l'assemblage de la forme cubique avec la plaque (25×25)

B. Deuxième étape : assemblage mécanique

Le processus d'assemblage mécanique s'effectue en deux étapes : fraisage et le montage par les boulons

- Fraisage : Assemblage des quatre pièces en forme de « L » sur le bord de la base du moule. On fait des trous sur le côté des pièces latérales et des trous au niveau de la base pour pouvoir ouvrir et fermer le moule, d'où le diamètre de. les trous sont de 8 mm



(A)

(B)

Figure III.10 : (A) et (B) deux Photographies numérique montrant le fraisage

- **Montage par les boulons:** On prend douze boulons (vis +écrous) et on les installe au niveau des trous spécialement prévus à cet effet, puis on les ferme bien à l'aide des clé n°13.



Figure III.11: Photographie numérique montrant la forme finale du moule

2.3. Matériel et méthodologie expérimentale:

2.3. 1. Matériel utilisé:

Le matériel utilisé pour les matières premières et le matériel utilisé dans cette étude sont présentés comme suit :

- **sable Fin**
- **Pour le moulage de plastique par compression :**
 - Dechets de plastique en PEHD (cagettes)
 - Cuve métallique pour la fusion de plastique
 - Etuve électrique
 - Cric hydraulique
 - Moule métallique mesurantes (20cm×20cm×8cm)
- **Pour le broyage de brique et le verre :**
 - Debris de brique
 - Aparielle los angeles
 - verre brisé
 - Machine servant à concasser le verre
 - Plusieurs tamis
- **Pour la préparation de résine:**
 - Dechets de Polysterene
 - L'essence
 - Plaque chauffante
 - Mixeur
 - Assiette cubique



FigureIII.12 : Photographies numériques montrant le matériel utilisé

(A) : La machine Los Angeles

(B): moule 20×20×8 .

(C) : Machine servant à concasser.

2.3.2. Caractérisation des matériaux:

- **Sable** : Toutes nos expérimentations sont réalisées uniquement avec le sable provenant des dunes de Biskra . Les caractéristiques principales requises pour un bon sable sont la propreté définie par la méthode par tamisage a été préconisée pour tamiser (tamis de 1 mm) le sable de Biskra après séchage .
- **Plastique**: Les plastiques utilisés pour l'expérimentation (cagette broyée) provenant d'une entreprise des emballages de plastique localisé dans wilaya de Biskra
- **Polystyrène** : Le polystyrène PSE (polystyrène expansé) a été collecté dans les magasins vendant des appareils électroménagers
- **Le verre** : a été collecté dans des ateliers de menuiserie de verre, où le verre brisé a été collecté



Figure III.13 : le verre brisé

- **Le brique** : Des déchets de briques ont été collectés à côté de l' Usine de briques rouges d'Al-Amouri –Biskra



Figure III.14: Photographie numérique montrant les Briques cassées

2.3.3. Méthode utilisée (Description du procédé):

La valorisation des déchets pour la fabrication des pavés se fait en plusieurs phases suivant une méthodologie bien structurée les différentes phases de fabrications des pavés se font selon les étapes suivantes :

2.3.3.1 Pour le moulage de plastique par compression :

➤ **1^{er} phase: preparation du mélange:**

La collecte des déchets plastiques (cagette broyé) est suivie par leur purification (enlever les étiquettes ; déchiqueter et compacter les déchets plastiques ; stocker dans un endroit propre et sec).



Figure III.15: Photographies numériques montrant (A): Cagette broyé. (B):cagette broyé dans un Cuve métallique .

➤ **2^{ème} phase : chauffage:**

Après avoir chauffé la cuve pendant une durée de (environ 5 minutes), les déchets plastiques sont triés et broyés, puis la cuve remplie de plastique est remise au four pendant 30 minutes jusqu'à ce que la pâte devienne plastique.



Figure III.16 : Photographie numérique montrant la fusion du plastique

➤ **Phase 3 : Malaxage et de moulage :**

La pâte homogène obtenue après une période de 30 minutes à une température de 220 degrés Celsius est immédiatement soumise au moulage. La pâte obtenue est coulée dans un moule métallique mesurant (20 cm x 20 cm x 8 cm). . Lorsque la pâte est comprimée avec une presse hydraulique, la pâte prend la forme du moule et durcit.



FigureIII.17 : Photographies numériques montrant (D) : Moulage de mélange dans le moule .
(E) : compression par cric hydraulique

➤ **Phase 4 : Refroidissement et démoulage:**

Le plastique injecté dans le moule métallique est ensuite laissé refroidir à l'air libre après 30minutes, puis le moule est démonté



FigureIII.18 : Photographies numériques montrant (F):Démoulage le moule avec des clés . (G):
boîte en plastique

2.3.3.2. Le broyage de brique et le verre :

➤ Le verre :

En utilisant la rectifieuse de verre, nous récupérons les fragments de verre brisé provenant des déchets des ateliers de menuiserie verrière. Un mélange de diverses tailles et diamètres de verre est obtenu.

La granulométrie est étudiée à l'aide de trois tamis de diamètres variés (0,5 mm, 1 mm et 3,15 mm).



Figure III.19: Le verre obtenu après le processus d'analyse granulométrique

➤ Le brique:

Les fragments de briques rouges cassées obtenus ont été placés à l'intérieur de la machine de Los Angeles, puis nous avons placé onze boules de fer à l'intérieur de la machine et l'avons fermée avec fermeté. Pendant 15 minutes, nous mettons en marche la machine, puis nous l'ouvrons et la vidons dans la plaque de fer afin de voir la présence de différentes tailles et formes de diamètres variés.

La granulométrie est analysée à l'aide de deux tamis de diamètres différents (0,5mm et 1mm).



Figure III.20 : brique rouge obtenue après le processus d'analyse granulométrique

➤ **La Résine:**

Au début de la préparation du polymère, nous commençons par mesurer le poids du polystyrène et la quantité de benzène requise, avec un rapport de 40 % et de 60 % entre le polystyrène et le benzène.

Après avoir placé l'essence dans un bol, nous ajoutons le polystyrène dans le bol d'essence, ce qui entraîne la dissolution du polystyrène dans l'essence. Après cette dissolution, nous agitions le mélange et le mettons à une température assez élevée pour former le polymère.



Figure III.21: préparation de la résine

2.3.3.3. matérialisation de prototype:

Avant de réaliser l'unité de pavage en matériaux recyclés, nous effectuons trois opérations, à savoir :

- **La première étape:** Après la préparation des matières premières recyclées, constituées de résidus de briques rouges et de verre, nous préparons la matière polymère (résine). Ensuite, nous préparons la base en plastique déjà équipée. Nous fabriquons un moule pour couler le couvercle ou la face supérieure de l'unité de pavage (le produit), qui est de forme carrée comme indiqué dans le schéma.
- **Deuxième étape :** Après avoir préparé le moule destiné à fabriquer le couvercle, nous préparons le mortier composé de résidus de sable fin provenant des briques rouges et de verre recyclés, mélangés à la matière polymère (résine). Nous mélangeons bien le mortier pendant environ 3 minutes pour qu'il devienne homogène, puis nous le versons dans le moule prévu pour le couvercle, en veillant à ce qu'il soit bien nivelé. Nous le laissons sécher et durcir pendant une certaine période jusqu'à ce qu'il prenne la forme du moule
- **Troisième étape:** Une fois le couvercle retiré et solidifié, nous entamons la construction de l'unité de pavage (pavé). La base est remplie de sable jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine hauteur, puis le couvercle est placé sur le sable de manière à ce qu'il soit au même niveau que les bords de la base en plastique.



Figure III.22: prototype pavé 20x20x8

3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit le processus de fabrication de notre pavé ainsi que les méthodes et techniques appliquées et aussi le matériel utilisé.

Nous avons pu réaliser un pavé avec le recyclage de déchets industriels ce pavé est par conséquent un produit non nuisant et ami à la nature.

Il est essentiel de recycler les déchets de construction afin de diminuer l'empreinte écologique du secteur et de préserver les ressources naturelles. En dépit des difficultés techniques, la création de filières appropriées et de technologies qui intègrent la viabilité économique permettra d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des matériaux recyclés dans la fabrication de pavés.

CHAPITRE VI: TEST DES PROPRIETES MECANIQUES

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les divers matériaux étudiés ainsi que les techniques utilisées pour évaluer leur structure mécanique. Les déchets recyclables de plastique sont largement disponibles, comme mentionné dans le chapitre II. L'objectif de cette section de l'étude est la caractérisation mécanique des matériaux utilisés.

Nous avons utilisé plusieurs méthodes pour analyser la structure et les propriétés mécaniques des matériaux sélectionnés. Les essais mécaniques effectués comprennent la traction, la compression et la flexion. Ces tests nous permettent de déterminer des paramètres clés tels que la résistance à la rupture, le module d'élasticité et la résilience des matériaux.

Ces approches nous ont fourni une compréhension approfondie des performances mécaniques du plastique recyclé, mettant en lumière leurs caractéristiques distinctes et leurs applications potentielles dans divers secteurs industriels. Cette étude constitue une base solide pour l'optimisation future de ces matériaux en vue de leur utilisation durable et efficace dans des applications réelles.

2. Propriétés mécaniques

Les essais mécaniques les plus fréquemment utilisés sont les essais de traction, de compression et de flexion à trois points. Ces essais mécaniques ont été réalisés à l'aide d'une machine universelle de type TEST, pilotée par un ordinateur, pour déterminer les caractéristiques mécaniques du plastique recyclé pour les utilisés dans notre projet.

Lors de l'essai de traction, les échantillons sont soumis à une force de traction jusqu'à ce qu'ils se rompent, ce qui permet de mesurer la résistance à la rupture et le module d'élasticité. L'essai de compression, quant à lui, consiste à appliquer une force de compression sur les échantillons pour évaluer leur capacité à résister à des charges compressives. Enfin, l'essai de flexion à trois points implique l'application d'une force au centre de l'échantillon, soutenu à ses extrémités, pour déterminer sa résistance à la flexion et sa rigidité.

Ces essais permettent de caractériser les propriétés mécaniques essentielles des matériaux étudiés, fournissant ainsi des informations cruciales pour leur utilisation dans des applications structurales



FigureIV.1 : Machine universelle de type TEST

2.1. Essai de traction du plastique recyclé :

Les éprouvettes de traction du plastique recyclé sont fixées aux têtes d'amarrage après avoir couvert la zone de fixation avec un ruban adhésif en papier pour éviter le glissement et l'écrasement de l'éprouvette (figure 2). La vitesse de l'essai est de 2 mm/min.

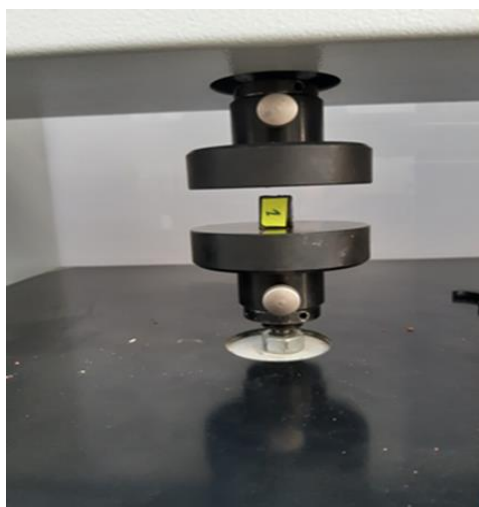
Cette précaution est essentielle pour garantir que les forces appliquées lors de l'essai sont correctement transmises aux éprouvettes sans causer de dommages ou de déplacements indésirables. La vitesse d'essai de 2 mm/min est choisie pour assurer une application uniforme et contrôlée de la force, permettant une mesure précise des propriétés mécaniques des matériaux.



Figure IV.2: Test de traction du plastiques recyclé

2.2. Essai de compression :

L'essai de compression a été effectué avec des éprouvettes en plastique recyclé selon la norme NF B51-007-ISO 3132-1975. La vitesse de l'essai est constante à 5 mm/min, comme illustré dans la figure, pour déterminer la courbe charge-déplacement et la charge de rupture de l'éprouvette. Cette norme précise les conditions et les méthodes de réalisation de l'essai de compression, assurant ainsi la reproductibilité et la fiabilité des résultats obtenus. La vitesse constante de 5 mm/min permet d'appliquer la force de manière régulière et contrôlée, facilitant l'analyse des propriétés mécaniques des matériaux étudiés.



FigureIV.3 : Test de compression plastiques recyclé

2.3. Essai de flexion trois points :

Le test de flexion statique s'effectue selon la norme **NF EN ISO 178**. La vitesse de l'essai est de 2 mm/min, comme illustré dans la figure 3. En exploitant les courbes charge-déplacement obtenues par l'essai de flexion trois points, on peut déterminer le module d'élasticité en flexion **E_f** conformément à la norme **NF T 51-001**.

Ces courbes charge-déplacement fournissent des informations essentielles sur le comportement des matériaux sous charge, permettant ainsi de calculer le module d'élasticité en flexion, qui est un indicateur clé de la rigidité et de la résistance des matériaux étudiés.



Figure IV.4: Test de flexion trois points du plastique recyclé

3. Résultats et discussion :

3.1. Essai de traction du plastique recyclé :

Les résultats obtenus de l'essai de traction sur les éprouvettes en de plastique recyclé sont présentés sous forme de courbes de contrainte-déformation (Figure 1)). Ces courbes montrent une partie linéaire relativement importante, suivie d'un domaine réduit où apparaît la non-linéarité.

Cette partie linéaire indique un comportement élastique du matériau, où la contrainte est proportionnelle à la déformation. Le domaine non-linéaire, plus restreint, correspond au comportement plastique du matériau, où des déformations permanentes se produisent avant la rupture. Ces observations sont essentielles pour comprendre les propriétés mécaniques pour évaluer son aptitude à diverses applications structurelles.

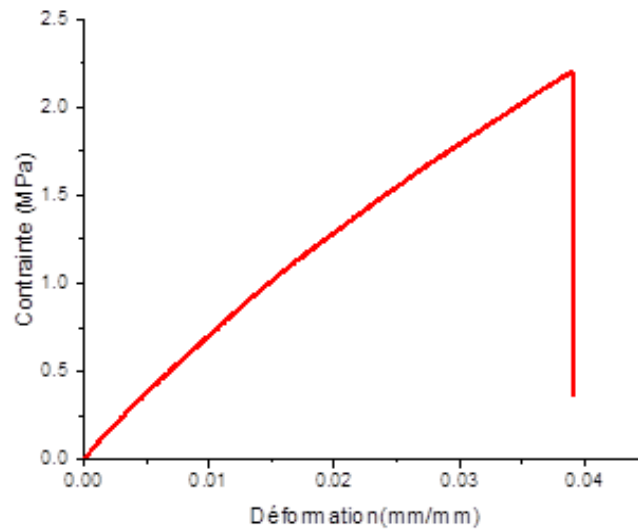


Figure IV.5: Résultats de l’essai de traction du plastique recyclé

Tableau IV.1 . Résultats de l’essai de traction.

| | σ_{\max} [MPa] | ϵ_{\max} [mm/mm] |
|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| Plastique recyclé | 2.23±0.52 | 0.04±0.005 |

3.2. Essai de compression du plastique recyclé :

Les courbes contrainte-déformation de la Figure II.29 issues des essais de compression des éprouvettes montrent le caractère anisotrope du matériau (BP) testé. Dans le domaine élastique, les éprouvettes conservent leur forme, que ce soit cubique pour le plastique. En effet, les propriétés mécaniques des deux matériaux sont présentées dans le Tableau II.5, obtenues à partir des courbes.

Ces courbes révèlent que les matériaux présentent des comportements différents selon la direction de la contrainte appliquée, mettant en évidence l'anisotropie du bois de rachis en particulier. Les propriétés mécaniques telles que le module d'élasticité et la résistance à la compression, extraites de ces courbes, sont essentielles pour évaluer la performance et la durabilité des matériaux dans des applications spécifiques.

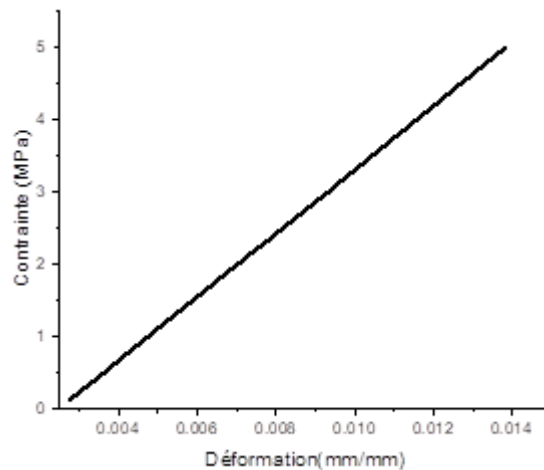


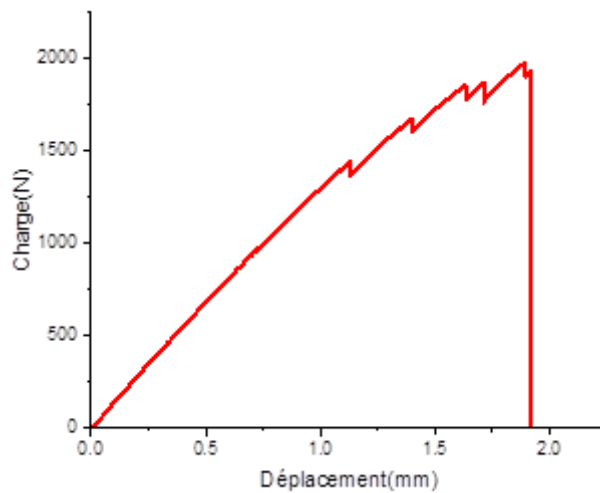
Figure IV.6: Résultats de l'essai de compression du plastique recyclé

Tableau IV.2 . Résultats de l'essai de compression.

| | σ_{\max} [MPa] | ϵ_{\max} [mm/mm] |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| Plastique recyclé | 4.98 ± 0.32 | 0.013 ± 0.006 |

3.3. Essai de flexion trois points du plastique recyclé :

Les résultats obtenus à partir des essais de flexion trois points sur les éprouvettes de plastique recyclé sont illustrés dans le graphe charge-déplacement de la Figure 3. Ce graphique montre la relation entre la charge appliquée et le déplacement enregistré pour chaque matériau. Pour les éprouvettes de bois de rachis, on peut observer une courbe typique indiquant une déformation progressive jusqu'à un point de rupture, tandis que la partie non linéaire de la courbe indique le début de la déformation plastique et des micro-fissures internes avant la rupture. En ce qui concerne les éprouvettes en plastique recyclé, le graphe charge-déplacement présente également une courbe spécifique. Cette courbe tend à montrer une plus grande élasticité initiale, suivie d'une déformation plastique plus prononcée avant la rupture. Les variations dans les courbes peuvent être attribuées à la nature hétérogène du plastique recyclé et aux propriétés de ses composants mélangés.



FigureIV.7 : Résultats de l’essai de compression du plastique recyclé

Tableau IV.3. Résultats de l’essai de compression.

| | Fmax [N] | d _{max} [mm] |
|-------------------|------------|-----------------------|
| Plastique recyclé | 1800±95.39 | 1.85±0.15 |

4.Conclusion :

Les résultats obtenus à travers ce chapitre ont permis d’identifier de manière approfondie les propriétés mécaniques du plastique recyclé à travers une série d’essais mécaniques comprenant la traction, la compression et la flexion. Ces analyses ont révélé des caractéristiques distinctes pour chaque matériau, fournissant des informations précieuses pour leur utilisation potentielle dans diverses applications industrielles.

Quant au plastique recyclé, les essais de traction ont révélé une élasticité initiale suivie d’une phase de déformation plastique avant la rupture, mettant en évidence sa capacité à absorber l’énergie et à maintenir des performances mécaniques même sous charge. En compression, le plastique recyclé a montré une résistance à l’écrasement variable en fonction de la composition des matériaux recyclés, soulignant l’impact de cette diversité sur ses propriétés mécaniques

En conclusion, les essais mécaniques réalisés dans ce chapitre ont enrichi notre compréhension des propriétés mécaniques du plastique recyclé. Ces connaissances sont essentielles pour guider le développement de nouveaux matériaux composites et optimiser leur utilisation dans des applications

industrielles spécifiques. Il serait bénéfique d'approfondir ces recherches en explorant d'autres aspects des matériaux, tels que leur comportement thermique et leur durabilité à long terme, afin de maximiser leur potentiel dans une économie circulaire et durable.

LES REFERENCES

- (1) Revêtements modulaires en pierre naturelle / Centre de recherches routières. – Bruxelles : CRR, 2018
- (2) CREABETON (2016) : Revêtements en béton. Données techniques de CréaBéton Matériaux. Document de cours. Université Pierre et Marie Curie. 52 p.
- (3) Interreg FCRBE REUSE TOOLKIT. Pavé en pierre naturelle,2021
- (4) Daniel LEVACHER, Essaieb HAMDI,Contribution à l'étude des sédiments marins tunisiens : cas des ports de Radès et de Gabès. PRES Université Lille Nord-de-France
- (5) <https://tpdemain.com/module/les-paves-en-beton/>
- (6) Henk Keymeulen,«Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution des revêtements en pavés de béton» Bruxelles : CRR, 2009
- (7) fascicule n° 29 du CCTG « Exécution des revête-ments de voiries et espaces publics en produitsmodulaires »;
- (8) NF P 98-335 « Mise en œuvre des pavés et dalles enbéton, des pavés en terre cuite et des pavés etdalles en pierre naturelle ».
- (9) Joseph TSAFACK,Détermination et optimisation des critères de conception d'une chaussée revêtude de pavés en béton. Université Laval,2004
- (10) Mairie de Vocance. Les vocancois tiennent "le haut du pavé"
- (11) Roel Uyttenbroeck , Séverin Hatt , Avantages et inconvénients des bandes fleuries pour les agriculteurs (synthèse bibliographique)
- (12) BENMESSAHEL Mahfoud & MESSAGUEM Fathi & KHAMEL Fateh. Effet des déchets minéraux sur le comportement des bétons polymères. 2023Université Mohamed BOUDIAFmsila
- (13) Ould Amara, M. (2020). *Management des entreprises de recyclage Cas de l'entreprise: ALUVERPLAS* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- (14) Miri Mohammed,Riadh Lekkouchi Ikram, Etude d'une ligne de recyclage du plastique, 2017Université Saad dahleb de Blida
- (15) AISSANI L. LACHI H. : « Valorisation des déchets dans le domaine de génie civil », Mémoire de master, Université A.MIRA-BEJAÏA-, 2020.
- (16) FOUZIA, H. and K. IMANE, L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des m ortiers. 2019, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA
- (17) Layada Samir, K.K., Etude et caractérisation d'un béton à base de recyclâts-Etat de l'Art. 2020
- (18) Bessad, L., Etude du comportement d'un mélange de calcaire et de déchets plastiques pour une valorisation dans la construction routière. 2020, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou

-
- (19) Buyck, M., Gestion des déchets plastiques et détection de micro-déchets plastiques en station d'épuration en Wallonie. 2018.
- (20) TERCHA, H., MÉMOIRE DE MASTER.
- (21) SAHRAOUI, M., et al., Le béton de sable à base de déchets de caoutchouc. 2015.
- (22) Turlan, T., Les déchets-2e éd.: Collecte, traitement, tri, recyclage. 2018: Dunod.
- (23) GUESMIA, A.B. and W. BENMADANI, Les impacts environnementaux des déchets plastiques. 2022, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- (24) BENZANNACHE, N., Caractérisation mécanique des bétons polymères à base de résine renforcés par des granulats. 2017.
- (25) Ikram, S., Etude et modélisation de l'effet de la poudre d'aluminium sur les propriétés des mortiers légers à base des granulats des déchets plastiques
- (26) ABDOUNE, A. and O.K. HADDAD, Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction. 2020, université Ahmed Draia-ADRAR
- (27) THOMAS, A., Recyclage du polypropylène (PP). Bretagne Énergie est un magazine d'informations sur l'environnement, Publié le 02/11/2021.
- (28) HAILEYESUS, D.N., DEVELOPMENT OF SHREDDER, MIXER, AND EXTRUDER TO FABRICATE COMPOSITE MATERIAL USING WASTE PLASTIC AND FINE SAND. 2021.
- (29) Madam, C.J.M.d.D.d.E.S.e.G.d.I.E.U.L.d.B., La valorisation des matières plastiques en fin de vie: Etat des lieux et propositions d'amélioration. 2003.
- (30) AMKHENFI, L. and H. KAROU, Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre. 2018, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira.
- (31) AHLEM, N., Effet du traitement des granulats plastiques et le type de sable sur les caractéristiques du mortier.
- (32) MESSAOUDI, K. and K. BOUREBAA, Elaboration et caractérisation physico-mécanique d'un matériau cimentaire à base de déchets de verre et plastique. 2022, université akli mohand oulhadj-bouira.
- (33) Bessad, L., Etude du comportement d'un mélange de calcaire et de déchets plastiques pour une valorisation dans la construction routière. 2020, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou
- (34) Djeflal, H. and Y. Youneschaouche, Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable Cas des entreprises de recyclage de la Wilaya de Tizi-Ouzou. 2017, Université Mouloud
- (35) BARKAT Abderezzak, "valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton", Mémoire MAGISTER en Génie Civil , 2006.
- (36) <https://www.citya.com/immobilier/nos-guides/neuf/les-differents-types-de-briques>
- (37) AREZKI née DJADOUF SAMIA « Thèse étude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite ».P :31.
- (38) la composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence. (A.N.D, 2015)
- (39) Kleinlogel A., "l'influence des divers élément physico - chimique sur les Bétons "édition Dunod, Paris, 1960, p. 75 140.

-
- (40) DJAKAM Imane," Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux ", Mémoire MAGISTER en Génie Civil , 2015/2016, p 20.
- (41) Senisna, Z., Contribution et l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques du corps de chaussée par l'ajout des déchets de brique en zone saharienne
- (42) Boulouza, O. and A. Grine, Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers. 2019, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira.
- (43) Boulouza, O. and A. Grine, Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers. 2019, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira.
- (44) ROUIBAH, N., VALORISATION DES RECYCLATS DANS LES REMBLAIS DES OUVRAGES GEOTECHNIQUE. 2021.
- (45) Selmani, K. M., & Sini, Z. (2021). *L'élaboration de la stratégie marketing industriel au sein des entreprises Algériennes Cas: l'ELECTRO-INDUSTRIE de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- (46) Note d'information technique 214 trimestriel –dépôt : Bruxelles X Issn 0528-4880- Classe de prix : A11 le verre et les produits verriers –les fonctions des vitrages Décembre 1999 une édition du Centre Scientifique et Technique de la Construction Trimestriel.
- (47) BENLARBI, M. H., & KAMEL, M. C. *Effet de remplacement partiel de ciment par poudre de verre ou charbon actif à base de noyau de datte sur les performances du mortier* (Doctoral dissertation, Université KASDI-MERBAH Ouargla).
- (48) BELABED Tayeb, B. T. (2022). Elaboration et étude des propriétés physico-chimiques du verre sodocalcique de l'industrie du verre MFG Algérie.
- (49) Coillot, D. (2010). *Développement du concept d'autocicatrisation pour le scellement à haute température de cellules électrochimiques* (Doctoral dissertation, Université Lille 1).
- (50) Selon P. Done (1971), le verre est inflammable et incombustible.
- (51) Oulbani Chaima, O. H. (2023). Le recyclage du verre et autres déchets urbains dans la wilaya de Guelma.
- (52) <https://www.paprec.com/-les> matieres que nous valorisons/verre
- (53) BOULIFA, M., & DEBABI, A. (2017). *Utilisation de poudre de verre dans le mortier* (Doctoral dissertation).
- (54) BOULIFA M ; DEBABI A. « Utilisation de poudre de verre dans le mortier » mémoire master Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- (55) <https://bouhoot.blogspot.com>
- (56) Oulbani Chaima, O. H. (2023). Le recyclage du verre et autres déchets urbains dans la wilaya de Guelma.