

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Gestion Durable des Déchets et Procédés de Traitement

Intitulé du mémoire

**PREPARATION D'UNE NOUVELLE GENERATION DE
PAVES A BASE DE DECHETS PLASTIQUES ET DU SABLE**

Présenté par :

M^{elle} MENAD Ryma

M^{elle} EL-AHCENE Hadjer

Encadré par :

Pr BOURAS Omar

Année Universitaire 2020/2021

Dédicaces

Avec un énorme plaisir et une immense joie, je dédie ce modeste travail à :

- *Mes parents les plus chers au monde, Papa et Maman, pour leurs soutiens, leurs patiences, leurs sacrifices et leurs amours. Qu'ALLAH le tout puissant les garde et les protégé.*
- *Mon très cher frère Toufik et ma très chère sœur Fériat pour leurs appuis et leurs encouragements.*
- *A mes chères cousines, sources de joie et de bonheur,*
- *A mon oncle Ahmed pour son aide et supports dans les moments difficiles.*
- *A toute ma famille,*
- *A mes chères amies Sabrina, Zakaria et Fériat en qui j'ai une confiance absolue.*
- *A mon binôme Hadjer et à toute sa famille*
- *A toute la Promotion GP 2021 (Puisse ALLAH vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

Ryma

Dédicaces

Avec un énorme plaisir et une immense joie, je dédie ce modeste travail à :

- *A mes chers parents Ahmed et Fatiha, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études,*
- *A ma chère sœur Aya, et mes chers frères Abd Elwahab et Abd Allah pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,*
- *A toutes mes amies Noussaiba, Soumia et Ryma, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués et le fruit de votre soutien infaillible.

Merci d'être toujours là pour moi.

Hadjer

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à ALLAH, le tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études.

En premier lieu, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Mr BOURAS Omar qui nous a apporté une aide précieuse.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères et chaleureux remerciements pour Mr KENAI Saïd pour son accueil dans son laboratoire géo matériaux du département génie civil.

Notre grande gratitude est dédiée aux ingénieurs du laboratoire géo matériaux Mr Abd El Kader et Madame AHLEM ainsi qu'à l'enseignante Mme BENTLEMCEN qui nous ont beaucoup aidé pour réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent également à toutes les personnes qui nous ont soutenus de près ou de loin.

Que les membres de jury qui nous feront l'honneur d'évaluer ce travail trouvent ici nos sincères considérations et remerciements.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation d'énormes quantités de déchets plastiques de type polymères thermoplastiques à base de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyéthylène à base densité (PEBD) issus du secteur de l'emballage.

Le but de ce travail est d'utiliser ces polymères comme agents liants pouvant substituer le ciment dans la fabrication des pavés. Cette valorisation pourrait donc, non seulement, réduire les grands volumes et masses des déchets plastiques non dégradables destinés à l'enfouissement, mais aussi, de protéger l'environnement. Plusieurs formulations (plastique / sable) ont été utilisées dans la fabrication des pavés après le tri des déchets plastiques et la caractérisation du sable utilisé.

Les pavés élaborés ont été soumis aux tests mécaniques (compression et flexion), à l'analyse physique (absorption d'eau, conductivité, porosité) et à la stabilité chimique (Effets de l'acide HCl et de la base NaOH sur les pavés élaborés).

Les résultats obtenus ont montré que la valorisation des plastiques pourrait constituer une solution alternative à la pollution environnementale. Leurs utilisations en tant qu'agents liants dans la fabrication des matériaux de construction et de pavés en mélanges avec les déchets plastiques pourraient concurrencer les pavés en bétons commercialisés.

المخلص

تشكل هذه الدراسة جزءاً من استعادة كميات هائلة من النفايات البلاستيكية القائمة على البولي إيثيلين تيريفثالات والبولي إيثيلين القائم على الكثافة أقل من نوع البوليمر الحراري الذي يشكل خزاناً وفيروساً بسبب استخدامه في قطاع التغليف.

ولذلك ، فإن الغرض من هذا العمل العلمي هو استخدام هذه البوليمرات كعوامل ملزمة يمكن أن تحل محل الإسمنت في صنع أرضيات الخرسانة . وبالتالي فإن هذا الانتعاش من شأنه أن يقلل من الأحجام والكتل الكبيرة من النفايات البلاستيكية غير القابلة للتحلل الموجهة إلى مدافن النفايات ويحمي قطاع العديد من التركيبات (البلاستيكية/الرملية) التي استخدمت في تصنيع الأحجار الممهدة بعد فرز النفايات البلاستيكية وتوصيف الرمال المستخدمة.

خضعت أرضيات الخرسانة لاختبارات ميكانيكية (الضغط والانحناء) ، والتحليل المادي (امتصاص المياه ، والتوصيل ، والمسامية) ، و (الاستقرار الكيميائي) (تأثير حمض الهيدروكربون و أساس NaOH على أرضيات الخرسانة).

قد أظهرت النتائج أن تحسين اللدائن يمكن أن يكون حلاً للتلوث البيئي. ويمكن أن يتنافس استخدامها كمثبتات في صنع مواد البناء وتمهيد الأحجار في مخاليط مع النفايات البلاستيكية مع أحجار أرضيات الخرسان.

Abstract:

This study is part of the recovery of huge quantities of plastic waste based on polyethylene terephthalate (PET) and density-based polyethylene (LDPE) of thermoplastic polymer type from the packaging sector.

The purpose of this scientific work is therefore to use these polymers as binding agents that can substitute cement in the manufacture of pavers. This recovery could therefore reduce the large volumes and masses of non-degradable plastic waste destined for landfill and protect the sector of Several formulations (plastic/ sand) were used in the manufacture of paving stones after sorting of plastic waste and characterization of the sand used.

The elaborate pavers were subjected to mechanical tests (compression and bending), physical analysis (water absorption, conductivity, porosity) and (chemical stability) (Effect of HCl acid and NaOH base on the elaborate pavers).

The results have shown that upgrading plastics could be a solution to environmental pollution. Their use as binders in the manufacture of building materials and paving stones in mixtures with plastic waste could compete with concrete paving stones.

Liste des figures

Figure I.1 : Pourcentage des quantités de déchets DMA générés en 2019.

Figure II.1 : Photographies numériques montrant le matériel utilisé.

Figure II.2 : photographie numérique montre : (A) sable d'oued souf (B) la série des tamis.

Figure II.3 : Photographies numériques montrant (A) : déchets plastique ; (B) : PET broyés.

Figure II.4 : Photographie numérique montrant la fusion du plastique.

Figure II.5 : photographies numériques montrant (A) : Etape de malaxage (B): Moulage de mélange dans le moule.

Figure II.6 : Photographies numériques montrant l'appareil d'essai mécanique.

FigureII.7 : Photographie numérique montrant la presse hydraulique utilisée dans les essais mécaniques (Flexion 3 points).

Figure II.8 : Photographies numériques montrant les appareils utilisés dans les tests d'absorption d'eau.

Figure II.9 : Photographies numériques montrant l'appareillage de mesure de la conductivité.

Figure II.10 : Photographies numériques montrant les tests chimiques utilisés.

Figure II.11 : Photographies numériques montrant le teste de la porosité.

Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable d'oued Souf.

FigureIII.2 : Histogrammes montrant la variation de la résistance en compression fonction du ratio sable/plastique.

Figure III.3 : Photographies numériques montrant le matériel utilisé.

Figure III.4 : Evolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la teneur en plastique.

Figure III.5 : Histogramme montrant l'évolution de la surface spécifique en fonction du ratio Sable/Plastique.

Figure III.6: Evolution de la conductivité thermique des pavés en fonction du ratio Sable/Plastique.

Figure III.7 : Histogramme montrant l'évolution de la porosité en fonction du ratio sable /plastique.

Figure III.8: Corrélation ente la résistance à la compression et la porosité.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Evolution du taux de génération de déchets (kg/hab./j (ratio) en Algérie.

Tableau I.2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables.

Tableau I.3 : Caractéristiques de pavés en fonction du Classe de trafic.

Tableau I.4 : Résistance mécaniques et absorption d'eau en fonction du trafic.

Tableau II.1 : Propriétés mécaniques et thermiques des plastiques utilisés.

Tableau II.2 : Ratio (sable/plastique) utilisés.

Tableau II.3 : Temps moyen des différents essais de fabrication des pavés.

Tableau III.1 : Propriétés physiques du sable (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1.

Tableau III.2 : Résultats de la compression et flexion des différents échantillons étudiés.

Tableau III.3 : Taux d'absorption d'eau par essai.

Tableau III.4 : Résultats des tests de la conductivité.

Tableau III.5 : Résistances des matériaux obtenus comparées aux normes.

Liste des abréviations

DS : Déchets spéciaux

DSD : Déchets spéciaux dangereux

AND : Agence nationale des déchets

DMA : Déchets ménagers et assimilés

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PS : Polystyrène

PVC : Polychlorure de vinyle

PEBD : Polyéthylène à base densité

PEHD : Polyéthylène à haute densité

PET : Polyéthylène téréphtalate

PUR : Polyuréthanes

PF : Phénoplastes

MF : Aminoplastes

UV : Ultra-violet

SNGID : Stratégie nationale de gestion intégrée des déchets.

Eprouvette : échantillon de pavé.

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITES

I .1 Introduction.....	3
I .2 Définition de déchet.....	3
I.2.1 Approche économique	4
I.2.2 Approche environnementale	4
I.2.3 Approche Juridique	4
I.3 Classification des déchets selon la loi 01-19	4
I.3.1 Déchets Ménagers et Assimilés DMA	4
I.3.2 Déchets Encombrants DE	4
I.3.3 Déchets Spéciaux (DS)	4
I.3.4 Déchets Spéciaux Dangereux (DSD).....	5
I.3.5 Déchets d'Activité de Soins (DAS).....	5
I.3.6 Déchets inertes (DI)	5
I.3.7 Déchets Radioactifs (DR)	5
I.4. Production des déchets en Algérie.....	5
I. 5. Composition des déchets	6
I.6. Définition de la matière plastique.....	7
I.6.1 Monomères.....	8
I.6.2 Polymère	8
I.7 Types de plastique	8
I.7.1 Les thermoplastiques.....	8
I.7.2 Les thermodurcissables	13
I.7.3 Les élastomères	16
I.8. Impact des déchets plastiques sur l'environnement.....	16
I.9. Recyclage du plastique	17
I.10. Sable.....	19
I.10.1 Définition	19
I.10.2 Formation des sables	19
I.10.3 Composition minéralogique	20

I.11.4 Classification des sables.....	20
I.11.5 Utilisation du sable.....	21
I.11. Pavés et exemple de quelques normes	23
I.11.1 Définition de pavés et utilisation	23
I.11.2 Résistances mécaniques et résistances à l'absorption d'eau exigées selon les normes	24

Chapitre II : Matériel et Méthodologie expérimentale

II.1. Introduction	26
II.2. Matériel utilisé.....	26
II.3 Caractérisation des matériaux.....	27
II.3.1 caractirisation de sable	27
II.3.2 Caractérisation de plastique	28
II.3.3 Propriétés mécaniques et thermiques des plastiques utilisés	29
II.4 Méthode utilisés.....	30
II.4.1 Description du procédé	30
II.5. Caractérisation des éprouvettes	33
II.5.1. Résistance à la compression	33
II.5.2 Résistance à la flexion :	34
II.5.3. Essai d'absorption d'eau	35
II.5.4. Test de conductivité :	36
II.5.5. Tests chimiques.....	37
II.5.6. Tests de porosité	39

Chapitre III : Résultats et Discussion.

III.1. Caractérisation du sable	41
III.2. Résistance en compression et flexion	42
III.3. Essai d'absorption d'eau	44
III.4. Teste de conductivité.....	45
III.5. Tests chimiques	46
III.6. Tests de porosité.....	47
III.7. Comparaison des résistances obtenues avec les normes et applications	48

Conclusion générale et respectives

Conclusion générale :.....	49
----------------------------	----

Perspectives	51
Références bibliographiques.....	52

Introduction

Le plastique, en tant que matériau omniprésent, reste l'une des innovations les plus importantes du XX^{ème} siècle.

En raison de ses avantages liés à son cout, sa légèreté, la facilité de son utilisation, sa force et sa longue durée de vie sont les facteurs qui font qu'une croissance, substantielle de la consommation de plastique est observée partout dans le monde ces dernières années, ce qui augmente également la production de ses déchets [1].

Le plastique est composé de plusieurs produits toxiques polluants pour les sols, l'air et l'eau. De plus, c'est un matériau à longue durée de vie (biodégradabilité très lente) et ses déchets représentent un réel danger pour la santé publique, la faune et la flore (terrestre et marine).

Son enfouissement signifierait la préservation des matières nocives pour toujours. Plus d'un million d'oiseaux de mer et environ 100.000 mammifères marins meurent chaque année après l'ingestion ou l'enchevêtrement dans les débris de plastique [2].

Les problèmes environnementaux que posent les déchets plastiques imposent de chercher une solution rapide et durable.

Le thème de ce travail de fin d'études porte sur la production d'une nouvelle génération de pavés à partir des mélanges de déchets plastiques et du sable.

Dans ce contexte, le recyclage permet, non seulement, de mieux protéger l'environnement mais aussi de résoudre le problème d'épuisement de ressources naturelles et surtout de créer des emplois et des revenus.

Les matières plastiques ont désormais envahi notre quotidien. Elles sont le symbole de la société de consommation car elles sont considérées comme des matériaux non nobles. Les consommateurs l'assimilent à un produit jetable après usage.

Les déchets plastiques représentent une grande partie de la masse totale des ordures ménagères, et, n'étant pas dégradables, elles forment un véritable danger pour l'environnement et la santé humaine.

La multiplicité des types de matières plastiques, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation.

Le renforcement du recyclage des plastiques pourrait donc contribuer à économiser des ressources rares, à créer des emplois et à réduire les impacts sur l'environnement.

En suivant cette approche et pour notre bien-être et ceux des générations à venir, nous avons choisi de valoriser les déchets plastiques pour en fabriquer des pavés comme matériaux de construction très demandés.

Ce travail est structuré en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre traite une recherche bibliographique sur les déchets plastiques et sable en tant qu'agents constituants de pavés
- Le deuxième chapitre présentera le matériel et méthodes utilisées dans ce travail.
- Le troisième chapitre expose les méthodes de caractérisation (mécaniques et physico-chimiques) utilisées.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats ainsi qu'à leurs discussions.
- La conclusion montre en exergue les points forts de cette étude ainsi que les recommandations pour les travaux futurs.

CHAPITRE I : GENERALITES

I .1 Introduction

Les matières plastiques présentent plusieurs avantages comparativement à d'autres matériaux. Environ 300 millions de tonnes de déchets plastiques sont générées chaque année dans le monde [1].

À ce jour, seuls 9% des déchets plastiques ont été recyclés et seulement 14% sont récupérés. Les raisons sont complexes puisque tous les plastiques ne peuvent pas être recyclés [1].

Le manque de sensibilisation du public a contribué à la contamination des plastiques triés qui a pour conséquence l'augmentation du coût du recyclage.

Le recyclage du plastique est devenu un enjeu de plus en plus crucial au fil du temps du fait des volumes impliqués à l'échelle mondiale.

La question concerne aussi les consommateurs qui peuvent avoir une influence sur la consommation, le gaspillage et le taux de recyclage.

Comme le plastique est fabriqué à partir de pétrole (ressources non renouvelables), il ne peut donc pas être fabriqué à l'infini et il pose d'énormes problèmes de pollution lors de la fin de vie. C'est pourquoi, il est important de bien le trier pour des éventuelles réutilisations futures [1].

I .2 Définition de déchet

Selon l'article 03 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001, le déchet est : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [2].

L'Union Européenne en donne une définition similaire : « Toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire »

I.2.1 Approche économique : Un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné.

I.2.2 Approche environnementale : Du point de vue environnemental, un déchet constitue une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement. Ce contact peut être direct ou le résultat d'un traitement.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé OMS « Les déchets sont des choses dont le propriétaire n'en veut plus à une époque et un lieu donné et qui n'ont plus aucune valeur » [3].

I.2.3 Approche Juridique : Le droit civil et la terminologie du droit des biens définissent le « déchet » comme « un bien meuble rattaché juridiquement à la catégorie des choses sans maître, chose volontairement délaissée par leur propriétaire [4].

I.3 Classification des déchets selon la loi 01-19

La loi N 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête les définitions de six grandes familles de déchets, qui sont :

I.3.1 Déchets Ménagers et Assimilés DMA

Tous les déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles commerciales, artisanales qui par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.

I.3.2 Déchets Encombrants DE

Tous déchets issus des ménages qui, en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés comme : canapés, fauteuils, tables et vieux meubles.

I.3.3 Déchets Spéciaux (DS)

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autres activités qui en raison de leurs natures et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent pas être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

I.3.4 Déchets Spéciaux Dangereux (DSD)

Tous déchets spéciaux qui par les constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à l'environnement.

I.3.5 Déchets d'Activité de Soins (DAS)

Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire comme les seringues, milieux de culture, fragments anatomiques, pansements ... etc.

I.3.6 Déchets inertes (DI)

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de déplétion, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique chimique, ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou d'autres éléments générateurs de nuisance, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.

I.3.7 Déchets Radioactifs (DR)

Le décret présidentiel N°05-119 du 11/04 /2005 relatif à la gestion des déchets radioactifs a mis en évidence la notion des déchets radioactifs qui représentent les matières contenant ou contaminées par des radioéléments à des concentrations ou activités supérieures aux limites d'exemption et pour laquelle aucune utilisation n'est prévue [4].

I.4. Production des déchets en Algérie

En Algérie, la production de déchets avec ses préoccupations à propos des problèmes environnementaux croît de plus en plus.

Selon l'étude de l'agence nationale des déchets sur l'état de l'environnement en Algérie il est indiqué que la production de déchets par habitant dans le milieu urbain est passée de 0,76 kg/jour en 1980 à 0,9 kg/jour en 2002, pour arriver en moyenne à 1,2 kg/jour en 2010 jusqu'à 2025 [5].

Par contre, des écarts de près de 30% entre le taux de la collecte des déchets dans les villes moyennes et les grandes villes ont été constatés [5].

Selon l'agence nationale des déchets (AND), plus de 23 millions de tonnes de déchets sont produits en Algérie en 2016, dont 12 millions de tonnes de déchets municipaux.

Le Tableau I.1 présente l'évolution du taux de déchets produits par habitant par jour dans les grandes et moyennes villes Algériennes durant la période 1980 jusqu'à 2025 [6].

Tableau I.1 : Evolution du taux de génération de déchets (kg/hab./j (ratio) en Algérie [6].

Année	1980	2002	2010	2025
Ville moyennes	0.5 kg/hab./j	0.6 kg/hab./j	0.8 kg/hab./j	1.0 kg/hab./j
Grandes villes	0.76 kg/hab./j	0.91 kg/hab./j	1.2 kg/hab./j	1.2 kg/hab./j

I. 5. Composition des déchets

En Algérie et comme le montre la Figure I.1, les principaux composants des déchets générés par la population sont les résidus alimentaires (organiques) avec un taux moyen de 53.61%, le plastique à 15.31 %, le papier/carton à 6.76 %, le verre à 1,04 %, les métaux à 1,72% et le chiffon et autres à 4,52% [7].

Cette composition reflète le mode de consommation des ménages algériens qui est basé dans une grande partie sur les produits frais (fruits et légumes) conjuguée à l'absence de la culture des produits de conserves.

Le plastique est le second composant d'une poubelle algérienne type, résultant des produits emballés dans des bouteilles de plastique, notamment les huiles, le lait et les diverses boissons [5].

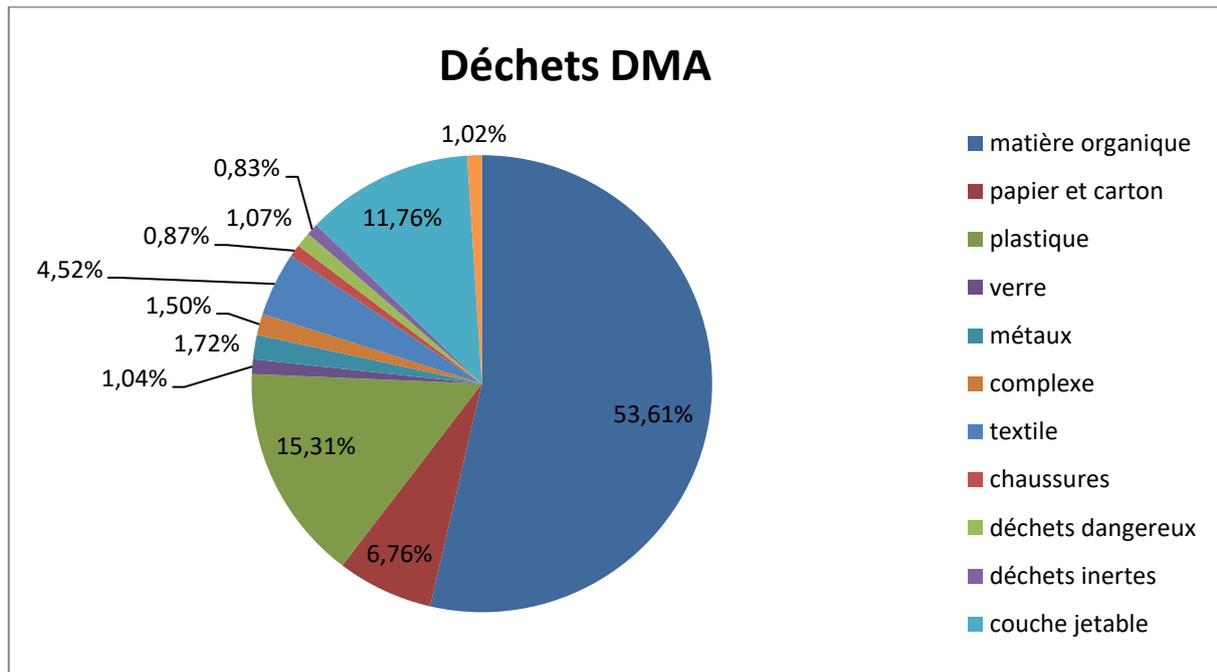


Figure I.1 : Pourcentage des quantités de déchets DMA générés en 2019 [7].

I.6. Définition de la matière plastique

Le plastique est un matériau solide, qui contient comme composant essentiel un ou plusieurs hauts polymères organiques synthétiques, formés, soit lors de la fabrication du polymère ou de la fabrication d'un produit fini par la chaleur et /ou la pression.

Les polymères inorganiques tels que les verres sont exclus avec les polymères de faible poids moléculaire qui ne sont pas des polymères "haut" ou solides.

La définition exclut aussi tous les polymères produits par des organismes vivants, y compris la cellulose, le caoutchouc naturel et les polyesters bactériens.

Dans le cas d'un matériau composite, où un composant est un polymère, le matériau est exclu si le polymère lui-même est un composant mineur pas essentiel à la formulation.

Les matières plastiques sont des matériaux organiques (issus des êtres vivants) constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomères.

Elles sont produites par transformation de substances naturelles, ou par synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autre matière minérale [8].

I.6.1 Monomères

Les monomères sont des molécules organiques, qui sont constituées essentiellement de carbone (C) et d'hydrogène (H). L'oxygène(O) et l'azote (N) sont en faibles proportions.

I.6.2 Polymère

La molécule est constituée de monomères unis les uns aux autres par des liaisons covalentes (Liaisons entre deux atomes résultant de la mise en commun de deux électrons provenant séparément de chacun d'eux).

Les caractéristiques d'un polymère dépendent en premier lieu du « ou des » monomères dont il est issu alors qu'un monomère peut conduire à deux polymères avec des propriétés mécaniques différentes [8] :

- le polyéthylène (PE).
- le polypropylène (PP).
- le polystyrène (PS).
- le polychlorure de vinyle (PVC).

I.7 Types de plastique

Il existe une grande variété de plastiques

I.7.1 Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur, deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit [8].

Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables [8].

Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes.

Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme **[8]**.

Avant transformation, ils existent sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyé est réutilisable **[9]**.

- **Le polyéthylène PE**

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques.

Plusieurs millions de tonnes de polyéthylène sont produites chaque année car c'est un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique **[9]**.

Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé **[9]**.

Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés **[9]**.

Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau **[9]**.

On distingue deux familles : le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité **[9]**.

- **PEBD**

Le PEBD est utilisé dans les domaines les plus divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau. Il présente une bonne résistance chimique, il est olfactivement, gustativement et chimiquement neutre pour les denrées alimentaires [9].

Il est transparent, peut être facilement transformé et se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien [9].

Les principales applications du PEBD sont des produits souples : sacs, films, sachets, sacs poubelle, récipients souples (bouteilles de ketchup, de shampoing, tubes de crème cosmétique, ..., etc.) [9].

- **PEHD**

Le PEHD est utilisé pour des objets plastiques rigides. On le trouve par exemple dans des bouteilles et des flacons, des bacs poubelles, des cagettes, des tuyaux, des fûts, des jouets, des ustensiles ménagers, des boîtes type « Tupperware », des jerricans...

Certains sacs plastiques sont constitués par du PEHD : lorsque le sac se froisse facilement sous la main, avec un bruit craquant et revient spontanément à sa forme d'origine, c'est du PEHD [9].

Lorsque le touché est plus « gras », que le plastique se froisse sans bruit et se perce facilement avec le doigt, c'est du PEBD [9].

- **Le polypropylène (pp)**

C'est aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau [9].

On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin [9].

Ce matériau sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle parce qu'il ne fond pas en dessous de 160 °C.

Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) mais aussi pour les emballages alimentaires en raison de son aspect brillant et de sa résistance (flacons, films, pots).

Cependant, le PP film est un des plastiques usuels les plus difficiles à recycler surtout s'il est imprimé. Le contrôle de la polymérisation par catalyse permet de jouer sur la structure enfin de produire du polypropylène élastomère [9].

- **Le polystyrène (PS)**

Le polystyrène est un plastique dur, cassant et transparent. C'est un produit industriel courant largement diffusé, offrant de très nombreux usages [9].

On le reconnaît facilement à un blanchissement sur les zones de contraintes avant la rupture ou à sa fumée noire et à son odeur caractéristique lors de sa combustion [9].

On l'utilise pour fabriquer du mobilier, des emballages, des grilles de ventilation, des jouets, des verres plastiques... [9].

On distingue trois types de polystyrènes :

-Le polystyrène "cristal" n'a pas une structure cristalline mais porte ce nom en raison de son aspect transparent. Il polymérise sous forme de perles à haute température en présence d'un adjuvant plastifiant. C'est un plastique dur et cassant qui est utilisé pour de nombreux types de boîtes notamment dans les boîtiers CD [9].

- le polystyrène "choc" ou HIPS (High-impact polystyrène) ou acrylonitrile butadiène styrène est un copolymère formé par du styrène et du polybutadiène. C'est le plus commun de la famille des plastiques styréniques car il est résistant, capable de supporter des impacts plus forts que le polystyrène normal [9].

Cet ABS est employé par l'industrie pour des produits rigides, légers et moulés (bacs à douche). Le polybutadiène a été un des premiers élastomères synthétiques à être inventé car il est très similaire au caoutchouc naturel [9].

- Le matériau le plus connu de la gamme est le polystyrène expansé (PSE.) Ce polystyrène, est solide à 20 °C, pâteux à 120 °C et fondant à 160 °C.

C'est sorte de mousse blanche compacte inflammable et combustible. Il existe deux types de PSE : le polystyrène expansé moulé (PSE-M) obtenu à partir d'un polystyrène "expansible" et le polystyrène expansé extrudé (PSE-E) [9].

Une première expansion est opérée à la vapeur d'eau puis une période de repos permet aux perles de PS pré-expansées de perdre leur excédent d'eau. Enfin, on les expansé et on les moule à la vapeur dans la forme voulue [9].

C'est un matériau qui sert à emballer les appareils sensibles aux chocs et qui est un très bon isolant thermique pour les plaques de doublage des murs [9].

- **Le polyéthylène téréphtalate (PET)**

C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyle téréphtalate et l'éthylène glycol. Les chaînes vont s'arranger et former des fibres résistantes [9].

Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles.

L'inventeur des bouteilles en PET, Nathaniel Wyeth voulait faire une bouteille incassable.

Cependant, ce plastique devient mou à moyenne température [9].

Cette propriété empêche de consigner les bouteilles en PET car il faut les laver à une température trop haute [9].

Pour cette même raison, on ne peut pas l'utiliser pour les confitures qui sont coulées chaudes dans les pots [9].

Il existe aujourd'hui un nouveau type de polyester plus résistant à la chaleur qui correspond à ce que l'on recherche pour les pots de confiture et les bouteilles consignées. C'est le polyéthylène naphthalène ou PEN [9].

- **Le polychlorure de vinyle (PVC)**

Le polycarbonate est un matériau qui présente d'excellentes propriétés mécaniques et une bonne résistance thermique jusqu'à 120 °C.

On l'utilise pour la fabrication des casques de moto ou des boucliers de police. Comme il est très transparent, il sert aussi à la fabrication des CD et des DVD, des vitrages des guichets à l'épreuve des balles et des phares, feux arrière et clignotants de voitures [9].

Enfin, sa neutralité physiologique permet son utilisation dans le domaine médical pour la fabrication de matériel et de prothèses. Par contre, il résiste mal aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets [9].

I.7.2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés [9].

Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé [9].

La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes [9].

Les thermodurcissables représentent 20% des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit environ 10 millions de tonnes [9].

Les plus connus sont les polyuréthanes, les polyesters, les phénoplastes, les aminoplastes, les élastomères, les résines époxydes et phénoliques [9].

Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudres ou de résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs [10].

- **Les polyuréthanes (PUR)**

Ce sont des matériaux dont les caractéristiques sont très variées avec une grande diversité de textures et de duretés. Les polyuréthanes sont les polymères les plus utilisés pour faire les mousses [10].

Ils sont formés par l'association d'un isocyanate- (composé organique comprenant la séquence : $-N=C=O$) et par un alcool (composé organique dont l'un des carbones est lié à un ou plusieurs groupements hydroxyle $-OH$.) [10].

En fonction des associations chimiques réalisées avec différents monomères on peut obtenir des colles, des élastomères, des fibres (Licra) des mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, Des polyuréthanes solides et compacts que l'on peut renforcer par de la fibre de verre [10].

On les utilise pour fabriquer des matelas, des sièges de voiture, des tableaux de bord, des roues de patins à roulettes ou des chaussures de ski...

- **Les phénoplastes (PF)**

Dans ce groupe, une des plus anciennes matières plastiques connue est la Bakélite.

Ce matériau providentiel a eu d'innombrables applications dans les domaines scientifiques et dans la réalisation d'objets : téléphones, postes de radio [10].

Ces résines thermodurcissables résistent très bien aux produits chimiques et à la chaleur. Elles sont également électriquement isolantes [10].

On peut les transformer par moulage et par compression pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement [10].

- **Les aminoplastes (MF)**

Ces produits résineux sont essentiellement utilisés en stratification sur des textiles plastifiés, les panneaux de bois agglomérés pour le mobilier de cuisine et les plans de travail [10].

- **Les polyesters insaturés**

Les polyesters insaturés sont obtenus par réaction de condensation entre différents polyacides et des glycols (éthylène glycol, propylène glycol) [10].

Ces produits appelés époxydes sont des substances chimiques comportant un oxygène ponté sur une liaison carbone-carbone. Ils sont dilués ultérieurement dans un monomère non saturé comme le styrène [10].

Quand un catalyseur est introduit dans cette résine, les produits se combinent provoquant un durcissement irréversible appelé la réticulation qui correspond à l'apparition de liaisons chimiques formant un réseau macromoléculaire tridimensionnel [10].

Le polyester sert surtout à fabriquer des fibres textiles artificielles. Les tissus produits sont brevetés sous les noms de Dacron, de Tergal ou de Térylène [10].

La fibre polyester est la plus produite dans le monde car son utilisation très répandue dans l'habillement [10].

Ses applications se sont aussi diversifiées dans l'industrie, notamment sous forme de films destinés à l'agriculture, aux travaux publics, aux coques et cabines de bateaux, aux carrosseries d'automobiles, aux piscines [10].

- **Les silicones**

Dans ce groupe, une des plus anciennes matières plastiques connue est la Bakélite.

Ce matériau providentiel a eu d'innombrables applications dans les domaines scientifiques et dans la réalisation d'objets : téléphones, postes de radio [10].

Ces résines thermodurcissables résistent très bien aux produits chimiques et à la chaleur. Elles sont également électriquement isolantes **[10]**.

On peut les transformer par moulage et par compression pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement **[10]**.

I.7.3 Les élastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes **[10]**.

Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer **[10]**.

Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité il subit une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires **[10]**.

On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et différents agents chimiques **[10]**.

Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques **[10]**.

Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus **[11]**.

I.8. Impact des déchets plastiques sur l'environnement

- Le plastique bloque l'infiltration de l'eau dans le sol ce qui entraîne une recharge insuffisante de la nappe souterraine et favorise aussi le ruissellement, qui entraîne l'érosion.
- Le plastique s'enfonce dans le sol, il empêche les végétaux de pousser ou bloque le développement racinaire des herbes **[11]**.

- Les plastiques contribuent aussi à asphyxier les micro-organismes du sol.
- Les déchets plastiques empêchent le passage des rayons UV, nécessaires au déroulement normal du processus physiologique des plantes [11].

Certains composés de plastique : éthylène, propylène, benzène, et autres additifs comme les bisphénols sont toxiques et cancérigène et peuvent causés d'autres maladies liées à l'appareil génital (perturbations endocriniennes), la décroissance des ovaires chez la femme, ainsi les populations vivantes près de ces sites peuvent alors se contaminer par :

- Inhalation de gaz, de composés organiques volatils ou de particules émises par les déchets.
- Ingestion d'eau contaminée par infiltration de lixiviats dans les puits privés.
- Baignade dans des cours d'eau contaminés [12].
- L'ingestion des déchets plastique par les animaux (les poissons, les tortues les confondent avec les méduses, les oiseaux de mer piquent des plastiques flottants (environ 660 espèces de mammifères meurent chaque année).
- Transport d'espèce invasive par le plastique ce qui cause l'altération de l'équilibre des écosystèmes.
- Sur l'animal Les filets dite fantômes abandonnés ou perdus accidentellement, très résistants sont une cause de mortalité importante chez les animaux par étranglement ou étouffement et enchevêtrement dans ces pièges (environ 100 000 le nombre de mammifères et 1 million d'oiseaux qui meurent par ces pièges [13].

I.9. Recyclage du plastique

Les directives relatives à la mise en décharge et à l'incinération imposent le contrôle des quantités de déchets éliminés par les voies traditionnelles.

Cependant, certains pays interdisent également l'élimination des déchets par les méthodes traditionnelles.

Ces interdictions obligent les producteurs de déchets à recourir à des méthodes alternatives pour la gestion de leurs déchets, à savoir la réutilisation ou le recyclage.

Le Tableau I.2 montre quelques codes d'identification de matières plastiques en fonction de leur recyclable [14]

Tableau I.2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables [14].

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	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	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 à basse	Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastiques
	PP	Polypropylène	Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géotextiles et industrielles.

	PS	Polystyrène	Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéo et boîtiers, et panneaux isolants.
	Autre	Autres plastiques	Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon

I.10. Sable

I.10.1 Définition

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation de roches sous l'action de divers agents (vent, eaux courantes, gel).

C'est une matière première qui est souvent le produit de la décomposition du granite du fait de l'altération.

Le sable peut avoir plusieurs couleurs en fonction de sa nature : noir ou blanc.

I.10.2 Formation des sables :

Le sable se forme à la suite de phénomènes physiques et chimiques auxquels sont soumises les roches.

Les processus physiques fragmentent les roches en des éléments de taille réduite qui sont les blocs, les graviers, les sables, les limons et les argiles.

Dans le processus de formation des sables l'action physique est prépondérante.

Sous l'action de processus physiques (vent, eau) ou chimiques (action dissolvante de l'eau), ces éléments sont entraînés par les eaux de ruissellement.

Au cours du transport, ils vont subir des variations de taille et de morphologie en fonction du moyen de transport.

Les particules vont se déposer ou être drainées généralement jusqu'à la mer. C'est ainsi que les sables se retrouvent sur les plages ou dans les lits des cours d'eau [15 ,16].

I.10.3 Composition minéralogique

Les sables sont principalement constitués de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite.

La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier.

Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux.

I.10.4 Classification des sables

- **Classification suivant la nature du sédiment**

Les sables sont classés suivant beaucoup de paramètres et suivant le domaine d'activité. Ainsi en géologie en fonction de la nature du matériel à l'origine de sa formation on parlera de sable détritiques (issus de roches préexistantes), ou de sables bioclastiques (issus de la fragmentation puis accumulation de squelettes ou coquilles d'organismes marins).

En géologie de l'ingénieur ou génie civil, on classe les sables en fonction de l'origine ou de la granulométrie.

- **Classification suivant l'origine**

A/ Sable naturel

On parle de sable naturel lorsque le sable est issu de l'altération des roches préexistantes. Il s'agit de sable extrait des lits des cours d'eau (fleuves et rivières), de la lagune (cas de la ville d'Abidjan) ou de la mer (dans certains pays, même si de plus en plus l'exploitation de ce sable est interdite).

B/Sable artificiel

Il s'agit de sable obtenu par concassage des roches. C'est le sable qui est directement lié à l'action de l'homme.

Ce sont très souvent les sous-produits des carrières de concassés de roches.

- **Classification suivant la granulométrie :**

Dans ce type de classification, le critère principal est la taille des particules. La classe des sables varie selon le système de classification ou le domaine d'activité.

Tous les systèmes de classification admettent principalement cinq (5) sous classes qui sont :

- le sable très fins (diamètre des grains de 0,0625 à 0,125 mm),
- le sable fin (de 0,125 à 0,25 mm),
- le sable moyen (de 0,25 à 0,5 mm),
- le sable grossier (de 0,5 à 1 mm),
- le sable très grossier (de 1 à 2 mm).

I.10.5 Utilisation du sable :

Le sable est l'une des matières premières dans la construction. Il constitue également la principale matière première de l'industrie du verre.

Le sable, du fait de son abondance et de sa facilité d'exploitation, est utilisé dans de nombreux domaines d'activités.

C'est l'une des principales matières premières utilisées dans le génie civil. Il est utilisé aussi bien dans le domaine routier que dans celui du bâtiment.

- Dans la construction des routes, le sable est utilisé comme matière première de remblai, couche de base et couche de finition.
- Dans le bâtiment, il est employé dans la composition de béton, du mortier et la confection des briques (parpaing sable ciment)
- Comme principal composant de la plateforme sur laquelle sont posés les pavés, pour les chemins et les routes secondaires, les parkings et les garages etc.
- En fonderie, où il est employé pour la réalisation des moules.
- Dans la fabrication des céramiques.
- Largement utilisé pour ses propriétés abrasives (cas du papier de verre recouvert de sable).
- Décapage à la sableuse afin de nettoyer certaines surfaces (la pierre, par exemple) ou pour aplanir des surfaces de métal grossier (avec de la vapeur sous pression chargée de sable).

En milieu naturel, le sable accumule des minéraux lourds alluvionnaires, permettant l'extraction de certains minéraux dont l'or, les diamants, la cassitérite (minerai d'étain), la magnétite (oxyde de fer) ou l'ilménite (oxyde de fer et de titane).

Le sable est un élément important dans le domaine touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte [15,16].

I.11. Pavés et exemple de quelques normes

I.11.1 Définition de pavés et utilisation

Un pavé est un bloc en pierre, en béton ou en terre cuite, couramment employé comme revêtement de chaussée accueillant un trafic occasionnel ou continu, de zones piétonnes, de parkings, d'aires industrielles [19-21].

Les pavés permettent d'une façon générale, de répondre aux trois besoins suivants :

- Le besoin fonctionnel : assurer ou contribuer à la lisibilité de l'espace public en matérialisant des zones dédiées ou des limites élaborées par les urbanistes.
- Le besoin architectural : leurs formes, couleurs favorisent une esthétique ou une perception architecturale des aménagements urbains.
- Le besoin structurel : de par leurs caractéristiques mécaniques à résister aux sollicitations, ils pourront résister à des trafics routiers plus ou moins importants.

Ainsi, les pavés sont classés en fonction du type de trafic selon les normes **NF P 98-082, NF P 98-335** [21].

Le Tableau I.3 résume les différentes caractéristiques des pavés en fonction de leurs utilisations.

Tableau I.3 : Caractéristiques de pavés en fonction du Classe de trafic.

Classe de trafic	Type de trafic	Nombre PL (1)/Jours/Sens	Equivalent en nombre de véhicules sans distinction de charge	Epaisseur minimum des pavés (mm)
T5	Voies pitonnés, véhicules de service et/ou livraison, Parkings résidentiels ou urbains	$0 < PL \leq 25$	$0 < V \leq 500$	60
T4	Voies urbaines et Parkings poids lourds	$25 < PL \leq 50$	$500 < V \leq 700$	80
T3		$50 < PL \leq 150$	$700 < V \leq 1500$	80
T2		$150 < PL \leq 300$	$1500 < V \leq$ 3000	100
T1		$300 < PL \leq 750$	$V > 3000$	100

(1) Poids Lourds (PTAC \geq 3,5 tonnes)

I.11.2 Résistances mécaniques et résistances à l'absorption d'eau exigées selon les normes

Dans le Tableau III.8, sont présentées les résistances en flexion et en compression des pavés selon les normes **NF EN 12390-3 [22]**, **NF EN 1339 [21]** et la résistance à l'absorption d'eau des pavés selon les normes **EN 771-1[23]****NBN EN 206-1:2001** et **NBN B 15-001:2004 [17]**.

Tableau I.4 : Résistance mécaniques et absorption d'eau en fonction du trafic.

Classe de trafic	Résistance en compression (MPa)	Résistance en flexion (MPa)	Absorption d'eau (%)
T5	20	3,5	≤ 3
T4	25	4	≤ 5
T3	25	5	≤ 6
T2	$25 < R_c \leq 60$	6	≤ 7
T1	$R_c > 60$	≥ 6	Pas de spécification

CHAPITRE II :
MATERIEL ET METHODES

II.1. Introduction

Ce travail vise à étudier la possibilité d'utiliser des déchets de bouteilles plastiques (PET-polyéthylène téréphtalate) et des emballages (PEBD -polyéthylène bas densité) en mélanges avec du sable dans la fabrication d'une nouvelle génération de pavés ainsi que l'influence de la proportion des déchets utilisés sur les caractéristiques physiques et mécaniques de ces nouveaux 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.

La méthodologie suivie pour réaliser ce travail sera présentée dans ce chapitre.

II.2. Matériel utilisé

Les matières premières et le matériel utilisé dans cette étude sont présentés comme suit :

- Sable de dune.
- Emballages plastiques en PEBD -polyéthylène bas densité.
- Cuve métallique pour la fusion du plastique.
- Balance électronique, de charge maximale 5000 g et de précision 1 g.
- Série normalisée de tamis d'ouvertures (mm) : 1,1.6 et 2.
- Moules prismatiques de dimensions 4 cm x 4 cm x 16 cm.
- Chronomètre.
- Truelle.
- Equipements de protections (gants, chaussures fermées, masques).

- Plaque chauffante.
- Table vibrante.



Figure II.1 : Photographies numériques montrant le matériel utilisé

(A) : plaque chauffante et cuve.

(B) : moule 4x4x16.

(C) : Table vibrante

II.3 Caractérisation des matériaux

Les matériaux de base utilisés dans ce travail pour la confection des pavés sont :

- Sable de dune (SD) de l'Oued Souf.
- Polyéthylène téréphtalate (PET).
- Polyéthylène bas densité (PEBD).

II.3. Sable

Toutes nos expérimentations sont réalisées uniquement avec le sable provenant des dunes de l'Oued Souf. Les caractéristiques principales requises pour un bon sable de mélange (sable /plastique) sont la propreté définie par la méthode par tamisage a été préconisée pour tamiser (tamis de 1 mm) le sable d'Oued Souf après excavation et séchage.



Figure II.2 : photographies numérique montrant : (A) sable d'Oued Souf (B) la série des tamis.

II.3.2 Plastique

Les plastiques utilisés pour l'expérimentation sont les thermoplastiques à savoir les PET (bouteille d'eau broyée) provenant d'une entreprise étatique EPWG CET Blida.

Les déchets PEBD (sachets plastiques, emballage) sont collectés auprès des commerçants des vêtements.



Figure II.3 : Photographies numériques montrant (A) : déchets plastique ; (B) : PET broyés

II.3.3 Propriétés mécaniques et thermiques des plastiques utilisés

Les résistances mécaniques sont variables suivant la composition chimique. Dans l'ensemble les polymères sont souvent plus résistants et plus légers que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions.

La résistance à la traction et à la compression ainsi que la dureté dépendent essentiellement de la nature et de la cohésion entre les chaînes de polymères.

La résistance au choc est liée non seulement à la cohésion intermoléculaire, mais aussi à la dissipation de l'énergie dans le matériau : un plastique mou est moins cassant qu'un plastique dur.

L'incorporation de micro-granules d'élastomères dans le polystyrène, par exemple, rend cette matière très résistante aux chocs [16].

Le Tableau II.1 ci-dessous rassemble quelques résistances des plastiques usuels [24-27].

Tableau II.1 : Propriétés mécaniques et thermiques des plastiques utilisés.

Polymères	Densité	T fusion (°C)	Résistance compression (MPa)	Limite d'élasticité	Module De Young (GPa)	Allongement à la rupture (%)
PEBD (polyéthylène basse densité)	0.9 à 0.93	120 à 170	7 à 10	15	0.2	500
PET (polyéthylène téréphtalate)	1.34	200 à 255	12 à 15	20	2.7 à 4.1	40

II.4 Méthode utilisée

II.4.1 Description du procédé

La valorisation des déchets plastiques pour la fabrication des pavés se fait en plusieurs phases suivant une méthodologie bien structurée.

Le temps de fabrication est déterminé à l'aide d'un chronomètre alors que les heures de début et fin d'expérience ainsi que les différentes phases de fabrications des pavés se font selon les étapes suivantes :

- **Phase 1 : Préparation du mélange.**

La collecte des déchets plastiques (bouteilles ; emballages) est suivie par leur purification (vider les différents emballages plastiques de leur contenu et enlever les étiquettes ; déchiqueter et compacter les déchets plastiques ; stocker dans un endroit propre et sec).

Le sable d'oud Souf et le seul type de sable utilisé dans toutes nos expérimentations. Il a été tamisé à l'aide d'un tamis de 1 mm de diamètre puis utilisé comme charge dans notre matériau.

Son incorporation dans les déchets plastiques fondu améliore les propriétés diélectriques, la résistance à la chaleur, la dureté, la résistance à la compression et l'humidité des objets moulés.

Aussi, le sable joue le rôle de plastifiant en améliorant la fluidité à chaud du mélange.

Le dosage des matières premières a consisté à peser les différentes matières premières utilisées pour la fabrication des pavés.

Cinq formulations ont été effectuées en fonction du ratio sable/plastique (50/50, 40/60, 30/70, 60/40 et 70/30) [28]. Elles sont représentées dans le Tableau IV suivant :

Tableau II.2 : Ratio (sable/plastique) utilisés.

Données					
Formulations/Essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Ratio Sable/Plastique	50/50	60/40	70/30	40/60	30/70
Masse de sable (g)	1400	1680	1960	1120	840
Masse de PET(g)	700	560	420	840	980
Masse de PEBD (g)	700	560	420	840	980
Quantité totale (g)	2800	2800	2800	2800	2800
Nombre de pavés obtenus	4	4	3	4	4

- **Phase 2 : Chauffage :**

Après un préchauffage de la cuve sur une plaque chauffante (5 min environ), les déchets plastiques triés et broyés (d'abord le PET puis le PEBD) sont introduits dans la cuve puis soumis à une homogénéisation (tournement progressif à l'aide d'une pelle bêche à environ 10 tours/minute jusqu'à l'apparition d'une fumée blanchâtre.

Cette opération fournit une pâte fondante et homogène sans bulles. Après fusion totale des plastiques, du sable préchauffé est ajouté légèrement sous un tournement progressif du mélange (sable- plastique) à l'aide d'une pelle bêche jusqu'à ce que le mélange soit bien homogène.



Figure II.4 : Photographie numérique montrant la fusion du plastique.

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

La pâte homogène ainsi obtenue est soumise tout de suite au moulage à l'aide d'une pelle bêche.

La pâte ainsi obtenue est versée dans des moules préchauffés qui sont imbibés d'huile de vidange puis déposés sur une plaque métallique.

Au contact des parois, la pâte prend la forme du moule et se solidifie. Cette opération doit se faire le plus rapide possible pour que la pâte ne se solidifie pas trop avant le compactage. Ce dernier doit se faire à l'aide d'une truelle sous une vibration périodique du moule.

(A)



(B)



Figure II.5 : Photographies numériques montrant (A) : Etape de malaxage (B): Moulage de mélange dans le moule.

- **Phase 4 : Refroidissement et démoulage**

Les pavés formés dans les moules sont ensuite laissés refroidir à l'air libre après quelques minutes puis démoulés.

Le Tableau II.4 présente le temps moyen des différents essais de fabrication des pavés.

Tableau II.3 : Temps moyen des différents essais de fabrication des pavés.

	Temps de préparation (min)				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai4	Essai5
Préparation	16	20	18	25	23
Fusion de plastiques	59	50	44	70	80
Malaxage	24	25	21	18	19
Refroidissement à l'air	40	40	40	40	40
Durée totale	138	130	120	143	154

II.5. Caractérisation des éprouvettes

II.5.1. Résistance à la compression

Dans cette partie de notre travail, nous avons confectionné des éprouvettes de dimension (4x4x16) cm³ selon la norme **NF EN12190 [18]**.

L'essai de compression est réalisé à l'aide d'une presse hydraulique de 500 kN de marque Control (Figure II.5).

Les capteurs de déplacement de précision 0,01 mm et de distance de mesure de 10 mm sont connectés sur l'échantillon afin de mesurer les déformations longitudinales et transversales.

Au cours de l'essai, les capteurs de déplacement et de charge soigneusement disposés sur les échantillons permettent d'enregistrer en continu la charge et les variations de dimension longitudinale et transversales de l'échantillon.

La résistance en compression exprimée en MPa ou N/mm² est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{S}$$

Où

F : représente la force appliquée en Newton (N)

S : représente la surface de contact des échantillons avec le plateau en mm²

R_c : représente la résistance à la compression en MPa

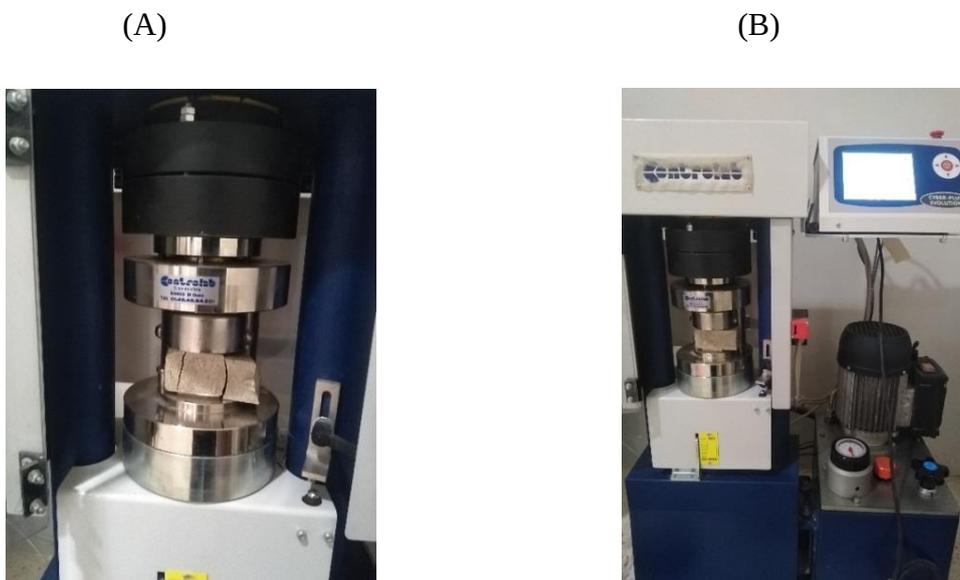


Figure II.6 : Photographies numériques montrant l'appareil d'essai mécanique

(A) : Compression

(B) : Flexion.

II.5.2 Résistance à la flexion :

La connaissance de cette caractéristique est indispensable pour des applications structurelles (revêtements de façade, dalles sur plots, traverses supérieures, ...) où le matériau sera sollicité en flexion [29].

Les essais sont réalisés selon la norme **NF EN12190** à l'aide d'une presse hydraulique de 500 kN de marque Controls (Figure II.6).

Comme en compression, les capteurs de déplacement et de charge soigneusement disposés sur les échantillons permettent d'enregistrer en continu la charge et les variations de dimension.

La résistance en flexion trois (3) points exprimés en MPa ou N/mm² est donnée par la formule :

$$Rf = \frac{3FL}{2be^2}$$

Où

F : représente la charge mesurée à la rupture.

L : représente la distance entre les deux points d'appui.

b : représente la largeur de l'éprouvette.

e : représente l'épaisseur de l'éprouvette.



FigureII.7 : Photographie numérique montrant la presse hydraulique utilisée dans les essais mécaniques (Flexion 3 points).

II.5.3. Essai d'absorption d'eau

La pénétration de l'eau dans un matériau se fait par absorption qui est responsable de nombreux dommages. Parmi les nombreux types d'essai d'absorption, celui par immersion réalisé au cours de notre étude est déterminé selon les directives de la norme **NBN B 15-215:1989**[17].

Initialement, les échantillons sont immergés dans un bac à eau de robinet à 20 ± 2 °C durant 24 h.

24 h après la pesée, les échantillons sont essuyés de manière à les débarrasser de l'eau superficielle.

L'absorption d'eau par immersion qui est exprimée en pourcentage est calculée par la relation suivante :

$$\alpha = \frac{m_{humide} - m_{sèche}}{m_{sèche}} * 100$$

Avec :

m_{humide} = Représente la masse humide après immersion.

$m_{sèche}$ = Représente la masse sèche.

α = Représente le taux d'absorption d'eau.

(A)



(B)



Figure II.8 : Photographies numériques montrant les appareils utilisés dans les test d'absorption d'eau. (A) : bassin d'eau (B) : balance

II.5.4. Tests de conductivité :

La conductivité thermique (ou conductibilité thermique) d'un matériau est une grandeur physique qui caractérise sa capacité à diffuser la chaleur dans les milieux sans déplacement macroscopique de matière.

C'est le rapport de l'énergie thermique (quantité de chaleur) transférée par unité de temps (donc homogène à une puissance, en watts) et de surface au gradient de température. Notée λ ou K voire k , la conductivité thermique intervient notamment dans la loi de Fourier [24].

$$K = \frac{Qd}{A\Delta T}$$

Où les paramètres suivants représentent :

K = Conductivité thermique.

Q = Quantité de chaleur transférée.

D = Distance entre les deux plans isothermes.

A = Superficie de solide.

ΔT = Différence de température.

Les photographies numériques de la Figure II.9 montrent l'appareillage de mesures de la conductivité.



Figure II.9 : Photographies numériques montrant l'appareillage de mesure de la conductivité.

II.5.5. Tests chimiques

La résistance chimique due aux agressions chimiques (acide ou base) des échantillons immergés dans ces solutions est évaluée selon la norme ASTM C 267-96.

Les attaques d'acide chlorhydrique (HCl, 35-28 %) ou d'hydroxyde de sodium (NaOH 95-97%) durant des périodes de 24 heures, ont été effectuées en immergeant les éprouvettes de mélanges (sable /plastique) de moule (4 x 4 x 16) cm³ dans ces milieux chimiques.

Les éprouvettes à base de mélanges (sable /plastique) sont pesées avant et après chaque attaque chimique afin de déterminer leurs masses.

Le suivi cinétique de l'évolution de la masse est évalué en effectuant des pesées toutes les heures sur une balance de mesure de précision 0,01 g (Figure II.10).

Du point de vue pratique, les éprouvettes sont nettoyées trois fois avec de l'eau distillée pour éliminer la fraction altérée du mélange (sable /plastique).

Le degré de l'attaque est évalué selon l'expression suivante :

$$M_L = \frac{M_t - M_i}{M_t} \times 100$$

Où

M_t : la masse (g) à l'instant t.

M_i : la masse initiale (g) avant l'attaque à l'acide chlorhydrique ou à la base NaOH.



Figure II.10 : Photographies numériques montrant les tests chimiques utilisés.

II.5.6. Tests de porosité

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide qui peuvent être remplis par les fluides (liquide ou gaz).

Cette grandeur physique comprise entre 0 et 1 (ou entre 0 et 100%) conditionne les capacités d'écoulement et/ou de rétention d'un substrat.

- **Description de la manipulation**

Initialement, les éprouvettes (4 x 4 x 16) cm³ qui ont été réparties en trois catégories ont été soumises aux opérations suivantes :

- Mise dans le four pendant 24 h à une température de 60 °C.
- Pesée des éprouvettes traitées thermiquement par emploi d'une balance électrique.
- Mise des éprouvettes traitées dans un système sous vide pendant 3h pour extraire l'air dans les pores.
- Ajout de l'eau bouillante jusqu'à l'immersion totale des éprouvettes pendant 24 h.
- Pesée des éprouvettes traitées.

La porosité correspondante exprimée en pourcentage est calculée par la relation suivante :

$$\varepsilon = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

Où :

ε = représente la porosité.

M_{air} = représente la masse dans l'air.

M_{sec} = représente la masse à sec.

M_{eau} = représente la masse dans l'eau.

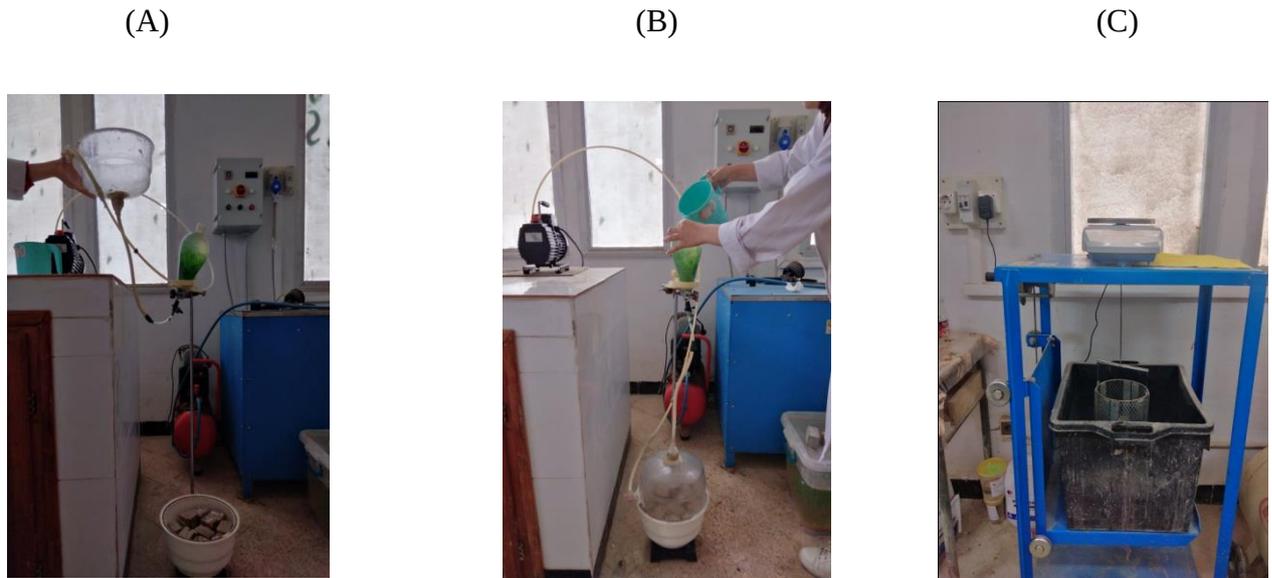


Figure II.11: Photographies numériques montrant le teste de la porosité

(A) : Système sous vide

(B) : Absorption d'eau

(C) : Pesée dans l'eau.

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Caractérisation du sable

Le sable utilisé est de type alluvionnaire, disponible en abondance dans la wilaya d'oued souf. Les résultats de l'analyse granulométrique (Figure III.1) montrent de façon claire que ce sable naturel de classe granulaire 0/5 présente une granulométrie continue et étalée qui est bien recommandée pour la production des pavés de bonnes qualités.

Les propriétés physiques correspondantes de ce sable sont présentées dans le Tableau III.1.

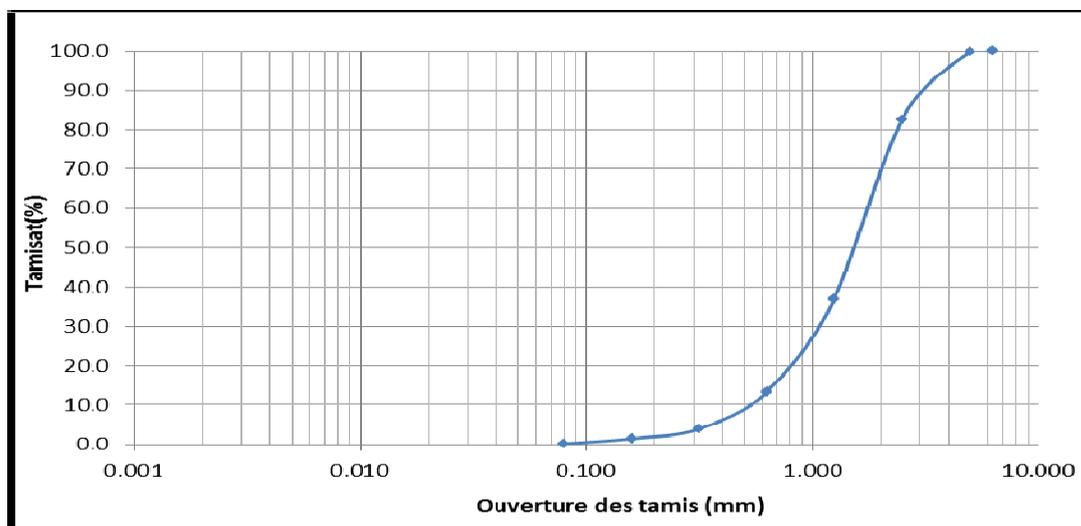


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable d'Oued Souf.

Tableau III.1 : Propriétés physiques du sable (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1.

Paramètre	Sable 0/5
Coefficient d'absorption (%)	0.59
Masse volumique absolue (kg/m ³)	2600
Masse volumique apparente (kg/m ³)	1540
Teneur en eau (%)	0.03
Equivalent du sable (%)	89
Module de finesse	2.02

La valeur de l'équivalent de sable montre que le sable utilisé est très propre, signe d'absence presque totale des fines argileuses.

Le module de finesse obtenu de 2.02 s'inscrit parfaitement dans les limites (1.8 et 3.2) préconisées pour les sables destinés à la composition de mélange (plastique/sable).

III.2. Résistance en compression et flexion

La Figure III.3 présente l'histogramme de résistance en compression des matériaux obtenus.

Les résultats correspondants montrent une variation de la résistance en fonction du ratio sable/plastique.

Le Tableau III.2 ci-dessous présente les résultats de la compression des différents pavés fabriqués en fonction des ratios plastique/sable.

Tableau III.2 : Résultats de la compression et flexion des différents échantillons étudiés.

Sable/plastiques	Flexion		Compression	
	Force (kN)	Contrainte (MPa)	Force (kN)	Contrainte (MPa)
50/50	6.44	15.10	36.3	22.7
60/40	6.05	14.19	32.5	21.4
70/30	7.46	17.50	34.3	20.3
40/60	5.58	13.09	27.4	17.1
30/70	4.56	10.69	23.5	13.6

Ces résultats sont exploités sous forme d'histogrammes dans la Figure III.2 suivante.

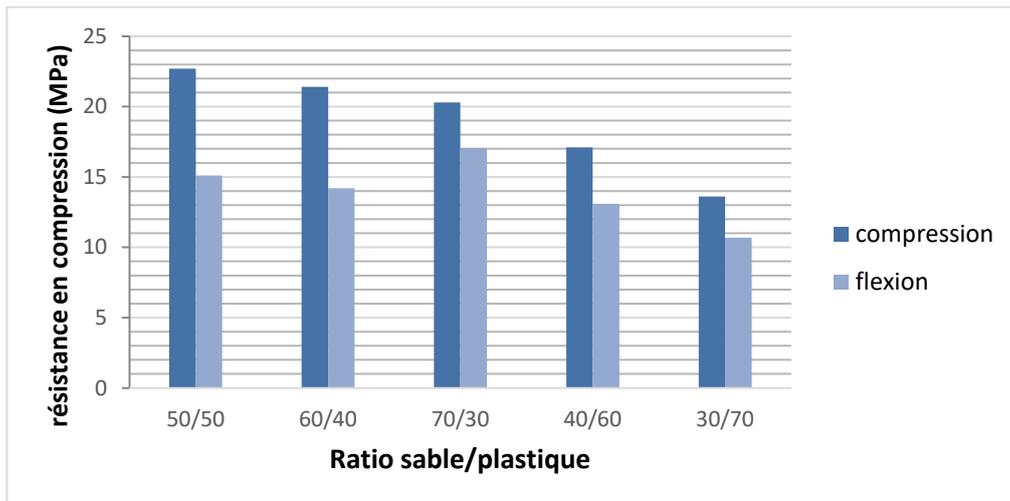


Figure III.2 : Histogrammes montrant la variation de la résistance en compression fonction du ratio sable/plastique.

Globalement, la résistance à la compression et flexion augmente respectivement de (21 à 22 MPa) et de (17 à 15 MPa) correspondant aux ratios 50/50 et 70/30 et diminue pour les autres ratios.

Ceci s'explique par le fait que la résistance croît lorsque les grains de sable sont liés ou enrobés jusqu'à un certain ratio considéré comme optimal.

Au-delà de ce taux, le matériau contient de plus en plus du plastique et donc une faible résistance à la compression devient moins résistante.



Figure III.3 : Photographies numériques montrant les éprouvettes obtenues.

III.3. Essai d'absorption d'eau

Le degré d'absorption d'eau d'une éprouvette reflète sa capacité de rétention de l'eau à l'intérieur de son système poreux.

Il s'exprime par un pourcentage de la masse sèche et se détermine selon la norme **NBN B 15-215:1989** en utilisant 05 échantillons de chaque type de mélange et par pesée hydrostatique après imprégnation.

Le calcul de ces caractéristiques citées est effectué à partir des relations existantes entre les masses de l'échantillon sec et humide.

Le Tableau III.3 ci-dessous présente le taux d'absorption des différents pavés fabriqués en fonction des ratios plastique/sable.

Tableau III.3: Taux d'absorption d'eau par essai.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Sable/plastique	50/50	60/40	70/30	40/60	30/70
Masse sèches (g)	397.50	498.6	524.15	407.3	358.4
Masse humide (g)	397.9	500.2	526.09	408.9	362.4
Taux d'absorption d'eau (%)	1.49	1.87	2.3	0.76	0.52

Comme le montre la Figure III.4 ci-dessous, ces résultats sont exploités sous forme de courbe montrant l'évolution du coefficient d'absorption en fonction de la teneur en plastique.

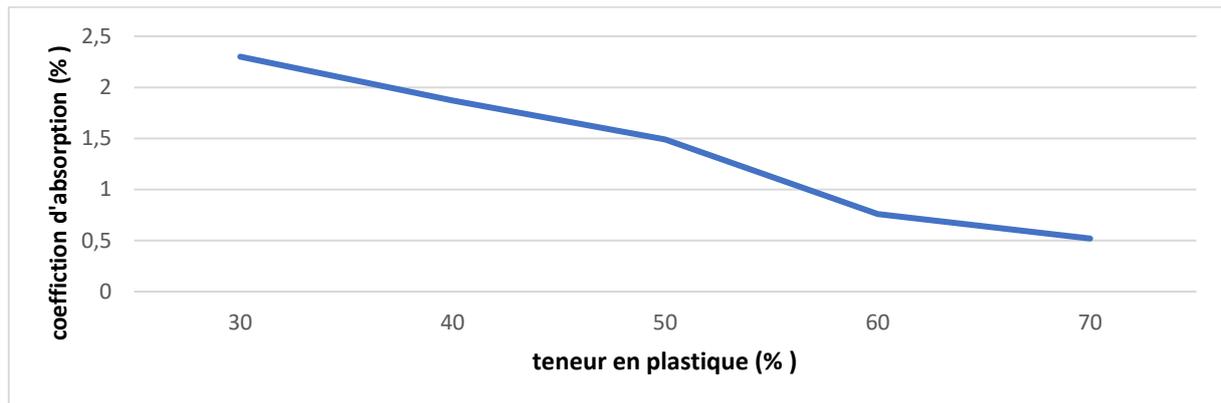


Figure III.4 : Evolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction de la teneur en plastique.

Il ressort du Tableau III.3 et de la Figure III.4 que le taux d'absorption de l'essai de ratio sable/plastique (70/ 30) est de $0,5 \pm 2.3\%$ lorsqu'on passe de 30 à 70% de PET et PEBD.

Cette diminution est due à l'augmentation relative de la quantité de plastique qui a une absorption presque nulle.

III.4. Test de conductivité

La mesure de l'appareil est basée sur la réponse du matériau à analyser aux impulsions de flux de chaleurs qui le traversent.

Ce flux de chaleur est excité électriquement par la résistance de chauffe insérée dans les plaques de mesure qui est au contact thermique directe avec le matériau.

La conductivité thermique des 10 échantillons a été déterminée par la méthode des plaques chaudes gardées.

La Tableau III.4 montre l'évaluation de la conductivité thermique des échantillons en fonction ratio sable/plastique.

Tableau III.4 : Résultats des tests de la conductivité.

Sable/plastique	50/50	60/40	70/30	40/60	70/30
Conductivité thermique w/m.k	0.527	0.664	0.863	0.470	0.477
Surface spécifique de chaleur kJ/m ³ .K	1885	1964	2009	1916k	1767

L'examen de tableau III.4 montre que la conductivité thermique augmente pour les ratios 50/50, 60/40 et 70/30 et diminue, par contre, pour les autres ratios.

Ainsi donc, les pavés dont le pourcentage de plastique est élevé sont moins sensibles au changement de température.

Cette augmentation de résistance est due au comportement thermique des constituants PET et PEBD qui ont la propriété d'absorber la température et créer une transition de phase.

III.5. Tests chimiques

La résistance chimique est étudiée en effectuant des agressions chimiques (acide HCl ou base NaOH) sur les cinq échantillons du mélange (sable /plastique) pendant 24 h.

Le suivi cinétique de l'évaluation de la masse des cinq échantillons au cours du temps montre que la masse et la couleur de ces échantillons après immersion dans les deux solutions acide et base restent constantes.

Ceci indique donc que les pavés fabriqués à base de mélanges (sable /plastique) résistent bien aux agressions chimiques.

Tableau III.5 : Variation de la masse au cours des tests chimiques.

Sable/plastique	50/50	60/40	70/30	40/60	30/70
Masse initiale	379.50	498.6	524.15	407.3	358.4
Masse finale	379.50	498.6	524.15	407.3	358.4

III.6. Tests de porosité

Les résultats de la porosité sur les différents ratios (sable/plastique) est présenté dans la Figure III.7 suivante.

Tableau III.6 : Résultats de la porosité en pourcentage des différentes formulations.

Ratio sable/plastique	50/50	60/40	70/30	40/60	30/70
Porosité %	8.92	10.9	11.76	12.13	12.33

Ces résultats sont exploités sous forme de courbe montrant l'évolution de la porosité en fonction du rapport Sable/Plastique dans la Figure III.7 suivante.

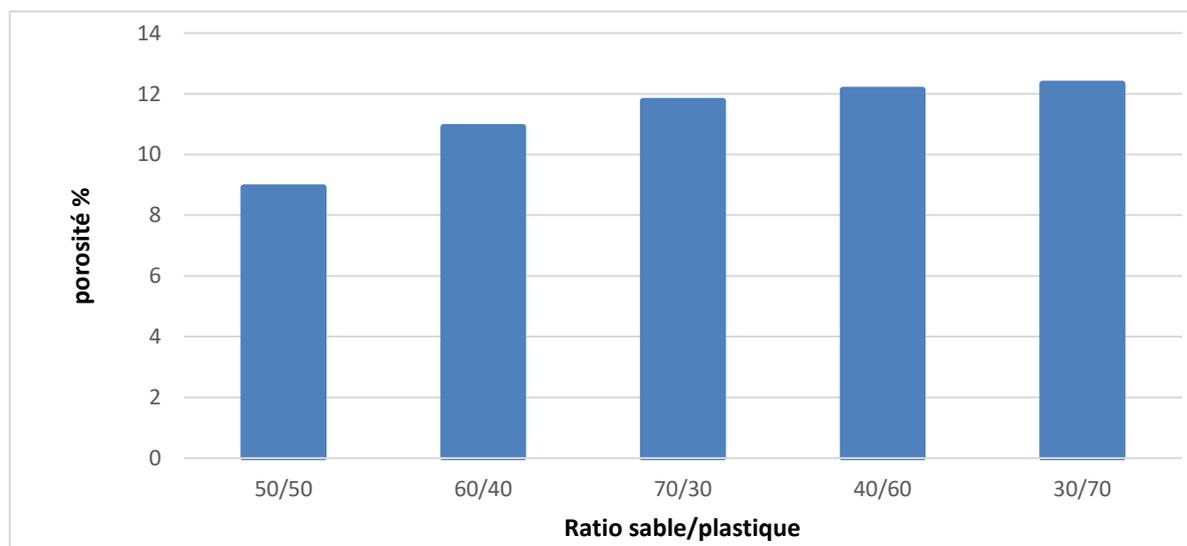


Figure III.7 : Histogramme montrant l'évolution de la porosité en fonction du ratio sable /plastique.

La Figure III.7 qui représente la porosité des pavés en fonction de ratio sable/plastique montre de façon claire que la porosité varie entre 8.92 à 12.33 % avec une légère augmentation de porosité lors de l'augmentation du plastique.

III.7. Comparaison des résistances obtenues avec les normes et applications

Le Tableau III.9 est un récapitulatif des résistances obtenues comparées aux normes.

Tableau III.9 : Résistances des matériaux obtenus comparées aux normes.

	Matériaux confectionnés					Classe de trafic				
	50/50	60/40	30/70	40/60	70/30	T5	T4	T3	T2	T1
Résistance Compression (MPa)	22.70	20.30	21.40	17.10	13.60	20	25	25	25 < Rc ≤ 60	Rc > 60
Résistance Flexion (MPa)	15.10	14.19	17.50	13.09	10.69	3.5	4	5	6	> 6
Absorption (%)	1.49	1.87	2.3	0.76	0.52	≤ 3	≤ 5	≤ 6	≤ 7	Pas spécifié

Selon les normes et en fonction des trafics, le minimum de résistance en compression est fixé à 20 MPa.

Les résultats rentrent dans ce canevas car la résistance obtenue avec les ratios 50/50, 60/40 et 30/70 est 22.7, 20.3 et 21.4MPa.

Quant à la résistance en flexion, les normes exigent une résistance minimum de 3,5 MPa. Or nous obtenons une résistance minimum de 10.69 MPa de ratio 70/30.

Concernant la résistance à l'absorption d'eau, les normes tolèrent une absorption comprise entre 3 et 7 %.

L'absorption obtenue sur nos matériaux est comprise entre 2.3 et 0.52 %. Ce qui est largement inférieur aux exigences des normes.

Cette grande différence est due à la matrice PET et PEBD qui est hydrophobe. En se référant aux résistances obtenues, nous pouvons alors proposer le ratio 30/70.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Ce travail s'inscrit dans le contexte de recyclage des déchets plastiques qui est de nos jours une question préoccupante pour tous.

L'objectif était, d'une part de proposer une méthode de recyclage des déchets plastiques en l'utilisant comme liant un hydrocarboné dans un matériau sable-PEBD-PET (déchets plastiques) en fusion pouvant remplacer le ciment (liant hydraulique). L'objectif primordial est triple :

-Préparer des pavés de sol.

-Protéger l'environnement.

- Résoudre le problème d'épuisement de ressources naturelles et création de nouveaux emplois.

Cinq formulations à base de mélanges (sable/plastique) avec des rapports (50/50 60/40 70/30 40/60 30/70) ont été utilisées dans la fabrication des pavés.

Arrivés à ce stade, nous pouvons avancer les conclusions suivantes :

- De l'ensemble des résultats concernant les propriétés physiques, mécaniques et durabilité des pavés nous a permis de de sortir avec les résultats suivants :
- - Les ratios 40/60 et 30/70 des paves polymères présentent une bonne légèreté et imperméabilité mais une moyenne résistance à la charge de rupture par rapport aux normes.
- - les ratios 50/50, 60/40 et 70/30 présente une bonne légèreté, imperméabilité contre l'infiltration des eaux et une résistance suffisante pour supporter les contraintes normales de manutention et la circulation des piétons selon les normes.
- - Toutes les proportions fabriquées à partir de PET, PEBD et de sable de dune (SD) présentent une bonne légèreté et absorption d'eau, une bonne conductivité thermique et résistance à la flexion.

Pour conclure, le nouveau produit à base de sable et plastique contribuera efficacement à l'élimination des déchets plastiques, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, réduction de l'utilisation d'argile et de ciment pour la fabrication de briques, ainsi que la rentabilité.

Perspectives

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont jugés intéressants et encourageants. Cependant et pour plus d'arguments en faveur de l'utilisation de cette méthode de recyclage des sachets plastiques, il serait intéressant de faire des études complémentaires sur les points suivants :

- Le comportement à feu des matériaux.
- La résistance à la compression afin d'assurer une sécurité maximale à l'usage.
- La résistance à l'abrasion.
- La résistance aux agressions chimiques et climatiques.

Toutes ces différentes études pourront conforter les arguments avancés et permettront de convaincre la population et le monde scientifique de l'utilité de cette méthode de recyclage dans le but d'assainir notre environnement souillé par ces déchets plastiques.

RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1]. HARVEY V. FINEBERG, la revue de l'institut Veolia « l'indispensable réinvention des plastiques », 2019.
- [2]. JORADP, (2001) : Loi N° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion au contrôle et à l'élimination des déchets.
- [3]. BRUNO, D., (1997) : Système d'aide à la décision pour le traitement des déchets industriels spéciaux, Thèse de doctorat sciences de l'environnement de INSA de Lyon, France, p.22.
- [4]. AU. GRIS, M., (2002) : Gestion des déchets : « guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche », centre national de la recherche scientifique d'INRA et INSERM, France, URL (www.sdfp.Lnet.f).
- [5]. DJEMACI, B., (2012) : La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité, Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement de l'université de Rouen, France.
- [6]. CHAOUI, S., (2017) : La gestion des résidus solides urbains en Algérie : Quelles méthodes de traitement, Cas de la ville d'Annaba, Nature et Technology Journal, vol. A: Fundamental and engineering sciences, 18(2018), p.48, URL (<http://www.univ-chlef.dz/revenante>).
- [7]. A. S. Benosman, M. Mouli, H. Taibi, M. Belbachir and Y. Senhadji. Resistance of Polymer (PET)-Mortar Composites to Aggressive Solutions. International Journal of Engineering Research in Africa Vol. 5 (2011) pp 1-15.
- [8]. ANDRADYA.L ; 1990-Environmental dégradation of plastics Under land marine exposure condition. Chemistrey and life sciences, vol 2 page 22.
- [9]. Joao, A. Rossignolo, Marcos V.C. Agnesini., « Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete», Cement and Concrete Composites, 26, pp.375-380, 2004.

- [10].** BARNE, D.K.A., GALGANI.F, THOMPSON.R.C, ET BALZAS.M, (2009): Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society (B: Biological Sciences)*, 364, 1985-1998).
- [11].** S. ETIENNE et L. DAVID, *Introduction à la physique des polymères*. Paris, Dunod, (2002).
- [12].** M. CARREGA, *Collection : Aide-mémoire de l'ingénieur*, Dunod /L'Usine Nouvelle - 2ème édition, (2009).
- [13].** A.S. Benosman, H. Taibi, M. Mouli, M. Belbachir, « Durabilité des matériaux polyphasés : attaques chimiques par différents milieux agressifs », *Colloque Méditerranéen sur les Matériaux CMEDIMAT*, 6-7 Déc. 2005.
- [14].** HANNEQUART, J-P., (2004) : Guide de bonnes pratiques pour le recyclage des déchets plastiques, « conçu par et destiné aux autorités locales et régionales », *Européen plastics converters EUPC*, Belgique, ACRR, p.10-21-26.
- [15].** ENONGO, B. D., E (2009) : *Le sable : Un géomatériau complexe aux multiples applications ; Materials Solutions*. Cameroon.
- [16].** Trore,B. (2018) : *Elaboration et caractirisation d'une structure composite (sable/plastiques recyclés) : Amélioration de la résistance par des chargess en argiles,matériaux*, Université Bourgogne Franche- Comté ; Université Félix Houphouel-Boigny (Abidjan, cote d'Ivoire),2018.Français.
- [17].** PLOYAERT I. C. (2009) : *Production domestique, récupération et recyclage des déchets plastiques : cas des sachets plastiques à Dakar*. Theses de l'Université Cheikh Anta Diop Dakar. 141 p.
- [18].** KAVIANY, M. 1995: *Principles: of heat transfer in porous media*. 2ième Édition. NewYork : Springer-Verlag, 708 p.
- [19].** CREABETON (2016) : *Revêtements en béton. Données techniques de CréaBéton Matériaux*. Document de cours. Université Pierre et Marie Curie. 52 p.

[20]. GATINE (2011) : Expérience de l'unité de fabrication de pavés plastiques par Cascade Fonderie à travers le PSRDO/CER. Séminaire CIFAL. 15 p.

[21]. CERIB (2009) : Voirie et aménagements public. Guide de confection des ouvrages réalisés à partir des pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton. 92 p.

[22]. Info Ciment (2015) : Les constituants. Chapitre 4. www.infociments.fr/télécharger/. 44-73.pdf

[23]. WALLONIE (2015) : Matériaux composites à matrice organique : constituants, procédés, propriétés, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 233 p.

[24]. MARC F. (2016) : Les plastiques. Cours du Module M227 Matériaux non métalliques. IUT de Cachan, Université de Paris Sud 11.123 p.

[25]. FOND C. (2015) : Les polymères. Support de cours. Université de Strasbourg - IUT Génie Civil. 17 p.

[26]. BALOU B. (2009) : Support de cours de matières plastiques, DEA de Géomateriaux, Université de Cocody-Abidjan, 58 p.

[27]. BRUNEAU M. (2015) : Recyclage des déchets plastiques dans la gestion des déchets en Afrique et dans les caraïbes. Présentation synthétique de l'état des lieux et des retours d'expériences. Plateforme-Re-Sources.6 p.

[28]. Dariou, D.S.A., Loabépahimi, Arafat, Gové, Jacques, Djida Hossein (2020) : Mécanique du solide et des matériaux : Elasticité-Plasticité-Rupture. Support de cours de l'enseignant de l'ESPCI Paris-Tech. 163 p.

[29]. BAVELARD G., BEINISH H. (2006) : Détermination non destructive de la résistance du béton sur site (Scléromètre & Ultrason). Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. 9 p.

