

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Mr. KARIM Ali

Mr. BELKEBIR Hani

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** :

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

Valorisation des déchets plastiques par l'élaboration d'un matériau à base de sable de dune et plastique comme matrice

Devant le jury composé de :

Mokadem Youcef
Kennouche Salim
Saoudi Nacira

MCB
MCA
MCA

UAMOB Président
UAMOB Encadreur
UAMOB Examineur

Le 02/07/2023

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Tout d'abord, Nous tenons à remercier. Dieu clément et miséricordieux de nous avoir donné la force d'être des ingénieurs aujourd'hui Tout cela grâce à Dieu Tout Puissant.

Toute notre plus grande gratitude s'adresse à Monsieur Kennouche Salim pour avoir fait preuve d'un professionnalisme sans faille. Pour avoir dû être présent en ces temps de crise, aussi pour sa disponibilité et la confiance qu'il nous a accordé nous dit toujours qu'aujourd'hui nous sommes plus des étudiants on est devenus des ingénieurs pour trouver les solutions, pour s'être montrés compréhensifs, pour m'avoir transmis une idéologie, une approche des choses qui dépasse le domaine de génie civile pour s'apparenter à des leçons de vie, je vous remercie.

Aujourd'hui, alors que je termine cette incroyable aventure je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien indéfectible et votre contribution essentielle à mon parcours académique et allez à notre vie professionnelle.

En premier lieu, je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à nos Parents. Votre amour, votre encouragement constant et votre soutien financier ont été les fondations solides sur lesquelles on a pu construire cette recherche. Votre confiance donné la force et la détermination nécessaires pour poursuivre notre projet ambitieux.

Nous sommes infiniment reconnaissants pour votre présence inconditionnelle à chaque étape de notre parcours. Afin de n'oublier personne nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui ont aidé à la réalisation de cette mémoire Je serai éternellement reconnaissant de vous avoir à mes côtés.

Enfin Tout ce que nous sommes aujourd'hui C'est grâce à mon Dieu Tout-Puissant et grâce à toutes les personnes qui sont avec nous.

Dédicace

Avec une profonde gratitude et des mots empreints de sincérité, nous dédions humblement cette étude à : Nos deux familles qui ont fait preuve de sacrifice à nos côtés, et dont le bonheur pour cette réussite sera tout aussi intense que le nôtre.

À tous ceux qui nous ont encouragés et soutenus tout au long de ce parcours d'étude.

Votre aide précieuse a été un moteur essentiel pour notre progression.

Résumé

La gestion des déchets constitue un défi majeur pour les autorités publiques. Les quantités considérables de déchets solides, en particulier les déchets plastiques, augmentent de manière significative. La valorisation de ces déchets dans le domaine des matériaux de construction est un sujet de recherche étudié à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, cette thèse se concentre sur la prise en compte de cette problématique en Algérie, où le sable de dune est abondamment disponible et utilisé dans l'industrie du béton. L'objectif de ce travail est de développer un matériau à base de sable de dune, auquel seront ajoutés des déchets plastiques qui joueront le rôle de liant. Différentes variantes seront étudiées, puis des essais physicomécaniques seront réalisés sur l'ensemble de ces variantes. Les résultats obtenus permettront de recommander l'utilisation de ce matériau dans le domaine des matériaux de construction.

Mot clés : Valorisation des déchets, sable de dune, plastique, essais physicomécaniques.

Abstract

Waste management poses a major challenge for public authorities. The significant quantities of solid waste, particularly plastic waste, are increasing significantly. The valorization of these waste materials in the field of construction is a global researched topic. In this context, this thesis focuses on addressing this issue in Algeria, where dune sand is abundantly available and extensively used in the concrete industry. The objective of this work is to develop a material based on dune sand, supplemented with plastic waste that will act as a binder. Various variables will be studied, and subsequent physical-mechanical tests will be conducted on all these variations. The obtained results will provide recommendations for the utilization of this material in the construction material domain.

Key words: Recovery of waste, dune sand, plastic, physical-mechanical tests.

ملخص

تعتبر إدارة النفايات تحدٍ كبير للسلطات العامة. تتزايد كميات النفايات الصلبة بشكل كبير، وخاصة النفايات البلاستيكية. إعادة تصنيع هذه النفايات في مجال مواد البناء هي موضوع بحث مدروس على نطاق عالمي. في هذا السياق، تركز هذه الأطروحة على معالجة هذه المسألة في الجزائر، حيث تتوفر رمال الكثبان الرملية بكميات وفيرة وتستخدم بشكل واسع في صناعة الخرسانة. هدف هذا العمل هو تطوير مادة قائمة على رمال الكثبان الرملية، مع إضافة النفايات البلاستيكية التي ستعمل كمواد رابطة. سيتم دراسة مختلف الاختلافات، ومن ثم سيتم إجراء اختبارات فيزيكوميكانيكية على جميع هذه الاختلافات. ستوفر النتائج المتحصلة توصيات بشأن استخدام هذه المادة في مجال مواد البناء.

الكلمات المفتاحية: استعادة النفايات، الكثبان الرملية، البلاستيك، الاختبارات الفيزيائية الميكانيكية.

Table des matières

Table des matières

Introduction générale.....	3
Chapitre I : Valorisation des déchets dans la construction.....	1
I.1 Introduction :.....	5
I.2 Définition d'un déchet :.....	5
I.2.1 Règlementation en Algérie :.....	5
I.2.2 Règlementation européenne :.....	5
I.3 Origine de la production des déchets.....	6
I.4 Différents types de déchets.....	6
I.4.1 Selon leur nature :.....	6
I.4.2 Selon leur origine.....	7
I.4.3 Les déchets industriels inertes.....	9
I.5 Les Caractéristiques des déchets.....	10
I.5.1 Densité.....	10
I.5.2 Degré d'humidité.....	10
I.5.3 Pouvoir calorifique.....	10
I.5.4 Rapport des teneurs en carbone et azote (rapport C/N).....	10
I.6 Valorisation et gestion des déchets.....	10
I.6.1 Définition.....	10
I.6.2 Gestion des déchets en ALGERIE.....	11
I.7 Réglementation Algérienne des lois des déchets.....	11
I.8 La valorisation.....	12
I.9 Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine de Génie civil.....	12
I.10 Valorisation et recyclage des déchets plastique dans le béton.....	13
I.11 Conclusion.....	13
Chapitre II : Les déchets plastiques dans les matériaux de construction.....	15
II.1. Histoire de la matière plastique.....	16
II.2. Histoire Du déchet plastique.....	16
II.3. Plastique.....	17
II.3.1. Définition.....	17
II.12. Différentes familles de plastique.....	17
II.12.1. Thermoplastiques.....	18
I.12.2. Thermoplastiques techniques.....	18

I.12.3. Thermoplastiques hautes performances	18
II.12.1. Thermodurcissables	18
II.12.5. Élastomères ou caoutchoucs	19
II.13. La classification du plastique	19
II.13.1. PET ou PETE (polyéthylène téréphtalate).....	19
II.13.2. HDPE (polyéthylène haute densité)	19
II.13.3. PVC (chlorure de polyvinyle).....	19
II.13.4. LDPE (polyéthylène basse densité).....	19
II.13.5. PP (polypropylène)	19
II.13.6. PS (polystyrène)	20
II.13.7. Autres matières plastiques	20
II.14. Les propriétés de plastique [23]	21
II.15. Recyclage	23
II.15.1. Définition.....	23
II.16. Recyclage des déchets plastique dans le béton	24
II.17. Domaine d'application	26
II.17.1. Statistique des déchets plastique dans le monde et en Algérie.....	26
II.18. Les domaines d'utilisation de déchet plastique dans la construction.....	27
II.19. La valorisation des déchets plastique Dans le monde	28
Conclusion.....	29
Chapitre III : Partie pratique	31
II. III. Introduction	32
III.1. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentaux.....	32
III.1.1. Sable	32
III.1.1.1. La masse volumique du sable	33
III.1.1.1.1. La masse volumique apparente	33
III.1.1.1.2. La masse volumique absolue du sable :	34
III.1.1.2. L'essais de l'équivalent de sable	34
III.1.1.2.1. Principe d'essai.....	34
III.1.1.2.2. Appareillage utilisé.....	35
III.1.1.2.3. Mode opératoire.....	36
III.1.1.2.4. Résultats	37
III.1.1.3. Analyse granulométrique.....	39
III.1.1.3.1. Objective de l'essai.....	40

III.1.1.3.2. Principe de l'essai.....	41
III. III.1.1.3.3. Résultats	41
III.1.1.3.4. Module de finesse.....	42
III.1.1.3.5. Interprétation des résultats.....	43
II.1.2. Le plastique.....	43
III.1.2.1. La masse volumique de plastique.....	44
III.1.2.1.1. La masse volumique apparente de plastique	44
III.1.2.1.2. Masse volumique absolue du plastique	45
III.2. Préparation des variantes	45
III.2.1 Méthode de malaxage.....	46
III.3. Les essais destructifs	46
III.3.1. Essai flexion	47
III.3.2. Essai de compression.....	47
III.3.3 Essai flexion trois points	49
III.4. Essai non destructif (ultrasonore).....	51
III.5. Résultats des essais physicomécaniques.....	52
III.6. Essai d'absorption.....	55
III.7. Essai de résistance à la température.....	56
III.8. Remarques sur les essais.....	56
III.9. Discussion des résultats	57
Références Bibliographiques.....	63

Liste des figures

Figure I. 1 : Déchets dangereux.	7
Figure I. 2 : Déchets ménagers.	8
Figure I. 3 : Déchets industriels	8
Figure I. 4 : Déchets inertes.	9
Figure I. 5 : Le béton un matériau recyclable et recyclé.	13
Figure II. 1 : Historique sur l'apparition des différents polymères	16
Figure II. 2 : Evolution du recyclage plastique en Québec et en Europe	26
Figure II. 3 : Le cycle de recyclage du plastique dans le monde.	28
Figure III. 1 : Sable du dune " oued Souf"	33
Figure III. 2 : Essais de la masse volumique apparente du sable.	33
Figure III. 3 : Essais de la masse volumique absolue du sable.....	34
Figure III. 4 : La solution concentrée.	35
Figure III. 5 : Un échantillonnage.	36
Figure III. 6 : L'échantillon après l'état de repos (10 mn et 20 mn).....	37
Figure III. 7 : Méthodes de mesure.	38
Figure III. 8 : Différents classes granulaires.....	40
Figure III. 9 : Tamiseuses de laboratoire.	41
Figure III. 10 : Courbe granulométrique du sable oued souf.....	42
Figure III. 11 : Granulat de plastique.	44
Figure III. 12 : Essais de la masse volumique apparente du plastique.	44
Figure III. 13 : Essais de la masse volumique absolue du plastique.....	45
Figure III. 14 : Outils de préparation du mélange.	46
Figure III. 15 : Essai de flexion trois points.	47
Figure III. 16 : Essai de compression.	47
Figure III. 17 : Eprouvette après essais de flexion.	49
Figure III. 18 : résultat d'essai de compression.....	49
Figure III. 19 : Essai flexion trois points.	50
Figure III. 20 : Courbes d'essai flexion trois points (force-déplacement).....	50
Figure III. 21 : Eprouvettes des différentes variantes étudiées.....	51
Figure III. 22 : Essai non destructif.	52
Figure III. 23 : Masses volumiques des variantes étudiées.	52
Figure III. 24 : Gain en masse.	53
Figure III. 25 : Evolution des résistances en flexion des variantes étudiées.	53
Figure III. 26 : Evolution des résistances en compression des variantes étudiées.....	54
Figure III. 27 : Corrélacion masse volumique et résistances à la flexion.	54
Figure III. 28 : Corrélacion masse volumique et résistances à la compression.....	55
Figure III. 29 : Essais d'absorption.....	55
Figure III. 30 : Essai de résistance à la température.	56

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Les caractéristiques et leurs domaines d'utilisation.....	21
Tableau III. 1 : Tableau des mesures équivalentes de sable.....	39
Tableau III. 2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.....	39
Tableau III. 3 : Tableau d'analyse granulométrique.....	42
Tableau III. 4 : Les caractéristiques de sable.....	43
Tableau III. 5 : Composition des variantes étudiées.....	46
Tableau III. 6 : Résultats des essais mécaniques de chaque variante.....	48
Tableau III. 8 : Résultats des essais de flexion trois points.....	50
Tableau III. 7 : Composition des variantes étudiées.....	52
Tableau III. 8 : Résultats des essais physico-mécaniques.....	56

Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, la production et l'utilisation massive de plastiques ont engendré une crise environnementale majeure, avec des conséquences dévastatrices pour notre planète. La pollution plastique est devenue un défi mondial, affectant les écosystèmes terrestres et marins, la biodiversité et la santé humaine.

Face à cette urgence, la nécessité de trouver des solutions innovantes pour réduire, réutiliser et recycler les déchets plastiques est primordiale. Dans ce contexte, la présente thèse se concentre sur la valorisation des déchets plastiques en proposant une approche novatrice basée sur l'élaboration d'un matériau à base de sable de dune et de plastique comme matrice. L'objectif principal de cette recherche est de développer un matériau composite durable, léger et résistant, tout en réduisant la quantité de plastique destinée aux décharges et aux océans.

Le choix d'utiliser le sable de dune comme matériau de base repose sur plusieurs facteurs. Tout d'abord, les dunes de sable sont abondantes dans de nombreuses régions du monde, ce qui en fait une ressource naturelle disponible et renouvelable. Ensuite, le sable de dune présente des caractéristiques intéressantes telles que sa granulométrie et sa structure poreuse, qui peuvent favoriser les propriétés mécaniques du matériau composite final. En associant le sable de dune au plastique, nous cherchons à tirer parti des avantages de chaque matériau et à combiner leurs propriétés complémentaires.

La démarche de recherche adoptée dans cette thèse comprendra plusieurs étapes. Tout d'abord, une caractérisation approfondie des déchets plastiques disponibles sera effectuée, en évaluant leur composition, leurs propriétés et leur impact environnemental. Ensuite, des techniques de transformation et de mélange seront employées pour incorporer les déchets plastiques dans le sable de dune, en créant un matériau composite homogène et cohésif.

Par la suite, des essais physiques et des tests mécaniques, ainsi que thermiques seront réalisés afin d'évaluer les propriétés et les performances du matériau composite obtenu. Les résultats de ce travail sont concluants, car ils pourraient avoir un impact significatif sur la gestion des déchets plastiques et la promotion d'une économie circulaire plus durable.

En développant un matériau composite à base de sable de dune et de plastique, cette thèse ouvre des perspectives pour la réutilisation des déchets plastiques tout en préservant les ressources naturelles.

Chapitre I : Valorisation des déchets dans la construction

I.1 Introduction :

La gestion des déchets représente un défi majeur pour les autorités publiques en raison de ses répercussions sanitaires, environnementales et de son importance croissante dans le contexte du développement durable. Selon l'Agence nationale des déchets (AND) (2017), la récupération et le recyclage des déchets pourraient constituer un secteur d'investissement économiquement prometteur en Algérie. L'AND estime que le marché national des déchets atteint annuellement 2 milliards de dinars. L'Algérie produit chaque année 20 millions de tonnes de déchets, toutes catégories confondues, dont 12 millions de tonnes de déchets ménagers. De plus, il est important de noter que 35% de ces déchets sont produits dans seulement 4% du territoire national. La valorisation des déchets à travers leur récupération et leur recyclage est encore à un stade préliminaire en Algérie, ce qui ajoute à l'attrait de ce secteur [1].

La production de déchets ne cesse d'augmenter en quantité, en qualité et en nocivité en raison de l'évolution des modes de production et de consommation, de la croissance démographique et de l'urbanisation rapide. Cela se traduit par la prolifération de décharges et de dépôts sauvages, la saturation des centres d'enfouissement technique (CET) et les pertes financières résultant de l'absence de valorisation des déchets. Ces défis mettent en évidence les limites du modèle de gestion dominant dans les pays en développement, y compris en Algérie [2].

I.2 Définition d'un déchet :

Le déchet au sens large est ce qui exprime la fin de la validité des matériaux, on l'appelle donc saleté, rebut ou restes impropres à la consommation ou à l'utilisation. De nombreuses définitions de ce terme sont venues, notamment :

I.2.1 Règlementation en Algérie :

- « Le terme "déchet" désigne tout résidu provenant d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, ainsi que toute substance, produit ou bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur souhaite se débarrasser, a l'intention de s'en débarrasser, ou est légalement tenu de le faire. » [3]

I.2.2 Règlementation européenne :

« Les déchets englobe toute substance, objet ou bien meuble dont le détenteur choisit de se débarrasser, a l'intention de s'en débarrasser ou est contraint légalement de le faire. » [4].

I.3 Origine de la production des déchets

Les déchets peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur origine :

1. Déchets biologiques : Ce sont des déchets d'origine biologique qui produisent des métabolites tels que les fèces, les cadavres, etc., dans le cadre des cycles de vie.

2. Déchets chimiques : Dans toute réaction chimique, le principe de conservation de la matière s'applique. Ainsi, lorsqu'on obtient un produit C à partir des produits A et B par la réaction $A + B \rightarrow C + D$, le produit D devient un sous-produit de la transformation lorsqu'il n'a pas d'utilisation évidente.

3. Déchets technologiques : Indépendamment de la fiabilité et de la qualité des outils et des processus de production, il est inévitable de générer des déchets tels que les déversements, les copeaux, les solvants usagés, les emballages, etc.

4. Déchets économiques : Les produits, les objets et les machines ont une durée de vie limitée et seront éventuellement éliminés ou remplacés.

5. Déchets écologiques : Les activités de dépollution, qu'il s'agisse de l'eau, de l'air ou des déchets, génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront également une gestion spécifique, créant ainsi un cycle de gestion des déchets.

Ces différentes catégories de déchets reflètent les diverses sources et processus qui contribuent à la production de déchets, qu'ils soient d'origine biologique, chimique, technologique, économique ou écologique.

I.4 Différents types de déchets

Il existe plusieurs types de déchets, mais pour les classer, il faut s'appuyer sur plusieurs critères. Comme explique *Jean-Michel Balet* dans son livre [5].

I.4.1 Selon leur nature :

I.4.1.1 Les déchets dangereux :

Les déchets dangereux sont définis comme étant les déchets provenant de l'activité industrielle qui présentent un risque pour la santé ou l'environnement et qui requièrent un traitement spécifique et approprié. Ces déchets nécessitent des mesures particulières en raison de leur toxicité, de leur inflammabilité, de leur réactivité chimique ou d'autres caractéristiques qui les rendent potentiellement dangereux. Un traitement adapté est essentiel pour minimiser les risques associés à ces déchets et assurer leur gestion sécurisée et écologiquement responsable [6].



Figure I. 1 : Déchets dangereux.

I.4.1.2 Les déchets non-dangereux

Un déchet non dangereux est défini comme un déchet qui n'est pas susceptible de représenter un danger ou une nuisance significative pour la santé humaine et l'environnement, et dont la gestion ne nécessite pas de précautions spéciales. Ces déchets peuvent être gérés conformément aux pratiques standards de gestion des déchets, sans nécessiter de mesures de traitement spécifiques ou de précautions particulières. Il est important de noter que, bien que ces déchets ne soient pas considérés comme dangereux, une gestion appropriée reste nécessaire pour minimiser les impacts environnementaux et promouvoir une gestion durable des déchets [7].

I.4.1.3 Les déchets inertes :

Un déchet inerte est défini comme un déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique majeure. Il ne se décompose pas, ne brûle pas, ne génère aucune réaction physique ou chimique et n'est pas biodégradable. De plus, il ne détériore pas les matériaux avec lesquels il entre en contact d'une manière susceptible de causer des dommages à l'environnement ou à la santé humaine. Les déchets inertes sont généralement considérés comme ne présentant pas de risques significatifs et peuvent être gérés conformément aux pratiques standards de gestion des déchets sans nécessiter de précautions particulières. Il convient cependant de noter que, même si ces déchets sont considérés comme inertes, une gestion appropriée reste essentielle pour minimiser les impacts environnementaux et promouvoir une gestion responsable des déchets.

I.4.2 Selon leur origine

I.4.2.1 Les déchets ménagers et assimilés

Les collectivités sont responsables de la collecte des différents types de déchets, tels que les déchets ménagers, les déchets assimilés des commerces et de l'industrie, les déchets encombrants, les déchets verts, les déchets de nettoyage des voies publiques et les déchets hospitaliers. Leur rôle est d'organiser des services de collecte réguliers et de mettre en place des systèmes de gestion appropriés. L'objectif est d'assurer une gestion adéquate des déchets, en minimisant les impacts sur l'environnement et en protégeant la santé publique. Les collectivités coordonnent également le

traitement et l'élimination des déchets dans des installations appropriées. En résumé, les collectivités jouent un rôle crucial dans la gestion des déchets en assurant leur collecte et leur acheminement vers des sites de traitement adaptés [8].



Figure I. 2 : Déchets ménagers.

I.4.2.2 Les déchets des collectivités locales :

Les déchets des collectivités locales englobent tous les déchets générés par les collectivités. Cela inclut les déchets provenant des voies publiques, ceux issus des marchés, la production de boues (notamment dans le cadre de l'épuration) ainsi que les déchets végétaux. [9]

Les déchets industriels : Ce sont les résidus, principalement solides, provenant du processus de production dans les industries. Il est généralement composé de restes de matières premières destinées au recyclage ou à la réutilisation dans le processus industriel



Figure I. 3 : Déchets industriels [10]

René Moletta a expliqué dans son livre que ce type de déchets est divisé en trois catégories suivantes :

I.4.3 Les déchets industriels inertes

Les déchets industriels inertes se réfèrent aux résidus générés par les activités extractives, les déblais et les produits de démolition tels que la terre, les gravats, les sables, etc. En général, ces déchets sont composés de matériaux minéraux stables ou inaltérables du point de vue de leur compatibilité environnementale. Cela signifie qu'ils ne subissent pas de modifications physiques, chimiques ou biologiques importantes lorsqu'ils sont stockés, ce qui les rend non susceptibles de polluer les sols et les cours d'eau. Par conséquent, ils peuvent être utilisés pour le remblayage et les travaux routiers.



Figure I. 4 : Déchets inertes.

I.4.3.1 Les déchets industriels banals (DIB)

Les déchets industriels banals (DIB) sont produits par les industries et les commerces et partagent des similitudes avec les déchets ménagers. Ils comprennent principalement les plastiques, les papiers-cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, le verre et les matières organiques. Ils sont souvent générés sous forme de mélanges. Ils peuvent être éliminés avec les ordures ménagères ou traités dans des installations spécifiques.

I.4.3.2 Les déchets industriels spéciaux (DIS)

Les déchets industriels spéciaux (DIS), plus couramment appelés "déchets dangereux", regroupent les déchets qui requièrent un traitement spécifique en raison de leur caractère nocif et dangereux pour la santé humaine et l'environnement. Ces déchets présentent diverses raisons pour cela, telles que leur toxicité due à la présence de substances chimiques ou biologiques, ainsi que les risques d'incendie et d'explosion qu'ils peuvent entraîner.

I.4.3.3 Les déchets d'activité de soins (DAS)

Les déchets d'activité de soin englobent tous les déchets générés par les activités de diagnostic, de suivi, de traitement préventif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire. Cela inclut également les déchets provenant des activités de recherche et d'enseignement associées, ainsi que ceux issus de la production industrielle tels que les seringues, les pansements, et autres matériaux similaires [11].

I.4.3.4 Les déchets organiques

Ils sont générés principalement dans des résidences, des restaurants et des établissements commerciaux travaillant avec des produits alimentaires. Ils doivent être séparés des autres types de déchets car ils sont principalement destinés aux décharges municipales.

I.5 Les Caractéristiques des déchets

Les déchets sont caractérisés par quatre paramètres essentiels :

I.5.1 Densité

La connaissance de la densité des déchets est d'une grande importance pour déterminer les méthodes de collecte et de stockage appropriées.

I.5.2 Degré d'humidité

Les déchets contiennent une quantité variable d'eau qui peut varier en fonction des saisons et de l'environnement. La connaissance du degré d'humidité est importante pour la gestion et le traitement adéquats des déchets.

I.5.3 Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique se réfère à la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de poids de déchets bruts. Cette mesure est utile pour évaluer le potentiel énergétique des déchets et déterminer les options de valorisation énergétique appropriées.

I.5.4 Rapport des teneurs en carbone et azote (rapport C/N)

Le rapport C/N est utilisé comme critère de qualité pour évaluer les produits obtenus par compostage des déchets. Il aide à déterminer l'équilibre des matières organiques et à optimiser le processus de compostage.

I.6 Valorisation et gestion des déchets

I.6.1 Définition

La gestion des déchets englobe l'ensemble des activités liées à la collecte, au transport, au recyclage et à l'élimination des déchets produits généralement par les activités humaines. Ces

dernières décennies, l'accent a été mis sur la réduction de l'impact des déchets sur l'environnement, ainsi que sur leur recyclage. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun ayant ses propres filières de traitement. Les méthodes de traitement des déchets varient en fonction du pays, qu'il soit développé ou en développement, ainsi que selon qu'il s'agit d'une zone urbaine ou rurale, et que les déchets proviennent de particuliers, d'industries ou d'entreprises [12].

I.6.2 Gestion des déchets en ALGERIE

La gestion des déchets comprend toutes les opérations liées à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, ainsi que le contrôle de ces opérations. En Algérie, plusieurs opérations sont mises en place pour la gestion des déchets conformément à la loi n°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Cette loi établit les principes fondamentaux pour une gestion intégrée des déchets, couvrant toutes les étapes, de leur génération à leur élimination.

I.7 Réglementation Algérienne des lois des déchets

Ces dernières années, la réglementation en Algérie concernant la gestion des déchets a connu une évolution significative, avec la promulgation de plusieurs lois. La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 a été introduite pour établir les principes fondamentaux de la gestion, du contrôle et de l'élimination des déchets. De même, la loi N° 02-02 du 05 février 2002 a été mise en place pour protéger et valoriser le littoral, tandis que la loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 porte sur la protection de l'environnement dans le contexte du développement durable.

La loi sur la gestion des déchets a comblé un vide juridique existant, mais des textes d'application supplémentaires sont nécessaires pour garantir sa mise en œuvre effective. La fiscalité écologique a également été mise en place en janvier 2005, avec l'introduction de mesures fiscales visant à encourager la protection de l'environnement et le développement durable. Ces mesures incluent des taxes sur les activités polluantes ou dangereuses, telles que la taxe d'enlèvement des ordures ménagères, les effluents liquides industriels et les émissions atmosphériques.

En complément des lois, plusieurs décrets exécutifs ont été promulgués et publiés au journal officiel pour réglementer des aspects spécifiques de la gestion des déchets. Parmi ceux-ci, le décret exécutif n°02-372 du 11 novembre 2002 concerne les déchets d'emballage, le décret exécutif n°04-210 du 28 juillet 2004, définit les caractéristiques des emballages destinés aux produits alimentaires et aux objets manipulés, tandis que le décret exécutif n°04-410 du 14 décembre 2004

établit les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets, ainsi que les conditions d'admission des déchets dans ces installations [13].

I.8 La valorisation

La valorisation est un terme global qui englobe diverses techniques permettant de réutiliser, recycler ou valoriser les déchets. Au cours des deux dernières décennies, la perception mondiale des déchets a évolué de manière significative, considérant désormais les déchets comme une source de matériaux recyclables à valeur ajoutée. Ainsi, il est essentiel d'exploiter pleinement les opportunités technologiques et les conditions économiques du marché. Le recyclage et la valorisation sont maintenant considérés comme des éléments cruciaux d'un système de gestion des déchets sain.

Il existe différentes méthodes de valorisation des déchets :

1. Le réemploi : Il s'agit de réutiliser un produit ou un objet usagé pour un usage similaire à sa première utilisation, sans nécessiter de traitements intermédiaires. Par exemple, la consignation des bouteilles qui sont nettoyées et réutilisées.

2. La réutilisation : Cette méthode implique d'utiliser un déchet pour un autre usage différent de sa première fonction. Par exemple, les pneus usagés peuvent être utilisés pour protéger la coque des bateaux.

3. Le recyclage : Le recyclage consiste à réintroduire un matériau contenu dans un déchet dans le processus de production, en remplaçant totalement ou partiellement une matière première vierge. Par exemple, la fonte de bouteilles cassées pour produire de nouvelles bouteilles.

Ces différentes formes de valorisation contribuent à réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, favorisant ainsi une utilisation plus efficace des ressources et une diminution de l'impact environnemental.

I.9 Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine de Génie civil

Le recyclage des déchets dans le domaine du génie civil revêt une grande importance, car il vise à obtenir des produits qui ne nécessitent pas des normes de qualité trop rigoureuses. Cette pratique a un double impact, à la fois environnemental et économique. De nombreux pays utilisent divers déchets dans le secteur de la construction, tels que des poudres, des fibres ou des granulats en ciment ou en béton.

Ce travail met particulièrement l'accent sur le recyclage des déchets plastiques, qui sont à la fois encombrants et inesthétiques, pour les intégrer dans le béton. Trois types de déchets plastiques, sous forme de granulés et de fibres (ondulées et droites), ont été ajoutés. Les propriétés des bétons produits, tant à l'état frais (facilité de mise en œuvre, présence d'air, densité) qu'à l'état durci (résistance à la compression, résistance à la traction, retrait), ainsi que leur capacité d'absorption d'eau, ont été analysées et comparées à celles des bétons de référence.

Les résultats expérimentaux permettent de conclure que le renforcement de la matrice cimentaire avec des fibres plastiques ondulées améliore significativement la résistance à la traction du béton. En revanche, l'utilisation de granulés de plastique entraîne une diminution importante de la résistance à la traction et de la capacité d'absorption d'eau du béton. Ainsi, le recyclage des déchets plastiques dans le béton peut avoir des effets variables selon le type de déchets utilisés et leurs propriétés.

I.10 Valorisation et recyclage des déchets plastique dans le béton

Le recyclage des déchets offre des opportunités économiques et environnementales précieuses en réduisant l'utilisation des ressources naturelles épuisables. En favorisant la réutilisation et le recyclage des matériaux, il contribue à créer des emplois dans le domaine du traitement des déchets et à promouvoir une économie circulaire. Le recyclage joue un rôle clé dans la construction d'une économie durable en préservant l'environnement et en réduisant les coûts liés à l'extraction de nouvelles ressources. Il est important de soutenir activement le recyclage des déchets à travers des politiques et des initiatives favorables pour créer un avenir durable et prospère



Figure I. 5 : Le béton un matériau recyclable et recyclé.

I.11 Conclusion

La valorisation des déchets, qu'elle soit pratiquée à l'échelle générale ou spécifiquement dans le domaine de la construction, revêt une importance croissante dans notre société moderne. En effet, la gestion

adéquate des déchets est devenue une préoccupation majeure en raison de l'épuisement des ressources naturelles, de l'augmentation de la production de déchets et de l'impact environnemental.

La valorisation des déchets consiste à transformer les déchets en ressources utiles, que ce soit par le recyclage, la réutilisation, la récupération d'énergie ou d'autres méthodes innovantes. Cette approche présente de nombreux avantages. Tout d'abord, elle contribue à la réduction de la quantité de déchets envoyés aux sites d'enfouissement, ce qui permet de préserver l'espace et de limiter les risques environnementaux associés à leur élimination. Ensuite, la valorisation des déchets permet de récupérer des matériaux et des matières premières précieuses, ce qui réduit la dépendance aux ressources vierges et favorise une utilisation plus efficace des ressources existantes.

Dans le secteur de la construction, la valorisation des déchets revêt une importance particulière. Ce domaine génère une quantité considérable de déchets, notamment lors des phases de démolition, de rénovation et de construction de nouveaux bâtiments. La valorisation des déchets dans la construction permet de réduire l'impact environnemental de ce secteur en favorisant la réutilisation des matériaux, tels que les briques, les métaux, le bois et le béton. Ces matériaux peuvent être recyclés et réintroduits dans de nouveaux projets, ce qui permet d'économiser des ressources naturelles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de matériaux neufs.

De plus, la valorisation des déchets dans la construction peut favoriser le développement de nouvelles industries et de nouvelles filières économiques. Elle offre des opportunités d'innovation et de création d'emplois dans le domaine du recyclage, de la conception de matériaux durables et de la mise en œuvre de pratiques de construction plus respectueuses de l'environnement.

En conclusion, la valorisation des déchets, y compris dans le domaine de la construction, constitue une approche essentielle pour réduire notre empreinte environnementale, préserver les ressources naturelles et favoriser une économie circulaire plus durable. Il est crucial de promouvoir et de soutenir ces initiatives à tous les niveaux, des politiques gouvernementales à l'implication des entreprises et des individus, afin de maximiser les bénéfices environnementaux, économiques et sociaux de la valorisation des déchets.

Chapitre II : Les déchets plastiques dans les matériaux de construction

II.1. Histoire de la matière plastique

Depuis leur invention au 19e siècle, les plastiques ont connu une évolution constante et sont devenus omniprésents dans notre société. Avec une production mondiale annuelle dépassant les 300 millions de tonnes, ils sont largement utilisés dans tous les secteurs de consommation. Les plastiques offrent de nombreux avantages par rapport aux métaux, ce qui a contribué à leur popularité croissante. Leur utilisation s'est diversifiée et étendue à des domaines tels que l'automobile, l'agriculture et l'emballage. La demande mondiale de plastiques a considérablement augmenté au fil des ans, passant de 1,5 million de tonnes en 1950 à 311 millions de tonnes en 2014. Cette évolution témoigne de l'importance des plastiques dans notre vie quotidienne et de leur position dominante sur le marché [14].

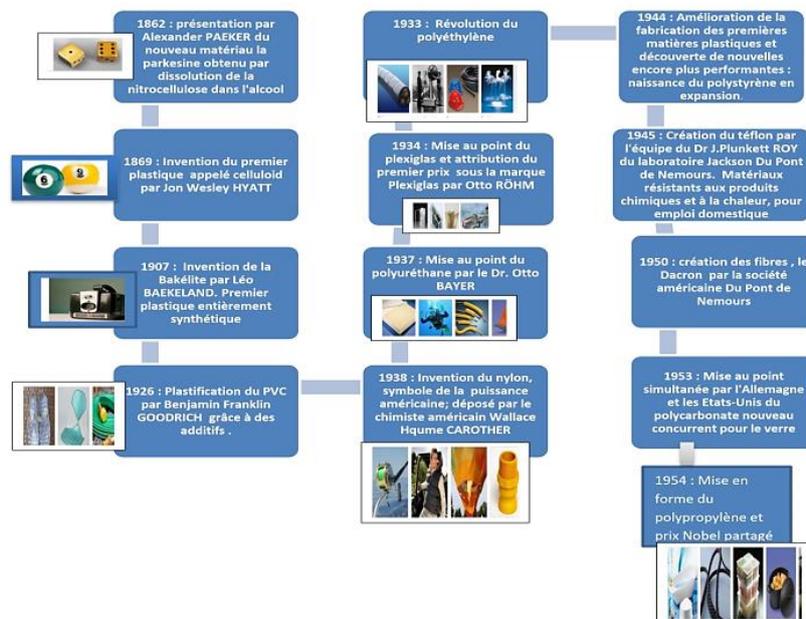


Figure II. 1 : Historique sur l'apparition des différents polymères [15].

II.2. Histoire du déchet plastique

Le terme "plastique" est dérivé du mot "origine" et fait référence aux objets en plastique fabriqués à partir du pétrole. Les plastiques sont couramment utilisés dans de nombreux produits de la vie quotidienne tels que les bouteilles, les emballages, les tuyaux, le mobilier de jardin et les poubelles. Cependant, ils posent un problème majeur en raison de leur gaspillage et de leur durée de vie, nécessitant une gestion environnementale, économique et sociale appropriée [16].

L'enfouissement et l'incinération sont les méthodes d'élimination les plus courantes, mais le recyclage émerge comme une alternative prometteuse face à la prolifération des déchets plastiques. Le recyclage des plastiques dans la construction est une filière en plein essor, avec des applications telles que l'utilisation de déchets plastiques dans le béton et le mortier, ainsi que l'utilisation de granulats provenant de démolition ou de construction.

Par exemple, le PET recyclé issu d'emballages plastiques peut être utilisé pour fabriquer du béton polymère en le mélangeant avec du sable et du gravier. Le béton polymère présente une résistance supérieure à celle du béton traditionnel en ciment Portland et atteint rapidement 80 % de sa résistance. Cependant, il est sensible aux variations de température.

D'autres études ont exploré l'utilisation de déchets de PET et de PEHD comme agrégats dans le béton, en remplaçant partiellement le sable (5 % à 20 % du volume total). Ces déchets ont été combinés avec des fibres de verre pour renforcer la structure. Certaines études ont montré que l'ajout de déchets plastiques au béton peut entraîner une diminution des propriétés mécaniques du matériau final par rapport à un mortier de référence sans déchets. Cependant, l'objectif de certaines recherches est de trouver des moyens d'utiliser des déchets de bouteilles plastiques (PET) et de canettes (LDPE) dans le béton, sans nécessiter de broyage afin de réduire les coûts du matériau final.

II.3. Plastique

II.3.1. Définition

Les matières plastiques, également connues sous le nom de plastiques, sont des mélanges composés de polymères qui peuvent être façonnés et moulés pour créer une variété d'objets. Ils se présentent sous différentes formes telles que des pièces moulées, des tubes, des films, des fibres et des revêtements, et sont utilisés dans de nombreux domaines, y compris les industries technologiques avancées. Les plastiques sont généralement fabriqués à partir de matières premières dérivées du pétrole, et le processus de fabrication implique diverses techniques. Outre les objets couramment associés aux plastiques, tels que les bouteilles d'eau et les sacs poubelle, d'autres produits tels que les tissus synthétiques, les revêtements Téflon® et les colles et peintures pour ustensiles de cuisine sont également considérés comme des plastiques [17].

II.12. Différentes familles de plastique

Les matières plastiques utilisées à l'échelle industrielle peuvent être classées en deux grandes catégories : les thermoplastiques et les thermodurcissables.

II.12.1. Thermoplastiques

Constitués de polymères linéaires ou ramifiés, ce qui leur permet de ramollir et de se déformer sous l'effet de la chaleur de manière réversible. Les principaux avantages des thermoplastiques sont leur facilité de fabrication, leur résistance aux parasites, à l'humidité et aux moisissures, ainsi que leur large gamme de couleurs. Cependant, ils présentent également des inconvénients tels qu'un coefficient de dilatation linéaire élevé, une sensibilité à la lumière ultraviolette et une inflammabilité. Parmi les thermoplastiques couramment utilisés, on trouve le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène et le PVC.

I.12.2. Thermoplastiques techniques

Regroupant des thermoplastiques présentant des propriétés spécifiques pour des applications techniques. Les exemples comprennent les polyamides (nylon), qui offrent une bonne résistance mécanique et à la température, le polycarbonate, qui est transparent et résistant aux chocs, le polyester, qui est transparent et imperméable à l'air, et le polyacétal, qui résiste à la fatigue, à l'eau et aux solvants.

I.12.3. Thermoplastiques hautes performances

Sont plus coûteux mais présentent une résistance à la chaleur et des propriétés électriques élevées. Les résines fluorées telles que le PTFE, le PCTFE et le PVDF sont couramment utilisées en raison de leur résistance chimique, de leur non-inflammabilité et de leurs bonnes propriétés de friction. D'autres thermoplastiques hautes performances incluent le polysulfone et le polyphénylsulfone, qui allient résistance à la température, propriétés mécaniques et électriques élevées.

II.12.1. Thermodurcissables

Ces composés sont constitués de macromolécules tridimensionnelles qui ne ramollissent pas sous l'effet de la chaleur. Une fois durcis, ils conservent leur forme de manière irréversible. Les thermodurcissables offrent une bonne résistance aux températures élevées, aux attaques chimiques et au fluage. Parmi les thermodurcissables couramment utilisés, on trouve les phénoplastes (comme la bakélite) et les aminoplastes (tels que l'urée formaldéhyde et la mélamine-formaldéhyde). Des thermoplastiques techniques tels que les époxydes, les polyesters et les polyuréthanes peuvent également être classés dans cette catégorie pour leurs propriétés spécifiques.

II.12.5. Élastomères ou caoutchoucs

Ces matériaux sont similaires au caoutchouc naturel et sont obtenus par synthèse chimique. Ils se caractérisent par leur grande élasticité et leur capacité à s'allonger sans se rompre. Les élastomères vulcanisés, tels que le caoutchouc naturel, le nitrile, le butyle, l'éthylène propylène (EP).

II.13. La classification du plastique

Suivant le code de recyclage des plastiques. Les numéros et les symboles de recyclage sont utilisés pour identifier les différents types de plastiques et faciliter leur tri et leur recyclage.

Voici une brève description de chaque type de plastique [18] :

II.13.1. PET ou PETE (polyéthylène téréphtalate)

Ce type de plastique est couramment utilisé pour les bouteilles d'eau, les récipients alimentaires, les emballages de boissons gazeuses, etc. Il est recyclable et est souvent transformé en fibres textiles ou en nouvelles bouteilles en plastique.

II.13.2. HDPE (polyéthylène haute densité)

Ce plastique est utilisé pour fabriquer des bouteilles de lait, des contenants de produits de nettoyage, des tuyaux en plastique, etc. Il est recyclable et est transformé en nouveaux produits tels que des contenants en plastique, des sacs en plastique, etc.

II.13.3. PVC (chlorure de polyvinyle)

Le PVC est utilisé dans une variété d'applications telles que les tuyaux, les fenêtres, les revêtements de sol, les jouets, etc. Il est recyclable mais plus difficile à recycler que d'autres plastiques. Le recyclage du PVC nécessite une séparation soigneuse des autres plastiques et est généralement limité à des applications spécifiques.

II.13.4. LDPE (polyéthylène basse densité)

Ce plastique est utilisé pour fabriquer des sacs en plastique, des films d'emballage, des contenants souples, etc. Il est recyclable et est transformé en nouveaux sacs en plastique, en tuyaux en plastique, etc.

II.13.5. PP (polypropylène)

Le polypropylène est utilisé dans la fabrication de récipients alimentaires, de bouchons de bouteilles, de fibres textiles, etc. Il est recyclable et est transformé en nouveaux produits tels que des conteneurs en plastique, des ustensiles de cuisine, etc.

II.13.6. PS (polystyrène)

Le polystyrène est utilisé pour fabriquer des emballages alimentaires, des gobelets jetables, des plateaux, des isolants, etc. Il est recyclable mais pas aussi largement recyclé que d'autres plastiques en raison de sa légèreté et de sa nature expansive. Le polystyrène peut être transformé en nouveaux produits en plastique, mais le recyclage de ce matériau présente des défis.

II.13.7. Autres matières plastiques

Ce groupe comprend tous les autres types de plastiques qui ne rentrent pas dans les catégories mentionnées précédemment. Il peut s'agir de plastiques moins courants ou de mélanges de différentes résines plastiques. Le recyclage de ces plastiques peut varier en fonction de leur composition spécifique.

Il est important de noter que tous les types de plastiques ne sont pas également recyclables ou facilement recyclables. La capacité de recyclage dépend des installations de recyclage disponibles et des exigences spécifiques de chaque région ou pays. Il est recommandé de suivre les directives de tri et de recyclage locales pour une gestion appropriée des plastiques.

En plus des 7 types de plastique précédemment mentionnés, il existe d'autres classifications et types de plastique. En voici quelques exemples [19] :

1. Bioplastiques : Ces plastiques sont fabriqués à partir de ressources naturelles ou biologiques, ce qui les rend renouvelables. Par exemple, l'amidon peut être utilisé pour produire de l'acide polylactique (PLA), la canne à sucre peut être utilisée pour produire de l'éthylène et du polyéthylène.

2. Plastiques biodégradables : Contrairement aux bioplastiques, ces plastiques se décomposent grâce à l'action de micro-organismes dans des conditions environnementales spécifiques. Une fois dégradés, ces plastiques se transforment en biomasse, en gaz et en eau.

3. Thermoplastiques : Les thermoplastiques ont la propriété de fondre lorsqu'ils sont chauffés et de durcir lorsqu'ils refroidissent. Ils peuvent être remodelés de manière continue et indéfinie grâce à ce comportement chimique. Certains exemples de thermoplastiques sont le chlorure de polyvinyle, le polystyrène, le polypropylène, le polyéthylène et le polytétraphtalate.

4. Plastiques thermodurcissables : À la différence des thermoplastiques, les plastiques thermodurcissables, une fois chauffés et moulés, ne peuvent pas être refondus et remodelés.

Quelques exemples de plastiques thermodurcissables sont la bakélite, le caoutchouc naturel vulcanisé, les polyuréthanes, les résines de polyester non saturé, la résine époxy, les silicones et la mélamine.

5. Micro plastiques : Les micro plastiques sont de petites particules synthétiques, mesurant moins de 5 mm, qui sont largement connues pour leur pollution environnementale et les risques qu'ils présentent pour la santé. Ils proviennent de divers produits dérivés du pétrole et sont ingérés lorsque nous consommons des produits marins.

II.14. Les propriétés de plastique

Le tableau suivant résume les caractéristiques et leurs domaines d'utilisation.

Tableau II. 1 : Les caractéristiques et leurs domaines d'utilisation [20]

Nom, abréviation	caractéristiques	usages
polyéthylène (PE)	Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles: -le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé. - le PEHD (polyéthylène haute densité)	Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampooing, crèmes ...)* PEHD : objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques**
polypropylène (PP)	Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau. aspect brillant et résistant à la température (160°C). Difficile à recycler surtout s'il est imprimé	Pièces moulées d'équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, ...), mobilier de jardin, Film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lave-vaisselle. Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles
polystyrène (PS)	Dur et cassant. Trois types: - polystyrène "cristal" transparent - polystyrène "choc" (HIPS) ; acrylonitrile butadiène styrène ABS) - polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible	Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt, ... -"cristal": nombreux types de boîtes, boîtiers CD... -ABS : produits rigides, légers et moulés (bacs à douche...) -PSE : emballage « anti chocs », isolant thermique
polycarbonate (PC)	Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets.	casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle , phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique...

Nom, abréviation	caractéristiques	usages
polyuréthanes (PUR)	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (<i>Licra</i>) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski...
polyesters insaturés	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,... Textiles (<i>Dacron, Tergal, Térylène...</i>)

phénoplastes (PF)	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes. Transformable par moulage et par compression. Souvent colorés en brun foncé	domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphones, postes de radio. pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.
aminoplastes (MF)	deux types principaux : urée-formaldéhyde (UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le <i>formica</i> . Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables. Peuvent être produits en teintes claires	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs, prises de courant...), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.

polyesters et polyéthylène téréphtalate (PET)	mou à moyenne température.	fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.
polyacétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire ... PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces...
polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, ... Textiles (lingerie et voilages)...
polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à -100°C !)	Nom commercial <i>Plexiglas, Lucite, Altuglas, ...</i> Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau... feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses...

Catégories	matériaux	caractéristiques
caoutchoucs	<ul style="list-style-type: none"> - caoutchouc naturel, cis-1,4-polyisoprène (NR) ; - copolymère styrène-butadiène (SBR) ; - polybutadiène (BR) ; - polyisoprène synthétique (IR) 	<p>Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone.</p> <p>Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellente résistance au déchirement.</p>
élastomères spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> - co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM) - copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR) - copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR) - polychloroprènes (CR) 	<p>Température maximum d'utilisation : 150 °C.</p> <p>Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants ; à l'oxydation (O₂ et O₃), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement... Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz.</p> <p>Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation)</p>
élastomères très spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> - caoutchoucs de silicone (VMQ, FVMQ) - élastomères fluorés (FKM) - polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM) - polyacrylates (ACM) 	<p>Très variables en fonction des matériaux :</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM) - éthylène acrylate de méthyle (AEM) - caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR) - épichlorhydrines (CO, ECO, GECCO) - polyuréthanes malaxables (AU, EU) 	<ul style="list-style-type: none"> - hautes performances chimiques : résistance aux carburants, à l'ozone, aux huiles, imperméabilité aux gaz et aux produits chimiques agressifs - température de service continu allant de -80°C à 250 °C - Résistance au vieillissement, stabilité de couleur - Propriétés adhésives (colles thermofusibles)

II.15. Recyclage

II.15.1. Définition

Existant depuis l'âge de bronze, mais son importance s'est accrue au 19^{ème} siècle avec l'essor de l'industrialisation et les changements dans les modes de vie et de consommation. À partir des années 1970, suite à la publication du rapport Meadows intitulé "Halte à la croissance", qui dénonçait la surexploitation des ressources naturelles, le recyclage a été reconnu comme un procédé essentiel pour économiser les ressources et l'énergie, s'inscrivant ainsi dans une perspective de développement durable.

De nos jours, le recyclage des déchets plastiques revêt une importance croissante. Il permet de convertir ces déchets en ressources, devenant ainsi indispensables à l'économie mondiale en raison de l'évolution démographique et de l'épuisement relatif des matières premières. Le recyclage des plastiques joue un rôle essentiel dans la préservation des ressources naturelles et la réduction de la dépendance vis-à-vis des matières premières, contribuant ainsi à la durabilité environnementale et économique.

II.16. Recyclage des déchets plastique dans le béton

L'utilisation de déchets plastiques dans la composition du béton permet d'obtenir un béton de déchets plastiques qui présente des propriétés spécifiques. Ces propriétés peuvent être regroupées en différentes catégories, notamment pour le béton frais : ouvrabilité, densité et présence d'air occlus.

- A. - **Ouvrabilité** : l'incorporation de déchets plastiques dans le béton peut entraîner une diminution significative de son ouvrabilité, en particulier avec une augmentation du taux de déchets plastiques. Cette réduction peut être attribuée à la présence de particules angulaires ou de formes non uniformes, ce qui entraîne une moindre fluidité du béton.
- B. - **Densité** : L'utilisation de déchets plastiques dans la composition du béton conduit à une réduction de la densité sèche de tous les mélanges, en raison de la densité inférieure des plastiques par rapport au sable. Ainsi, plus le taux de déchets plastiques est élevé, plus la densité du béton diminue.
- C. - **Air occlus** : Les études réalisées sur les bétons contenant des déchets plastiques montrent une diminution du contenu en air, ce qui indique une diminution de la porosité.

- **Béton durci**

Résistance à la compression : Les bétons contenant des déchets plastiques, en particulier ceux à base de PET, présentent une résistance à la compression supérieure à celle des bétons traditionnels. L'utilisation de déchets plastiques de PET peut également renforcer la résistance à la compression du béton polymère. Cependant, l'ajout de fibres de polypropylène améliore légèrement la résistance à la compression pour de faibles pourcentages, mais peut entraîner une diminution pour des pourcentages élevés.

- - Résistance à la traction par flexion : L'incorporation de déchets de PET sous forme de résine de polyester dans le béton polymère peut augmenter sa résistance à la traction. De même, l'ajout de fibres de PET jusqu'à un certain taux de remplacement de volume peut également améliorer la résistance à la traction.
- - Module d'élasticité : L'utilisation de bouteilles en PET comme agrégat léger dans le béton réduit le module d'élasticité du matériau. De plus, l'augmentation de la quantité de déchets plastiques de PET entraîne une diminution du module d'élasticité. Ces résultats suggèrent que la présence de déchets plastiques dans le béton entraîne une réduction de sa rigidité [21].

- Résistance aux chocs : Les bétons de déchets plastiques présentent une excellente capacité d'absorption d'énergie, ce qui les rend résistants aux chocs, tels que les impacts de corps mous comme un sac de sable sur une poutre
- Dureté : L'ajout de fibres de PET recyclé dans les composés de ciment augmente l'indice de dureté. Les déchets de PET et de polycarbonate présentent également un comportement d'absorption d'énergie élevée, même à des niveaux élevés de déchets. L'utilisation de fibres dans le béton permet également une plus grande déformation avant rupture.
- Retrait : Les déchets plastiques ont un impact sur le phénomène de retrait du béton, entraînant des variations dimensionnelles plus importantes que dans le béton traditionnel, ce qui peut conduire à des fissures précoces et nuire à la durabilité.
- Perméabilité : Malgré une porosité plus élevée, les bétons contenant des déchets plastiques présentent une perméabilité à l'air plus faible en raison de la discontinuité du réseau de pores.
- Absorption d'eau : L'incorporation de déchets plastiques réduit la capacité d'absorption d'eau du béton. Cela est dû au fait que les déchets plastiques sont hydrophobes et que le réseau poreux plus dense entrave la propagation de l'eau à l'intérieur du matériau.
- Résistance au gel et dégel : Les bétons contenant des déchets plastiques, en particulier ceux de dimensions spécifiques, présentent une meilleure résistance au gel et dégel que le béton traditionnel. Ils ont un facteur de durabilité plus élevé après des cycles de gel-dégel répétés.
- Résistance au feu : L'ajout de déchets plastiques améliore la résistance au feu des composites de béton. Les plastiques fondent à des températures élevées, créant un réseau de capillaires qui permet à la vapeur d'eau de s'échapper et évite l'écaillage de surface du béton exposé à une chaleur intense [22].

En résumé, les bétons de déchets plastiques présentent une bonne résistance aux chocs, une augmentation de la dureté, un retrait plus élevé, une perméabilité à l'air réduite, une absorption d'eau réduite, une meilleure résistance au gel et dégel, ainsi qu'une amélioration de la résistance au feu [23].

II.17. Domaine d'application

Ce béton est utilisé pour prévenir les fissures et augmenter la résistance et la ductilité du béton dans divers domaines tels que les sols industriels et les routes. Renforcement de la résistance aux chocs pour éviter les dommages aux coins et bords lors du transport du béton préfabriqué. Améliore la cohésion pour décoffrer plus rapidement. Augmente la densité pour résister au gel et dégel. Sel de salage bloqué, béton anti-feu amélioré avec zéro éclaboussure. Réduire la dissociation prématurée du béton pour éviter tout déchargement, lors de la fondation par pieux. Pieux précontraints pour débarcadères et marinas. Matériaux pour réparer les routes et lest pour tuyaux sous-marins

II.17.1. Statistique des déchets plastique dans le monde et en Algérie

II.17.1.1. Dans le monde

Chaque année, en France, on utilise 89 milliards de bouteilles en plastique. Cependant, en 2008, seulement 6,2 milliards de ces bouteilles ont été recyclées. En 2000, la consommation nationale de matières plastiques était estimée à 5,4 millions de tonnes, se répartissant comme suit : 2 millions de tonnes pour le secteur de l'emballage, 1,3 million de tonnes pour le secteur du bâtiment et 0,7 million de tonnes pour le secteur de l'automobile. Malheureusement, seules 545 000 tonnes de déchets plastiques ont été traitées, ce qui représente un taux d'utilisation de seulement 3,6 %.

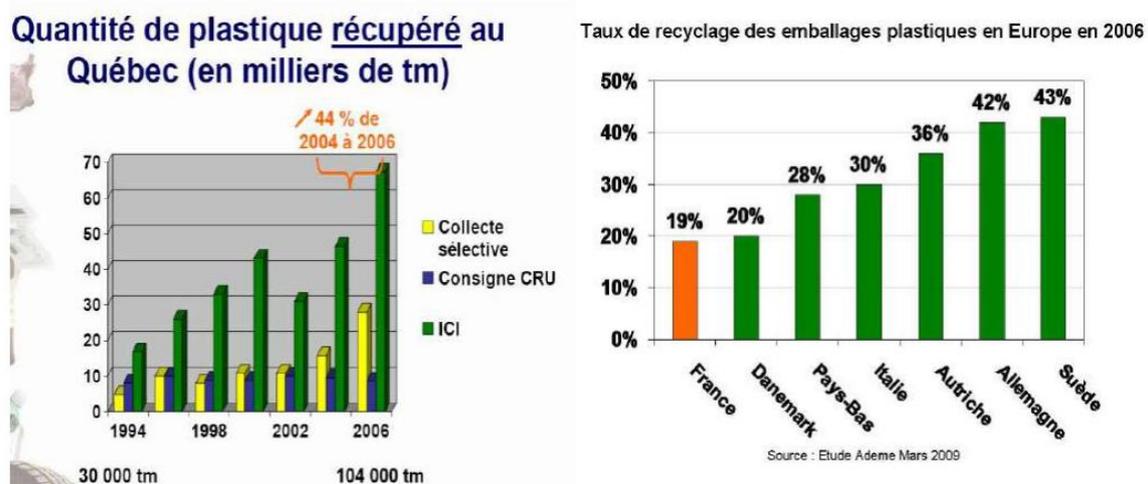


Figure II. 2 : Evolution du recyclage plastique en Québec et en Europe [24].

II.17.1.2. En Algérie

L'Algérie utilise encore des emballages en plastique et des sacs dans les supermarchés, mais seulement 5 % des déchets plastiques sont recyclés. Cela entraîne une pollution environnementale et une pression sur les ressources naturelles. Il est nécessaire de mettre en place des mesures pour réduire l'utilisation du plastique et augmenter le taux de recyclage, en favorisant des alternatives durables et en promouvant la sensibilisation environnementale. Une collaboration entre le gouvernement, les entreprises et les citoyens est essentielle pour atteindre ces objectifs [25].

II.18. Les domaines d'utilisation de déchet plastique dans la construction

Les déchets plastiques sont un problème environnemental mondial, et la recherche de solutions de remplacement ou de transformation est en augmentation. Les bioplastiques sont une avenue prometteuse, offrant des avantages tels qu'une empreinte carbone réduite, la possibilité de recyclage et de réutilisation, ainsi qu'une certaine biodégradabilité. Cependant, leur recyclage est coûteux et complexe, et leur production actuelle repose souvent sur des produits alimentaires, ce qui soulève des préoccupations quant à la disponibilité et aux prix des denrées alimentaires, ainsi qu'à la déforestation.

- Dans le domaine de l'architecture et de la construction, différents types de plastiques et de bioplastiques sont utilisés. Par exemple, un additif appelé RESIN8™, fabriqué à partir de plastiques difficiles à recycler, rend le béton plus léger et résistant, tout en améliorant son isolation. Une usine produit des tuiles et des panneaux ondulés à partir de PolyAl, un matériau composé de polymères et d'aluminium principalement issu d'emballages alimentaires Tetra Pak. Un isolant léger et isolant, composé à 98% d'air, est également utilisé dans la construction pour sa résistance aux chocs et sa durabilité à long terme.
- La technologie d'impression 3D est également utilisée dans l'architecture pour la construction de bâtiments. Par exemple, des éléments de façade ont été imprimés en 3D pour le pavillon européen mobile lors de la présidence néerlandaise de l'UE en 2016. Une entreprise développe également un projet de maison de canal néerlandaise de 700 m² utilisant l'impression 3D pour produire des éléments jusqu'à 5 mètres de haut.
- Ces exemples démontrent les différentes utilisations des plastiques et des bioplastiques dans l'architecture et la construction, tout en soulignant l'importance de trouver des solutions durables et respectueuses de l'environnement pour faire face aux défis posés par les déchets plastiques [26].

II.19. La valorisation des déchets plastique Dans le monde

En Europe, 25 millions de tonnes de plastiques sont jetées annuellement, dont 40 % finissent en décharge. Toutefois, ces déchets sont une ressource utile et devraient être valorisés en raison des enjeux environnementaux et énergétiques actuels. Recycler tous les déchets plastiques est difficile car certains ont des problèmes techniques ou économiques, étant associés à d'autres matériaux ou complexes à base de différents polymères. Des États en sont conscients. Pour recycler les pièces plastiques d'une automobile, il faut démonter les pièces en polyamide, trier les pièces d'origines différentes, séparer les contaminants métalliques, recycler le polyamide et produire des composés

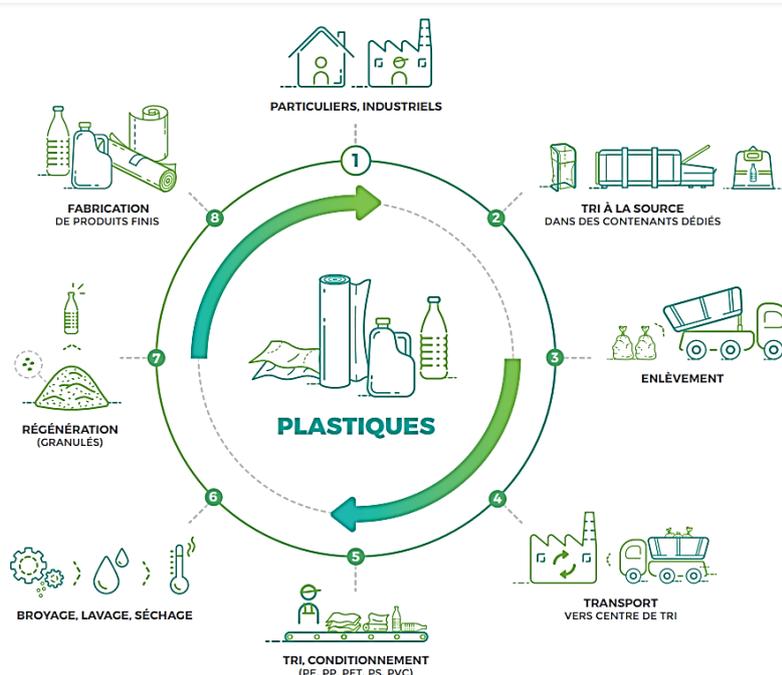


Figure II. 3 : Le cycle de recyclage du plastique dans le monde.

Pour des pièces neuves. Tout commence par le tri. Le déchet sera soit recyclé en nouvelle matière, soit utilisé comme source d'énergie. Il est également possible de le valoriser chimiquement en dissociant les polymères pour obtenir des matières premières. Ce processus, principalement adapté aux matériaux thermoplastiques, est peu employé. Les frais et la main-d'œuvre sont prises en compte. Le choix entre ces options dépendra des exigences techniques, économiques et contextuelles. En termes de taux de valorisation énergétique, l'Estonie domine avec un score de 50/50, suivie de près par la Finlande et l'Irlande. Certains pays optent pour le recyclage seul (Pays-Bas, Suède, Danemark, Chypre, Roumanie, Malte), tandis que d'autres privilégient la valorisation énergétique seule (Lituanie, Luxembourg). La plupart des pays

pratiquent les deux (Estonie, Finlande, Irlande, Pologne et France). L'Allemagne privilégie la valorisation énergétique avec une part de recyclage [27].

Conclusion

La présente thèse a exploré de manière approfondie les possibilités de valorisation des déchets plastiques en développant un matériau composite innovant à base de sable de dune et de plastique comme matrice. Les résultats obtenus soulignent l'importance de trouver des solutions durables pour faire face à la crise mondiale de la pollution plastique.

À travers cette recherche, nous avons démontré la faisabilité de l'utilisation du sable de dune en combinaison avec le plastique pour créer un matériau composite aux propriétés intéressantes. Les caractéristiques uniques du sable de dune, telles que sa granulométrie et sa structure poreuse, ont été exploitées pour renforcer les propriétés mécaniques et environnementales du matériau composite.

En intégrant les déchets plastiques dans cette matrice, nous avons contribué à réduire la quantité de plastique destinée aux décharges et aux écosystèmes marins. Les différentes étapes de cette recherche, allant de la caractérisation des déchets plastiques à la transformation et au mélange des matériaux, ont été essentielles pour obtenir un matériau composite homogène et cohésif.

Les tests mécaniques, thermiques et environnementaux ont permis d'évaluer les performances du matériau et de démontrer sa résistance, sa durabilité et son potentiel d'applications futures. Les résultats de cette thèse ont des implications significatives pour la gestion des déchets plastiques et la promotion d'une économie circulaire.

En utilisant le sable de dune et le plastique comme ressources, nous avons pu développer un matériau composite durable, tout en préservant les ressources naturelles et en réduisant l'impact environnemental des déchets plastiques. Cette approche innovante ouvre de nouvelles perspectives pour la réutilisation des déchets plastiques et encourage la transition vers une société plus respectueuse de l'environnement.

Cependant, cette recherche n'est qu'un premier pas vers la résolution de la crise de la pollution plastique. Il reste encore de nombreux défis à relever, tels que l'échelle de production, l'optimisation des procédés de fabrication et la mise en place de politiques de gestion des déchets efficaces.

Des efforts supplémentaires de recherche et de collaboration sont nécessaires pour faire évoluer cette approche de valorisation des déchets plastiques vers une réalité industrielle. En conclusion, cette thèse sur la valorisation des déchets plastiques par l'élaboration d'un matériau à base de sable de dune et de plastique comme matrice représente une contribution importante à la recherche sur la gestion durable des plastiques.

En exploitant les ressources naturelles disponibles et en réduisant l'utilisation de plastique vierge, nous ouvrons la voie à des solutions innovantes pour un avenir plus propre et plus durable. Nous espérons que les résultats de cette recherche inciteront les décideurs, les scientifiques et la société dans son ensemble à s'engager davantage dans la

Chapitre III : Partie pratique

II. III. Introduction

Cette partie est consacré à la présentation des matériaux utilisés dans la partie expérimentale réalisée au niveau de laboratoire des matériaux à l'université de Bouira et au laboratoire LCTP ; ainsi que les essais physico-mécaniques effectués sur l'ensemble des variantes étudiées, de plus la présentation des résultats obtenus et leurs interprétations.

Dans toute étude sur l'élaboration d'un matériau à base de sable de dune additionner par les déchets plastique qui vont jouer le rôle de liant, plusieurs variantes seront étudiées, puis une campagne d'essais physicomécanique sera réalisée sur l'ensemble des variantes, les résultats des essais physicomécanique seront confronter à la variante témoins qu'est un mortier normaliser, et à partir des résultats des différents essais une utilisation de ce matériau sera recommandée dans le domaine des matériaux de construction.

L'objectif principale de cette étude vise une valorisation des déchets plastiques, qui sera utiliser comme partie liante avec le sable de dune après préparation des mélanges un traitement thermique sera effectué, afin d'assurer une fusion du plastique et qui va jouer le rôle de liant, les variantes retenues pour ce travail sont :

Variante témoins : mortier normalisé.

Variante 1 : 40 % de plastique + 60 % de sable.

Variante 2 : 30 % de plastique + 70 % de sable.

Variante 3 : 20 % de plastique + 80 % de sable.

Variante 4 : 10 % de plastique + 90 % de sable.

III.1. Caractérisations des matériaux et techniques expérimentaux

Avant de procéder à la présentation de cette expérience, nous définissons d'abord les différents matériaux utilisés pour créer ce composé, sachant que l'objectif principal est de réaliser un matériau composite entre le plastique recycler et le sable uniquement, où le plastique jouera le rôle de la matrice de liaison qui combinera les grains de sable pour créer ce composé.

III.1.1. Sable

Le sable utilisé est le sable du dune " Oued Souf" (figure III.1), des essais physiques ont été effectuer sur le sable, à savoir l'analyse granulométrique, équivalent de sable, qui seront présentés ci-après.



Figure III. 1 : Sable du dune " Oued Souf"

III.1.1.1. La masse volumique du sable

III.1.1.1.1. La masse volumique apparente

Selon la norme NF – EN 1097-3, la formule suivante permet de calculer la masse volumique

$$\text{apparente du sable } \rho_{apr} = \frac{M_{\text{sable}}}{V_{\text{sable}}}$$

Avec :

M_{sable} : Masse de sable en g.

V_{sable} : Volume de sable en ml.

Après avoir complètement rempli le récipient, nous pouvons connaître le volume du sable.



Figure III. 2 : Essais de la masse volumique apparente du sable.

Donc :

$$\rho_{apr} = \frac{M_{\text{sable}}}{V_{\text{sable}}} = \frac{1252}{740} = 1.69 \text{ g/ml.}$$

III.1.1.1.2. La masse volumique absolue du sable :

La masse volumique absolue d'un matériau représente la quantité de masse présente dans un mètre cube de cette substance, en excluant tous les espaces vides, celles entre les particules et celles à l'intérieur des particules.

$$\rho_{abs} = \frac{M_{sable}}{V_2 - V_1}$$

Avec :

V_1 : le volume sans sable en mL.

V_2 : le volume avec sable en mL.

M_{sable} : Masse de sable en g.



Figure III. 3 : Essais de la masse volumique absolue du sable.

Donc :

$$\rho_{abs} = \frac{M_{sable}}{V_2 - V_1} = \frac{200}{226 - 150} = 2.63 \text{ g/ml}$$

III.1.1.2. L'essais de l'équivalent de sable

C'est un indicateur utilisé en géotechnique pour caractériser la propreté du sable ou du gravier. Il exprime la teneur en éléments fins à la surface du grain, principalement d'origine argileuse, végétale ou organique. Le terme désigne également les tests par lesquels cette métrique peut être déterminée. C'est ce qu'on appelle le "test d'équivalent sable" selon la norme (NF EN 933-8) [28].

III.1.1.2.1. Principe d'essai

L'expérience consiste à verser un échantillon de sable passé à travers le tamis de 2 mm et une petite quantité de solution flocculant « solution lavent » dans une éprouvette graduée et à le secouer pour détacher les couches d'argile des particules de sable dans l'échantillon. Puis on complète le remplissage de l'éprouvette avec le reste de la solution flocculant pour faire remonter les fines

particules en suspension au-dessus du sable. Après 20 minutes, les hauteurs sont mesurées sachant que l'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur la hauteur totale, exprimé en pourcentage.

➤ **La solution flocculante :**

La solution flocculante (Figure III.5), est composée, pour une quantité de 1 L :

- 219 g de chlorure de calcium cristallin, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ou 111 g de CaCl_2 chlorure de calcium anhydre.
- 450 g de glycérine à 99 % de glycérol, de qualité de réactif pour laboratoire.
- 12,5 g formaldéhyde en solution, 40 % en volume, de qualité de réactif pour laboratoire.
- 350 ml eau distillée ou déminéralisée.
- Obtenue en diluant 125 ml de solution concentrée dans 5 L avec de l'eau distillée ou déminéralisée et laissez-le pendant 3 jours, et nous avons obtenu la solution lavent.



Figure III. 4 : La solution concentrée.

III.1.1.2.2. Appareillage utilisé

Les outils utilisés dans cette expérience sont :

- Deux éprouvettes transparentes graduées avec deux traits supérieure et inférieure en verre ou en plastique, de 40 cm de hauteur, avec bouchons en caoutchouc.

- Un piston avec une tige de 43 cm de longueur et une embase inférieure d'un diamètre de 2,5 cm à plat du bas et perpendiculaire à l'axe de la tige avec un manchon qui s'adapte au tube d'une épaisseur de 1 cm qui nous permet de diriger la tige et déterminer l'enfoncement du piston à l'intérieur de l'éprouvette en plus d'un poids fixé sur la face supérieure de la tige pour donner une masse totale du piston sans compter le manchon, elle est estimée à 1 kg.
- Un tube de lavage d'une longueur de 50 cm et d'un diamètre de 4 mm permet le mouvement et la diffusion de la solution flocculant dans l'échantillon.
- Une règle, un tamis de 2 mm, un entonnoir, un échantillonnage, une étuve.

III.1.1.2.3. Mode opératoire

- Après séchage de l'échantillon dans une étuve à 105 C° et passage sur un tamis de 2 mm
- Deux échantillons sont prélevés d'une masse de 120 g à l'aide d'un échantillonnage (figure III.5).



Figure III. 5 : Un échantillonnage.

- Verser la première quantité de sable dans une éprouvette à l'aide d'un entonnoir.
- La solution de flocculant est remplie jusqu'au premier trait à l'aide du tube de lavage, et bien mélanger jusqu'à ce que la solution flocculant soit répartie dans tout l'échantillon, comme le montre la figure III.6 suivante.



Figure III. 6 : L'échantillon après l'état de repos (10 mn et 20 mn).

- Le tube est fermé par un bouchon. Ensuite, il est placé dans une machine d'agitation pendant une durée de 30 secondes ou secouer manuellement avec un taux de 90 fois.
- Après trois minutes, le deuxième échantillon est préparé de la même manière
- Après ce processus, les tubes sont laissés en position verticale pendant 10 minutes pour que les fines et les éléments argileux monte vers le haut.
- Ensuite, le tube de lavage est inséré dans l'éprouvette et la solution flocculant est versée et agitée de manière rotative.
- Dès que le tube est sur le point de se remplir jusqu'au trait supérieur, on commence à remonter lentement le tube de lavage jusqu'à ce que la solution soit stable avec le trait.
- Enfin, nous laissons les deux échantillons au repos verticalement jusqu'à ce que la durée totale de l'expérience soit de 30 minutes.

III.1.1.2.4. Résultats

- Après repos, la hauteur h_T est mesurée du haut du sédiment au bas du l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Ensuite, lisez la hauteur h_V de la surface du sable au fond du l'éprouvette.

- Le piston pénètre également dans le tube jusqu'à ce que l'embase repose sur le sédiment et lire le h_p la hauteur entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon (figure III.7).

Sachant que l'équivalent sable est égal à :

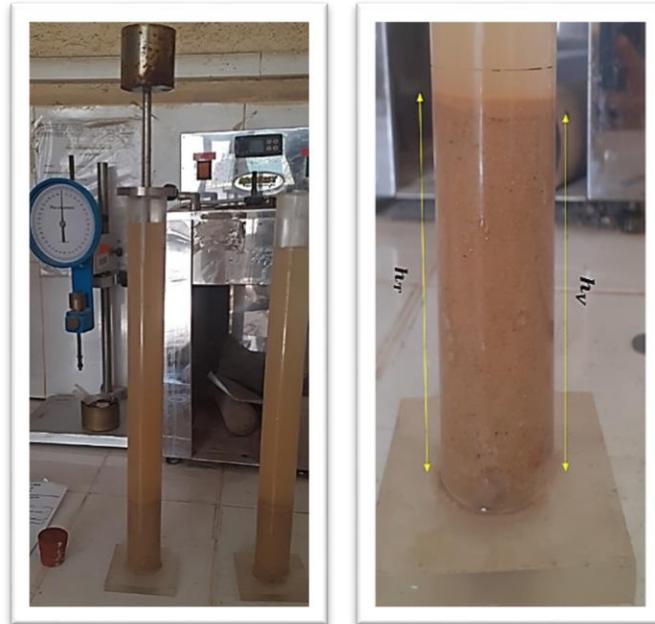


Figure III. 7 : Méthodes de mesure.

$$ESV = \frac{h_V}{h_T} \cdot 100$$

$$ESP = \frac{h_P}{h_T} \cdot 100$$

Avec :

ESV : Equivalent de sable visuel.

ESP : Equivalent de sable piston.

h_T : la hauteur totale (sable + sédiment).

h_V : la hauteur de sable visuel.

h_P : la hauteur de piston.

Après avoir obtenu les résultats précédents, nous calculons l'équivalent sable comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III. 1 : Tableau des mesures équivalentes de sable.

	Eprouvette 1	Eprouvette 2
Hauteur totale h_T (cm)	9.7	10.0
Hauteur de sable h_V (cm)	9.3	8.9
Hauteur de piston h_P (cm)	8.8	8.7
ESV (%)	95.87	89.00
ESP (%)	90.72	87.00
Moyenne (%)	ESV = 92.43	
	ESP = 88.86	

Après avoir observé les résultats, on remarque que ce sable est propre.

Tableau III. 2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable dans le béton selon la norme NF EN 933-8.

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
ESV < 65 %	ESP < 60 %	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ESV < 75	60 % ≤ ESP < 70 %	Sable légèrement argileux : de propreté admissible pour bétons de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 % ≤ ESV < 85 %	70 % ≤ ESP < 80 %	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85 %	ESP ≥ 80 %	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

III.1.1.3. L'analyse granulométrique par tamisage :

Un terme couramment utilisé pour décrire un matériau granulaire est "granulat" (figure III.8). Les granulats se composent de grains minéraux dont les dimensions varient de 0 à 125 mm. Ils peuvent être d'origine naturelle ou fabriqués artificiellement. Ces matériaux sont largement utilisés dans divers domaines de construction, tels que la fabrication de mortiers et de bétons. Ils sont également utilisés dans la construction de différentes couches, notamment les couches de fondation, les couches de base

et les couches de roulement des chaussées. De plus, les granulats sont utilisés dans la construction d'assises et de ballasts pour les voies ferrées.

Les granulats sont désignés par différentes appellations selon leur taille, comme fillers, sables, sables, gravillons, graves ou ballast.

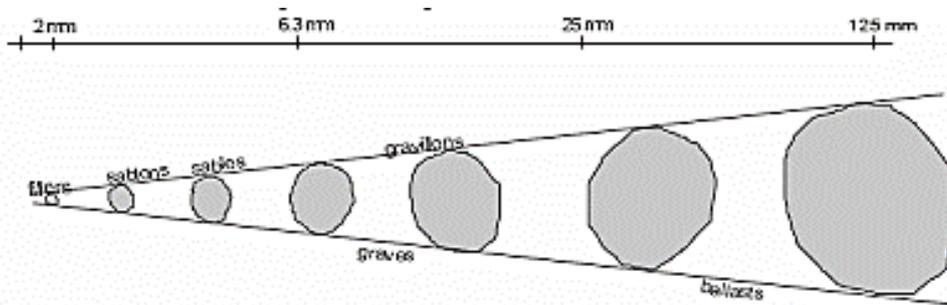


Figure III. 8 : Différents classes granulaires.

➤ Classes granulaires

Les granulats sont classifiés en fonction de leur dimension granulaire, représentée par la notation d/D. le premier notation, d, indique le diamètre minimum des grains, tandis que le deuxième notation, D, représente le diamètre maximum. Lorsque d est inférieur à 0,5 mm, le granulat est désigné par 0/D. Selon la norme (NF EN 933-1) [29], il existe cinq principales classes granulaires, caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés :

- Les fines 0/D avec $D \leq 0,08$ mm.
- Les sables 0/D avec $D \leq 6,3$ mm.
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm.
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm.
- Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm.

Dans le cas spécifique de l'étude mentionnée, l'analyse granulométrique est effectuée uniquement sur des échantillons de sable.

III.1.1.3.1. Objectif de l'essai

L'essai d'analyse granulométrique par tamisage vise à évaluer la répartition des dimensions des grains qui composent un matériau granulaire, dont les tailles varient entre 0,063 et 125 mm, Les termes suivants sont utilisés :

- **Refus** : quantité de matériau qui reste sur le tamis après le tamisage.
- **Tamisât** : quantité de matériau qui passe à travers le tamis lors du tamisage.

Elle permet de mesurer la distribution des tailles des grains constituant le matériau, ce qui est important pour comprendre ses propriétés physiques et ses utilisations potentielles.

III.1.1.3.2. Principe de l'essai

Le processus d'essai implique la classification des grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis superposés, dont les ouvertures diminuent progressivement de haut en bas. Le matériau à étudier est déposé sur la partie supérieure des tamis, et le classement des grains est obtenu en faisant vibrer la colonne de tamis.



Figure III. 9 : Tamiseuses de laboratoire.

III. III.1.1.3.3. Résultats

- Effectuez la pesée du refus sur le tamis ayant la maille la plus large, désignée par R1, afin de déterminer sa masse.
- Répétez cette même opération pour tous les tamis de la série afin d'obtenir les masses cumulées des différents refus.
- Les masses cumulées des refus, notées R_i , sont rapportées à la masse totale de l'échantillon, m .
- Les pourcentages correspondants aux refus cumulés obtenus sont enregistrés sur la feuille d'essai.
- Les pourcentages des tamisât cumulés peuvent alors être calculés.

Les résultats d'analyse granulométrique sont portés sur le tableau III.3 suivant :

Tableau III. 3 : Tableau d'analyse granulométrique.

Tamis(mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
4	0	0	0	100
2	14	14	1,4	98,6
1	80	94	9,4	90,6
0,5	344	438	43,8	56,2
0,25	488	926	92,6	7,4
0,125	44	970	97	3
0,083	4	974	97,4	2,6
Fond	16	990	99	1

La courbe granulométrique obtenue est présentée dans la figure III.10 ci-après.

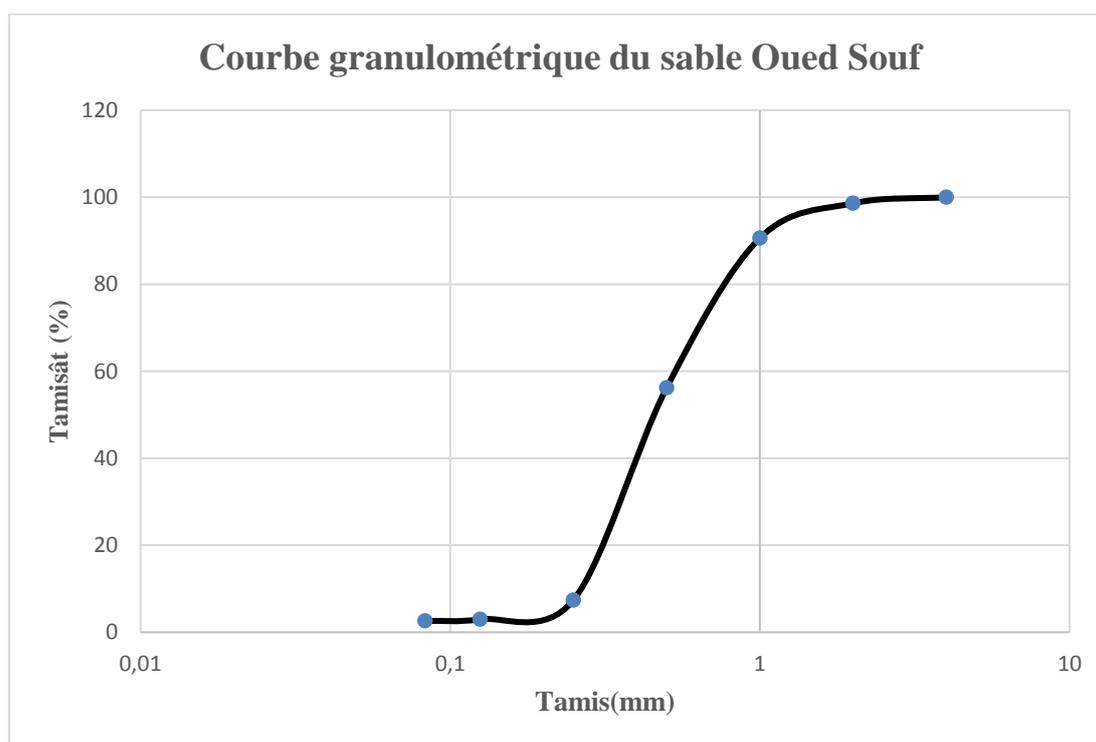


Figure III. 10 : Courbe granulométrique du sable Oued Souf

III.1.1.3.4. Module de finesse

- Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.
- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

- Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante :(0.125 /0.25/0.5/1/2/4), selon la norme (NF-EN 933-1)

On a:

$$\mathbf{MF} = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en\% des tamis}(0.125 /0.25/0.5/1/2/4)$$

Application numérique :

$$\mathbf{MF} = \frac{244.2}{100} \leftrightarrow \mathbf{MF} = 2.442.$$

III.1.1.3.5. Interprétation des résultats

- Pour les valeurs de 1.8 à 2.2, le sable est principalement composé de grains fins.
- Dans la plage de 2.2 à 2.8, nous avons affaire à un sable préférentiel.
- Pour les valeurs de 2.8 à 3.3, le sable est légèrement grossier. Il peut être utilisé pour obtenir des bétons résistants, mais leur maniabilité sera réduite.

Et comme on a $\mathbf{MF} = 2.442$ donc on est en présence d'un sable préférentiel.

Le tableau III.4 suivant résume l'ensemble des résultats obtenu sur la caractérisation du sable utilisé.

Tableau III. 4 : Les caractéristiques de sable.

Pourcentage de fines	Nf = 1%
Module de finesse	Mf = 2.442
Equivalent de sable	ESV= 92.43 % / ESP= 88.86 %
Masse volumique	$\rho_{abs} = 2.63 \text{ g/ml} / \rho_{apr} = 1.69 \text{ g/mL}$

II.1.2. Le plastique

Dans cette expérience, le plastique utilisé est un plastique recyclé de l'entreprise de type (la base), et il a la forme de granulés de diamètre 3 mm et une masse volumique de $\rho_{abs} = 0.82 \text{ g/mL} / \rho_{apr} = 0.52 \text{ g/ml}$.



Figure III. 11 : Granulat de plastique.

III.1.2.1. La masse volumique de plastique

III.1.2.1.1. La masse volumique apparente de plastique

Selon la norme NF EN 1097-3 [30], la masse volumique apparente du plastique granulé peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_{apr} = \frac{M_p}{V_p}$$

M_p : Masse du plastique granulé.

V_p : Volume du récipient.

Après avoir complètement rempli le récipient, nous pouvons connaître le volume du plastique V_p .



Figure III. 12 : Essais de la masse volumique apparente du plastique.

Donc :

$$\rho_{apr} = \frac{M_p}{V_p} = \frac{386}{740} = 0.52 \text{ g/ml}$$

III.1.2.1.2. Masse volumique absolue du plastique

La détermination de la masse volumique absolue du plastique a été réalisée de la manière suivante :

- D'abord, l'éprouvette a été tarée, puis une masse M_p de granulés de plastique a été pesée.
- L'éprouvette contenait un volume $V_{ep} = 330$ ml.
- Ensuite, $M_p = 41$ g la masse a été versée dans l'éprouvette.
- Comme le plastique est très léger, l'éprouvette doit être fermée pour l'empêcher de sortir donc l'éprouvette a été fermée à l'aide d'un pansement.
- Puis une quantité d'eau a été ajoutée jusqu'à ce que l'éprouvette soit pleine, correspondant à un volume d'eau versé $V_{eau} = 280$ ml
- Le volume absolu des granulés de plastique a été calculé comme suivant :

$$V_p = V_{ep} - V_{eau} = 50 \text{ ml.}$$
- Enfin, la masse volumique absolue des granulés de plastique a été obtenue en divisant la masse M_p par le volume V_p , donnant $\rho_{abs} = \frac{M_p}{V_p}$.

Donc :

$$\rho_{apr} = \frac{M_p}{V_p} = \frac{41}{50} = 0.82 \text{ g/ml.}$$



Figure III. 13 : Essais de la masse volumique absolue du plastique.

III.2. Préparation des variantes

En raison du manque de protocoles pour mélanger à la fois le plastique et le sable, nous avons préparé des expériences préliminaires au niveau du laboratoire pour connaître les différentes méthodes de mélange et les pourcentages qui doivent être mélangés pour obtenir ce matériau. Finalement, nous avons obtenu les proportions suivantes :

Les variantes qui seront étudiées sont préparées comme suit :

Variante 1 :	60 %	40 %
Variante 2 :	70 %	30 %
Variante 3 :	80 %	20 %
Variante 4 :	90 %	10 %

Les mélanges de plastiques et de sable sont préparés en respectant les pourcentages retenus, comme le montre le tableau suivant :

Tableau III. 5 : Composition des variantes étudiées.

Variantes	Qtte de sable (g)	Qtte de plastique (g)
(40 % Plastique + 60 % Sable)	400	600
(30 % Plastique + 70 % Sable)	300	700
(20 % Plastique + 80 % Sable)	200	800
(10 % Plastique + 90 % Sable)	100	900

III.2.1 Méthode de malaxage

L'expérience a été réalisée avec des outils simples disponibles au niveau du laboratoire représenté dans les images suivantes :



Figure III. 14 : Outils de préparation du mélange.

Tout d'abord, nous chauffons le sable, puis nous ajoutons le plastique, qui commence à fondre immédiatement après le contact avec le sable chaud, il commence donc à former le liant qui reliera les grains de sable et formera la pâte de la consistance appropriée pour les mettre en moules de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$.

III.3. Les essais destructifs

Afin de vérifier l'effet des pourcentages du plastique sur le comportement mécanique des différentes variantes étudiées et les comparer avec les échantillons témoins.

Nous avons fait les expériences suivantes :

III.3.1. Essai flexion

L'essai de flexion est effectué au niveau de laboratoire de matériaux en génie civil à l'université de Bouira, en utilisant la presse 3 R (Figure III. 15).



Figure III. 15 : Essai de flexion trois points.

III.3.2. Essai de compression

Les essais de compression ont été effectués au niveau de laboratoire de matériaux en génie civil à l'université de Bouira, à l'aide des morceaux d'échantillon récupérés de la dernière expérience de flexion en utilisant une presse hydraulique (3R) de 3000 N (Figure III. 16).



Figure III. 16 : Essai de compression.

Les résultats des essais mécaniques (flexion trois points et compression) pour chaque variante sont résumés dans le (tableaux III.6) et (Figure III.25, Figure III.26) suivant :

Tableau III. 6 : Résultats des essais mécaniques de chaque variante.

Variante s	N° de l'éprouvett e	Mass e (g)	Masse volumiqu e Kg/m ³	Masse volumiqu e moy Kg/m ³	Résistance s à la flexion	Moyenne Résistance s à flexion	Résistances à la compressio n	Moyen Résistances à la compressio n
					(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
10 % P 90 % S	1	550	2148,44	2107,42	8	7,75	15,8	15,025
	2	508	1984,38		6		11	
	3	578	2257,81		10,5		19,9	
	4	522	2039,06		6,5		13,4	
20 % P 80 % S	1	486	1898,44	1897,46	14,6	17,62	23,8	23,5025
	2	480	1875,00		20,7		25,2	
	3	490	1914,06		18,41		21,45	
	4	487	1902,34		16,76		23,56	
30 % P 70 % S	1	458	1789,06	1802,73	19,4	19,48	27,6	28,345
	2	429	1675,78		19,8		28,6	
	3	483	1886,72		18,45		29,01	
	4	476	1859,38		20,25		28,17	
40 % P 60 % S	1	345	1347,66	1342,77	23,6	21,40	51	47,5725
	2	350	1367,19		19,7		41,5	
	3	345	1347,66		20,5		45,78	
	4	335	1308,59		21,8		52,01	
Mortier Témoin	/	562	2195,31	2195,31	5,77	5,77	29,11	29,11



Figure III. 17 : Epreuve après essais de flexion.



Figure III. 18 : résultat d'essai de compression.

III.3.3 Essai flexion trois points

Afin d'avoir des courbes forces-déplacement des éprouvettes de l'ensemble des variantes étudiées, des essais mécanique flexion trois points (figure III. 19) sont effectués au niveau de l'Unité de Recherche Matériaux-Procédés-Environnement) UR-MPE de l'université de Boumerdès.



Figure III. 19 : Essai flexion trois points.

Durant les essais de flexion trois point, deux éprouvettes de chaque variante ont été testées, les courbes obtenues sont mentionnées dans la (Figure III. 20) suivante.

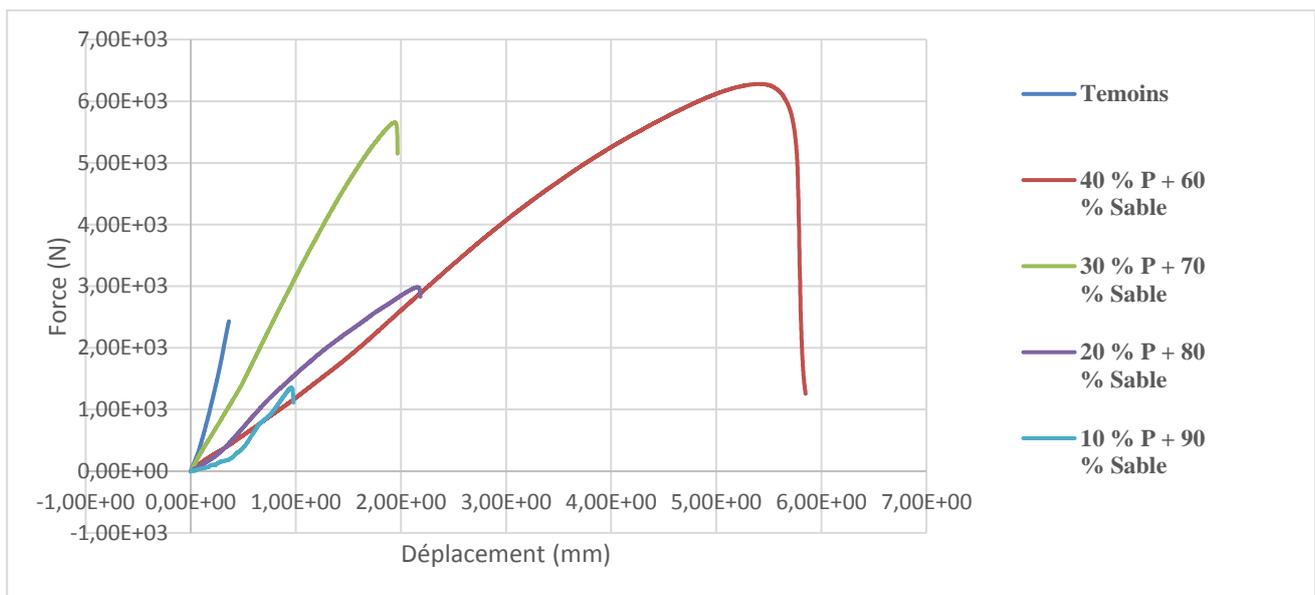


Figure III. 20 : Courbes d'essai flexion trois points (force-déplacement).

Le tableau III.8 suivant résume les différents résultats obtenus, à savoir la force maximale de rupture, le déplacement à la rupture et le temps estimé du début d'essai jusqu'à la rupture des éprouvettes (4*4*16) cm³ des différentes variantes étudiées.

Tableau III. 7 : Résultats des essais de flexion trois points (force-déplacement).

Variantes	Masse volumique (Kg/m ³)	Déplacement max (mm)	Force max (N)	Temps de rupture (s)
-----------	--------------------------------------	----------------------	---------------	----------------------

Témoins	2145	0,36	2431,87	22,16
10 % P et 90 %S	1847	0,98	1357,47	22,36
20 % P et 80 %S	1535	2,18	2986,36	131,40
30 % P et 70 %S	1441	1,97	5660,10	118,38
40 % P et 60 %S	1054	5,85	6279,14	351,38

III.4. Essai non destructif (ultrasonore)

Des essais non destructifs sont effectués sur les variantes étudiées (Figure III.21).

- Variante témoins : mortier normalisé.
- Variante 1 : (40 % de plastique + 60 % de sable).
- Variante 2 : (30 % de plastique + 70 % de sable).
- Variante 3 : (20 % de plastique + 80 % de sable).
- Variante 4 : (10 % de plastique + 90 % de sable).



Figure III. 21 : Epreuves des différentes variantes étudiées.

Les essais sont réalisés au niveau du laboratoire matériaux du département génie civil, cet essai consiste à appliquer un signal de puissance de 50 W, l'équipement est menu de deux sondes (émettrice et réceptrice), les résultats (vitesse de propagation et temps de passage) sont affichés sur l'écran (Figure III. 22).



Figure III. 22 : Essai non destructif.

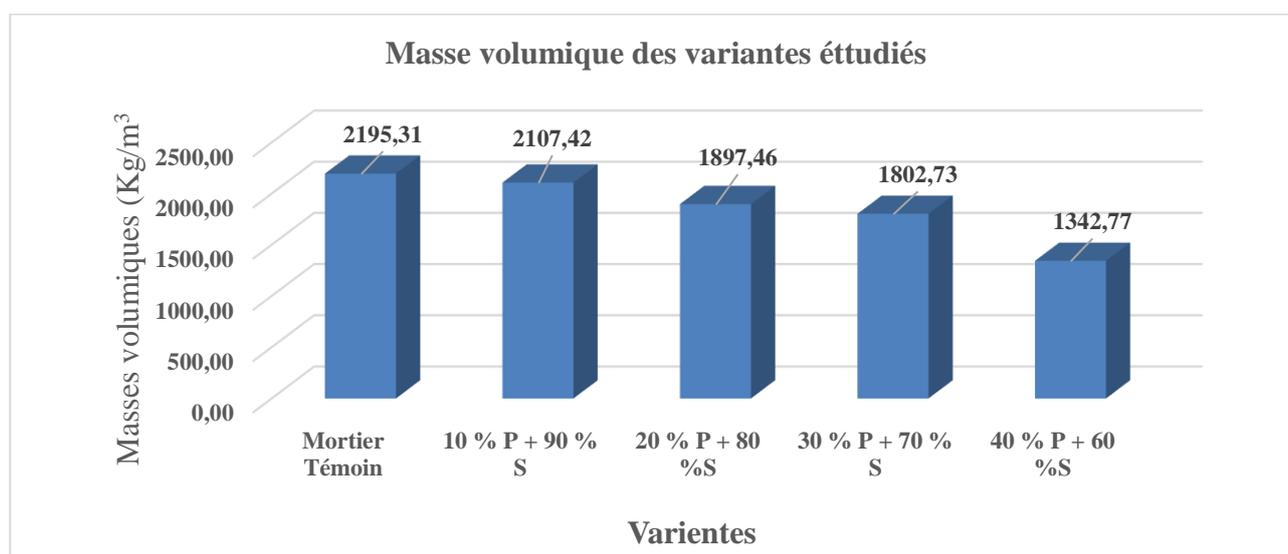
Les résultats des essais non destructifs sont mentionnés dans le tableau III.7 suivant :

Tableau III. 8 : Composition des variantes étudiées.

Variantes	Temps (μ s)	Vitesse (m/s)	Masse volumique (kg/m^3)
Mortier Témoin	33.1	4831 m/s	2145
10 % P + 90 %S	75.1	2130 m/s	1847
20 % P + 80 %S	74.2	2156 m/s	1535
30 % P + 70 %S	75.3	2125 m/s	1441
40 % P + 60 %S	101.2	1581 m/s	1054

III.5. Résultats des essais physicomécaniques

La Figure III. 23 présente l'évolution des masses volumiques des variantes étudiées.

**Figure III. 23 :** Masses volumiques des variantes étudiées.

La Figure III. 24 représente une comparaison des masses volumiques des variantes étudiées, ainsi le pourcentage de gain de chaque variante par comparaison à la variante du mortier.

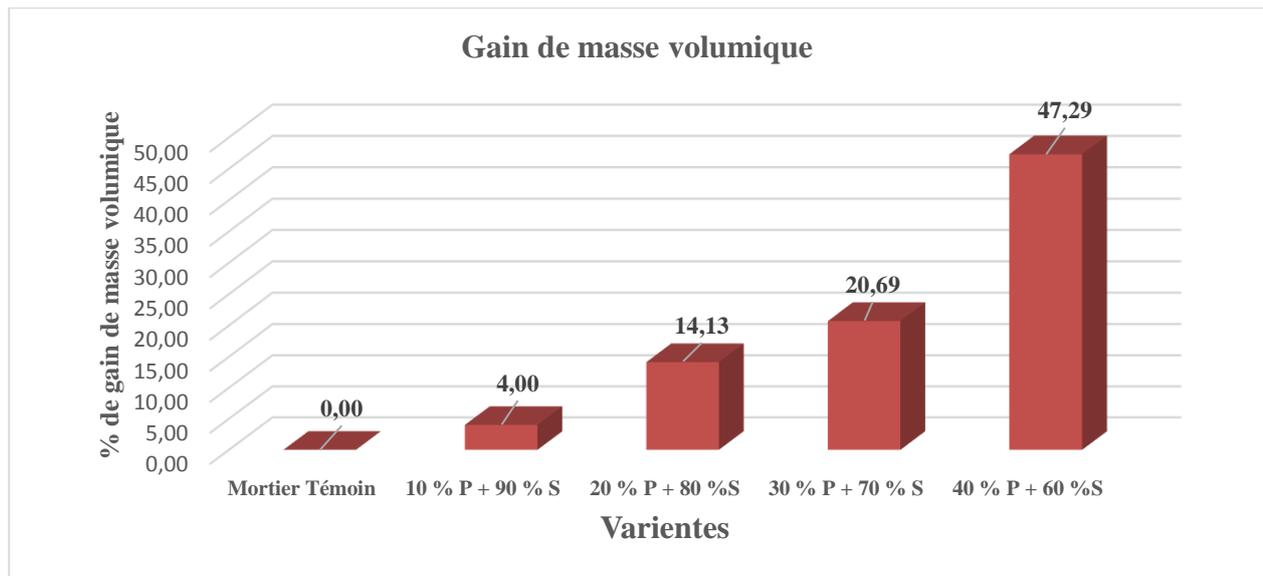


Figure III. 24 : Gain en masse.

La Figure III. 25 représente les résultats des essais mécaniques en flexion trois points des variantes étudiées, par comparaison à la variante du mortier.

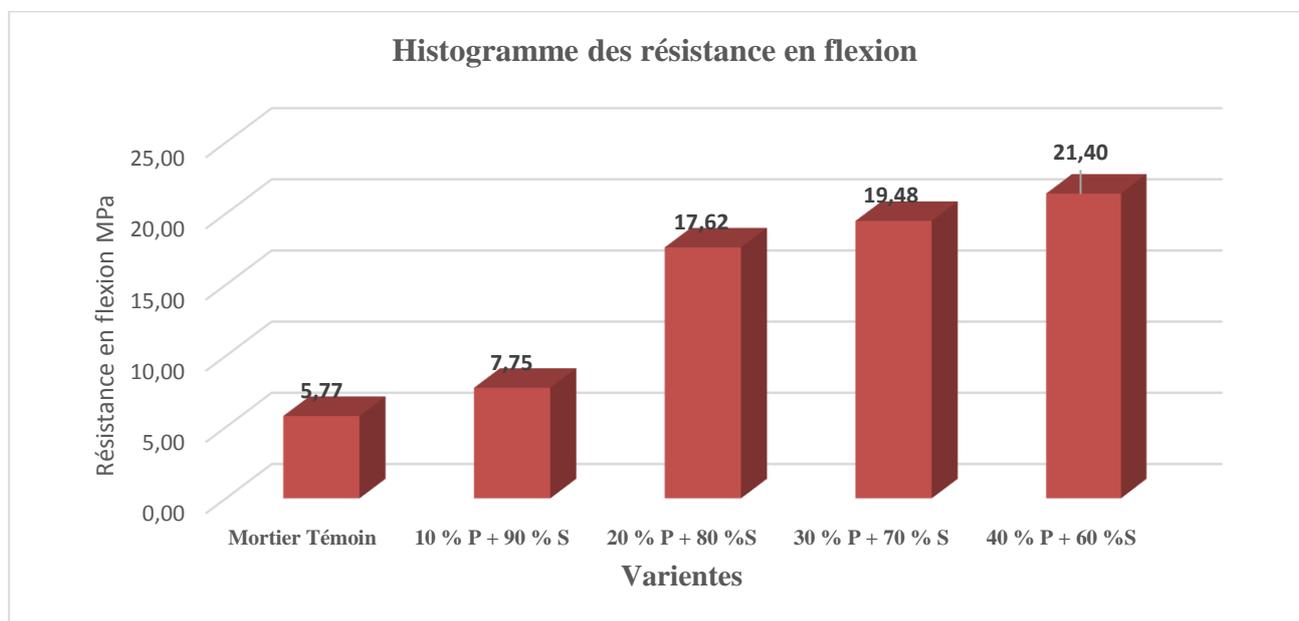


Figure III. 25 : Evolution des résistances en flexion des variantes étudiées.

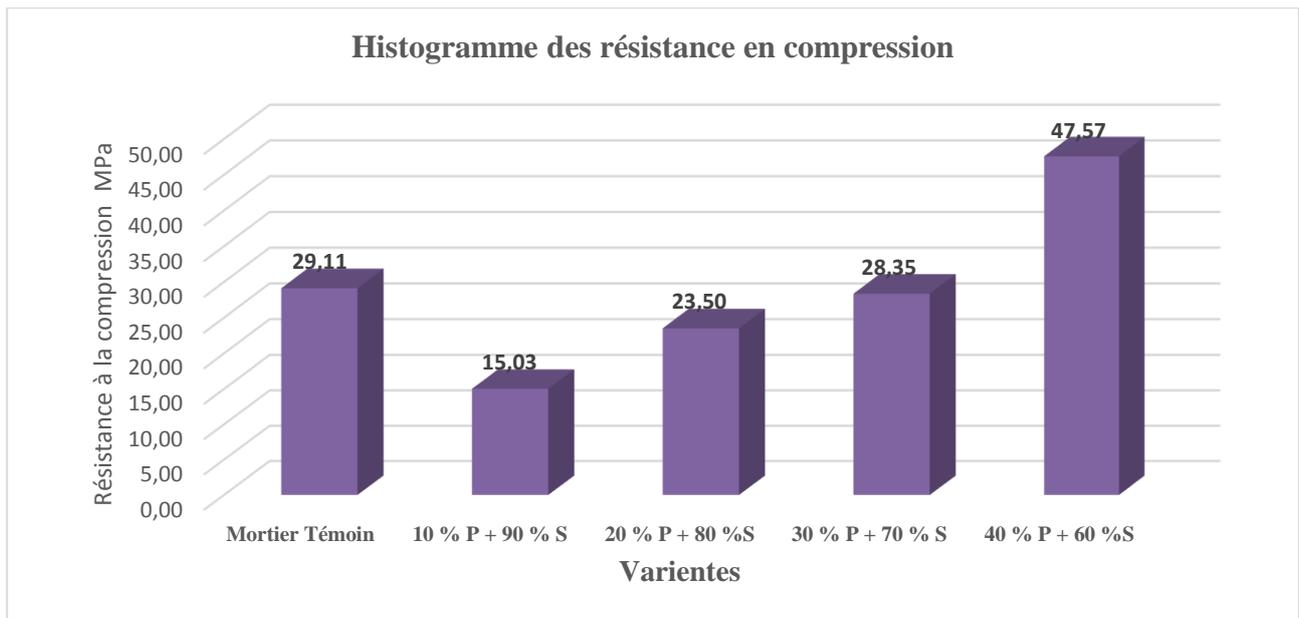


Figure III. 26 : Evolution des résistances en compression des variantes étudiées.

Les Figure III. 27 et Figure III. 28, illustrent la relation entre les masses volumiques et les résistances en flexion et compression, ainsi que le coefficient de détermination R^2 .

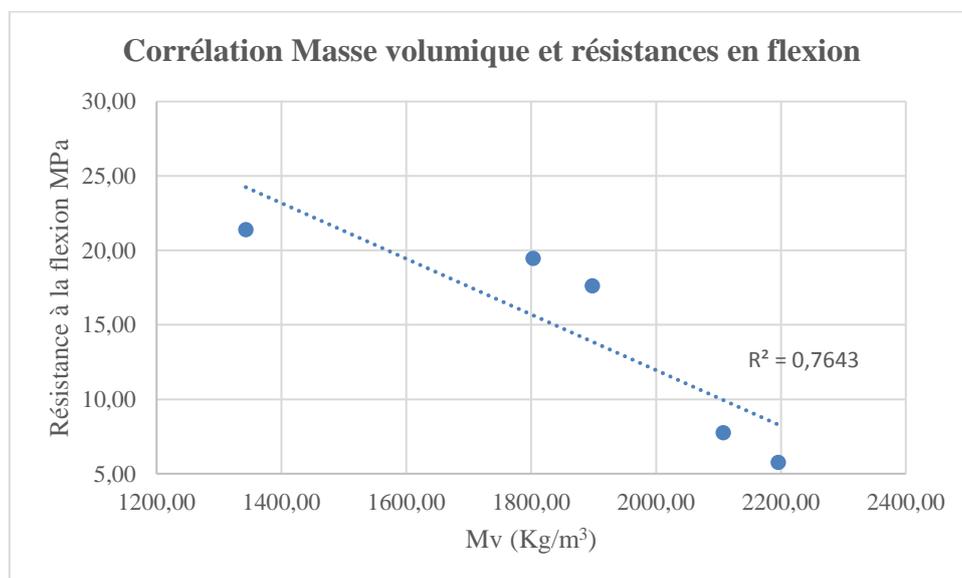


Figure III. 27 : Corrélation masse volumique et résistances à la flexion.

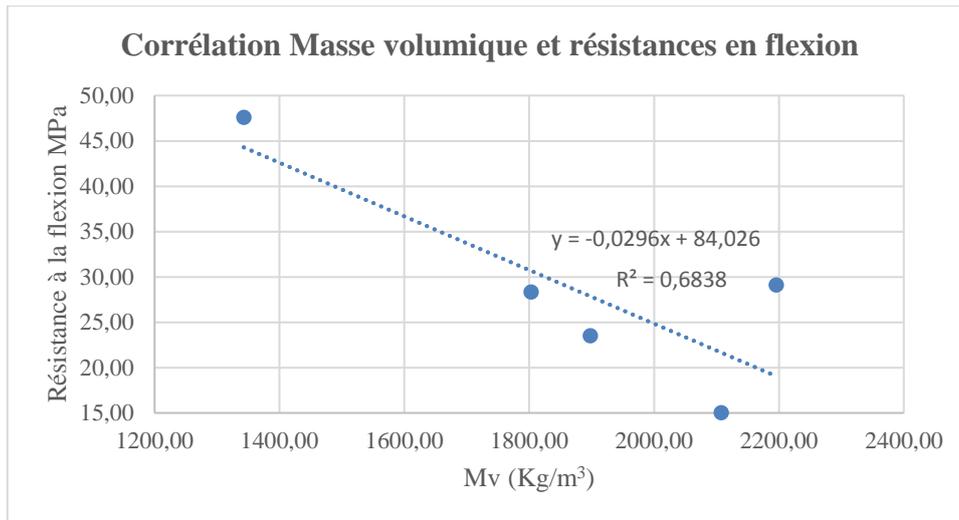


Figure III. 28 : Corrélation masse volumique et résistances à la compression.

III.6. Essai d'absorption

Selon la norme (NF EN ISO 62) [31] on peut mesurer la propriété d'absorption avec les étapes suivantes :

- Nous pesons les échantillons et notons leurs masses.

Puis les mettons dans l'eau pendant 24 heures.

- Puis les repesons pour connaître le poids de l'eau absorbée.

Donc :

$$\text{Abs} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100$$

Avec :

M_2 : la masse de l'échantillon après la peser.

M_1 : la masse de l'échantillon avant la peser.



Figure III. 29 : Essais d'absorption.

III.7. Essai de résistance à la température

Des essais de résistance aux températures d'environnement chaud sont réalisés sur les différentes variantes étudiées afin de déterminer et de vérifier leur comportement lorsque soumises à des températures d'environ 80 °C pendant une durée de 6 heures.

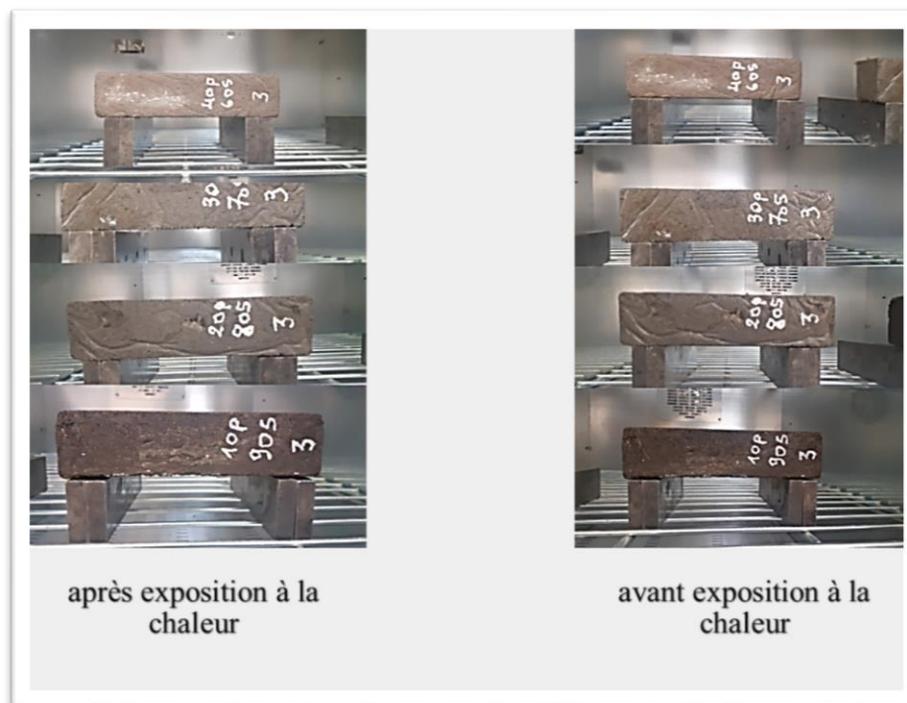


Figure III. 30: Essai de résistance à la température.

Le tableau suivant résume les différents résultats d'essais physico-mécaniques obtenus.

Tableau III. 9 : Résultats des essais physico-mécaniques.

Mélanges	Masse volumique Kg / m ³	Absorption (%)	Résistance à l'environnement chaud (80C°/6 h)
Mortier Témoin	2145	6,67	Aucun changement
10 % P + 90 %S	1847	2,32	Aucun changement
20 % P + 80 %S	1535	0,22	Aucun changement
30 % P + 70 %S	1441	0,24	Aucun changement
40 % P + 60 %S	1054	0	Aucun changement

III.8. Remarques sur les essais

- Les essais physiques d'absorption ont montré des valeurs faibles par comparaison au mortier témoins.
- L'essai de résistance aux températures des climats chauds ont révélé une stabilité jusqu'à la température 80 C° pendant 6 heures dans le four à l'œil nu.

Les histogrammes des résultats : valeurs des masses volumiques (Figure III. 23), montre que :

- Une diminution des masses volumiques des variantes élaborées avec des pourcentages élevés en déchet plastique, (2195,31-2107,42-1897,46-1802,73 et à 1342,77) Kg/m³, pour les variantes (témoins-(10 -20-30 et 40) % en plastique.
- Une évolution des résistances en flexion trois points en fonction de l'augmentation des pourcentages en plastiques, allant de (5,77-7,75-17,62-19,48 et 21,40) MPa, pour les variantes (témoins, 10 %-20 %, 30 % et 40 %) respectivement.
- La Figure III.20, des courbes d'essai flexion trois points (force-déplacement), montre un changement du comportement mécanique des éprouvettes des variantes avec introduction des déchets plastiques, qui montre un comportement viscoplastique par comparaison à la variante témoins (mortier) qui montre un comportement fragile.
- Des corrélations ont été noté entre les propriétés physiques et mécaniques étudiées pour chaque variante, avec l'estimation des coefficients de corrélations R^2 :
- $R^2 = 0,76$ entre les résistances en flexion et les masses volumiques, cette dernière diminue avec l'augmentation des pourcentages du plastique introduit.
- $R^2 = 0,68$ entre les résistances en compression et les masses volumiques, cette dernière diminue en fonction de l'augmentation des pourcentages en plastiques, exception de la variante 40 % en plastique, qui montre une augmentation des résistances en compression.
- Lors des essais non destructifs sur l'ensemble des variantes, on a remarqué une diminution de la vitesse de passage des ondes ultrasonores en fonction de l'augmentation du pourcentage de plastique.

III.9. Discussion des résultats

Les résultats des essais physiques à savoir l'essai d'absorption et ceux des masses volumiques, ont révélé des valeurs faibles d'absorption, expliquées par la nature de la matière plastique introduite comme liant, connu pour son caractère hermétique. La diminution des valeurs des masses volumiques des variantes élaborées avec l'augmentation des pourcentages en plastiques, est expliquée par la faible valeur de la masse volumique du plastique estimée à 520 Kg/m³. De plus la résistance aux

températures des climats chauds (80 C°) durant 6 heures de traitement thermique a montré une stabilité dimensionnelle des éprouvettes testées, cela est due à la température de fusion plus au moins élevée (220 C°).

Les résultats des essais de flexion trois points ont révélé une augmentation des contraintes de rupture en flexion en fonction de l'augmentation du pourcentage en plastique, cela est expliqué par la nature plastique du plastique introduit comme liant dans la matrice, ce comportement est confirmé par les essais de flexion (force-déplacement), qu'ont montré un changement du comportement mécanique des éprouvettes des variantes avec introduction des déchets plastiques, dont les courbes force-déplacements, montrent clairement un changement du comportement des variantes avec déchets plastique par comparaison au mortier, du probablement au large domaine élastique du matériau plastique.

Les essais non destructifs sur l'ensemble des variantes, ont montré une diminution de la vitesse de passage des ondes ultrasonores en fonction de l'augmentation du pourcentage du plastique, ce qui peut être expliquée par la faible densité de plastique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les déchets plastiques sont largement utilisés dans l'ensemble des secteurs d'activités en grande quantités, ce qu'a engendré la génération de grande quantité de déchet impactant ainsi l'environnement d'une manière négative, et alarmante. Ce qu'a enduit une réflexion d'une approche plus durable et responsable sur la gestion des déchets, c'est dans cette optique que notre travail est orienté, dont l'objectif principal consiste à la valorisation des déchets plastiques par combinaison au sable de dune dont l'Algérie compte une grande surface désertique (plus de 84 %), le plastique avec des pourcentages allant de 10 à 40 % va jouer le rôle du liant dans la matrice composite plastique et sable de dune.

A la lumière des résultats obtenus, les conclusions suivantes ont été tiré :

- Une possibilité de valorisation des déchets plastique dans le domaine des matériaux de construction par addition au sable de dune, ce dernier qui va jouer le rôle de liant dans le matériau composite (sable de dune et plastique) à des taux allant de 10 à 40 % du plastique, ce qui donne d'autre utilisation des déchets plastiques, cela permettra une participation réelle au développement durable, par la réduction des quantités de déchets plastique dans la nature, et économiser les ressources naturelles par la réduction des quantités de ciment utiliser dans le secteur de la construction, de plus un gain économique sur le prix des structures.
- Les valeurs des masses volumiques obtenues sur les variantes étudiées montrent un gain de masse allant de (4 à 47 %), ce qui peut exploite comme solution pour alléger les matériaux de construction, également les essais d'absorption ont permis de noter une faible absorption, ce qui peut être un avantage dans certaines utilisations (matériaux de revêtement et de protection).
- Cette étude nous a permis aussi de noter la possibilité d'une substitution totale du ciment par le plastique, tout en améliorant les résistances en flexion et compression par comparaison aux mortiers. De plus, les essais de flexion trois points, après obtention des courbes (force-déplacement), montrent un changement du comportement mécanique des éprouvettes des variantes avec les déchets plastiques, améliorant ainsi son comportement vis-à-vis la rupture, en outre, les essais non destructifs sur les

variantes avec les déchets plastiques ont permis de noter une augmentation du temps de propagation des ondes sonore en fonction de l'augmentation du pourcentage de substitution, ce que permet de prévoir un caractère d'insolation acoustique, ce qui confère un confort aux structures.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Business France : Algérie - Déchets et recyclage, un marché de 2 Mds de dinars par an. <https://www.businessfrance.fr/algerie-dechets-et-recyclage-un-marche-de-2-mds-de-dinars-par-an> (06/02/2017).
- [2] Dorbane, Nadia et Hachemi, Naima. L'economie Circulaire, Une Nouvelle Approche De Gestion Des Dechets. Quelles Possibilites D'application En Algérie? Revue tadamsa d'unegmu, 2023, vol. 3, no 1, p. 20-35.
- [3] Journal Officiel Algérie, La Loi N°01-19 du 12/12/2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, 32 pages
- [4] Code de l'environnement, Article L541-1-1, Version en vigueur depuis le 31 juillet 2020.
- [5] Jean-Michel Balet dans son livre « Gestion des déchets 5e édition » en 2016.
- [6] Guide du traitement des déchets, Alain Damien, Réglementation et choix des procédés 7e édition, 2016
- [7] Article R541-8 du Code de l'Environnement, Version en vigueur depuis le 14 décembre 2020.
- [8] Djemaci, Brahim. La gestion des déchets municipaux en Algérie: Analyse prospective et éléments d'efficacité. Diss. Université de Rouen, 2012.
- [9] Moussous, F., & Moulla, S. (2021). Gestion des déchets d'activité de soin au niveau des deux établissements de santé « Service Radiologie (CHU) et Polyclinique Tizi-Rached » de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [10] Le traitement des déchets. (2009). Lavoisier. MOLETTA René.
- [11] Kawai K, Huong LTM. Key parameters for behaviour related to source separation of household organic waste: A case study in Hanoi, Vietnam. Waste Management & Research. 2017;35(3):246-252.
- [12] Souleymane, DIA Mouhamadou Bassirou et Soumah Mouloukou. Etat de l'art sur les bétons à base de recyclât : perspectives pour l'Algérie. Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019.

[13] Journal officiel de la république algérienne

- La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001

- La loi N° 02-02 du 05 février 2002

- La loi N° 03-10 du 19 juillet 2003

- Le décret exécutif n°02-372 du 11 novembre 2002

- Le décret exécutif n°04-210 du 28 juillet 2004

- Le décret exécutif n°04-410 du 14 décembre 2004

[14] Chabane, Juba. Synthèse bibliographique sur le plastique. 2020. Thèse de Master. Université Mouloud Mammeri.

[15] Brydson, J. A. et Gilbert, Marianne. Brydson's Plastics Materials. Butterworth-Heinemann, 2016.

[16] Tristan, T. (2013, 2018). Les Déchets Collecte. Traitement. Tri. Recyclage. DUNOD. <https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/9782100743421/Feuilletage.pdf>

[17] Le recyclage du plastique, un secteur à risque pour les entrepreneurs algériens. (s. d.). Wamda. Consulté 14 mai 2023, à l'adresse <https://www.wamda.com/2017/08/le-recyclage-du-plastique-un-secteur-a-risque-pour-les-entrepreneurs-algeriens>

[18] Types de plastiques - Guide de Classification ! (s. d.). projetecolo.com. Consulté 12 mai 2023, à l'adresse <https://www.projetecolo.com/types-de-plastiques-869.html>

[19] Audrey, B. La révolution des plastiques.2009

[20] Fathi, K. (s. d.). Familles de plastiques et usages. Consulté 1 août 2023, à l'adresse https://www.academia.edu/25403953/Familles_de_plastiques_et_usages

[21] Benimam, Samir, Debieb, Farid, BENTCHIKOU, Mohamed, et al. Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton. In : MATEC web of conferences. EDP Sciences, 2014. p. 01033.

[22] Saada, Bechir. « Chapitre 1 : propriétés des matières plastiques et caractérisation ». In Conception De Moule, 2010.

[23] Eléonore, K. (2020). Note de Synthèse Plastiques finale.

-
- [24] valorisation des déchets plastiques dans le domaine des bâtiments et travaux publics. (s. d.). Consulté 15 mai 2023, à l'adresse https://www.congovirtuel.com/page_rapport_travaux/page_memoire_ilunga.php
- [25] Le recyclage du plastique, un secteur à risque pour les entrepreneurs algériens. (s. d.). Wamda. Consulté 14 mai 2023, à l'adresse <https://www.wamda.com/2017/08/le-recyclage-du-plastique-un-secteur-a-risque-pour-les-entrepreneurs-algeriens>
- [26] <https://amusementlogic.fr/author/admin>. (2023, février 10). Plastiques et bioplastiques dans l'architecture et la construction. Amusement Logic <https://amusementlogic.fr/nouvelles-de-lentreprise/plastiques-et-bioplastiques-dans-larchitecture-et-la-construction/>
- [27] MESSAL, Roselyne. La valorisation des déchets plastiques en Europe et en France. L'actualité chimique, 2013, vol. 371, p. 12-15.
- [28] NF EN 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable, Mars 2012.
- [29] NF EN 933-1 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage. Décembre 1997.
- [30] NF - EN 1097-3, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire, Août 1998.
- [31] NF EN ISO 62, Plastiques - Détermination de l'absorption d'eau, mai 2008.