

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة حسيبة بن بوعلي- الشلف
Université Hassiba Benbouali –Chlef
كلية الهندسة المدنية و المعمارية
Faculté de Génie Civil et d'Architecture
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie-civil



Mémoire de Master
Filière: Génie-civil
Spécialité: Matériaux en Génie Civil

Thème

Formulation d'un mortier écologique et économique

Présenté par :

Mehenni Abdelwahab
Chakouri Abdelaziz

Dirigé par:

Dre. LAHMAR Nassira

Promotion : 2023/2024

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier le bon dieu tout puissant de nous avoir le courage et la possibilité d'accomplir ce présent travail.

*Nous tenons à exprimer notre gratitude profonde à **Dre. Lahmar Nassira**, notre encadreuse, pour ses conseils précieux, son soutien constant, et sa direction perspicace qui ont été indispensables à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions également **Mr. Zidane Boumediene**, responsable du laboratoire Hydro, pour son appui technique et ses encouragements, ainsi que **Mme. Taieb Kherafa Fatima** et ses précieux conseils et son aide tout au long de cette étude.*

*Nous remercions **Mr. Ouali Fouad**, responsable du laboratoire MDC, pour leur aide.*

*Nos remerciements chaleureux vont à notre **ami Amroune Adem** pour son soutien moral et son assistance tout au long de ce projet. Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance aux travailleurs de GICA Chlef pour leur aide pratique et leur coopération.*

*Nous adressons un grand merci à notre jury, l'examineurs **Dr. El-Hadj Meziane** et **Pr. bensaid boukbatche**, pour leur disponibilité et leur engagement à évaluer notre travail.*

Un grand merci à tous les enseignants et étudiants de génie civil, en particulier la promotion 2023/2024, pour leur camaraderie et leurs échanges constructifs qui ont enrichi cette expérience.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à Allah, le Tout-Puissant, pour sa guidance et ses bénédictions infinies qui ont illuminé mon chemin tout au long de ce parcours académique.

À ma mère, Fatma, et mon père, Saïd, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices constants. Maman, tu es mon pilier, et Papa, tu es mon modèle. Vos encouragements et votre foi en moi ont été ma plus grande source de motivation.

À mes sœurs, Nada-Raihane et Amira, pour leur amour, leur soutien et leur patience. Vous avez été une source d'inspiration et de réconfort durant ce voyage.

À mon frère, Charaf Edine, pour sa camaraderie et son soutien constant.

À mon cousin, Ayoub, pour ses encouragements et sa présence à mes côtés.

À mes tantes et oncles, pour leur soutien moral et leurs encouragements.

À mes amis, Abderrezzaq, Yasmine et Malak, pour leur amitié précieuse, leurs encouragements et leur soutien moral tout au long de ce projet.

À mes grands-parents, pour leurs prières et leur amour indéfectible.

À tous mes enseignants, depuis ma première année jusqu'à maintenant, pour leur dévouement et leur enseignement qui ont façonné mon parcours.

Une dédicace spéciale à mon binôme de travail, Abdelaziz, et sa famille Chakouri, pour leur collaboration, leur soutien et leur amitié. Abdelaziz, travailler avec toi a été une expérience enrichissante et inoubliable..

MEHENNI ABDELWAHAB

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à Allah, le Tout-Puissant, pour sa guidance et ses bénédictions infinies qui ont éclairé mon chemin durant tout ce parcours académique.

À mon père, Mouhemed, et ma mère, Zahra, pour leur amour incommensurable et leur soutien sans faille. Papa et Maman, vos encouragements constants et votre foi en moi ont été ma plus grande source de motivation.

À mes frères et sœurs, Hamza, Youcef, Fatima, Malek et Kawther, pour leur présence, leur soutien et leur patience. Vous avez tous été une immense source d'inspiration et de réconfort pour moi.

À Houria, et à leurs enfants, Jawad et Eline, pour leur affection et leurs encouragements chaleureux.

À mes neveux Abdel malek et Abdel wahab, à Sabrina et à ses enfants Mouhemed et farouk

Un hommage spécial à mon oncle Ali, passionné par la science.

À mon ami de toujours, Adjem Ayoub, pour sa précieuse amitié et son soutien indéfectible tout au long de ce projet.

Je tiens également à exprimer une dédicace spéciale à mon binôme de travail, Abdelwahab, et à sa famille Mehenni, pour leur collaboration, leur soutien et leur amitié. Abdelwahab, travailler à tes côtés a été une expérience inestimable et mémorable. Merci infiniment à chacun d'entre vous.

CHAKOURI ABDELAZIZ

Résumé

Le principe du mortier écologique est relativement simple : il s'agit d'intégrer principalement des matériaux d'origine naturelle dans son processus de production. L'objectif est alors de produire un mortier plus respectueux de l'environnement et moins polluant pour la planète.

L'objectif principal est de maintenir des performances physico-mécaniques satisfaisantes tout en intégrant des matériaux tels que le sable de dune et les granulats recyclés, accompagnés d'additifs issus de déchets : tels que la poudre de brique et les fibres polypropylène. Les résultats expérimentaux démontrent que ces matériaux améliorent les propriétés physiques et mécaniques du mortier, tout en contribuant à une gestion plus durable des ressources naturelles et des déchets. Cette étude encourage vivement l'adoption de ces mortiers écologiques dans les pratiques de construction modernes pour favoriser une transition vers des méthodes plus durables et respectueuses de l'environnement.

Mots clés : Mortier écologique, Sable naturel, Sable de dune, Sable recyclé, Résistance mécanique, Retrait, , Durabilité.

Abstract

The principle of ecological mortar is relatively simple: it involves mainly integrating materials of natural origin into its production process. The objective is then to produce a mortar that is more environmentally friendly and less polluting for the planet.

The main objective is to maintain satisfactory physical and mechanical performance while integrating materials such as dune sand and recycled aggregates, accompanied by additives from waste: such as brick powder and polypropylene fibers. The experimental results demonstrate that these materials improve the physical and mechanical properties of the mortar, while contributing to more sustainable management of natural resources and waste. This study strongly encourages the adoption of these ecological mortars in modern construction practices to promote a transition to more sustainable and environmentally friendly methods.

Keywords: Ecological mortar, Natural sand, Dune sand, Recycled sand, Mechanical resistance, Shrinkage, Durability.

ملخص

مبدأ الملاط البيئي بسيط نسبياً؛ فهو يتضمن بشكل أساسي دمج المواد ذات الأصل الطبيعي في عملية الإنتاج. والهدف بعد ذلك هو إنتاج ملاط أكثر صداقة للبيئة وأقل تلويثاً لكوكب الارض.

الهدف الرئيسي هو الحفاظ على الأداء الفيزيائي والميكانيكي المرصّي أثناء دمج مواد مثل رمل الكنتان والركام المعاد تدويره، مصحوبة بإضافات من النفايات: مثل مسحوق الطوب وألياف البولي بروبيلين. وتظهر النتائج التجريبية أن هذه المواد تعمل على تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للملاط، بينما تساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية والقضاء على النفايات. تشجع هذه الدراسة بقوة على اعتماد هذا الملاط البيئي في البناء الحديث لتعزيز الانتقال نحو أساليب أكثر استدامة وصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: الملاط البيئي، الرمال الطبيعية، رمال الصحراء، الرمال المعاد تدويرها، المقاومة الميكانيكية، الانكماش، الاستدامة

Table des matières

Contenu

Liste des figures.....	xii
Liste des tableaux	xivv
Introduction générale	2
Chapitre 1 : Valorisation des déchets environnementales destinés à la construction.....	6
1.1. Introduction	6
1.2. Qu'appelle-t-on déchets ?.....	6
1.3. Définition.....	6
1.4. Les types des dechets	7
1.4.1. Déchets inertes	7
1.4.2. Déchets ménagers.....	8
1.4.3. Déchets non dangereux.....	8
1.4.4. Déchets agricoles.....	8
1.4.5 Déchets toxiques	8
1.4.6 Déchets à risques infectieux.....	9
1.5. Classement du déchet selon le producteur.....	9
1.6. les conséquences des déchets sur l'environnement.....	10
1.7. Gestion des déchets	10
1.8. La valorisation des déchets?	11
1.8.1. Les différents sens de la valorisation des dechets	11
1.8.2. Types de valorisation des déchets en génie civil.....	12
1.8.3. Les déchets valorisables en génie civil	13
1.8.3.1 Les déchets de verre:	13
1.8.3.2 Laitiers:	14
1.8.3.3 Valorisation et recyclage des plastiques	15
1.8.3.4 Pneus usagés	16
1.8.3.5 Déchets de construction et démolition.....	17
1.8.3.6 Sables de fonderies	18
1.8.3.7 Déchets de brique (chamotte).....	18
1.8.4. Valorisation des déchets en Algérie	19
1.9. conclusion.....	20
Chapitre 2 : Le mortier.....	22
2.1. Introduction	22
2.2. Définition.....	22
2.3. Composants du mortier.....	22
2.3.1 Le Liant :.....	22
2.3.3 Le Sable :	23
2.3.4 L'eau.....	23
2.3.5. L'adjuvant:.....	23

2.4. Emplois des mortiers:.....	24
2.4.1. Le hourdage de maçonnerie:	24
2.4.2. Les enduits :	24
2.4.3. Les chapes :.....	24
2.4.4. Les scellements et les calages :	24
2.5. Différents mortiers en fonction du type de liant	25
2.5.1. Le mortier-ciment.....	25
2.5.2. Mortier bâtard :.....	25
2.5.3. Mortiers réfractaires	25
2.5.4. Le mortier hydrofuge.....	26
2.5.5. Mortiers pour l'étanchéité	26
2.6. Les caractéristiques de mortier.....	26
2.7. Caractérisation de sable utilisé.....	27
2.7.1 Classification des sables	27
2.7.2 Types des sables utilisé dans le béton et mortier	28
2.7.2.1 Sable alluvionnaire	28
2.7.2.2 Les sables de concassage calcaires	28
2.7.2.3 Sable de dune	28
2.7.2.4. Sable du béton recyclé	29
2.7.2.5. Sable de mer.....	29
2.8. Caractérisation du sable de dunes	30
2.8.1. Utilisation du sable de dune	30
2.8.1. Identification des sables de dunes du Sahara	31
2.8.2. Types des dunes	31
2.9. Intérêt de sable de dune	32
2.9.1. L'aspect économique.....	32
2.9.2. L'aspect technique.....	32
2.10. Recherche internationale menée sur le sable de dunes.	32
2.11. Granulats du bétons recyclés	35
2.11.1. Description du granulat recyclé.....	36
2.11.2 Processus de fabrication des granulats recyclés	36
2.12. Intérêt de granulats recyclés.....	37
2.12.1. Aspect écologique	37
2.12.2. Aspect économique.....	37
2.13. Recherche scientifiques menée sur l'utilisation des granulats recyclés dans le béton et mortier..	38
2.14.Effet de la substruction du ciment par les fines de brique sur le comportement des mortiers	41
2.15. Conclusion.....	45
Chapitre 3. Matériaux et matériel d'essai	46
3.1. Introduction	46
3.2. Matériaux utilisés.....	46

3.2.1. Ciment	46
3.2.2. Eau de gâchage.....	47
3.2.3. Sable	47
3.2.4. poudre de brique.....	48
3.2.5. Fibres	50
3.3. L'analyse granulométrie des sables utilisés.....	51
3.4. Module de finesse :	52
3.5. Masse volumique apparente.....	52
3.6. Masse volumique absolue.....	53
3.7. L'équivalent de sable	54
3.8. Le taux d'absorption d'eau	55
3.9. Formulation des mortiers :.....	56
3.10. Protocole de Malaxage	56
3.11. Essai d'étalement :	57
3.12. Essais effectuées	59
3.12.1. Résistance à la traction par flexion :	59
3.12.2. Résistance à la compression :	60
3.12.3. Mesure du retrait :	61
3.12.4. Absorption par immersion :	62
3.12.5. Absorption par capillarité :	63
3.13. Conclusion :	64
Chapitre 4 : Analyse des résultats expérimentaux	67
4.1. Introduction	67
4.2. Propriétés physico-mécaniques du mortier.....	67
4.2.1. Résistance à la compression.....	67
4.2.2. Résistance à la traction	69
4.2.3. Absorption par immersion	71
4.2.4. Absorption par capillarité	73
4.2.5. le retrait total	74
5.4. Conclusion.....	75
Conclusion générale et perspectives	77
Références bibliographiques	79

Liste des figures

Figure 1. 1. Déchets inertes.	7
Figure 1. 2. Composition moyenne annuelle de DMA (Année 2018/2019).....	8
Figure 1. 3. Classement des déchets selon le secteur de production.....	9
Figure 1. 4. Schéma général de la gestion des déchets.....	11
Figure 1. 5. Déchets de verre.	14
Figure 1. 6. Bloc de laitier de haut fourneau.	14
Figure 1. 7. Déchets en plastiques.....	16
Figure 1. 8. Pneus usagés.	17
Figure 1. 9. Déchets de construction et démolition.....	18
Figure 1. 10. Déchets de construction et démolition.....	19
Figure 1. 11. Composition moyenne des DMA – Algérie 2018/2019.....	19
Figure 2. 1. Exemple de granulats recyclés.....	22
Figure 2. 2. Le hourdage de maçonnerie.....	24
Figure 2. 3. scellements d'éléments de couverture.....	25
Figure 2. 4. Sable de dune.....	29
Figure 2. 5. Sable de recyclé.....	29
Figure 2. 6. Courbes granulométriques de deux sables de dunes.....	31
Figure 2. 7. Résultats de la résistance à la compression de plusieurs chercheurs.....	33
Figure 2. 8. Relation entre le pourcentage d'absorption d'eau et les taux de remplacement du sable de dune.....	34
Figure 2. 9. Les résultats d'absorption d'eau du béton à base de sable de dune.....	35
Figure 2. 10. Schématisation d'un granulats recyclés.....	36
Figure 2. 11. Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de remplacement des GBR sans SP (E/C=0.6).....	39
Figure 2. 12. Evolution de retrait total.	40
Figure 2. 13. Quantité de mortier attaché en fonction de la taille des granulats.....	40
Figure 2. 14. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur l'étalement.....	41

Figure 2. 15. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur le temps d'écoule.....	42
Figure 2. 16. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique la résistance à la compression ment.	43
Figure 2. 17. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur la résistance à la traction.....	44
Figure 2. 18. L'effet du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur l'absorption d'eau (a) et la sorptivité (b).....	44
Figure 2. 19. La résistance à la compression des mortiers à base de poudre de brique sous des conditions défférentes à 180 jours	45
Figure 3. 1. a) Sable naturel, b) sable de dune, c) sable recyclé.	48
Figure 3. 2. Processus de production du sable recyclé.	49
Figure 3. 3. Processus de production de la poudre du brique..	50
Figure 3. 4. Essais de la masse volumique apparente (a) et absolue(b) de la poudre de brique..	51
Figure 3. 5. Essai de mesure de la finesse de la poudre de brique.....	51
Figure 3. 6. Processus de production les fibres de polypropylène.	52
Figure 3. 7. Analyse granulométrique des sable utilisés..	53
Figure 3.8. . Essai de masse volumique apparente de : a) sable naturel, b) sable recyclé, c) sable de dune.....	54
Figure 3. 9. . Masses volumiques absolue de : a) Sable naturel, b) sable recyclé , c)sable de dune.	55
Figure 3.10. L'équivalent de sable de : a) Sable naturel, b) sable recyclé , c) sable de dune.	56
Figure 3.11. Malaxage de mortier.	58
Figure 3.12. Essai d'étalement..	59
Figure 3. 13. Eprouvettes de mortiers..	60
Figure 3.14. Essai de flexion trois points..	61
Figure 3. 15. Essai du dispositif de compression simple.....	62
Figure 3.16. Appareil de mesure de retrait..	63
Figure 3. 17. Chronologie de mesure du retrait..	63
Figure 3. 18. Essai d'absorption par immersion..	64
Figure 3. 19. Essai d'absorption par capillarité.	65

Figure 4. 1. Résistance à la compression des mortiers à base des déférents sable.....	67
Figure 4. 2. Résistance à la compression des mortiers à base des déférents sable et contenant de 10 % de déchets de poudre de brique.....	68
Figure 4. 3. Résistance à la compression des mortiers à base des déférents sable contenant de 10 % de déchets de poudre de brique et 0.5 % dde fibre polypropylène recyclé..	68
Figure 4. 4. Résistance à la traction des mortiers à base des déférents sables.	70
Figure 4. 5. Résistance à la traction des mortiers à base des déférents sable et contenant de 10 % de déchets de poudre de brique	70
Figure 4. 6. Résistance à la traction des mortiers à base des déférents sable contenant de 10 % de déchets de poudre de brique et 0.5 % dde fibre polypropylène recyclé.	71
Figure 4. 7. E Absorption d’eau des mortiers fabriqués avec : (a) sable naturel, de dune et recyclé ; (b) contenant de 10 % de PB ; (c) contenant de 10 % de FPR	72
Figure 4. 8. Absorption par capillarité mortiers fabriqués.....	73
Figure 4. 9. Le retrait total des déférents mortiers confectionnés ..	74

Liste des tableaux

Tableau 1. 1. Tableau 1.1 : Quantités des débris issus des catastrophes naturelles en Algérie	20
Tableau 3. 1. Composition chimique et minéralogique du ciment utilisé.....	47
Tableau 3.2. Masse volumique apparente et absolue de la poudre de brique.....	50
Tableau 3. 3. Module de finesse des sables utilisés.	53
Tableau 3. 4. Masses volumiques des sables naturel et recyclé.....	55
Tableau 3. 5. Equivalant de sable.	56
Tableau 3. 6. Pourcentage d'absorption d'eau des trois sable.....	57
Tableau 3. 7. Compositions des mélanges.	57
Tableau 3.8. Essai d'étalement des différents types de mortiers.....	59

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie de la construction est l'un des secteurs les plus consommateurs de ressources naturelles et énergétiques. En parallèle, elle génère une quantité considérable de déchets et contribue de manière significative à la pollution environnementale. Les enjeux environnementaux et économiques actuels poussent à une prise de conscience accrue des impacts négatifs de cette industrie. Par conséquent, les chercheurs et les professionnels du secteur se tournent vers des solutions innovantes visant à minimiser ces impacts. Une de ces solutions prometteuses est la valorisation des déchets de construction et de démolition pour la formulation de matériaux de construction écologiques et économiques.

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire s'inscrit dans cette perspective de développement durable. L'objectif principal de cette étude est de formuler un mortier écologique et économique en intégrant des matériaux recyclés tels que les granulats recyclés et le sable de dune, ainsi que d'autres déchets valorisables. Cette approche vise non seulement à réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, mais également à préserver les ressources naturelles en limitant l'extraction de matériaux vierges.

La conception écologique des structures et le développement durable jouent un rôle important dans l'industrie de la construction. Les matériaux écologiques de construction tels le béton de terre, le sable de dunes, les déchets de construction, contenant une proportion de divers composants écologiques, sont de grande importance aujourd'hui. Ces dernières années, de nombreux efforts ont été réalisés dans le domaine de la construction pour remplacer le béton traditionnel par des matériaux alternatifs tels que le béton contenant une forte proportion de divers composants écologiques appelés « vert » en maintenant des propriétés acceptables pour l'application souhaitée.

Le Sahara Algérien représente 60% du territoire national, il est très riche en sable de dunes. Cette étude a pour but d'économiser l'utilisation du sable alluvionnaire dans ces régions, de ce fait, nous avons pensé à étudier un mortier de sable de dunes et sable recyclé en ajoutant les la poudre de brique et les fibres polypropylènes recyclé. des tous sa dans le but d'une éventuelle amélioration des caractéristiques physico-mécaniques et la durabilité.

Le béton écologique vise à intégrer principalement des matériaux d'origine naturelle dans son processus de production. L'objectif est de produire un béton plus respectueux de l'environnement et moins polluant pour la planète. Contrairement au béton traditionnel, qui est fabriqué à partir de calcaire et d'argile (émetteurs de CO₂), le béton écologique utilise des

matériaux plus durables. L'industrie du béton est responsable d'environ 7 % des émissions de gaz à effet de serre. Le béton vert est un exemple de béton écologique, où au moins un de ses composants provient de déchets. Sa production nécessite moins d'énergie et émet moins de dioxyde de carbone².

En adoptant une approche intégrée de valorisation des déchets dans la formulation des mortiers, cette recherche contribue à la réduction de l'empreinte carbone de l'industrie de la construction et à la promotion de pratiques de construction plus respectueuses de l'environnement. Les conclusions de cette étude serviront de base pour des recherches futures et des applications pratiques dans le domaine de l'ingénierie civile, ouvrant la voie à une transition vers une construction plus durable et responsable.

De plus, cette recherche met en lumière l'importance de l'innovation et de l'adaptation dans le secteur de la construction, afin de répondre aux défis environnementaux et économiques du XXI^e siècle. En utilisant des matériaux recyclés, nous pouvons non seulement réduire les coûts de construction, mais aussi contribuer à la conservation des ressources naturelles et à la réduction des déchets. Cette étude encourage vivement l'adoption de pratiques de construction plus durables, et elle constitue un pas significatif vers la réalisation des objectifs globaux de développement durable.

Les performances mécaniques et environnementales des mortiers formulés à partir de ces matériaux recyclés seront évaluées à travers une série d'essais expérimentaux rigoureux. L'étude portera sur les propriétés à l'état frais et à l'état durci des mortiers, ainsi que sur leur durabilité à long terme face à divers agents de dégradation. Les résultats obtenus permettront de déterminer la viabilité de ces mortiers recyclés pour une utilisation en construction, offrant ainsi une alternative durable et économiquement viable aux matériaux traditionnels.

Le mémoire est composé de quatre chapitres. Les deux premiers chapitres est une revue bibliographique.

Le premier chapitre présente un ensemble de généralités sur la valorisation des déchets environnementales destinés à la construction et des différents types de déchets.

Le deuxième chapitre consiste à caractériser le mortier et les différents types de sables utilisés .

Dans le troisième chapitre, on a exposé les modes opératoires des essais sur les matériaux employés dans cette étude, ainsi que les différentes méthodes expérimentales, selon les normes nécessaires pour la caractérisation physique et mécanique de ces matériaux.

Le quatrième chapitre résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant la présente étude.

Nous terminerons le mémoire par les principales conclusions des résultats obtenus et des perspectives aux travaux futurs.

Chapitre 1 : Valorisation des déchets environnementales destinés à la construction

Chapitre 1 : Valorisation des déchets environnementales destinés à la construction.

1.1. Introduction

La valorisation des déchets apparaît d'abord comme une question d'organisation et d'optimisation des techniques déjà connues, dont les effets sur l'environnement sont apparemment maîtrisés. Elle se présente ainsi moins comme un enjeu environnemental majeur que comme une question économique et de gestion.

1.2. Qu'appelle-t-on déchets ?

Selon le dictionnaire Larousse de la langue française (1924), « le déchet est ce qui est perdu ». Il est aussi « La partie inutilisable d'une matière, morceau qu'on rejette ou qui s'en détache » (Larousse de la langue française, 1992). Il est aussi «ce qui tombe d'une matière qu'on travaille, un débris, un reste d'une chose découpée, apprêtée qui est impropre à la consommation, à l'usage» (Larousse, 2000). En résumé le déchet est ce que l'on considère comme un rebut. Dans cette conception, le déchet n'est pas un élément réutilisable[1].

1.3. Définition

Appelé déchets tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [2]. D'autres variantes existent et la notion de déchet peut être abordée de façon économique, sociale, en fonction de sa nature chimique, etc.

La définit le déchet des points de vue économique et juridique comme suit :

- **Du point de vue économique** : un déchet est tout objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur. Pour s'en débarrasser, il paye un service ou s'en charge lu même,

- **Du point de vue sociologique** : socialement, les déchets s'accompagnent de jugements de valeur négatifs. Ils sont disqualifiés, comportent une connotation malsaine, suscitent souvent de la répulsion voire du dégoût et nécessitent une séparation, une ségrégation, une exclusion, un rejet.

- **Du point de vue juridique** : la définition du déchet permet de distinguer une conception subjective et une conception objective. Selon la conception subjective, une propriété devient un déchet lorsque le détenteur a la volonté de s'en débarrasser. Elle lui

appartient aussi longtemps qu'elle demeure dans son espace privé. Cette propriété appartient à la municipalité lorsqu'elle est déposée sur la voie publique car, en effet, par cet acte, le détenteur manifeste clairement sa volonté de l'abandonner. Selon la conception objective, un déchet est tout objet dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de sa valeur économique. Une autre question vient immédiatement à l'esprit : « que fait-on des déchets ? ». Car le problème se situe bien à ce niveau et se pose de façon d'autant plus aiguë que la quantité des déchets augmente continuellement.

1.4. Les types des déchets

La collecte et le traitement des déchets impliquent leur classement dans différentes catégories. On distingue ainsi les déchets selon leur provenance et le type d'activités dont ils sont issus, selon leur dangerosité et selon les modes de traitements qu'ils nécessitent.

1.4.1. Déchets inertes

Le terme de déchet inerte désigne les gravats issus des travaux de BTP et des démolitions. Vitres, parpaings, carrelages, béton : les déchets de ce type sont dits inertes car ils ne se dégradent pas naturellement. Ils peuvent être utilisés comme remblai et sous-couche lors de la construction d'infrastructures routières par exemple. Une grande partie de ces déchets est simplement enfouie dans des centres de stockage dédiés.



Figure 1. 1. Déchets inertes.

1.4.2. Déchets ménagers

Collectés par les collectivités locales, les déchets ménagers désignent les déchets produits au quotidien par les ménages. Ils peuvent être incinérés ou recyclés selon leur nature, par exemple : les papiers de bureau, cartons, emballages, palettes de bois, invendus d'un supermarché.

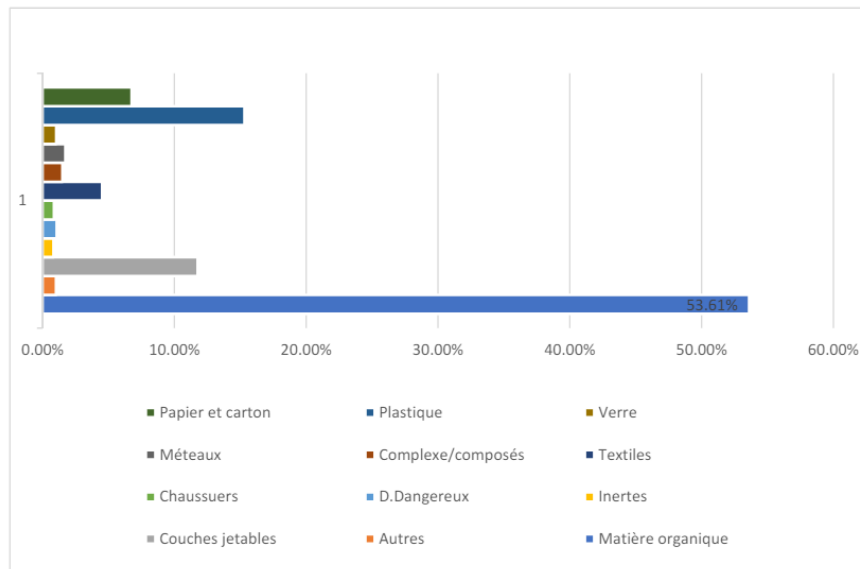


Figure 1. 2. Composition moyenne annuelle de DMA (Année 2018/2019)[3].

1.4.3. Déchets non dangereux

Les déchets non dangereux issus des activités économiques sont de même nature que les déchets ménagers et peuvent subir les mêmes traitements : le recyclage dans le cas des déchets papier, carton ou plastique, l'incinération des ordures non valorisables.

1.4.4. Déchets agricoles

Les déchets issus des exploitations agricoles font également l'objet d'un traitement spécifique : ce sont toutes les ordures et matières issues de l'élevage et des cultures, qui peuvent comprendre les films de paillage, les purins, comme les huiles et autres produits toxiques.

1.4.5 Déchets toxiques

Les déchets d'entreprises et de sites industriels sont classés toxiques lorsqu'ils contiennent des produits dangereux pour la santé et pour l'environnement : il s'agit par

exemple des solvants, vernis, colles, huiles, goudrons, mais aussi des déchets électroniques et électriques. Ils doivent faire l'objet d'un traitement spécifique pris en charge par des sociétés dédiées et régi par des protocoles précis.

1.4.6. Déchets à risques infectieux

Les déchets issus des soins aux particuliers, des hôpitaux et des laboratoires font l'objet d'une catégorie à part : les seringues, bandages, pansements, compresses et l'ensemble du matériel médical usagé présentent un risque d'infection et de contamination pour les personnes et pour l'environnement.

1.5. Classement du déchet selon le producteur

On distingue également les déchets selon un critère de dangerosité pour les personnes et pour l'environnement [4]. Sont ainsi établies 3 catégories :

- Les **DD** pour déchets dangereux (qui présentent au moins une des propriétés de danger définies par le Parlement européen)
- Les **DND** pour déchets non dangereux
- Les **DNDI** pour déchets non dangereux inerte

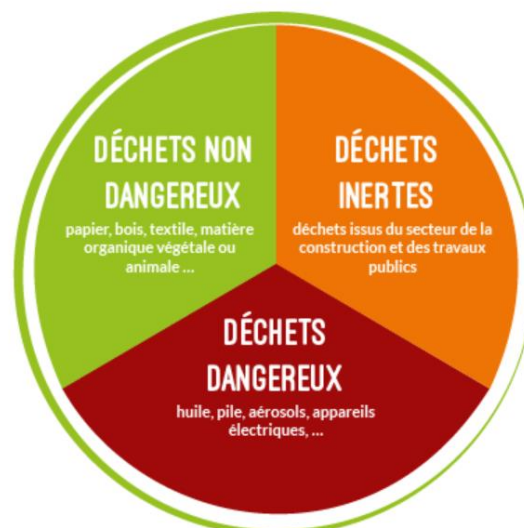


Figure 1. 3. Classement des déchets selon le secteur de production[4].

1.6. les conséquences des déchets sur l'environnement

L'abandon des déchets dans la nature cause de graves problèmes d'ordre environnemental, mais aussi sanitaire, social et économique. Source de pollution directe, les déchets non collectés se décomposent en effet dans la nature avec une incidence dramatique sur la faune, la flore et les ressources en eau. Parmi les conséquences notables des déchets sur l'environnement figurent :

- La disparition d'une partie de la faune et de la flore, l'amoindrissement de la biodiversité et un déséquilibre des biotopes,
- L'introduction d'éléments toxiques et de métaux lourds dans la chaîne alimentaire, du plancton jusqu'aux humains,
- L'infiltration vers les nappes d'eau de matières nocives et de germes pathogènes,
- L'acidification des sols, son appauvrissement et la perte de ses capacités d'absorption, à l'origine d'inondations,
- Les risques d'incendies spontanés, notamment par processus de fermentation.

1.7. Gestion des déchets

La gestion des déchets constitue une préoccupation majeure pour les autorités en charge de secteur, donc il est important de connaître les différents types de déchets dangereux, leurs quantités, leur nature, les contraintes réglementaires, les risques sanitaires, leurs interactions. La disposition relative à la gestion des déchets est définie par différents objectifs.

Elle concerne :

- La réduction de la production de déchet ;
- La limitation de leur nocivité ;
- L'organisation de transport.

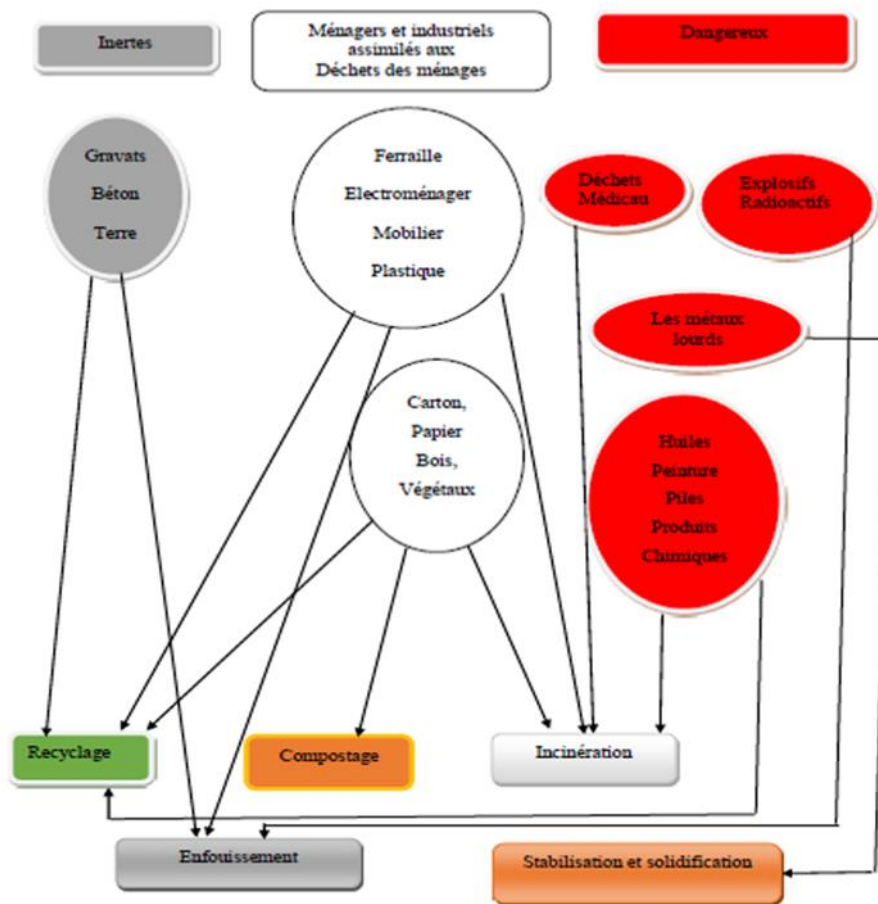


Figure 1. 4. Schéma général de la gestion des déchets.

1.8. La valorisation des déchets?

" Valoriser : donner de la valeur à quelque chose " La notion est apparue dans les textes en 1989, mais les textes de référence sont la directive cadre européenne de 1991, et la loi française du 13 juillet 1992 aux termes de laquelle la valorisation consiste dans " le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ". Il y aurait donc une valorisation matière qui doit permettre de réutiliser les éléments constitutifs du déchet en les intégrant dans le circuit économique, et une valorisation énergétique, sans que le législateur ait fixé une priorité entre les deux [5]. Mais est-ce un objectif principal, secondaire, à quel moment peut-on estimer qu'il y a bien eu valorisation...?

1.8.1. Les différents sens de la valorisation des déchets

La valorisation consiste dans " le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ".

Récupérer un déchet : c'est le sortir de son circuit traditionnel de collecte et de traitement. Par exemple, mettre des bouteilles ou des journaux dans un conteneur spécial, au lieu de les jeter à la poubelle. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation qui consiste, d'une certaine façon, à redonner une valeur marchande à ces déchets. La valorisation s'effectue par divers moyens.

Le recyclage : est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles cassées, les refondre, et en faire des bouteilles neuves.

Le réemploi : c'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple, la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage.

La réutilisation : consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. Par exemple, utiliser des pneus de voiture pour protéger la coque des barques ou chalutiers.

La régénération : consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. C'est le cas, par exemple, de la régénération des huiles usées ou des solvants, ou du papier qui est à la fois recyclé et régénéré par le désencrage.

La valorisation énergétique : consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. C'est l'exploitation du gisement d'énergie que contiennent les déchets.

1.8.2. Types de valorisation des déchets en génie civil

La valorisation consiste dans " le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ".

La valorisation des déchets consiste le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie. Dans un contexte de développement de l'économie circulaire, le domaine du Génie Civil, générateur d'un gros volume de déchets, peut se transformer en un secteur parmi les plus producteurs de matériaux alternatifs si la valorisation des déchets générés est développée et encouragée.

Parmi les objectifs de la valorisation des déchets dans le domaine du génie civil :

- Assurer le respect de la réglementation en luttant contre les décharges sauvages, attribue la charge du traitement et de l'élimination des déchets à leurs producteurs et détenteurs;
- Mettre en place un réseau de traitement offrant une répartition géographique équilibrée des installations de recyclage, pour les matériaux valorisables et d'enfouissement pour les déchets ultimes, et organiser les circuits financiers de façon à ce que les coûts soient intégrés et clairement répartis;
- Permettre au secteur du Bâtiment et des Travaux Publics de participer au principe de réduction à la source des déchets par l'utilisation de matériaux et de procédés de mise en œuvre et de déconstruction, produisant une quantité moindre de déchets à caractère moins polluant et mieux valorisable ;
- Réduire la mise en décharge, et favoriser la valorisation et le recyclage des déchets afin d'économiser les ressources de matériaux non renouvelables
- Permettre l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers du BTP, dans le cadre des exigences habituelles d'économie, de sécurité environnementale, de sécurité technologique pour les ouvrages et de santé publique.
- Mieux impliquer les Maîtres d'Ouvrages publics dans l'élimination des déchets qui sont susceptible d'être recycler dans leurs domaines d'activité.

1.8.3. Les déchets valorisables en génie civil

1.8.3.1 Les déchets de verre:

Le verre est un matériau recyclable intégralement et à l'infini. En revanche, non recyclé, il met des millénaires à se décomposer. Le verre est la matière première parfaite pour fabriquer du nouveau verre, car nous pouvons le réutiliser indéfiniment sans perte de qualité. Recycler une tonne de verre permet d'économiser ½ tonne de CO₂ par rapport à la création d'une tonne de verre. Les établissements et services sanitaires, sociaux et médico-sociaux sont amenés à produire des déchets de verre que l'on peut diviser en deux catégories, selon que ceux-ci présentent ou non un risque infectieux, chimique ou toxique. Dans ce cas ils sont considérés comme des DASRI et seront traités comme tel Les déchets de verre non

dangereux, ne présentant pas de risque chimique, toxique ou infectieux doivent donc suivre la filière normale de traitement du verre, via une collecte séparée.



Figure 1. 5. Déchets de verre.

1.8.3.2 Laitiers:

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Ils sont considérés comme déchets, Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «laitier expansé» (Figure 1.6).



Figure 1. 6. Bloc de laitier de haut fourneau.

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La valorisation des laitiers de haut fourneau, dans le domaine de la construction, est un travail qui vise d'une part la sauvegarde de l'environnement et la lutte contre les nuisances qui en résultent, et d'autre part, l'utilisation rationnelle et économique des matériaux locaux. L'utilisation du laitier du

haut fourneau comme granulats fins et grossiers la réalisation des bétons est connu depuis fort longtemps, vu ses caractéristiques physiques et mécaniques importantes.

La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

Performances et avantages spécifiques :

- Des caractéristiques mécaniques et environnementales constantes et homogènes,
- Des performances géotechniques « haut de gamme »,
- Une densité élevée,
- Une grande souplesse d’approvisionnement des chantiers ,
- Un coût de production très compétitif,
- Des nuisances réduites pour les populations,
- Un impact environnemental minimal, maîtrisé et encadré,
- Une préservation accrue des ressources minérales naturelles.

1.8.3.3 Valorisation et recyclage des plastiques

Le recyclage du plastique réduit le besoin de nouvelles matières en plastique et réduit ainsi les quantités de ressources et d’énergie employées pour sa production.

Au niveau mondial, 15 % des déchets plastiques sont collectés pour être recyclés, 25 % sont incinérés et 60 % sont mis en décharge. Les déchets plastiques sont composés d’emballages et d’autres produits (jouets, sols, parties de produits électroniques ou de véhicules, fenêtres...). En Europe, en 2018, 29 millions de tonnes de déchets plastiques ont été collectés, dont 61 % d’emballages. Depuis 2016, le taux de recyclage de l’ensemble des déchets plastiques dépasse le taux d’élimination (mise en décharge ou incinération sans récupération d’énergie).

A cause des nombreux types de plastique, le recyclage des plastiques est une opération plus complexe que le recyclage du métal ou d’autres matériaux. Il faut donc que la possibilité

de recyclage et la compatibilité environnementale soient des paramètres à prendre en considération au début du processus de conception des produits en plastique plus tôt qu'après leur apparition.



Figure 1. 7. Déchets en plastiques.

Guendouz M, utilise les déchets plastiques dans le domaine de la construction et spécialement dans le béton ou le béton de sable se forme de poudre, de fibres ou d'agréats [9]. Ce travail vise à étudier la possibilité d'utiliser des fibres plastiques dans le béton de sable à l'état brut sans transformation ni traitement, afin de minimiser le cout du matériau final. L'influence de la proportion des déchets utilisés sur les caractéristiques physiques du nouveau matériau été étudiée et analysée.

1.8.3.4 Pneus usagés

Tout comme la plupart des objets usagés, les pneus dégradés représentent aussi un réel danger pour l'environnement. Depuis des années, leur recyclage et leur valorisation ont été favorisées pour éviter qu'ils soient mis en décharge. Un pneu ou un pneumatique est composé généralement de gomme de caoutchouc, de textiles, d'acier et de quelques éléments servant à rendre la gomme plus résistante. Au fil du temps, il devient usagé et considéré ensuite comme pneu déchets. Pour sa valorisation, plusieurs techniques sont possibles. Qu'il soit broyé, entier ou en morceaux, un pneu usagé peut servir pour soutenir une bêche d'ensilage dans le secteur agricole. Il peut également être utile dans la constitution de remblais pour les routes, dans la construction ou encore pour faire du drainage.

Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limité ainsi qu'une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due

au retrait. A titre d'exemple, les dallages, les chaussées et plus généralement les éléments mis en place en grande surface se fissurent sous l'effet du retrait. Ainsi, l'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration dû au retrait.



Figure 1. 8. Pneus usagés.

1.8.3.5 Déchets de construction et démolition

La réutilisation des déchets de construction et démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme constituants de nouveau béton. Les déchets de construction et démolition comprennent de matériaux économiquement intéressants tels que des granulats réutilisables, du bitume, des briques, du carton, du béton, des métaux, de la laine minérale et du bois.

Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits : «Granulats Recyclés », et le béton fabriqué à base de ces granulats est dits : « Béton Recyclé ». Cependant, les granulats recyclés fabriqués par les déchets de construction et démolition dont plusieurs déchets autre que le béton tels que : le plâtre, la brique, le bois, le plastique, les métaux, les papiers etc. Après la séparation et le tamisage on peut les utiliser comme substitue des gros granulats naturels dans le béton. Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition.

Le principe de recyclage se met cependant petit à petit en place. Le traitement des déchets de démolition représente aujourd'hui une vraie industrie, mais dont le profit dépend fortement de l'environnement technique, économique, géologique et politique de la zone dans laquelle elle opère [6]



Figure 1. 9. Déchets de construction et démolition.

1.8.3.6 Sables de fonderies

Dans le secteur de la sidérurgie, l'élimination et la gestion des déchets représentent encore un défi majeur. L'industrie de la fonderie utilise un mélange de sable siliceux et de liant pour la fabrication de moules à usage unique nécessaires à la mise en forme de pièces métalliques. Dans ces moules, des métaux en fusion de différents types sont coulés à des températures pouvant atteindre les 1000°C. Une fois le métal refroidi, les pièces démoulées et les moules détruits, le sable brûlé est ensuite traité pour être recyclé en fonderie ou mis en décharge pour les plus usés [7]. Les sables de fonderie sont donc susceptibles de constituer une matière première d'un coût assez faible pour la fabrication des bétons hydrauliques.

A l'échelle mondiale, la quantité de ces sables usés disponibles pour une valorisation dans d'autres secteurs industriels a été estimée à environ 100 millions de tonnes par an.

1.8.3.7 Déchets de brique (chamotte)

Les chamottes sont des compositions argileuses calcinées. Si la chamotte a été réalisée à des températures inférieures à celle de cuisson des pièces dans laquelle elles sont incorporées, elles prendront encore un peu de retrait lors de ces cuissons. Si les calcinations ont lieu à des températures égales ou supérieures à celles de cuisson de la pièce, les chamottes seront parfaitement inertes et n'auront alors strictement qu'un rôle de dégraissant. Contrairement à ce qu'on puisse en penser, certains de ces additifs, comme par exemple la chamotte (rebut céramique cuit) en quantité contenue (5-10%) ne déterminent pas une usure accentuée des composants broyant, mais augmentent l'efficacité des moulins.



Figure 1. 10. Déchets de construction et démolition.

1.8.4. Valorisation des déchets en Algérie

D'après l'Agence Nationale des Déchets, les déchets ménagers et assimilés (DMA) représentent la plus grande proportion de déchets solides produits en Algérie. Elle a estimé que la production en 2018 dépassera 13,1 millions de tonnes. Ce chiffre est basé sur données démographique de 42,2 millions de tonnes de personnes en 2018 et un taux moyen de production de déchets de 0.8 kg par habitant et par jour[8]. Au cours de la dernière décennie, les gens ont ressenti plus fortement l'évolution de la quantité et la qualité des DMA, qui a accru des risques pour l'environnement et les santés publiques. Cette situation est encore plus préoccupante lorsque le taux d'élimination et de recyclage des déchets est relativement lent.

Ces DMA sont composés en majorité organiques avec 53.6 %. Les plastiques représentent environ 15.2%, les couches sont de 11.5% et d'un faible pourcentage pour les papiers cartons et les textiles de 7.07% et respectivement.

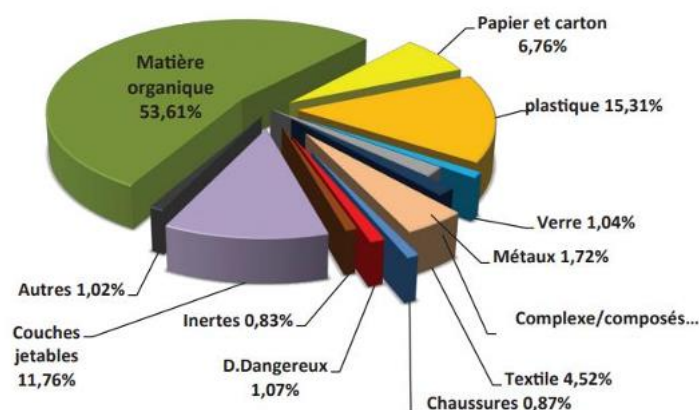


Figure 1. 11. Composition moyenne des DMA – Algérie 2018/2019 [8].

L'Algérie a connu pas mal de catastrophes naturelles, et voici quelques statistiques retirées de la Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement :

Tableau 1.1 : Quantités des débris issus des catastrophes naturelles en Algérie.

Lieu	Date	Dégâts
EL Asnam – Chlef (Séisme)	10 octobre 1980	2900 logements détruits
Constantine (Explosion gazoduc)	février 2003	316 habitations + un marché hebdomadaire
Bab El Oued-Alger (inondations)	9 et 10 novembre 2001	22400 logements endommagés et 300 à détruire complètement
Azazga-Tizi Ouzou (inondations)	12 octobre 1971	Des centaines d'habitations détruites.
Zemmouri-Boumerdes (séisme)	21 mai 2003	100.000 habitations détruites

1.9. conclusion

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables, il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières première

Chapitre 2 : Le mortier

Chapitre 2 : Le mortier

2.1. Introduction

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « Mortier ».

2.2. Définition

Le mortier est un matériau composite, obtenu par mélange homogène d'une matière inerte (sable) avec une matière active (liant), le tout gâché avec certaine quantité d'eau, et éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.

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



Figure 2. 1. Exemple de granulat recyclé.

2.3. Composants du mortier

2.3.1 Le Liant :

Le liant le plus courant depuis le début du 20^e siècle est le ciment Portland,, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la

cuisson. Généralement, on peut utiliser : Les ciments (normalisés et spéciaux) ; Les liants à maçonner; Les chaux (hydrauliques naturelles et éteintes).

2.3.3 Le Sable :

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides.

Le choix de la granulométrie du sable est en fonction des travaux à réaliser, pour des travaux de maçonnerie, on emploie souvent des sables 0/5 mm ; Cependant pour des travaux de briquetage ou d'enduits, le sable est plus fin 0,5 et 2 mm. Le rôle du sable dans un mortier est de:

- Diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien).
- Abaisser le prix de revient du mortier.
- Diminuer le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible que le retrait se trouve amoindri.

2.3.4 L'eau

L'eau est un des ingrédients essentiels du mortier, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle introduite dans le mortier lors de sa fabrication et elle remplit un double rôle : va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton/mortier frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

2.3.5. L'adjuvant:

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et des mortiers, leur emploi est certainement avantageux. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de

ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants : (Les plastifiants ; les entraîneurs d'air ; les modificateurs de prise ; les hydrofuges.....).

2.4. Emplois des mortiers:

2.4.1. Le hourdage de maçonnerie :

Le hourdage de maçonnerie : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure 2. 2. Le hourdage de maçonnerie.

2.4.2. Les enduits :

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.

2.4.3. Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.

2.4.4. Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser :

scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

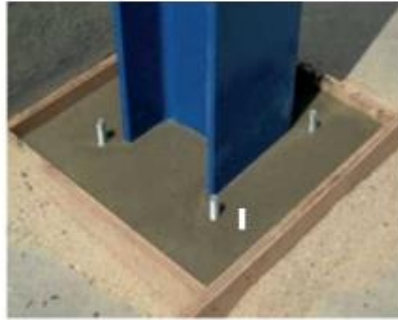


Figure 2. 3. Scellements d'éléments de couverture.

2.5. Différents mortiers en fonction du type de liant

2.5.1. Le mortier-ciment

Ce matériau sera utile pour toutes les constructions classiques (murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il durcit également plus vite que la plupart des autres solutions. Les dosages courants sont de l'ordre de : 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable. De plus un dosage en ciment insuffisant les rend pratiquement imperméables.

2.5.2. Mortier bâtard :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Le ciment lui procure de la résistance, tandis que la chaux lui apporte de la souplesse. L'usage de ces deux liants donne un mortier résistant, une prise plus rapide grâce au ciment, suffisamment gras et onctueux grâce à la chaux. Le tout lui procure une facilité de prise en main. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

2.5.3. Mortiers réfractaires :

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins. En toute logique, il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de températures, à savoir pour le montage et le jointement des :

- ✓ Foyers de cheminée,
- ✓ Des barbecues maçonnés.

Ce matériau protège ainsi les joints et la structure des constructions exposées aux flammes et à la chaleur.

2.5.4. Le mortier hydrofuge

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface. Il permet de :

- ✓ Boucher des fissures,
- ✓ Enduire un mur,
- ✓ Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine.

2.5.5. Mortiers pour l'étanchéité

Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité. Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins.

2.6. Les caractéristiques de mortier

Elles sont nombreuses. A savoir :

- Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- Être compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique ;
- Être imperméable : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ; Adhérer aux matériaux : pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries ;
- Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements ou les dislocations des ouvrages ;
- Résister aux agents agressifs d'une atmosphère ou d'un sol pollué ;

- Être ouvrable, afin que l'exécutant puisse le mettre en place dans les meilleures conditions;
- Conserver toutes ses qualités, et notamment la permanence de la résistance. De quoi dépendront tous ces qualités des constituants : de leur nature ; De leur dosage.

2.7. Caractérisation de sable utilisé

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5 mm. Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable. Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage.

Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de Coraï [9]. Cette matière première est nécessaire pour la fabrication de nombreux matériaux, que ce soit pour la construction de bâtiments collectifs, de bâtiments individuels ou d'ouvrages de travaux publics. Il entre dans la composition des bétons et des mortiers pour contribuer à leur résistance et leur durabilité[10].

2.7.1 Classification des sables

On peut classer les sables selon quatre paramètres [12] :

a) La granularité: Permet de séparer les sables en trois catégories (fins ; moyens ; grossiers).

b) La propreté et la teneur en fines: Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

c) La nature minéralogique : En général, les sables peuvent être classés comme suit : (siliceux ; silico-calcaires ; calcaires).

d) L'origine : Le sable peut être classé en trois catégories : naturel, artificiel, recyclé.

2.7.2 Types des sables utilisé dans le béton et mortier

2.7.2.1 Sable alluvionnaire

Le sable alluvionnaire, également appelé roulé, se présente sous forme d'érosion. Il provient de roches meubles de sédiments alluviaux trouvés dans des canaux ou des rivières et contiennent du silicium.

Le sable utilisé pour fabriquer du béton ou mortier doit avoir une bonne granulométrie. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement.

2.7.2.2 Les sables de concassage calcaires

Le sable concassé est le substrat rocheux et le sable est produit de la même manière qu'il se formerait naturellement : les roches calcaires exploitées en carrières sont concassées et pulvérisées

en particule de plus en petites. A l'aide de différents types de broyeurs et d'un processus adapté, en fonction de l'application et de la spécification du sable produit, du broyeur à cône, à percussion à axe horizontal ou vertical et des broyeurs à cylindres peuvent être utilisés pour transformer les roches en tout type de granulats remplissant les exigences spécifiées. La contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.

2.7.2.3 Sable de dune

Le de dune est le produit de roches qui sont lentement détruites sous l'action d'agent érosion tels que l'aire et la pluie. Les dunes de sable peuvent être déplacées par l'érosion dans le sens du vent et s'entasser sur la pente opposée. Avec le soutien de ressources naturelles abondantes (Sahara), d'un cout minier quasi nul et d'une pureté apparente, il apporte une solution au problème de l'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un futur matériau.



Figure 2. 4. Sable de dune.

2.7.2.4. Sable du béton recyclé

Ils sont produits par broyage et recyclage de matériau de démolition come le béton ou par le recyclage de sous-produits industriels. L'utilisation de granulats de béton recyclé dans le béton est une solution économique intéressante pour valoriser au mieux les Déchets de Construction et de démolition.



Figure 2. 5. Sable recyclé.

2.7.2.5. Sable de mer

Les sables de mer étaient peu utilisés sauf en région côtière. Une exploitation massive des sables du littoral s'est développée suite à une réglementation très rigoureuse dans le lit des fleuves (La Loire par exemple). La forme de leurs grains est arrondie. Ils contiennent des débris de coquillage.

2.8. Caractérisation du sable de dunes

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable [9].

D'après Fookes et Higginbotham (1968) cité par [11]. Le Sahara est constitué d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux [11].

2.8.1. Utilisation du sable de dune

1)- dans le béton:

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route. Cette naissance a donné le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées.

2)- dans le domaine routier:

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié (Chauvin, 1987)[12]. Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements (Autret, 1989)[13]. Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux.

2.8.1. Identification des sables de dunes du Sahara

- **Composition chimique :** Ce sont des sables dont la composition chimique est très simple : plus de 95 % de silice, de 1 à 2 % de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable à une couleur blanche légèrement jaune et ocre, il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface.
- **Granulométrie :** Le diamètre des plus gros éléments des sables de dunes du Sahara est de l'ordre de 0,5 mm. Il est maximal aux endroits les plus proches de la roche mère et diminue de plus en plus quand on s'en éloigne. Les particules deviennent aussi de plus en plus arrondies. Le diamètre des éléments les plus fins est de l'ordre de 0,04 mm. La figure suivante, montre deux courbes granulométriques de sables de dunes prélevés dans deux zones sahariennes différentes en Tunisie et en Mauritanie[14].

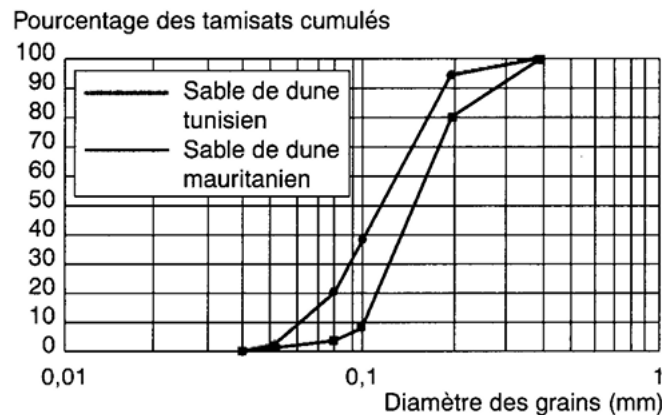


Figure 2. 6. Courbes granulométriques de deux sables de dunes[14].

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

2.8.2. Types des dunes

1. Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones) : qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est-à-dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire.. En Espagne et en Tunisie, ces avant dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles.

2. les falaises dunaires (dune cliffe en anglais) : est plutôt un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.

3. les dunes perchées (cliffe-top dune en anglais) : apparaissent au sommet d'une falaise vive. Elles sont alimentées en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.

4. les cordons dunaires artificiels : qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies.

2.9. Intérêt de sable de dune

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

2.9.1. L'aspect économique

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement.

2.9.2. L'aspect technique

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.

2.10. Recherche internationale menée sur le sable de dunes.

Certains chercheurs suggèrent le sable de dune comme matériau alternatif pour la production de béton et mortier, mais les connaissances sont encore rares. Jawad Ahmad et al [15] ont fait une étude sur le béton fabriqué à base de sable de dune, l'étude présente une littérature détaillée sur le sable de dune dans le béton. Les caractéristiques importantes du béton telles que l'affaissement, la compression, la flexion, les comportements de fissuration, la densité, l'absorption d'eau et la résistance aux sulfates. Les résultats indiquent que le sable de dune peut être utilisé dans le béton jusqu'à 40 % sans aucun effet négatif sur la résistance et la

durabilité. L'impact négatif du sable de dune sur la résistance et la durabilité était dû à une mauvaise granulométrie et à une mauvaise finesse, ce qui limite la sous-station complète (100 %) du sable de dune. De plus, une diminution de la fluidité a été observée.

La figure 2.7 montre la capacité de compression du béton avec la substitution du sable de dune. On peut noter que la capacité de compression du béton a été améliorée jusqu'à un certain point par la substitution du sable de dune, puis a diminué.

Selon certains chercheurs [19, 20][16, 17], lorsque le taux de remplacement du sable de dune a augmenté, la résistance à la traction et à la compression du béton a diminué. En raison des surfaces lisses et des formes arrondies des particules de sable de dune, la force de liaison entre la pâte de ciment et le sable de dune a pu être réduite [21].

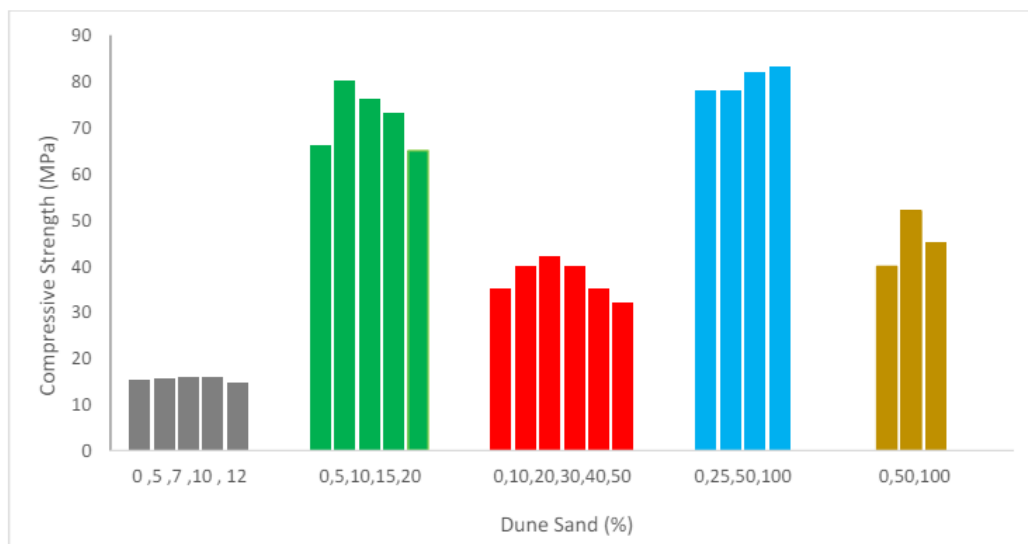


Figure 2. 7. Résultats de la résistance à la compression de plusieurs chercheurs[18-22] .

En revanche, plusieurs études [23, 24] , ont constaté que la résistance s'améliorait jusqu'à un taux de remplacement spécifique pour le sable de dune, mais diminuait au-delà de ce point. Selon Luo et al. [25], une compacité élevée des agrégats pourrait entraîner une augmentation de la résistance. Selon des recherches antérieures, le sable de dune peut affecter la compacité des agrégats et la force de la liaison entre le sable de dune et la pâte de ciment. De plus, l'impact du sable de dune de chaque côté a un effet différent sur la résistance à la compression.

L'essai d'absorption a été réalisé par DAWOOD et JABER [26] sur des échantillons de cubes contenant du sable de dunes avec des pourcentages de 0%, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 % à l'âge de 28 jours (Figure.2.8). Les résultats ont indiqué que l'échantillon avec un taux de substitution de 40 % du sable de dune a atteint le taux d'absorption d'eau le plus bas de 1,44 %. La diminution de l'absorption d'eau est due à l'effet de micro-remplissage des vides du sable de dune, qui remplit les vides, ce qui conduit à un béton plus dense. Le taux d'absorption de l'eau augmente lorsque la concentration de sable de dune augmente de 60 %, 80 % et 100 %. Le taux d'absorption à 80 % et 100 % de substitution du sable de dune est respectivement de 41,9 et 49,3 %, ce qui est supérieur au mélange de référence. Cette augmentation du taux d'absorption se produit lorsque la teneur en sable de dunes dans le mélange augmente. Cela peut être dû à la finesse des grains de sable de dunes, qui absorbent une plus grande quantité d'eau de mélange et augmentent la surface des granulats fins, ce qui génère des vides ou des pores, ce qui augmente à son tour le taux d'absorption.

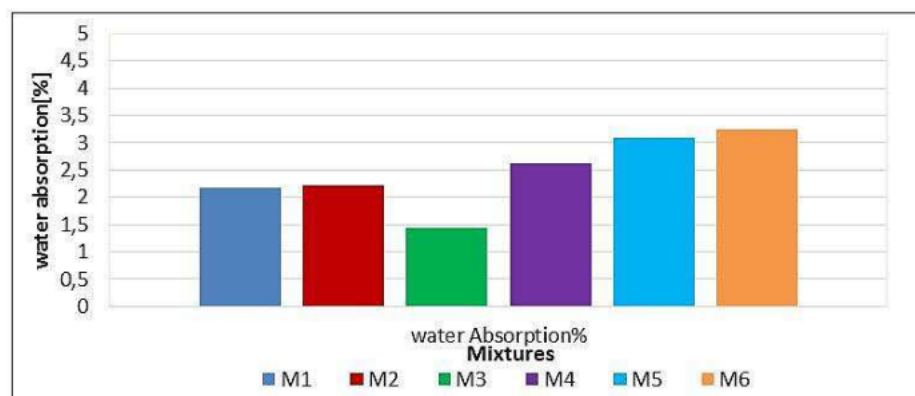


Figure 2. 8. Relation entre le pourcentage d'absorption d'eau et les taux de remplacement du sable de dune [26].

D'après la figure 2.9, Les résultats ont montré que tous les mélanges de béton avaient des vitesses d'impulsion entre 4 400 et 6 100 m/s. L'échantillon de référence présente une vitesse d'impulsion de 4 894 m/s, la vitesse d'impulsion pour un mélange de béton de 20 % de sable de dune est 1,98 % plus élevée que celle de l'échantillon de référence (0 % de sable de dune), et elle diminue avec l'augmentation de la teneur en sable de dune pour les ratios de 40 %, 60 %, 80 % et 100 %. Les résultats de la densité montrent également une diminution avec l'augmentation de la teneur en sable de dune en raison de la finesse de la dune [26].

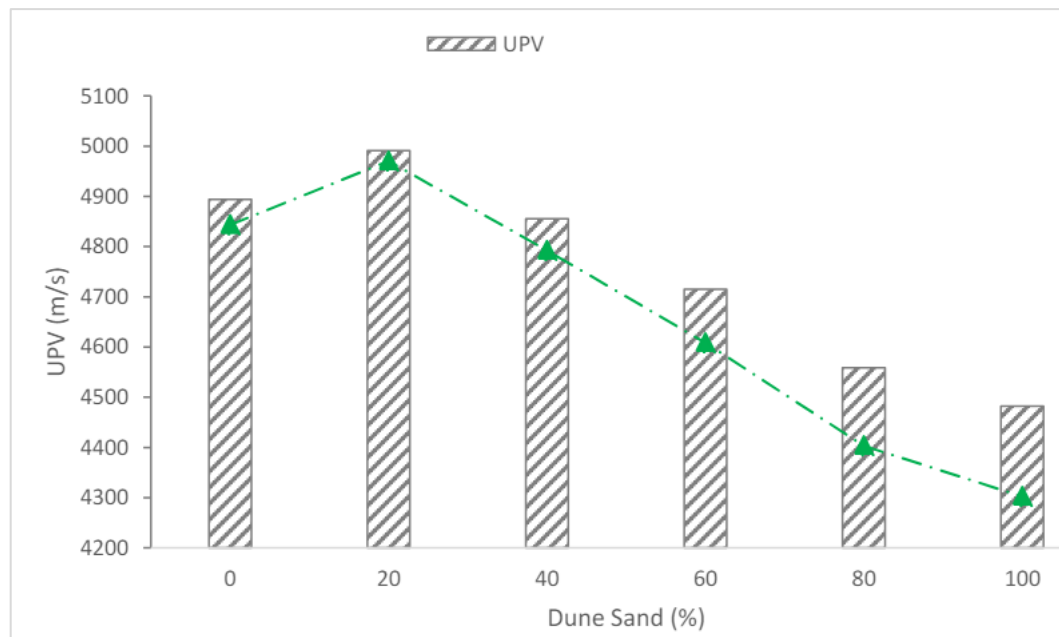


Figure 2. 9. Les résultats d'absorption d'eau du béton à base de sable de dune [26].

Abadou et al. [27] ont constaté que la résistance à la traction du béton a diminué avec l'augmentation de la substitution du sable de dune.

Abadou et all. [28] ont étudié l'influence d'incorporation des déchets de céramiques sur propriétés des mortiers à base de sable de dune de Djelfa, l'effet de ces matériaux recyclés a été étudié dans un programme expérimental à travers plusieurs essais prenant en compte la durabilité de ces mortiers modifiés à l'attaque chimique de l'acide sulfurique et chlorhydrique. La résistance à la compression et à la flexion du mortier de déchets céramiques augmente avec la teneur en déchets céramiques pour être optimale à 50 % pour le mortier témoin, de même que le mortier modifié à base de sable de dune avec ajout de 50 % de céramique est celui qui présente les meilleures performances de tous les mortiers modifiés notamment en termes de résistance plus élevée et d'absorption d'eau plus faible. De plus, les résultats montrent que la durabilité des mortiers modifiés est plus résistante à l'attaque des solutions d'acide sulfurique et chlorhydrique.

2.11. Granulats du bétons recyclés

La réutilisation de matériaux recyclés ferme le cycle des matériaux et contribue de manière importante à la construction durable. L'utilisation de granulats de béton recyclé dans le béton est une solution économique intéressante pour valoriser au mieux les Déchets de Construction et de Démolition. Néanmoins, les granulats de béton recyclé présentent des caractéristiques différentes de celles des granulats naturels. Par conséquent, les performances

des bétons incorporant des granulats de béton recyclé sont aussi différentes de celles des bétons traditionnels.

2.11.1. Description du granulat recyclé

On entend par « granulat recyclé », un granulat provenant du recyclage de débris de démolition en opposition aux « granulats naturels » provenant de carrières ou de sablières. Les granulats recyclés sont formés du granulat d'origine et de mortier attaché à celui-ci. Ceux-ci doivent donc être considérés comme un système composé de deux phases distinctes, le mortier et le granulat d'origine [29]. Le taux de mortier attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé et permet d'évaluer sa qualité. Une des conséquences de la présence du mortier attaché est la formation d'une zone de transition entre le granulat original et le mortier attaché en plus de la zone de transition se formant entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment. La figure 2.10 représente la schématisation du granulat recyclé.

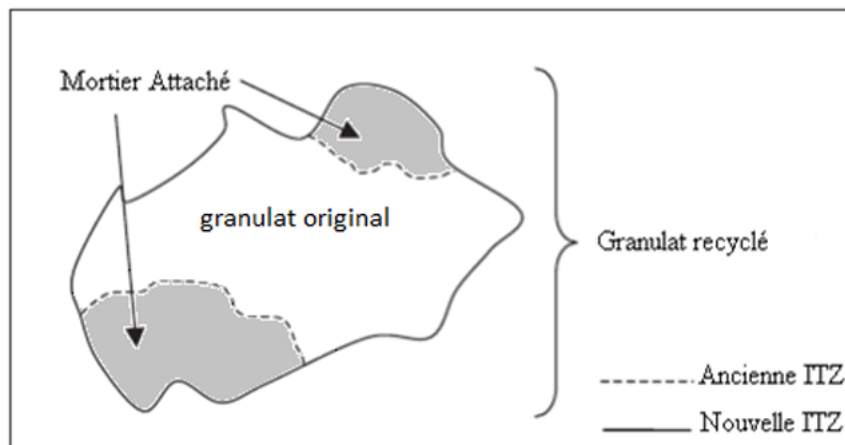


Figure 2. 10. Schématisation d'un granulat recyclé[30].

2.11.2 Processus de fabrication des granulats recyclés

Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont les suivantes :

- Sélection et stockage des produits bruts ;
- Préparation avant traitement qui consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un marteau hydraulique;

- Concassage primaire à l'aide d'un concasseur à percussion ou à mâchoires suivi d'un déferrailage électromagnétique;
- Selon les installations, le concassage peut être précédé d'un criblage destiné à éliminer les matériaux à faibles caractéristiques et suivi d'un tri manuel destiné à retirer les impuretés;
- Eventuellement, concassage secondaire portant sur la fraction supérieure issue du concassage primaire;
- Stockage;
- Analyse avant l'utilisation.

2.12. Intérêt de granulats recyclés

2.12.1. Aspect écologique

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau. Afin de préserver l'environnement, de nombreux professionnels se sont intéressés aux déchets provenant de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments comme matières premières de ces bétons. Les avantages du recyclage incluent la préservation de l'espace d'enfouissement, la conservation des ressources naturelles et l'épargne des coûts de transport et d'énergie. En outre, cette solution contribue à la diminution de l'épuisement des ressources naturelles et s'intègre ainsi au concept de développement durable. Le recyclage nécessite souvent moins d'énergie que l'exploitation minière et le transport des matériaux nouveaux, ce qui peut aider à réduire la pollution de l'air et l'eau ainsi que les émissions de gaz à effet de serre.

2.12.2. Aspect économique

Tam et al. [30] ont réalisé une étude économique complète en comparant les coûts et bénéfices engendrés par la méthode de production de granulats actuelle avec ceux engendrés par la méthode de recyclage. Il a été démontré que sur le long terme les granulats recyclés sont économiquement bien plus intéressants, mais que le facteur « disponibilité » affecte quelque peu la viabilité de cette méthode. En effet, la quantité de matériaux disponibles est limitée par le nombre de chantiers de démolition locaux, et quand les producteurs de granulats recyclés échouent à fournir la quantité souhaitée, alors les granulats naturels redeviennent la source d'approvisionnement numéro un.

Les granulats recyclés ont un rendement plus élevé parce qu'elles sont plus légères en poids (10 à 15%) par rapport au granulat naturel par unité de volume, ce qui signifie moins de

poids par mètre cube, ce qui entraîne une réduction du coût des matières, les coûts de transport et alors les coûts globaux du projet.

2.13. Recherche scientifiques menée sur l'utilisation des granulats recyclés dans le béton et mortier.

La distribution granulométrique des granulats de béton recyclé est généralement différente par rapport à celle des granulats ordinaires. La pluparts des chercheurs ont trouvé que les granulats recyclés ont souvent plus de particules fines que les granulats ordinaires[31].

Les granulats recyclés de bétons ont comme caractéristique une forte capacité d'absorption d'eau. Cette propriété reste vraie quelle que soit la provenance du béton parent [32, 33]. Ce critère influe considérablement sur l'ouvrabilité des bétons frais. Les compositions des bétons de granulats recyclés nécessitent une quantité d'eau supplémentaire pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle d'une composition de béton de granulats naturels.

Les masses volumiques des granulats naturels varient généralement entre 2000 à 3000 kg/m³, par contre la densité des granulats recyclés à base de béton démolé est inférieure de l'ordre 19% pour les granulats fins et 5% pour les gros granulats [34]. Cette chute est due principalement à la densité faible d'ancien mortier attaché aux granulats recyclés[33].

Kenai et al ont trouvé que la masse volumique des granulats recyclés est de l'ordre 2505 kg/m³ pour le gravier et de 2533 kg/m³ pour le sable recyclés, indépendamment de la qualité du béton original dont les masses volumiques de gros et fins granulats naturels étaient respectivement de 2822 kg/m³ et 2987 kg/m³ [35].

D'après l'étude de plusieurs chercheurs, la résistance à la compression et à la traction est diminué avec l'augmentation du taux de remplacement du GN [31, 33, 35, 36]. Adam [31] a trouvé que, les résultats de la résistance à la compression obtenus indiquent un effet légèrement positif des granulats recyclés surtout pour un taux de substitution de 60%, au-delà de ce taux une légère baisse a été remarquée. Le remplacement des GGO par les GBR provoque un changement de la résistance mécanique surtout à longue durée de durcissement. Au jeune âge et pour un taux de substitution de 60% des GGO par les GBR, la résistance à la compression reste presque similaire au béton ordinaire, comme le montre la (figure 2.11). Par contre, à long terme de durcissement, une augmentation de 1,6 MPa est observée pour le même taux de substitution. Cette augmentation observée, malgré la chute dans l'ouvrabilité,

est peut être due à cause de la réduction du rapport E/C effectif causé par la grande absorption des GBR.

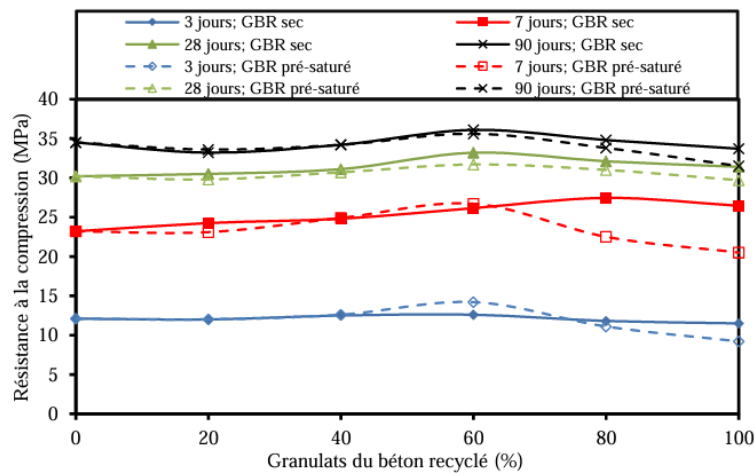


Figure 2. 11. Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de remplacement des GBR sans SP (E/C=0.6) [31].

OUAFI et MAGHLOUFI [37] ont étudié les propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base de sable recyclé. Ils ont trouvé que Les résistances à la compression et à la traction diminuent pour les différents taux de remplacements de sable recyclé. Pour un taux de remplacement de 50% de SR un effet légèrement positif a été trouvé. Au-delà de 50%, une nette diminution des résistances a été observée, cette diminution est peut être attribuée à la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de sable recyclé et à l'effet de l'ancien mortier inerte attaché, ce qui gêne le bon déroulement de l'hydratation de ciment. Il ont constaté que Le retrait augmente de manière proportionnelle aux taux de remplacement des sables recyclés (figure 2.12). Le facteur responsable du plus grand retrait observé est la porosité élevée de SR ainsi que le degré important d'absorption d'eau de mortier résiduel qui recouvre ces granulats. Ces plus grandes déformations peuvent être expliquées principalement par le fait que le granulat recyclé entrave moins le potentiel de déformation de la pâte de ciment. De plus, le vieux mortier attaché aux sables recyclés continue à subir un retrait dans le temps.

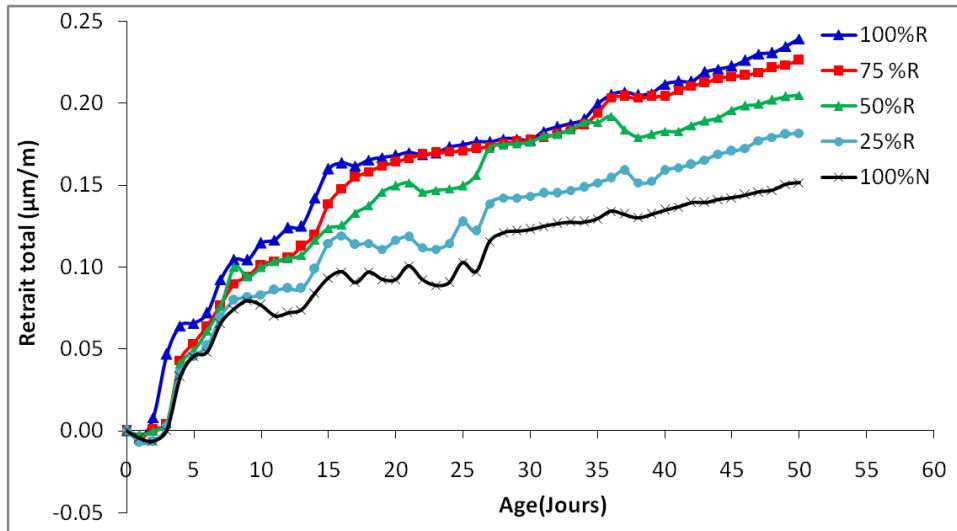


Figure 2.12. Evolution de retrait total[37].

De Juan et Gutiérrez[32] ont montré que la quantité de mortier attaché au GR augmente lorsque la taille de gravier diminue (Figure 2.13). Ils ont indiqué la présence de 33-55 % et 23-44 % de mortier attaché dans les graviers recyclés de taille 4/8 mm et 8/16 mm, respectivement. De plus, la régression n'est pas linéaire, ce qui signifie que d'autres facteurs influencent également la quantité de mortier attaché aux granulats recyclés.

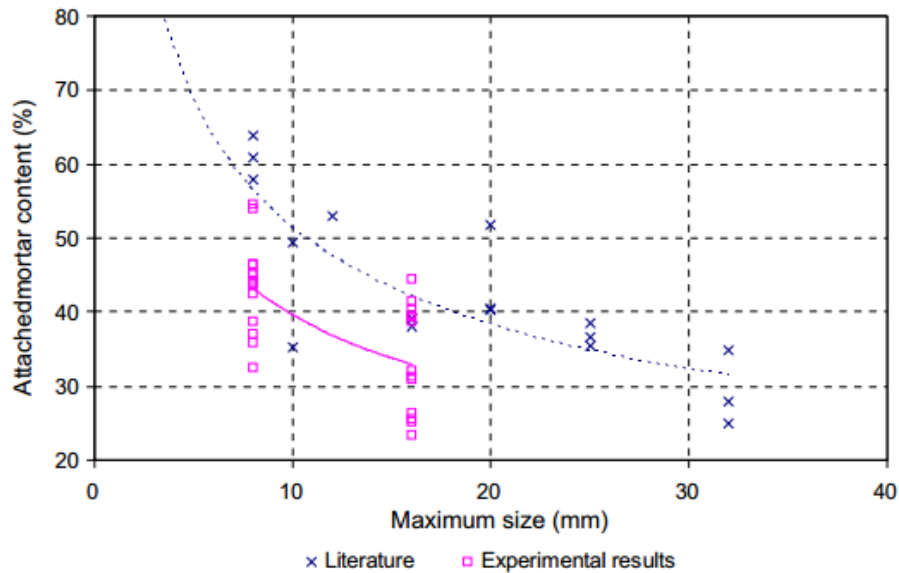


Figure 2. 13. Quantité de mortier attaché en fonction de la taille des granulats[32].

2.14. Effet de la substitution du ciment par les fines de brique sur le comportement des mortiers

Selon Si Ahmed et Kenai [38], le remplacement jusqu'à 15% du ciment par de la poudre de brique à donner des valeurs comparables par rapport au mortier de référence pour l'essai de l'étalement. A Partir d'une substitution de 20%, le diamètre d'étalement a diminué, concernant l'essai d'écoulement c'est l'inverse qui s'est produit. Ils ont remarqué que pour les premiers 15% de substitutions, l'écoulement diminue, mais il y avait une augmentation à partir de 20% de taux de substitution. Tandis que Karatas et al. Ont trouvés qu'une substitution de 10% donner le meilleur écoulement. Les résultats sont montrés dans les figures suivantes :

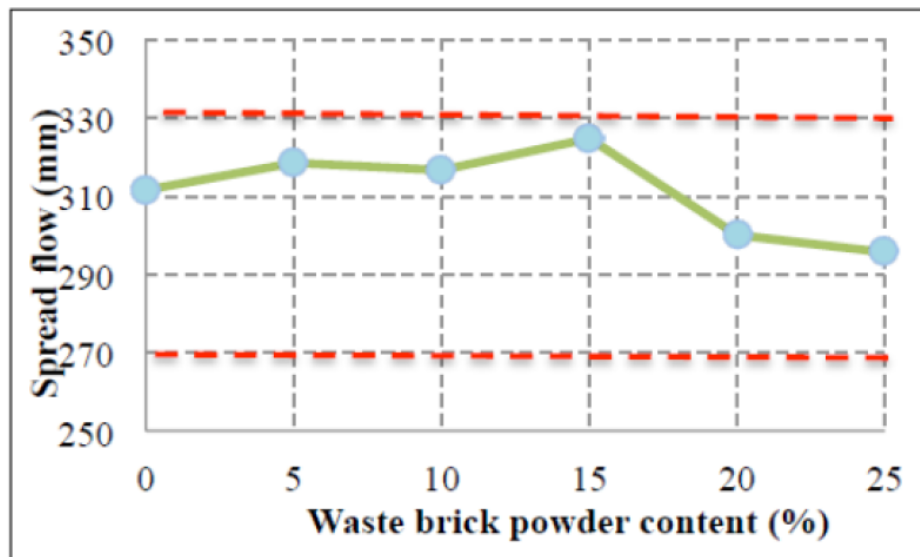


Figure 2. 14. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur l'étalement.

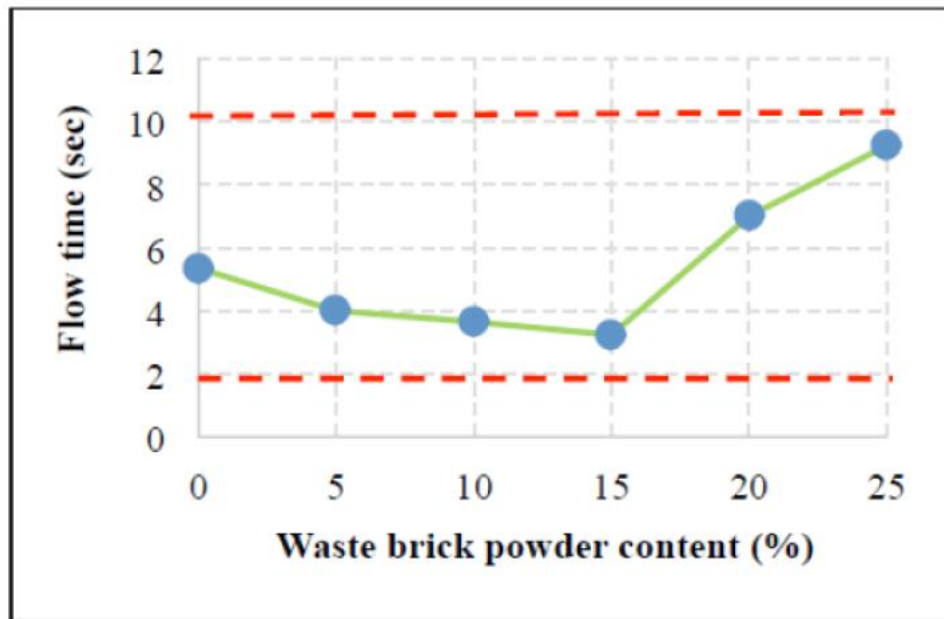


Figure 2. 15. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur le temps d'écoulement.

Pour la résistance à la compression , Si Ahmed et Kenai [38] et Karatas et al. Ont trouvés que la résistance à la compression diminues avec l'augmentation du taux de substruction du ciment par les déchets de poudre de brique à jeunes âges. Par contre à long terme , une meilleure performance a été obtenu à des taux de substitution de 5% et 10% de ciment de la poudre de brique.

Selon Si Ahmed et Kenai[38] , La diminution de la résistance à la compression à un jeune âge est probablement due à l'effet de dilution. A long terme, l'amélioration de la résistance à la compression est principalement due à l'hydratation continue du ciment et à la réaction entre le calcaire présente dans le ciment de type CEMII avec les aluminates de la poudre de brique, qui produit des mono carbones aluminates. Cette réaction contribue à la réduction de la porosité et améliore le développement de la résistance par la formation de produits plus hydratés.

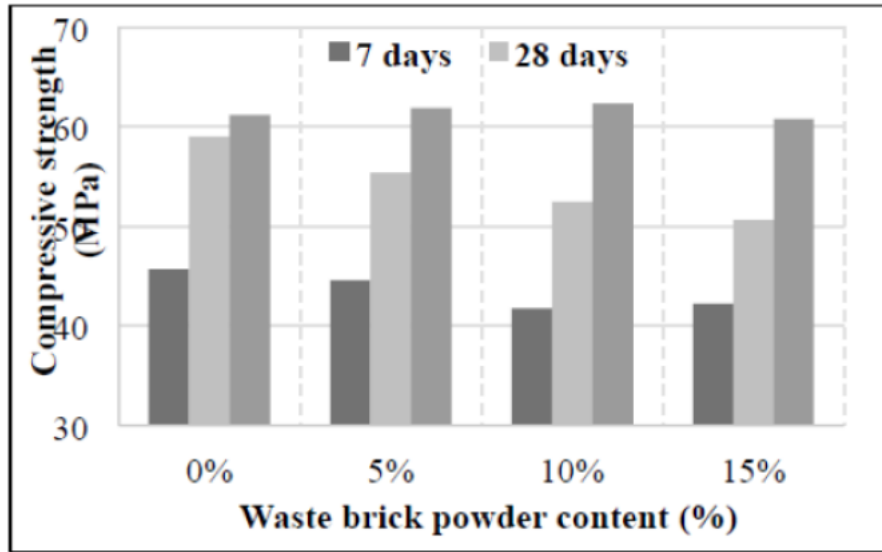


Figure 2. 16. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique la résistance à la compression [38].

Pour la résistance à la traction , Karatas et al. [39], ont trouvé que pour le mélange de mortier contentent 5% de déchets de poudre de brique, la résistance à la traction améliorée par rapport au mélange témoin. De plus, les résistance à la traction Des mortiers contenant 10, 15 et 20% de déchets de poudre de brique ont augmenté pendant 7 jours, puis elles ont diminué. Les résultats sont illustré dans la figure suivante :

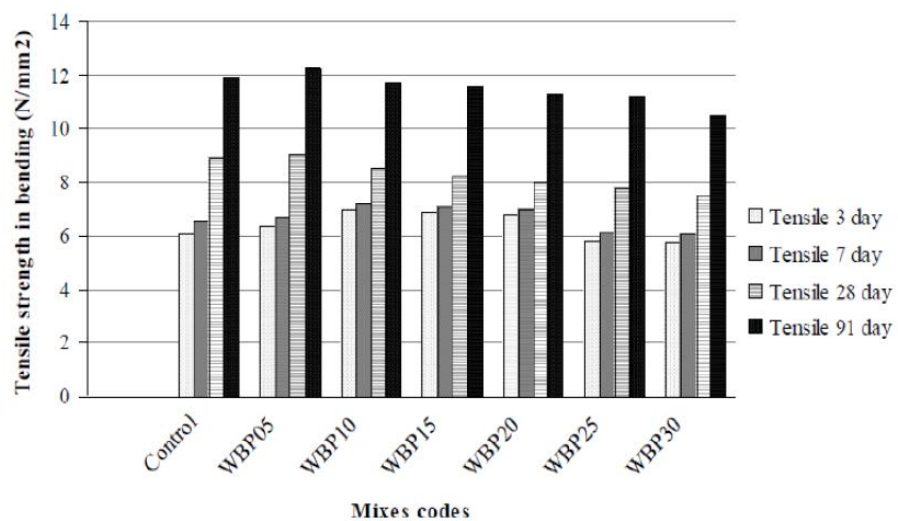


Figure 2. 17. L'influence du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur la résistance à la traction [39].

Pour l'absorption d'eau par capillarité et la sorptivité, Si Ahmed et Kenai.[38] ont trouvé que les résultats sont comparables, notamment pour 10% de poudre de brique. L'incorporation de la poudre de brique recyclé semble à avoir augmenté légèrement la sorptivité. La légère augmentation de l'absorption et de sorptivité pour les mélanges incorporant de la poudre de déchet de brique est probablement due à l'effet de dilution et à la diminution de la compacité des mélanges (figure.2.18)

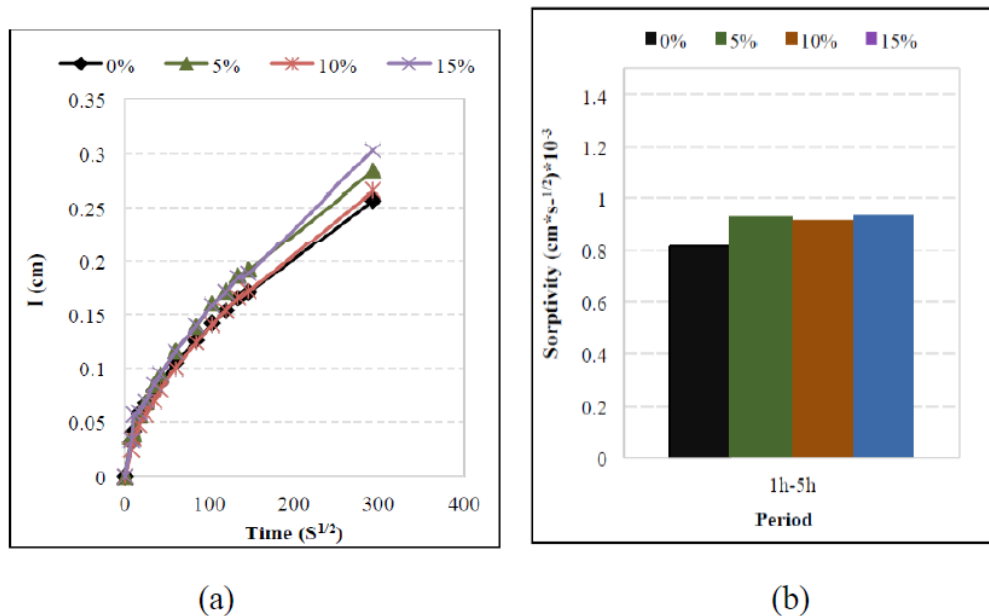


Figure 2. 18. L'effet du taux de substitution de la poudre de déchets de brique sur l'absorption d'eau (a) et la sorptivité (b) [38].

Demir et al.[40] Ont étudié la résistance des mortiers avec une substitution du ciment par poudre de brique dans les milieux agressives, ou les échantillons sont immergés dans trois conditions différentes : Polymérisation continue dans de l'eau de robinet saturée en chaux, exposition continue à une solution de sulfate de sodium à 5% et exposition continue à une solution de nitrate d'ammonium à 5%. La meilleure résistance à la compression a été trouvée dans l'échantillon avec 10% de substitution dans les 3 milieux agressifs à 180 jours.

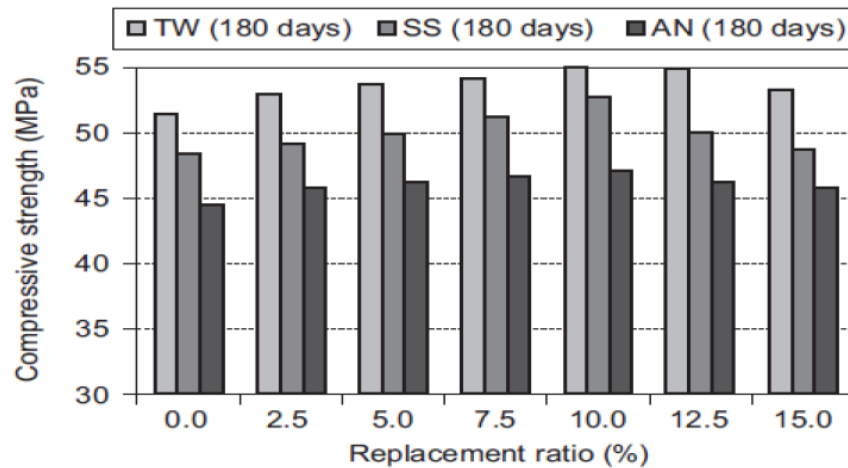


Figure 2. 19. La résistance à la compression des mortiers à base de poudre de brique sous des conditions défférentes à 180 jours [40].

2.15. Conclusion

Premièrement, on a fait une étude sur le mortier et les défférents sables utilisé, deuxièmes une vue sur les sables utilisé dans la confection du béton et mortier et leurs caractéristiques (sable naturel, sable de dune, sable recyclé, sable de fondre.....). Nous aborderons aussi les expériences antérieures des chercheurs pour découvrir la possibilité d'utiliser le sable de et le sable recyclés dans le mortier et béton avec l'ajout de certains déchets.

Chapitre 3 : **Matériaux et matériel d'essai**

Chapitre 3. Matériaux et matériel d'essai

3.1. Introduction

Avant d'entamer la partie expérimentale, il nous paraît important de caractériser les matériaux utilisés dans la composition des mortiers testés qui jouent un rôle important sur ses propriétés et ses performances ultérieures.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection d'un mortier écologique et économique testés ainsi que les essais à effectuer selon les normes internationales et les modes opératoires en vigueur.

Les objectifs de cette étude expérimentale visent à étudier l'influence de la substitution de sable naturel par le sable de dune et le sable recyclé, en ajoutant des déchets de briques comme poudre remplacée un pourcentage de ciment, et ce mortier renforcé par des fibres recyclées à partir des déchets des sacs de blé (fibres en polypropylène). Ce travail a été établi dans le but de formuler un mortier écologique, et d'étudier ces propriétés physico-mécanique et la durabilité de ce mortier, Ce chapitre décrit en détail tous les essais expérimentaux faits en laboratoire et les matériaux utilisés au cours de la présente recherche.

3.2. Matériaux utilisés

3.2.1. Ciment

Le ciment utilisé est un ciment Portland composé (CEM II/A-L 42.5 N) produit par la cimenterie d'Oued Sly (Chlef) dont l'ajout est de 16,77 % de calcaire, avec une densité de 3.1 et une surface spécifique de 3298 cm²/g. Sa résistance à la compression à 28 jours est supérieure à 42.5 MPa. Ses caractéristiques chimiques et minéralogiques sont indiquées dans le tableau. 3. 1.

Tableau 3. 1. Composition chimique et minéralogique du ciment utilisé.

Composition chimique (%)									
Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO libre	Cl ⁻	RI	PAF(LOI)
3,08	62,34	0,85	1,83	0,64	0,18	0,79	0,002	0,66	7,42
Composition minéralogique (%)									
				C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF		
				18,88	60,83	8,29	10,96		

3.2.2. Eau de gâchage

L'eau utilisée est de l'eau potable du robinet, ne contenant aucune impureté nuisible aux mélanges.

3.2.3. Sable

Trois types de sable (figure 3.1),ont été utilisés dans cette étude :

- **Sable naturel** : provenant de la carrière Benkhris d'Oued Sly (Chlef), sa nature minéralogique est siliceuse, d'une taille maximale de 4 mm.
- **Sable des dunes** : sable des dunes provenant de la région d'oued-souf,
- **Sable recyclé** : provenant après concasse d'un ancien mortier et bétons. À l'aide d'un mini concasseur à mâchoires de laboratoire, le sable recyclé est extrait des éprouvettes en mortier. Ensuite, il est broyé dans la machine "Los Angeles" et tamisé pour obtenir un sable prêt à être utilisé dans la fabrication de mortier à base de sable recyclé.

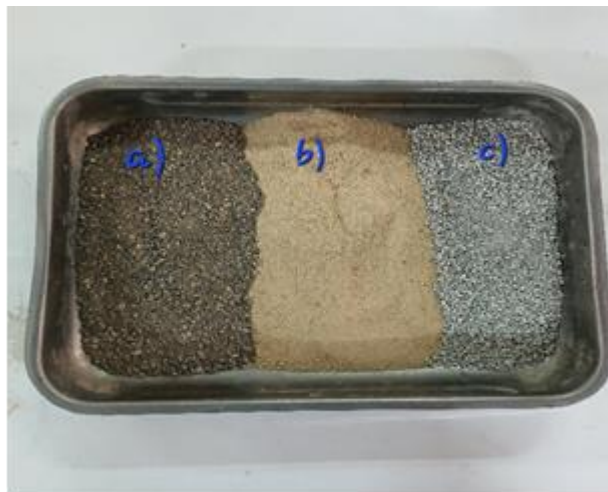


Figure 3. 1 . a) Sable naturel, b) sable de dune, c) sable recyclé.



Figure 3. 2. Processus de production du sable recyclé.

3.2.4. poudre de brique

La poudre de brique a été préparée au niveau de laboratoires de matériaux de construction. Premièrement, nous collectons les déchets de briques impropres et cassées La briqueterie. Ensuite, d'après le processus de collecte, on a concassé les chutes de briques à l'aide de concasseur à mâchoire, et puis on a récupéré les déchets de brique concassés et les broyé par la machine de los Angeles afin d'obtenir des petits granules des briques.

- **processus de fabrication de la poudre de brique :**

Et le dernier processus le broyage final à partir de la machine de Micro-Deval où nous prenons 1 Kg des petits granulats de briques avec 500 grammes de billes d'acier. Dans la dernière étape nous tamisons la poudre de brique

broyée à l'aide du tamis n°90 μm , afin d'obtenir des grains de brique plus petits que les précédents (figure 3.3.).



Figure 3. 3. Processus de production de la poudre du brique.

Les essais de caractérisation du déchet de brique sont effectués aux laboratoires des département de Génie –civil à Chlef et sont regroupées sur le tableau suivant:

Tableau 3. 2: Masse volumique apparente et absolue de la poudre de brique.

Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	Masse volumique apparente ρ_a (g/cm ³)
2,873	0,875

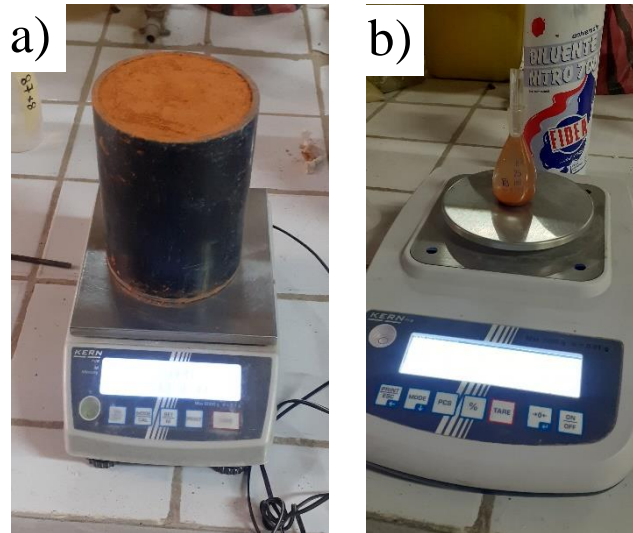


Figure 3. 4 : Essais de la masse volumique apparente (a) et absolue(b) de la poudre de brique.

- **La Finesse de la poudre de brique :**

L'essai de la finesse de brique a été réalisé au laboratoire de la cimenterie GICA à Chlef , en utilisant la méthode de Blaine conformément à la norme NA 231 : 2021(Figure 3.5) . Le résultat obtenu montre que la finesse de la poudre de brique est de l'ordre de 5300 cm²/g.



Figure 3. 5. Essai de mesure de la finesse de la poudre de brique .

3.2.5. Fibres

L'incorporation de fibres de polypropylène présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, elle améliore considérablement la résistance à la compression du mortier, renforçant ainsi sa capacité à supporter des charges. De plus, ces fibres jouent un rôle crucial

dans la maîtrise des fissures, particulièrement celles dues au retrait du béton, ce qui contribue à augmenter la durabilité des structures.

Cependant, dans le secteur du bâtiment et de la construction, le polypropylène trouve une nouvelle vie sous forme de fibres ajoutées aux mélanges de mortier. Les déchets de sacs en polypropylène, couramment utilisés pour l'emballage et le transport, posent des défis environnementaux importants en raison de leur dégradation lente et de leur gestion difficile en fin de vie.

Dans notre travail, on a obtenu les fibres polypropylène par le recyclage des sacs tissés en polypropylène de diamètre de 0.3 mm et 2 cm de longueur, comme le montre dans la figure suivante :



Figure 3.6. Processus de production des fibres de polypropylène.

3.3. L'analyse granulométrique des sables utilisés

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis selon la norme NF P 18-560 [41], Granulats-analyse granulométrique par tamisage, L'opération du tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse ou on place la série de tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. L'arrangement de grain est arrangé par la vibration et choc de la colonne de tamis.

La figure suivante présente les courbes granulométriques des différents sables utilisés.

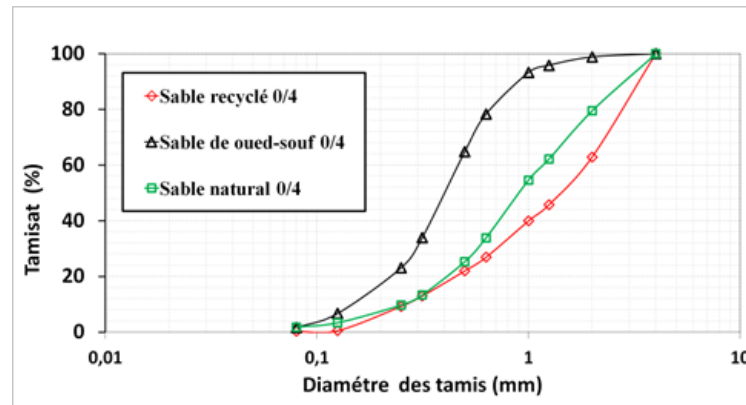


Figure 3. 7. Analyse granulométrique des sable utilisés.

3.4. Module de finesse :

D'après la norme européenne (EN 12620), le module de finesse est calculé en prenant 1/100 de la somme des pourcentages des refus cumulés sur les tamis de la série suivante : 0,125-0,25-0,50-1-2-4mm.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Re fus cumulés en \% des tamis (0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4)}$$

Tableau 3. 3 .Module de finesse des sables utilisés.

	Sable Naturel	Sable Recyclé	Sable de Dune
Module de finesse (MF)	3.28	3.65	2.13

D'après le tableau 3.3. on constate que le sable recyclé présente une granulométrie légèrement plus importante que celle du sable naturel et du sable de dune, ce qui le caractérise comme étant plus grossier.

3.5. Masse volumique apparente

La détermination de la masse volumique est réalisée conformément selon la norme NF P 18-555 [42], Cette méthode consiste à remplir un récipient vide avec du sable sec sans le compacter (figure 3.8), puis à mesurer la masse de ce volume de sable (M). La masse volumique est ensuite calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Mv_{app} = \frac{M}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Où : M en (g) masse sèche du matériau.

V en (l) : représente le volume du récipient.

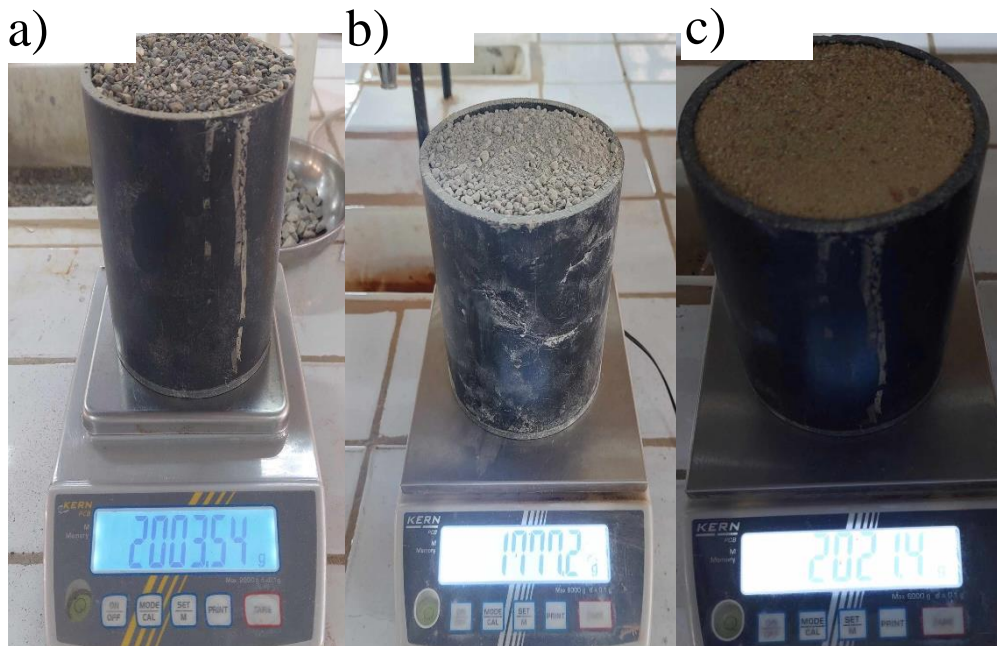


Figure 3. 8. Essai de masse volumique apparente de : a) sable naturel, b) sable recyclé, c) sable de dune.

3.6. Masse volumique absolue

Elle est déterminée selon la norme NF P 18-555 [42], Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de granulat dans une quantité d'eau (Figure 3.9). La différence de volume rapportée à la masse du matériau donne la masse volumique absolue. La masse volumique est calculée selon la formule suivante:

$$\rho_{abs} = \frac{M_1 - M_0}{(M_3 - M_0) - (M_2 - M_1)} \rho_e$$

M0: La masse de pycnomètre vide et propre avec sa couvercle

M1 : La masse de pycnomètre avec sable

M2 : La masse de pycnomètre + sable + eau

M3 : La masse de pycnomètre + eau

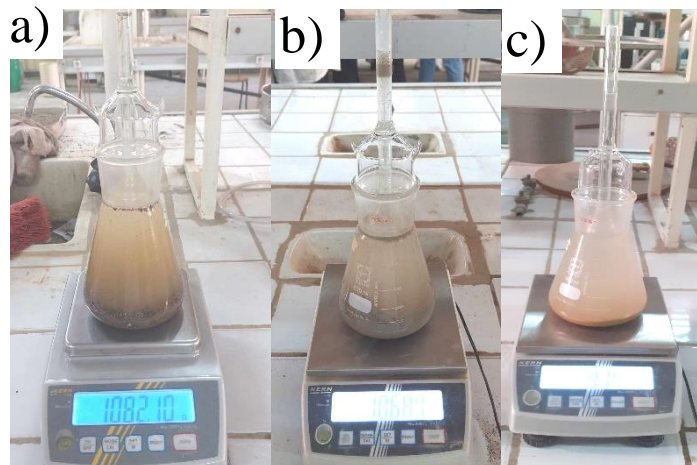


Figure 3.9. Masses volumiques absolue de : a) Sable naturel, b) sable recyclé , c)sable de dune.

Tableau 3. 4. Masses volumiques des sables naturel et recyclé.

Masse volumique (kg/m ³)	Sable		
	Naturel	Recyclé	Dune
Masse volumique apparente	1.63	1.44	1.65
Masse volumique absolue	2.65	2.40	2.63

D'après les résultats, on constate que la masse volumique du sable recyclé est plus faible que celle du sable naturel et sable de dune. Cette diminution est due à la faible densité de l'ancien mortier attaché aux granulats naturels. En revanche, la masse volumique du sable de dune est presque similaire à celle du sable naturel

3.7. L'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable vise à évaluer la propreté du sable en termes de présence d'éléments fins et de poussières. Cette évaluation est effectuée en accord avec la norme NF P 18-598[43].

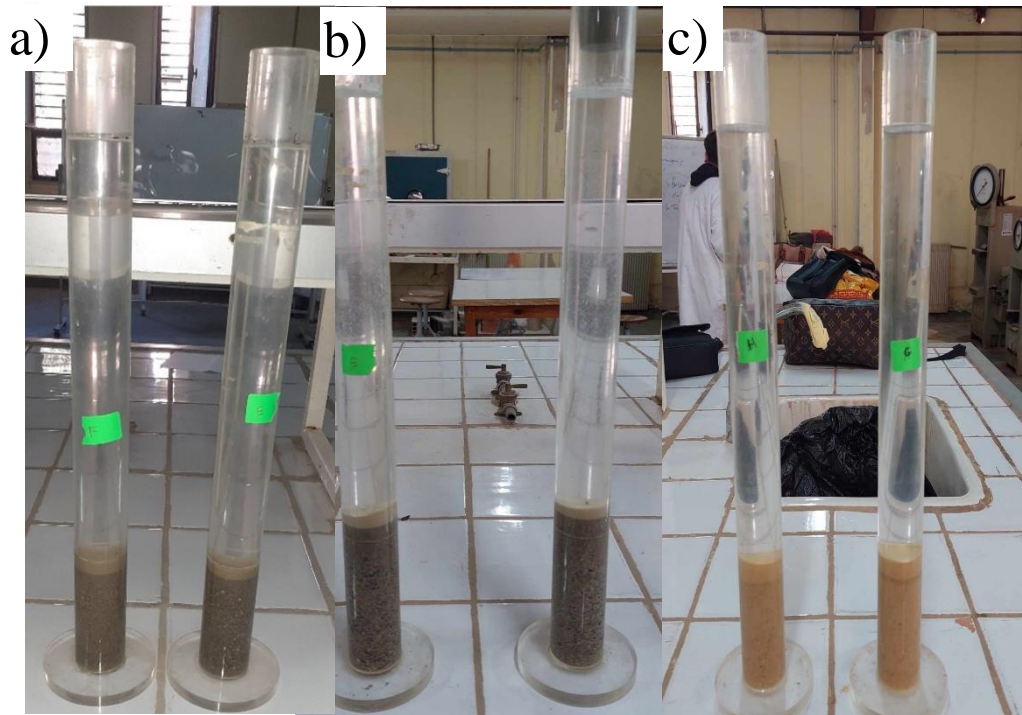


Figure 3.10: L'équivalent de sable de : a) Sable naturel, b) sable recyclé , c) sable de dune.

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il convient de noter que les sables naturel, recyclé et de dune sont considérés comme des sables propres.

Tableau 3. 5 .Equivalent de sable.

Equivalent de sable	Sable Recyclé	Sable d'oued-souf	Sable nature
E_{sv} (%)	92.54	80.91	89.13
E_{sp} (%)	90.94	81.73	90.71

3.8. Le taux d'absorption d'eau

Le taux d'absorption d'eau est mesuré conformément à la norme NF P 18-555 [42]. Il est calculé en utilisant la formule suivante :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100$$

- Ma (en g) : masse de l'échantillon après immersion dans l'eau pendant 24 heures, et après avoir soigneusement épongé l'eau à la surface des granulats avec un chiffon absorbant.

- Ms (en g) : masse de l'échantillon après séchage.

Tableau 3. 6. Pourcentage d'absorption d'eau des trois sable.

Coefficient d'absorption Ab (%)	Sable		
	Naturel	Recyclé	Dune
	2.36	7.5	1.8

On constate que les sables recyclés absorbent une quantité importante d'eau par rapport à celles du sable de dune et sable naturel.

3.9. Formulation des mortiers :

Le mortier est réalisé conformément à la norme EN 196-1[44]. Dans la première phase expérimentale, on a confectionné des éprouvettes de mortier avec différents mélanges.

Tableau 3. 7. Compositions des mélanges.

Type de mortier	Ciment (g)	Sable (g)			E/C	Brique(g)	Fibre (%)
		N	D	R			
MN	450	1350	0	0	0.55	0	0
MNB	405	1350	0	0	0.55	45	0
MNBF	405	1350	0	0	0.55	45	0.5
MD	450	0	1350	0	0.55	0	0
MDB	405	0	1350	0	0.55	45	0
MDBF	405	0	1350	0	0.55	45	0.5
MR	450	0	0	1350	0.55	0	0
MRB	405	0	0	1350	0.55	45	0
MRBF	405	0	0	1350	0.55	45	0.5
MDR	450	0	810	540	0.55	0	0
MDRB	450	0	810	540	0.55	45	0
MDRBF	450	0	810	540	0.55	45	0.5

3.10. Protocole de malaxage

Les mortiers à base des différents pourcentages de sable sont fabriqués avec de ciment et du sable naturel ou recyclé à tester dans les proportions suivantes : 450 de ciment, 1350g de sable et 192.5 g d'eau.

Après les pesés des masses des différents constituants à l'aide d'une balance de précision 0.1 g, le malaxage se fait dans un malaxeur de 5 litres, de la manière suivante :

1- Introduire dans le malaxeur l'eau puis le ciment puis mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 30 s,

2- Introduire le sable et laisser le malaxeur en marche pendant 30 s,

3- Dès que l'eau et le ciment entre en contact, arrêter le malaxeur, racler les bords dans un temps maximum de 90 s,

4- Malaxer de nouveau à grand vitesse pendant 60 s.

En raison de la grande absorption de sable recyclé, il est nécessaire d'ajuster la quantité d'eau dans le mélange pour maintenir l'eau libre constante (E/C constant), qui est responsable de l'ouvrabilité du mortier et sans recours à l'utilisation de superplastifiant. La méthode de compensation de l'eau de gâchage a l'avantage de rendre possible la production du mortier de sable recyclé et le mortier ordinaire d'une manière similaire.



Figure 3.11. Malaxage de mortier.

3.11. Essai d'étalement :

Après le malaxage des différents mortiers, la fluidité a été tout d'abord contrôlée à l'aide de l'essai d'étalement réalisé sur une table à secousses. Le déroulement de cet essai a été effectué conformément à la norme ASTM C230[45] . L'essai consiste à verser le mortier préparé dans un moule tronconique, puis après démoulage sur la table à secousses, le mortier subit 15 coups en 15 secondes et le diamètre de la galette est mesuré.



Figure 3.12. Essai d'étalement.

Tableau 3. 8.Essai d'étalement des différents types de mortiers.

Type de mortier	Etalement en (cm)
MN	16
MNB	15,5
MNBF	14.4
MD	17,5
MDB	17,1
MDBF	16,5
MR	15,5
MRB	15
MRBF	13.5
MDR	17,3
MDRB	16,8
MDRBF	16,3

Les mortiers de sable de dune présentent la meilleure maniabilité, avec les valeurs d'étalement les plus élevées. Les mortiers de sable naturel et de sable recyclé montrent une

maniabilité moyenne, qui diminue légèrement avec l'ajout de déchets de briques et de fibres de polypropylène. En général, les additifs réduisent l'étalement, impactant la maniabilité. Pour des applications nécessitant une haute maniabilité, les mortiers de sable de dune sont recommandés. Les mortiers avec additifs peuvent être utilisés pour leurs avantages structurels, en tenant compte de la réduction de maniabilité.

Juste après le remplissage, les moules ont été recouverts d'une feuille plastique et placés dans l'enceinte du laboratoire. Après 24 heures, ils ont été démoulés et conservés selon les conditions spécifiques à chaque essai :

- Les échantillons destinés à l'essai de retrait ont été maintenus dans des étuves à une température de 20°C.
- Les échantillons destinés aux essais mécaniques ont été immergés dans l'eau et conservés dans l'enceinte du laboratoire jusqu'au jour de l'essai.
- Les échantillons destinés à l'essai de durabilité ont été immergés dans l'eau et conservés dans l'enceinte du laboratoire pendant 28 jours.



Figure 3.13. Épreuves de mortiers.

3.12. Essais effectués

3.12.1. Résistance à la traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion à trois points a été mesurée sur des épreuves prismatiques de mortier de dimensions 4x4x16 cm à des intervalles de 2, 7 et 28 jours conformément à la norme NF P15-451 [46]. Pour calculer la résistance à la flexion, la formule suivante a été utilisée :

$$R_t = \frac{3FL}{2a^3}$$

Rt: Résistance à la flexion exprimée en MPa.

F : Force de rupture exprimée en Newton.

L : la distance entre le point d'application de la force et le support

a : dimension de la section (a = 40 mm).



Figure 3.14. Essai de flexion trois points.

3.12.2. Résistance à la compression :

La résistance à la compression des mortiers a été évaluée sur les six demi-prismes obtenus lors de l'essai de flexion. Ces essais ont été réalisés conformément à la norme NF EN 196-1 [44]. La contrainte de compression est calculée selon la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{A} \text{ (MPa)}$$

F_c : Charge maximale de rupture (N).

A : l'aire de la section d'application de la force de compression (1600 mm²).



Figure 3.15. Essai du dispositif de compression simple.

3.12.3 Mesure du retrait :

L'essai vise à déterminer les propriétés intrinsèques des mortiers sans l'application d'un chargement mécanique externe, conformément à la norme française NF P15-433 [47]. Il implique l'enregistrement des variations dimensionnelles d'une éprouvette prismatique de dimensions 4x4x16 cm équipée de plots aux extrémités à l'aide d'un comparateur de précision 0,001 mm. La variation relative de longueur due au retrait est exprimée par la relation suivante :

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta L / L}{L}$$

Avec :

ΔL : variation de longueur exprimée en μm .

L : longueur entre les deux bords de l'éprouvette égale à 160 mm.

ε : Déformation de retrait exprimée en $\mu\text{m}/\text{m}$.



Figure 3. 16. Appareil de mesure de retrait.

Le retrait total est mesuré comme suit :

- Premier intervalle : Chaque heure le premier jour;
- Deuxième intervalle : Deux fois par jour pendant deux semaines;
- Troisième intervalle : Une fois par jour pendant deux semaines;
- Quatrième intervalle : Une fois par semaine pour une période de cinq mois.
-



Figure 3. 17. Chronologie de mesure du retrait.

3.12.4. Absorption par immersion :

L'essai consiste à immerger complètement les éprouvettes de mortier âgées de 28 jours dans un bac d'eau à une température de 20 ± 2 °C, puis à mesurer le poids de ces éprouvettes après 24 heures d'immersion. Cette procédure est réalisée conformément à la norme NBN B 15-215 [48].

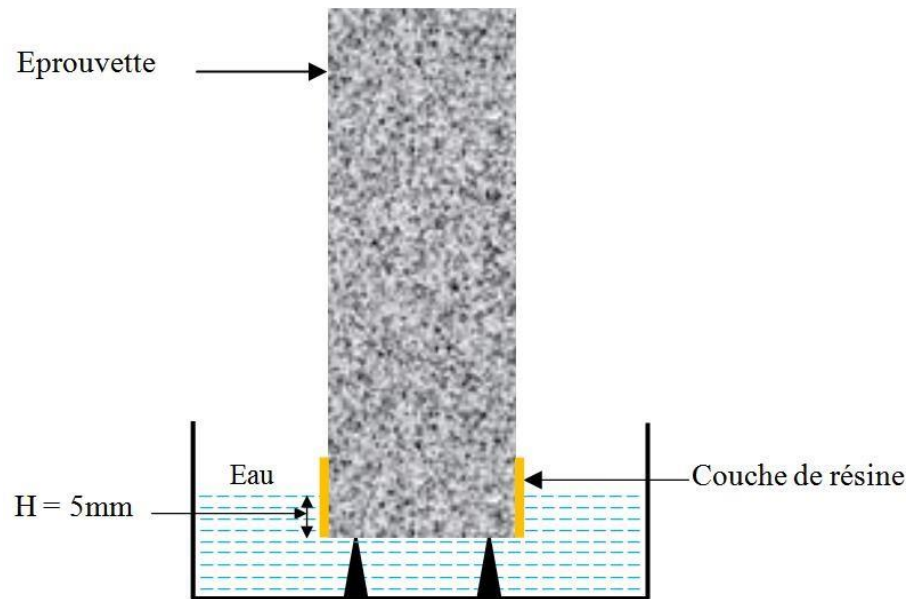


Figure 3. 19. Essai d'absorption par capillarité.

3.13. Conclusion :

L'étude révèle que la substitution du sable naturel par du sable de dune et du sable recyclé, associée à des additifs de déchets, peut améliorer les propriétés physiques, mécaniques et la durabilité des mortiers, tout en offrant des solutions écologiques viables.

Les résultats montrent que ces combinaisons de matériaux permettent de répondre aux exigences de durabilité et de performance, réduisant ainsi l'empreinte écologique du secteur de la construction. Ces conclusions encouragent à poursuivre la recherche sur l'optimisation des matériaux et des proportions pour des constructions plus durables et respectueuses de l'environnement.

Chapitre 4 :

Analyse des résultats expérimentaux

Chapitre 4 : Analyse des résultats expérimentaux

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une analyse détaillée des résultats obtenus à partir des différentes expériences menées pour évaluer les propriétés des mortiers. Les tests effectués incluent la résistance à la compression, la résistance à la traction, l'absorption par immersion, l'absorption capillaire et le retrait. Chaque section fournit une interprétation des données expérimentales, permettant de comprendre l'impact des différents types de sables et additifs sur les performances des mortiers. Cette analyse vise à identifier les combinaisons optimales pour améliorer la durabilité et la résistance des matériaux de construction.

4.2. Propriétés physico-mécaniques du mortier

4.2.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression du mortier, qui est sa capacité à supporter des charges lourdes sans se déformer ou se rompre, évolue de manière significative au fil du temps et dépend fortement du type de sable utilisé dans sa composition. Les figures 4.1, 4.2, et 4.3, montrent la variation de la résistance à la compression en suivant les échéances 3, 7, 28 et 90 jours de durcissement.

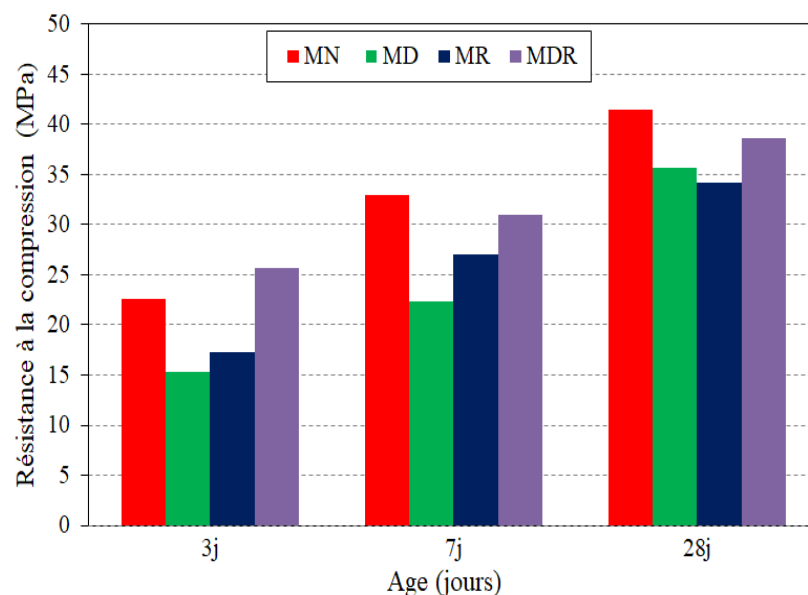


Figure 4.1. Résistance à la compression des mortiers à base des différents sables.

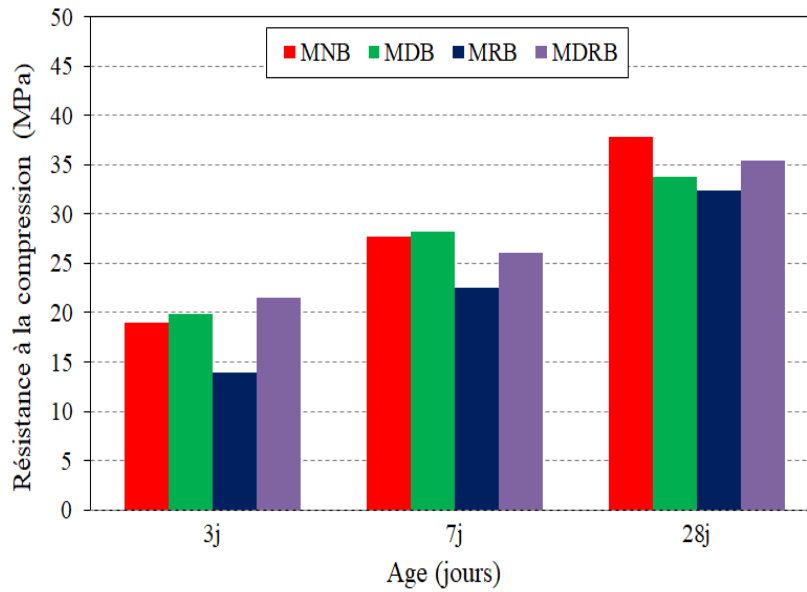


Figure 4.2. Résistance à la compression des mortiers à base des différents sable et contenant de 10 % de déchets de poudre de brique.

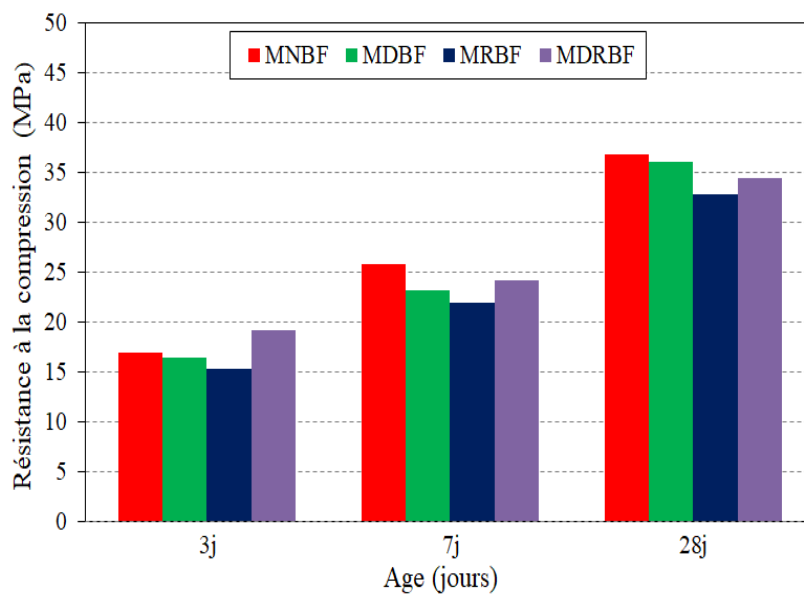


Figure 4.3. Résistance à la compression des mortiers à base des différents sable contenant de 10 % de déchets de poudre de brique et 0.5 % de fibre polypropylène recyclé.

La Figure 4.1, présente les résultats d'un essai de compression de mortiers à base de différents types de sable : naturel, de dune et recyclés. Le remplacement de sable naturel par le sable recyclé provoque un changement de la résistance mécanique.

Les résultats de la résistance à la compression obtenus indiquent que les mortier fabriqués contenant de 100 % de sable naturel présentent les meilleures performances, atteignant les résistances à la compression les plus élevées à tous les âges testés. La résistance des mortiers

à base de sable recyclé présente une chute d'une façon considérable par rapport à celle de mortiers à base de sable naturel .cela peut être attribué à la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de sable recyclé. Cependant, il est intéressant de noter que l'évolution de la résistance à la compression au fil du temps est plus rapide pour les mortiers à base de sable recyclé, ce qui signifie qu'ils peuvent rattraper une partie de leur retard sur les autres types de mortier à long terme.

Les mortiers à base de 100% de sable de dune offrent une résistance intermédiaire, supérieure à celle du sable recyclé mais inférieure à celle du sable naturel. Nous constatons que la résistance à la compression des mortiers réalisé avec les proportion de 60% de sable de dune et 40% de sable de recyclé est supérieure à celui du mortiers réalisé avec 100% de sable de dune et 100 % de sable recyclé. Tout cela est dû par la bonne distribution granulométrique des granulats et par le module de finesse de sable qui réduit les vides entre les grains, et aux traitements chimique qui colmaté les pores, d'où une bonne résistance.

D'après la figure 4.2, les mortiers avec une substitution de ciment avec 10 % de la poudre de brique présentent une valeur légèrement inférieure par rapport à celles des mortiers sans l'ajout de la poudre de brique. Cela peut être attribué aux fissures et aux trous dans la structure des échantillons contenant 10 % de poudre de brique usagée [39].

D'ailleurs, on remarque une légère diminution de la résistance à la compression des mortiers après l'incorporation des fibres de polypropylène recyclés avec le dosage de 0.5% de volume. Ceci est dû à la mauvaise distribution des fibres ce qui augmente le nombre de défauts dans la matrice et la porosité du mélange, et diminue la cohésion entre le béton les fibres, ce qui conduit à une chute de la résistance à la compression simple, comme le confirme la bibliographie [50, 51].

4.2.2. Résistance à la traction

Les figures 4.4, 4.5, et 4.6, montrent la variation de la résistance à la compression en suivant les échéances 3, 7, 28 et 90 jours de durcissement.

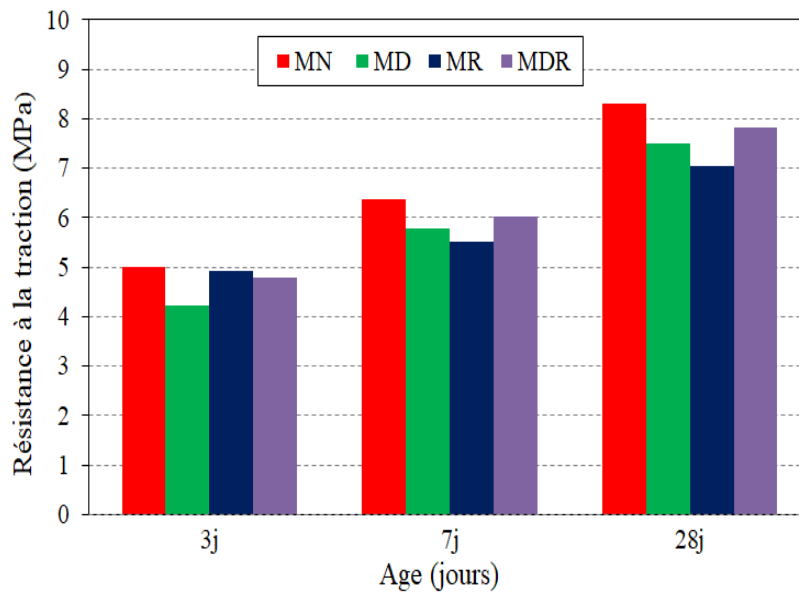


Figure 4.4. Résistance à la traction des mortiers à base des différents sable.

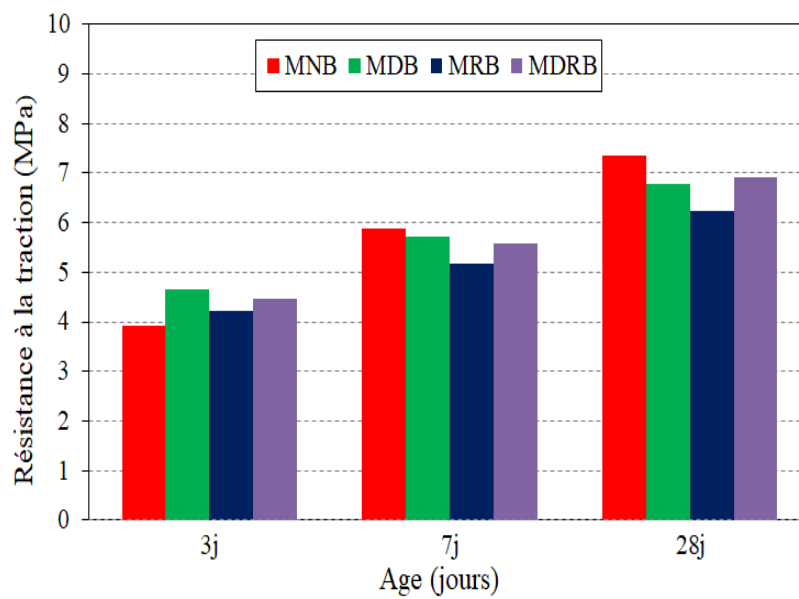


Figure 4.5. Résistance à la traction des mortiers à base des différents sable et contenant de 10 % de déchets de poudre de brique.

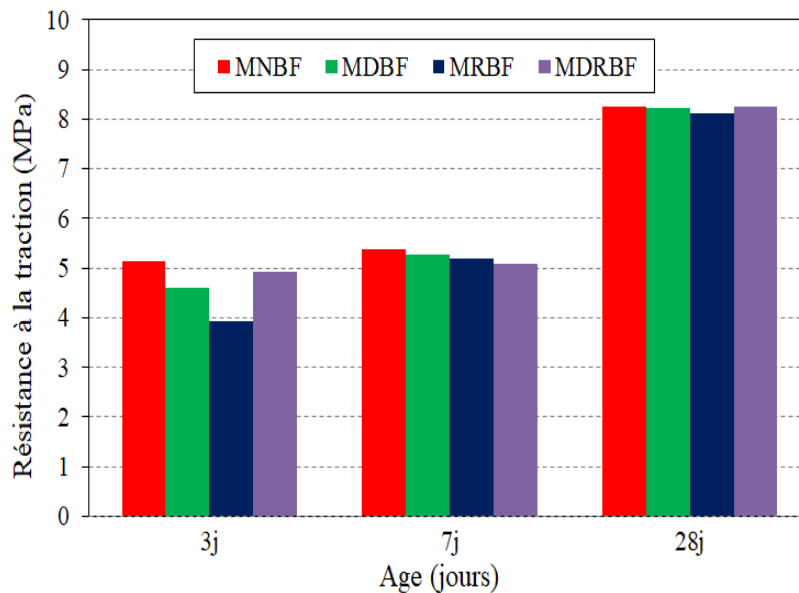


Figure 4.6. Résistance à la traction des mortiers à base des différents sable contenant de 10 % de déchets de poudre de brique et 0.5 % de fibre polypropylène recyclé.

La figure 4.4, montre la résistance à la traction des mortiers à base des différents sables. On remarque que la résistance à la traction de mortier à base de sable naturel est supérieure à celles des mortiers à base de 100% de sable de dune et sable recyclé. Les mortiers contenant 10 % de poudre de brique présentent des valeurs de la résistance inférieure à celles des mortiers sans ajout de la poudre de brique (figure 4.5).

D'après la figure 4.6, Les résultats montrent que la résistance à la traction par flexion augmente avec l'incorporation des fibres recyclées à partir des déchets des sacs polypropylène, particulièrement à 28 jours et surtout pour le MDRBF comparé au MDRB et MDR. Cette augmentation est due au rôle joué par les fibres qui limitent la propagation et la progression des fissures par effet de couture, ce qui augmente la résistance à la traction des bétons fibrés [52].

4.2.3. Absorption par immersion

La figure 4.7 illustre, les résultats d'essai d'absorption d'eau des différents mortiers à l'âge de 28 jours. De cette figure, il apparaît que le coefficient d'absorption d'eau de mortiers à base de sable recyclé affiche des valeurs presque doubles par rapport à celle de mortier à base de sable naturel et de sable recyclé. absorbe moins d'eau par rapport à celui des mortiers à base de sable de dune et de sable recyclé. Ces résultats sont dus à la capacité d'absorption élevée du sable recyclé, qui crée une pression d'osmose plus élevée dans le mortier. En outre,

la structure plus poreuse de la pâte attachée au sable recyclé conduit à une augmentation globale des pores ouverts dans le mortier.

Cependant, on remarque que le coefficient d'absorption des mortiers contenant 10 % de poudre de brique est diminué par rapport à celui des mortiers préparés sans PB. Cela est le résultat de la grande finesse de mouture (plus de 5300 cm²/g) par rapport à celle du ciment portland (de l'ordre de 4184 cm²/g) et par conséquent elle avait un rôle de densifier la microstructure du mortier par son effet filler et remplir les pores.

Par contre l'incorporation des fibres de polypropylène recyclés n'entraîne une augmentation de taux d'absorption de tous les échantillons de mortiers étudiés. Ceci est peut-être dû à la mauvaise distribution des fibres ce qui augmente le nombre de défauts dans la matrice et la porosité du mélange. Cela est causé aussi par l'air occlus présent dans le composite, qui est plus importante au niveau de la zone de transition interfaciale, c'est-à-dire entre les fibres de polypropylène et la matrice cimentaire.

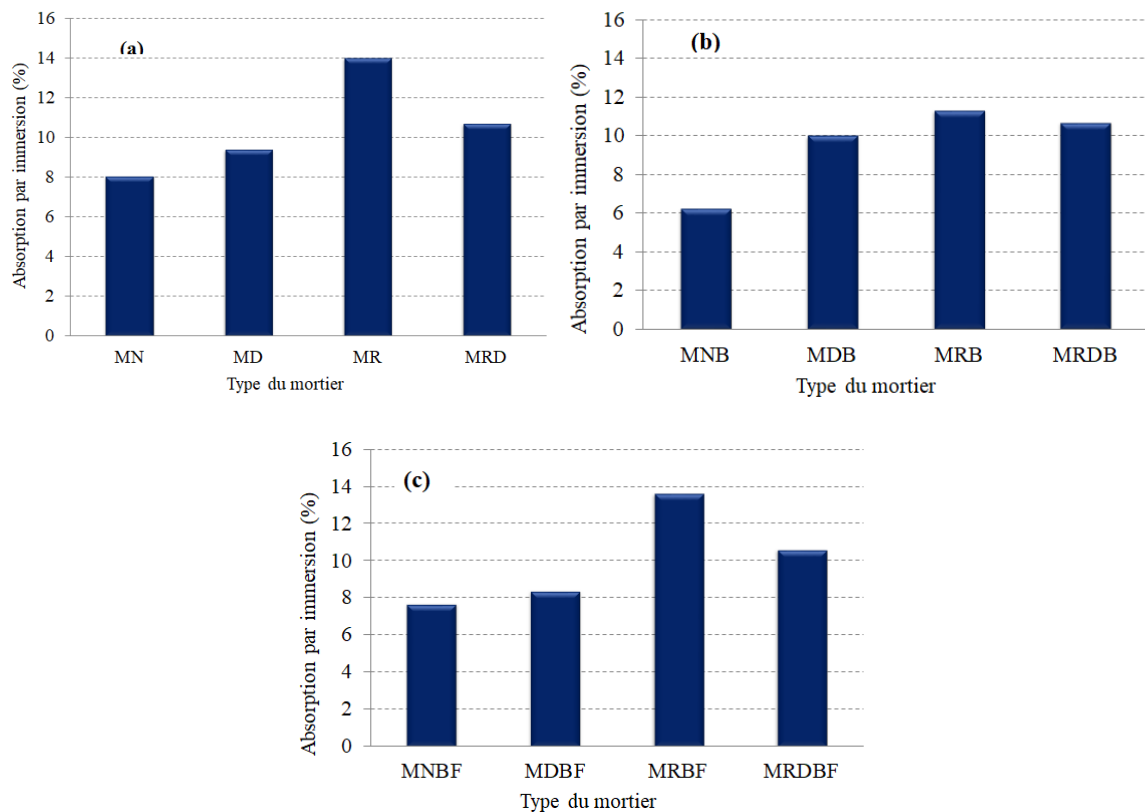


Figure 4.7. Absorption d'eau des mortiers fabriqués avec : (a) sable naturel, de dune et recyclé ; (b) contenant de 10 % de PB ; (c) contenant de 10 % de FPR

4.2.4. Absorption par capillarité

L'absorption d'eau à l'intérieur du béton dépend de deux paramètres majeurs ; la porosité du béton et la vitesse d'absorption capillaire (sorptionité). La figure 4.8 illustre, l'évolution de la quantité d'eau absorbée par unité de surface en fonction de la racine carrée du temps pour tous les mortiers à l'âge de 28

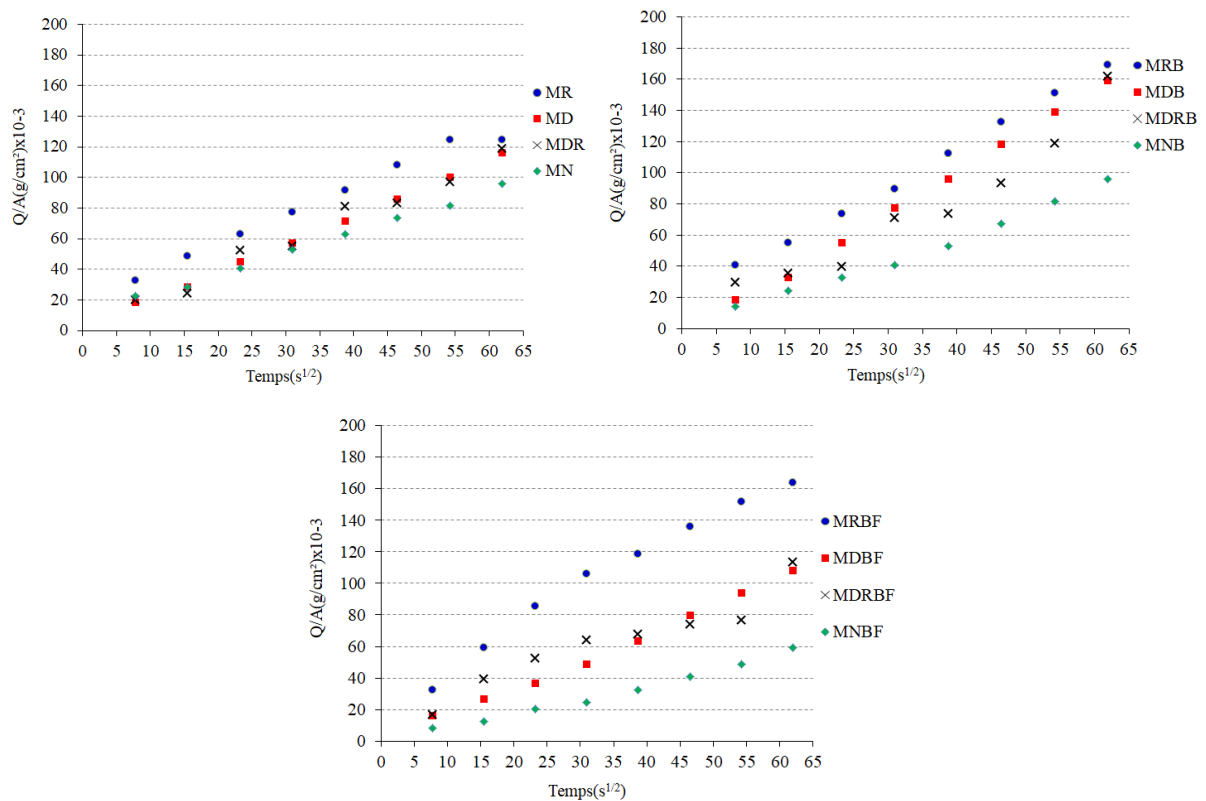


Figure 4.8. Absorption par capillarité mortiers fabriqués .

D'après la figure , on trouve que l'absorption d'eau par capillarité augmente avec le temps pour tous types de béton. On peut noter aussi que le taux d'absorption capillaire des mortiers confectionnés avec 100 % de sable naturels est moins faible par rapport au mortier à base de sable de dune et le sable recyclé. Au fait, le mortier à base de 100% de sable recyclé présente une absorption capillaire plus élevés. On peut noter aussi que les mortier à base de PB et des fibre recyclé présentent des valeurs élevés par rapports aux mortiers de références. Ceci est peut être dû à la mauvaise distribution des fibres ou bien à cause de l'air occlus présent dans le composite, qui est plus importante entre les fibres de polypropylène et la matrice cimentaire.

4.2.5. le retrait total

Généralement, le retrait est la réduction de volume suite à durcissement du mortier, cette diminution est une indication des changements d'humidité et des changements physico-chimiques du mortier, qui se produisent sans l'influence des forces externes sur le mortier.

La figure 4.9, montre l'évolution du retrait total des mortiers testés en fonction du temps de départ à partir d'un âge d'un jour jusqu'à 60 jours .

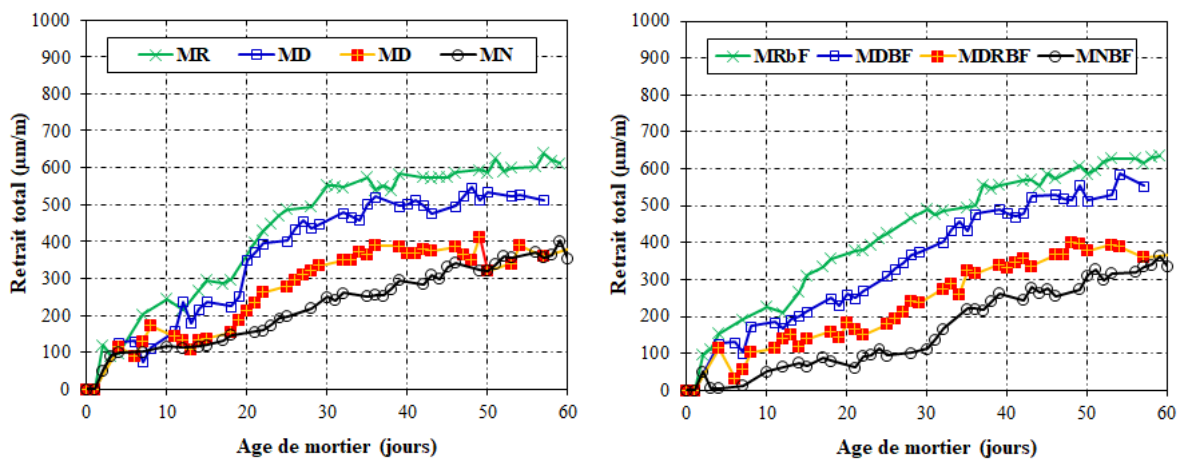


Figure 4.9. Le retrait total des différents mortiers confectionnés .

On remarque que le mortier à base de sable naturel affiche valeurs de retrait total moins que les autres mortier. Par contre , les éprouvettes à base de sable recyclé donne des résultats de retrait total très nettement supérieures aux valeurs des mortier à base de sable naturel et de dune. Ces déformations peuvent être expliquées par le fait que le granulat recyclé entrave moins le potentiel de déformation de la pâte de ciment. De plus, le vieux mortier attaché aux sable recyclé continue à subir un retrait dans le temps. Cependant, les valeurs de retrait total des mortiers de dune est presque similaire au valeurs de MN.

On constate aussi que les fibres recyclés incorporés dans le mortier donne des valeurs de retrait moins inférieur par rapport au mortier confectionné sans fibre. On constate que les fibres polypropylènes recyclés réduit la déformation du retrait total.

5.4. Conclusion

Les résultats trouvés d'après cette étude expérimentale montrent que le remplacement de sable naturel par des sables de dunes et sables recyclés dans le mortier, affiche des résultats acceptable .

Notamment, d'après cette étude expérimentale a démontré la possibilité de recycler les briques usagées en les broyant et en les ajoutant comme matériau de remplacement du ciment pour produire un mortier ou un béton respectueux de l'environnement. De plus l'incorporation des fibres polypropylènes recyclés conduite a amélioré la résistance à la traction et le retrait total .

Conclusion générale

Conclusion générale

Selon cette étude expérimentale, les principales conclusions auxquelles nous sommes parvenues sont :

1- La résistance mécanique des mortiers à base de sable naturel et moyennement supérieure par rapport au mortiers à base de sable de dune et sable recyclé.

2- la résistance mécanique des mortiers réalisé avec les proportion de 60% de sable de dune et 40% de sable de recyclé est supérieure à celui du mortiers réalisé avec 100% de sable de dune et 100 % de sable recyclé.

3- On peut noter aussi que les mortier à base de PB et des fibre recyclé présentent des valeurs élevés par rapports aux mortiers de références. Ceci est peut être dû à la mauvaise distribution des fibres ou bien à cause de l'air occlus présent dans le composite.

4- Les fibres recyclés incorporés dans le mortier donne des valeurs de retrait moins inférieur par rapport au mortier confectionné sans fibre..

5- la résistance à la traction par flexion augmente avec l'incorporation des fibres recyclés à partir des déchets des sacs polypropylène, Cette augmentation est due au rôle joué par les fibres qui limitent la propagation et la progression des fissures par effet de couture.

6- Les échantillons de mortiers à base de sable recyclé affiche un taux d'absorption élevé par rapport aux autres mortiers , ces résultats sont dus à la capacité d'absorption élevée du sable recyclé , qui créé une pression d'osmose plus élevée dans le mortier. En outre, la structure plus poreuse de la pâte attachée au sable recyclé conduit à une augmentation globale des pores ouverts dans le mortier.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] BRIK Leila , G.A., *La valorisation des déchets* in *Département de microbiologie* 2021, Université des Frères Mentouri Constantine. p. 60.
- [2] ABDEREZZAK, B., *Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton*, in *Département de Hydraulique et Génie Civi.* 2006, Université Kasdi Merbah Ouargla. p. 183.
- [3] BOURAS ABDELBASSET, Z.A.S., *Contribution à la caractérisation du béton de sable de dunes combine avec déchets environnementaux :*
état de l'art, in *DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL.* 2020-2021, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.
- [4] <https://www.cy-clope.com/classification-des-dechets/>.
- [5] <https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4152.html>.
- [6] Laneyrie, C., *Valorisation des déchets de chantiers du BTP: Comportement à haute température des bétons des granulats recyclés.* 2014, hèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, France.
- [7] Paul, P., et al., *Influence des sables de fonderie sur les propriétés des mortiers à l'état frais et à l'état durci.* 2019. **37**(1): p. 115-118.
- [8] Agency, N.W., , ''*Caractérisation des déchets ménagers et assimilés*''., 2019. **vol.213**.
- [9] KHACHBAT Mohamed ettahir , A.K., « *caractérisation d'un mortier à base de sable de dune avec caoutchouc* ». 2020, Mémoire Master, Université 8 Mai 1945 Guelma. p. 98 p.
- [10] <https://lavieenpierre.com/fr/actualites/origine-utilisations-preservation-de-la-ressource-tout-savoir-sur-le-sable-dans-la-construction-141.html>.
- [11] <https://www.constructionlabrique.com/le-mortier-et-son-utilite/>.
- [12] J.-J., C., *Les sables.* Guide pratique d'utilisation routière, ISTE. , 1987.
- [13] P., A., *Routes dans les régions en développement*, LCPC, . 1989,; p. 64 pages.
- [14] BEN DHIA, M., *Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien.* . Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°213,, 1998: p. pp 33-42.
- [15] Ahmad, J., et al., *Concrete Made with Dune Sand: Overview of Fresh, Mechanical and Durability Properties.* Materials, 2022. **15**: p. 6152.

- [16] Lee, E., et al., *Effect of Dune Sand on Drying Shrinkage Cracking of Fly Ash Concrete*. Applied Sciences, 2022. **12**: p. 3128.
- [17] Lee, E., S. Park, and Y. Kim, *Drying shrinkage cracking of concrete using dune sand and crushed sand*. Construction and Building Materials, 2016. **126**: p. 517-526.
- [18] Guettala, S. and B. Mezghiche, *Compressive strength and hydration with age of cement pastes containing dune sand powder*. Construction and Building Materials, 2011. **25**(3): p. 1263-1269.
- [19] Liu, Y., Y. Li, and G. Jiang, *Orthogonal experiment on performance of mortar made with dune sand*. Construction and Building Materials, 2020. **264**: p. 120254.
- [20] Rennani, F., et al., *Mechanical properties of high-performance concrete made incorporating dune sand as fine aggregate*. 2020.
- [21] Siala, A., et al., *Improving the performance of porous asphalt with reclaimed asphalt, dune sand and lime*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials, 2020. **174**: p. 1-26.
- [22] Leila, Z., Z. Benghazi, and L. Baali, *Comparative Study of Self-Compacting Concrete with Manufactured and Dune Sand*. Journal of Civil Engineering and Architecture, 2012. **Volume 6**: p. 1429–1434.
- [23] Rmili, A., et al., *Incorporation of CrusHed Sands and Tunisian Desert Sands in the Composition of Self Compacting Concretes Part I: Study of Formulation*. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2009. **3**: p. 3-9.
- [24] Bouziani, T., M. Bederina, and M. Hadjoudja, *Effect of dune sand on the properties of flowing sand-concrete (FSC)*. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2012. **6**(1): p. 59-64.
- [25] Abu Seif, E.-S., *Performance of Cement Mortar Made with Fine Aggregates of Dune Sand, Kharga Oasis, Western Desert, Egypt: An Experimental Study*. Jordan Journal of Civil Engineering, 2013. **7**.
- [26] Dawood, A. and A. Jaber, *Effect of Dune Sand as Sand Replacement on the Mechanical Properties of the Hybrid Fiber Reinforced Concrete*. Civil and Environmental Engineering, 2022. **18**.
- [27] Abadou, Y., A. Ghrieb, and R. Bustamante, *Crushed concrete waste influence on dune sand mortar performance. Contribution to the valorization*. Vol. 33. 2020.
- [28] Abadou, Y., R. Mitiche-Kettab, and A. Ghrieb, *Ceramic waste influence on dune sand mortar performance*. Construction and Building Materials, 2016. **125**: p. 703-713.

- [29] Fathifazl, G., et al., *New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate*. Journal of Materials in Civil Engineering - J MATER CIVIL ENG, 2009. **21**.
- [30] Tam, V.W.Y., X.F. Gao, and C.M. Tam, *Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach*. Cement and Concrete Research, 2005. **35**(6): p. 1195-1203.
- [31] Adem, A.M.A., *Valorisation des matériaux de démolition dans la construction* in *Faculté de Génie Civil et d'Architecture* 2017, Université Hassiba Ben Bouali – Chlef p. p.134.
- [32] Juan, M. and P. Gutiérrez, *Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate*. Construction and Building Materials, 2009. **23**: p. 872-877.
- [33] LAHMAR, N., *Propriétés physico-mécaniques et durabilité des bétons à base de granulats recyclés*, in *Département de Génie Civil*. 2021, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- [34] Li, X., *Recycling and reuse of waste concrete in China: Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete*. Resources, Conservation and Recycling, 2008. **53**: p. 36-44.
- [35] Debieb, F., et al., *Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates*. Cement and Concrete Composites, 2010. **32**: p. 421-426.
- [36] Matias, D., et al., *Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers*. Construction and Building Materials, 2013. **44**: p. 101–109.
- [37] OUAFI Soumia, M.A., *Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base de sable recyclé*, in *Département de Génie-civil*. 2018, Université Hassiba Benbouali –Chlef.
- [38] Si-Ahmed, M. and S. Kenai, *Behavior of Self-compacting Mortars Based on Waste Brick Powder*. Current Materials Science, 2020. **13**.
- [39] Karatas, M., et al., *Effect of Elazig Region Waste Brick Powder on Strength and Viscosity Properties of Self Compacting Mortar*. 2010.
- [40] Demir, İ., H. Yaprak, and O. Simsek, *Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions*. Ceramics - Silikaty, 2011. **55**: p. 268-275.

- [41] NF P 18-560, G.-a.g.p.t., Norme française, 1990.
- [42] NF-P-18-555, G.-m.d.m.v., coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables, Edition Afnor, 1990.
- [43] NF-P-18-598, G.é.d.s., Edition Afnor, 1991.
- [44] NF-EN-196-1, M.d.e.d.c.-p.d.d.r.m., 2006.
- [45] ASTM C230/C230M-08, S.s.f.f.t.f.u.i.t.o.h.c., ASTM Standards, 2008.
- [46] NF-P-15-451, E.M., Norme française, Edition Afnor, 1963.
- [47] NF-P15-433, M.d.e.d.c.-D.d.r.e.d.g., Edition Afnor 1994.
- [48] NBN-B-15-215, N.B., Essai d'immersion.
- [49] ASTM C1585, S.T.M.f.M.o.R.o.A.o.W.b.H.-C.C.A.I., West Conshohocken, PA.
- [50] Ziane, S., M.-R. Khelifa, and S.J.A.J.o.C.E. Mezhoud, *Effet des paramètres de formulation sur les caractéristiques physico-mécaniques des bétons renforcés des fibres de polypropylène*. 2020. **38**(1): p. 229-232.
- [51] Yew, M.K., et al., *Influence of different types of polypropylene fibre on the mechanical properties of high-strength oil palm shell lightweight concrete*. Construction and Building Materials, 2015. **90**: p. 36-43.
- [52] T, S., et al., *Influence of fibres on the mechanical behaviour of fibre reinforced concrete matrixes*. Construction and Building Materials, 2017. **137**: p. 548-556.